



Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Dissertation

Entwicklung eines generischen  
Vorgehens- und Entscheidungsmodells  
zur dynamischen  
Kritikalitätsbeurteilung im Asset  
Management

Dipl.-Ing. Theresa Passath, BSc

Dezember 2022



## **Gleichheitsgrundsatz**

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

## Danksagung

Zuallererst möchte ich mich bei meinem Doktorvater, em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann für die Betreuung, die wertvollen Anregungen und fachlichen Diskussionen während der Erstellung dieser Dissertation bedanken. Seine Begeisterung für das Forschungsfeld „Instandhaltung“ und sein Interesse für dessen ständige Weiterentwicklung haben auch mich sofort begeistert und waren einer der Hauptgründe für die Verfassung dieser Dissertation.

Danke Hubert, dass Du mir die Möglichkeit gegeben hast, mich durch die Arbeit am Lehrstuhl und durch dein mir entgegengebrachtes Vertrauen sowie deine Förderung aber auch Forderung über die letzten Jahre hinweg, persönlich aber auch fachlich wahnsinnig weiterzuentwickeln!

Mein weiterer Dank gilt meinem Mentor Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Zsifkovits sowie meinen beiden Gutachtern Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer und Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Walter Schwaiger, MBA und deren hilfreichen Anregungen während der Verfassung der Dissertation und ihrer Bereitschaft zur Begutachtung dieser.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch allen Projektpartnern aussprechen, die mich während der gesamten Zeit mit ihrem praxisbezogenen Input unterstützt haben.

Weiters möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern bedanken.

Danke, dass ihr immer für mich da seid, mir den Rücken stärkt und hinter mir und all meinen Vorhaben steht!

Weiters danke ich meinen Großeltern, die mich auch während meiner gesamten Studienzeit bestmöglich unterstützt haben. Leider sind sie nicht mehr unter uns, aber ich weiß, dass sie auf mich herabschauen und wahnsinnig stolz sind.

Meinen Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, die mich über die letzten Jahre hinweg begleitet haben, bin ich auch zum Dank verpflichtet. Die gemeinsame Projektarbeit, zahlreiche wissenschaftliche Austauschveranstaltungen und die dazugehörigen Diskussionen haben einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

Abschließend möchte ich meinen engsten Freunden und meinem Partner für die Unterstützung, vor allem in der finalen Phase der Erstellung der Dissertation, großen Dank aussprechen.

Euer Support und die vielen, teilweise aufbauenden und mutmachenden Gespräche waren eine große Stütze für mich!

## Kurzfassung

Die Wettbewerbsfähigkeit und Kundenbindung stellen wesentliche Erfolgspfeiler von Produktionsbetrieben dar. Um diese zu erreichen, sind zuverlässige Anlagen über den gesamten Anlagenlebenszyklus, im Speziellen in der Nutzungsphase essenziell, wie es von einem Asset Management gefordert wird. Durch die variierenden Produktionsbedingungen, schwankenden Nachfragen und steigenden gesetzlichen Anforderungen sowie der immer präsenter werdende Nachhaltigkeitsgedanke, verändern sich auch die als kritisch identifizierten Anlagen kontinuierlich. Umso wichtiger ist es, frühzeitig die größten Risikofaktoren zu erkennen und zeitnah Maßnahmen zur Risikoreduktion und Kosteneinsparung zur Bewahrung von Wettbewerbsvorteilen sowie der qualitativen und quantitativen Flexibilität bei wettbewerbsdifferenzierter Produktqualität, abzuleiten und dementsprechend die Instandhaltungsstrategie der Anlagen anzupassen, um langfristig am Markt bestehen zu können.

Zur dynamischen Identifikation und Evaluierung kritischer Anlagen eines bestehenden Anlagenparks sowie zur laufenden Anpassung der Instandhaltungsstrategie, wurde im Zuge dieser Dissertation ein Vorgehens- und Entscheidungsmodell entwickelt, dass auf Basis einer Unternehmensanalyse und Festlegung des Komplexitätsgrades der betrachteten strategischen Geschäftsfelder, sowie der vorherrschenden Datenqualität und -verfügbarkeit, ein Instrumentenset für die dynamische Kritikalitätsbeurteilung vorgibt.

Die Dynamisierung der Beurteilung ist in Zeiten steigender Anlagenintensität und Produktivität, sowie der immer größer werdenden Ressourcenverknappung wesentlich. Die im ersten Schritt der Beurteilung durchzuführende Systemanalyse zielt darauf ab, relevante Input-Faktoren, die auf das Asset wirken zu identifizieren und dementsprechend ein Kriterienset zur Durchführung der Kritikalitätsbewertung bereitzustellen. Wichtig ist hierbei, dass das Kriterienset den ganzheitlichen Ansatz im Sinne des Generic Managements verfolgt und alle Erfolgsfaktoren der Betrachtungseinheit umfasst, um durch die Anlagenoptimierung den größtmöglichen Output zu erzielen.

Durch die Betrachtung des bestehenden Anlagenparks und darauf einwirkenden Erfolgsfaktoren, ist eine vollumfassende Kritikalitätsbeurteilung durchführbar, mit dem Ziel langfristig die Effizienz und Effektivität der Anlagen zu steigern, sowie flexibel auf die sich ändernden Umfeldbedingungen reagieren zu können.

Das entwickelte Modell wurde anhand von drei Anwendungsbeispielen validiert.

## Abstract

Competitiveness and customer loyalty represent essential pillars of corporate success for production companies. To achieve this goal, reliable assets are essential over the entire asset-life-cycle, especially in the utilization phase, as required by an asset management. Due to the constantly changing production conditions, fluctuating demands and changing legal requirements, the assets identified as critical also change continuously. It is therefore necessary to identify the greatest risk factors at an early stage and to derive timely measures for risk reduction and cost savings to secure competitive advantages and to adapt the maintenance strategy of the assets accordingly in order to be able to survive on the market in the long term.

To evaluate these critical assets dynamically and to adapt the maintenance strategy accordingly, a procedure and decision model was developed. Based on a company analysis and the determination of the complexity level of the considered entity, as well as the prevailing data maturity, the model specifies a set of tools for performing the criticality assessment.

The dynamization of the assessment is especially essential in times of increasing asset intensity and productivity, as well as the ever-increasing scarcity of resources. The system analysis to be carried out in the first step of the assessment aims to identify relevant input factors that affect the asset and accordingly provide a set of criteria for carrying out the criticality assessment. It is important to note, that the criteria set follows a holistic approach in the sense of the Generic Management and encompasses all success factors of the unit under consideration to achieve the greatest possible output through system optimization.

By considering the existing asset park and the success factors affecting it, a fully comprehensive criticality assessment can be carried out with the aim of increasing efficiency and effectiveness of the assets in the long term, as well as being able to react flexibly to the changing environmental conditions.

The developed model was validated on the basis of three application examples.

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ausgangssituation.....   | 1         |
| 1.2      | Stand der Wissenschaft und Problemstellung .....                         | 5         |
| 1.3      | Zielsetzung und Forschungsfragen .....                                   | 8         |
| 1.4      | Forschungsmethodik.....  | 9         |
| 1.5      | Aufbau der Arbeit.....   | 11        |
| <b>2</b> | <b>Wissenschaftstheoretische Grundlagen .....</b>                        | <b>14</b> |
| 2.1      | Modelltheorie .....  | 14        |
| 2.1.1    | Der allgemeine Modellbegriff.....  | 14        |
| 2.1.2    | Eigenschaften von Modellen .....   | 15        |
| 2.1.3    | Prozess der Modellentwicklung und -analyse.....                          | 16        |
| 2.1.4    | Modellklassifizierung .....  | 17        |
| 2.2      | Entscheidungstheorie und Charakteristika der Entscheidungssituation..... | 23        |
| 2.2.1    | Charakteristika einer Entscheidungssituation .....                       | 24        |
| 2.2.2    | Betriebswirtschaftliche Entscheidungen .....                             | 30        |
| 2.2.3    | Entscheidung als Prozess .....   | 31        |
| 2.3      | Vorgehensmodelle .....   | 33        |
| 2.4      | Reifegradmodelle.....  | 37        |
| 2.4.1    | Capability Maturity Model Integration (CMMI).....                        | 38        |
| 2.4.2    | Aufbau und Entwicklung von Reifegradmodellen.....                        | 39        |
| 2.5      | Systemtheorie und systemtheoretische Management ansätze.....             | 39        |
| 2.5.1    | Komplexe Systeme .....   | 40        |
| 2.5.2    | Unternehmen als System .....   | 41        |
| 2.5.3    | St. Galler Managementkonzept .....                                       | 42        |
| 2.5.4    | Generic Management.....  | 46        |
| 2.6      | Controlling .....  | 49        |
| 2.7      | Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit.....                         | 50        |
| <b>3</b> | <b>Grundlagen des Asset Managements und der Instandhaltung .....</b>     | <b>51</b> |
| 3.1      | Definition Asset Management und Asset Managements System.....            | 51        |
| 3.2      | Bedeutung und Charakteristika des Asset Managements .....                | 53        |
| 3.3      | Komplexität des Asset Managements .....                                  | 57        |
| 3.4      | Strategisches Asset Management.....                                      | 57        |
| 3.4.1    | Strategische Erfolgsfaktoren .....                                       | 59        |
| 3.4.2    | Zielsystem des Asset Management und der Instandhaltung.....              | 65        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.5      | Betriebliche Instandhaltung als Teil des Asset Managements .....                                 | 66         |
| 3.5.1    | Instandhaltung von Anlagen .....   | 66         |
| 3.5.2    | Risikobetrachtung im Instandhaltungsmanagement .....   | 68         |
| 3.5.3    | Prozess des Risikomanagements .....  | 70         |
| 3.5.4    | Anlagenbezogenes Risikomanagement und dessen Ziele .....   | 71         |
| 3.5.5    | Anlagenrisiken.....  | 73         |
| 3.5.6    | Risikoorientierte Instandhaltungsphilosophien.....   | 76         |
| 3.5.7    | Dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung.....  | 82         |
| 3.5.8    | IH-Controlling .....   | 83         |
| 3.6      | Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit.....   | 84         |
| <b>4</b> | <b>Risikosteuerung im Asset Management - Die Kritikalitätsbeurteilung von Anlagen.....</b>       | <b>86</b>  |
| 4.1      | Abgrenzung Kritikalität und Risiko.....  | 86         |
| 4.2      | Begriffsdefinitionen Kritikalität und Kritikalitätsbeurteilung.....                              | 87         |
| 4.3      | Die Kritikalitätsbeurteilung.....  | 89         |
| 4.4      | Literaturbasierte Methoden der Kritikalitätsbeurteilung.....                                     | 90         |
| 4.5      | Die dynamische Kritikalitätsbeurteilung.....   | 92         |
| 4.5.1    | Vorteile der Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung.....                          | 93         |
| 4.5.2    | Entscheidungssituationen im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung .....                  | 94         |
| 4.5.3    | Bedeutung der Datenqualität und -verfügbarkeit für die dynamische Kritikalitätsbeurteilung ..... | 103        |
| 4.6      | Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit.....   | 104        |
| <b>5</b> | <b>Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung .....</b>         | <b>106</b> |
| 5.1      | Anforderungen an das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur Kritikalitätsbeurteilung .....       | 106        |
| 5.2      | Verankerung des Modells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung im Asset Management .....       | 108        |
| 5.2.1    | System Umwelt .....  | 109        |
| 5.2.2    | System Unternehmen.....  | 112        |
| 5.2.3    | Subsystem Anlage .....   | 112        |
| 5.3      | Aufbau des Modells .....   | 114        |
| 5.4      | Systemabgrenzung.....  | 115        |
| 5.4.1    | Kritikalitätsidentifikation .....  | 116        |
| 5.4.2    | Kritikalitätsanalyse .....   | 116        |
| 5.4.3    | Kritikalitätsbewertung .....   | 117        |
| 5.4.4    | Maßnahmenableitung, Instandhaltungsstrategieanpassung und Erfolgsüberprüfung.....                | 117        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.5      | Vorbereitungsphase.....   | 117        |
| 5.5.1    | Kritikalitätsidentifikation.....  | 118        |
| 5.5.2    | Kritikalitätsanalyse.....   | 140        |
| 5.6      | Kritikalitätsbewertung.....   | 157        |
| 5.6.1    | Identifikation von Schwerpunktanlagen.....  | 159        |
| 5.6.2    | Detailanalysen.....   | 163        |
| 5.7      | Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung.....   | 166        |
| 5.7.1    | Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Datenreife.....  | 166        |
| 5.7.2    | Handlungsempfehlungen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung....   | 167        |
| 5.8      | Erfolgsüberprüfung.....   | 168        |
| <b>6</b> | <b>Praktische Fallstudien.....</b>  | <b>170</b> |
| 6.1      | Fallstudie 1 – Siemens Mobility GmbH.....   | 170        |
| 6.1.1    | Ausgangssituation und Zielsetzung.....  | 170        |
| 6.1.2    | Vorgehensweise.....   | 171        |
| 6.1.3    | Ergebnisse.....   | 172        |
| 6.1.4    | Resümee und Ausblick.....   | 180        |
| 6.2      | Fallstudie 2 – pharmazeutisches Unternehmen (strategisches<br>Geschäftsfeld der pharmazeutischen Verpackung)..... | 181        |
| 6.2.1    | Ausgangssituation und Zielsetzung.....  | 181        |
| 6.2.2    | Vorgehensweise.....   | 182        |
| 6.2.3    | Ergebnisse.....   | 182        |
| 6.2.4    | Resümee und Ausblick.....   | 196        |
| 6.3      | Fallstudie 3 – pharmazeutisches Unternehmen (strategisches<br>Geschäftsfeld der biologischen Produktion).....     | 197        |
| 6.3.1    | Ausgangssituation und Zielsetzung.....  | 197        |
| 6.3.2    | Vorgehensweise.....   | 197        |
| 6.3.3    | Ergebnisse.....   | 197        |
| 6.3.4    | Resümee und Ausblick.....   | 201        |
| 6.4      | Schlussfolgerungen.....   | 202        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>  | <b>203</b> |
| 7.1      | Zusammenfassung.....  | 203        |
| 7.2      | Kritische Würdigung.....  | 204        |
| 7.3      | Ausblick.....   | 205        |
|          | <b>Literaturverzeichnis.....</b>  | <b>206</b> |
|          | <b>Anhang A: Allgemeine ergänzende Informationen.....</b>   | <b>a</b>   |
|          | <b>Anhang B: Methodenbeschreibung und Erläuterung deren Anwendung im Zuge<br/>der Kritikalitätsbewertung.....</b> | <b>x</b>   |

**Anhang C: Anwendungsfall 1 - Siemens Mobility GmbH ..... pp**  
**Anhang D: Anwendungsfall 2 + 3 – Pharmazeutisches Unternehmen ..... rr**

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Bestimmung der Anlagenkritikalität.....   | 4  |
| Abbildung 2: Dynamische Überprüfung / Anpassung des Kritikalitätslevels.....   | 4  |
| Abbildung 3: Ergebnisse der Benchmarkstudie zur Wahl der Instandhaltungsstrategie<br>.....   | 4  |
| Abbildung 4: Auswertung der Veröffentlichungen in Scopus zum Thema „Criticality<br>Analysis“ in Kombination mit Asset Management oder Maintenance... | 5  |
| Abbildung 5: Darstellung des Forschungsvorhabens anhand des Action Research<br>Ansatzes.....   | 10 |
| Abbildung 6: Forschungsmethodische Vorgehensweise.....   | 11 |
| Abbildung 7: Aufbau der Arbeit.....  | 12 |
| Abbildung 8: Merkmale von Entscheidungsmodellen.....   | 24 |
| Abbildung 9: Kategorisierung von Entscheidungen .....  | 25 |
| Abbildung 10: Überblick der multikriteriellen Entscheidungsmethoden .....  | 29 |
| Abbildung 11: Allgemeines Vorgehen bei Entscheidungsproblemen .....  | 31 |
| Abbildung 12: Ordnungsschema für Vorgehensmodelle .....  | 34 |
| Abbildung 13: Münchner Methodenmodell .....  | 36 |
| Abbildung 14: Das neue St. Galler Management Modell .....  | 44 |
| Abbildung 15: Grundstruktur des St. Galler Managementkonzepts.....   | 45 |
| Abbildung 16: Flexibilitätsarten und ihr Einfluss auf die strategische Flexibilität .....  | 47 |
| Abbildung 17: Aspekte des Asset Managements.....   | 52 |
| Abbildung 18: Ziele des Asset Managements.....   | 56 |
| Abbildung 19: Auswertung der Wichtigkeit strategischer Erfolgsfaktoren für die<br>unterschiedlichen Bereiche produzierender Unternehmen .....        | 61 |
| Abbildung 20: Flexibilitätsmatrix .....  | 64 |
| Abbildung 21: Instandhaltungstätigkeiten und deren Umfang .....  | 67 |
| Abbildung 22: Regelkreismodell des Instandhaltungsmanagements .....  | 67 |
| Abbildung 23: Wechselwirkung der Unternehmensziele mit den Risikomanagement-<br>Zielen.....  | 69 |
| Abbildung 24: Risikomanagementprozess gemäß ISO31000.....  | 70 |
| Abbildung 25: Gründe für die Implementierung eines anlagenbezogenen<br>Risikomanagements .....   | 71 |
| Abbildung 26: Anwendungsgebiete des anlagenbezogenen Risikomanagements..   | 72 |
| Abbildung 27: Zusammensetzung des Anlagenrisikos inklusive Kriterienkategorien zu<br>dessen Messung.....   | 76 |
| Abbildung 28: Lean Smart Maintenance.....  | 81 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 29: Einbettung der Schritte der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung in den Regelkreis der Instandhaltung.....                                       | 83  |
| Abbildung 30: System des Instandhaltungscontrollings .....   | 83  |
| Abbildung 31: Gegenüberstellung Risikobeurteilungs- und Kritikalitätsbeurteilungsprozess.....  | 87  |
| Abbildung 32: Sicherstellung der Funktionserfüllung durch das aus der Kritikalitätsbeurteilung abgeleitete Aufgabenbündel zur Instandhaltungsoptimierung ..... | 89  |
| Abbildung 33: Prozess der Kritikalitätsbeurteilung .....   | 90  |
| Abbildung 34: Schematische Darstellung der durchgeführten Literaturanalyse .....   | 91  |
| Abbildung 35: Vorteile der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung .....  | 93  |
| Abbildung 36: Beispielhafte Kriterienhierarchie .....  | 97  |
| Abbildung 37: Input- und Output-Faktoren des Subsystems „Anlage“ .....   | 109 |
| Abbildung 38: Die fünf Wettbewerbskräfte nach PORTER .....   | 110 |
| Abbildung 39: Einfluss der Kritikalitätsbeurteilung auf das Instandhaltungsmanagementsystem.....   | 113 |
| Abbildung 40: Einbettung der Kritikalitätsbeurteilung in die drei Managementebenen .....   | 113 |
| Abbildung 41: Arten der Kritikalitätsbewertung abhängig von Datenreife und Komplexitätseinstufung.....   | 115 |
| Abbildung 42: Prozessmodell zur Kritikalitätsbeurteilung.....  | 115 |
| Abbildung 43: Die Vorbereitungsschritte im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung .....   | 117 |
| Abbildung 44: Komplexitätseinstufung auf Basis der morphologischen Einordnung am Beispiel eines Chemieunternehmens.....  | 129 |
| Abbildung 45: Methodenauswahl für die Kritikalitätsbeurteilung .....   | 130 |
| Abbildung 46: Beispielhafter Aufbau einer hierarchischen Anlagenstruktur .....   | 132 |
| Abbildung 47: Beispielhafte Anlagengruppierung für die Anlagenvorauswahl.....  | 132 |
| Abbildung 48: Definierte Kriterienkategorien je Kritikalitätsbewertungseinstufung  | 136 |
| Abbildung 49: Fragebogen zur Operationalisierung von Kriterien .....   | 137 |
| Abbildung 50: Beispielhaftes Kriteriendefinitionsblatt.....  | 139 |
| Abbildung 51: Aufbau des Reifegradmodells für die Kritikalitätsbeurteilung.....  | 141 |
| Abbildung 52: Auszug aus dem Datenqualitätsreifegradmodell .....   | 146 |
| Abbildung 53: Zusammenhang Datenqualitätsreifegrad und Einstufungsmodell zur Methodenauswahl für die Kritikalitätsbewertung .....                              | 147 |
| Abbildung 54: Zusammenspiel von Erfahrungs- und Faktenwissen im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung.....   | 148 |
| Abbildung 55: Zuordnung der Methoden der Kritikalitätsbewertung zu den jeweiligen Einstufungen.....  | 149 |
| Abbildung 56: Instrumentenset für die Kritikalitätsbewertung je nach vorherrschender Komplexität und Datenreife .....  | 149 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 57: Logik zur Ermittlung des Instrumentensets zur Kritikalitätsbewertung .....               | 154 |
| Abbildung 58: Ausschnitt aus der excelbasierten Kriterienbewertung .....                               | 157 |
| Abbildung 59: Vereinfachtes Anlagenprioritätsportfolio - Rangfolge zu Instandhaltungskosten .....      | 160 |
| Abbildung 60: Anlagenprioritätsportfolio - Nutzwert zu Instandhaltungskosten .....                     | 161 |
| Abbildung 61: Kriterienkategorien bezogenes Anlagenprioritätsportfolio .....                           | 162 |
| Abbildung 62: Beispielhaftes FMEA-Formblatt inkl. Maßnahmenableitung .....                             | 163 |
| Abbildung 63: Beispielhaftes Ergebnis der RPI-Analyse.....   | 164 |
| Abbildung 64: Beispielhafte Auswertung der Aufwand/Nutzen-Betrachtung im Zuge der RPI-Analyse.....     | 165 |
| Abbildung 65: Leitfaden zur Instandhaltungsstrategieanpassung .....                                    | 167 |
| Abbildung 66: Vorgehen zur Einführung der Kritikalitätsbeurteilung bei der Siemens Mobility GmbH ..... | 171 |
| Abbildung 67: Morphologie zur Kritikalitätsbewertung der Siemens Mobility Graz                         | 173 |
| Abbildung 68: Gewichtungsergebnis der Kriteriengewichtung .....  | 175 |
| Abbildung 69: Checkliste zur Anlagenvorauswahl .....   | 176 |
| Abbildung 70: Auszug aus der Kriterienbewertung bei der Siemens Mobility GmbH .....                    | 176 |
| Abbildung 71: Maßnahmenableitung auf Basis der Kritikalität zur langfristigen Anlagenoptimierung ..... | 177 |
| Abbildung 72: Ausprägungsstufen zur Bewertung der IT-Risiken bei der Siemens Mobility GmbH .....       | 178 |
| Abbildung 73: Risikomatrix der IT-Risiken Siemens Mobility GmbH .....                                  | 179 |
| Abbildung 74: Auszug aus der Maßnahmenableitung zur Senkung der IT-Risiken                             | 179 |
| Abbildung 75: Ergebnis der Erhebung der Erfolgsfaktoren .....  | 183 |
| Abbildung 76: Ergebnis der Komplexitätseinstufung der pharmazeutischen Verpackung.....                 | 184 |
| Abbildung 77: Auszug aus der Bewertung der Anlagen im Zuge der Anlagenauswahl .....                    | 185 |
| Abbildung 78: Vorgang zur Bestimmung der Ausprägungsstufen .....                                       | 190 |
| Abbildung 79: Ergebnisse der Umfrage zum Thema "Datenverfügbarkeit" .....                              | 190 |
| Abbildung 80: Datenreifegrad der pharmazeutischen Verpackung .....                                     | 191 |
| Abbildung 81: Gegenüberstellung der Gewichtungsmethoden .....  | 192 |
| Abbildung 82: Gewichtungsergebnis der pharmazeutischen Verpackung.....                                 | 193 |
| Abbildung 83: Ergebnis der Kriterienbewertung der pharmazeutischen Verpackung .....                    | 194 |
| Abbildung 84: Ergebnis der beispielhaften Risikobewertung .....  | 195 |
| Abbildung 85: Komplexitätseinstufung biologischen Produktion .....                                     | 198 |
| Abbildung 86: Datenreifegrad der biologischen Produktion .....   | 199 |

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 87: Gewichtungsergebnis der biologischen Produktion.....                          | 200 |
| Abbildung 88: Bewertungsergebnis der Kriterienbewertung der biologischen<br>Produktion..... | 201 |

## Tabellenverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Tabelle 1: Zuordnung zwischen Originalsystem und Modell .....  | 18  |
| Tabelle 2: Klassifikation betriebswirtschaftlicher Modelle .....   | 19  |
| Tabelle 3: Punkteskala nach SAATY für Paarvergleiche .....   | 99  |
| Tabelle 4: RI bei gegebener Matrixgröße .....  | 100 |
| Tabelle 5: Ausschnitt aus der morphologischen Einordnung zur<br>Komplexitätsbestimmung und zur Kriteriendefinition aus strategischer<br>Sicht..... | 128 |
| Tabelle 6: Bewertungssheet zur Anlagenvorauswahl .....   | 133 |
| Tabelle 7: Bewertungssheet zur Anlagenvorauswahl mit Kriterien der Erfolgsfaktoren<br>.....  | 134 |
| Tabelle 8: Auszug aus der Einflussbewertung der Kriterien auf die Charakteristika der<br>Morphologie .....   | 134 |
| Tabelle 9: Kriterienkatalog für die Kritikalitätsbewertung .....   | 135 |
| Tabelle 10: Unterschiede zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien .....   | 138 |
| Tabelle 11: Vergleich der Methoden zur Kriterienbewertung .....  | 150 |
| Tabelle 12: Gegenüberstellung der Methoden zur Risikoanalyse .....   | 152 |
| Tabelle 13: Kriterienkatalog zur Kritikalitätsbewertung der Siemens Mobility GmbH<br>.....   | 173 |
| Tabelle 14: Auszug aus der Kriterienauswahl für den Erfolgsfaktor Mitarbeiter ....   | 185 |
| Tabelle 15: Kriterienübersicht für die Kriterienbewertung .....  | 186 |

## Abkürzungsverzeichnis

|       |   |
|-------|---|
| A     | Ausfallswahrscheinlichkeit                    |
| AGCS  | Allianz Global Corporate & Specialty          |
| AHP   | Analytical Hierarchy Prozess                  |
| BEP   | Break Even Piont                              |
| BSI   | British Standards Institution                 |
| Bzgl. | Bezüglich                                     |
| Bzw.  | Beziehungsweise                               |
| CAPP  | Criticality and Asset Priority Portfolio      |
| CI    | Consistency Index                             |
| CMM   | Capability Maturity Model                     |
| CMMI  | Capability Maturity Model Integration         |
| CR    | Consistency Ratio                             |
| Diss. | Dissertation                                  |
| E     | Entdeckungswahrscheinlichkeit                 |
| EF    | Erfolgsfaktor                                 |
| ERP   | Enterprise Resource Planning                  |
| ET    | Ersatzteil                                    |
| f.    | folgende Seite                                |
| ff.   | folgende Seiten                               |
| F&E   | Forschung und Entwicklung                     |
| FMEA  | Failure Mode and Effect Analysis              |
| FMECA | Failure Mode and Effect Criticality Analysis  |
| FMMEA | Failure Modes, Mechanisms and Effect Analysis |
| FTA   | Fault Tree Analysis                           |
| HAD   | Human Design Approach                         |
| Hrsg. | Herausgeber                                   |
| hrsg. | Herausgegeben                                 |
| IAM   | Institute für Asset Management                |
| IH    | Instandhaltung                                |
| LSM   | Lean Smart Maintenance                        |
| LTA   | Logic Tree Analysis                           |
| MA    | Mitarbeiter                                   |
| MADM  | Multi-Attribute Decision Making               |
| MCDA  | Multi-Criteria Decision Making                |



---

|        |  |
|--------|--|
| MODM   | Multi-Objective Decision Making                            |
| MTBF   | Mean Time Between Failures                                 |
| MTTR   | Mean Time To Repair  |
| OEE    | Overall Equipment Effectiveness                            |
| o.V.   | ohne Verfasserangabe                                       |
| QMMG   | Quality Management Maturity Grid                           |
| QRA    | Quantitative Risk Assessment                               |
| RBM    | Risk-based Maintenance                                     |
| RCM    | Reliability Centered Maintenance                           |
| RG     | Reifegrad  |
| RI     | Random Index   |
| ROI    | Return on investment                                       |
| RPI    | Risikoprioritätsindex                                      |
| RPZ    | Risikoprioritätszahl                                       |
| RUL    | Remaining useful life                                      |
| S      | Schadensausmaß   |
| s.     | siehe  |
| S.     | Seite  |
| SAP    | Systeme, Anwendungen, Produkte                             |
| SCAMPI | Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement     |
| SEI    | Software Engineering Institut                              |
| SFMECA | Streamline Failure Mode Effects and Criticality Analysis   |
| SGMM   | St. Galler Management Modell                               |
| SM     | Smart Maintenance  |
| SMART  | Simple Multi-Attribute Rating Technique                    |
| SPICE  | Software Process Improvements and Capability Determination |
| TN     | Teilnutzen   |
| TPM    | Total Productive Maintenance                               |
| et al. | et alteri oder et alii = und andere                        |
| vgl.   | Vergleich  |
| wBw    | Wirtschafts- und Betriebswissenschaften                    |
| z.B.   | zum Beispiel   |

# 1 Einleitung

*„Nicht, weil es schwer ist, wagen wir es nicht, sondern weil wir es nicht wagen, ist es schwer.“*

(Lucius Annaeus Seneca, römischer Philosoph)

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines generischen Vorgehens- und Entscheidungsmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung als Grundlage der Instandhaltungsstrategieoptimierung im Asset Management. Dieses Modell unterstützt systematisch bei der Einführung einer Kritikalitätsbeurteilung.

In diesem Kapitel werden nach Erläuterung der Ausgangssituation und des Standes der Forschung, die der Arbeit zugrunde liegende Problemstellung beschrieben. Daraus leiten sich die Zielsetzung und die zu beantworteten Forschungsfragen dieser Dissertation ab. Als Abschluss wird auf die angewandte Forschungsmethodik, sowie den Aufbau der Arbeit eingegangen.

## 1.1 Ausgangssituation

Die steigende Marktdynamik, zunehmende Digitalisierung, die immer größer werdende Systemkomplexität, aber auch der wachsende Kosten- und Wettbewerbsdruck, verkürzte Technologie- und Produktlebenszyklen<sup>1</sup>, der Anstieg der Innovationsdynamik sowie schwer prognostizierbare Konjunkturschwankungen<sup>2</sup>, sind vorherrschende Probleme, mit denen Industriebetriebe täglich konfrontiert werden.<sup>3</sup> Des Weiteren steigen die gesetzlichen Auflagen hinsichtlich Arbeitssicherheit und im Umweltschutz kontinuierlich und finden dementsprechend häufig Einzug in den Verantwortungsbereich der Instandhaltung. Diese Unsicherheit, Komplexität, Volatilität und Ambiguität, wie in einer VUCA Umwelt vorzufinden sind<sup>4</sup> und die durch die Corona-Pandemie weiter verstärkt wurden, treten zeitgleich auf. Um langfristig und nachhaltig den Unternehmenserfolg sicherzustellen und sich in der VUCA Umwelt behaupten zu können, ist eine dynamische Weiterentwicklung und Leistungssteigerung über alle Unternehmensbereiche und über den gesamten Anlagenlebenszyklus hinweg, unerlässlich. In dieser Dissertation wird das Wort „Unternehmen“ synonym für einen „Produktionsbetrieb“ verwendet. Hier kommt dem Fachgebiet der Instandhaltung eine wachsende Bedeutung zu.<sup>5</sup> Denn bei minimalen Lager- und Umlaufbeständen werden

---

<sup>1</sup> Vgl. Moerth-Teo, O. et al. (2021), S. 7.

<sup>2</sup> Vgl. Schmiedbauer, O. et al. (2021b), S. 165.

<sup>3</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Bititci, U. S. et al. (2011), S. 852; acatech (2015), S. 10 ff.; Kleindienst, B. (2017), S. 1; Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 41.; S. Gopalakrishnan, M. et al. (2019), S. 858.; Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 364.; acatech 2019, S. 11 ff.; VDI 2895 (2012), S.2.

<sup>4</sup> Vgl. Bennett, N.; Lemoine, G. J. (2014), S. 313.; Scheller, T. (2017), S. 20 ff., Ramsauer, C. et al. (2017), S. 7 f.

<sup>5</sup> Vgl. Westkämper, E. et al. (1998), S. 6 ff.

die Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Maschinen und Anlagen immer größer, um eine hohe Lieferbereitschaft sicherzustellen. Weiters führen die zunehmende Anlagenverkettung und Systemkomplexität zu einer Abnahme der Zuverlässigkeit. Somit steigt der Anspruch an die Leistungsverbesserung der Instandhaltung sowie an eine Kostensenkung enorm.<sup>6</sup>

Zur Anpassung an die ständig sich ändernden Gegebenheiten und um den Zuverlässigkeitsanforderungen nachzukommen, ist eine flexible und dynamische Anpassung der Instandhaltungsstrategie an diese Rahmenbedingungen unabdingbar, sowie der optimale Umgang mit der kapitalintensiven Ressource „Anlage“.<sup>7</sup> Umso wichtiger ist es deshalb die Instandhaltung als Enabler dieser Entwicklung zu sehen. Es ist entscheidend die Instandhaltung von der inputorientierten Kostensicht hin zu einer outputorientierten Wertschöpfungssicht zu verändern.<sup>8</sup> Diese wertschöpfende Betrachtung der Anlage wird von dem Asset Management gefordert. Hierbei ist das Verständnis für die Generierung eines Wertschöpfungsbeitrages über den gesamten Anlagenlebenszyklus durch die dynamisch angepasste Anlagenbewirtschaftung bzw. Instandhaltungsstrategie wesentlich für den langfristigen Unternehmenserfolg.

Neben technischen Aspekten sind solche wie Finanzen, Umwelt, Sicherheit, Soziales, Flexibilität und Qualität wesentlich für den Erfolg. In diesem Fall und um geeignete Entscheidungen treffen zu können, muss der strategische Managementprozess den von den Anlagen generierten Wert darstellen<sup>9</sup> bzw. die größten Gefahrenquellen und Einflussgrößen identifizieren. Ziel ist die dauerhafte Sicherstellung der Anlagenzuverlässigkeit und hoher Produktionsraten<sup>10</sup> durch Kombination von technischen, administrativen und organisatorischen Maßnahmen während des gesamten Lebenszyklus der Anlage.<sup>11</sup> Das übergeordnete Ziel des Asset Managements ist somit die langfristige Optimierung von Kosten, Risiko und Verfügbarkeit im Einklang mit den Unternehmenszielen.<sup>12</sup> Als Basis des langfristigen Unternehmenserfolges ist die anlagenspezifische, situationsgerechte Instandhaltungsstrategiefestlegung sowie deren dynamische Anpassung unerlässlich.<sup>13</sup>

Gemäß BRAUNER ET AL. können durch eine dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung durch Ausschöpfung der Lebensdauer der Anlagen langfristig 20% bis 30% der Gesamtkosten eingespart werden<sup>14</sup>, da ein Drittel der Instandhaltungskosten auf eine falsche Instandhaltungsstrategie zurückzuführen ist<sup>15</sup>. Weiters zeigt eine Instandhaltungs-Benchmark-Analyse von 2500 Unternehmen, dass die Instandhaltungskosten um bis zu 25% durch eine dynamische Instandhaltungsstrategie reduziert werden konnten, die Stillstandszeiten um 17%

<sup>6</sup> Vgl. Gillenkirch, P. D. R., <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mehrstufige-entscheidungen-39961> (Zugriff: 05.08.2021)

<sup>7</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 2.; Trommler, U. et al. (2014), S. 51 f.; Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 41.

<sup>8</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 3.

<sup>9</sup> Vgl. Gómez Fernández, J. F. et al. (2017), S. 2.

<sup>10</sup> Vgl. Khaira, A.; Dwivedi, R. (2019), S. 175.

<sup>11</sup> Vgl. Mandelartz, J. (2009), S. 2, DIN 31051, S.4

<sup>12</sup> Vgl. Von Petersdorff, H. et al. (2014), S.154.

<sup>13</sup> Vgl. Bokrantz, J. et al. (2014) zitiert nach: Gopalakrishnan, M. et al. (2015), S. 480.

<sup>14</sup> Vgl. Brauner, G., et al. (2000), S.624 f.

<sup>15</sup> Vgl. Dehghanian, P. et al. (2012) zitiert nach: Ashish, K.; Ravik, D. (2019), S. 175.

verringert wurden und der Ersatzteilbestand optimiert wurde. Eine Steigerung des Produktionsausstoßes um 10-25% konnte auch verzeichnet werden.<sup>16</sup>

Der Einsatz neuer Geschäftsmodelle, die die Möglichkeiten von Big Data und Industrie 4.0 aufgreifen, aber auch von Datenanalysetools sowie von Kommunikations- und Informationstools, sind für einen reibungslosen und ressourcenschonenden Ablauf sowie für die Generierung eines nachhaltigen Wertbeitrags essenziell<sup>17</sup>, jedoch in der Industrie noch nicht weit verbreitet.

Die statische Instandhaltungsstrategie ist nach wie vor vorherrschend, da eine Anpassung meist mit zusätzlichem Ressourcenaufwand verbunden ist und der Planung um Umsetzung wenig Beachtung geschenkt wird<sup>18</sup>, wie die Ergebnisse einer von der ÖVIA<sup>19</sup> durchgeführten Benchmarkstudie zeigen. Von den befragten 134 Unternehmen passen nur knapp die Hälfte die Instandhaltungsstrategie dynamisch an.<sup>20</sup> Die Grundlage einer dynamischen Instandhaltungsstrategieanpassung bildet die dynamische Kritikalitätsbeurteilung, mit dem Ziel auf Basis des Bewertungsergebnisses die größten Stellhebel zur Instandhaltungsstrategieanpassung zu identifizieren und dementsprechend die anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie anzupassen. Bei der Kritikalitätsbeurteilung handelt es sich um eine Methode zur Bewertung sämtlicher Instandhaltungsobjekte eines produzierenden Unternehmens nach Kritikalitätsaspekten sowie eine nachfolgende Priorisierung<sup>21</sup> dieser zur Identifikation der kritischsten Anlagen. Das Hauptziel der Kritikalitätsbeurteilung besteht darin, die Bedeutung und die Folgen von Fehlerereignissen innerhalb des Betriebs- und Topologiekontextes, in dem sie wirken, zu bestimmen und Instandhaltungsmaßnahmen entsprechend der Bedeutung der damit verbundenen Risiken abzuleiten und zu priorisieren.<sup>22</sup> Daher ist ihr Ziel neben der Zuverlässigkeitsbewahrung bzw. -steigerung der Anlagen, sich mit den Fehlerfolgen sowie deren Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit, Umwelt, Wirtschaft und soziales Wohlergehen auseinanderzusetzen und diese durch die geeignete Instandhaltungsstrategie versuchen zu minimieren und dadurch das Anlagenrisiko zu senken.<sup>23</sup> Unter dem Anlagenrisiko werden alle Einflussfaktoren auf die Anlage verstanden, die die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie die Instandhaltungskosten negativ beeinflussen. Je stärker dieser Einfluss einzustufen ist und desto schwerer deren Folgen sind, desto größer ist das Anlagenrisiko an der Anlage einzustufen.

Aktuell ist die Anwendung der Kritikalitätsbeurteilung in der Industrie noch nicht weit verbreitet. Vor allem die entsprechende Dynamisierung um flexible auf Umweltveränderungen reagieren zu können, ist bei den wenigsten Unternehmen bis dato implementiert. Das verdeutlichen die Ergebnisse einer Studie zum Thema „Kritikalität“

---

<sup>16</sup> Vgl. Männel, W. (2001); 536 ff. Schuh, G. et al. (2006); zitiert nach: Pawellek, G. (2013), S. 1.

<sup>17</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016b), S. 71.

<sup>18</sup> Vgl. Pawellek, G. (2013), S. 1.

<sup>19</sup> ÖVIA: Österreichische technisch-wissenschaftliche Vereinigung für Instandhaltung und Anlagenwirtschaft

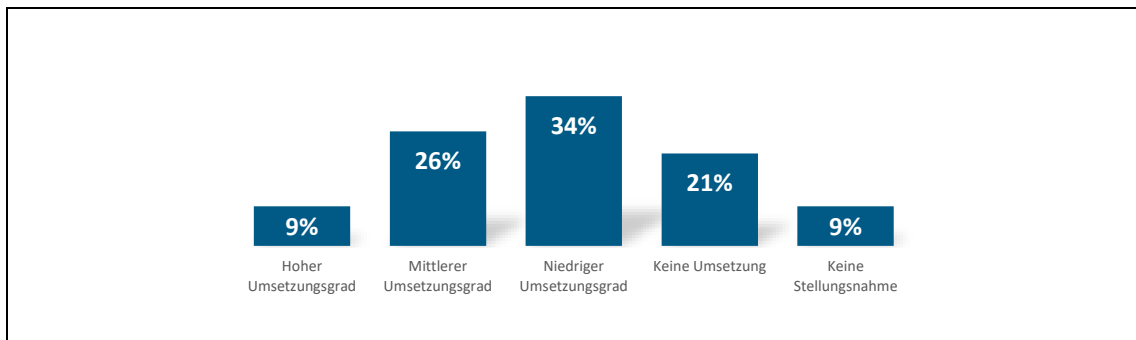
<sup>20</sup> Vgl. Kinz, A. (2018), S. 71.

<sup>21</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 170.

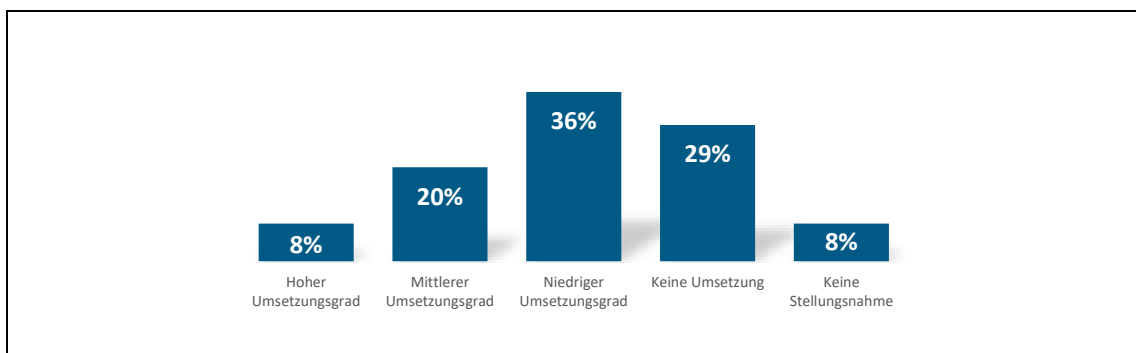
<sup>22</sup> Vgl. Gómez Fernández, J. F. et al. (2017), S. 4.

<sup>23</sup> Vgl. Gómez Fernández, J. F. et al. (2017), S. 1.; Martínez-Galán, P. et al. (2019), S. 2074.

(Abbildung 1 und Abbildung 2). Von den befragten 62 Unternehmen haben nur 35% eine Kritikalitätsbeurteilung implementiert, die in nur 28% der Fälle dynamisiert wurde.<sup>24</sup>

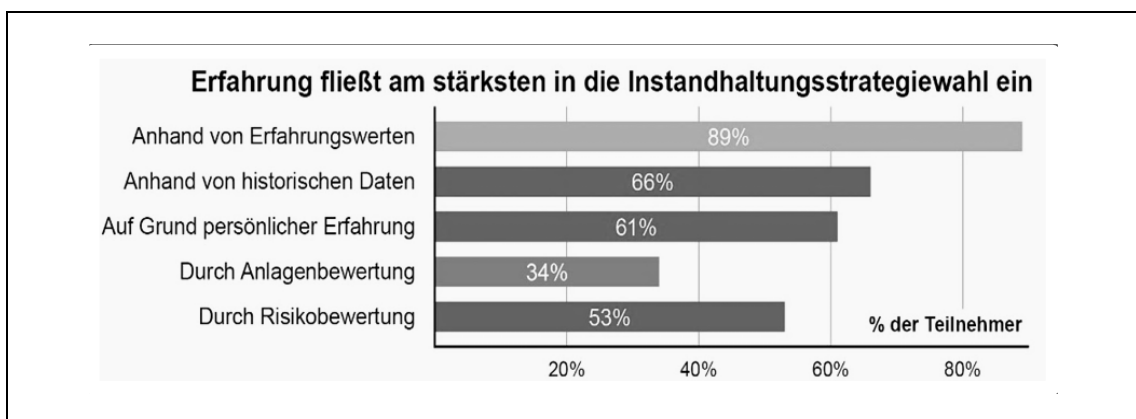


**Abbildung 1: Bestimmung der Anlagenkritikalität<sup>25</sup>**



**Abbildung 2: Dynamische Überprüfung / Anpassung des Kritikalitätslevels<sup>26</sup>**

Diese Ergebnisse decken sich mit denen der Benchmarkstudie der ÖVIA. Diese zeigen, dass die Instandhaltungsstrategiewahl nach wie vor ein subjektiver, auf Erfahrungswissen basierender, nicht standardisierter Prozess ist<sup>27</sup> und nur 34% der befragten Unternehmen eine Anlagenbewertung als Grundlage der Strategiewahl nutzen (Abbildung 3).<sup>28</sup>



**Abbildung 3: Ergebnisse der Benchmarkstudie zur Wahl der Instandhaltungsstrategie<sup>29</sup>**

<sup>24</sup> Vgl. Gopalakrishnan, M. et al. (2015), S. 482.

<sup>25</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Gopalakrishnan, M. et al. (2015), S. 482.

<sup>26</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Gopalakrishnan, M. et al. (2015), S. 482

<sup>27</sup> Vgl. Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016); Gopalakrishnan, M. et al. (2019), S. 859.

<sup>28</sup> Vgl. Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 371.; Kinz, A. (2018), S. 71.

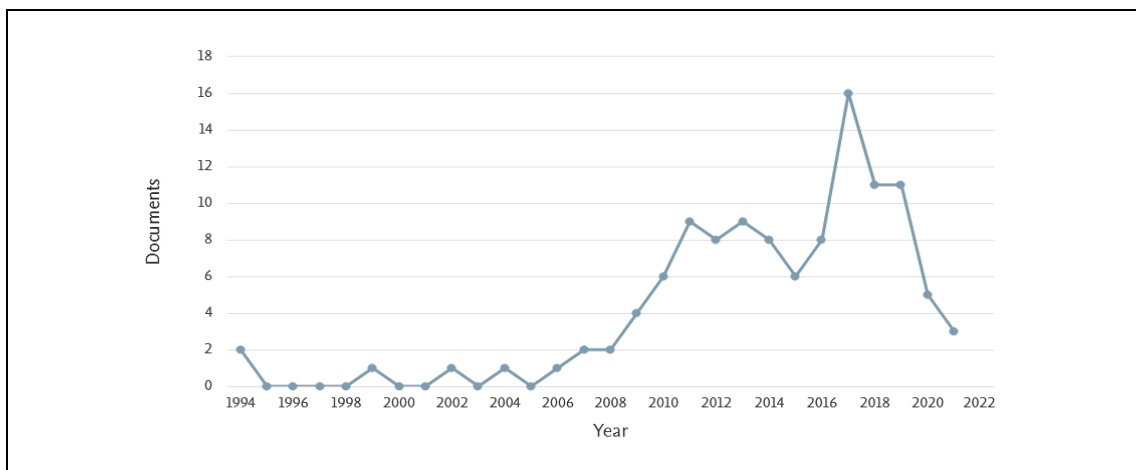
<sup>29</sup> Quelle: Kinz, A. (2018). S. 71.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Vorteile der Implementierung einer dynamischen Instandhaltungsstrategie Unternehmen noch nicht bekannt sind bzw. das Methodenwissen auf diesem Gebiet zur systematischen Durchführung nicht vorhanden ist.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Wichtigkeit der anlagenspezifischen, dynamischen und systematischen Instandhaltungsstrategiefestlegung Unternehmen nach wie vor nicht bewusst ist, und geeignete Methoden für eine transparente und weitestgehend objektive, datenbasierte Bewertung fehlen.<sup>30</sup>

## 1.2 Stand der Wissenschaft und Problemstellung

Im Zuge dieser Dissertation wurde eine systematische Literaturanalyse nach TRANFIELD ET AL. in Scopus und Web of Science, um die Forschungslücke zu bekräftigen, durchgeführt<sup>31</sup> (siehe Abschnitt 4.4.). Die Auswertung der Veröffentlichungen auf Scopus zeigt, dass sich ein Anstieg in der Veröffentlichungszahl von 2006 bis 2017 verzeichnen ließ, jedoch dieser in den letzten Jahren zurückgegangen ist (Abbildung 4). Insgesamt sind wenige Veröffentlichungen zu diesem Thema bis dato verfasst worden.



**Abbildung 4: Auswertung der Veröffentlichungen in Scopus zum Thema „Criticality Analysis“ in Kombination mit Asset Management oder Maintenance<sup>32</sup>**

Ein Manko, der in der Literatur genannten Vorgehensweisen ist, dass meist die Instandhaltung per se und deren Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der Anlage beleuchtet werden, aber Faktoren wie Datenqualität, produktionsrelevante, unternehmensspezifische und marktseitige Einflussfaktoren außer Acht gelassen werden, wie in den Arbeiten von ADAMS, BHARADWAJ und MÁRQUEZ gezeigt wird.<sup>33</sup>

<sup>30</sup> Vgl. Westkämper, E. et al. (1998), S. 1.; Ragnitz, J. (2020), S. 25.

<sup>31</sup> Die systematische Literaturanalyse wurde in KW 45-48 2021 durchgeführt

<sup>32</sup> Quelle: <https://www.scopus.com>; Systematische Literaturrecherche zu "Criticality and analysis" and "Asset Management or Maintenance". Der Link zur Suchabfrage ist im Literaturverzeichnis zu finden. (Zugriff: 25.11.2021)

<sup>33</sup> Vgl. Adams, J. (2016), S. 103 f., Bharadwaj, U. (2012), S. 418 f., Márquez, C. et al. (2016), S. 519 ff.

Der für die Bewertung relevante Konnex zum strategischen Management fehlt gänzlich. Meist stehen die drei Kriterien (Schadensausmaß, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit) für die Bewertung im Vordergrund<sup>34</sup> und zuverlässigkeitsrelevante Aspekte, wie beispielsweise ökonomische und sicherheitsrelevante Themen, werden nicht beachtet. Eine ganzheitliche Betrachtung der Organisation und aller Inputfaktoren auf die Instandhaltung durch Integration in die Kritikalitätsbeurteilung werden nicht adressiert. Teilweise werden die Bewertungskriterien um Sicherheitsaspekte<sup>35</sup>, Kostenkriterien<sup>36</sup> und Umwelt- und Umfeld<sup>37</sup> sowie Qualitätskriterien<sup>38</sup> erweitert, jedoch ist keine Systematik erkennbar. Es gibt Methoden, die sich rein auf die Bewertung des Schadensausmaßes und dessen Auswirkung anhand von Kriterien beschränken.<sup>39</sup>

Diese Punkte spiegeln ein Problem der in der Literatur beschriebenen Methoden zur Kritikalitätsbeurteilung wider. Die beschriebenen Kritikalitätsbeurteilungsmodelle haben einen Kriterienkatalog mit unzureichender Anzahl an Bewertungsdimensionen, die der Komplexität der Assets als Markterfolgswert, wie das Gesetz von Ashby verlangt, gerecht werden würden. Folgend ist die Anzahl an Kriterien begrenzt, um die Implementierung aber auch den Bewertungsaufwand in Grenzen zu halten<sup>40</sup>, da kein Abgleich mit der vorhandenen Datenqualität und -verfügbarkeit erfolgt. Die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse sind deckungsgleich mit denen der betrieblichen Praxis. In der Praxis fehlt eine systematische, dynamische Bewertung gänzlich. Die Instandhaltungsverantwortlichen identifizieren die Schwerpunktanlagen auf Grund von Erfahrungswissen oder ungenügender Verfügbarkeitswerte oder einer hohen Anzahl an Störungen, jedoch nicht durch eine umfassende Bewertung. Diese subjektive Bewertung der Mitarbeiter ist meist mit anderen Bereichen schwer vergleichbar, was einen wesentlichen Nachteil darstellt. Weiters wird bei der Bewertung kein allgemeiner Kriterienkatalog im Kontext der Unternehmenspolitik und der Markterfolgswertfaktoren herangezogen.<sup>41</sup> Folgend handelt es sich bei der angewandten Instandhaltungsstrategie meist um eine statische. Es erfolgt somit keine dynamische Anpassung auf Basis der Risikostellung der bewerteten Anlagen.

Weitere Methoden, die zur Fehleranalyse und Identifikation kritischer Anlagen angewandt werden, sind Checklisten, ABC-Klassifikation, Fehlerbaumanalyse (FTA),

---

<sup>34</sup> Vgl. Braglia, M. et al. (2003), S. 508, Adams, J. et al. (2016), S. 103.

<sup>35</sup> Siehe hierzu für die Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung stellvertretend: Pujadas, W.; Frank Chen, F. (1996); Bevilacqua, M.; Braglia, M. (2000); Savino, M. et al. (2011); Chattopadhyaya, P. K. et al. (2017); Konstantinou, E. et al. (2019); Passath, T.; Mertens, K. (2019); Passath, T. et al. (2020b)

<sup>36</sup> Siehe hierzu für die Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung stellvertretend: Zammori, F.; Gabbrielli, R. (2012); Chattopadhyaya, P. K. et al. (2017); Gupta, G.; Mishra, R. P. (2018); Bakhat, R.; Rajaa, M. (2020); Passath, T. et al. (2020a); Yang, Z. et al. (2021)

<sup>37</sup> Siehe hierzu für die Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung stellvertretend: Piratla, K. R.; Ariaratnam, S. T. (2011); Mikkonen, H.; Lahdelma, S. (2012); Hammad, D. et al. (2014); Bevilacqua, M. et al. (2016); Passath, T. et al. (2020a)

<sup>38</sup> Siehe hierzu für die Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung stellvertretend: Parajes, J. S. et al. (2018); Khaira, A.; Dwivedi, R. (2019); Passath, T.; Mertens, K. (2019); Al-Hourani, S. (2020); Yang, Z. et al. (2021)

<sup>39</sup> Vgl. Martínez-Galán, P. et al. (2019), S. 2074.

<sup>40</sup> Vgl. Martínez-Galán, P. et al. (2019), S. 2074.

<sup>41</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 168.

Event Tree Analysen (ETA), Prozessanalysen, Analytical Hierachy Process (AHP), Fuzzy-Analysen, Weibullanalysen, sowie Methoden der multikriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDM).<sup>42</sup>

All diesen Methoden ist gemeinsam, dass sie großteils erfahrungsbasiert und von der Datenqualität unabhängig verwendet werden, was die Ergebnisse schwer vergleichbar macht.<sup>43</sup> Des Weiteren wird beim Bedarf komplexitätsadäquater, unterschiedlicher Bewertungsmethoden nicht unterschieden. Aktuell erfolgt eine Unterscheidung in quantitative und qualitative Bewertungsmethoden. Ein Problem bei der Auswahl der Bewertungsmethoden ist, dass diese meist nicht über die klassische Sicht der Instandhaltung und deren wichtigsten Einflussgrößen hinausgehen. Umso wichtiger ist es ein Modell zu entwickeln, das diese Lücke schließt, die Anlage und deren strategische Bedeutung durch Bewertung des Technologiealters, der Marktstellung und Flexibilitätsbedarfe, um einige Faktoren zu nennen, zu betrachten. Dadurch ist es möglich strategierelevante Kriterien in die Beurteilung mit aufzunehmen.

Ein weiteres Beispiel ist die Kritikalitätsbeurteilung nach KINZ, auf welche das im Zuge der Dissertation entwickelte Modell aufbaut. Diese Methodik streicht die Wichtigkeit der Dynamisierung erstmalig heraus, jedoch ist hier die Kriterienauswahl ein erfahrungsbasierter, statischer und unstrukturierter Prozess<sup>44</sup>. Weiters wird eine Vorgehensweise unabhängig von der Datenqualität und Komplexität der Betrachtungseinheit vorgegeben. Das Hauptproblem dieser Bewertungsmethodik ist die nichtvorhandene systematische Ableitung der Kriterien aus den Marktanforderungen sowie der Unternehmensphilosophie und die fehlende Betrachtung der Datenreife bei der Auswahl der Bewertungsmethodik.

Keines der betrachteten Modelle basierend auf der Literaturanalyse leitet systematisch aus der Unternehmensphilosophie, den Marktanforderungen und der Marktstellung Kriterien ab, um eine ganzheitliche Betrachtung der Organisation und all ihrer Einflussfaktoren auf das Anlagenverhalten zu erhalten.<sup>45</sup> Die Kriterienauswahl erfolgt, wenn zusätzliche Kriterien zu den Standardkriterien einer FMEA verwendet werden, meist erfahrungsbasiert, ist aufwändig und in den seltensten Fällen standardisiert.<sup>46</sup>

Die Datenqualität ist bei der Auswahl der Bewertungsmethodik in den betrachteten Quellen nicht von Relevanz. Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass es aktuell kein Modell gibt, dass basierend auf der Datenqualität in Bezugnahme auf die Komplexität der Betrachtungseinheit eine geeignete Bewertungsmethodik vorgibt, um den Entscheidungsprozess zu beschleunigen und menschliche Fehlentscheidung durch Vorgabe von Standards und Zuhilfenahme von Anlagendaten für den Bewertungsprozess zu reduzieren. Der Bedarf solch einer einfach anwendbaren,

---

<sup>42</sup> Siehe hierzu stellvertretend für die Anwendung der beschriebenen Methoden im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung: Braglia, M. (2000); Crespo Marquez, A. et al. (2009); Mikkonen, H.; Lahdelma, S. (2012); Carpitella, S. et al. (2018); Gupta, G.; Mishra, R. P. (2018); Silvia, C. et al. (2018); Passath, T.; Mertens, K. (2019); Bakhat, R.; Rajaa, M. (2020); Yang, Z. et al. (2021)

<sup>43</sup> Vgl. Márquez, A.C. (2007), S.108.

<sup>44</sup> Vgl. Adams, J. et al. (2016), S. 104; Passath, T. (2019), S. 370, Helbig, C. et al. (2016), S.13.

<sup>45</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984), S. 329; Braglia, M. et al. (2003), S. 503; Bardmann, M. (2014), S. 413.

<sup>46</sup> Vgl. Braglia, M. et al. (2003), S. 504 f.; Anderson, D. et al. (2008), S. 115; Passath, T. (2019)



quantitativen Bewertungsmethodik ist in der Literatur festgehalten, jedoch noch nicht existent.<sup>47</sup>

Der Bedarf einer risikobasierten Instandhaltung und Kritikalitätsbeurteilung steigt, da sich die risikoorientierte Denkweise in der Praxis immer mehr etabliert, vor allem in Anbetracht der über die letzten Jahre herrschenden Corona Pandemie und der daraus resultierenden Anforderungen an eine immer flexibler werdende Produktion<sup>48</sup>. Weiters gewinnt das Asset Managements, zur langfristigen Schaffung und Erhaltung von Vermögenswerten über alle Lebenszyklusphasen der Anlagen immer mehr an Bedeutung<sup>49</sup>. Kosten und Risiko zu minimieren, Aspekte der Arbeitssicherheit und Umwelt mitzubetrachten und dementsprechend eine ressourceneffiziente Anlagenbewirtschaftung zu ermöglichen, ist das übergeordnete Ziel einer risikoorientierten Instandhaltung. Auch in den gängigen Normen, wie der ISO 9001:2015, ISO 55000, PAS-55 ist dieser Gedanke verankert.<sup>50</sup> Diese Zielerreichung ist durch standardisierte, weitgehend objektive und wenn möglich datenbasierte Methoden als Basis zur gezielten Instandhaltungsstrategieoptimierung möglich. Einerseits um das Fachwissen mit Faktenwissen zu untermauern und durch das geeignete Methodenset eine ressourcenschonende Bewertung zu etablieren und andererseits durch gezielte Risikoreduktion langfristig die Effizienz und Effektivität der Instandhaltung durch transparentere Prozessführung und eine vorrauschauende und agile Bewertung zu steigern.<sup>51</sup>

Zusammenfassend wird festgehalten, dass aktuell vor allem im Schritt der Kriterienauswahl Forschungsbedarf gegeben ist. Hierbei ist der auf Erfahrungswissen basierende Prozess der Kriterienauswahl bzw. die unzureichende Anzahl an Dimensionen bei der Auswahl des Kriteriensets und der fehlende Konnex zur Unternehmensphilosophie und -strategie, sowie den Marktanforderungen herauszustreichen. Weiters ist der Bewertungsprozess kein dynamischer Prozess, sondern wird bedarfsorientiert in den meisten Fällen durchgeführt. Die Datenqualität und -verfügbarkeit werden bei der Kriterien- und Instrumentenauswahl unzureichend betrachtet. Somit kann daraus geschlossen werden, dass kein standardisiertes Vorgehensmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung auf Basis der vorhandenen Datenqualität,-verfügbarkeit und Komplexität der Betrachtungseinheit existiert, was den Forschungsbedarf auf diesem Gebiet widerspiegelt.

### 1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ziel des Dissertationsvorhabens ist die Entwicklung eines generischen Vorgehens- und Entscheidungsmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung als Basis der Instandhaltungsstrategieanpassung im Asset Management.

---

<sup>47</sup> Vgl. Von Petersdorff, H. (2014), S. 156.

<sup>48</sup> Vgl. Westkämper, E. et al. (1998), S. 1.; Ragnitz, J. (2020), S. 25.

<sup>49</sup> Vgl. Maier, H. et al. (2021), S. 29.

<sup>50</sup> Vgl. Pschierer-Barnfather, P.; Technology, E. (2011), S. 1, ISO 55000. (2014), S.3, PAS-55. (2008)

<sup>51</sup> Vgl. Healy, J. A. (2006), S. 145, Passath, T. et al. (2019), S.370 f.

Dieses Vorgehensmodell dient als Hilfestellung für die dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung für produzierende Unternehmen. Hierbei ist Auswahl der geeigneten Bewertungskriterien sowie der Bewertungsmethodik zur Kritikalitätsbeurteilung auf Basis der vorherrschenden Datenqualität und -verfügbarkeit sowie der Komplexität des betrachteten Unternehmens wesentlich. Das zu entwickelte Modell soll auf Basis der Produktions- und Instandhaltungstypologie sowie der Organisationscharakteristika und der strategischen Ausrichtung einerseits Kriterien für die Bewertung vorgeben und andererseits Instrumente zur Durchführung dieser auf Basis der vorhandenen Datenreife. Durch Vorgabe eines Instrumentensets je Komplexitätseinstufung basierend auf der vorhandenen Datenqualität und -verfügbarkeit für die Kritikalitätsbeurteilung, soll die Entscheidungsfindung erleichtert, menschliche Entscheidungen durch Daten untermauert und somit objektiviert und die Grundlage für eine anlagenspezifische, dynamische Strategieanpassung gelegt werden.

Aus diesem Vorhaben leitet sich folgende wissenschaftliche Hauptforschungsfrage ab:

**Wie sollte ein generisches Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung aufgebaut sein, das als Basis zur gezielten Ausfallkosten- und Risikoreduktion im Zuge der Instandhaltungsstrategieanpassung dient?**

Weitere Unterfragen, die daraus abgeleitet wurden, sind folgende:

- Was sind die Grundanforderungen an die Kritikalitätsbeurteilung von Produktionsanlagen und welche Einflussfaktoren wirken darauf ein?
- Wie können die wesentlichen Einflussfaktoren identifiziert und daraus Kriterien für die Kritikalitätsbeurteilung abgeleitet werden?
- Wie wird die Datenqualität und -verfügbarkeit in diesem Modell berücksichtigt?
- Welche Bewertungsmethodik ist bei welchem Produktionssystem/Komplexität der Assets mit Fokus auf die vorhandene Datenbasis anwendbar?
- Wie ist die marktstrategieabhängige Durchführungsfrequenz der Kritikalitätsbeurteilung ermittelbar?
- Welche Handlungsempfehlungen zur Entwicklung in Richtung dynamischer Kritikalitätsbeurteilung werden von dem Modell vorgegeben?
- Wie fließt das Ergebnis der Kritikalitätsbeurteilung in die dynamische IH-Strategieanpassung und somit in eine gezielte Ausfallkosten- und Risikoreduktion mit ein?

## 1.4 Forschungsmethodik

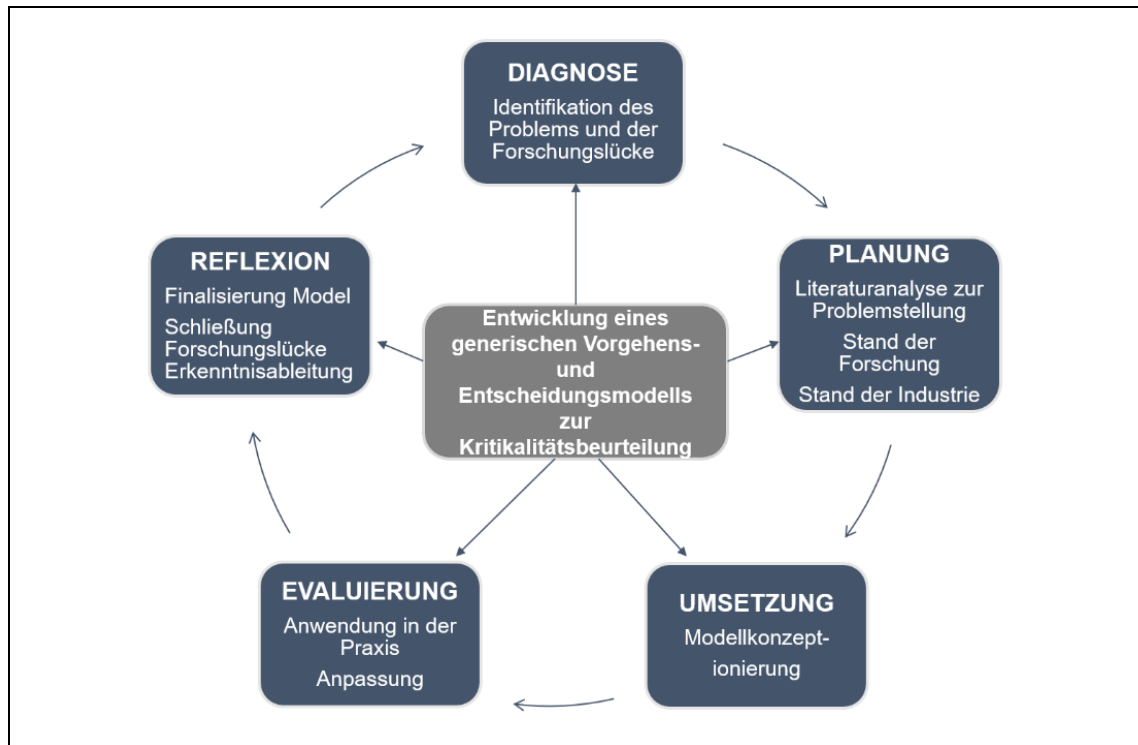
Das Verständnis der anwendungsorientierten Wissenschaft nach ULRICH<sup>52</sup> bildet die Basis dieser Dissertation. Das Ziel der Forschungstätigkeit ist die Lösung eines aus der Praxis identifizierten Problems. Basierend auf den Grundlagenwissenschaften sowie theoretischen Wissenschaften sollen Modelle, Regeln und Verfahren für die Praxis

---

<sup>52</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Ulrich, H. (1982)

entwickelt werden, die auf die Anwendbarkeit und nicht auf die Identifikation von Gesetzmäßigkeiten abzielen.<sup>53</sup>

Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung wurde mittels eines induktiv-deduktiven Forschungsansatzes, gemäß des Action Research Ansatz nach SUSMAN und EVERED<sup>54</sup>, entwickelt (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Darstellung des Forschungsvorhabens anhand des Action Research Ansatzes<sup>55</sup>**

Auf Basis einer deduktiven, systematischen Literaturrecherche nach TRANFIELD ET AL.<sup>56</sup> wurden ein Modellentwurf entwickelt, welcher durch die Erkenntnisse aus der Praxis bestätigt bzw. widerlegt und gegebenenfalls um praktische Erfahrungen erweitert wurde. Mittels Aktionsforschung wurde das im Zuge dieser Dissertation entwickelte Modell anhand dreier Anwendungsfälle verifiziert. Diese laufende Anwendung diente der Weiterentwicklung und Verifizierung der induktiv gewonnenen Erkenntnisse.

Die Aktionsforschung, welche auf LEWIN zurückgeht, erfordert unmittelbare Praxisrelevanz des Forschungsvorhabens und basiert auf folgenden drei Grundätzen:<sup>57</sup>

**Forscher und Beforschte sind gleichberechtigt**

Forscher und Beforschte arbeiten gleichermaßen zusammen<sup>58</sup>. Beide Parteien verfügen über Entscheidungsbefugnis. Weiters werden die Beforschten in die Analyse, Auswertung und Interpretation der Ergebnisse involviert.

<sup>53</sup> Vgl. Ulrich, H. (1982), S. 3 f.; Kromrey, H. (2009), S. 11 f.

<sup>54</sup> Für nähere Informationen siehe: Susman, G. I.; Evered, R. D. (1978)

<sup>55</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Susman, G. I.; Evered, R. D. (1978), S. 588.

<sup>56</sup> Für nähere Informationen siehe: Tranfield, D. et al. (2003). S. 214 ff.

<sup>57</sup> Vgl. Bortz, J.; Döring, N. (2006), S. 341 f.

<sup>58</sup> Vgl. Töpfer, A. (2012), S. 248.

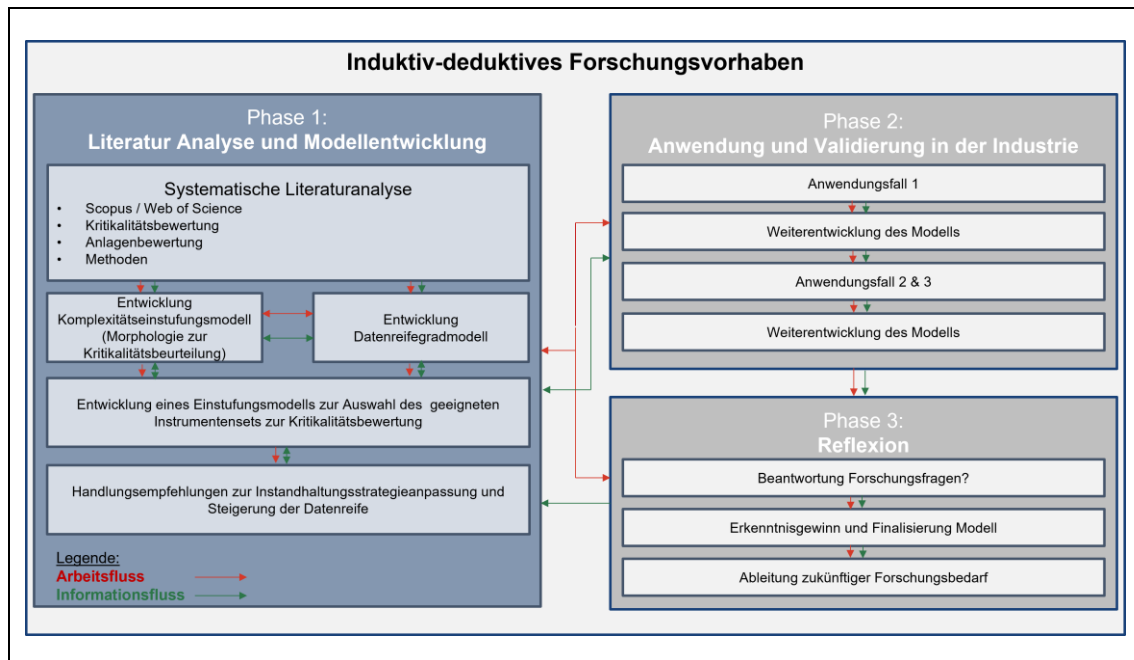
Untersuchungsthemen sind praxisbezogen und emanzipatorisch

Die Untersuchungsthemen sollen von praktischer Relevanz und nicht zu „theoretisch“ sein.

Der Forschungsprozess ist ein Lern- und Veränderungsprozess

Praxis und Forschung sollen ebenso, wie der Erkenntnisgewinn und die darauf basierenden Veränderungen Hand in Hand gehen, und nicht wie bei der angewandten Forschung üblich, nacheinander erfolgen. Dadurch, dass neue Erkenntnisse laufend in das Untersuchungsthema einfließen, stellt der Forschungsprozess einen kontinuierlichen Lern- und Veränderungsprozess dar.

Diese drei Grundsätze wurden auch im Zuge der Forschungsarbeit im Rahmen dieser Dissertation verfolgt. Abbildung 6 zeigt die forschungsmethodische Vorgehensweise, die im Zuge der Entwicklung des generischen Vorgehens- und Entscheidungsmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung, angewandt wurde.



**Abbildung 6: Forschungsmethodische Vorgehensweise<sup>59</sup>**

Das induktiv-deduktiv entwickelte Modell wurde im Zuge der praktischen Anwendung in der Industrie iterativ weiterentwickelt. In einer abschließenden kritischen Reflexion wurde das Modell auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse finalisiert. Die Validierung erfolgte anhand der bereits erwähnten drei Anwendungsfälle (siehe Kapitel 6).

**1.5 Aufbau der Arbeit**

Die Aufbereitung der in den Abschnitten 1.2. und 1.3 beschriebenen Problemstellung sowie der Forschungsfragen erfolgte anhand der in Abbildung 7 dargestellten Kapitelstruktur. Die Arbeit ist in sieben Kapitel unterteilt. Kapitel 1 bis 4 beschreiben die

<sup>59</sup> Quelle: Eigene Darstellung

theoretischen Grundlagen der Forschung. Kapitel 5 bis 7 handeln von der empirisch praktischen Anwendung.

|                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN</b>        | <b>Kapitel 1:<br/>Einleitung</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgangssituation</li> <li>• Stand der Wissenschaft und Problemstellung</li> <li>• Zielsetzung und Forschungsfragen</li> <li>• Forschungsmethodik</li> <li>• Aufbau der Arbeit</li> </ul>  |
|                                       | <b>Kapitel 2:<br/>Systemtheoretische Grundlagen</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelltheorie</li> <li>• Entscheidungstheorie</li> <li>• Vorgehensmodelle</li> <li>• Reifegradmodelle</li> <li>• Systemtheoretische Grundlagen</li> <li>• Controlling</li> </ul>   |
|                                       | <b>Kapitel 3:<br/>Grundlagen des Asset Managements</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition, Bedeutung Charakteristika des Asset Managements</li> <li>• Komplexität des Asset Managements</li> <li>• Strategisches Asset Management</li> <li>• Betriebliche Instandhaltung als Teilprozess des Asset Managements</li> </ul>       |
|                                       | <b>Kapitel 4:<br/>Risikosteuerung im Asset Management – Die Kritikalitätsbeurteilung</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Begriffsdefinition Kritikalität</li> <li>• Abgrenzung Kritikalität und Risiko</li> <li>• Kritikalitätsbeurteilung</li> <li>• Literaturbasierte Methoden zur Kritikalitätsbeurteilung</li> <li>• Dynamische Kritikalitätsbeurteilung</li> </ul>   |
| <b>EMPIRISCH-PRAKTISCHE ANWENDUNG</b> | <b>Kapitel 5:<br/>Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an das Modell</li> <li>• Verankerung des Modells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung im Asset Management</li> <li>• Aufbau des Modells</li> <li>• Systemabgrenzung</li> <li>• Prozess der Kritikalitätsbeurteilung</li> </ul> |
|                                       | <b>Kapitel 6:<br/>Praktische Fallstudien</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallstudie 1-3</li> <li>• Ausgangssituation und Zielsetzung</li> <li>• Vorgehensweise</li> <li>• Ergebnisse &amp; Schlussfolgerungen</li> </ul>  |
|                                       | <b>Kapitel 7:<br/>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenfassung</li> <li>• Kritische Würdigung</li> <li>• Ausblick</li> </ul>  |

**Abbildung 7: Aufbau der Arbeit<sup>60</sup>**

*Kapitel 1* umfasst die der Arbeit zu Grunde liegende Ausgangssituation, den Stand der Wissenschaft und die Problemstellung. Für die auf Basis der Literatur abgeleitete Forschungslücke werden die Zielsetzung und die dazugehörigen Forschungsfragen definiert, sowie das zur Beantwortung dieser, relevante forschungsmethodische Vorgehen beschrieben.

*Kapitel 2* beschreibt, die für diese Forschung relevanten wissenschaftstheoretischen Grundlagen. Hierzu werden die Modell- und die Entscheidungstheorie sowie die Theorie zu Vorgehens-, Entscheidungs- und Reifegradmodellen im Detail erläutert. Weiters wird die dieser Arbeit zu Grunde liegende Systemtheorie, die Managementkonzepte und das Controlling für die Erfolgsüberprüfung der Kritikalitätsbeurteilung beschrieben.

*Kapitel 3* beinhaltet die theoretischen Grundlagen des Asset Managements mit Fokus auf die Nutzungsphase von Anlagen und des anlagenbezogenen Risikomanagements. Nach einer einleitenden Definition werden die Charakteristika, die Bedeutung und die

<sup>60</sup> Quelle: Eigene Darstellung

Komplexität des Asset Managements beschrieben. Es folgt die Erläuterung des strategischen Asset Managements, der Wichtigkeit strategischer Erfolgsfaktoren und des Zielsystems. Weiters wird diesem Kapitel die Verankerung des Risikogedankens im Asset Management behandelt und auf den Prozess des Risikomanagements, der für die Kritikalitätsbeurteilung von Relevanz ist, eingegangen und die unterschiedlichen Anlagenrisiken beschrieben. Daraus abgeleitet werden risikobehaftete Instandhaltungsphilosophien sowie die dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung, die wesentlich für die Umsetzung der Maßnahmen zur Kostenminimierung und Zuverlässigkeitssteigerung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung sind, beschrieben.

*Kapitel 4* umfasst die theoretischen Grundlagen der Kritikalitätsbeurteilung. Nach der der Abgrenzung von Kritikalität und Risiko und der Begriffsdefinition, werden die theoretischen Grundlagen der Kritikalitätsbeurteilung, deren Vorteile sowie die damit verbundenen Entscheidungssituationen, im Speziellen die multikriteriellen Entscheidungsmodelle, im Detail erläutert. Darüber hinaus werden aktuell vorherrschende Ansätze der Bewertung beschrieben. Diese Ansätze wurden anhand einer systematischen Literaturanalyse erhoben. Abschließend wird auf die Wichtigkeit der Datenqualität und -verfügbarkeit für die dynamische Kritikalitätsbeurteilung eingegangen.

*Kapitel 5*, das Kernstück dieser Arbeit, umfasst das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung. Die in den vorherigen Kapiteln erläuterten Aspekte werden in diesem Modell zusammengeführt. Nach einer Beschreibung der Anforderungen an das Modell, der Verankerung des Modells im Asset Management sowie des Aufbaus und der Abgrenzung, erfolgt die Erläuterung der inhaltlichen Ausgestaltung. Weiters werden die zentralen Prozessschritte der Kritikalitätsbeurteilung im Detail aufgezeigt.

*Kapitel 6* beschreibt die Anwendung des Modells anhand von drei Industriefallstudien. Je Fallstudie werden die Ausgangssituation, die Zielsetzung und das Vorgehen erläutert, sowie die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse vorgestellt.

*Kapitel 7* rundet die Arbeit mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse, der Bezugnahme auf die Beantwortung der Forschungsfragen, sowie dem Aufzeigen des weiteren Forschungsbedarfs auf diesem Gebiet ab.

## 2 Wissenschaftstheoretische Grundlagen

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines generischen Vorgehens- und Entscheidungsmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung in Form eines Einstufungsmodells. Wesentlich ist hierbei sich mit den theoretischen Grundlagen zur Modelltheorie und in weiterer Folge mit Vorgehens-, Entscheidungs- und Reifegradmodellen sowie der Systemtheorie und den relevanten Managementkonzepten und dem Controlling auseinanderzusetzen.

### 2.1 Modelltheorie

Die Modelltheorie als Teil der Integrationswissenschaften, deren Aufgabe in der abstrakten Beschreibung von widersprüchlichen Forschungsergebnissen liegt und dadurch einen Wissenstransfer ermöglicht, hat sich aus der Systemtheorie und der Kybernetik entwickelt. Unter der allgemeinen Modelltheorie wird die Untersuchung von formalen Strukturen der Modelle verstanden, die voraussetzt, dass Gegenstände und Vorgänge selbst formalisiert werden. Das heißt in weiterer Folge, dass dieses formale Modell von der „Welt“ aufgestellt wird.<sup>61</sup>

Im Folgenden wird auf den Modellbegriff, sowie auf die allgemeingültigen Merkmale von Modellen und deren Klassifizierung eingegangen.

#### 2.1.1 Der allgemeine Modellbegriff

Der Modellbegriff ist ein breitgefächerter und über weite Verwendungsbereiche eingesetzter. Dementsprechend wird der Begriff „Modell“ in verschiedenen Wissenschaftsbereichen mit unterschiedlichen inhaltlichen Bedeutungen eingesetzt, wie auch STOFF mit seinem Postulat „würde man nun aber verschiedenen Wissenschaftlern die Frage stellen, was eigentlich ein Modell ist, so würde man kaum übereinstimmende Antworten erhalten“<sup>62</sup>, bestätigte.<sup>63</sup> Gemäß PROESLER sind Modelle „nichts anderes als ein Mittel, um sich an die wirtschaftliche Wirklichkeit heranzutasten. Sie sind gewissermaßen Bilder, um eben diese Wichtigkeit zu begreifen. Die konkrete wirtschaftliche Situation ist von mancherlei Einflüssen beherrscht, und manche Tatbestände sind durch andere überdeckt oder verdeckt. Diese Einflüsse zu eliminieren, um einen Tatbestand rein darzustellen, ist die Aufgabe von Modellen.“<sup>64</sup>

Zusammenfassend wird festgehalten, dass es sich bei Modellen um das Ergebnis einer vereinfachten Abbildung eines konkreten Sachverhaltes bzw. der Realität handelt. Zu dessen Erzeugung ein Abstraktionsprozess durchlaufen werden muss, der die wesentlichen Merkmale bzw. Eigenschaften des zu beschreibenden Artefakts umfasst,

---

<sup>61</sup> Vgl. Schneider, B. (1984), S. 333 ff.

<sup>62</sup> Stoff, V. A. (1969), S. 17.

<sup>63</sup> Vgl. Peters, W. (1998), S. 17.

<sup>64</sup> Proesler, H. (1956), S. 37.

um eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit mit dem Modell zu erzeugen.<sup>65</sup> Gemäß STACHOWIAK ist dieser Abbildungsprozess die Grundlage für einen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn.<sup>66</sup> In diesem Abbildungsprozess sind eine endliche Anzahl an Attributen, aus denen das Modell zusammengesetzt ist enthalten, die entweder informell oder formell beschrieben werden, sowie als Abkürzung formuliert sind, aber auch Fachausdrücke enthalten können.<sup>67</sup> Somit sind Modelle ein Abbild der Realität, die sich an bestimmten Anforderungen orientieren und dementsprechend nie allumfassend sein können.

### 2.1.2 Eigenschaften von Modellen

Die unterschiedlichen Arten von Modellen der wissenschaftlichen Disziplin werden gemäß der allgemeinen Modelltheorie nach folgenden drei Hauptmerkmalen charakterisiert:<sup>68</sup>

- Abbildungsmerkmale (Jedes Modell ist Abbild oder Vorbild)
- Verkürzungsmerkmal (Jedes Modell abstrahiert)
- Pragmatisches Merkmal (Jedes Modell wird im Hinblick auf einen Verwendungszweck geschaffen)

Im Folgenden werden die drei Hauptmerkmale im Detail beschrieben.

#### Abbildungsmerkmale

„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“<sup>69</sup> Originale sind gemäß STACHOWIAK<sup>70</sup> auf natürliche oder künstlerische Weise entstanden oder durch die Anwendung technischer Verfahren geschaffen worden.<sup>71</sup> Sie können verschiedenste Formen von rein gedanklichen Konstrukten bis hin zu Symbolen, Begriffen oder auch physische Gestalt annehmen. Somit bildet der Abbildungsgegenstand, der auf materieller oder energetischer Basis basiert, raumzeitliche und räumliche Konfigurationen ab.<sup>72</sup> Das Original wird bei der Modellierung einzelner Prozesse stets zur physischen Wirklichkeit gezählt. Ein Original und das dazugehörige Modell ist somit die Menge an Eigenschaften, wie dessen Abbildung die Zuordnung von den Originaleigenschaften zu den Modelleigenschaften ist.<sup>73</sup> Ein Beispiel für ein soziales, technisches bzw. sozio-technisches Originalsystem ist ein Unternehmen samt seinen Mitarbeitern und seinem Anlagenpark. Somit stellt das Abbildungsmerkmal die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen dem Originalobjekt und dem Modell dar<sup>74</sup>, welches die Individuen und Attribute des Originals auf das Modell überträgt.<sup>75</sup>

---

<sup>65</sup> Vgl. Ninck, A. et al. (1998), S. 29; zitiert nach: Bernerstätter, R. (2019), S. 9.

<sup>66</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1980), S. 53.

<sup>67</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1992), S. 219 f.

<sup>68</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 131.; Glinz, M. (2005), S. 5.

<sup>69</sup> Stachowiak, H. (1973), S. 131.

<sup>70</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 131.

<sup>71</sup> Vgl. Peters, W. (1998), S. 24.

<sup>72</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 131; Peters, W. (1998), S. 24 f.

<sup>73</sup> Vgl. Schmidt, B. (1985), S. 28.

<sup>74</sup> Vgl. Töllner, A. et al. (2010), S. 8.

<sup>75</sup> Vgl. Glinz, M. (2005), S. 8.



### Verknüpfungsmerkmal

„Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant erscheinen.“<sup>76</sup> Um die Verknüpfung des Originals mit dem Modell zu bestimmen und in weiterer Folge das Modell zu erstellen, ist die Kenntnis über alle Eigenschaften und Beziehungen und Symbole des Originals aber auch des Modells wesentlich.<sup>77</sup> Das erfolgt im Zuge eines systematischen Vergleichs.<sup>78</sup> Dadurch gelingt es wesentliche Attribute, die für die Modellbildung wichtig sind herauszukristallisieren und die Irrelevanten zu vernachlässigen.<sup>79</sup> Um die Relevanz von Attributen festzulegen, muss der Zweck der Modellerstellung im Vorfeld abgeklärt worden sein, was die Verbindung zur pragmatischen Betrachtungsdimension darstellt.<sup>80</sup> Dieses Modell kann sowohl technische oder organisatorische Prozessabläufe, Produktionsverfahren aber auch finanzielle Ströme umfassen.<sup>81</sup>

### Pragmatisches Merkmal

„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“<sup>82</sup> Modelle sind somit ein Abbild nicht nur von etwas, sondern auch für etwas und für jemanden. Das heißt in weiterer Folge, dass Modelle immer für bestimmte Zwecke auf eine bestimmte Zielsetzung hin und für eine bestimmte Zeit entwickelt werden.<sup>83</sup> Somit müssen für eine erfolgreiche Modellerstellung die Fragen für **wen** wurde es entwickelt und **wann** und **wozu** es aufgebaut wurde, beantwortet werden.<sup>84</sup>

Die drei soeben beschriebenen Merkmalstypen sind vor allem für Modelle der Betriebswirtschaftslehre und der Ingenieurwissenschaften von großer Bedeutung und sind bei allen Modellen inhärent.<sup>85</sup>

Anschließend wird auf den Prozess der Modellentwicklung und -analyse eingegangen.

### 2.1.3 Prozess der Modellentwicklung und -analyse

Der Prozess der Modellentwicklung ist wichtig für den Erfolg eines Modells. Der Prozess ist in fünf Schritte unterteilt bevor die Implementierung erfolgt.

Der erste Schritt des Modellbildungsprozesses dient der Identifikation und Eingrenzung des zu lösenden Problems, im Falle dieser Dissertation die Entwicklung eines generischen Modells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung (siehe Kapitel 5). Da

<sup>76</sup> Stachowiak, H. (1973), S. 132.

<sup>77</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 132.

<sup>78</sup> Vgl. Peters, W. (1998), S. 24

<sup>79</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 10.

<sup>80</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 132.

<sup>81</sup> Töllner, A. et al. (2010)

<sup>82</sup> Stachowiak, H. (1973), S. 132.

<sup>83</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 132.; Peters, W. (1998), S. 25.; Bernerstätter, R. (2019), S. 10.

<sup>84</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 133.; Peters, W. (1998), S. 25.

<sup>85</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 132 ff.

unternehmerische Probleme meist durch einen hohen Komplexitätsgrad gekennzeichnet sind, ist die Entwirrung des Systemkomplexes ausschlaggebend, um ein geeignetes Modell für die vorliegende Problemstellung zu entwerfen. Sobald das eigentliche Problem identifiziert wurde, erfolgt die systematische Eingrenzung, sodass ein klar definierter Realitätsausschnitt entsteht.<sup>86</sup>

Im zweiten Schritt werden Realitätsausschnitte qualitativ beschrieben, in dem die relevanten Eigenschaften und Elemente sowie deren Beziehungen untereinander analysiert werden. Für deren Beschreibung eignet sich die Terminologie des Systemansatzes, welcher Systemelemente, dazugehörige Attribute und Beziehung erfasst.<sup>87</sup>

Der dritte Schritt umfasst die eigentliche Konstruktion des Modells und stellt den entscheidenden Schritt dar. Er umfasst die Formulierung von Modellprämissen, die Angaben zu den einzelnen Modellparametern bis hin zur Quantifizierung der Beziehungen und der Darstellung der Nebenbedingungen sowie die Vorgaben von Zielsetzung und Zielfunktion.<sup>88</sup>

Im anschließenden Schritt, der Modellanalyse, wird die Lösungsmethode entwickelt und ausgewählt, notwendige Daten beschaffen und aufbereitet, sowie die Berechnung des Modells durchgeführt. Einen wesentlichen Schritt bildet die Datenerfassung und -analyse, um quantifizierbare Modellparameter zu bekommen. Sie ist wesentlich für den gesamten Prozess der Modellentwicklung und für die Auswahl der geeigneten Bewertungsmethode zur Kritikalitätsbeurteilung bzw. inwieweit eine Automatisierung der Bewertung möglich ist. Meist werden unternehmensinterne, aber auch externe Daten bei der Gestaltung des Modells berücksichtigt.

Den letzten Schritt vor der Implementierung des Modells, stellt die Modellvalidierung dar. Dieser Prozessschritt dient zur Untersuchung, inwiefern das entwickelte Modell zur Bearbeitung des ermittelten Realitätsschnittes geeignet ist und wie weit es das zugrunde liegende Problem löst. Das wurde anhand von drei Anwendungsfällen im Zuge dieser Dissertation (siehe Kapitel 6) belegt. Bei positiver Beurteilung des Modells erfolgt im nächsten Schritt die Implementierung. Hingegen müssen bei einer negativen Beurteilung vor allem die Schritte Konstruktion und Analyse erneut durchlaufen, das Modell überarbeitet und etwaige Fehler behoben werden, was durch den gewählten Forschungsansatz (siehe Abschnitt 1.4) erreicht wurde.<sup>89</sup>

Nachfolgend wird auf die Modellklassifizierung und die gängigen betriebswirtschaftlichen Modelle näher eingegangen.

#### **2.1.4 Modellklassifizierung**

Modelle werden nach unterschiedlichen Gesichtspunkten und abhängig von der Forschungsdisziplin eingeteilt.<sup>90</sup> Diese Heterogenität der Modelle ist durch die diverse

---

<sup>86</sup> Vgl. Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 23f.; Homburg, C. (2000), S. 36 ff.; Hruby, J.; Hanke, T. (2014), S. 21

<sup>87</sup> Vgl. Homburg, C. (1998), S. 37f.; Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 23 f.

<sup>88</sup> Vgl. Homburg, C. (1998), S. 38; Homburg, C. (2000), S. 36 ff.

<sup>89</sup> Vgl. Homburg, C. (1998), S. 39.

<sup>90</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 10.

Fragestellung der Forschungsgebiete, die verschiedenste Sichtweisen fordern, begründet. Bei Modellen, die keinem konkreten Wissenschaftsgebiet zuzuordnen sind, rein generische Modelle, unterscheidet STACHOWIAK graphische, technische, semantische und semantisch-scientifische Modelle. Ein weiterer Verfechter der generischen Ansicht war TROITZSCH. Er beschreibt die Modellbildung als eine Abbildung aus dem Urbildbereich in den Bildbereich.<sup>91</sup> Er unterscheidet zwischen real, ikonischen- und verbal-Modellen. Ein Nachteil dieser Einteilung, ist gleich der von STACHOWIAK, die ineinander übergehenden Grenzen.<sup>92</sup>

Eine weitere Modellklassifikation wurde von GAL und GEHRING durchgeführt. Sie unterscheiden nach dem Kriterium der „Materialisation“. Hierbei wurde zwischen realen und unrealen Systemen unterschieden. Irreale Systeme sind sprachliche Gebilde, insbesondere mathematische bzw. verbal-sprachliche Modelle wie beispielsweise ein Zahlensystem. Hingegen sind reale Systeme Gebilde zum Beispiel ein Unternehmen.<sup>93</sup> Ausgehend von den drei Materialisationsformen sind neun Original-Modellzuordnungen zu differenzieren (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Zuordnung zwischen Originalsystem und Modell<sup>94</sup>**

| Originalsystem             |                            | Reales System   | Ideell-sprachliche Systeme  |   |
|----------------------------|----------------------------|---|---|---|
| Modell                     |                            |   | Verbal-sprachliche System   | Mathematisches System   |
| Reales System              |                            | Maßstabgetreue Nachbildung eines Objekts (z.B. Automodell)  | Schöpfung eines Kunstgegenstandes aufgrund eines verbalen Stimmungsbildes                         | Technische Realisierung einer logischen Funktion durch eine elektronische Schaltung |
| Ideell-sprachliches System | Verbal-sprachliches System | Verbales, ökonomisches Modell eines Realitätsausschnitts (z.B. Erklärungsmodell für das Zusammenwirken von strategischen Erfolgsfaktoren) | Untersuchung der Isomorphie zweier inhaltlich verschiedener, verbal dargestellter Theorien        | Inhaltliche Deutung eines Axiomensystems  |
|                            | Mathematisches System      | Mathematisches, ökonomisches Modell eines Realitätsausschnitts (z.B. Optimierungsmodell)  | Entwicklung eines mathematischen Entscheidungsmodells aufgrund einer verbalen Problembeschreibung | Ableitung mathematischer Aussagen aus einem Axiomensystem                           |

Wesentliche Gemeinsamkeit der beschriebenen Modellklassifikationen ist, dass die Modelle ohne Beschränkung auf das Einsatzfeld bzw. der Zielerreichung erstellt werden. Der Nachteil in solch einer allgemeinen Betrachtung liegt in der hohen Abstraktion der Gliederung, welche den Nutzen der Anwendung für betriebswirtschaftliche Entscheidungen und deren Modelle, die nachfolgend erläutert werden, begrenzt.

<sup>91</sup> Vgl. Troitzsch, K. G. (1990), S. 14.

<sup>92</sup> Vgl. Troitzsch, K. G. (1990), S. 12 f..

<sup>93</sup> Vgl. Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 12 f.

<sup>94</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 13; Homburg, C. (2000), S. 31 ff.

## Betriebswirtschaftliche Modelle

Die gängigste Einteilung betriebswirtschaftlicher Modelle ist entsprechend ihres Einsatzzwecks.<sup>95</sup> Sie dienen in erster Linie dazu Wissen und Erkenntnisse geordnet darzustellen.<sup>96</sup> Dabei wird zwischen Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodellen unterschieden. Die essenziellen Ziele dieser drei Modellarten sind die Beschreibung der Attribute und deren Beziehungen, sowie das Verständnis und die Lösung des Problems.<sup>97</sup> Weiters lassen sie sich anhand der Modelgröße und der dazwischenstehenden Eigenschaften beschreiben.<sup>98</sup>

Generell können betriebswirtschaftliche Modelle anhand folgender Kriterien charakterisiert werden:<sup>99</sup>

- Materialisation (real/ideell)
- Symbolisierung (verbal/mathematisch)
- Determinierbarkeit (deterministisch/stochastisch)
- Zeitbezug (statisch/dynamisch)
- Abbildungsumfang (total/partiell)
- Zielsetzung (deskriptiv, erklärend/prognostizierend, entscheidungsorientiert)

Diese Kriterien dienen der Klassifikation der Modelle, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Da die Entscheidungsmodelle und Beschreibungsmodelle, im speziellen Vorgehensmodelle, wesentlich für diese Dissertation sind, werden diese im Detail beschrieben.

**Tabelle 2: Klassifikation betriebswirtschaftlicher Modelle<sup>100</sup>**

| Zielsetzung   | Modellbezeichnung   | Merkmale  |
|---|---|---|
| Geordnete Beschreibung von Elementen und ihren Beziehungen in realen Systemen | Beschreibungsmodelle (Ermittlungs- und Erfassungsmodelle) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enthalten keine Hypothesen</li> <li>• Transformieren Daten in eine verständliche Form</li> <li>• Verwenden Definitionsgleichungen, die auf einfachen arithmetischen Operationen beruhen</li> </ul> |
| Beitrag zum Verstehen eines Problems  | Erklärungsmodelle   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulieren Aussagen über Gesetzmäßigkeiten in realen Systemen</li> <li>• Beanspruchen empirische Geltung der gemachten Aussagen</li> </ul>  |

<sup>95</sup> Vgl. Schweitzer, M.; Krause, H.-U. (1997), S. 5.; Homburg, C. (1998), S. 34.; Domschke, W.; Scholl, A. (2005), S. 31; Jockisch, M.; Rosendahl, J. (2010), S. 31.

<sup>96</sup> Vgl. Schweitzer, M. (1994), S. 53

<sup>97</sup> Vgl. Schweitzer, M.; Küpper, H.-U. (1997), S. 5.

<sup>98</sup> Vgl. Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 20.; Schweitzer, M.; Küpper, H.-U. (1997), S. 3.

<sup>99</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 33.

<sup>100</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Homburg, C. (1998), S. 34; Domschke, W.; Scholl, A. (2005), S. 31

Fortsetzung Tabelle 2: Klassifikation betriebswirtschaftlicher Modelle<sup>101</sup>

| Zielsetzung                          | Modellbezeichnung    | Merkmale  |
|--------------------------------------|----------------------|---|
| Beitrag zum Verstehen eines Problems | Prognosemodelle      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamische Modelle</li> <li>• Prognostizieren zukünftiger Entwicklungen</li> </ul>   |
| Beitrag zum Lösen eines Problems     | Entscheidungsmodelle | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchung von Konsequenzen von Handlungsalternativen auf ihre Zielwirkung</li> <li>• Ermitteln von Handlungsalternativen, die in Hinblick auf ein/mehrere Kriterium(en) gewissen Optimierungsbedingungen genügen</li> </ul> |

### Entscheidungsmodelle

„Entscheidungsmodelle verfolgen das Ziel für eine Entscheidungssituation, die dafür geeignete Handlungsmöglichkeit auf Basis einer zugrunde liegenden Bewertung auszuwählen.“<sup>102</sup> Entscheidungsmodelle sind so aufgebaut, dass das Ergebnis – im Fall des Entscheidungsmodells die Entscheidung per se – sich direkt aus dem Modell ergibt.<sup>103</sup>

Entscheidungsmodelle zählen zu den wichtigsten Entscheidungshilfen, die im Zuge der deduktiven Forschung erarbeitet werden. Darunter wird gemäß BRETZKE „das Ergebnis eines Versuches, die für wesentlich gehaltenen Elemente und Beziehungen einer als Problem empfundenen Handlungssituation in einer formalisierten Sprache so zu definieren, dass aus dem resultierenden Strukturkomplex die Problemlösung als logische Implikation abgeleitet werden kann“<sup>104</sup>, verstanden. Demnach verfolgen sie das Ziel für eine Entscheidungssituation, die dafür geeignetste Handlungsmöglichkeit auf Basis einer zugrunde liegenden Bewertung auszuwählen.“<sup>105</sup>

Gemäß HAX kann beim Arbeiten mit Entscheidungsmodellen nicht auf die Erfahrung und Intuition des Entscheidenden verzichtet werden. Somit gibt es Einflussparameter in der Modellanalyse, die auf subjektiven Schätzungen beruhen. Der Vorteil dieser standardisierten Vorgehensweise liegt darin, dass das bereits gesicherte Erfahrungswissen mit Daten abgeglichen und dementsprechend Widersprüche aufgedeckt werden können, wohingegen bei rein intuitivem Vorgehen und subjektiven Entscheidungen derartige Widersprüche unerkannt bleiben. Somit ist das Entscheidungsmodell eine Unterstützung des selbstständig urteilenden Menschen im Prozess der Entscheidungsfindung, wie es auch das im Zuge der Dissertation

<sup>101</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Homburg, C. (1998), S. 34; Domschke, W.; Schöll, A. (2005), S. 31

<sup>102</sup> Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 22.

<sup>103</sup> Vgl. Jockisch, M.; Rosendahl, J. (2010), S. 32.

<sup>104</sup> Bretzke, W. R. (1980), S. 8; zitiert nach: Laux, H. (2002), S. 17.

<sup>105</sup> Gal, T.; Gehring, H. (1981), S. 22.

entwickelte Modell, verfolgt.<sup>106</sup> Es muss widerspruchsfrei sein, Realitätsbezug haben, wesentliche Informationen enthalten und prüfbar sein.<sup>107</sup>

Betrachtet man Entscheidungsmodelle im Allgemeinen, umfasst dessen Struktur zwei Grundelemente:<sup>108</sup>

- Das Entscheidungsfeld
- Die Zielfunktion des Entscheiders

### Das Entscheidungsfeld

Im Entscheidungsfeld sind die hergeleiteten Handlungsalternativen, die Ergebnisse und die Umweltzustände enthalten. Da eine Entscheidung an Optionen gebunden ist, müssen mindestens zwei Handlungsalternativen für ein Entscheidungsmodell gegeben sein. Diese lassen sich durch die Werte solcher Größen, bekannt als Entscheidungsvariablen, beschreiben. Diese Entscheidungsvariablen können vom Entscheider in bestimmten Grenzen frei variiert werden.<sup>109</sup>

Zur Beurteilung der vorhandenen Alternativen müssen dementsprechende Konsequenzen im einem Entscheidungsmodell abgebildet sein.<sup>110</sup> Diese Alternativen werden im Aktionenraum (A) dargestellt<sup>111</sup>. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einer endlichen Menge an Handlungsalternativen die optimale ausgewählt wird (2.1.4.1).

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (2.1.4.1)$$

Für die Lösung dieses Entscheidungsproblems ist es unerheblich, ob die betrachteten Alternativen Einzelmaßnahmen sind, oder ob es sich um ein Maßnahmenbündel handelt. Die einzige Voraussetzung bei einer Entscheidung ist, dass die Aktionsmöglichkeiten nach dem Prinzip der vollkommenen Alternativstellung gewählt werden. Das bedeutet, dass das Entscheidungsproblem so zu formulieren ist, dass der Entscheider gezwungen ist, eine Alternative zu wählen und das gleichzeitig nur eine Alternative realisiert werden kann, sprich die Aktion schließt alle anderen aus (Exklusionsprinzip).<sup>112</sup>

In der Realität ist es häufig der Fall, dass eine Alternative mehrere verschiedenartige Konsequenzen mit sich bringt. Wichtig ist hier anzumerken, dass für die Entscheidung nur solche Konsequenzen von Relevanz sind, die für die Zufriedenheit des Entscheiders eine Bedeutung darstellen, die als Zielvariablen/Zielgrößen bezeichnet werden. Diese Zielgrößen zeigen, welche Konsequenzen der vorhandenen Alternativen für den Entscheidungsträger von Bedeutung sind.<sup>113</sup> Im Falle der Instandhaltung können diese Zielgrößen beispielsweise Kosteneinsparungen, Verfügbarkeitserhöhung oder eine

<sup>106</sup> Vgl. Hax, H. (1974), S. 15 f.; zitiert nach: Laux, H. (2002), S. 54.

<sup>107</sup> Vgl. Götze, U.; Bloech, J. (1995); zitiert nach: Geldermann, J., <https://www.enzyklopaediederwirtschaftsinformatik.de/wienzyklopaedie/lexikon/technologienmethoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021).

<sup>108</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 19 f.

<sup>109</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 20 f.

<sup>110</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 21.

<sup>111</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 12.

<sup>112</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 18.

<sup>113</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 21.

Qualitätssteigerung sein. Die Wertekonstellation der Zielgrößen wird als Ergebnis bezeichnet<sup>114</sup>. Diese Konsequenzen werden als Ergebnisfunktion dargestellt, welche sich aus dem Produkt aus Aktion und Zustand zusammensetzt und den Nutzen der Entscheidung widerspiegelt.<sup>115</sup>

Der dritte Punkt, der im Zuge des Entscheidungsfeldes mitbetrachtet wird, sind Umweltzustände. Darunter werden alle Größen, die das Ergebnis der Entscheidung beeinflussen, aber nicht direkt vom Entscheidungsträger beeinflussbar sind, verstanden<sup>116</sup>. Diese werden im sogenannten Zustandsraum (S) repräsentiert, wobei jeder Zustand eine Kombination der Umweltdaten darstellt.<sup>117</sup> Welche Umweltfaktoren in dem Entscheidungsmodell zu erfassen sind, hängt von der vorherrschenden Entscheidungssituation ab, dennoch gilt:<sup>118</sup>

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\} \quad (2.1.4.2)$$

Je nach Wissensstand über den Umweltzustand wird in der Entscheidungstheorie zwischen folgenden Situationen unterschieden:<sup>119</sup>

- Sicherheitssituation (Umweltzustand ist bekannt)
- Risikosituation (Wahrscheinlichkeit für den Eintritt der verschiedenen Umweltzustände sind bekannt/abschätzbar)
- Ungewissheitssituation (Entscheider ist nur bekannt, dass irgendein Umweltzustand aus S eintreten wird)

#### Die Zielfunktion des Entscheiders

Voraussetzung zum Fällen rationaler Entscheidungen sind Zielvorstellungen (siehe Abschnitt 3.4.2), mit deren Hilfe mögliche Alternativen hinsichtlich der Konsequenzen miteinander verglichen werden. Diese Zielvorstellungen sind bei der Erstellung des Entscheidungsmodells wesentlich.<sup>120</sup>

Ein Ziel ist dadurch gekennzeichnet, dass ein verbesserter zukünftiger Zustand, als Endzustand bezeichnet, erreicht wird.<sup>121</sup> Zu deren Erzielung ist es wichtig, eine Zielfunktion, die als formale Darstellung einer Entscheidungsregel gilt, zu erstellen, die eine Bewertung der Alternativen ermöglicht. Diese Entscheidungsregel setzt sich folgendermaßen zusammen:<sup>122</sup>

- Präferenzfunktion, die den Alternativen jeweils eine Präferenz zuordnet.
- Optimierungskriterium, das wiedergibt welche Ausprägung für den Präferenzwert angestrebt wird.

<sup>114</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 21.

<sup>115</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 12 ff.

<sup>116</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 22.

<sup>117</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 12.

<sup>118</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 24.

<sup>119</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 23 f.

<sup>120</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 23.

<sup>121</sup> Vgl. Bitz, M. (1977), S. 80f.; Hauschild, J. (1977), S. 13.; Dinkelbach, W. (1978), S. 52.; zitiert nach: Laux, H. (2002), S. 23 f.

<sup>122</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 25.

Somit besagt die Entscheidungsregel, dass die Alternative bevorzugt wird, die den höheren Präferenzwert liefert, folgend dem sogenannten Maximumprinzip. Bei gleicher Ausprägung sind sie als gleichwertig anzusehen. Ist jedoch eine Entscheidungssituation von Unsicherheiten geprägt, existieren für jede Alternative mehrere mögliche Ergebnisse. In der Regel gibt es in diesem Fall keine Alternative, die in jedem Ergebnisfall besser abschneidet und somit den anderen Alternativen vorgezogen wird. In diesem konkreten Fall müssen Chancen und Risiken gegeneinander abgewogen und erneut bewertet werden. Sind die Chancen einer Alternative höher gewichtet als die dazu gehörigen Risiken und gegenteiliges bei einer anderen Alternative, kann eine Priorisierung der Alternativen erfolgen.<sup>123</sup>

Je nach Entscheidungsproblem und der damit verbundenen Zielsetzung können Modelle unterschiedlicher Ausprägung angewandt werden. Um dennoch die Vergleichbarkeit der Modelle zu bewahren, werden diese nach charakteristischen Eigenschaften klassifiziert.<sup>124</sup>

## **2.2 Entscheidungstheorie und Charakteristika der Entscheidungssituation**

Die Entscheidungstheorie hat zur Aufgabe Erkenntnisse über das Entscheidungsverhalten des Individuums bzw. der Gruppe zu gewinnen und zu analysieren, sowie Lösungen für konkrete Entscheidungsprobleme zur Verfügung zu stellen. Sie spiegelt ein Hauptaufgabenfeld aller in Betrieben tätigen Personen wider, weshalb sich die Entscheidungstheorie über die letzten 30 Jahre hinweg zu einem zentralen Denkmodell der Betriebswirtschaft entwickelt hat.<sup>125</sup>

Eine Entscheidung ist ein Akt, bei dem bewusst eine von mehreren Handlungsalternativen, die für die Zielerreichung wichtig ist, ausgewählt wird. Damit verbunden ist die Vorstellung, dass die Handlungsalternative realisiert wird, um ein System von dem Ausgangszustand in den erstrebten Zustand zu transformieren.<sup>126</sup>

Die Entscheidungstheorie nutzt somit Modelle zur Beschreibung von Situationen in denen der Entscheidungsträger, einer oder mehrere, sich durch Anwendung von rationalen Entscheidungsregeln/-methoden und eines Wertesystems zu einer Entscheidung entschließt.<sup>127</sup> Die Basis der Entscheidungstheorie ist die Annahme, dass der Entscheider über ein in sich widerspruchsfreies Zielsystem verfügt und sich dementsprechend im Zuge des Entscheidungsprozesses verhält. Je nachdem, ob der

---

<sup>123</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 10; zitiert nach: Laux, H. (2002), S. 34 ff.

<sup>124</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 25.

<sup>125</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. Vorwort.

<sup>126</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 1 f.

<sup>127</sup> Vgl. Gäfgen, G. (1974); zitiert nach: Geldermann, J., <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021)



Entscheider deskriptive oder normative Aussagen tätigen möchte, wird von einer deskriptiven<sup>128</sup> oder präskriptiven<sup>129</sup> Entscheidungstheorie gesprochen.<sup>130</sup>

Zusammenfassend ist das Ziel der Analyse von Entscheidungen bei vorhandenen Entscheidungsprämissen, die bestmögliche Entscheidung auszuwählen.<sup>131</sup> Sie bildet somit die Grundlage für die Erstellung des im Zuge dieser Dissertation entwickelten Beurteilungsmodells, welches bei der Entscheidungsproblematik unterstützend herangezogen werden kann.

### 2.2.1 Charakteristika einer Entscheidungssituation

Entscheidungssituationen sind auf Grund verschiedener Merkmale unterschiedlich einzuteilen. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, sind die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der Informationsstand des Entscheidungsträgers über den wahren Umweltzustand, die Anzahl an Personen, die in den Entscheidungsprozess involviert sind, der Charakter der Entscheidung und die Anzahl der Ziele, die mit der Entscheidung verfolgt werden.<sup>132</sup>

| Kriterium        | Ausprägung                         |                                    |                    |                                |                              |                |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------|
| (Un)sicherheit   | Sicherheit                         |                                    |                    | Unsicherheit                   |                              |                |
|                  |                                    |                                    |                    | Unge-<br>wissheit              | Risiko                       | Un-<br>schärfe |
| Alternativen     | Diskreter Lösungsraum              |                                    |                    |                                | stetiger<br>Lösungs-<br>raum |                |
|                  | Einzelentscheidung                 |                                    |                    | Programm-<br>Entscheid-<br>ung |                              |                |
|                  | Absolute<br>Vorteil-<br>haftigkeit | Relative<br>Vorteil-<br>haftigkeit | Nutzungs-<br>dauer |                                |                              |                |
| Anzahl der Ziele | Ein Ziel                           |                                    |                    | Mehrere Ziele                  |                              |                |
| Charakter        | Statisch                           |                                    |                    | dynamisch                      |                              |                |
|                  |                                    |                                    |                    | Einstufig                      | mehrstufig                   |                |
|                  |                                    |                                    |                    |                                | starr                        | flexibel       |

Abbildung 8: Merkmale von Entscheidungsmodellen<sup>133</sup>

<sup>128</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe beispielhaft: Klecker, T. (2009), S. 9f., Bamberg, G. et al. (2008), S. 4, Schwaiger, M.; Meyer, A. (2011), S. 180., Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 3 f.

<sup>129</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe beispielhaft: Obermaier, R.; Saliger, E. (2013), S. 1., Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 2 f. Eisenführ, F. et al. (2010); zitiert nach: Geldermann, J., <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wienzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021), Laux, H. (2002), S. 22 ff.

<sup>130</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 2.

<sup>131</sup> Vgl. Schwaiger, M.; Meyer, A. (2011), S. 179.

<sup>132</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 25 f.

<sup>133</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Götze, U.; Bloech, J. (1995); zitiert nach: Geldermann, J., <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wienzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021)

Eine der wichtigsten Unterscheidungen bezieht sich auf die Menge an Optionen, zwischen denen sich der Entscheidungsträger entschieden muss. Diese Menge kann vorgegeben oder dem Entscheider überlassen sein. Weiters kann eine Entscheidung danach eingeteilt werden, ob sie in einem Schritt gefällt wird, oder der Entscheidungsprozess ein mehrstufiges Verfahren ist. Zweitens kennzeichnet, dass die Entscheidung von der vorhergehenden abhängig ist. Weiters wird zwischen einmaligen und wiederkehrenden Entscheidungen, wie sie im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung gefällt werden, unterschieden. Um aus den Entscheidungen lernen zu können, müssen diese wiederholt vorkommen. In diesem Fall prägt die Erfahrung die anschließende Entscheidung, im Gegenteil zur beobachtenden Entscheidung, die meist ohne Erfahrungswissen auf Basis eines einmaligen Ereignisses gefällt wird.

Des Weiteren können Entscheidungen in subjektive- und Gruppen-Entscheidungen unterteilt werden.<sup>134</sup> Während der Mensch im alltäglichen Leben vermehrt individuelle Entscheidungen trifft, ist die Arbeitswelt geprägt von Gruppenentscheidungen, um einerseits dem Individuum den Druck einer Fehlentscheidung zu nehmen und andererseits mehrere Sichtweisen im Entscheidungsprozess zu integrieren, was für die Kritikalitätsbeurteilung ganz wesentlich ist. Ein weiteres Charakteristikum der Entscheidungssituation ist das damit verknüpfte Ergebnis. Einerseits können die Konsequenzen der Entscheidung bekannt sein und andererseits nicht, was eine gewisse Unsicherheit bei den Entscheidungsträgern auslöst.<sup>135</sup>

Entscheidungen können je nach Bekanntheit des möglichen Ergebnisses eingeteilt werden (Abbildung 9).<sup>136</sup> Grob werden diese Entscheidungen in Entscheidungen bei Sicherheit, die risikoarm sind, da das Ereignis bereits bekannt ist und solchen bei Unsicherheit, die durch den Risikogedanken geprägt sind, unterteilt.<sup>137</sup> Auf die Entscheidungen bei Sicherheit wird nicht weiter eingegangen, da diese nicht relevant für die Entwicklung des Modells waren.

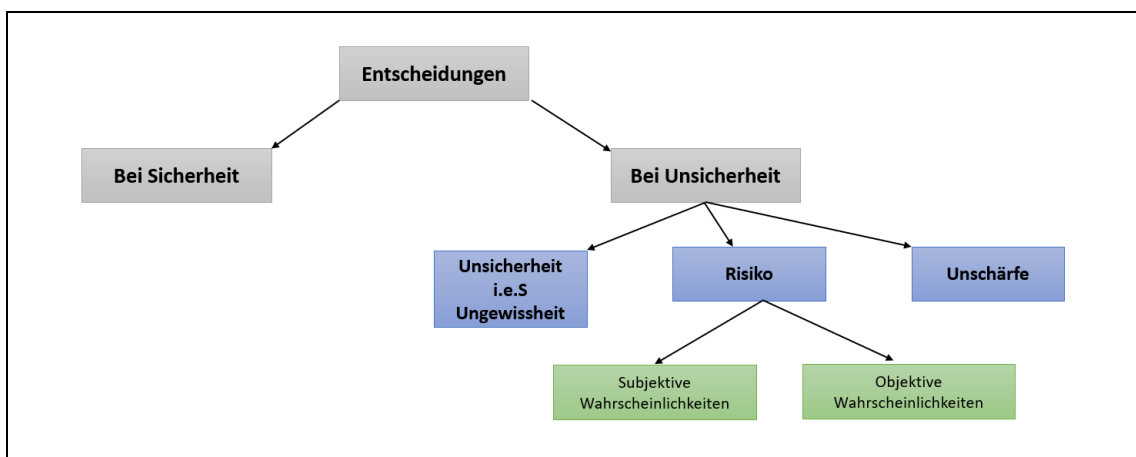


Abbildung 9: Kategorisierung von Entscheidungen<sup>138</sup>

<sup>134</sup> Vgl. Pfister, H.-R. et al. (2017), S. 22 f.

<sup>135</sup> Vgl. Pfister, H.-R. et al. (2017), S. 25 f.

<sup>136</sup> Vgl. Meyer, R. (2000), S. 18.

<sup>137</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 23.

<sup>138</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Laux, H. (2002), S. 23.; Meyer, R. (2000), S. 18.

### **Entscheidungen bei Unsicherheit**

Entscheidungen bei Unsicherheit sind dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsraum verschiedene Umweltzustände enthält und die Ergebnisse der Entscheidung nicht eindeutig vorhersehbar sind. Es wird bei dieser Art der Entscheidung zwischen Entscheidungen bei Ungewissheit, bei Risiko oder bei Unschärfe unterscheiden. Bei den beiden erstgenannten werden für die betrachtenden Entscheidungen Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der Umweltzustände angenommen<sup>139</sup>, die nachfolgend im Detail erläutert werden, da sie für das entwickelte Modell von Relevanz sind.

Die Unsicherheit resultiert aus Informationsmängeln bzw. Informationsasymmetrien zum Zeitpunkt der Entscheidung bzw. aus einer an sich unbekanntem oder unsicheren Umgebung des Unternehmens.<sup>140</sup> Im einfachsten Fall, der einstufigen Entscheidung, wird angenommen, dass der Entscheidungsträger bei gegebenen Umweltbedingungen eine Alternative wählt und dementsprechend die Entscheidung fällt.<sup>141</sup> Bei komplexeren Entscheidungssituationen, beispielweise bei mehrstufigen Entscheidungen oder beim Vorliegen mehrerer Ziele, gestaltet sich der Bewertungsprozess umfangreicher.

In der Praxis wird angenommen, dass der Entscheider Informationen über mögliche Konstellationen der Umweltfaktoren hat, welche das Ergebnis beeinflussen können, sei es positiv oder negativ, aber er nicht mit Sicherheit sagen, wann er welchen Umweltzustand realisieren will. Deshalb wird in diesem Fall versucht die Szenarien zu beschreiben und die Umweltzustände so zu wählen, dass ihnen eine Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann. Weiters werden die Ergebnisse in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien bewertet, um eine Priorisierung für die Umsetzung zu bekommen.<sup>142</sup>

### Entscheidungen bei Ungewissheit

Bei Ungewissheit hat der Entscheider eine Entscheidung zu fällen, bei der die Umwelt nicht durch vorgegebene Wahrscheinlichkeiten beschreibbar ist.<sup>143</sup> Diese Entscheidungssituation ist vor allem für den Entscheider an sich problematisch, wenn der wahre Umweltzustand unbekannt ist und seine möglichen Aktionen aus diesem Fall schwer vergleichbar sind.<sup>144</sup> Sind die Umweltzustände bekannt, spricht man von numerischer Ungewissheit. Sind jedoch die Umweltzustände und deren Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bekannt, wird von der strukturellen Ungewissheit oder auch Unsicherheit ausgegangen, was vor allem im Prozess der Entscheidungsfindung als riskanter eingestuft wird.<sup>145</sup>

Die Aussonderung von Alternativen, die in einem Fall mindestens schlechter oder gleich gut als eine andere Alternative sind, ist anzustreben. Aktionen, die von keiner anderen Aktion dominiert werden, werden als nicht dominant bezeichnet. Durch die Anwendung

---

<sup>139</sup> Vgl. Obermaier, R.; Saliger, E. (2013), S. 66.

<sup>140</sup> vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 53.

<sup>141</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 54 ff.

<sup>142</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 47.

<sup>143</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 56.

<sup>144</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 49.

<sup>145</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 56.

des Dominanzprinzips können mögliche Alternativen auf die effizienten beschränkt werden. Dieses Prinzip alleine liefert selten eine eindeutige Entscheidung, da meist mehrere effiziente Alternativen als Ergebnis vorliegen.<sup>146</sup>

Generell wird bei einer Entscheidung bei Ungewissheit versucht, die vollständige Vergleichbarkeit aller Aktionen zu erreichen, indem der mit einer Aktion verknüpfte Nutzwert bewertet wird.

### Entscheidungen bei Risiko

Wahrscheinlichkeiten sind das zentrale Element einer Risikosituation. Bei Entscheidungen bei Risiko tritt der Entscheider einer zufällig reagierenden Umwelt entgegen, die unterschiedlich mit Ereignissen und Zuständen reagiert, deren Auftretenswahrscheinlichkeiten bekannt sind bzw. subjektiv geschätzt werden können.<sup>147</sup> Subjektive Wahrscheinlichkeiten werden auf Basis von Erfahrungswissen und Bauchgefühl gefällt, was diese Entscheidungen schwer überprüfbar macht.<sup>148</sup> Objektive Wahrscheinlichkeiten greifen hingegen auf historische Daten zurück.<sup>149</sup>

Für den eigentlichen Prozess der Entscheidungsfindung gibt es unterschiedliche Formen – ein- und mehrstufige Entscheidungen –, die auf die Erreichung eines oder mehrerer Ziele ausgerichtet sind. Da für das entwickelte Modell nur mehrstufige Entscheidungen, die mehrerer Ziele verfolgen, relevant sind, wird im nachfolgenden nur auf diese Arten der Entscheidung eingegangen.

### **Mehrstufige Entscheidungen**

Ein mehrstufiges Entscheidungsproblem ist vorhanden, wenn Interdependenzen zwischen zwei Entscheidungsproblemen bestehen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Somit müssen die Entscheidungen unter Berücksichtigung ihres Zusammenhangs getroffen werden. Der Fokus liegt nicht mehr in der optimalen Einzelentscheidung, sondern auf der Gesamtwirkung der Entscheidungen auf die Zielgröße.<sup>150</sup> Wenn neben zeitlichen Verknüpfungen auch sachliche in der Entscheidungssituation existieren, ist die Anzahl an Aktionen und Umweltzuständen auf jeder Stufe endlich. In diesem Fall eignet sich das Entscheidungsbaumverfahren<sup>151</sup> (Anhang B) zur Darstellung des Problems.<sup>152</sup> Um die zeitlichen Interdependenzen zu berücksichtigen empfiehlt sich die Anwendung der flexiblen Planung<sup>153, 154</sup>.

---

<sup>146</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 49 f.

<sup>147</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 62.; Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 56.

<sup>148</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 62.

<sup>149</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 56.

<sup>150</sup> Vgl. Obermaier, R.; Saliger, E. (2013), S. 129.

<sup>151</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Maier, P. D. G. W., <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entscheidungsbaum-35225> (Zugriff: 05.08.2021)

<sup>152</sup> Vgl. Obermaier, R.; Saliger, E. (2013), S. 149.

<sup>153</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Gillenkirch, P. D. R., <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mehrstufige-entscheidungen-39961> (Zugriff: 05.08.2021)

<sup>154</sup> Vgl. Gillenkirch, P. D. R., <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mehrstufige-entscheidungen-39961> (Zugriff: 05.08.2021)

## Entscheidungen mit mehreren Zielen

Entscheidungen mit mehreren Zielen sind durch ihre Komplexität charakterisiert, dass sie sich nicht durch ein einzelnes Zielkriterium, wie beispielsweise die Kosten erfassen lassen. In diesem Fall ist es wesentlich, mehrere Zielkriterien in der Entscheidung mitzubetrachten.<sup>155</sup> Weiters kann es zu einem Konfliktverhältnis der Ziele untereinander kommen<sup>156</sup>, was ein Charakteristikum dieser Entscheidungen darstellt. Auf Grund der Tatsache, dass die Anzahl an Zielen meist groß ist, ist es wichtig diese zu strukturieren. Ein Beispiel hierfür wäre ein hierarchisch aufgebautes Zielsystem.<sup>157</sup>

Alle diese Entscheidungssituationen haben folgende Punkte gemeinsam:<sup>158</sup>

- Mehrere Ziele
- Zielkonflikt
- Unvergleichbare Einheiten
- Berechnung / Auswahl der Lösung

Diese Entscheidungsmodelle, die mehrere Zielsetzungen zu verbinden versuchen, werden als multikriterielle Entscheidungsmodelle bezeichnet.<sup>159</sup> Diese Methoden ermöglichen durch die einheitliche Vorgehensweise eine Standardisierung des Entscheidungsfindungsprozesses, eine Steigerung der Akzeptanz bei den Entscheidern aufgrund der transparenten Vorgehensweise, sowie eine höhere Kompromissbereitschaft.<sup>160</sup> Weiters wird durch den Einsatz multikriterieller Entscheidungsmethoden ein besseres Verständnis des Entscheidungsträgers für das Entscheidungsproblem erreicht. Wichtig ist, dass durch die Anwendung die Entscheidungsfindung nicht automatisiert und nicht die Entscheidung den Verantwortlichen abgenommen werden soll, sondern nur als Unterstützungsinstrumentarium zu sehen ist.<sup>161</sup>

Ein wesentlicher Vorteil diese Methoden ist, dass auch nicht monetäre Größen wie beispielsweise die Mitarbeiterzufriedenheit im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden können. Die multikriteriellen Entscheidungsmodelle sind in zwei Arten unterteilt (Abbildung 10). Diese beiden Klassen unterscheiden sich wesentlich in der Struktur des zugrunde liegenden Problems und dem dahinterliegenden Problemlösungsprozesses.<sup>162</sup>

MADM-Methoden zielen darauf ab eine Handlungsalternative aus einer vorgegebenen Menge an Alternativen zur Lösung des Problems anzuwenden.<sup>163</sup> In diesem Fall ist ein Entscheidungsproblem vorhanden, bei dem die Alternativen vor der eigentlichen Bewertung exakt definiert und bezüglich verschiedener Kriterien verglichen werden, mit dem Ziel die bestmögliche Lösung zu finden.<sup>164</sup> Diese Art der Entscheidungsanalyse ist auch bei der Kritikalitätsbeurteilung im Zuge der Kriterienbewertung, der Risikoanalyse

<sup>155</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 133.

<sup>156</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991), S. 21.

<sup>157</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 133.

<sup>158</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991), S. 21 f.

<sup>159</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 11.

<sup>160</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 18.

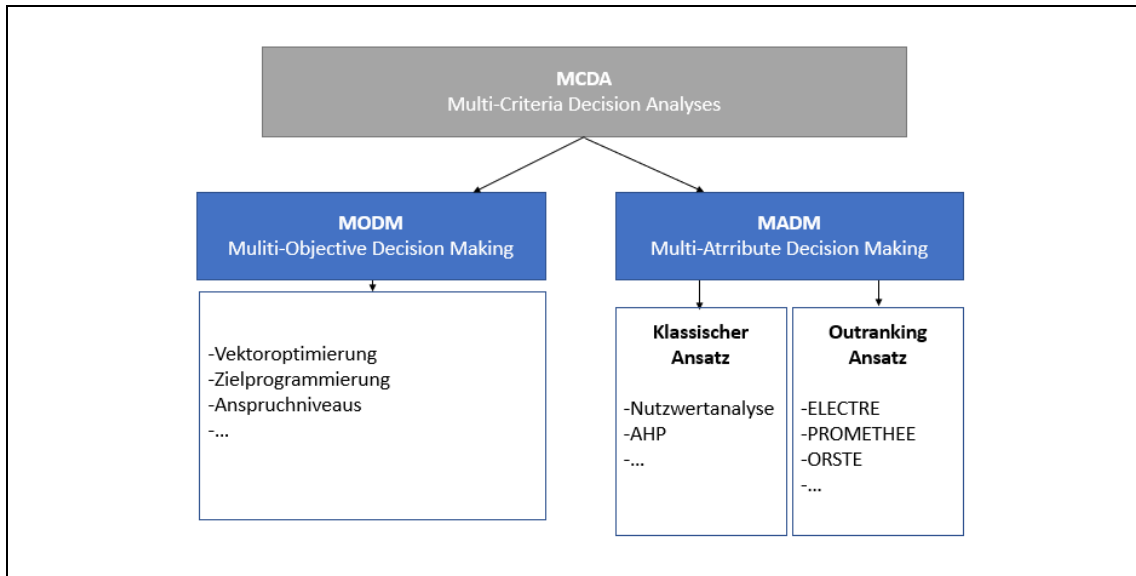
<sup>161</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 10.

<sup>162</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 9 f.

<sup>163</sup> Vgl. Hwang, C.-L.; Masud, A. S. M. (1979); Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991), S. 25.

<sup>164</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 10 f.

aber auch der Maßnahmenbewertung zur Strategieanpassung für die Anlagenoptimierung vorherrschend (siehe Abschnitt 4.5.2). Ein Vorteil dieser Methoden besteht darin, dass die verwendeten Kriterien nicht auf eine einheitliche Messskala gebracht werden müssen, sondern ihre jeweiligen Einheiten für die Bewertung herangezogen werden können und in sogenannte Präferenzwerte umgerechnet werden.<sup>165</sup>



**Abbildung 10: Überblick der multikriteriellen Entscheidungsmethoden<sup>166</sup>**

Hingegen ist das Ziel von MODM-Methoden, durch die Berechnung der optimalen Handlungsalternative das Entscheidungsproblem zu lösen.<sup>167</sup> Hierbei handelt es sich um ein Identifizierungsproblem, dass durch Anwendung effizienzbasierter Methoden gelöst werden soll.<sup>168</sup> Hierzu wird die Alternativenmenge implizit vordefiniert und auf Pareto-optimale Lösungen hin untersucht. MODM-Methoden finden vor allem im Bereich der Systemoptimierungen ihre Anwendung.<sup>169</sup>

Die Methoden, die in Folge dessen für die Entscheidung angewandt werden, dienen als Unterstützung im Entscheidungsprozess, mit Fokus auf die Strukturierung und Definition des Problems, die Verarbeitung der Information sowie die Auswahl von Bewertungskriterien und die Ableitung von Handlungsvorschlägen.<sup>170</sup> Insbesondere die Strukturelemente der Handlungsalternativen und des Zielsystems stehen in Wechselwirkung zueinander und bilden die Grundlage für die Ableitung von Bewertungskriterien, welche durch subjektive Festlegung von Präferenzen und deren Gewichtung zu einem Ergebnis führen.<sup>171</sup> Diese Schritte sind ganz wesentlich für das entwickelte Modell und werden im Detail in Abschnitt 4.5.2 beziehungsweise auf die

<sup>165</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 11.

<sup>166</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991); Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 9 f.; zitiert nach: Habinger, Y. (2018), S. 19.

<sup>167</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991), S. 25; Hwang, C.-L.; Masud, A. S. M. (1979)

<sup>168</sup> Vgl. Wenger, W. (2010), S. 25.

<sup>169</sup> Vgl. Oberschmidt, J. (2010), S. 56; zitiert nach: Habinger, Y. (2018), S. 19 f.

<sup>170</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991), S. 22.

<sup>171</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 12.

jeweiligen Phasen der Kritikalitätsbeurteilung, in denen Entscheidungssituationen enthalten sind, beschrieben.

### 2.2.2 Betriebswirtschaftliche Entscheidungen

Die Betriebswirtschaftslehre als angewandte Entscheidungslehre soll Unternehmen dabei unterstützen Entscheidungen so zu treffen, dass bestmöglich vorgegebene Ziele erreicht werden. Die betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre ist eine Symbiose aus deskriptiver und präskriptiver Entscheidungstheorie.<sup>172</sup> Nur durch Kombination der beiden Entscheidungstheorien gelingt es in einer konkreten Situation so zu handeln, dass durch die Entscheidung der größtmögliche Zielerfüllungsgrad erreicht wird.<sup>173</sup>

Wirtschaftswissenschaftliche Entscheidungsmodelle folgen gemäß GÄFGEN einer formalen Rationalität, die das Zustandekommen einer Lösung bei einem widerspruchsfreien Zielsystem beschreibt.<sup>174</sup> Im Vordergrund dieses ökonomischen Prinzips steht hierbei der homo oeconomicus, der entweder mit gegebenen Mitteln möglichst viel oder mit geringstmöglichem Mitteleinsatz das vorgegebene Ziel erreicht. Dadurch ist es möglich Entscheidungsmodelle unabhängig vom psychologischen Handlungstyp anzuwenden. Jedoch zeigt die betriebliche Praxis, dass die Unterstellung des ökonomischen Prinzips als einziger Antrieb die Entscheidungssituation zu stark vereinfacht. Deshalb müssen in eine Entscheidungssituation alle auf sie einwirkenden Aspekte wie beispielsweise die der Qualität, Arbeitssicherheit oder gesetzlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Diese ganzheitliche Betrachtungsweise dieser wird auch bei dem im Zuge der Dissertation entwickelten Modell verfolgt. Um in diesem Fall das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, werden vermehrt Methoden der multikriteriellen Entscheidung eingesetzt. Neben diesen Entscheidungen sind Gruppenentscheidungen wesentlich für den Erfolg der Kritikalitätsbeurteilung.

Unternehmerische Entscheidungen finden in einem komplexen und dynamischen Umfeld statt, da die getroffenen Entscheidungen meist darauffolgende Risiken beeinflussen. Diese Entscheidungen können autonom oder geplant getroffen werden (Einführung eines neuen Produkts), jedoch auch aufgezwungen bzw. nicht autonom stattfinden (Stillstand einer Anlage, schlechte Kundenzufriedenheit).<sup>175</sup>

Durch den steigenden Marktdruck und die Volatilität sind die Identifikation, Bewertung und das Managen von Unternehmensrisiken ein entscheidender Faktor zur Sicherstellung des Unternehmenserfolgs geworden<sup>176</sup>. Durch das Auftreten von Risiken können die Unternehmensziele nicht umgesetzt und in weiterer Folge festgelegte operative Ziele nicht erreicht werden. Umso wichtiger ist es diese Risiken, die gemäß ROSENKRANZ und MISSLER-BEHR als „die Möglichkeit oder häufig auch die Wahrscheinlichkeit verstanden, dass die Unternehmensziele durch unternehmerische

---

<sup>172</sup> Vgl. Meyer, J. (2006), S. 4.

<sup>173</sup> Vgl. Bamberg, G. et al. (2008), S. 11.

<sup>174</sup> Gäfgen, G. (1974); zitiert nach: Geldermann, J., <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021)

<sup>175</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 4.

<sup>176</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 4 f.

Entscheidungen entweder nicht erreicht oder übertroffen werden“<sup>177</sup> zu überwachen und versuchen zu minimieren. Deshalb ist es essenziell das Dreieck aus Umwelt, Unternehmenszielen und Entscheidungen in Einklang zu bringen.<sup>178</sup>

Das Risikoportfolio eines typischen Unternehmens setzt sich meist aus einer Vielzahl von Risiken (siehe Abschnitt 3.5.5), die in Anbetracht der Unternehmensziele gesteuert werden müssen, zusammen. Je nachdem, ob die Konsequenzen der Risiken einschätzbar sind, können unterschiedliche Entscheidungssituation, wie die der Unsicherheit oder der Unschärfe auftreten.<sup>179</sup> Ein Risiko wird nie mit einer Entscheidung der Sicherheit verknüpft sein, da man hier das Ereignis im Voraus bereits einschätzen kann und in diesem Fall nicht von einem Risiko ausgegangen werden kann.

### 2.2.3 Entscheidung als Prozess

Der Entscheidungsprozess wird gemäß LAUX in fünf aufeinander folgende Phasen unterteilt (Abbildung 11):<sup>180</sup>



Abbildung 11: Allgemeines Vorgehen bei Entscheidungsproblemen<sup>181</sup>

#### Problemformulierung

Ein Entscheidungsprozess wird meist durch ein Ereignis beispielweise durch eine Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit gestartet. In diesem Fall erkennt der Entscheider, dass die Situation nicht ordnungsgemäß abläuft und eventuell durch gezielte Maßnahmenableitung verbessert werden sollte. Diese Erkenntnis mündet in einer Problemformulierung<sup>182</sup>, wie es im Fall Identifikation kritischer Anlagen der Fall ist. Das Problem wird schriftlich festgehalten, beispielweise eine schlechte Anlagenverfügbarkeit über einen gewissen Zeitraum und damit wird der Entscheidungsprozess gestartet. Wie das konkrete Entscheidungsproblem beschrieben werden soll, ist selbst eine Entscheidungsproblematik. Im Falle der schlechten Verfügbarkeit ist es unzureichend anzugeben, dass sie besteht. In diesem Fall muss die Informationsbasis erweitert werden in dem die Art und der Ort des Problems/Fehlers identifiziert und angegeben werden.<sup>183</sup> Der Detaillierungsgrad dieser Dokumentation ist unternehmensspezifisch festzulegen.

<sup>177</sup> Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 6.

<sup>178</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 6.

<sup>179</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 10.

<sup>180</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 8 ff.

<sup>181</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Laux, H. (2002), S. 8 ff.

<sup>182</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 9.

<sup>183</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 9.



### **Präzisierung des Zielsystems**

Ein Entscheidungsmodell ist nur sinnvoll anzuwenden, wenn aus der Problemstellung genaue Zielvorstellungen abgeleitet werden, die einen gewünschten Endzustand beschreiben. Bei kritischen Anlagen wäre es beispielsweise die Steigerung der Zuverlässigkeit durch Steigerung der Anlagenverfügbarkeit. Im Zuge dieses Prozesses werden Zielvorstellungen vorliegen, die durch die abgeleiteten Alternativen bewertet werden können.<sup>184</sup> Anfangs ist es ausreichend, die Ziele grob zu formulieren, da sie im Laufe des Entscheidungsprozesses, besonders beim Schritt der Betrachtung von Handlungsalternativen, durch weitere Erkenntnisse präzisiert werden und somit eine konkrete Richtung vorgeben.<sup>185</sup>

### **Erforschung von Handlungsalternativen**

Bei der Erforschung von Handlungsalternativen ist es essenziell die Restriktionen für mögliche Alternativen zu ermitteln.<sup>186</sup> Weiters ist die Kreativität des Entscheiders wesentlich für die Erforschung von Alternativen.<sup>187</sup> Diese Handlungsalternativen sind in dem Methodenset zur Kritikalitätsbewertung zu finden (siehe Abschnitte 5.5.2, 5.6 und Anhang B). Je größer das Erfahrungswissen des Entscheidungsträgers ist, desto mehr Alternativen wird er aus der Problemstellung ableiten. Zusätzlich ist es wichtig, sich bei der Suche nach Alternativen nicht auf seinen eigenen Bereich, beispielweise die Instandhaltung zu beschränken, sondern auch andere Bereiche wie Qualität und Produktion in den Prozess zu involvieren, um eine ganzheitliche Sicht auf das Betrachtungsobjekt zu bekommen, wie es bei der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung verfolgt wird.

### **Auswahl der Alternative**

In diesem Prozessschritt ist es wesentlich alle Konsequenzen der abgeleiteten Alternativen zu bewerten, um dementsprechend die geeignetsten herauszufiltern.<sup>188</sup> Im Falle der Kritikalitätsbeurteilung ist es das Kriterienset zur Bewertung (siehe Abschnitt 5.5.1) und das für die Bewertung eingesetzte Instrumentenset (siehe Abschnitt 5.5.2). Hierzu kann der Entscheider ein Wahrscheinlichkeitsurteil, das vom Informationsstand des Entscheiders und dessen Erfahrungswissen abhängig ist, über alle möglichen Ergebnisse der Alternativen treffen.<sup>189</sup> Als Ergebnis dieses Prozessschrittes kristallisiert sich die am besten geeignete Alternative in Anbetracht der zuvor definierten Ziele heraus.<sup>190</sup>

### **Entscheidungen in der Realisationsphase**

Die letzte Phase des Entscheidungsprozesses dient dazu, die gewählte Alternative umzusetzen. Auch diese Phase ist geprägt von Entscheidungen, da bei der Auswahl der Handlungsalternative keine Detailentscheidungen getroffen wurden. Diese werden direkt

---

<sup>184</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 10.

<sup>185</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 6.

<sup>186</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 10.

<sup>187</sup> Vgl. Bretzke, W. R. (1980), S. 109 f.

<sup>188</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 7.

<sup>189</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 11.

<sup>190</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 10f; zitiert nach Habinger, Y. (2018), S. 7.

bei der Umsetzung und unter Anbetracht der örtlichen und aktuellen Gegebenheiten situativ getroffen. Beispielhaft zu nennen wäre hier der Bau eines Hauses, der in der Phase der Auswahl der Alternative beschlossen wurde, aber über die Platzierung der Steckdosen noch nicht entschieden wurde. Solche Entscheidungen sind typische der Realisationsphase. Natürlich werden nicht nur während der letzten zwei Phasen des Entscheidungsprozesses Entscheidungen getroffen, sondern während des gesamten Prozesses<sup>191</sup>. Umso wichtiger ist es für jeden Prozessschritt geeignete Methoden zu verwenden, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Prozess als Gesamtes zu betrachten ist, da die einzelnen Prozessschritte ineinandergreifen.<sup>192</sup>

## 2.3 Vorgehensmodelle

Vorgehensmodelle (synonym Prozessmodell)<sup>193</sup>, zählen zu den Beschreibungsmodellen. Vorgehensmodelle leiten sich vom Begriff „Vorgehen“ ab, der gemäß FISCHER ET AL. den gesamten Systementwicklungsprozess beschreibt, der auf Basis von Beschreibungen, Anleitungen durch Strukturierung aus verschiedenen Sichten als Modell abgebildet wird und somit transparent und planbar ist.<sup>194</sup>

Dabei handelt es sich um eine modellhafte Sie bilden somit das Rahmenwerk, in welchem festgelegt wird, **in welchen** Entwicklungs- bzw. Prozessschritten **was, womit**, nach **welchen Methoden, wann**, unter **welchen Bedingungen**, von **welchem Aufwand** ausgehend und zu **welchen Ergebnissen** führend, von **wem** ausgeführt wird.<sup>195</sup> Somit bilden sie das Muster sowie das Vorbild für die Durchführung konkreter Prozesse.<sup>196</sup> Sie dienen zur Planung von Prozessen<sup>197</sup> und unterstützen bei der Navigation innerhalb von Prozessen zur zielorientierten Festlegung der nächsten Schritte. Vor allem bei komplexen Verfahren werden sie herangezogen um den Gesamtprozess überschaubarer zu machen, in dem der Ablauf in einzelne logische Abschnitte unterteilt wird. Um diese Abschnitte weiter bearbeiten zu können, müssen diese in Teilschritte zerlegt werden.<sup>198</sup> In solchen Vorgehensmodellen werden die wichtigen Elemente einer Handlungsfolge aufgereiht abgebildet, die als Hilfsmittel zur Planung und Kontrolle von Prozessen herangezogen werden. Während der Durchführung ist ersichtlich, welcher Prozessschritt durchlaufen wird, welche Schritte folgen, bzw. gibt es die Möglichkeit das Vorgehen zu reflektieren, kontrollieren und gegebenenfalls anzupassen.<sup>199</sup>

---

<sup>191</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 11 f.

<sup>192</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 12 f.; Habinger, Y. (2018), S. 7.

<sup>193</sup> Vgl. Haberfellner, R. (2012), S. 57 f.

<sup>194</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 16.

<sup>195</sup> Vgl. Ortner, E. (1996), S. 12; zitiert nach: Galler, J. (1997), S. 101.

<sup>196</sup> Chroust, G. (1992), S. 39f.; zitiert nach: Galler, J. (1997), S. 101.

<sup>197</sup> Vgl. Lindemann. (2005), S. 33.

<sup>198</sup> Vgl. Lindemann (2005), S. 31.

<sup>199</sup> Vgl. Lindemann (2005), S. 33.

Vorgehensmodelle bestehen im Wesentlichen aus einer statischen und einer dynamischen Sicht. Bei der Entstehung des Vorgehensmodells steht die statische Sicht im Vordergrund. Diese beinhaltet folgende Aspekte:<sup>200</sup>

- Interne Architektur, beispielhaft die Strukturtiefe in Phasen und Aktivitäten unterteilt oder die Auftrennung in unterschiedliche Tätigkeitsbereiche
- Form der Dokumentation

Die dynamische Sicht kommt bei der Anwendung des Vorgehensmodells zum Tragen. Diese beinhaltet folgende Aspekte:<sup>201</sup>

- Strukturelle Anpassungen, wie die Ergänzung / Eliminierung von Aktivitäten bzw. Prozessschritten
- Ausprägung der Metaebene
- Abbildung auf einer Zeitachse, wie ein konkreter Zeitplan für die Durchführung der jeweiligen Aktivitäten

### Aufbau und Charakteristika von Vorgehensmodellen

Der Aufbau eines Vorgehensmodells wird anhand des Ordnungsschemas (Abbildung 12), auch bekannt als Metamodell abgebildet. Im Zuge dessen werden übergeordnete Themenbereiche identifiziert, welche untereinander in Bezug stehen. Hier kommt vor allem die statische Sicht zur Anwendung.<sup>202</sup>

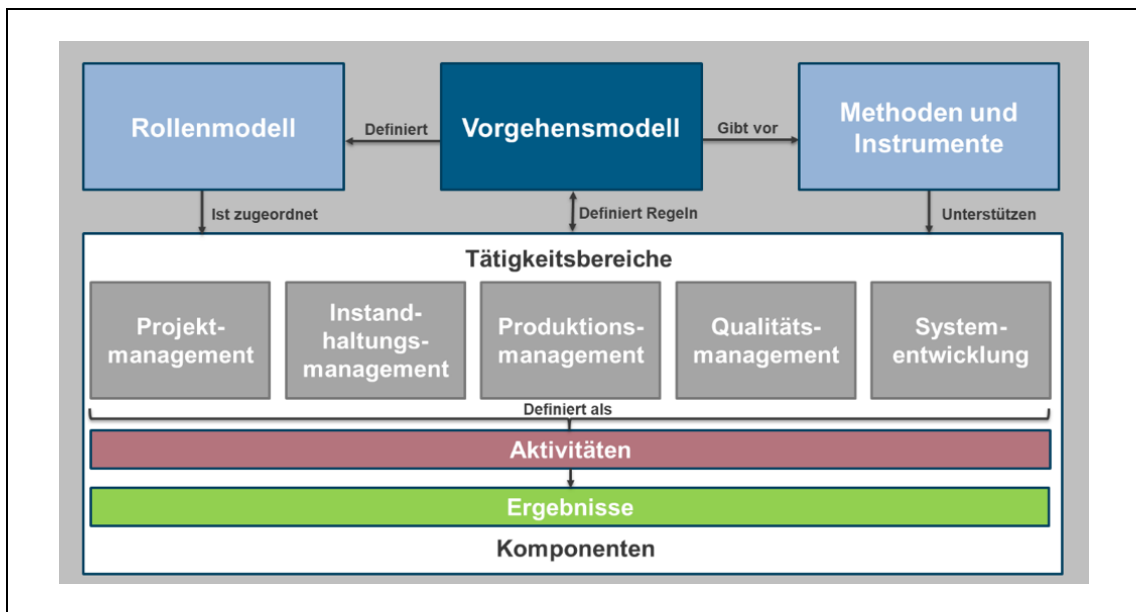


Abbildung 12: Ordnungsschema für Vorgehensmodelle<sup>203</sup>

Um ein Vorgehensmodell zu erstellen, sollten im Vorfeld folgende Fragen beantwortet werden:<sup>204</sup>

- Welche Ziele werden mit dem Prozess verfolgt?
- Welche Prozessschritte sind notwendig?

<sup>200</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 16.

<sup>201</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 16.

<sup>202</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 16 f.

<sup>203</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Fischer, T. et al. (1998), S. 17.

<sup>204</sup> Kneuper, R. et al. (1998), S. 5.

- In welcher Reihenfolge werden Sie bearbeitet?
- Wer ist beteiligt?
- Welche Ressourcen werden benötigt?
- Welche Vor- und Nachbedingungen sind gegeben?

Das Herzstück eines jeden Vorgehensmodells bildet das Regelwerk, das sowohl den Umgang mit dem Vorgehensmodell als auch mit dessen Strukturkomponenten definiert. Ein beispielhaftes Strukturmerkmal ist die Sicht auf die unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche innerhalb des gesamten Systems.<sup>205</sup> Bezogen auf die Kritikalitätsbeurteilung wäre das: Projektmanagement, Systementwicklung, Instandhaltungsmanagement / Instandhaltung, Produktion, Controlling.

### Tätigkeitsbereiche

Die Tätigkeitsbereiche werden beschrieben und ihnen Aktivitäten und Ergebnisse zugeordnet, welche den wesentlichen Anteil der statischen Architektur bilden. Sowohl bei der Aktivität sowie bei den Ergebnissen wird zwischen Typ und der Aktivität per se unterschieden. Ein Aktivitätstyp ist eine abstrakte Beschreibung von Arbeitsschritten, die gemeinsam durchzuführen sind. Hingegen ist eine Aktivität die Tätigkeit und Ausprägung eines Aktivitätstyps. Eine Aktivität ist die konkrete Durchführung von definierten Prozess- bzw. Arbeitsschritten innerhalb des Gesamtprozesses zur Erzielung von Ergebnissen. Die Abhängigkeiten von den einzelnen Aktivitätstypen bzw. Aktivitäten untereinander werden als Aktivitätenfolge bezeichnet.<sup>206</sup>

Ergebnistypen hingegen sind das abstrahierte Resultat, welche die Inhalte des Ergebnisses als Beschreibung festhalten.<sup>207</sup> Das Ergebnis ist die Ausprägung des Ergebnistyps, ein konkretes Resultat. Im Falle der Kritikalitätsbeurteilung die Kritikalität einer Anlage.<sup>208</sup>

Aktivitäts- und Ergebnistypen zählen zu den wesentlichen Komponenten eines Vorgehensmodells. Weiters gibt ein Vorgehensmodell Methoden und Instrumente vor, welche die Erarbeitung von Ergebnissen innerhalb einer Aktivität unterstützen.

### Methoden und Instrumente

Unter einer Methode wird eine systematische Handlungsvorschrift wie bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind, verstanden.<sup>209</sup> Methoden sind präskriptiv, zielorientiert, anwendungsneutral und haben operativen Charakter. Wohingegen das Vorgehensmodell bei der Navigation des „**Was**“ hilft, unterstützen Methoden beim Durchführen konkreter Arbeitsschritte im Sinne des „**Wie**“. Um Methoden optimal zu nutzen, müssen sie bei Bedarf variiert und an die jeweilige Situation angepasst werden, wie es auch das Einstufungsmodell zur Kritikalitätsbeurteilung bzw. das Kriterienauswahlmodell (siehe Abschnitt 5.5.1) verfolgt. Häufig ist es ausreichend einzelnen Module einer Methode

---

<sup>205</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 17.

<sup>206</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 17 ff.

<sup>207</sup> Vgl. BWB (1990); zitiert nach: Fischer, T. et al. (1998), S. 22.

<sup>208</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 22.

<sup>209</sup> Vgl. Balzert, H. (1982); Schumann, J., Gerisch, Manfred (1988); zitiert nach: Fischer, T. et al. (1998), S. 26.

anzupassen um den aktuell, vorherrschenden Rahmenbedingungen gerecht zu werden.<sup>210</sup>

Instrumente hingegen dienen der automatisierten Unterstützung von Methoden und Verfahren. In der Regel umfassen sie Software-Werkzeuge. Im Falle der Kritikalitätsbeurteilung wäre ein Instrument des Instrumentensets beispielsweise das CAPP-Tool<sup>211</sup> (siehe Abschnitt 5.5.2).<sup>212</sup>

Wichtig für den richtigem Methoden- und Instrumenteneinsatz ist es, die Ziele und Randbedingungen im Vorfeld zu klären. Weiters sollte der zu erzielende Output und der erforderliche Input zur Anwendung im Vorfeld beleuchtet werden. Unter dem Output einer Methode wird die von der Methode angestrebte Wirkung sowie jegliche Nebenwirkungen verstanden. Die Aspekte zur Auswahl und Anwendung der Methoden können nicht vereinheitlicht und müssen situationsspezifisch gewählt werden. Neben der Abhängigkeit der Methoden von den vorherrschenden Rahmenbedingungen sind die benötigten Hilfsmittel zur Anwendung und die Qualifikation zur Anwendung der Methodik nicht zu vernachlässigen und müssen bei der Auswahl mitbetrachtet werden,<sup>213</sup> was durch das Reifegradmodell der Datenreife im Vorfeld der Kritikalitätsbeurteilung geschaffen wird.

Für den optimalen Methodeneinsatz wurde ein Modell – das Münchner Methodenmodell – als Leitfaden herangezogen (Abbildung 13). Es fasst die Schritte zur Klärung des Einsatzes, zur Auswahl und Anwendung sowie zu den grundsätzlichen Eigenschaften übersichtlich zusammen.<sup>214</sup>

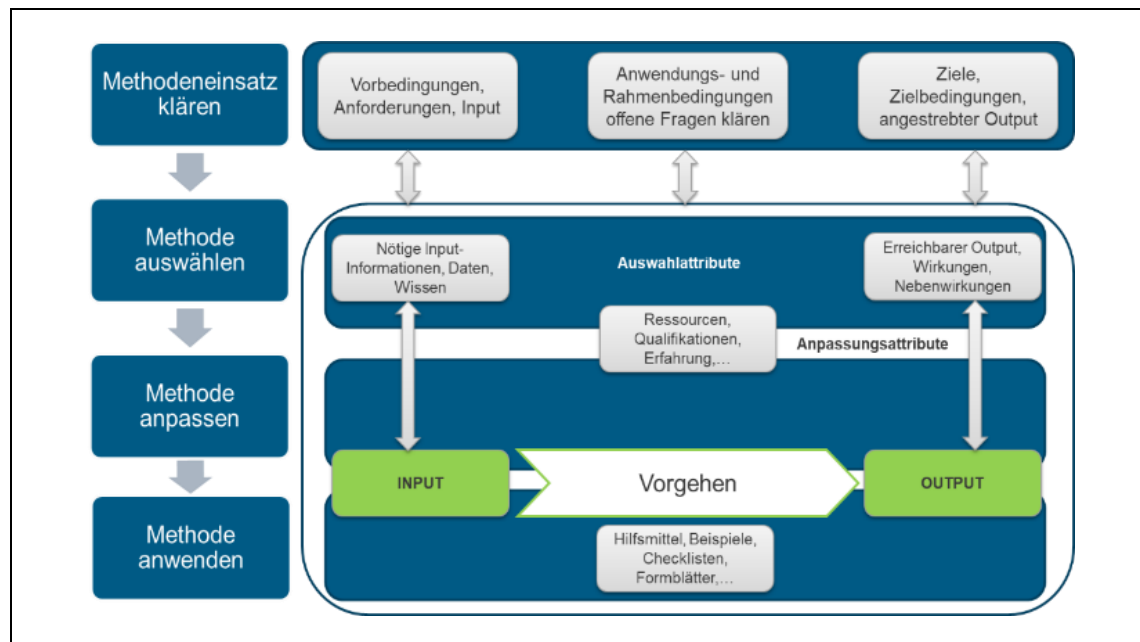


Abbildung 13: Münchner Methodenmodell<sup>215</sup>

<sup>210</sup> Vgl. Lindemann, U. (2005), S. 48.

<sup>211</sup> CAPP-Tool von Boom Software AG Leibnitz, entwickelt gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften.

<sup>212</sup> Vgl. Hesse, W. et al. (1992); zitiert nach: Fischer, T. et al. (1998), S. 26.

<sup>213</sup> Vgl. Lindemann, U. (2005), S. 49.

<sup>214</sup> Vgl. Lindemann, U. (2005), S. 50.

<sup>215</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Lindemann, U. (2005), S. 50.

### Das Rollenmodell

Das Rollenmodell beschreibt die Rollen, die für die Anwendung des Vorgehensmodells entscheidend sind. Als Rolle gilt eine Funktion, in der der Anwender eine bestimmte Aktivität ausführt. Diese Rollen werden durch Qualifikationen, Erfahrungen, Fähigkeiten und Wissen definiert. Die Festlegung der Rollen erfolgt auf Basis organisatorischer und projektspezifischer Rahmenbedingungen, jedoch unabhängig vom Vorgehensmodell. Die Zuordnung von Personen zu den jeweiligen Rollen wird bei Projektstart durchgeführt.<sup>216</sup> Rollen sind auch im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung für eine reibungslose Bewertung und die ganzheitliche Sicht auf die Anlage, wesentlich (siehe Abschnitt 4.5.2).

Zusammenfassend gilt, dass für die Vorgehensmodellentwicklung im Vorfeld das Ziel klar definiert sein muss, um geeignete Methoden zur Zielerreichung auszuwählen, Verantwortlichkeiten und Rollen zu definieren, um eine reibungslose Implementierung zu ermöglichen.

## 2.4 Reifegradmodelle

Reifegradmodelle sind gemäß MAIER ET AL. „Artefakte mit Elementen, die in einer evolutionären Skala mit messbaren Übergängen von einer Ebene zur nächsten angeordnet sind und für Benchmarking, Selbstbewertung und kontinuierliche Verbesserung Verwendung finden.“<sup>217</sup> Gemäß WURTH stellen sie somit „eine Sammlung von Verbesserungspunkten dar, welche Unternehmen ihren Bedürfnissen entsprechend anpassen, um ihren Entwicklungsprozess zu verbessern.“<sup>218</sup> Ziel ist es den betrachteten Prozess mit Hilfe des Reifegradmodells anhand der normierten Skala einzustufen.<sup>219</sup>

FRASER ET AL. hat die formellen und inhaltlichen Charakteristika von Reifegradmodellen wie folgt zusammengefasst:<sup>220</sup>

- Die Anzahl an Reifegradlevel liegt meist zwischen drei und sechs.
- Jedes Level weist eine Bezeichnung auf.
- Für jede Stufe gibt es eine dazugehörige Beschreibung bzw. Zusammenfassung.
- Die Gestaltungsspielräume werden durch die Anzahl an Dimensionen oder Prozessgebieten vorgegeben.
- Jeder Gestaltungsbereich wird durch eine bestimmte Anzahl von Elementen oder Aktivitäten beschrieben.
- Für jede Aktivität liegt eine Beschreibung bezugnehmend auf den jeweiligen Reifegrad vor.

Weiters ist für Reifegradmodelle, die den Beschreibungsmodellen (siehe Abschnitt 2.1.4) zugeordnet werden, charakterisierend, dass sie mindestens drei Merkmale – das

---

<sup>216</sup> Vgl. Fischer, T. et al. (1998), S. 27 f.

<sup>217</sup> Maier, H. et al. (2021), S. 30.

<sup>218</sup> Wurth, T. (2008), S. 45.

<sup>219</sup> Vgl. Wurth, T. (2008), S. 45 f.

<sup>220</sup> Vgl. Fraser, P. et al. (2002), S. 246.; zitiert nach: Jording, T. (2018), S. 16.

Abbildungs-, das Verkürzungs- und das pragmatische Merkmal – erfüllen müssen.<sup>221</sup> Die Reifegrade, welche ein latentes Konstrukt, das nicht direkt messbar ist darstellen<sup>222</sup>, bauen aufeinander auf und alle Punkte, die einen Reifegrad ausmachen müssen erreicht sein, damit dieser als erfüllt gilt.<sup>223</sup> Die Architektur der Reifegradmodelle ist definiert als die grundlegende Organisation eines Systems, unterteilt in seine Komponenten und deren Beziehungen zueinander und zur Umwelt sowie den Grundsätzen, die für das Design und die Entwicklung entscheidend sind.<sup>224</sup>

Eine gängige Architektur für die Erfassung der Reifegrade ist Capability Maturity Model Integration (CMMI) Architektur<sup>225</sup>, an der sich auch das entwickelte Datenreifegradmodell (siehe Abschnitt 5.5.2) orientiert.

### 2.4.1 Capability Maturity Model Integration (CMMI)

Bei diesem Reifegradmodell handelt es sich um den Nachfolger des Capability Maturity Model (CMM)<sup>226</sup>. Es wurde, wie das CMM selbst, vom Software Engineering Institut (SEI) 2000 entwickelt.<sup>227</sup> Im Gegenteil zum CMM ist es durch die Erweiterung des reinen Softwarefokus flexibler einsetzbar. Auch dieses Reifegradmodell liefert die Basis für viele seitdem entwickelte Modelle.<sup>228</sup>

In diesem Modell wird zwischen dem Reifegrad eines einzelnen Prozesses dem „Capability Level - Fähigkeitsgrad“ und dem der Organisation dem „Maturity Level-Reifegrad“ unterschieden.<sup>229</sup> „Diese Grade kennzeichnen den Fortschritt von einem schlecht definierten Zustand zu einem, der quantitative Informationen nutzt, um erforderliche Verbesserungen zum Erreichen der Geschäftsziele der Organisation zu bestimmen und zu führen.“<sup>230</sup> Um den jeweiligen Grad zu erreichen, müssen die dazugehörigen Ziele der jeweiligen Prozessgebiete erfüllt sein, unabhängig von der Art der verwendeten Grade. Weiters greifen sowohl Fähigkeits- als auch Reifegrade auf dieselben Modellkomponenten sowie Inhalte zurück. Der wesentlichste Unterschied der beiden Grade ist jener, dass sich der Fähigkeitsgrad auf die Fähigkeiten innerhalb eines Prozessgebietes bezieht. Die Verbesserungen werden demnach in einzelnen Prozessgebieten dargestellt, die der inkrementellen Verbesserung dienen. Reifegrade hingegen beziehen sich auf die organisationsweite Reife bzw. auf einen Satz von Prozessen. Sie zeigen die Verbesserungen über mehrere Prozessgebiete einer Organisation auf und dienen der Voraussage der generellen Ergebnisse des Projekts.<sup>231</sup>

<sup>221</sup> Vgl. Jochem, R. (2010), S. 115.

<sup>222</sup> Vgl. Schwaiger, W.S.A.; Brandstätter, M. (2022), S.35.

<sup>223</sup> Vgl. CMMI Production Team (2010), S. 401.; Bernerstätter, R. (2019), S. 14.

<sup>224</sup> Vgl. IEEE (2000); zitiert nach: Schmiedbauer, O. et al. (2020), S. 79. (übersetzt aus dem Englischen)

<sup>225</sup> Vgl. Ahlemann, F. et al. (2005), S. 19; Saavedra, V. et al. (2017), S. 33 ff.

<sup>226</sup> Für nähere Informationen zu CMM siehe: Harrach, H. (2012); Vgl. Wagner, K. W.; Dürr, W. (2008), S. 10 f.; zitiert nach: Jording, T. (2018), S. 26.

<sup>227</sup> Vgl. Wagner, K. W.; Dürr, W. (2008), S. 10 f.; Jochem, R. (2010), S. 126 f.

<sup>228</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 17.

<sup>229</sup> Vgl. Nehfort, A. (2009), S. 483.

<sup>230</sup> Chrissis, M. B. et al. (2006), S. 34.

<sup>231</sup> Vgl. Chrissis, M. B. et al. (2006), S. 24 f.

Das Ergebnis der Reifegrad- und Fähigkeitsgradeinstufung wird für Benchmarkingzwecke und zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen des bewertenden Unternehmens herangezogen.<sup>232</sup>

### **2.4.2 Aufbau und Entwicklung von Reifegradmodellen**

Ziel der Reifegrade ist die Bewertung von Prozessen. Dabei wird der Prozess in seine Teil- und Obergebiete zerlegt. Jedes Zielgebiet wird für sich bewertet und gemeinschaftlich ergeben sie die Bewertung des Obergebiets. Die Gesamtbewertung der Obergebiete ergibt wiederum den Reifegrad des betrachteten Prozesses.<sup>233</sup>

Im Falle des Datenreifegradmodells, das im Zuge dieser Dissertation entwickelt wurde, bedeutet das, dass beispielsweise im Obergebiet „Datenerfassung“ die Teilgebiete „Standards“, „Aufzeichnungsart“, „Durchgängigkeit der Aufzeichnung“, „Glaubwürdigkeit“ und „Fehlerfreiheit“ und deren jeweilige Ausprägungsformen den Reifegrad ergeben. Die Reifegrade aller sechs Obergebiete ergeben den gesamten Datenreifegrad (für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Obergebiete siehe Abschnitt 5.5.2).

Generell kann ein Reifegradmodell in die drei Bereiche – theoretisches Fundament, die praktische Umsetzung und die Bewertung – unterteilt werden. Das theoretische Fundament ist für die inhaltliche Ausgestaltung des Reifegradmodells zuständig, auf dessen die Bewertung in weiterer Folge beruht. Sie dient einerseits der Vergleichbarkeit der Bewertungen und stellt andererseits einen Standard dar. Im Zuge der praktischen Umsetzung wird die Grundlage für die Bewertung geschaffen. Hierbei werden die Rahmenbedingungen und Methoden festgelegt. Im letzten Schritt, der Bewertung selbst, steht die Logik zur Ermittlung des Gesamtreifegrades im Mittelpunkt (siehe Abschnitt 5.5.2).<sup>234</sup>

Durch diese standardisierte Vorgehensweise zur Bewertung nach zuvor definierten Attributen je Reifegradkategorie und -stufe, ist eine universelle Anwendbarkeit und dementsprechende Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse gegeben.

## **2.5 Systemtheorie und systemtheoretische Managementansätze**

Die Systemtheorie ist eine interdisziplinäre Metatheorie, mit dem Ziel Systeme zu beschreiben und zu verstehen.<sup>235</sup> Ihr Begründer BERTALANFFY entwickelte einen Systemansatz („System approach“), der Problemstellungen aller Art behandeln konnte. Diese Wissenschaft der Allgemeingültigkeit, die auf alle Forschungsbereiche

---

<sup>232</sup> Vgl. Wallmüller, E. (2007), S. 46.; SCAMPI Upgrade Team (2011), S. 10 ff.; Akkasoglu, G. (2013), S. 14.

<sup>233</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 21.

<sup>234</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 24 f.

<sup>235</sup> Vgl. Rosemann, M. (1995), S. 14.





unausweichlich selektiv, d.h. mit kontingenten Selektionsleistungen verbunden ist.“<sup>243</sup> Um die Lebensfähigkeit der komplexen Systeme dennoch sicherzustellen, ist es zwingend auf ordnende Kräfte (Führung) angewiesen. Das bestimmte Maß an Ordnung, das durch wiederholt auftretende Muster, sei es in der alltäglichen Regelkommunikation oder in der Führung zustande kommt, sowie durch Formen der Arbeitsteilung, ist der Schlüssel zum Erfolg.<sup>244</sup>

Generell wird zwischen der inneren und äußeren Komplexität unterschieden. Die innere Komplexität beschreibt die Anzahl und Verschiedenheiten der Elemente und deren Wechselwirkungen sowie Veränderungen innerhalb der definierten Systemgrenzen. Die äußere Komplexität zum Vergleich umfasst die Anzahl und Verschiedenheiten der Elemente der Systemumwelt, sowie deren Beziehungen zu systeminternen Elementen und die Veränderung des Systems in Bezug auf die Umwelt.<sup>245</sup>

## 2.5.2 Unternehmen als System

Unternehmen sind als komplexe zielgerichtete, offene, sozioökonomische Systeme einzustufen, mit dem Formalziel der Gewinnerzielung<sup>246</sup>, jedoch weisen sie einige Merkmale auf, die sie von anderen komplexen Systemen unterscheiden.

Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind die folgenden:<sup>247</sup>

- Unternehmen sind wirtschaftliche Systeme.
- Unternehmen sind zweckorientiert und multifunktional.
- Unternehmen sind soziotechnische Systeme.
- Unternehmen stehen in einem ökonomischen Wettbewerb mit anderen Unternehmen.

Diese Merkmale sind wichtig um sich im permanenten Wettbewerb behaupten zu können. Nur durch eine überlegene Nutzenstiftung für einerseits verschiedene Anspruchsgruppen und andererseits durch den erzielten Kostenvorsprung, können langfristig nachhaltige Wettbewerbsvorteile generiert werden.<sup>248</sup>

Faktoren, wie eine zunehmende Produktivität und der Kundenanforderungen, sowie die Steigerung der Komplexität unternehmensinterner Abläufe, resultieren in einer gesteigerten inneren und äußeren Komplexität des Systems. Weiters bedingen verkürzte Produktlebenszyklen und die Beschleunigung der Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette eine steigende Dynamik des Unternehmensumfeldes. Diese indirekten und direkten Veränderungen der Unternehmensstrukturen, aber auch diese des Unternehmensumfeldes führen dazu, dass die Anzahl und Varietät der Elemente und Beziehungen des Systems „Unternehmen“, sowie die dazugehörige Veränderungsgeschwindigkeit laufend steigen. Diese gestiegene Anzahl an Elementen und Beziehungen, die innerhalb eines Systems und mit der Umwelt in Wechselwirkung treten, bedingen, dass im Zuge der Problemlösung mehr Einflussfaktoren berücksichtigt

---

<sup>243</sup> Luhmann, N. (1987); zitiert nach: Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 20.

<sup>244</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 19 f.

<sup>245</sup> Vgl. Luhmann, N. (1980), S. 1064 f.; zitiert nach: Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 65.

<sup>246</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 65.

<sup>247</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 20 f.

<sup>248</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 21.

werden müssen und eine ganzheitliche Sicht auf das System essenziell wird. Durch die enorme Veränderungsgeschwindigkeit des Marktes und in weiterer Folge des Unternehmens an sich, nimmt ein System innerhalb eines bestimmten Zeitraums unterschiedlichste Zustände an, die überwacht gehören, jedoch meist nicht ausreichend prognostizierbar sind.<sup>249</sup> Bedingt durch die gesteigerte Anzahl möglicher Systemzustände, erhöht sich in weiterer Folge die Anzahl der „ungünstigen“ Zustände, was in einem erhöhten Risikoaufkommen resultiert. Durch diese gestiegene Komplexität erhöht sich der Druck der Identifizierung und Bewertung, der in diesen Systemen befindlichen Risiken, jedoch gestaltet sich dieser Prozess aufgrund der unterschiedlichen Systemzustände und deren kontinuierlicher Änderung als aufwändig und umfangreich. Hier ist der Informationsbedarf des Entscheiders wesentlich. Kenntnisse über das Verhalten der einzelnen Elemente sowie der Umwelt zu erfassen, um zukünftige Systemzustände einschätzen zu können und denen entgegenzuwirken, ist wichtig, um das Ziel der Gewinnerzielung langfristig zu erreichen.<sup>250</sup> Aktuelle Modelle der Kritikalitätsbeurteilung haben nicht genügend Bewertungsdimensionen um der Komplexität der Anlagen als Markterfolgskriterien gerecht zu werden und die Komplexität messbar zu machen. Auch die Dynamik des Marktes wirkt sich auf die Produktion und die damit verbundene Unbestimmbarkeit der Veränderung aus, was die Komplexität steigen lässt. Deshalb ist es bei für den Prozess der Anlagenoptimierung wesentlich die Komplexität der Betrachtungseinheit (siehe Abschnitt 3.3) samt aller darauf wirkender Einflussfaktoren mitzubetrachten.

Genau hier setzt das Modell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung an. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden und die Zuverlässigkeit der Anlagen sicherzustellen und trotz des dynamischen Umfeldes weiter zu steigern, ist es wichtig im ersten Schritt der Kritikalitätsbeurteilung alle Einflussfaktoren, angefangen von der Marktanforderungen über die Ausrichtung des Unternehmens bis hin zur angewandten Technologie, dem Produktionsprogramm und dem Anlagenpark, auf die Anlagen mittels eines morphologischen Kastens (siehe Abschnitt 5.5.1) zu identifizieren, welche die Basis für die Kriterienauswahl und die Wahl des Instrumentensets bilden.

### **2.5.3 St. Galler Managementkonzept**

Um die Funktion und die Wirkung des Managements, die als komplex und voraussetzungsreich gelten<sup>251</sup>, zu reflektieren und in einen interdisziplinären, ganzheitlichen Ansatz der Managementlehre zu verpacken, wurde das St. Galler Management Modell (SGMM) 1972 von ULRICH und KRIEG<sup>252</sup> ins Leben gerufen. Management ist generell gemäß BESSAI „eine Sammlung von spezifischen Funktionen (Managementaufgaben), die mit Hilfe adäquater Techniken (Management-Techniken), von bestimmten Stellen des Systems (Managementpositionen) wahrgenommen werden, in denen hierfür geeigneten Personen („das Management“) tätig sind.“<sup>253</sup>

---

<sup>249</sup> Vgl. Schwaninger, M. (1994), S. 18.; Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 65 f.

<sup>250</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 67 f.

<sup>251</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2017), S. 30.

<sup>252</sup> Für nähere Infos siehe: Ulrich, H.; Krieg, W. (1972)

<sup>253</sup> Bessai, B. (1974); zitiert nach: Müller, K. (1990), S. 2.

Das St. Galler Managementkonzept gilt als Reflexionshilfe um unternehmerische Herausforderungen und Problemstellungen zu bewerkstelligen. Hierzu werden die Aufgabenperspektive und die Praxisperspektive in Form eines integrierten Modells zur Darstellung des Zusammenspiels von Organisation, Umwelt und Management genutzt.<sup>254</sup>

Das aktuelle Modell, das der 4. Generation, sieht Management nicht als Institution, sondern als eine reflexive Gestaltungspraxis, die sich an den wichtigsten Managementherausforderungen orientiert<sup>255</sup> und bei der die organisatorische Wertschöpfung im Mittelpunkt der Betrachtung steht. „Zentrale Bezugspunkte dieser reflexiven Gestaltungspraxis bilden zum einen das Verhältnis zwischen der verantwortenden Organisation und ihrer existenzrelevanten Umwelt und zum anderen – unmittelbar damit verknüpft – die organisatorische Wertschöpfung für diese Umwelt. Management ist somit diejenige Praxis, in der Organisation und Umwelt, die in ihrer Entwicklungsdynamik kritisch in den Blick genommen wird, um Probleme zu identifizieren, aber auch Opportunitäten zu entwickeln und daraus erforderliche Schlussfolgerungen zu ziehen.“<sup>256</sup>

Deshalb unterscheidet das neue St. Galler Management Modell sechs zentrale Grundkategorien (Abbildung 14), die sich auf die zentralen Dimensionen des Managements gemäß ULRICH<sup>257</sup> (Gestalten, Lenken, Weiterentwickeln) fokussieren:<sup>258</sup>

- **Umweltsphären**  
Das sind die zentralen Kontexte unternehmerischen Handels. Je nach Branche sind diese auf aktuelle Markttrends und dementsprechende Veränderungen hin zu analysieren.
- **Anspruchsgruppen**  
Diese Dimension bezieht sich auf die Stakeholder eines Unternehmens.
- **Interaktionsthemen**  
Darunter sind die Austauschbeziehungen sowie die Interaktionsthemen zwischen den Stakeholdern mit dem Unternehmen zu verstehen. Hierbei stehen die Anforderungen, Interessen, Normen und Werte der Stakeholder im Fokus der Betrachtung.
- **Ordnungsmomente**  
Ordnungsmomente geben die organisatorischen Rahmenbedingungen für das Alltagsgeschehen vor, denen gewisse Ordnungen zur Zielerreichung auferlegt werden.
- **Prozesse**  
Diese Dimension bildet alle wertschöpfenden Aktivitäten sowie die dazu notwendige Führungsarbeit ab.
- **Entwicklungsmodi**  
Entwicklungsmodi umfassen grundlegende Muster der unternehmerischen Weiterentwicklung und Veränderung.

---

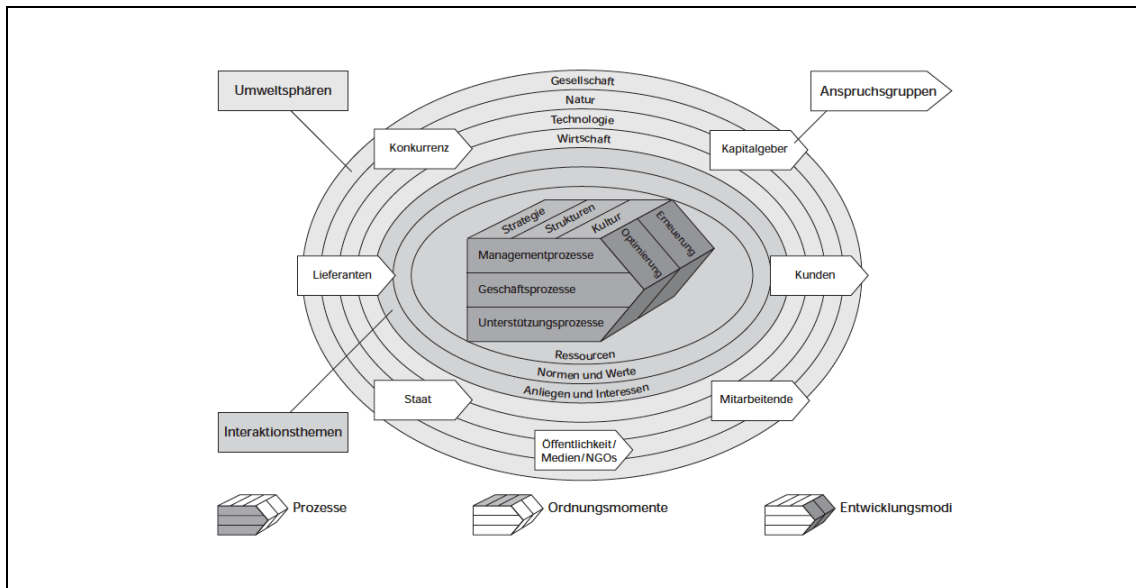
<sup>254</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2020), S. 13.

<sup>255</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2017), S. 33.

<sup>256</sup> Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2017), S. 34.

<sup>257</sup> Für nähere Informationen siehe: Ulrich, H. (1984)

<sup>258</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 21 ff.



**Abbildung 14: Das neue St. Galler Management Modell<sup>259</sup>**

Allen vier Generationen ist gemeinsam, dass zur differenzierten Lösung von Herausforderungen des Managements, die Einteilung der Managementprozesse in drei Ebenen gemäß ULRICH – normativ, strategisch, und operativ – herangezogen wird.<sup>260</sup> Die Betrachtung dieser drei Ebenen ist auch für das im Zuge der Dissertation entwickelte Modell, um alle Einflussfaktoren der Kritikalitätsbeurteilung zu erheben, angewandt worden. Auf normativer Ebene wird das produzierende Unternehmen, dessen strategische Ausrichtung, die Instandhaltung, die Produktion, das Asset an sich inklusive der Marktanforderungen mit Hilfe eines morphologischen Kastens analysiert. Diese Morphologie bildet die Ausgangsbasis für die Wahl des Kriterien- aber auch des Instrumentensets zur Durchführung der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung (strategische Ebene) sowie der aus dem Ergebnis abgeleiteten Instandhaltungsstrategieoptimierung, die in weiterer Folge auf operativer Ebene umgesetzt wird (siehe hierzu Abschnitte 3.5.7, 5.5, 5.6, 5.7).

Wohingegen der normativen und strategischen Ebene Gestaltungsfunktion zukommt, ist die operative Ebene zur Lenkung der Unternehmensentwicklung zuständig. Im Detail bedeutet das auf die einzelnen Ebenen bezogen folgendes:

### **Normatives Management**

Die normative Ebene beschäftigt sich mit der Unternehmenspolitik, den Unternehmenszielen, der Unternehmensverfassung sowie der Unternehmenskultur. In dieser Ebene werden die Prinzipien, Normen, Spielregeln zur Sicherstellung der Lebens- und Entwicklungsfähigkeit des Unternehmens mit dem Ziel der Nutzenstiftung für die jeweiligen Bezugsgruppen festgelegt. Hierbei steht ein großes Maß an Responsiveness bezogen auf die gesellschaftliche Wertorientierung sowie die Anerkennung moralischer Eigenwerte im Vordergrund<sup>261</sup>. Ausgangspunkt bildet die Unternehmensvision, die das unternehmerische Handeln definiert, sowie die Basis der Unternehmenspolitik bildet und

<sup>259</sup> Quelle: Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 22.

<sup>260</sup> Vgl. Bleicher, K. (1996), S. 70.

<sup>261</sup> Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 70 f.

die daraus abgeleitete Unternehmensmission für die Unternehmensentwicklung beinhaltet (Abbildung 15). Sie schafft dadurch die Legitimation für die Handlungen auf strategischer Ebene.<sup>262</sup>

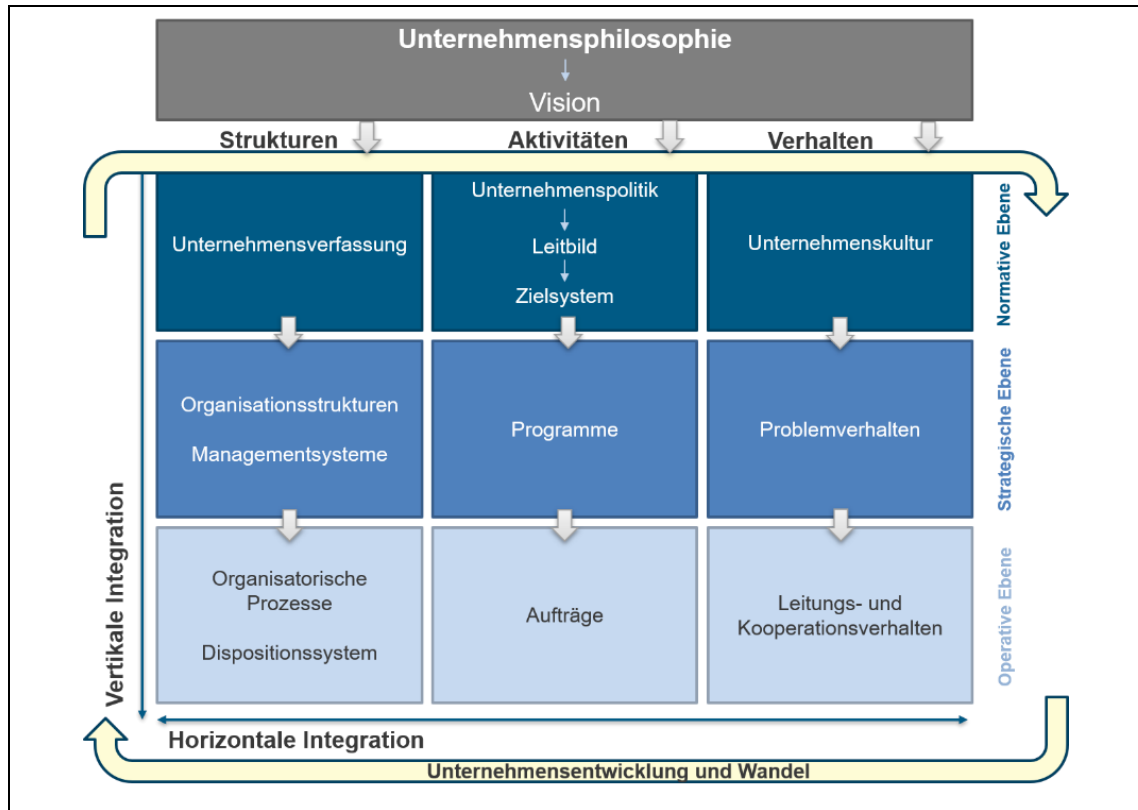


Abbildung 15: Grundstruktur des St. Galler Managementkonzepts<sup>263</sup>

### Strategisches Management

„Das strategische Management ist auf den Aufbau, die Pflege und die Ausbeutung von Erfolgspotenzialen gerichtet, für die Ressourcen eingesetzt werden müssen.“<sup>264</sup> Erfolgspotenziale sind gemäß PÜMPIN das gesamte Gefüge aller produkt- und marktspezifischen Voraussetzungen inklusive der Beziehungen zu Wettbewerbern, die spätestens in der Realisierungsphase bestehen müssen.<sup>265</sup>

Die Ausgestaltung des strategischen Managements leitet sich von der normativen Ebene und dem darin enthaltenen Leitbild, der Vision und Mission des Unternehmens ab. Hauptaufgabe dieser Ebene sind die Auslegung der Organisationsstrukturen und Managementsysteme, die Gestaltung der dafür relevanten Programme, sowie das Problemlösungsverhalten der Akteure des Unternehmens. Im Vergleich zum normativen Management, das Aktivitäten begründet, ist das Ziel des strategischen Managements auf die gesetzten Aktivitäten einzuwirken und Handlungen entsprechend der definierten Politik zu setzen, sowie langfristig die Zukunftssicherung des Unternehmens zu ermöglichen.<sup>266</sup>

<sup>262</sup> Vgl. Bleicher, K. (1996), S. 73 f.; Bleicher, K. (2011), S. 88 f.

<sup>263</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Bleicher, K. (1996), S. 76.

<sup>264</sup> Bleicher, K. (1996), S. 74.

<sup>265</sup> Vgl. Pümpin, C. (1986), S. 33 ff.; zitiert nach: Bleicher, K. (2011), S. 89.

<sup>266</sup> Vgl. Bleicher, K. (2011), S. 90., Rüegg-Stürm, J. (2003), S. 70.

## Operatives Management

„Normatives und strategisches Management finden ihre Umsetzung im operativen Vollzug, der im ökonomischen auf leistungs-, finanz- und informationswirtschaftliche Prozesse ausgerichtet ist.“<sup>267</sup>

Ziel des operativen Managements ist die Umsetzung der auf normativer und strategischer Ebene definierten Vorgaben<sup>268</sup> und von Maßnahmen zur Erreichung der Unternehmens- sowie Asset-Management-Ziele. Neben den Aktivitäten müssen die Strukturen sowie das Verhalten über alle drei Ebenen abgestimmt sein. Eine horizontale sowie vertikale Integration zwischen den Ebenen ist unabdingbar, da die Ebenen gemeinsam auf die Unternehmensentwicklung und den damit verbundenen Wandel einwirken.<sup>269</sup>

### 2.5.4 Generic Management

Auf Grund der steigenden Komplexität und Umweltdynamik sind Unternehmen sowie die Unternehmensführung laufend mit neuen Herausforderungen konfrontiert.<sup>270</sup> Umso wichtiger ist es durch flexible und agile Prozesse die Stärken dieser Veränderung zu nutzen, um langfristig erfolgreich zu sein. Genau hier setzt die Generic Management Philosophie an, die auf den langfristigen Unternehmenserfolg ausgerichtet ist<sup>271</sup> und die Teilprozesse entlang der Wertschöpfungskette koordiniert<sup>272</sup>. Sie ist wesentlich für das entwickelte Modell und dient als Ergänzung zum St. Galler Management System, da es die Umwelt, die Flexibilität und den Unternehmenswert, die drei wesentlichen Faktoren dieser Philosophie, die essenziell für eine ganzheitliche Betrachtung des Unternehmens und dessen Einflussfaktoren sind, wie es Ziel der Morphologie ist, betrachtet.

Es handelt sich dabei „um ein Führungsmodell zum Management unternehmensinterner und unternehmensexterner Anforderungen und Ansprüche einschließlich der Prinzipien Sustainable Development unter Beachtung dynamischer und komplexer Prozesse und Rahmenbedingungen und dient einer dauerhaften und nachhaltigen Unternehmensentwicklung.“<sup>273</sup> Die drei wesentlichen bereits erwähnten Elemente dieser Philosophie sind demnach folgende:<sup>274</sup>

#### Stakeholder

Der Aspekt Stakeholder ist die Außensicht auf die Organisation gemäß dem market-based-view. Hierbei werden die relevanten Stakeholder (unternehmensinterne sowie unternehmensexterne) mit Fokus auf diejenigen, die direkten Einfluss auf die Unternehmensziele haben bzw. deren Ansprüche erhoben.<sup>275</sup> Bei wesentlichen

<sup>267</sup> Bleicher, K. (2011), S. 90.

<sup>268</sup> Vgl. Bleicher, K. (2011), S. 90.

<sup>269</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006a), S. 56.; Bleicher, K. (2011), S. 94 f.

<sup>270</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006), S. 5.

<sup>271</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006), S. 16.

<sup>272</sup> Vgl. Biedermann, H.; Schmiedbauer, O. (2020), S. 11.

<sup>273</sup> Baumgartner, R. J. et al. (2006), S. 16.

<sup>274</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006a), S. 17 ff.

<sup>275</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006a), S. 17 ff.

Entscheidungen sind die Konsequenzen für die jeweiligen Stakeholder-Gruppen zu berücksichtigen.

### Flexibilität

Die Flexibilität geht mit der dauerhaften Anpassung der Unternehmenssituation an Umweltveränderungen zur Sicherung der Überlebensfähigkeit im Sinne eines dynamischen Gleichgewichtes einher. Die Überlebensfähigkeit stellt in diesem Zusammenhang die dauerhafte Zielerreichung dar. Flexibel ist ein Unternehmen nur, wenn es unter Sicherung des Mindestzielerreichungsgrades die Anpassung an die neuen Gegebenheiten erreicht.<sup>276</sup> Die Flexibilität stellt somit die zielgerechte Aktions- und Reaktionsgeschwindigkeit dar<sup>277</sup>. Weiters ermöglicht sie unter Betrachtung der inneren Komplexität, die Komplexität und Dynamik des Umfeldes nach Ashby's Gesetz<sup>278</sup> der ausgeglichenen Varietät händelbar zu machen. Entscheidend ist, dass der Varietätsausgleich zwischen Umwelt und Unternehmen entsprechend den Zielvorstellungen erfolgt.<sup>279</sup> Ein Beispiel der erfolgreichen Umsetzung der Kompatibilitätshandhabung ist das agile Unternehmen. Durch die immer fortschreitende Digitalisierung und die Vernetzung von Daten- und Informationssystemen, steigt dementsprechend der Komplexitätsgrad von Systemen. Um trotzdem am dynamischen Markt bestehen zu können, wird die Flexibilität für Unternehmen immer wichtiger.<sup>280</sup>

Zur Charakterisierung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität gibt es unterschiedliche Ansätze (Abbildung 16).<sup>281</sup>



**Abbildung 16: Flexibilitätsarten und ihr Einfluss auf die strategische Flexibilität<sup>282</sup>**

Der Systematisierungsansatz von KALUZA unterscheidet am Objekt der Flexibilität eine Ziel- und Mittelflexibilität.<sup>283</sup> Während sich die Zielflexibilität auf die Flexibilität der

<sup>276</sup> Vgl. Burmann, C. (2005), S. 31.

<sup>277</sup> Vgl. Ulrich, H. (1978), S. 186.

<sup>278</sup> Für nähere Informationen siehe: Ashby, W. R. (1970)

<sup>279</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006), S. 20 f.

<sup>280</sup> Vgl. Becker, J.; Kahn, D. (2012), S. 10.; Schmiedbauer, O. et al. (2021), S. 166.; Deeken, M.; Fuchs, T., S. 34 f.

<sup>281</sup> Vgl. Wildemann, H. et al. (2005), S. 139.

<sup>282</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Burmann, C. (2005), S. 32.

<sup>283</sup> Vgl. Kaluza, B. (1993), S. 1173 ff.



Aufnahme neuer Ziele im Zielsystem, die Veränderung des Zielsystems und des dementsprechenden Zielerreichungsgrades fokussiert, umfasst die Mittelflexibilität die Auswahl von Mitteln zur Erreichung dieser Ziele. Hierbei wird wiederum zwischen der realen, die auf physischer Ebene angesiedelt ist und sich auf die klassischen Produktionsfaktoren bezieht und der dispositiven Flexibilität, bei der die Betriebsmittel und die menschliche Arbeitsleistung im Vordergrund stehen, unterschieden. Die reale Mittelflexibilität wird weiters in die qualitative und die quantitative aufgeteilt. Während die qualitative Mittelflexibilität sich mit der Vielseitigkeit und Umrüstbarkeit sowie die Einsatzbreite der Mitarbeiter auseinandersetzt, beschäftigt sich die dispositive mit der Anpassungsfähigkeit in den Bereichen Planung, Information, Organisation und Kontrolle.<sup>284</sup>

ANSOFF unterscheidet die Flexibilität anhand der Wirkungsrichtung.<sup>285</sup> Hierbei wird zwischen der externen (direkter Einfluss des Unternehmens auf die Umwelt) und der internen Flexibilität (alle Veränderungen der internen Strukturen und Prozesse) unterschieden.<sup>286</sup> MEFFERT unterteilt Flexibilität nach der Grundeinstellung des Managements.<sup>287</sup> Hierbei erfolgt die Aufteilung in die Built-In-Flexibilität, eine Art der defensiv-passiven Risikovorsorge durch Anpassung des Geschäftsfeldportfolios sowie der Unternehmenskultur und die Handlungsflexibilität, eine offensiv-aktive Strategie zur Nutzung neuer Wachstumschancen. Diese wird weiters in die Aktionsflexibilität (Handlungsspielraum), die Prozessflexibilität (Handlungsgeschwindigkeit) und die Strukturflexibilität (Handlungsbereitschaft) unterteilt.<sup>288</sup> Eine weitere Unterteilung der Flexibilität kann gemäß JACOB anhand der Zeitdimension erfolgen. Hierbei wird zwischen der Entwicklungs- (langfristige Anpassung an unvorhergesehene Unternehmenssituation) und der Bestandsflexibilität (kurzfristige Anpassungsfähigkeit unter Nutzung der vorhandenen Ressourcen) unterschieden.<sup>289</sup> All diese Arten der Flexibilität resultieren in der strategischen Flexibilität, die das Handlungspotenzial eines Unternehmens zur aktiv offensiven Ausschöpfung zukünftiger Wachstumspotenziale durch Veränderungen des Produktions- und Leistungsprogramms definiert.<sup>290</sup>

Bei der Betrachtung der Flexibilität der Anlagen kommt der Instandhaltung als Bestandteil des Asset Managements und als wesentlicher Supportprozess der Wertschöpfungskette eine entscheidende Rolle zu. Die Fertigungsflexibilität und deren Subtypen die Maschinen-, Mitarbeiter-, Materialhandhabungs-, Verlaufs-, Volumen- und Mischflexibilität sind deshalb besonders von Relevanz.<sup>291</sup>

Eine weitere Unterscheidung der Produktionsflexibilität gemäß PRÜß kann auf Grund des Anpassungsvermögens und der Änderungsgeschwindigkeit an die gegebenen Marktanforderungen erfolgen. Hierbei wird zwischen der qualitativen Flexibilität der Anpassungsfähigkeit und der quantitativen unterschieden. Während die erst genannte

<sup>284</sup> Vgl. Burmann, C. (2005), S. 31 f.

<sup>285</sup> Vgl. Ansoff, H. I. (1966), S. 74 ff.

<sup>286</sup> Vgl. Burmann, C. (2005), S. 32.

<sup>287</sup> Vgl. Meffert, H. (1985), S. 125.

<sup>288</sup> Vgl. Burmann, C. (2005), S. 32 f.

<sup>289</sup> Vgl. Jacob, H. (1989), S. 18 f.

<sup>290</sup> Burmann, C. (2005), S. 34.

<sup>291</sup> Vgl. Sethi, A. K.; Sethi, S. P. (1990); Zhang, Q. et al. (2003), S. 177.; Schmiedbauer, O. et al. (2021), S. 166 f.

sich mit der Fähigkeit der Anpassung an Produktveränderungen beschäftigt, steht bei der quantitativen die Fähigkeit zur Anpassung an Mengenveränderungen im Vordergrund. Bei der Anpassungsgeschwindigkeit wird zwischen der kurzfristigen (z.B. Rüsten einer Anlage) und der langfristigen (z.B. Umbauen einer Anlage) unterschieden.<sup>292</sup> Da all diese flexibilitätsbeeinflussenden Punkte bei der Anpassung der Instandhaltungsstrategie auf Basis der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung wesentlich sind, werden diese im Zuge der Systembetrachtung mit Hilfe des morphologischen Kastens (siehe Abschnitt 5.5.1) erhoben.

Anzumerken ist hier, dass Flexibilität, Agilität und Wandungsfähigkeit in dieser Dissertation gleichgesetzt sind und alle Begrifflichkeiten unter dem Begriff der „Flexibilität“ zusammengefasst werden.

### **Unternehmenswert**

Das mehrdimensionale Zielsystem von Unternehmen, welches sich aus monetären und nicht monetären Zielen zusammensetzt<sup>293</sup>, sowie die dazugehörige Zielerreichung, spiegeln den Unternehmenswert wider. Wichtig ist bei den Unternehmenswerten Werte für alle Stakeholdergruppen zu schaffen. Weiters ist es wichtig, um die Zukunftsfähigkeit der Organisation zu sichern, einen Substanzvorrat wie beispielsweise Wissen, Kompetenzen, Fertigkeiten und Fähigkeiten oder Beziehungen, der situativ Werte generieren kann, zu schaffen. Die Betrachtung des Zielsystems des Unternehmens und der Instandhaltung im Zuge der Bewertung zeigt, dass die Kritikalitätsbeurteilung als wesentlicher Treiber zur dauerhaften Wertsteigerung beiträgt.

Mit Hilfe des Strukturmodells, bei dem diese drei Elemente mit einer Input-Output Darstellung der Organisation kombiniert werden, können Verbesserungspotenziale in den Bereichen Unternehmenswert, Flexibilität und Stakeholder identifiziert werden. Weiters bringt es die Verbesserung der drei Elemente in Bezug auf den Input zum Vorschein und deren Auswirkungen auf den Output<sup>294</sup>, was wesentlich im Zuge der Kritikalitätsbewertung ist. Durch die Betrachtung der drei Managementebenen in Kombination mit den drei Elementen des Generic Managements, welche im Modell aufgegriffen werden, wird eine ganzheitliche Betrachtung der Anlage und all Ihrer Einflussfaktoren mit Hilfe der Morphologie erreicht, die ganz wesentlich für die Auswahl des Kriteriensets (siehe Abschnitt 5.5.1) im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung ist.

## **2.6 Controlling**

Das Wort „Controlling“ ist nicht gleichzusetzen mit Kontrolle. Vielmehr geht es beim Controlling um die Steuerung und Lenkung der Prozesse.<sup>295</sup> Somit ist das Controlling Teil des Führungssystems und dient dem Management zur Überwachung der

---

<sup>292</sup> Vgl. Prüß, H. (2003), S. 91 f.

<sup>293</sup> Vgl. Heinen, E. (1971b); zitiert nach: Baumgartner, R. J. et al. (2006), S. 22.

<sup>294</sup> Vgl. Baumgartner, R. J. et al. (2006a), S. 24 ff.

<sup>295</sup> Vgl. Matyas, K. (2010), S. 99.

Unternehmensziele und ist für die damit verbundene Koordination zuständig.<sup>296</sup> Diese Zielerreichungskontrolle (siehe Abschnitte 3.5.8, 5.8) ist auch wesentlich für die dynamische Kritikalitätsbeurteilung und wesentliche Bestandteil des Regelreises der Instandhaltung (Abbildung 29).

## 2.7 Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit

In diesem Kapitel werden die wissenschaftstheoretischen Grundlagen für die Dissertation beschrieben.

Wesentlich für diese Arbeit sind die theoretischen Grundlagen der Modelltheorie. Sie dient einerseits der Entwicklung eines Vorgehens- und Prozessmodells und andererseits der Gestaltung der in den einzelnen Schritten enthaltenen Entscheidungen bzw. der Einstufungs- und Reifegradmodelle. Der Fokus in der Entscheidungstheorie liegt auf multikriteriellen Entscheidungsmodellen und Entscheidungen bei Risiko, da diese Punkte wesentlich für die Modellkonstruktion sind.

Im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung ermöglicht die Denkweise in Systemen die ganzheitliche Betrachtung aller Einflussfaktoren auf die Ressource „Anlage“. Hierbei orientiert sich das Modell, das alle drei Managementebenen mitbetrachtet, am St. Galler Management Konzept.

Die Aspekte des Generic Managements werden ebenso in diesem Vorgehens- und Entscheidungsmodell mitbetrachtet und dienen der Erweiterung der Betrachtungsweise des St. Galler Managementgedankens um die Aspekte der Flexibilität, Stakeholder und des Unternehmenswertes. Durch die ganzheitliche Betrachtung der Anlage werden externe und interne Stakeholder und die Dynamik der Märkte mitbetrachtet, die wesentlich für eine dynamische Kritikalitätsbeurteilung, als Basis der dynamischen Instandhaltungsstrategieanpassung, mit dem Ziel einer dauerhaften Unternehmenswertsteigerung, sind. Weiters sind sowohl monetäre sowie nicht monetäre Einflussgrößen für eine optimale Kritikalitätsbeurteilung von Bedeutung. Durch Miteinbeziehung der Markterfolgskriterien und Unternehmensziele in die Kriterienauswahl, ist eine effiziente und effektive Kritikalitätsbeurteilung durchführbar. Dadurch kann die Zuverlässigkeit der Anlagen durch die dynamische Durchführung der Bewertung und dahingehender Anpassung der Instandhaltungsstrategie gesteigert und Kosten eingespart werden. Weiters ist der marktseitige sowie unternehmensinterne Anspruch flexibel auf die sich ständig ändernden Umweltfaktoren zu reagieren ein großer, der die Dynamisierung der Kritikalitätsbeurteilung und deren Wichtigkeit als Input für die optimale Instandhaltungsstrategieanpassung bekräftigt.

Das Controlling ist wesentlich für die laufende Erfolgsüberprüfung der gesetzten Maßnahmen. Daraus lassen sich die Aufgaben des Instandhaltungs-Controllings, als zentrales Element des Vorgehens- und Entscheidungsmodells, ableiten.

---

<sup>296</sup> Vgl. Horváth, P. (1996), S. 142 f.; Britzelmaier, B. (2013), S. 15.

### 3 Grundlagen des Asset Managements und der Instandhaltung

In diesem Kapitel wird auf die Grundlagen des Asset Managements, des strategischen Asset Managements mit dem Fokus auf den Teilprozess der Instandhaltung im Speziellen die Nutzungsphase von Anlagen und deren Wichtigkeit eingegangen. Die Erläuterung ausgewählter, risikoorientierter Instandhaltungsphilosophien streicht die Wichtigkeit der Risikobetrachtung von Anlagenrisiken heraus. In weiterer Folge werden die Verankerung des Risikomanagements in Hinblick auf eine langfristige Zuverlässigkeitssteigerung im Asset Management, sowie anlagenspezifische Risiken, die es durch die Anwendung der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung zu reduzieren gilt, beleuchtet. Des Weiteren wird auf die Wichtigkeit einer dynamischen Instandhaltungsstrategieanpassung und des Instandhaltungscontrollings eingegangen.

Asset Management wird im Zuge der Dissertation mit dem in der deutschsprachigen Literatur verwendeten Begriff der „Anlagenwirtschaft“ adressiert, da diese Dissertation sich auf das „Plant Asset Management“<sup>297</sup> bezieht.

#### 3.1 Definition Asset Management und Asset Managements System

Asset Management setzt sich aus den beiden Begriffen „Asset“ und „Management“ zusammen. Ein Asset oder auch Anlage ist gemäß ISO 55000 definiert als „Objekt, Sache oder Einheit, das bzw. die für eine Organisation einen potenziellen oder tatsächlichen Wert besitzt.“<sup>298</sup> Dazu zählen im weiteren Sinn alle Vermögensgegenstände die langfristig investiert werden und dauerhaft dem Geschäftsbetrieb dienen. Diese Vermögenswerte können materiell oder immateriell sowie finanziell oder nichtfinanziell sein.<sup>299</sup> Diese Definition umfasst alle Arten von „Assets“ angefangen von finanziellen Assets, physischen Assets, menschlichen Assets bis hin zu informativen oder immateriellen Assets.<sup>300</sup> Da der Fokus dieser Dissertation die Betrachtung physischer Assets bzw. materielle Vermögenswerte bildet, werden nur betriebsnotwendige Sachanlagen betrachtet. Hierzu zählen all jene Sachgüter, die dauerhaft zur betrieblichen Leistungserstellung beitragen.<sup>301</sup> Sie stellen einen elementaren Produktionsfaktor<sup>302</sup>, der wesentlich zum Unternehmenserfolg beiträgt, dar, was sich in einer immer größer werdenden Bedeutung der sozio-technisch orientierten Disziplin der Anlagenwirtschaft<sup>303</sup> bzw. dem Asset Managements zeigt.

---

<sup>297</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008b), S. 9.

<sup>298</sup> ISO 55000 (2014), S. 35.

<sup>299</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 2.; ISO 55000 (2014), S. 35.

<sup>300</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 6 f.

<sup>301</sup> Vgl. Steffen, R. (1973), S. 21.

<sup>302</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 2.

<sup>303</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 23.

Asset Management stellt gemäß der ISO 55000 „...koordinierte Aktivität einer Organisation um mit Hilfe von Assets Werte zu schaffen“<sup>304</sup>, dar. Gemäß FEDERMANN beinhaltet das Asset Management „den betrieblichen Entscheidungs- und Aktionsbereich, der die formalzielorientierte und den Anforderungen des betrieblichen Leistungsprozesses entsprechende Beschaffung, Bereitstellung, Erhaltung, Verwaltung und Ausmusterung von Sachanlagen umfasst“.<sup>305</sup> MITCHELL und CARLSON verstehen darunter „...eine strategische, integrierte Reihe vollumfassender Prozesse (Finanzen, Management, Technik, Betrieb und Instandhaltung) zur Erzielung der größtmöglichen Effektivität, Nutzen und Rendite über die gesamte Lebensdauer von Anlagen (Produktions- und Betriebsanlagen und Strukturen)“.<sup>306</sup> Somit ist das Asset Management ein Schlüsselfaktor um ein optimales Lebenszyklusmanagement von Produktionsanlagen zu realisieren, mit dem Ziel der nachhaltigen Wertschöpfung.<sup>307</sup>

Die Anlagenwirtschaft gilt als Objektbereich des Unternehmens und zielt darauf ab die Zuverlässigkeit der Anlagen, die zur Erreichung der Unternehmensziele wesentlich sind, sicherzustellen. Hierbei ist das Anlagenmanagement mit seinen Funktionen der Leitung, Planung, Organisation, Kontrolle, Vorbereitung, Entscheidung und Realisierung der Anlagenaktivitäten und Verbesserungsmaßnahmen über den gesamten Anlagenlebenszyklus mit dem Ziel das Unternehmensergebnis positiv zu beeinflussen, sowie einen Beitrag zu nachhaltigen Unternehmensentwicklung zu leisten, wesentlich (Abbildung 17).<sup>308</sup>

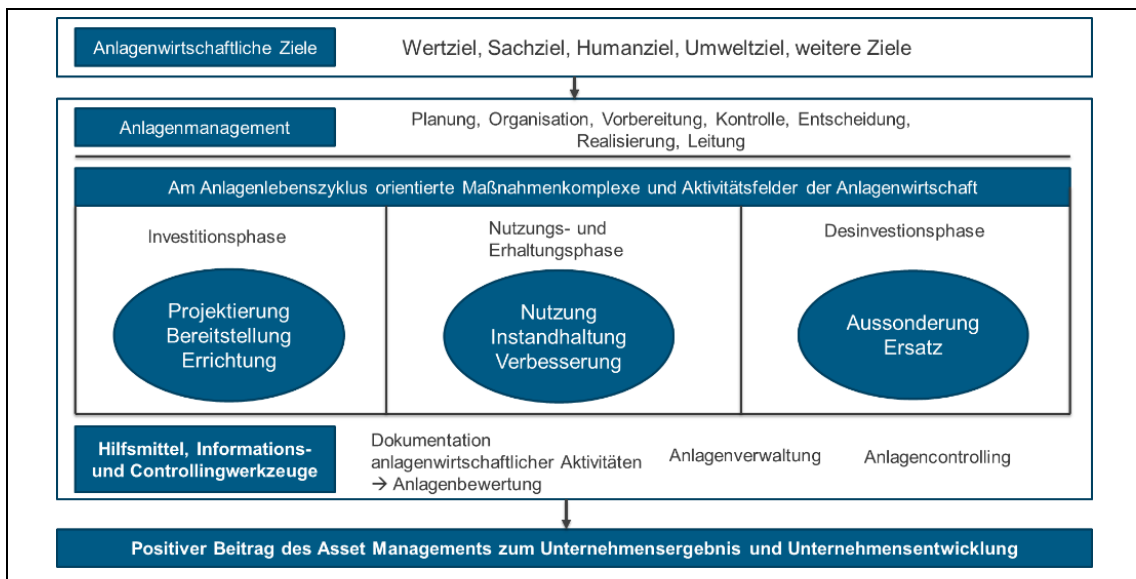


Abbildung 17: Aspekte des Asset Managements<sup>309</sup>

Die Ausschöpfung des Anlagenlebenszyklus und die nachhaltige Erreichung der Geschäftsziele stehen im Mittelpunkt des Asset Managements.<sup>310</sup> Sein Ziel ist eine

<sup>304</sup> ISO 55000 (2014), S. 37.

<sup>305</sup> Federmann, R. (1976), S. 266.

<sup>306</sup> Mitchell, J. S.; Carlson, J. (2001) (übersetzt aus dem Englischen); zitiert nach: Schuman, C. A.; Brent, A. C. (2005), S. 567.

<sup>307</sup> Vgl. Brumby, L. (2018), S. 70.

<sup>308</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 34 f.

<sup>309</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 34.

<sup>310</sup> Vgl. DIN EN 16646 (2014), S. 7.

nachhaltige Wertschöpfung durch maximale Gesamteffektivität der Anlagen bei maximaler Wirtschaftlichkeit zu erzielen und eine Balance zwischen Investitions- und Kapitalkosten und den operativen Betriebsaufwendungen zu schaffen.<sup>311</sup> Hierzu bedient sich die Anlagenwirtschaft Tools sowie Informations- und Controllinginstrumente um eine reibungslose Dokumentation, Anlagenverwaltung und -controlling über den gesamten Anlagenlebenszyklus zu gewährleisten.<sup>312</sup>

Das Asset Management System gilt als Unterstützungsinstrument zum Aufbau, Betrieb, der Aufrechterhaltung und der Verbesserung des Asset Managements.<sup>313</sup> Es regelt die Planung, den Erwerb, die Aussonderung, die Instandhaltung und die Logistik sowie die Querschnittsbereiche Information<sup>314</sup>, Koordination und Kommunikation über den gesamten Lebenszyklus der Anlagen.

## 3.2 Bedeutung und Charakteristika des Asset Managements

Das Asset Management als Querschnittsfunktion des Unternehmens, ist für die Zuverlässigkeit der Anlagen, die zur Erreichung der Unternehmensziele und Stakeholderanforderungen beiträgt, sowie zur Erfüllung der notwendigen Aufgaben, wesentlich.<sup>315</sup> Physische Anlagen sollten nicht mehr nur als Teil des Betriebes wahrgenommen werden, sondern als eigenständige wertschöpfende Ressource gelten<sup>316</sup>, was sich in einem permanent steigenden Bedeutungszuwachs erkennen lässt<sup>317</sup>. Der Bedeutungsanstieg ist vor allem auf externe (marktseitige) und interne (anlagenwirtschaftliche) Ursachen zurückzuführen. Die wesentlichen Treiber hierfür sind die folgenden:<sup>318</sup>

### Interne Faktoren:

- Kapitalintensität der Investitionen und der Produktion
- Gebundenheit der Betriebsmittel
- Langlebigkeit des Anlagevermögens
- Veränderung der Kostenstruktur
- Ungenutzten Rationalisierungsreserven

### Externe Faktoren:

- Starke Kundenorientierung und Produktdynamik
- Entwicklung vom Verkäufer zum Käufermarkt
- Ressourcenverknappung
- Technologieentwicklung

Diese Faktoren zwingen Produktionsunternehmen, um konkurrenzfähig zu bleiben<sup>319</sup>, die Bewirtschaftungsstrategie der Anlagen laufend zu überdenken und neu zu

---

<sup>311</sup> Vgl. Fleckenstein, M. (2015), S. 55.

<sup>312</sup> Vgl. Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 34 f.

<sup>313</sup> Vgl. ISO 55002 (2018), S. 30.

<sup>314</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 11.

<sup>315</sup> Vgl. Minnaar, J. R. et al. (2013), S. 99.; Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 41 f.

<sup>316</sup> Vgl. Picot, A.; Maier, M. (1992), S. 15 ff.

<sup>317</sup> Vgl. Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 5.

<sup>318</sup> Vgl. Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 5 f.

<sup>319</sup> Vgl. Minnaar, J. R. et al. (2013), S. 99.

gestalten,<sup>320</sup> um den Anforderungen einer optimalen und vor allem flexiblen Bewirtschaftung der Assets über den gesamten Anlagenlebenszyklus gerecht zu werden. Das Asset Management zielt somit auf die benötigten Ressourcen und die Fachwissen-Bereitstellung zur Unterstützung der Anschaffung, der Instandhaltung während der Nutzungsphase und der Aussonderung von Anlagen ab.<sup>321</sup>

Die sieben zentralen Aufgaben des Asset Managements sind demnach:<sup>322</sup>

- Zusammenhänge der Unternehmensorganisation und Einflüsse
- Führung, Vorgaben, Strategie und Verantwortung
- Planung, Planungssicherheit durch Risiko-Management
- Unterstützungsfaktoren wie Ressourcen, Kompetenzen, Kommunikation, Dokumentation etc.
- Durchführung von operativen Tätigkeiten
- Leistungsmessung des Asset Management Systems
- Verbesserung

### **Anlagenlebenszyklus**

Der Anlagenlebenszyklus spiegelt die Verweildauer einer Anlage beginnend mit der Anlagenkonstruktion über die Nutzung bis zur Aussonderung der Anlage in einem Unternehmen, wider. Fokus dieser Dissertation und der Anwendung des Modells ist die Nutzungsphase der Anlagen.

#### Anlageninvestition

Die erste Phase im Anlagenlebenszyklus umfasst die Anlageninvestition. Diese beinhaltet die bedarfsgerechte Anlagenkonstruktion inklusive dem Errichtungsinvestment, die Anlagenbereitstellung, sowie die -installation und die -inbetriebnahme.<sup>323</sup> Ziel der Anlageninvestition ist entweder durch Bereitstellung einer Anlage die Produktionskapazitäten zu erweitern oder der Ersatz im Einsatz befindlicher Betriebsmittel sowie die Verfolgung von Rationalisierungszielen.<sup>324</sup>

#### Anlagennutzung und -instandhaltung

Die Anlagennutzung stellt das zentrale Aktivitätsfeld des Asset Managements dar, weshalb speziell diese Phase im Zuge des Dissertationsmodells betrachtet wird. Das Ziel dieser Phase ist die Leistungserstellung der Anlage mit einer damit verbundenen Abnahme des Nutzungsvorrates. Um längerfristig die Leistungserstellung aufrecht zu erhalten, kommt der Anlagenerhaltung eine bedeutende Rolle zu. Durch eine optimale Ausgestaltung der Nutzungsbedingungen wird eine Verminderung der Beanspruchung und in weiterer Folge eine Reduzierung des Anlagenverschleißes sowie Instandhaltungsbedarfs erzielt.<sup>325</sup>

---

<sup>320</sup> Vgl. Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 6.

<sup>321</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 8.

<sup>322</sup> Brumby, L. (2018), S. 71.

<sup>323</sup> Vgl. Brumby, L. (2018), S. 68.

<sup>324</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 7 f.; Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 144 f.

<sup>325</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 11.; Schuman, C. A.; Brent, A. C. (2005), S. 569 f.; Biedermann, H. (2008), S. 11.

Eine wesentliche Rolle in der Nutzungsphase kommt der Anlagenverbesserung zu, die auf eine organisatorische und arbeitstechnische Änderung von Objekten durch Beseitigung ihrer Schwachstellen zur Steigerung des Leistungspotenzials sowie zur Kostensenkung der Anlagenutzung und der Anlageninstandhaltung und der damit verbundenen Steigerung des Unternehmenserfolgs abzielt.<sup>326</sup> Diese Verbesserungsmaßnahmen bezwecken die Realisierung des anlagenwirtschaftlichen Optimums indem Anlageninvestitionen und Ausmusterungen in der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Anlagenverbesserungsmaßnahmen miteinbezogen, sowie Modernisierungs- und Erweiterungsmaßnahmen umgesetzt werden. Wichtig ist hierbei die Bereitstellung von Daten als Basis der Anlagenverbesserungsmaßnahmen und zum Zwecke der Erfolgskontrolle, die darauf abzielt, den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen darzustellen sowie Interdependenzen zwischen ihnen und sonstigen Entscheidungsfeldern des Asset Managements aufzuzeigen.<sup>327</sup>

### Anlagenaussonderung

Die abschließende Phase des Anlagenlebenszyklus bildet die Anlagenaussonderung oder auch bekannt als Desinvestition. Hierbei wird die Anlage aus dem Unternehmen ausgeschieden und dient nicht mehr der Leistungserstellung. Die Notwendigkeit hierfür begründet sich auf Grund technischer (Verschleißfortschritt) aber auch ökonomischer Gründe (Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit, Finanzierung, Bedarfsänderung).<sup>328</sup>

Durch die Betrachtung der Ressource „Anlage“ nicht als reinen Kostenverursacher, sondern als ein Objekt, das einen potenziellen oder tatsächlichen Wert für die Organisation hat, rückt die Maximierung der Wertschöpfung der Anlagen in den Vordergrund. Somit sind sämtliche Entscheidungen, auch die der Instandhaltung, an die Maximierung des Wertschöpfungsbeitrags gebunden.<sup>329</sup> Durch diese ganzheitliche Sichtweise auf die Ressource „Anlage“ versucht das Asset Management durch Abwägung von Kosten, Risiken und Chancen zur gewünschten Leistung, bestmöglich die Lebenszykluskosten zu minimieren.<sup>330</sup> Hierbei steht der Abgleich von Kosten, Risiko, Qualität und Leistung im Vordergrund der Betrachtung.<sup>331</sup> Somit ist das Asset Management entscheidend für ein positives Unternehmensergebnis und zur nachhaltigen Entwicklung des Unternehmens (Wertziel) unter Anwendung eines anlagenwirtschaftlichen Instrumentariums (Sachziel) unter Betrachtung der internen Anforderungen der Arbeitskräfte (Humanziel) sowie der Umwelt (Umweltziele) (Abbildung 18).<sup>332</sup> Weiters steht im Zentrum der Betrachtung die optimale Anlagenbewirtschaftung über den gesamten Lebenszyklus der Anlage, von der Planung bis zur Aussonderung.<sup>333</sup> Neben der Kostenorientierung wird die Wertschöpfungsorientierung immer wichtiger. Die Ziele des Asset Managements werden aus den Unternehmenszielen abgeleitet, die sich über alle Ebenen innerhalb einer

---

<sup>326</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 28.

<sup>327</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 20.; Seicht, G. (1994), S. 402.

<sup>328</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 30 f.; Biedermann, H. (2008a), S. 6 ff.

<sup>329</sup> Vgl. Brumby, L. (2018), S. 82.

<sup>330</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 41.; Maier, H. T. et al. (2020), S. 297.

<sup>331</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 11.

<sup>332</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 28.

<sup>333</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 7.



Organisation erstreckt und die Mission und die Unternehmensstrategie mit den mittel- bis langfristigen taktischen und operativen Zielen in Einklang bringt. Ziel ist es den Wertbeitrag der Anlagen in Hinblick auf die Unternehmensziele zu steigern.<sup>334</sup> Um diesen zu erreichen, müssen alle Aspekte der drei Managementebenen – normativ, strategisch und operativ – im Zuge der Anlagenoptimierung beachtet werden.<sup>335</sup> Auf normativer Ebene wird der Handlungsrahmen sowie die Ziele des Asset Managements, die in Einklang mit den Unternehmenszielen stehen, festgesetzt. Auf strategischer Ebene werden die Rahmenbedingungen, die durch das Zielsystem vorgegeben werden, für die Umsetzung geschaffen. Faktoren, wie die Anlagenlebenszyklusplanung und die Instandhaltungsstrategieoptimierung, sind hierbei wesentlich. Auf der strategischen Ebene ist das strategische Asset Management angesiedelt, das für die mittel- bis langfristige Gestaltung, Lenkung und Entwicklung des Asset Managements in Einklang mit den normativen Vorgaben und der strategischen Ausrichtung des Unternehmens verantwortlich ist. Hierzu zählen auch die Gestaltung des Human-, Struktur- und Beziehungskapitals, sowie die Auslegung des Prozesses hinsichtlich der Effektivitätsansprüche. Auf operativer Ebene steht die kurzfristige Umsetzung anlagenbezogener Vorgaben und Maßnahmen, die auf strategischer Ebene definiert werden, im Vordergrund.

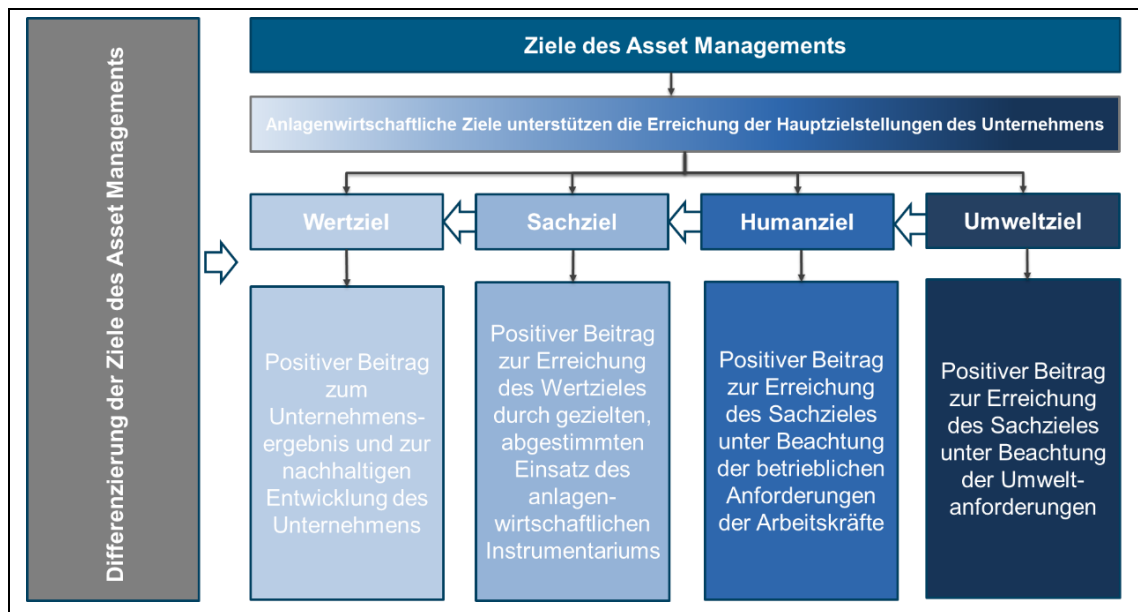


Abbildung 18: Ziele des Asset Managements<sup>336</sup>

Zusammenfassend bietet ein gutes Asset Management folgende Vorteile, die es einer Organisation ermöglichen, effektiv und effizient die Produktionsprozesse zu steuern und ihre Ziele in Bezug auf Rentabilität und Leistungserbringung zu erreichen:<sup>337</sup>

- Eine systematische Vorgehensweise für anlagenbezogene Entscheidungen ausgelegt nach den Anforderungen und Zielen des Unternehmens.

<sup>334</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 3. übersetzt aus dem Englischen

<sup>335</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 42.

<sup>336</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 29.

<sup>337</sup> Vgl. Hastings, N. (2015), S. 17. aus dem Englischen übersetzt

- Laufende Anlagenoptimierung über den gesamten Anlagenlebenszyklus hinweg zur Zuverlässigkeitssteigerung.
- Effektive interne Prozesse für die Verwaltung von Anlagen.
- Vorteile bei der Erfüllung gesetzlicher und unternehmensinterner (Verfügbarkeit, Kosten, Umwelt, Sicherheit, Qualität, Flexibilität) Ziele.
- Ein Konzept zur Schulung der Mitarbeiter hinsichtlich der Wichtigkeit und Optimierung der Anlagen.

### 3.3 Komplexität des Asset Managements

Das Asset Management ist ein komplexes System (siehe Abschnitt 2.5.1), da es nur dann einen Beitrag zur Zielerfüllung des Unternehmens leisten kann, wenn es gelingt die vorherrschende Komplexität zu beherrschen und dementsprechend die Prozesse zu gestalten. Wesentlich für die Komplexität im Asset Management sind einerseits die Vielzahl an Handlungsoptionen, das wechselnde Produktionsprogramm und Produktportfolio und andererseits die hohe Variabilität wichtiger anlagenbezogenen Kennzahlen und der damit verbundenen Unsicherheit ihrer Prognostizierbarkeit.<sup>338</sup> Die vier zentralen Anforderungen, die auch von der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung verfolgt werden, sind die folgenden:<sup>339</sup>

- Vollständigkeit der Betrachtung
- Überwindung der isolierten Sichtweise auf die Maßnahmenkomplexe
- Erkennung und Nutzung der Gesetzmäßigkeiten der Anlagenwirtschaft
- Sicherung und Nutzung bestmöglicher Maßnahmenkombinationen durch das Management

Umso wichtiger ist es die Komplexität zu erkennen und ihre Ausgestaltung im Rahmen der anlagenwirtschaftlichen Aktivitäten zu steuern. Hierbei ist es notwendig anlagenbezogene Entscheidungen wissenschaftlich vorzubereiten. Dabei steht die abgestimmte Entscheidungsfindung im Vordergrund. Weiters ist die Sicherung der Vollständigkeit der Betrachtung wesentlich zur Beherrschung der Komplexität. Wichtig ist hier die Berücksichtigung der äußeren Entscheidungsfaktoren sowie die Einbeziehung aller Aktivitätsfelder in den Entscheidungsprozess. Weiters sind Ursache-Wirkungszusammenhänge zur Ausgestaltung des Asset Managements wesentlich, sowie die gezielte Auswahl von Erneuerungsmaßnahmen auf Basis einer Schwerpunktsetzung, wie es im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung erzielt wird.

### 3.4 Strategisches Asset Management

Das strategische Asset Management zielt auf die auftragsunabhängige mittel- bis langfristige Gestaltung, Lenkung und Entwicklung<sup>340</sup> des Asset Managements sowie eine langfristigen Wertschöpfungssteigerung ab. Beginnend mit der Absatzprognose, über die Produktions- und Instandhaltungsplanung, umfasst es alle Bereiche, die

---

<sup>338</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 60 f.

<sup>339</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 69.

<sup>340</sup> Vgl. Rasch, A. A. (2000), S. 70.

Auswirkungen auf die Anlage haben und endet mit der Auslieferung des Produktes an den Kunden. Es handelt sich hierbei um einen umfassenden Top-down Ansatz zur optimalen Anlagenbewirtschaftung und zum optimalen Ressourceneinsatz um maximale Rentabilität zu erlangen.<sup>341</sup> Die strategische Betrachtung des Assets über die klassische Sichtweise der Instandhaltung hinaus ist dabei von besonderer Bedeutung. Ziel ist es die Instandhaltung nicht mehr als reinen Kostenfaktor wahrzunehmen, sondern als Wettbewerbsfaktor des Unternehmens<sup>342</sup>. Wesentliche Strategietreiber sind die folgenden Faktoren, welche auch im Zuge der Morphologie zur Unternehmenscharakterisierung (siehe Abschnitt 5.5.1) erhoben werden und in die Kriterienauswahl für die Bewertung miteinfließen:<sup>343</sup>

- Globalisierung der Märkte
- Kunden
- Produkte
- Intensität des Wettbewerbs
- Technologischer Fortschritt
- Der Faktor Zeit, Produktivität, Qualität und Umwelt

Diese Strategietreiber bzw. die vier größten Einflussgrößen (Charakteristika und Ziele des Unternehmens, Markt, Gesellschaft und Technologie) auf die Tätigkeiten des Asset- und Instandhaltungsmanagements, tragen wesentlich zum Unternehmenserfolg bei. Daher gilt es sie aufeinander abzustimmen, um langfristig das Erfolgspotenzial zu steigern<sup>344</sup>. Wesentlich hierbei sind Faktoren wie das Technologiealter, Flexibilitätsbedarf und Alleinstellungsmerkmale. Zur langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit sind daher diese Strategietreiber bei der Strategiefestlegung sowie der kontinuierlichen Verbesserung der Prozesse mitzubetrachten.

Ziel ist es ein Optimum an Wirtschaftlichkeit und Sicherheit in der Nutzungsphase der Anlagen sicherzustellen. Das kann durch eine Optimierung des Verhältnisses der Ressourcen Mensch, Maschine, Methode und Material zu ihren entsprechenden Outputgrößen erreicht werden.<sup>345</sup> Hierbei muss der Beitrag zum gesamtunternehmerischen Zielsystem durch die Umsetzung des Minimum- bzw. Maximumprinzips der Wirtschaftlichkeit für eine langfristige Effizienz- und Effektivitätssteigerung der Anlagen erfolgen. Hierzu wird der gewünschte Output (maximale Zuverlässigkeit, maximale Verfügbarkeit, umfassende Verlustzeitminderung) unter Betrachtung eines zu minimierenden Inputs (Instandhaltungsressourcen) unter Einbeziehung externer Einflussfaktoren (Sicherheit, Umwelt, gesetzliche Vorgaben,...) festgelegt.<sup>346</sup> Ziel ist die Instandhaltungsprozesse der Planung, Steuerung und Kontrolle verlustminimierend zu organisieren und durchzuführen aber dennoch den gewünschten Output zu erreichen.<sup>347</sup> Um die Bedeutung der Instandhaltung zu unterstreichen ist es

---

<sup>341</sup> Vgl. Peterson, S. B., [https://reliabilityweb.com/articles/entry/developing\\_an\\_asset\\_management\\_strategy](https://reliabilityweb.com/articles/entry/developing_an_asset_management_strategy) (Zugriff: 14.12.2021)

<sup>342</sup> Vgl. Brumby, L. (2018), S. 67 f.

<sup>343</sup> Vgl. Camphausen, B. (2013), S. 7.

<sup>344</sup> Vgl. DIN EN 16646 (2014), S. 10.

<sup>345</sup> Vgl. Schröder, W.; Kleindienst, B. (2013), S. 105.

<sup>346</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016a), S. 21.

<sup>347</sup> Vgl. Biedermann, H. (2017), S. 23.

wichtig nicht nur die Instandhaltung als eigenen Funktionalbereich sondern auch dessen Wechselwirkungen mit weiteren Prozessen des Asset Management zu analysieren. Daher werden im Asset Management drei Ebenen (Anlagenobjekt-Ebene, Anlagenstruktur-Ebene und Anlagenbestands-Ebene<sup>348</sup>) mit unterschiedlichen Rollen und Verantwortlichkeiten der Instandhaltung unterschieden, die es alle im Zuge der Anlagenoptimierung zu betrachten gilt.

Während auf Anlagenobjektebene die Anlage mit samt allen Instandhaltungstätigkeiten im Vordergrund steht, ist auf Anlagenbestandsebene die Entwicklung eines unternehmensweiten Instandhaltungsmanagements unter Miteinbeziehung des Geschäftsumfeldes, des technologischen Umfeldes und der Unternehmensmerkmale entscheidend.<sup>349</sup> Diese Einflussfaktoren auf die Anlage, sowie die daraus abgeleiteten strategischen Erfolgsfaktoren des Unternehmens werden als Eingaben für strategische Analysen und den strategischen Prozess der Strategiefestlegung im Asset Management und in weiterer Folge in der Instandhaltung eingesetzt.<sup>350</sup> Daher ist es auch Ziel dieser Dissertation im Zuge des Vorgehensmodells die strategischen Erfolgsfaktoren zur Erreichung der Unternehmensziele und der nachhaltigen Wertschöpfung, sowie die größten Einflussgrößen auf die Anlage zu erheben, um die Anforderungen an das Asset Management angefangen von den jeweiligen Marktanforderungen über die Produktion und das Produktportfolio bis hin zum Aufbau des Anlagenparks zu identifizieren.

### 3.4.1 Strategische Erfolgsfaktoren

Strategische Erfolgsfaktoren sind Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf das Erfolgspotenzial<sup>351</sup> des Unternehmens haben.<sup>352</sup> Als Ursprung der Erfolgsfaktoren und der Erfolgsfaktorenforschung kann die PIMS-Studie<sup>353</sup> angeführt werden. Gemäß KLENTER handelt es sich hierbei um Faktoren „durch deren gezielten Einsatz Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz errungen werden, die den Unternehmenserfolg nachhaltig und längerfristig bestimmen und sichern.“<sup>354</sup> Diese Wettbewerbsvorteile müssen nach SIMON die folgenden drei Kriterien erfüllen:<sup>355</sup>

- Der Wettbewerbsvorteil muss für den Kunden ein wichtiges Leistungsmerkmal darstellen.
- Die Wahrnehmung dieses Leistungsmerkmals muss für den Kunden ersichtlich sein.
- Das Leistungsmerkmal muss eine gewisse zeitliche Dauerhaftigkeit aufweisen.

Zur Differenzierung der vorhandenen Wettbewerbsstrategien kann auf PORTER verwiesen werden (siehe Abschnitt 5.2). Je nach Wettbewerbsstrategie und

---

<sup>348</sup> Vgl. DIN EN 16646 (2014), S. 8.

<sup>349</sup> Vgl. Brumby, L. (2018), S. 71 f.

<sup>350</sup> Vgl. DIN EN 16646 (2014), S. 10.

<sup>351</sup> Erfolgspotenziale sind gemäß GÄLWEILER (1974) „der optimale Deckungsgrad von unternehmerischen Stärken und Umfeldlichen Chancen“

<sup>352</sup> Vgl. Baum, H.-G. et al. (2013), S. 38.

<sup>353</sup> Siehe hierzu beispielhaft: Buzzell, R. D.; Gale, B. T. (1989), S. 27 ff.; Fritz, W. (1993), S. 18 f.

<sup>354</sup> Klenter, G. (1995), S. 17.

<sup>355</sup> Vgl. Simon, H. (1989), S. 71 ff.

Unternehmensausrichtung sind unterschiedliche strategische Erfolgsfaktoren von Relevanz.

Generell sind strategische Erfolgsfaktoren, die aus dem Zielsystem des Unternehmens abgeleitet werden, Faktoren, die das Erfolgspotenzial wesentlich beeinflussen. Hierbei wird zwischen unternehmensinternen z.B. Produktions- und Kostensituation und externen wie z.B. Marktanteil und Wachstum, unterschieden. Ein weiteres Kennzeichen strategischer Erfolgsfaktoren ist, dass sie einen uneinheitlichen Generalisierungsgrad aufweisen. Wohingegen manche Erfolgsfaktoren nur auf ein einzelnes Unternehmen zutreffen, gibt es solche die generalisierbar sind.<sup>356</sup> Im Falle des Asset Management wird der Fokus auf allgemeingültige, branchenunabhängige Erfolgsfaktoren gelegt, die direkten Einfluss auf das Asset haben und damit Wettbewerbsvorteile sichern.<sup>357</sup> Vor allem die Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit, Qualität, Umwelt und Flexibilität sind wichtig für das Asset Management<sup>358</sup>.

Bis in die 70er Jahre dominierte der Erfolgsfaktor „Kosten“. Mit steigenden Kundenanforderungen wurde dem Faktor „Qualität“ mehr Wertigkeit zu gesprochen. Ende der 1980er wurde auch die „Zeit“ als dritter strategischer Erfolgsfaktor bedeutsamer. Gemeinsam bildeten sie das sogenannte „magische Dreieck“.<sup>359</sup> Mit der Aufnahme der Flexibilität wurde daraus das „magische Viereck“.<sup>360</sup> Weiters ist in den letzten Jahren die Bedeutung von Nachhaltigkeit und Klimaschutz gestiegen, weshalb auch der Faktor „Umwelt“ für Unternehmen immer wichtiger wird. Die Nachhaltigkeitsorientierung ist in den letzten Jahren zu einer wesentlichen Prämisse unternehmerischer Handlungen im heutigen Wirtschaftsumfeld geworden. Hierbei liegt der Fokus auf der dauerhaften Absicherung knapper Ressourcen sowie der Substanzerhaltung, die sowohl ökonomische, ökologische, soziale wie auch materielle und immaterielle Dimensionen beinhaltet.<sup>361</sup> Diese Tatsachen werden auch durch die Ergebnisse einer Umfrage des wBw zum Thema „branchenspezifische Erfolgsfaktoren“ bekräftigt (Abbildung 19).

Die aktuell vorherrschenden Probleme der Industrie sind im Bereich Instandhaltung die fehlende Bedeutung von Erfolgsfaktoren sowie die einseitige Beurteilung der Instandhaltung anhand des Erfolgsfaktors „Kosten“.<sup>362</sup> Ein weiteres Problem stellt die nicht vorhandene und im Anlagen Management geforderte ganzheitliche Betrachtungsweise dar. Durch die Erweiterung der reinen Kostensicht durch Mitbetrachtung des Geschäftsumfeldes, des technologischen Umfeldes sowie unternehmensrelevanter Einflussgrößen auf den Produktionsprozess wie Qualität, Zeit, Umwelt und Sicherheit und Flexibilität, kann eine ganzheitliche Betrachtung der Ressource Anlage erzielt werden. Genau diese Sichtweise ist unerlässlich um die Instandhaltung als strategischen Erfolgsfaktor wahrzunehmen, da neben wachsenden finanziellen Risiken, auch Sicherheits- und Umweltrisiken, die zunehmende Kapital- und

---

<sup>356</sup> Vgl. Baum, H.-G. et al. (2013), S. 38.

<sup>357</sup> Vgl. Schröder, W. (2010), S. 36.; Kinz, A. (2017), S. 29.

<sup>358</sup> Vgl. Blecker, T.; Kaluza, B. (2004), S. 4.; Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 190 ff.

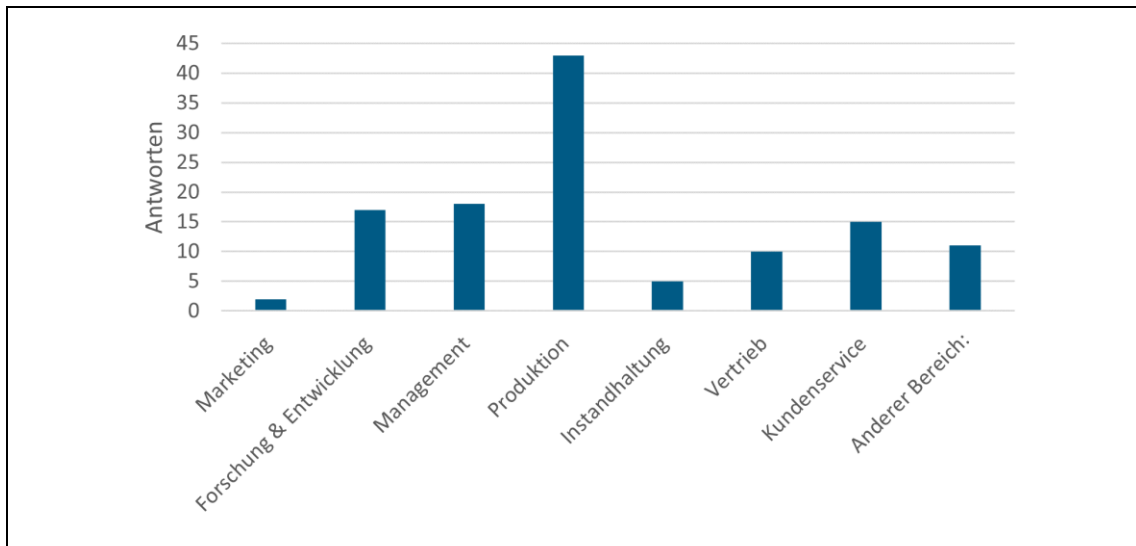
<sup>359</sup> Vgl. Rasch, A. A. (2000), S. 40 ff.; Blecker, T.; Kaluza, B. (2004), S. 5.

<sup>360</sup> Vgl. Werner, H. (2013), S. 41.

<sup>361</sup> Vgl. Biedermann, H. (2022), S. 11.

<sup>362</sup> Vgl. u.a Jöbstl, O. (2004), S.12; Rasch, A. A. (2000), S. 55.; Schröder, W. (2010a), S. 35.

Investmentintensität, die Notwendigkeit der Erhaltung der Ressourcensubstanz, die Alterung der Anlagenstruktur und die Entwicklung, Anwendung und Erhaltung der mit der Technologieführerschaft verbundenen Anlagenkompetenz immer präsenter werden.<sup>363</sup>



**Abbildung 19: Auswertung der Wichtigkeit strategischer Erfolgsfaktoren für die unterschiedlichen Bereiche produzierender Unternehmen<sup>364</sup>**

Nachfolgend werden die wichtigsten Erfolgsfaktoren im Asset Management erläutert.

### **Erfolgsfaktor Kosten**

Der Erfolgsfaktor Kosten zählt nach wie vor zu den wichtigsten Messgrößen eines Unternehmens und wird durch die Höhe der Instandhaltungskosten – direkt und indirekt – beeinflusst.

Direkte Instandhaltungskosten sind jene Kosten, die durch die Durchführung der Instandhaltungsaktivitäten verursacht werden. Beispiele hierfür sind Personal-, Fremdleistungs-, Material- und Ersatzteil-, Hilfsstoff- und Betriebsstoff-, Betriebsmittelkosten.<sup>365</sup> Die Ausfallkosten – auch als indirekte Instandhaltungskosten bezeichnet – entstehen bei einem Anlagenausfall. Hierzu zählen beispielhaft Stillstandskosten und entgangene Deckungsbeiträge.<sup>366</sup> Durch die Anwendung der Kritikalitätsbeurteilung und die Ableitung anlagenverbessernder Maßnahmen können die direkten und indirekten Instandhaltungskosten während der Nutzungsphase (siehe Abschnitt 3.2) positiv beeinflusst werden<sup>367</sup>.

### **Erfolgsfaktor Zeit**

Zeit als strategischer Erfolgsfaktor ist für die Einhaltung produktionsbezogener (Durchlaufzeit, Entwicklungszeit) und marktbezogener (Lieferzeit, Servicezeit)

<sup>363</sup> Vgl. Biedermann, H. (2022), S. 12.

<sup>364</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>365</sup> Vgl. Rasch, A. A. (2000), S. 46.; Grothus, H. (1989), S. 31 ff.; Heck, K. (1992), S. 692.; Behrenbeck, K. R. (1994), S. 25.

<sup>366</sup> Vgl. Behrenbeck, K. R. (1994), S. 25.

<sup>367</sup> Vgl. Campbell, J. D.; Jardine, A. K. S. (2001), S. 314.; Schröder, W. (2010a), S. 38 f.

Komponenten von Bedeutung.<sup>368</sup> Die Lieferzeit wird durch die Produktionsverzögerungen und die tatsächliche Produktionszeit, die wiederum stark von der Durchlaufzeit abhängt, beeinflusst. Da sowohl Produktionsverzögerungen als auch die eigentliche Produktionszeit wesentlich die Zuverlässigkeit der Anlagen beeinflussen, ist die Abhängigkeit des Faktors Zeit im Asset Management von der Instandhaltung und dessen Leistungsfähigkeit wesentlich.<sup>369</sup> Produktionsverzögerungen, die Höhe der Ausfallkosten, nicht genutzte Personalressourcen hängen von der Dauer und Anzahl der ungeplanten Anlagenstillstände ab, die Durchlaufzeitverlängerung zur Folge haben, welche durch die optimale anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie verringert werden können.

### **Erfolgsfaktor Qualität**

Wesentlich für den Unternehmenserfolg sind die Produktqualität und die Fehlerfreiheit über den gesamten Leistungserstellungsprozess (Prozessqualität) und des Lenkungsprozesses (Potenzialqualität)<sup>370</sup>, sowie die Prozessfähigkeit, -stabilität und -beherrschung, weshalb der Qualität als strategischer Erfolgsfaktor hohe Bedeutung zugeschrieben wird. Die Weiterentwicklung von prozesstechnischen Fähigkeiten und Fertigkeiten wird in diesem Zusammenhang mit dem Ziel eine ressourcenschonende als auch ressourcenerhaltene Produktion sicherzustellen, immer gefragter.

Die Wichtigkeit des Asset Managements auf diesen Erfolgsfaktor ist auf die steigende Marktdynamik, zunehmende Kundenanforderungen und die Struktur und Komplexität des Produktionsprozesses zurückzuführen. Eine hohe Produktqualität ist demnach vom Abnutzungsgrad der Anlagen, der durch geplante Instandhaltungstätigkeiten wiederhergestellt werden kann, abhängig<sup>371</sup>. Vor allem die Verschiebungen von Wartungen, sowie keine Inspektionen der Anlagen können zu einer Verschlechterung des Anlagenzustandes und einer Zuverlässigkeitsreduktion führen. Diese Punkte streichen die Bedeutung der Instandhaltung für die Erreichung der geforderten Produktqualität heraus, die nur durch die ständige Verbesserung und Anpassung der Instandhaltungstätigkeiten je Anlage erreicht werden können.<sup>372</sup>

### **Erfolgsfaktor Umwelt und Sicherheit**

Neben der Sicherheit, die auf den Schutz vor Unfällen und Berufskrankheiten abzielt<sup>373</sup>, bezweckt der Erfolgsfaktor Umwelt eine Minimierung der Umweltgefährdungen durch zuverlässige Anlagen. Hierbei steht die Reduktion des Rohstoffverbrauches, die Minimierung von Emissionen sowie die Maximierung der Produkt-Kreislauffähigkeit im Mittelpunkt der Betrachtung. Dabei kommt der Instandhaltung wesentliche Bedeutung zu, da sie maßgeblich durch präventive Maßnahmen, sowie bauliche Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen beiträgt. Auch perfektive Instandhaltungstätigkeiten üben eine positive Wirkung auf die Umwelt aus, da durch gezielte Verbesserungsmaßnahmen

---

<sup>368</sup> Vgl. Kaluza, B.; Klenter, G. (1993), S. 61 ff.

<sup>369</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 41.

<sup>370</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 39 f.

<sup>371</sup> Vgl. Herzig, N. (1975), S. 194 f.

<sup>372</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 40 f.

<sup>373</sup> Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 49.

die Umweltfreundlichkeit der Anlagen erhöht werden kann, wie es beispielsweise durch Reduktion gesundheitsschädlicher Betriebsstoffe erreicht wird.<sup>374</sup>

Zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit leistet die Instandhaltung weiters einen wesentlichen Beitrag. Vor allem organisatorische Defizite, wie ein geringes Qualifikationslevel, fehlende Standards und mangelnde Abstimmungen führen zur Missachtung der Sorgfaltspflicht für die jeweiligen Instandhaltungsmaßnahmen. Weitere Gründe, die sich negativ auf die Sicherheit auswirken, sind eine mangelnde Mitarbeitermotivation oder ein fehlendes Risikobewusstsein, wodurch viele anlagenbezogene Gefahren unterschätzt werden. Umso wichtiger ist es Standards unabhängig der Qualifikation zur Risikoidentifikation, -analyse, -bewertung und -handhabung der Anlagen, wie es die Kritikalitätsbeurteilung verfolgt, zu implementieren. Hierbei liegt der Fokus auf der Eingrenzung und Minderung der Gefahrenpotenziale durch gezielte Maßnahmensetzung mit dem Ziel die technische, aber auch persönliche Sicherheit zu maximieren, sowie durch strukturelle Maßnahmen mögliche Gefahren durch organisatorische Regelungen zu reduzieren.<sup>375</sup>

### **Erfolgsfaktor Flexibilität**

Der Erfolgsfaktor Flexibilität (siehe hierzu Abschnitt 2.5.4) ist für anlagenintensive Industriebetriebe von großer Bedeutung. Gemäß JESKE ET AL. wird unter Flexibilität „die Anpassungsfähigkeit einer Organisation an sich ändernde organisationsinterne oder -externe Bedingungen“ verstanden, „...und zwar als Reaktion auf den aktuellen Anpassungsbedarf“<sup>376</sup>. Somit wird sie durch die Fähigkeit, den geänderten Anforderungen des Marktes, ausgedrückt durch das Anpassungsvermögen des Produktionsprogramms mit einer bestimmten Anpassungsgeschwindigkeit zu entsprechen, gekennzeichnet. Hierbei liegt der Fokus auf einer schnellen, sicheren und kostengünstigen Anpassung.<sup>377</sup>

Bei der Anpassungsfähigkeit wird zwischen einer qualitativen und der quantitativen Flexibilität unterschieden, wohingegen die Anpassungsgeschwindigkeit durch eine kurzfristige und eine langfristige Flexibilität ausgedrückt wird. Das Zusammenwirken der Flexibilität der Anpassungsgeschwindigkeit und der des Anpassungsvermögens sowie deren Auswirkungen auf den Produktionsprozess sind in Abbildung 20 dargestellt.

Flexibilität wird in Zeiten steigendem Wettbewerbsdrucks, steigender Instandhaltungsintensität und flexibler Produktionsprogramme immer wichtiger.

Unternehmen sind gezwungen zielgerichtet auf diese Veränderungen zu reagieren und Maßnahmen zur flexiblen Gestaltung der Produktionsprozesse zu setzen<sup>378</sup>, um langfristig die Effizienz und Effektivität der Prozesse gewährleisten zu können. Meist ist die Sicherstellung der Flexibilität im Fertigungsbereich mit hohen Investitionen verbunden, die zur Erhöhung der Fixkosten führt.<sup>379</sup>

---

<sup>374</sup> Vgl. Grieser, F. et al. (1991), S. 200.; Behrenbeck, K. R. (1994), S. 32.; Schröder, W. (2010a), S. 45 f.

<sup>375</sup> Vgl. Becker, W. (1986), S. 116 ff.

<sup>376</sup> Jeske, T. et al. (2011), S. 21.

<sup>377</sup> Vgl. Nebel, T.; Prüß, H. (2006), S. 168.

<sup>378</sup> Vgl. Jeske, T. et al. (2011), S. 20 ff.

<sup>379</sup> Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 113 ff.



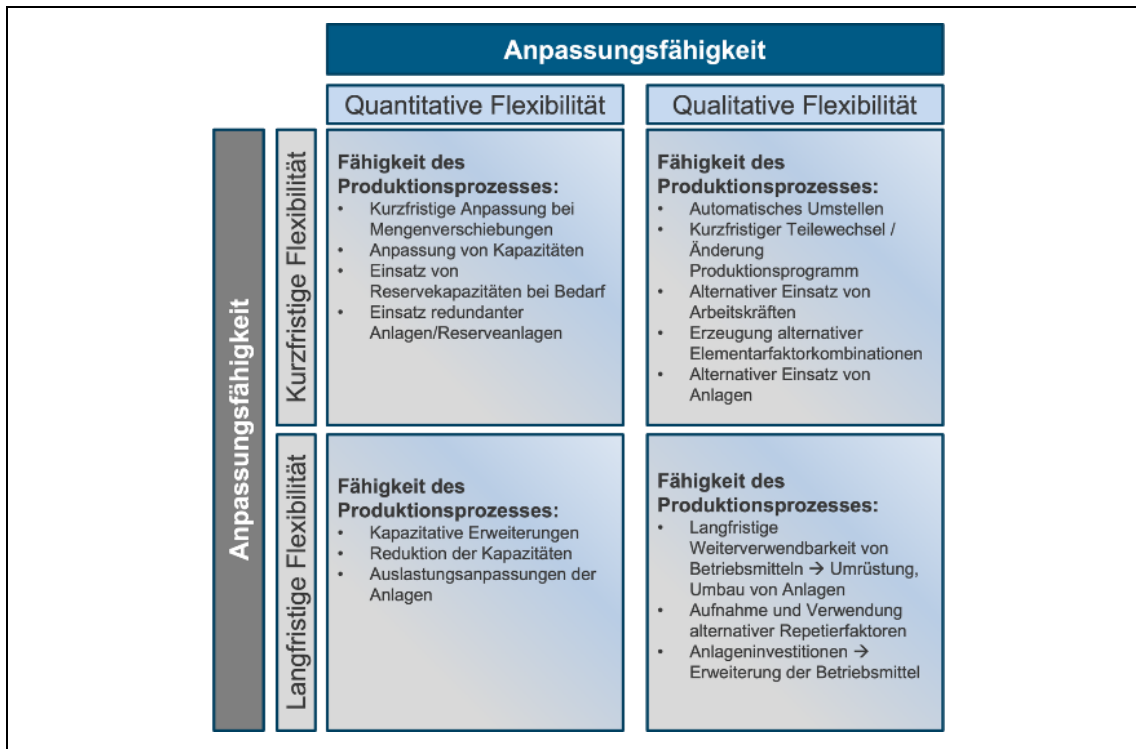


Abbildung 20: Flexibilitätsmatrix<sup>380</sup>

Die Sicherung der mit den Investitionen verbundenen Rentabilität, sowie der vom System angestrebten Flexibilitätsvorteile, wird durch eine hohe Anlagenverfügbarkeit begünstigt. Hierbei ist die Minderung des Abnutzungsfortschritts der Anlagen durch anlagenspezifische präventive, prädiktive und perfekte Instandhaltungsmaßnahmen wesentlich, um das Flexibilitätspotenzial aufrechtzuerhalten.<sup>381</sup> Jedoch können präventive Maßnahmen auch die Gefahr einer Schmälerung der Flexibilitätspotenziale der Produktion bedingen. Dies ist vor allem bei kurzfristigen Produktionsanpassungen der Fall, welche im Zielkonflikt mit präventiven Instandhaltungstätigkeiten stehen. Um dieser Gefahr vorzubeugen, ist vor allem eine detaillierte Produktions- und Instandhaltungsplanung wesentlich. Es gibt jedoch Tätigkeiten im Bereich Instandhaltung die schwer planbar sind. Die damit verbundene Unsicherheit führt wiederum zur Notwendigkeit der Erhöhung der personellen Flexibilität, um dennoch flexibel in Bezug auf Produktionsschwankungen zu sein. Daher ist neben dem Funktions- und Strukturwissen auch Methodenwissen Grundvoraussetzung für vorbeugende Instandhaltung. Besonderer Schwerpunkt sollte hierbei auf Maßnahmen zur Steigerung des Instandhaltungspersonals gelegt werden, um die Zuverlässigkeit der Anlagen bei schwankenden Umfeldbedingungen aufrecht zu erhalten.<sup>382</sup>

Es gilt auf Basis dieser Erfolgsfaktoren unternehmensspezifische Kriterien zu definieren, durch die im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung der Anlagenzustand ermittelbar, sowie die Zielerreichung quantifizierbar ist.

<sup>380</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 169.

<sup>381</sup> Vgl. Eidenmüller, B. (1991), S. 109.; Schröder, W. (2010a), S. 43.

<sup>382</sup> Vgl. Rasch, A. A. (2000), S. 61.; Schröder, W. (2010a), S. 43.

### 3.4.2 Zielsystem des Asset Management und der Instandhaltung

In der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre wird grundsätzlich von einem mehrdimensionalen Zielsystem, das sowohl nicht-monetäre als auch monetäre Ziele umfasst, ausgegangen.<sup>383</sup> Aus der Politik und den Zielen des Unternehmens werden die anlagenwirtschaftlichen Teilziele abgeleitet, die einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Globalziele des Unternehmens und zur positiven Unternehmensentwicklung leisten.<sup>384</sup> Hierbei ist auf eine hohe Zielkomplementarität zu achten.<sup>385</sup> Bei einem Ziel handelt es sich um „ein nach Inhalt, Ausmaß und zeitlichem Bezug angestrebtes Ereignis, das jemand als Sinn und Zweck seines Handelns zu erreichen sucht.“<sup>386</sup> Zur Verankerung einer ganzheitlichen Betrachtung im Zielsystem, werden die Zieldimensionen in Sach-, Formal-, Human-, und Sozialziele unterteilt. Demnach ist gemäß BIEDERMANN die Zieldimension der Anlagenwirtschaft und der Instandhaltung „die Beschaffung, Bereitstellung, Erhaltung und Ausmusterung von Sachanlagen (Sachziel), so zu gestalten und zu lenken, dass das angestrebte wirtschaftliche Ergebnis der Unternehmung (Wertziel) unter Beachtung der betrieblichen Humananforderungen (Humanziel) und der sonstigen einengenden Bedingungen (Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele) in möglichst hohem Maße erreicht wird.“<sup>387</sup> Dieses mehrdimensionale Zielsystem ist zur Steuerung des Asset Managements bedingt durch dessen Komplexität auf Grund der Wirkungszusammenhänge und der Anzahl am Zielbildungsprozess beteiligter Interessensgruppen unabdingbar.<sup>388</sup> Für jeden Erfolgsfaktor sollten Ziele formuliert werden, um die Ganzheitlichkeit der Betrachtung in der Zielerleitung zu verfolgen. Wichtig bei der Erstellung des Zielsystems ist, dass die Anforderungen an die Operationalität, Ordnung, Konsistenz und Aktualität erfüllt sind.<sup>389</sup> Zur Zielerreichung ist das Instandhaltungsmanagement samt dessen Regelkreise und Prozesse, sowie der dynamischen Instandhaltungsstrategiewahl zur Sicherung des Wertschöpfungsbeitrages in der Nutzungsphase und dessen Einfluss auf die anderen Phasen des Anlagenlebenszyklus wesentlich. Für die Zielerreichung ist in der Nutzungsphase der Anlagen im speziellen ein geeigneter Methoden- und Instrumentenrahmen, der das interdisziplinäre sozio-techno-ökonomische Spannungsfeld koordiniert, vorzugeben, der einerseits die richtigen Entscheidungen bzgl. des optimalen Ressourcen- und Kapitaleinsatz<sup>390</sup> trifft, und andererseits durch Vorgabe der optimalen anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategie die Zuverlässigkeit langfristig sicherstellt. Zur Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung des Erfolges des Zielsystems und der darin enthaltenen Ziele, ist dieses in das Controllingssystem, das die Steuerung und Kontrolle der Zielumsetzung koordiniert, zu integrieren. Dieser Prozess ist Teil des strategischen sowie des normativen Regelkreises der Instandhaltung.<sup>391</sup>

---

<sup>383</sup> Vgl. Heinen, E. (1971a), S. 429 ff.

<sup>384</sup> Vgl. Rasch, A. A. (2000), S. 72.; Schröder, W. (2010a), S. 26 f.

<sup>385</sup> Vgl. Behrenbeck, K. R. (1994), S. 204.; Rasch, A. A. (2000), S. 74.

<sup>386</sup> Brockhaus (1987), S. 540.

<sup>387</sup> Biedermann, H. (2008a), S. 5.

<sup>388</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 105.

<sup>389</sup> Für eine Erläuterung der Begriffe siehe: Kinz, A. (2017), S. 50.

<sup>390</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 23.

<sup>391</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 101.

## 3.5 Betriebliche Instandhaltung als Teil des Asset Managements

Die Instandhaltung als Teilgebiet des Asset Managements ist als Subsystem des Gesamtsystems „Unternehmen“ anzusehen.<sup>392</sup> Die Instandhaltung spielt bei der Erschließung von Kostensenkungs- und Leistungssteigerungspotenzialen eine wesentliche Rolle. Deshalb sind Grundvoraussetzungen für eine effektive Instandhaltung, Routinetätigkeiten durchzuführen sowie flexibel und zielgerichtet auf unvorhergesehene Anlagenstillstände zu reagieren. Dies lässt sich durch flexible und agile Prozesse und eine optimale dynamische Instandhaltungsstrategie erzielen.<sup>393</sup>

### 3.5.1 Instandhaltung von Anlagen

Die Instandhaltung ist gemäß DIN 13306 definiert als „die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“<sup>394</sup> BIEDERMANN definiert sie als zusätzlichen Funktionsbereich, der die Verbesserung des Anlagensystems entsprechend den Möglichkeiten der technologischen Entwicklungen und den Verbrauch des Abnutzungsvorrates minimieren sollte.<sup>395</sup> Sie dient somit dem Erhalt und der Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit der Anlagen<sup>396</sup> und in weiterer Folge zur Asset Management- sowie Unternehmenszielerreichung. Der Aufwand der damit verbundenen Tätigkeit ist jedoch von konstruktiven Merkmalen der Anlagen wie dem Alter und dem Erhaltungszustand abhängig und folgt reziprok der Investitionsplanung. Er steigt proportional mit der betrieblichen Abnutzung, die an die produzierte Menge gebunden ist.<sup>397</sup>

Generell ist die Instandhaltung in ihrer Funktion auf die Nutzungsphase der Anlage gerichtet, mit dem Ziel die Anlagenkapazität zu erhalten, Zuverlässigkeit sicherzustellen und so zur Unternehmenszielerreichung beizutragen. Im Zuge der Nutzungsphase werden drei Instandhaltungstätigkeiten – Wartung, Inspektion, Instandsetzung – sowie die Anlagenverbesserung<sup>398</sup> unterschieden (Abbildung 21).

Die Regelung dieser Tätigkeiten und die Ausgestaltung der dazugehörigen Instandhaltungsprozesse mit dem Ziel der Erreichung der gesetzten Instandhaltungsziele, ist Aufgabe des Instandhaltungsmanagements. Gemäß DIN 13306 werden unter dem Instandhaltungsmanagement „alle Tätigkeiten des Managements, die die Ziele, Strategien und die Verantwortlichkeiten sowie die Durchführung der Instandhaltung bestimmen und sie durch Maßnahmen wie

---

<sup>392</sup> Vgl. Kaluza, B. (1993); zitiert nach: Lorenz, B. (2011), S. 35

<sup>393</sup> Vgl. Wincheringer, W. (1992), S. 303.; Lüring, A. (2001), S. 44.; Schröder, W. (2010a), S. 97

<sup>394</sup> DIN EN 13306 (2015), S. 5.

<sup>395</sup> Vgl. Biedermann, H. (1990), S. 22.; Biedermann, H. (2008a), S. 19.

<sup>396</sup> Vgl. Männel, W. (1988), S. 11.

<sup>397</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S. 5.

<sup>398</sup> Strunz, M. (2012), S. 42 ff.; Für eine detaillierte Beschreibung der Grundmaßnahmen siehe: DIN 31051, S. 4 ff.

Instandhaltungsplanung, -steuerung und die Verbesserung der Instandhaltungstätigkeiten und deren Wirtschaftlichkeit verwirklichen<sup>399</sup>, verstanden.

| Instandhaltung   |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Instandhaltung   |   |  | Verbesserung   |
| Inspektion   | Wartung   | Instandsetzung   | Verbesserung   |
| Maßnahmen zur <b>Feststellung</b> und <b>Beurteilung</b> des Istzustandes eines technischen Systems<br><br>→ <b>Verschleißbeobachtung</b><br><br>• Inspizieren<br>• Messen<br>• Kontrollieren/Überwachen<br>• Auswertung der Information (Vergleich, Abweichungen)<br>• Beurteilen/Interpretieren<br>• Ausfallursachen analysieren | Maßnahmen zu <b>Bewahrung</b> Sollzustandes eines technischen Systems<br><br>→ <b>Verschleißhemmung</b><br><br>• Reinigen<br>• Schmieren<br>• Konservieren<br>• Ergänzen, Nach-/Auffüllen<br>• Auswechseln (Hilfsstoffe, Kleinteile)<br>• Nachstellen | Maßnahmen zur <b>Wiederherstellung</b> des Sollzustandes eines technischen Systems<br><br>→ <b>Verschleißbeseitigung</b><br><br>• Reparieren<br>• Nacharbeiten<br>• Aufarbeiten (Auftragen, Umformen)<br>• Austauschen durch gleiche Teile<br>• Grundüberholen | Maßnahmen zur <b>Beseitigung</b> von Schwachstellen oder zur <b>Optimierung</b> des Abnutzungsvorrats und Leistungsfähigkeit<br><br>→ <b>Modernisierung</b><br><br>• Austauschen durch bessere Teile<br>• Umstellen/-bauen<br>• Auf-/Nachrüsten<br>• (Teil-)Automatisieren<br>• Erweitern<br>• Integrieren |

Abbildung 21: Instandhaltungstätigkeiten und deren Umfang<sup>400</sup>

Die prozessuale Umsetzung des Instandhaltungsmanagements wird durch das Regelkreismodell des Instandhaltungsmanagements nach BIEDERMANN<sup>401</sup> (Abbildung 22), das sich an den drei Managementebenen – normativ, strategisch und operativ – orientiert (siehe Abschnitt 2.5.3), erreicht.

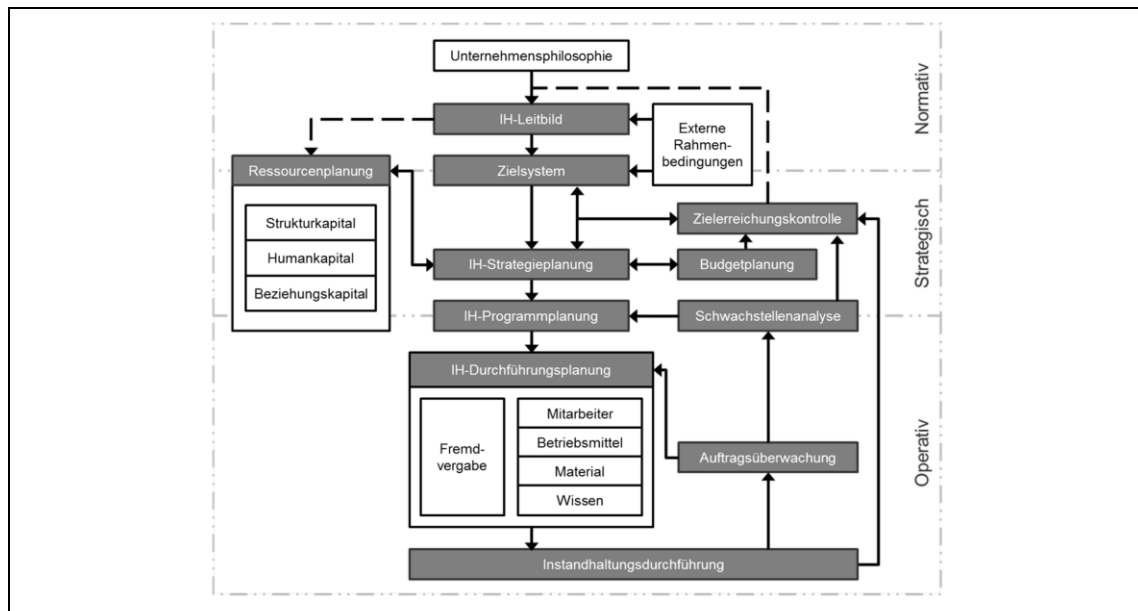


Abbildung 22: Regelkreismodell des Instandhaltungsmanagements<sup>402</sup>

<sup>399</sup> DIN EN 13306 (2015), S. 5.

<sup>400</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 220.

<sup>401</sup> Vgl. u.a. Biedermann, H. (1987), S. 177.; Biedermann, H. (1992), S. 772.

<sup>402</sup> Quelle: Kinz, A. (2017), S. 124.; in Anlehnung an: Biedermann, H. (1987a), S. 410.; Biedermann, H. (1987b), S. 177.; Biedermann, H. (1992), S. 772.

Die Kritikalitätsbeurteilung erstreckt sich auch über diese drei Ebenen (Abbildung 29). Ausgehend von der Erhebung der Erfolgsfaktoren und der Unternehmenscharakteristika auf normativer Ebene werden Kriterien für die Bewertung definiert sowie das geeignete Methodenset ausgewählt. Das Zielsystem, das sich an der Schnittstelle des normativen zum strategischen Instandhaltungsmanagements befindet, bildet die Grundlage für die Ableitung einer entsprechenden Instandhaltungsstrategie sowie der Instandhaltungsprogrammplanung<sup>403</sup>, die auf Basis der Kritikalitätsbewertung getroffen wird.

Auf operativer Ebene steht die Umsetzung der auf normativ-strategischer Ebene definierten Ziele im Vordergrund.<sup>404</sup> Hierfür ist die Instandhaltungsprogrammplanung, die Instandhaltungsdurchführungsplanung, die eigentliche Instandhaltungsdurchführung und die Auftragsüberwachung, sowie die Rückkoppelung des Kontrollschrittes in die Planungsphase wesentlich. Input kommt in der Durchführungsplanung von der Programmplanung, die sich aus der Instandhaltungsstrategieplanung ergibt.<sup>405</sup>

Die Ergebnisse der Instandhaltungstätigkeiten sowie etwaige aufgetretene Probleme liefern wiederum Input für die Schwachstellenanalyse mit dem Ziel die Prozesse so zu optimieren, dass sowohl die auf normativer Ebene gesetzten Instandhaltungs-, aber auch übergeordneten Unternehmensziele erreicht werden. Hierbei spielt die anlagenbezogene, dynamische Instandhaltungsstrategie (siehe Abschnitt 3.5.7) auf Basis der Kritikalitätsbeurteilung, sowie die laufende Betrachtung der Anlagenrisiken (siehe Abschnitte 3.5.5, 5.6.2) eine entscheidende Rolle.

### 3.5.2 Risikobetrachtung im Instandhaltungsmanagement

Die Risikobetrachtung von Anlagenrisiken als Basis für die Instandhaltungsstrategiewahl und -anpassung ist für die langfristige Wertschöpfungssteigerung wesentlich. Ziel ist es ein Risikomanagement zur strukturierten Erfassung und Steuerung von Risiken zu etablieren.<sup>406</sup> Dies gelingt, wenn die strategische Dimension des Risikomanagements als Teil der strategischen Unternehmensführung angesehen wird. Somit bildet das strategische Risikomanagement die Basis des gesamten Risikomanagementprozesses.<sup>407</sup>

Ein Risiko wird als die Auswirkung von Unsicherheiten auf Ziele verstanden.<sup>408</sup> Im Bereich der Technik sowie für die Instandhaltung wird darunter die Summe aus der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadens und dessen Schweregrad verstanden. In diesem Fall bezieht sich das Risiko immer auf eine konkrete Situation, die mit konkreten Parametern bestimmt wird.<sup>409</sup> Somit zielt es auf die Möglichkeit oder häufig die Wahrscheinlichkeit, dass Unternehmensziele und untergeordnete Ziele wie beispielsweise Instandhaltungsziele durch unternehmerische Entscheidungen entweder nicht erreicht oder übertroffen werden, ab.<sup>410</sup> Sie sind die „aus der Unvorhersehbarkeit

---

<sup>403</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 129 ff.

<sup>404</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 124

<sup>405</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 125 f.

<sup>406</sup> Vgl. Mahnke, A.; Rohlf, T. (2020), S. 4 f.

<sup>407</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 94.

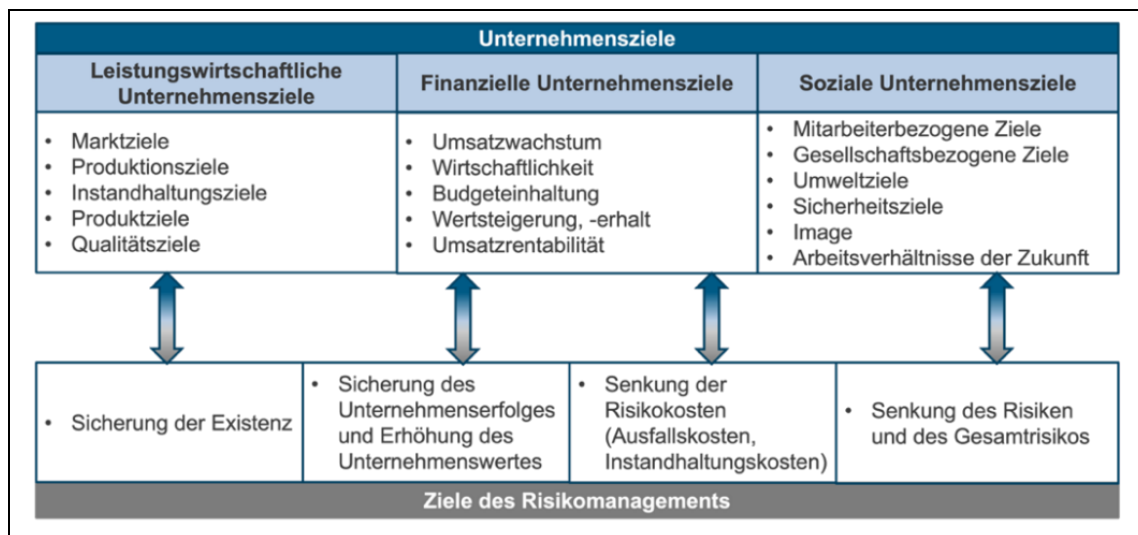
<sup>408</sup> Vgl. ISO 31000 (2018), S. 1.

<sup>409</sup> Vgl. Preiss, R. (2017), S. 13.

<sup>410</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 6.; ISO 31000 (2018), S. 1.

der Zukunft resultierenden, durch „zufällige“ Störungen verursachten Möglichkeiten, von geplanten Zielwerten abzuweichen. Risiken können daher als „Streuung“ um einen Erwartungs- oder Zielwert betrachtet werden.<sup>411</sup> In weiterer Folge bedeutet das, dass Unternehmensstrategien nicht wie erwartet umgesetzt werden können und dementsprechend die Unternehmensziele nicht erreicht werden.<sup>412</sup> Das verdeutlicht, dass Risiken immer in direkten Zusammenhang mit der Planung des Unternehmens stehen. Abweichungen von diesen Zielen – sowohl negativ als auch positiv – stellen diese Risiken dar.<sup>413</sup>

Die Implementierung eines Risikomanagements ist somit ein wesentliches Element einer verantwortungsvollen und guten Unternehmensführung und stellt die Gesamtheit der organisatorischen Maßnahmen und Prozesse dar, die auf die Identifikation, Beurteilung, Steuerung und Überwachung von Unternehmensrisiken abzielen und eine Optimierung der Risikolage ermöglichen.<sup>414</sup> Wichtig für die praktische Implementierung ist, dass das Risikomanagement gelebt wird. Dies wird durch eine dementsprechende Risikopolitik erreicht und gilt als Teil der Unternehmenskultur. Die Unternehmensziele sind stets mit den Zielen des Risikomanagements abzugleichen (Abbildung 23).<sup>415</sup>



**Abbildung 23: Wechselwirkung der Unternehmensziele mit den Risikomanagement-Zielen<sup>416</sup>**

Das Risikomanagement versucht alle Arten von Risiken, die zu Planabweichungen innerhalb des Unternehmens führen, zu erfassen. Für eine erfolgreiche Implementierung sollten die Risikomanagementziele, die Grundsätze des Risikomanagements enthalten und mit den Unternehmenszielen sowie mit den Prozessen im Einklang stehen<sup>417</sup>.

<sup>411</sup> Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 77.

<sup>412</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 6.

<sup>413</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 77.

<sup>414</sup> Vgl. Diederichs, M. (2017), S. 13 f.

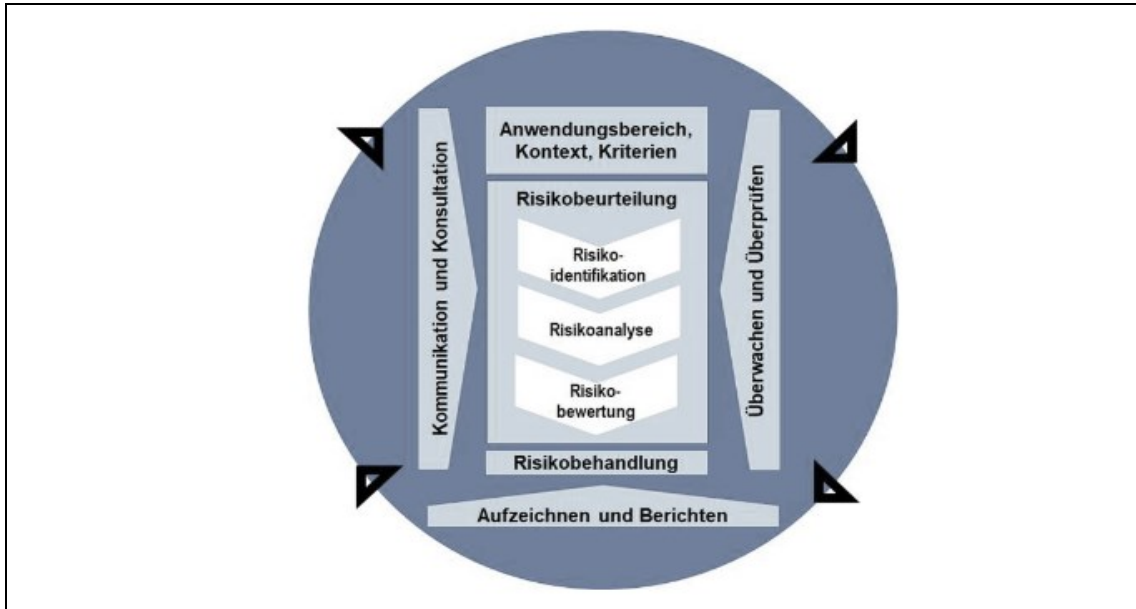
<sup>415</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 96.

<sup>416</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 96.

<sup>417</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 193.

### 3.5.3 Prozess des Risikomanagements

Der Risikomanagementprozess (Abbildung 24), der als Basis für die entwickelte Kritikalitätsbeurteilung herangezogen wurde, bildet die systematische Vorgehensweise zur Handhabung von Risiken ab.



**Abbildung 24: Risikomanagementprozess gemäß ISO31000<sup>418</sup>**

Er umfasst die systematische Anwendung der Risikostrategie, ausgewählter Verfahren und Methoden zur Risikoidentifikation<sup>419</sup>, -analyse, -steuerung, -behandlung sowie die dazugehörige Risikoüberwachung und -überprüfung. Um eine erfolgreiche Implementierung zu gewährleisten, ist er in der Unternehmenskultur, den Prozessen, Tätigkeiten und der Strategie verankert. Weiters findet er auf allen drei Managementebenen Anwendung.<sup>420</sup> Im Mittelpunkt des Risikomanagementprozesses steht die Risikobeurteilung, die zur Identifikation, Analyse und Bewertung der Risiken angewandt wird.<sup>421</sup> Der Prozess ist ein kontinuierlicher, der nach erfolgter Risikobehandlung erneut durchlaufen werden muss. Weiters wird durch die Kommunikation und die laufende Überprüfung der Risiken anhand von Messgrößen bzw. Kennzahlen eine laufende Überwachung gewährleistet.

Das Hauptproblem der Anwendung des Risikobewertungsprozesses im Zuge der Instandhaltungsstrategieableitung ist einerseits die weitverbreitete reine Kostenbetrachtung und andererseits die Fokussierung auf ausgewählte Anlagenrisiken und nicht die Betrachtung des gesamten Anlagenparks (siehe Anhang A). Weiters gibt es zahlreiche Instandhaltungsphilosophien, die keine Risikobetrachtung verfolgen. Nur vier der gängigen Instandhaltungsphilosophien verfolgen den risikoorientierten Ansatz und werden nachfolgend beschrieben. Im Falle der Risikobewertung im Bereich der Instandhaltung werden nur direkte Einflussfaktoren auf die Anlagen analysiert. Die

<sup>418</sup> Quelle: ISO 31000 (2018), S. 8.

<sup>419</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der Phasen der Risikobeurteilung siehe: Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005), S. 44 ff.; Preiss, R. (2017), S. 17 ff.; ISO 31000 (2018), S. 10 ff.

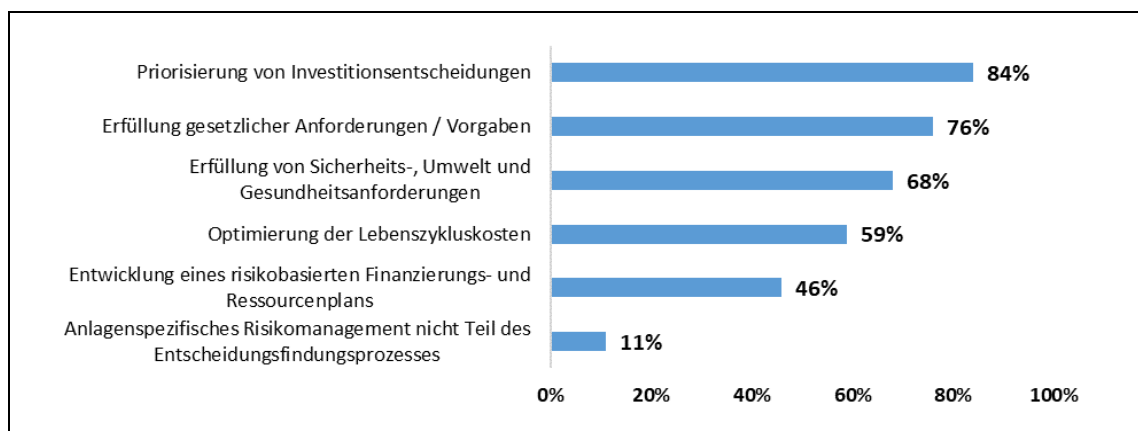
<sup>420</sup> Vgl. ISO 31000 (2018), S. 8 f.

<sup>421</sup> Vgl. ISO 31000 (2018), S. 11.

Betrachtung des Assets als strategischer Erfolgsfaktor, wie es im Asset Management gefordert wird samt aller darauf wirkenden Faktoren wie beispielsweise Flexibilitätsbedarfe, Technologiereife aber auch die jeweilige Stellung am Markt, werden bei den analysierten Instandhaltungsphilosophien nicht betrachtet. Da diese ganzheitliche Betrachtung für ein Asset Management und dessen Ziel die Wertschöpfungssteigerung wesentlich ist, zielt das entwickelte Modell darauf ab, diese Faktoren in den Risikobeurteilungsprozess aufzunehmen und dadurch eine ganzheitliche Sicht auf die Ressource Anlage zu ermöglichen.

### 3.5.4 Anlagenbezogenes Risikomanagement und dessen Ziele

Das anlagenbezogene Risikomanagement zielt darauf ab, den Wertschöpfungsbeitrag langfristig durch gezielte Zuverlässigkeitssteigerung der Anlagen zu erhöhen. Demnach ist ein Risiko im Kontext der Instandhaltung alles das die Funktionserfüllung der Anlage beeinflusst und im schlimmsten Fall in einem Verlust der Funktionsfähigkeit mündet, der in einem Anlagenstillstand resultiert. Im Sinne des Asset Managements gilt die Implementierung des Risikomanagement als wesentlich<sup>422</sup>, wie beispielsweise von der ISO 55001 gefordert. Wie die Ergebnisse einer Deloitte Studie aus 2015 zeigen, dient das anlagenbezogene Risikomanagement in erster Linie der Priorisierung von Investitionsentscheidungen, zur Erfüllung gesetzlicher Anforderungen und der Optimierung der Lebenszykluskosten (Abbildung 25)<sup>423</sup>, was auch durch die dynamische Kritikalitätsbeurteilung verfolgt wird.



**Abbildung 25: Gründe für die Implementierung eines anlagenbezogenen Risikomanagements<sup>424</sup>**

Weiters lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass in der Praxis die Notwendigkeit der Integration eines anlagenspezifischen Risikomanagements als Teil des Entscheidungsfindungsprozesses bereits erkannt wurde, jedoch der Prozess der Entscheidungsfindung, vor allem im Bereich der Instandhaltungsoptimierung, noch wesentliches Verbesserungspotenzial aufzeigt, da aktuell Anlagenverbesserungen subjektive Entscheidungen sind und meist keine standardisierte, auf die Unternehmensziele zugeschnittene Vorgehensmethodik etabliert ist.

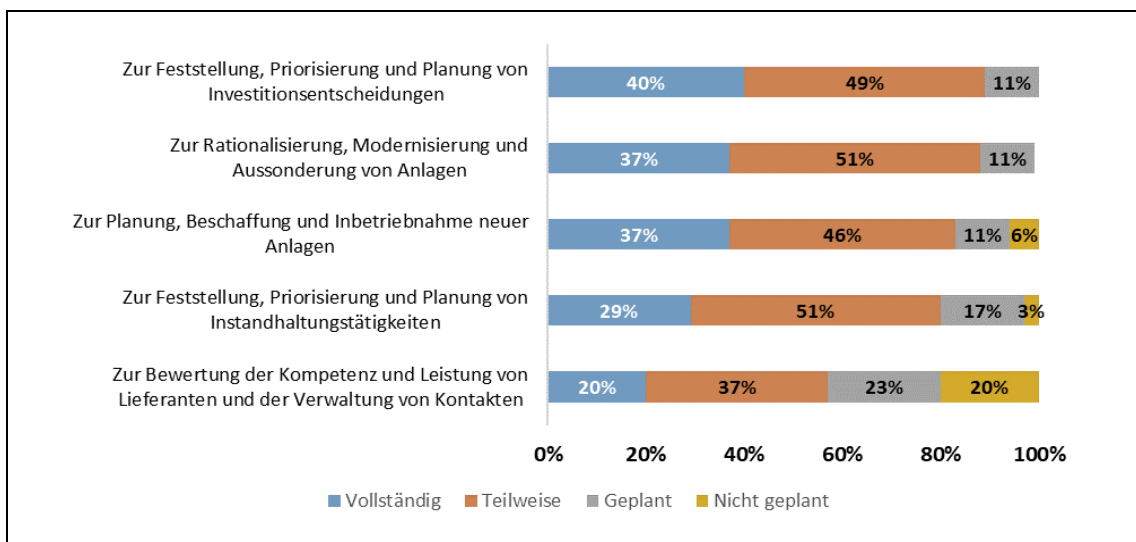
<sup>422</sup> Vgl. Schröder, W. (2014), S. 192.

<sup>423</sup> Vgl. Deloitte (2015), S. 2.

<sup>424</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 196.; in Anlehnung an: Deloitte (2015), S. 12.



Wesentlich bei der Integration eines anlagenspezifischen Risikomanagements ist die Verankerung des Risikogedankens im Zielsystem, um zur positiven Entwicklung des Unternehmens beizutragen. Wichtig im Zuge der Zielformulierung ist, dass der Zielinhalt, der dazugehörige zeitliche Bezug sowie das angestrebte Ausmaß definiert werden. Folglich sind die Wechselwirkungen der Ziele im Vorfeld zu analysieren.<sup>425</sup> Dadurch ist es möglich anlagenbezogene Risiken transparent darzustellen und diese durch gezielte risiko- und kostenoptimierende Maßnahmen zu reduzieren bzw. zu bekämpfen. Diese Risikoauswertungen dienen der Argumentation von Investitionsentscheidungen, der Verbesserung der Kommunikation zu internen und externen Stakeholdern und der Befriedigung ihrer Bedürfnisse sowie als Argumentationsbasis zur Budgetfreigabe für Verbesserungsmaßnahmen, um eine dauerhafte Wertschöpfungssteigerung zu erreichen (Abbildung 26). Zusätzlich soll das anlagenbezogene Risikomanagement als Input für die anlagenspezifische Instandhaltungsstrategiewahl dienen und die Planungssicherheit im Bereich der Instandhaltung erhöhen.<sup>426</sup> Für all diese Entscheidungen bildet das entwickelte Modell die Entscheidungsbasis.



**Abbildung 26: Anwendungsgebiete des anlagenbezogenen Risikomanagements<sup>427</sup>**

Das anlagenbezogene Risikomanagement zielt demnach darauf ab, einzelne Prozesse, deren Risiken sowie deren dynamisches Verhalten darzustellen, um strategische Analysen und Entscheidungen im besten Fall datenbasiert fällen zu können. Um die stetig steigende Komplexität der Produktionsprozesse, sowie steigende Datenmengen, händelbar zu machen, sind geeignete Methoden, wie eine dynamische Kritikalitätsbeurteilung unerlässlich. Hierbei ist das Ziel die Komplexität und den Aufwand des Bewertungsprozesses durch eine dementsprechende Methodenwahl zu reduzieren und durch die Dynamisierung der Beurteilung auf die sich ständig ändernden Prozessbedingungen reagieren zu können. Hauptproblem gängiger, angewandter Instandhaltungsstrategien ist die fehlende Risikobetrachtung aller Arten von Anlagenrisiken und die Anwendung einer dynamischen Risikobeurteilung als Basis der Instandhaltungsstrategieanpassung.

<sup>425</sup> Vgl. Biedermann, H. (2003), S. 11.; Strohmeier, G. (2007), S. 50 f.

<sup>426</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 195 f.

<sup>427</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 197.; Deloitte (2015), S. 11.

### 3.5.5 Anlagenrisiken

Da die Risikolandschaft industrieller Risiken sich laufend ändert, ist es wichtig die diese dynamisch zu erfassen und Vermeidungsmaßnahmen abzuleiten. Je nach Ursache des Risikos wird zwischen exogenen und endogenen Risiken unterscheiden. Während endogene Risiken aus dem Inneren eines Systems, im Falle des Asset Managements, aus dem System „Unternehmen“ heraus entstehen, sind exogene Risiken, Gefahren, die von außen auf das System wirken<sup>428</sup>, wie das Marktumfeld. Beispielhafte endogene Anlagenrisiken sind zeitliche Risiken, qualitätsrelevante und flexibilitätsbeeinflussende Risiken,<sup>429</sup> wie beispielweise eine Fehlbedienung einer Anlage oder eine fehlerhafte Technik. Exogene Risiken sind z.B. Naturkatastrophen, neue gesetzliche Regelungen oder Cyberattacken, die nur begrenzt vermeidbar sind und auf die eine Einflussnahme eingeschränkt ist. Die Übergänge zwischen diesen beiden Risikokategorien sind fließend und eine eindeutige Abgrenzbarkeit meist schwierig.<sup>430</sup>

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Risikoarten, exogene sowie endogene, des Asset Managements im Detail beschrieben.

#### Risikoarten des Asset Managements

##### Umwelt-, Sicherheits- und Marktrisiken

Die Marktveränderungen stellen ein immer größer werdendes Risiko dar. Das steigende Insolvenzrisiko als Folge der Pandemie ist ein Beispiel hierfür. Weitere Umweltrisiken sind eine schlechte Marktentwicklung, Naturkatastrophen aber auch Cyberangriffe, wie aus den Ergebnissen der AGCS-Studie entnommen werden kann.<sup>431</sup>

Gemäß EIPPER sind Umweltrisiken „die Möglichkeit negativer Einwirkungen auf die Geo-, Bio- und Anthroposphäre (Umwelt) durch Vorhandensein und die Aktivitäten eines (...) Betriebes, mit der Folge von kompensierenden Reaktionen und/oder einer Be- und Überlastung der Umwelt.“<sup>432</sup> Im Folgeschluss bedeutet das für Unternehmen, dass darunter aller Risiken fallen, die durch die Betriebsweise der Anlagen oder den Anlagenausfall<sup>433</sup>, sowie der Art und Weise der Bereitstellung von Roh-, Betriebs-, und Hilfsstoffen entstehen. Sie sind immer anzutreffen, wenn die Produktion als offenes System fungiert und mit der Umwelt in Wechselwirkung tritt<sup>434</sup>. Emissionen, Lärm, Energie, sowie gesundheitsrelevante Faktoren sind Beispiele gängiger Umweltrisiken, die im Zuge der angestrebten Klimaneutralität und CO<sub>2</sub>-neutralen-Produktion immer mehr an Bedeutung gewinnen.<sup>435</sup>

Sicherheitsrisiken stellen eine weitere wesentliche für den Unternehmenserfolg relevante, wenn nicht die wichtigste, Risikokategorie dar, da sie direkten Einfluss auf

---

<sup>428</sup> Vgl. Mahnke, A.; Rohlf, T. (2020), S. 90.

<sup>429</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 197 ff.

<sup>430</sup> Vgl. Mahnke, A.; Rohlf, T. (2020), S. 90.

<sup>431</sup> Vgl. Allianz (2021), <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/news/allianz-risk-barometer-2021.de.html> (Zugriff: 15.11.2021)

<sup>432</sup> Eipper, C. (1995), S. 24.

<sup>433</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 25.

<sup>434</sup> Vgl. Hitzler, L. (1998), S. 3.

<sup>435</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 200 f.

Leib und Leben haben. Im Bereich Sicherheit sind meist hohe Unternehmensstandards und präventive Wartungen sicherheitsrelevanter Anlagen implementiert<sup>436</sup> um diese Risiken von vornherein einzugrenzen und Imageverlusten vorzubeugen.

### Finanzrisiken

Finanzrisiken kommen vor allem in den monetären Konsequenzen des Risikos zum Vorschein. Sie treten meist in Kombination mit einer anderen Risikokategorie, die die Anlagenverfügbarkeit negativ beeinflusst, auf. Beispielhafte finanzielle Risiken sind hohe Ausfallkosten, ein hoher Budgetabweichungsgrad, hohe Instandhaltungs- und Ersatzteilkosten sowie Pönalen, das Amortisationsrisiko oder auch Auslastungs- und Anpassungsrisiken.<sup>437</sup>

### Qualitätsrisiken

Unter Qualitätsrisiken sind alle Risiken einzuordnen, die zu einer Abweichung des produzierten Produktes bzw. der erbrachten Dienstleistung von den vereinbarten Anforderungen und Erwartungen des Kunden führen.<sup>438</sup> Die Produktqualität ist maßgeblich für die Versorgungssicherheit der Kunden und kann bei Abweichungen zur Gefährdung der Endkundenbeziehung führen. Qualitätsrisiken, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette auftreten können, zählen zu den wesentlichen Bestandteilen einer ganzheitlichen Risikobetrachtung im Zuge einer langfristigen Anlagenoptimierung. Hierbei steht die Bewahrung der gewünschten Funktionserfüllung sowie der Prozessfähigkeit im Vordergrund. Diese Risikoart ist eng mit den zeitlichen und finanziellen Risiken verbunden. Qualitätsrisiken können beispielsweise durch eine falsche Maschineneinstellung, nichtqualifizierte Mitarbeiter, eine schlechte Ersatzteilverfügbarkeit entstehen<sup>439</sup>, die in hohem Ausschuss, langen Nachbearbeitungszeiten, schlechter Kundenzufriedenheit resultieren, was die Funktionserfüllung der Anlage deutlich beeinflusst. Diese Auswirkungen haben wiederum Einfluss auf die finanziellen Risiken.

### Zeitliche Risiken

Zu den zeitlichen Risiken zählen diejenigen, die direkte Auswirkung auf die Verfügbarkeit haben. Das Resultat dieser Risiken wird in einer geringeren Anlagenverfügbarkeit sichtbar und führt im schlimmsten Fall zu einem Anlagenstillstand und zur Betriebsunterbrechung, dem Top Risiko laut AGCS-Umfrage. Durch die Identifikation und Analyse dieser Risikogruppe, soll die Verfügbarkeit der Anlagen langfristig sichergestellt werden. Faktoren, die diese Verfügbarkeit beeinflussen, sind die Mitarbeiterqualifizierung, Stillstandsdauer, aber auch eine falsche Instandhaltungsstrategie können Auslöser für zeitliche Risiken sein. Deshalb sollten im

---

<sup>436</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 24.

<sup>437</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 25.; Passath, T. et al. (2020a), S. 199, Biedermann, H. (2022), S. 12.

<sup>438</sup> Vgl. Bauernfeind, M. (2014), S. 75

<sup>439</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 199.

Zuge der Kritikalitätsbeurteilung Kriterien gewählt werden, die zur Reduktion der zeitlichen Risiken beitragen, mit dem Ziel Verfügbarkeitsverlusten vorzubeugen.<sup>440</sup>

### Flexibilitätsrisiken

Flexibilitätsrisiken beeinflussen die kapazitative Anpassungsfähigkeit von Anlagen und/oder die Anpassungsgeschwindigkeit an sich ändernde Produktionsbedingungen negativ. Diese Art der Risiken, wirkt sich direkt auf die Verfügbarkeit der Anlagen bei Nichtbeachtung aus und resultiert in weiterer Folge in gestiegenen Konsequenzen. Faktoren, die sich auf die Anpassungsfähigkeit und/oder auf die Änderungsgeschwindigkeit auswirken und die Flexibilität somit beeinflussen sind beispielsweise die folgenden:<sup>441</sup>

#### Risiken für die Anpassungsfähigkeit

- Anlagenspezifischer Auslastungsgrad
- Anlagenspezifischer Verkettungsgrad
- Fremdleistungsanteil (Personell)
- Qualifizierung des Personals
- Anlagen-Redundanzen

#### Risiken für die Änderungsgeschwindigkeit

- Personalauslastungsgrad
- Fremdleistungsanteil
- Planungsgrad der Instandhaltungsstrategie
- Dezentralisierungsgrad
- Ersatzteilverfügbarkeit

Zusammenfassend wird festgehalten, dass es unterschiedliche Auslöser für Anlagenrisiken gibt. Für eine Zuverlässigkeitssteigerung gilt es diese systematisch laufend zu bewerten, sowie Maßnahmen zu deren Reduktion abzuleiten.

Von den oben beschriebenen Risikokategorien wirken sich Qualitäts-, Umwelt-, Flexibilitäts- und zeitliche-Risiken in erster Linie auf die Verfügbarkeit aus und haben erst je nach Schwere der Verfügbarkeitsbeeinflussung unterschiedlich hohe Konsequenzen. Finanzielle Risiken hingegen werden mit dem Schadensausmaß quantifiziert, der sich direkt auf die Konsequenzen auswirkt (Abbildung 27).<sup>442</sup>

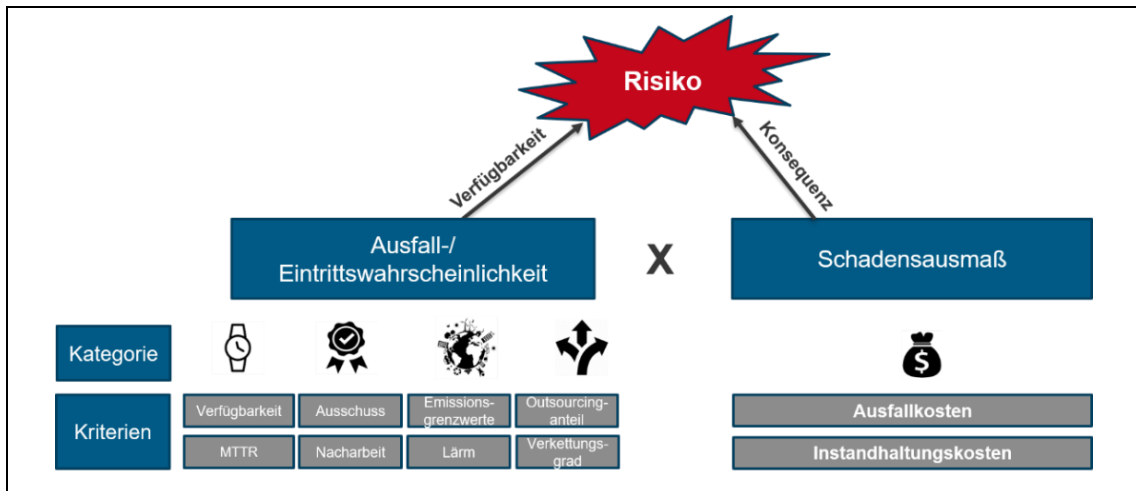
Zur Identifikation dieser größten Risikofaktoren empfiehlt sich die Anwendung der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung. Mit Hilfe eines unternehmensspezifischen und auf die jeweilige strategische Ausrichtung angelehnten definierten Kriterienkataloges wird das entsprechende Anlagenrisiko messbar gemacht.

---

<sup>440</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 198 f.

<sup>441</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 200.

<sup>442</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 202.



**Abbildung 27: Zusammensetzung des Anlagenrisikos inklusive Kriterienkategorien zu dessen Messung<sup>443</sup>**

Nicht alle gängigen Instandhaltungsphilosophien verfolgen diesen Risikogedanken, weshalb werden nur die wesentlichen, die diesen Ansatz beinhalten, nachfolgend beschrieben.

### 3.5.6 Risikoorientierte Instandhaltungsphilosophien

Die nachfolgend beschriebenen Instandhaltungsphilosophien zielen darauf ab, die optimale Instandhaltungsstrategie unter dem Aspekt des Risikos auszuwählen. Im Mittelpunkt der Strategiewahl stehen die Erfolgspotenziale des Unternehmens, die durch die strategischen Erfolgsfaktoren vorgegeben werden. Bei der Wahl der Strategie sollte danach gefragt werden, inwieweit eine Strategieänderung zu einem höheren Erfolgspotenzial führt und zur Zielerreichung beiträgt.<sup>444</sup>

Als Instandhaltungsstrategie sind generelle Vorgehensweisen und Regeln zu verstehen, die objektbezogenen Instandhaltungsmaßnahmen festlegen<sup>445</sup> und zur Erreichung der Instandhaltungsziele beitragen. Durch die optimale Instandhaltungsstrategiewahl soll das Erfolgspotenzial des Unternehmens maximiert werden. Gemäß BIEDERMANN sollte das übergeordnete Ziel deshalb „...die Sicherheit und definierte Anlagenverfügbarkeit bei minimalen Gesamtkosten...“<sup>446</sup> sein. Die auf die jeweilige Anlage abgestimmte Aufteilung von Instandsetzung, Wartung, Inspektion und Verbesserung sowie eine anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie sind der Schlüssel zu Erfolg. Dadurch wird versucht die Auftretenswahrscheinlichkeiten des Schadens und dessen Folgen zu minimieren mit dem Ziel die Verfügbarkeit zu maximieren und die Instandhaltungskosten sowie Ausfallkosten zu reduzieren und das Anlagengesamtrisiko zu senken.<sup>447</sup> Somit unterstützen die folgenden Instandhaltungsansätze bereits teilweise bei der Erreichung der Asset Management

<sup>443</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 202.

<sup>444</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 107 f.; Baum, H.-G. et al. (2013), S. 37 f.

<sup>445</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 52.

<sup>446</sup> Biedermann, H. (2008a), S. 38.

<sup>447</sup> Vgl. Krishnasamy, L. et al. (2005), S. 71.; Sepeda, A. (2009), S. 680.; Schröder, W.; Kleindienst, B. (2013), S. 106 f.

Ziele und in weiterer Folge der Unternehmensziele. Die heutzutage gängigsten Instandhaltungsphilosophien, die den Aspekt der Risikobetrachtung verfolgen, werden nachfolgend erläutert sowie ihr Potenzial hinsichtlich einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung beleuchtet.

### **Risk-based Maintenance (RBM)**

Risk-based Maintenance – auch bekannt als die risikoorientierte Instandhaltung – verfolgt das Ziel durch gezielte Auseinandersetzung mit der Risikostrategie sowie den damit verbundenen Zielen und dessen Auswirkungen auf das Asset entsprechende Ressourcenoptimierungspotenziale aufzudecken.<sup>448</sup> Hierbei werden die Risiken nach Auftretenshäufigkeit und Schadensausmaß bewertet. Die risikoreichsten Anlagen werden bei der Maßnahmenableitung zur Risikoreduktion und in weiterer Folge der Instandhaltungsstrategieoptimierung priorisiert. Durch den Einsatz dieser Instandhaltungsphilosophie ist es möglich, den wirtschaftlichsten Einsatz begrenzter Instandhaltungsressourcen zu bestimmen, um das Gesamtausfallrisiko einer Anlage zu minimieren.<sup>449</sup>

Die wesentlichen Phasen des RBM sind folgende:<sup>450</sup>

- Kritikalitätsbewertung
- Entwicklung von risikobasierten Instandhaltungsprogrammen und -strategien
- Risikobasierte Instandhaltungsplanung
- Risikobasiertes Ersatzteilwesen und Priorisierung von Reparaturen

Diese risikobasierte Betrachtung der Anlagen wird über den gesamten Anlagenlebenszyklus verfolgt.

### **Reliability Centered Maintenance (RCM)**

RCM, auch als zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung bekannt, ist eine strukturierte Instandhaltungsphilosophie zur Optimierung der Instandhaltungsstrategie bei der die Kosten der einzelnen Instandhaltungsstrategien zur Auswahl gegenübergestellt werden.<sup>451</sup> NOWLAN und HEAP erklären, dass sich RCM auf ein planmäßiges Wartungsprogramm bezieht, das darauf abzielt, die inhärenten Zuverlässigkeitsanforderungen der Komponenten zu realisieren.<sup>452</sup> Die zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung zählt zu den jüngeren Strategien, in der auch der Risikogedanke bereits verankert ist. Die zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung bietet einen strukturierten und praktischen Ansatz, um die geeignetste Instandhaltungsstrategie für jede Komponente eines bestimmten Systems zu finden.<sup>453</sup> Gemäß MOUBRAY ist RCM eine Methode, um zu definieren was getan werden muss damit die Anlage ihre eigentliche

---

<sup>448</sup> Vgl. Schröder, W.; Kleindienst, B. (2013), S. 106 f.

<sup>449</sup> Vgl. Cranenburgh, N., <https://rebok.engineersaustralia.org.au/wiki.html/risk-based-maintenance-management-and-reliability-centred-maintenance-r32/> (Zugriff: 15.12.2021) (aus dem Englischen übersetzt)

<sup>450</sup> Vgl. Cranenburgh, N., <https://rebok.engineersaustralia.org.au/wiki.html/risk-based-maintenance-management-and-reliability-centred-maintenance-r32/> (Zugriff: 15.12.2021) (aus dem Englischen übersetzt)

<sup>451</sup> Vgl. Kumar, G.; Maiti, J. (2012), S. 9947.

<sup>452</sup> Vgl. Nowlan, F. S.; Heap, H. F. (1978), S. 2. (aus dem Englischen übersetzt)

<sup>453</sup> Vgl. Gupta, G.; Mishra, R. (2016), S. 347.

Funktion weiter ausüben kann.<sup>454</sup> Das Ziel ist es die Instandhaltungsstrategie so zu wählen, dass das Risikopotenzial minimiert wird. Einen wesentlichen Beitrag hierzu bildet die Strategiefindung im Zuge eines Risikoassessments, bei dem die Funktionsweisen der Anlagenkomponenten hinsichtlich Störungen sowie deren Ursachen analysiert werden und auf dieser Basis der entsprechende Instandhaltungsstrategiemix abgeleitet wird. Generell lässt sich die RCM-Methode in sechs Teilabschnitte (Anlagenpriorisierung mittels Kritikalitätsanalyse, Systemanalyse, Funktionsanalyse, mögliche Funktionsstörungen, Ursachenanalyse, Entwicklung von Maßnahmen)<sup>455</sup> unterteilen.<sup>456</sup>

Wesentliche Vorteile sind die Reduktion von Kosten und Ausfällen, eine Verringerung des Ersatzteilverbrauchs, die Verbesserung von Sicherheits- und Umweltbedingungen, die Verringerung der Arbeitsbelastung und daraus folgend eine gesteigerte Mitarbeitermotivation, sowie eine erhöhte Wissenssicherung durch standardisierte und transparente Prozesse.<sup>457</sup> Durch die umfassende und ressourcenintensive Analyse und den damit verbundenen Kosten eignet sich diese Instandhaltungsphilosophie für Industriebetriebe, die hohe Ausfallkosten aufgrund kapitalintensiver Anlagen haben sowie solche mit höchsten Anforderungen an die Instandhaltung aufgrund umfassender Sicherheitsanforderungen wie es beispielsweise in der Luftfahrtindustrie der Fall ist.<sup>458</sup>

Die bereits beschriebenen Instandhaltungsphilosophien im Vergleich zu den noch folgenden Instandhaltungsansätzen unterscheiden sich dadurch, dass die erstbeschriebenen keinen Konnex zu den Erfolgspotenzialen herstellen.

### **Smart Maintenance (SM)**

Smart Maintenance oder auch bekannt als die intelligente, lernorientierte Instandhaltung wird definiert als "ein organisatorisches Konzept für das Management der Instandhaltung von Produktionsanlagen in Umgebungen mit allgegenwärtigen digitalen Technologien".<sup>459</sup> Ziel ist es das Aufgabenspektrum der Instandhaltung qualitativ und quantitativ anzupassen, mittelfristig eine Lernkultur zu etablieren, die eine Wissenssicherung ermöglicht. Weiters werden die Möglichkeiten der Integration von IT-Systemen und Prozessschritten zur Wertsteigerung und zur Beherrschung der immer steigenden Komplexität genutzt.<sup>460</sup> Diese Komplexität spiegelt sich in dem oftmals anzutreffenden heterogenen Anlagenpark wider, den es durch die Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie zu beherrschen gilt. Zu den mit SM assoziierten Instandhaltungsstrategien gehören die vorausschauende Wartung und die präskriptive Wartung, was den Wert der Daten innerhalb dieser Philosophie verstärkt.<sup>461</sup> IT-gestützte

---

<sup>454</sup> Vgl. Moubray, J. (1997), S.7.

<sup>455</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Phasen siehe: Lorenz, B. (2011), S. 104ff.

<sup>456</sup> Vgl. Brumby, L. et al. (2002), S. 3.

<sup>457</sup> Vgl. Smith, A. M.; Hinchcliffe, G. R. (2004), S. 208. Ben Daya, M. et. al. (2009)

<sup>458</sup> Vgl. Moubray, J. (1996), S. 309 ff.

<sup>459</sup> Vgl. Bokrantz, J. et al. (2020b), S. 11. (übersetzt aus dem Englischen)

<sup>460</sup> Vgl. Biedermann, H. (2015), S. 23.

<sup>461</sup> Vgl. Jasiulewicz - Kaczmarek, M.; Gola, A. (2019), S. 77.

Entscheidungsunterstützungssysteme sind ein zentraler Baustein von SM.<sup>462</sup> SM wirkt sich auf folgende drei Faktoren wesentlich aus:<sup>463</sup>

- Anlagenleistung

Diese setzt sich aus der Instandhaltungsleistung (weniger ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen, längere Zeit zwischen Ausfällen), der Produktionsleistung (stabile Produktion, niedrigere Produktionskosten), der Sicherheitsleistung (geringere Sicherheitsrisiken durch weniger Abschaltungen und Einsätze, Vermeidung von sicherheitsgefährdenden Ausfällen) und der Umweltleistung (geringerer Energieverbrauch, längere Lebensdauer als Beitrag zur Nachhaltigkeit) zusammen.

- Unternehmensleistung

Sie spiegelt die finanzielle Leistung (Verringerung der Einkommensverluste durch Ausfallzeiten, verbesserte Rentabilität) und den Wettbewerbsvorteil (erhöhte Wettbewerbsfähigkeit, Kenntnis des Zustands der Anlage) wider.

- Qualifikationsabhängiger technologischer Wandel

Diese Dimension umfasst die extensiven Margeneffekte des technologischen Wandels (einfache Arbeitsplätze werden durch qualifizierte Arbeitsplätze ersetzt, weniger Arbeitsplätze aufgrund der Automatisierung) und die intensiven Margeneffekte des technologischen Wandels (neue Technologie ersetzen einige Arbeitsaufgaben, Wartungspersonal übernimmt andere Aufgaben).

Somit zielt SM auf eine Entwicklung, Implementierung und kontinuierliche Verbesserung des Anlagenmanagements unter Berücksichtigung der Stakeholderinteressen und durch Nutzung neuer Technologien ab. Anstelle der Inputsteuerung tritt bei dieser Instandhaltungsphilosophie die Outputsteuerung in den Vordergrund. Hierbei besteht die Herausforderung darin menschliche Fähigkeiten und Fertigkeiten durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien zu unterstützen und das Instandhaltungsmanagement in Richtung eines Asset Managements zu entwickeln.<sup>464</sup>

### **Lean Smart Maintenance (LSM)**

LSM, als ganzheitliches Führungs- und Managementkonzept der Instandhaltung<sup>465</sup>, wurde entwickelt um den Anforderungen eines dynamischen Umfelds gerecht zu werden und die Instandhaltungsorganisation zu einem Enabler für Smart Factories und Industrie 4.0 zu machen.<sup>466</sup> Hierbei ist die Betrachtung der Erfolgspotenziale entscheidend. LSM zielt darauf ab höchste Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsansprüche durch eine verlustminimierende Instandhaltungsplanung, -durchführung und -organisation zu erreichen.

---

<sup>462</sup> Vgl. Singh, S. et al. (2014), S. 75 ff.; Balogh, Z. et al. (2018), S. 299 f.

<sup>463</sup> Vgl. Bokrantz, J. et al. (2020a), S. 8 ff.

<sup>464</sup> Vgl. Biedermann, H. (2015), S. 24 ff.

<sup>465</sup> Vgl. Maier, H. et al. (2021), S. 29.

<sup>466</sup> Vgl. acatech (2015), S. 7 ff.; Biedermann, H. et al. (2016), S. 41 f.; Biedermann, H. (2016a), S. 19 f.; Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 61.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2019), S. 13.



Der Begriff LSM setzt sich aus der "smart"- Seite, die auf die wissens- und lernorientierte Instandhaltung zur Effektivitätssteigerung durch dynamische Anpassung der Instandhaltungsstrategie und der "lean"-Seite, die auf die schlanke Instandhaltung zur Effizienzsteigerung durch Prozessoptimierung gerichtet ist, zusammen.<sup>467</sup> Effizienzsteigerung wird durch eine Reduktion von inputseitigen Verlusten der Produktionsfaktoren Mensch, Maschine und Material erreicht. Die Effektivität ist die langfristige Wertschöpfungssteigerung durch die optimale Instandhaltungsstrategie.<sup>468</sup> Somit zielt LSM darauf ab bei systemkritischen Anlagen höchste Zuverlässigkeit und Verfügbarkeitsansprüche sicherzustellen. Systemkritische Anlagen sind jene, die ein hohes Ausfallkostenpotenzial durch Qualitätsverluste, Anlagenstillstände und Kapazitätsminderungen besitzen, sowie Umwelt- und Mitarbeitergefährdungen induzieren.<sup>469</sup>

Um die ganzheitliche Sicht auf die Ressource Anlage zu erhalten, ist es erforderlich, ausgehend von den vorherrschenden Marktanforderungen und des unternehmensspezifischen Zielsystems (normative Ebene) die Einflussfaktoren auf die Anlage abzuleiten und diese in den Prozess der Kritikalitätsbeurteilung (strategische Ebene), der die Basis für die anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie bildet, zu erheben, was bis dato bei keiner der betrachteten Instandhaltungsphilosophien der Fall ist. Fokus der Risikobeurteilung sind aktuell rein instandhaltungsrelevante Aspekte. Zusätzliche Einflussgrößen wie die Unternehmensausrichtung und die Technologiereife, um einige zu nennen, werden nicht betrachtet. Somit fehlt der Bezug zur normativen Ebene bei der Kriterienauswahl für die Bewertung des Anlagenparks völlig. Ein weiteres Problem stellt die Komplexität der Bewertungsmethode dar. Es wird nicht auf die vorliegende Datenqualität und die Komplexität des strategischen Geschäftsfeldes bei der Methodenauswahl Rücksicht genommen, um eine aufwandsminimierende Bewertung durchzuführen. Des Weiteren ist kein systematisches Vorgehensmodell, das die Anlage als strategischen Erfolgsfaktor samt aller Einflussfaktoren wahrnimmt und auf Basis des Bewertungsergebnisses Maßnahmen zur Anpassung der Instandhaltungsstrategie ableitet, vorhanden. Die ganzheitliche Betrachtung des Instandhaltungsmanagements über alle drei Managementebenen ist hierbei entscheidend für die Erreichung der Zuverlässigkeitsansprüche mit dem Ziel der langfristigen Wertschöpfungssteigerung. Hierbei ist ein duales Vorgehen wesentlich. Auf Basis einer Anlagenklassifizierung – im Falle dieser Dissertation der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung – kann einerseits die Ausfall- und Störungsvermeidung bei kritischen Komponenten verfolgt werden und andererseits die Instandhaltungseffizienz durch eine lernorientierte Gestaltung der Organisation und eine Weiterentwicklung des Informations- und Kontrollwesens gesteigert werden<sup>470</sup>. Hierbei sind das Controlling und wesentliche Kennzahlen wie beispielsweise die Kritikalität, sowie die dazu gehörigen Daten und die Datenanalytik, das Wissensmanagement aber auch der Mitarbeiter an sich wesentlich für den langfristigen Erfolg (Abbildung 28).<sup>471</sup>

---

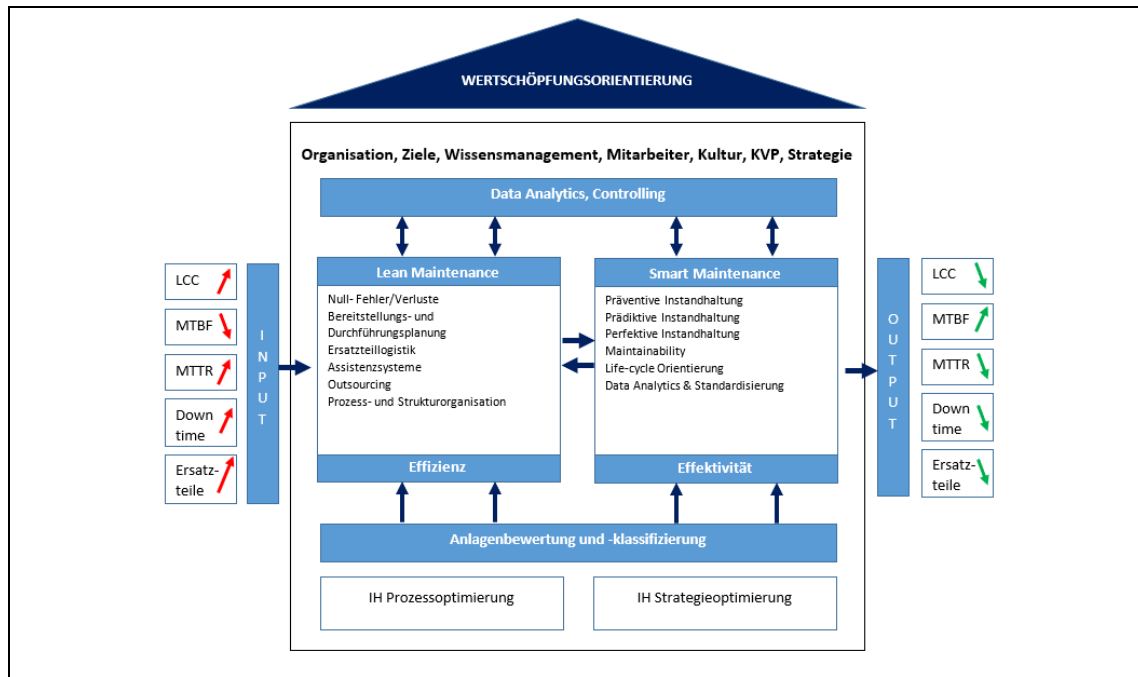
<sup>467</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 20 ff.; Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 61.

<sup>468</sup> Vgl. Schmiedbauer, O. et al. (2021a), S. 30.

<sup>469</sup> Vgl. Biedermann, H. (2017), S. 23.

<sup>470</sup> Vgl. Biedermann, H. (2017), S. 24.

<sup>471</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 28.



**Abbildung 28: Lean Smart Maintenance<sup>472</sup>**

Vor allem im Prozess der Instandhaltungsstrategiewahl ist ein hohes Maß an Wissen über die das Ausfallverhalten beeinflussenden Ursachen-Wirkungszusammenhänge wesentlich. Das Ausfallverhalten der Betrachtungseinheit wird von äußeren Einflussfaktoren mit unterschiedlichster Wirkungsstärke, die meist unbekannt sind, beeinflusst. Das äußert sich darin, dass baugleiche Anlagen ein unterschiedliches Ausfallverhalten zeigen, abhängig von der Betriebsweise und den Umgebungsbedingungen. Diese Unterschiede sowie die dazugehörigen Unsicherheiten betreffen sowohl die Streuung der Ausfallverteilung der Betrachtungseinheit sowie den Erwartungswert, was die Komplexität der anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategiewahl herausstreicht.<sup>473</sup> Um diese Einflussfaktoren auf die Anlage zu erfassen, bedarf es eines Vorgehens- und Entscheidungsmodells, welches auf Basis der Erfolgspotenziale des Unternehmens die größten Einflussfaktoren auf die Betrachtungseinheit identifiziert und mit einem daraus abgeleiteten Kriterienset die Anlagen einheitlich bewertet. Das Ergebnis der Bewertung dient als Input für die dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung.

Der systemanalytische Ansatz die Erfolgspotenziale in die Bewertung mit aufzunehmen und daraus einen umfassenden Kriterienkatalog zu generieren sowie diesen mit der Datenreife abzugrenzen, ist ein neuer Forschungsansatz, der die Forschungslücke auf diesem Gebiet schließen soll. Dieses Modell ist entwickelt worden, um die strategisch-normativen Markterfolgsbedingungen und die Dynamik des Umfeldes in die Kritikalitätsbeurteilung mit aufzunehmen, da diese Faktoren wesentlich für die Erreichung der Unternehmensziele sind und dementsprechend die Instandhaltungsstrategie ausgerichtet sein muss. Folglich hilft das Modell durch Anwendung eines unternehmensspezifischen Instrumentensets, das von der

<sup>472</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Biedermann, H. (2016a), S. 20.

<sup>473</sup> Vgl. Hölber, Stefan (2014), S. 5 f.

Komplexität des zu bewerteten Geschäftsfeldes und der vorhandenen Datenlagen abhängig ist, eine aufwandminimierende Kritikalitätsbeurteilung durchzuführen.

### **3.5.7 Dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung**

Das Ziel der dynamischen Instandhaltungsstrategieanpassung ist durch Gestaltung der internen Rahmenbedingungen flexibel auf Veränderungen des Umfelds und auf die Forderungen nach Volumenflexibilität durch eine flexible Anpassung der Instandhaltungsstrategie zu reagieren und die Zuverlässigkeit der Anlagen dadurch sicherzustellen. Hierbei ist es wichtig, dass die Strategieanpassung zielorientiert mit dem geringstmöglichen Aufwand erfolgt, da sonst die Umsetzung im strategischen Regelkreis der Instandhaltung an den aufzuwendenden Ressourcen scheitert.<sup>474</sup>

Wesentliches Problem der systematischen Anpassung stellt aktuell die einerseits weitverbreitete statische Instandhaltungsstrategiefestlegung dar und andererseits, dass die mittel- und längerfristige Anpassung der Instandhaltungsstrategie und der Organisationsstruktur den Anforderungen der Dynamik des Umfeldes nicht gerecht wird.<sup>475</sup> Ein weiteres Problem ist, dass die Maximierung der Verfügbarkeit teilweise ohne Berücksichtigung der direkten/indirekten Instandhaltungskosten erfolgt. Zusätzlich wird meist keine standardisierte Priorisierung der Schwerpunktanlagen als Input für die Strategieoptimierung herangezogen und somit ist die Anpassung mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden.<sup>476</sup> Hier setzt das Modell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung (siehe Kapitel 5) an um kurzfristig flexibel auf Umweltschwankungen und veränderte Markterfolgsbedingungen reagieren und durch Identifikation der kritischen Anlagen gezielt Maßnahmen zur Zuverlässigkeitserhaltung bzw. -steigerung und Kostensenkung durch dementsprechende Anpassung der Instandhaltungsstrategie einleiten zu können. Durch Einbettung des Vorgehensmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung in alle drei Managementebenen im Regelkreis der Instandhaltung wird der systemanalytische Ansatz, der bis dato in gängigen Kritikalitätsbewertungsmethoden nicht betrachtet wird, umgesetzt (Abbildung 29).

Ausgehend von der Analyse des Umfeldes sowie der Unternehmensstrategie werden mittels einer morphologischen Betrachtung die wesentlichen Erfolgsfaktoren (siehe Abschnitte 3.4.1, 5.5.1) der Instandhaltung identifiziert. Diese bilden die Basis der umfassenden Kriterienauswahl (siehe Abschnitt 5.5.1) für die Kriterienbewertung. Durch zusätzliche Analyse der Datenreife (siehe Abschnitt 5.5.2) wird auf Basis des bereits definierten Kriteriensets ein geeignetes Instrumentenset (siehe Abschnitt 5.5.2) zur ressourcenschonenden Bewertung (siehe Abschnitt 5.6) ausgewählt, das zur Identifikation der kritischen Anlagen (siehe Abschnitt 5.6.1) dient. Diese werden anschließend im Detail hinsichtlich ihres bestehenden Risikopotenzials (siehe Abschnitt 5.6.2) und der angefallenen Instandhaltungskosten (siehe Abschnitt 5.6.2) analysiert. Die daraus abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen zur Kosten- und Risikosenkung bilden die Basis der IH-Strategieoptimierung (siehe Abschnitte 5.7, 5.8).

---

<sup>474</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 168.

<sup>475</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Pawellek, G. (2013), S. 1.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 1.; Schmiedbauer, O. et al. (2021), S. 179.

<sup>476</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 168.

Hierbei ist der optimale, anlagenspezifische Instandhaltungsstrategiemix entscheidend für die Erreichung gesetzter Ziele sowie der Befriedigung der Marktanforderungen. Für eine Erfolgskontrolle ist das dazugehörige Instandhaltungscontrolling wesentlich, das nachfolgend erläutert wird.

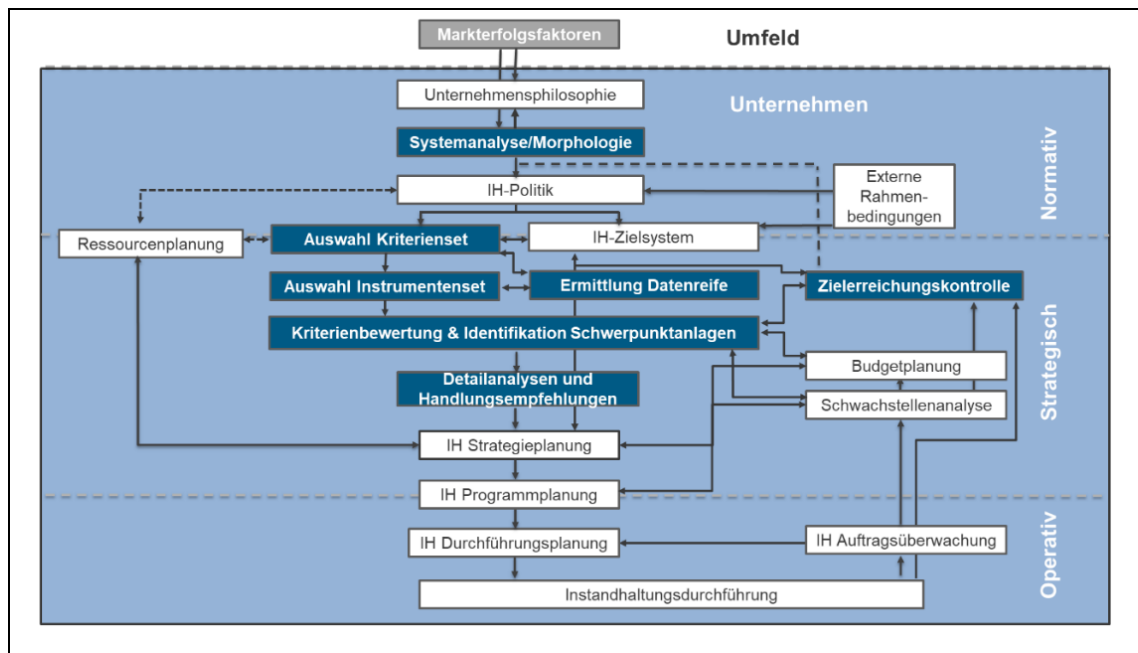


Abbildung 29: Einbettung der Schritte der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung in den Regelkreis der Instandhaltung<sup>477</sup>

### 3.5.8 IH-Controlling

Die Implementierung eines Controllings ist im Bereich Instandhaltung für eine ressourcenschonende, effiziente und effektive Instandhaltung durch den Einsatz dazugehöriger Controllinginstrumente zur Überwachung der Messgrößen essenziell (Abbildung 30).

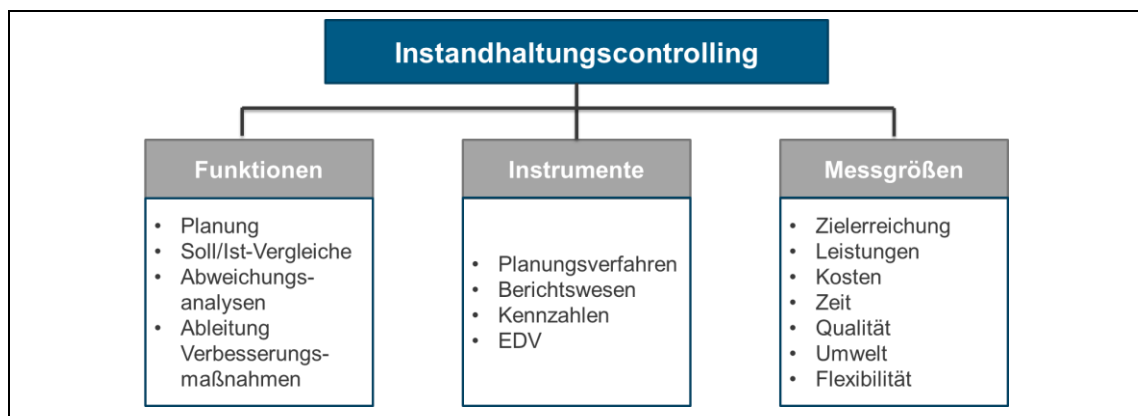


Abbildung 30: System des Instandhaltungscontrollings<sup>478</sup>

<sup>477</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Biedermann, H. (1987a), S. 410; Kinz, A. (2017), S. 124.

<sup>478</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Witt, C. (1995); zitiert nach: Matyas, K. (2010), S. 100.

Gemäß MÄNNEL besteht die Aufgabe des Instandhaltungscontrolling in der Koordination und Steuerung von Instandhaltungstätigkeiten sowie in der Bereitstellung problemlösungsadäquater Informationen für den Entscheidungsprozess.<sup>479</sup>

Somit sind die wesentlichen Zielstellungen des Instandhaltungscontrolling die folgenden:<sup>480</sup>

- Auswahl der wirtschaftlichsten Instandhaltungsorganisation
- Auswahl der wirtschaftlichsten Instandhaltungsstrategie
- Sachgerechte Planung aller Ressourcen (Personal, Material, Maschinen)
- Planung des Instandhaltungsbudgets
- Wirtschaftliche Leistungserbringung
- Wirtschaftliche Materialbewirtschaftung
- Wirtschaftlicher Einsatz von Eigen- und Fremdinstandhaltung
- Frühzeitige Abweichungsermittlung und Bewertung der Kosten

Das Instandhaltungscontrolling hilft somit die Kosten- und Leistungstransparenz sowohl funktional als auch objektorientiert zu erhöhen<sup>481</sup> und schafft eine einheitliche Dokumentationsbasis. Zur Überwachung der Instandhaltungsprozesse und deren Parameter, sowie des Erfolges der Kritikalitätsbewertung werden häufig Kennzahlensysteme eingesetzt<sup>482</sup>. Um dabei auch nicht finanzielle Aspekte in der Leistungsmessung eines Unternehmens zu verankern, hat sich in den vergangenen Jahren das Performance Measurement im Bereich der Instandhaltung etabliert.<sup>483</sup> Auch im Bereich der dynamischen Kritikalitätsbewertung ist das Instandhaltungscontrolling entscheidend um den Erfolg bei den als kritisch identifizierten Anlagen abgeleiteten Maßnahmen und der dazugehörigen Anpassung der Instandhaltungsstrategie zu überprüfen.

### **3.6 Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit**

Da Anlagenrisiken die Zielerreichung negativ beeinflussen können, ist es wesentlich sie zu erfassen und durch gezielte Analyse diesen gegenzusteuern. Ziel des Asset Managements ist es, auf Basis der Unternehmensstrategie die Anlagenstrategie mit dem Ziel den Wertschöpfungsbeitrag über den Lebenszyklus der Anlage zu steigern, abzuleiten. Diese Dissertation fokussiert sich auf die Nutzungsphase der Anlagen, da diese relevant für die Instandhaltungsstrategieanpassung ist. Hierzu ist die Einführung eines anlagenbezogenen Risikomanagements, welches als integraler Bestandteil eines Unternehmenssteuerungskonzeptes gilt, wesentlich. Zur Steuerung dieser Risiken liefert die Instandhaltung einen wesentlichen Beitrag. Dieser gehobene Stellenwert der Instandhaltung, weg von einem reinen Kostenverursacher hin zu einem gleichwertigen, wertschöpfenden Partner der Produktion, wird durch das Asset Management gestärkt.

---

<sup>479</sup> Vgl. Männel, W. (1991), S. 4.

<sup>480</sup> Kalaitzis, D. (2004), S. 55.; zitiert nach: Schwießelmann, J. (2014), S. 66.

<sup>481</sup> Vgl. Biedermann, H. (1988), S. 306.

<sup>482</sup> Vgl. Matyas, K. (2010), S. 99.

<sup>483</sup> Vgl. Horváth, P. (2011), S. 554.

Durch die Einführung der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung, dessen Ergebnis die Basis für die Anpassung der Instandhaltungsstrategie bildet, kann frühzeitig auf Risiken reagiert und dementsprechende Maßnahmen zur Risikominimierung und Verfügbarkeitssteigerung abgeleitet werden. Für die Vermeidung von Anlagenrisiken, sowie der damit verbundenen Kostenminimierung und Zuverlässigkeitssteigerung<sup>484</sup>, ist es wesentlich eine der Unternehmensausrichtung entsprechende Methodik zu etablieren, um ressourcenschonend diese Faktoren zu verringern.<sup>485</sup> Hierzu ist die ganzheitliche Sicht auf das Asset und dessen Einflussfaktoren wesentlich. Zur Erreichung der Unternehmensziele und daraus abgeleiteten Anlagenziele ist die dynamische Anpassung der Instandhaltungsstrategie auf Basis der Kritikalitätsbeurteilung und damit verbundenen Risikominimierung empfehlenswert.

Das Kapitel umfasst die allgemeinen theoretischen Grundlagen des Asset Managements und dessen Bedeutung. Durch Betrachtung der Anlage als strategischer Erfolgsfaktor und der damit verbundenen wertschöpfenden Stellung der Instandhaltung, wird auf das strategische Asset Management und dessen Kontext zur Organisation sowie der Instandhaltung eingegangen. Auf Grund der Bedeutung strategischer Erfolgsfaktoren für die Kriterienauswahl und die Unternehmenscharakterisierung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, werden diese ebenso wie das Zielsystem des Asset Managements behandelt.

Für die Entwicklung des Modells werden gängige risikoorientierte Instandhaltungsphilosophien beschrieben und ihre Methoden zur Strategieanpassung analysiert. Daraus wird der Forschungsbedarf hinsichtlich einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung weiter verfestigt. Weiters wird auf den Prozess der dynamischen Instandhaltungsstrategieanpassung auf Basis der Kritikalitätsbeurteilung eingegangen.

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Kapitels ist das anlagenbezogene Risikomanagement. Durch Betrachtung des Assets als strategischen Erfolgsfaktor, wie vom Asset Management verfolgt, ist dessen Etablierung essenziell. Dazu wird auf die unterschiedlichen Risikoarten, im Speziellen auf Anlagenrisiken, deren Auswirkungen sowie auf den allgemeinen Prozess des Risikomanagements, der den groben Handlungsrahmen der Kritikalitätsbeurteilung vorgibt, eingegangen.

---

<sup>484</sup> Vgl. Biedermann, H. (2018), S. 24.

<sup>485</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 204.; Passath, T. et al. (2020b), S. 48 ff.

## **4 Risikosteuerung im Asset Management - Die Kritikalitätsbeurteilung von Anlagen**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen der Kritikalität im Allgemeinen und der Kritikalitätsbeurteilung. Es wird auf die Wichtigkeit der Dynamisierung der Kritikalitätsbeurteilung im Sinne des ganzheitlichen Asset Managements eingegangen. Hierbei ist das Ziel der Kritikalitätsbeurteilung nicht nur die Erhaltung der Funktionserfüllung, sondern auch die ständige Verbesserung der Assets um langfristig zur Wertschöpfungssteigerung beizutragen.

Da das im Zuge dieser Dissertation entwickelte Modell darauf abzielt den Bewertungsprozess dynamisch, entscheidungsunterstützend und aufwandsminimierend zu gestalten, wird auf die unterschiedlichen Entscheidungssituationen im Zuge der Beurteilung eingegangen sowie auf die Wichtigkeit einer guten Datenqualität und -verfügbarkeit für den Bewertungsprozess.

### **4.1 Abgrenzung Kritikalität und Risiko**

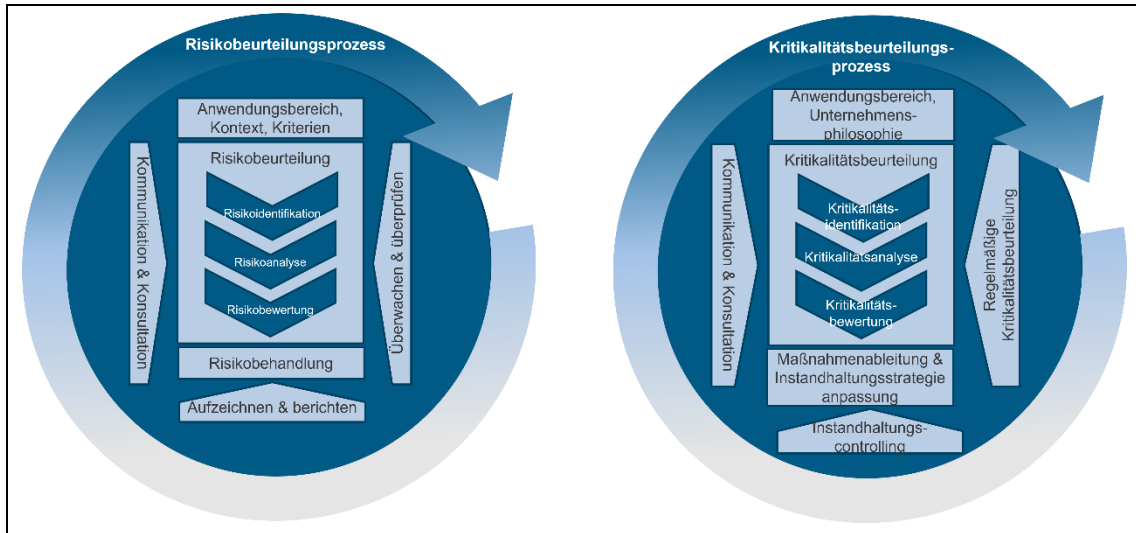
Kritikalität ist umfassender zu betrachten als ein Risiko. Die Kritikalität gibt als Charakteristikum der Betrachtungseinheit das Ausmaß, der mit der Betrachtungseinheit verbundenen Risiken wieder.<sup>486</sup> Ein Risiko ist definiert als das Produkt der Ausfallwahrscheinlichkeit und der dazugehörigen Konsequenz.<sup>487</sup> Die Vielzahl aller Risiken bzw. negativer Einflussfaktoren gibt die Kritikalität der betrachteten Anlage wieder. Das Betrachtungsobjekt gilt somit als kritisch, wenn die damit verbundenen Risiken inakzeptabel sind. Hierbei liegt der Unterschied darin, dass die Kritikalität bzw. was als kritisch angesehen ist, auf normativer Ebene und nicht wie die reine Risikobetrachtung auf strategischer Ebene, definiert wird. Wie auch für die Bewertung von Risiken, wird für die Bewertung der Kritikalität ein standardisiertes Vorgehen, die Kritikalitätsbeurteilung, empfohlen. Sie basiert auf den selben drei Schritten wie der Risikomanagementprozess – Identifikation, Analyse und Bewertung und einer anschließenden Risikobehandlung. Diese wird im Falle der Kritikalitätsbeurteilung als Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung bezeichnet (Abbildung 31).

Im Zuge der Kritikalitätsanalyse, als Prozessschritt der Kritikalitätsbeurteilung, wird durch die Analyse der Datenreife ein entsprechendes auf das zu bewertende strategische Geschäftsfeld zugeschnittenes Instrumentenset ausgewählt, ebenso wie die finalen Kriterien für die Bewertung, welche auf Basis der Morphologie festgelegt werden. Diese setzen sich aus verschiedenen Einflussparametern der Anlage und deren Ausprägung zusammen.

---

<sup>486</sup> Vgl. Lahdelma, S.; Mikkonen, H. (2012), S. 1043. (übersetzt aus dem Englischen)

<sup>487</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 21.



**Abbildung 31: Gegenüberstellung Risikobeurteilungs- und Kritikalitätsbeurteilungsprozess<sup>488</sup>**

Ausgehend von der Qualität, Sicherheit, Verfügbarkeit, Flexibilität bis hin zu Kosten- und Umweltfaktoren. Diese Faktoren sind alle mit einem Risiko behaftet. Hierbei wird je Anlage überprüft, ob die Anlage diese Faktoren beeinflusst bzw. von diesen beeinflusst wird. Je stärker der Einfluss ist und desto gravierender die einzelnen Risiken an einer Anlage einzustufen sind, desto kritischer ist die Anlage. Wichtig ist hierbei anzumerken, dass die Kritikalität immer den Ist-Zustand der Anlage und deren Einflüsse widerspiegelt. Desto wichtiger ist die Dynamisierung der Kritikalitätsbeurteilung, da sich diese durch die ständig sich ändernde Umwelt verändert und um den dadurch bedingten Flexibilitätsansprüchen der Industrie nachzukommen.

## 4.2 Begriffsdefinitionen Kritikalität und Kritikalitätsbeurteilung

Es gibt unterschiedlichste Definitionen des Begriffes der Kritikalität. Angefangen von der Bezeichnung eines kritischen Zustandes eines Kernreaktors gemäß ENGELS UND NORDMANN<sup>489</sup>, bis hin zu allgemeineren Definitionen, wie die von PARRA und MARQUEZ, die Kritikalität als Technik zur Identifikation der Wichtigkeit und Konsequenzen eines möglichen Ausfalls, die zur Priorisierung von Anlagen in einem Produktionssystem dient<sup>490</sup>, beschreibt. Gemäß SAARINEN und WESTERLUND ist die Kritikalität „ein relatives Maß für die Folgen eines Ausfalls.“<sup>491</sup> Laut DE MEER kann die Kritikalität als „Maß zur Bewertung der Wirkung eines kritischen Prozesses einen festen Wert, wenn man lediglich die Funktionalität betrachtet oder einen veränderlichen Wert haben, wenn man das variable, bzw. kontrollierbare Verhalten eines Prozesses betrachtet“<sup>492</sup>, angesehen werden. MIKKONEN UND LAHDELMA verstehen unter

<sup>488</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an den Risikobeurteilungsprozess ISO 31000 (2018), S. 8.

<sup>489</sup> Vgl. Engels, J. I.; Nordmann, A. (2018), S. 7.

<sup>490</sup> Vgl. Parra, C.; Marquez, A. C. (2020), S. 2.

<sup>491</sup> Saarinen, K.; Westerlund, P., W. (2013), S. 66.

<sup>492</sup> Meer, J. D. (2015), S. 2.



Kritikalität die Eigenschaft eines Gutes, die das Ausmaß des mit dem Gut verbundenen Risikos beschreibt.<sup>493</sup> SMITH definiert Kritikalität als strukturierte Methode zur Identifikation jener Anlagen, deren Fehler den größten Einfluss auf die betriebliche Zielerreichung haben<sup>494</sup>. Ein Fehler ist gemäß DIN 31051 definiert als der Zustand eines Objekts, im Falle der Kritikalitätsbeurteilung die betrachte Anlage bzw. Komponente, in dem es unfähig ist, die geforderte Funktion zu erfüllen. Hierbei ausgenommen ist jedoch die Unfähigkeit des Objektes während präventiver Instandhaltungsmaßnahmen oder anderer geplanter Maßnahmen oder infolge des Fehlens externer Ressourcen.<sup>495</sup>

Eine Gemeinsamkeit der beschriebenen Definitionen liegt darin, dass sich die Kritikalität mit der Identifikation und Bewertung eines Risikos, sei es bei Anlagen, Infrastruktur oder im Produktionsprozess selbst beschäftigt und „als eine große Wichtigkeit von etwas, dessen Verlust eine existenzielle Gefährdung darstellen würde“<sup>496</sup>, verstanden wird.<sup>497</sup> Um diese Verlustquellen zu identifizieren, kommt die Kritikalitätsbeurteilung, die erstmals in den 1960er zur Anwendung kam, zum Einsatz.<sup>498</sup> Auch hierfür finden sich in der Literatur verschiedenste Definitionen. MIKKONEN und LAHDEMA sehen die Kritikalitätsbeurteilung als ein Verfahren zur Bestimmung des Kritikalitätsgrades von Gütern, das in der Regel durch einen Index ausgedrückt wird. Das betrachtete Gut ist kritisch, wenn das damit verbundene Risiko nicht als akzeptabel angenommen werden kann<sup>499</sup>. Gemäß MOSS und WOODHOUSE ist die Kritikalitätsbeurteilung eine Methode zur Identifikation und Priorisierung potenzieller, unerwarteter Fehler<sup>500</sup>. PARRA UND MARQUEZ verstehen darunter die Identifikation und Priorisierung von Anlagen in einem Produktionssystem. Der Prozess soll dabei helfen die Wichtigkeit und die Konsequenzen eines potenziellen Fehlers in einem Produktionssystem im operationalen Kontext zu analysieren.<sup>501</sup>

Im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung sollten die Funktionsfähigkeit und Funktionserfüllung, die die Anforderungen an die Betrachtungseinheit abgeleitet aus den Erfolgsfaktoren wiedergeben, durch die Ableitung eines anlagenspezifischen Maßnahmenkataloges zur Instandhaltungsoptimierung sichergestellt werden (Abbildung 32). Im Zuge dessen wird der Abnutzungsvorrat durch die Anwendung des anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategiemixes optimiert.

Dieses Postulat kann durch die Definitionen von JAFARI ET AL. und KINZ, BIEDERMANN erweitert werden. Für sie wird die Kritikalität zur Festlegung der Instandhaltungsstrategien, Investitionsentscheidungen und Wachstumspläne verwendet<sup>502</sup>.

---

<sup>493</sup> Vgl. Lahdelma, S.; Mikkonen, H. (2012), S. 8.

<sup>494</sup> Vgl. Smith, R. (2009), S. 1., <https://www.slideshare.net/rickysmithcmrp/chapter-54-equipment-criticality-analysis> (Zugriff: 29.11.2021)

<sup>495</sup> Vgl. DIN 31051 (2019), S. 9.

<sup>496</sup> Bibliographisches Institut GmbH., <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kritikalitaet> (Zugriff: 13.08.2020)

<sup>497</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 86.

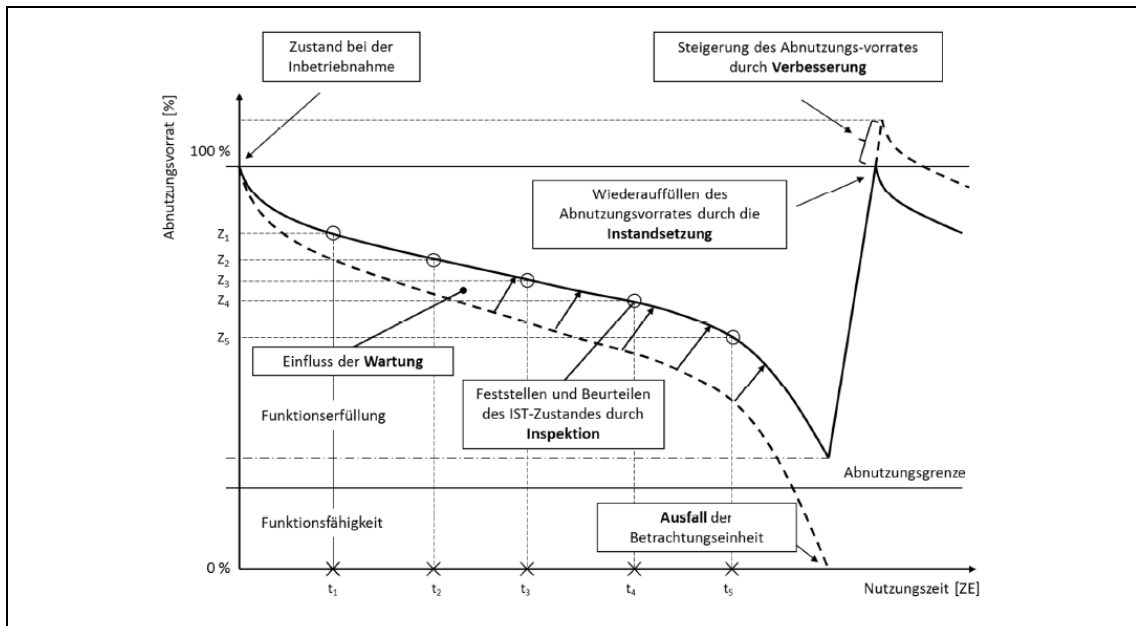
<sup>498</sup> Vgl. Moss, T. R.; Woodhouse, J. (1999), S. 121.

<sup>499</sup> Vgl. Lahdelma, S.; Mikkonen, H. (2012), S.1043. (übersetzt aus dem Englischen)

<sup>500</sup> Vgl. Moss, T. R.; Woodhouse, J. (1999), S. 117.

<sup>501</sup> Vgl. Parra, C.; Marquez, A. C. (2020), S. 2 f.

<sup>502</sup> Vgl. Jafari, M. A. et al. (2014), S. 21.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 170 ff.



**Abbildung 32: Sicherstellung der Funktionserfüllung durch das aus der Kritikalitätsbeurteilung abgeleitete Aufgabenbündel zur Instandhaltungsoptimierung<sup>503</sup>**

Das Ziel besteht darin durch die Betrachtung der Anlagenkritikalität eine Instandhaltungsstrategiekombination zu determinieren, die ihrerseits den gewünschten Output langfristig sicherstellt, Ausfallkosten reduziert und die Verfügbarkeit maximiert. Essenziell hierfür ist die Implementierung eines standardisierten Prozesses – der Kritikalitätsbeurteilung – um die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß der anlagenbezogenen Risiken unter Einbeziehung aller Einflussfaktoren des Assets laufend zu minimieren und diese einheitlich und transparent zu steuern.<sup>504</sup>

### 4.3 Die Kritikalitätsbeurteilung

Im Sinne einer effektiven Gestaltung des Instandhaltungsmanagements ist eine Konzentration auf die wichtigsten Tätigkeitsfelder auf Grund beschränkter Instandhaltungsressourcen unabdingbar.<sup>505</sup> Hier setzt die Kritikalitätsbeurteilung (Abbildung 33) an, die eine Methodik zu Bewertung und Priorisierung der Instandhaltungsobjekte darstellt, die als Basis für eine effektive Gestaltung, im Speziellen für die Optimierung des Instandhaltungsstrategiemix, dient.

Ziel der Kritikalitätsbeurteilung ist es durch eine systematische Vorgehensweise angelehnt an die unternehmerischen Rahmenbedingungen eine Entscheidungsgrundlage für zahlreiche Problemstellungen des Asset Managements angefangen von der Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen, über Investitionsentscheidungen bis hin zur Budgetierung zu liefern.<sup>506</sup>

<sup>503</sup> Quelle: Hölbfer, Stefan (2014), S. 17.

<sup>504</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 86.

<sup>505</sup> Vgl. Schuh, G. et al. (2009), S. 45.

<sup>506</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2016), S. 5.



Abbildung 33: Prozess der Kritikalitätsbeurteilung<sup>507</sup>

Gegliedert ist der Prozess der Kritikalitätsbeurteilung in drei Phasen und dementsprechenden Teilschritten mit anschließender Kritikalitätshandhabung in Form einer Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung zur Erfolgsüberprüfung (siehe Kapitel 5).

#### 4.4 Literaturbasierte Methoden der Kritikalitätsbeurteilung

Zur Erhebung und dem Vergleich der bis dato vorhandenen Methoden der Kritikalitätsbeurteilung, ist eine systematische Literaturrecherche nach TRANFIELD ET AL.<sup>508</sup> durchgeführt worden. Hierzu sind die beiden Datenbanken „Scopus“ und „Web of Science“ zum Suchbegriff „Kritikalitätsbewertung/Criticality analysis“ in Kombination mit „Instandhaltung/Maintenance“ oder „Asset Management“ durchsucht worden. Die Suchabfrage wurde auf Titel, Abstract und Schlüsselwörter eingegrenzt. Der detaillierte Ablauf der Literaturrecherche ist in Abbildung 34 dargestellt.

Insgesamt wurden 749 Veröffentlichungen (553 in Scopus und 196 in Web of Science) zum Thema „Criticality analysis“ in Kombination mit „Maintenance“ oder „Asset Management“ gefunden. Nach Einschränkung der Anwendungsgebiete wurde die Anzahl auf 191 reduziert. Die Ergebnisse wurden miteinander abgeglichen und Duplikate aus dem Recherchedatenset entfernt. Knapp 19% Doppelnennungen wurden identifiziert.

<sup>507</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an den Risikobeurteilungsprozess der ISO 31000 (2018), S.8.

<sup>508</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der systematischen Literaturrecherche siehe: Tranfield, D. et al. (2003). S. 214ff.

Von den übrigen 170 Veröffentlichungen wurden die Abstracts gescreent. Hierbei konnten 50 relevante Veröffentlichungen identifiziert werden. Diese wurden anhand ihres Anwendungsgebiets der Kritikalitätsbeurteilung untersucht. Lediglich 25 Veröffentlichungen wurden gefunden, die sich auf die anlagenbezogene Kritikalitätsbeurteilung beziehen (die detaillierte Auswertung ist in Anhang A zu finden).

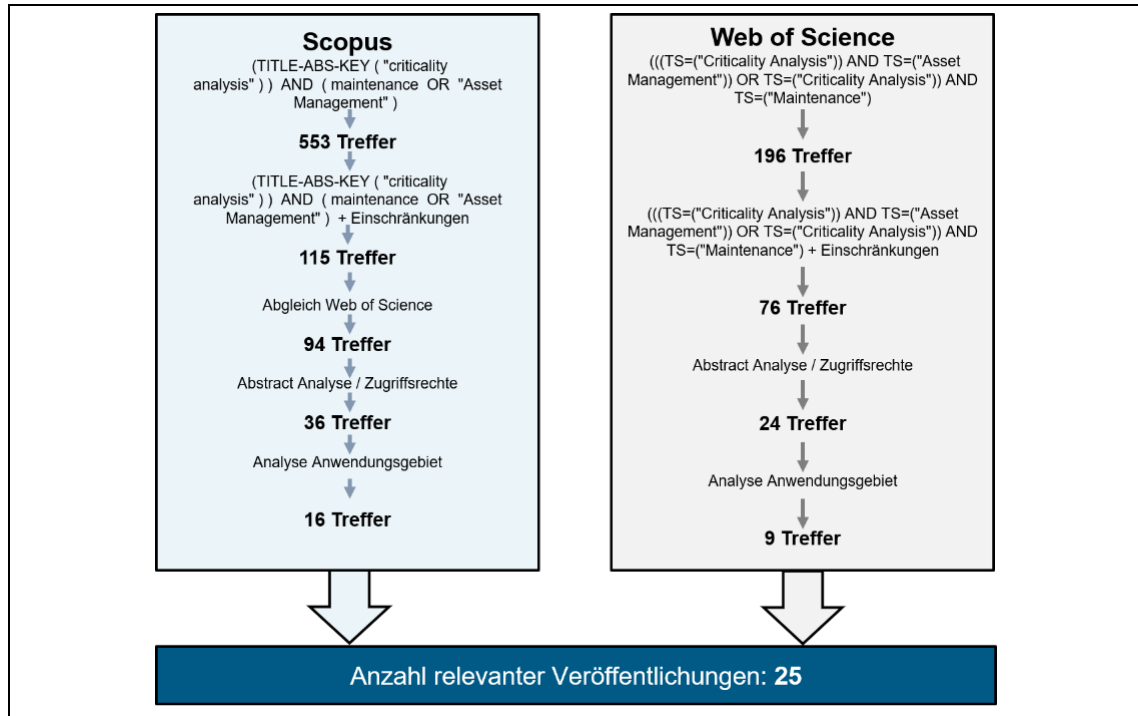


Abbildung 34: Schematische Darstellung der durchgeführten Literaturanalyse<sup>509</sup>

Die Mehrheit (52 %) dieser Veröffentlichungen verwendet eine FMEA oder eine FMECA zur Bewertung der Anlagen (siehe hierzu Abschnitt 1.2). Teilweise wird sie in Kombination mit AHP zur Kriteriengewichtung oder eine Fuzzy-Logik angewandt. Das Problem der meisten Methoden ist jedoch, dass sie nur drei Kriterien (Aufretenshäufigkeit, Schadensausmaß und Entdeckungswahrscheinlichkeit) für die Bewertung heranziehen. Teilweise wird das Kriterienset bereits um sicherheitsrelevante und umweltrelevante Kriterien erweitert, jedoch ist hier noch keine Durchgängigkeit in der Literatur festzustellen. Die Risikokategorien werden meist auf die Bewertung des Fehlers bezogen und werden nicht aus den Marktanforderungen und der Unternehmensphilosophie abgeleitet. Eine systematische Betrachtung aller auf die Anlage wirkenden Risikokategorien und nicht nur auf die Instandhaltung bezogenen, beginnend mit zeitlichen und kostenseitigen Risiken bis hin zu Qualitäts-, Umwelt-, Sicherheits- und Flexibilitätsrisiken, abgeleitet aus der strategischen Ausrichtung des Unternehmens, ist aktuell nicht vorhanden.

Eine weitere Vorgehensweise, die in der Literatur erwähnt wird, ist die Anwendung eines Kritikalitätsassessments gefolgt von einer FMEA. Diese Herangehensweise wurde auch bei der Entwicklung dieses Vorgehensmodells verfolgt. Ein Problem hierbei ist die Tatsache, dass die Bewertung aktuell oft als statischer Prozess im Unternehmen durchgeführt wird und nicht dynamisch in den Regelkreis der Instandhaltung eingebettet

<sup>509</sup> Quelle: Eigene Darstellung

ist. Weiters werden die Entscheidungen im Zuge der angewandten Methoden meist erfahrungsbasiert als Einzelentscheidung und selten in einem interdisziplinären Team mit Domänenwissen getroffen. Weiters ist es wichtig Erfahrungswissen mit Daten zu untermauern und gegebenenfalls eine quantitative Bewertung vor allem bei komplexen Anlagen durchführen zu können.

Aktuell dominieren, wie in der Literaturanalyse veranschaulicht, qualitative und semiquantitative Methoden (siehe Anhang A) zur Kritikalitätsbewertung. Einerseits ist das durch die schlechte Datenqualität und -verfügbarkeit der Anlagendaten begründet und andererseits dadurch, dass es keine standardisierte Vorgehensweise gibt, wie die Datenqualität im Bewertungsprozess Einzug finden kann. Daten werden punktuell zur Bewertung des Schadensausmaßes und der Auftretenshäufigkeit herangezogen, jedoch gibt es in der Literatur noch kein auf die vorherrschende Datenqualität und die Komplexität der Betrachtungseinheit zugeschnittenes Instrumentenset um eine Dynamisierung der Kritikalitätsbeurteilung zu ermöglichen<sup>510</sup>.

## 4.5 Die dynamische Kritikalitätsbeurteilung

Unternehmen mit komplexen Produktionsprozessen und einer geringen Technologiestabilität sind in Zeiten steigender Digitalisierung und Flexibilisierung kontinuierlich neuen Herausforderungen ausgesetzt. Eine zeitnahe Reaktion auf diese sich laufend veränderten Gegebenheiten, von denen auch die Instandhaltung nicht verschont bleibt, ist essenziell.<sup>511</sup> Demnach sollten die Prozesse schlank und wertschöpfungsorientiert durch einen zielgerichteten Ressourceneinsatz unter Verwendung von Anlagendaten für Analyse- und Optimierungszwecke gemäß der LSM-Philosophie gestaltet werden.<sup>512</sup> Die dynamische Anpassung des Instandhaltungsstrategiemix auf Basis einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung ist hierbei wesentlich.<sup>513</sup> Demnach ist ein Instrumentenset zur Bewertung als Entscheidungsunterstützung, das einen reibungslosen Bewertungsablauf ermöglicht und vergleichbare Bewertungsergebnisse liefert, wichtig.

Generell geht die dynamische Kritikalitätsbeurteilung von einer bestehenden Instandhaltungsstrategie je Anlage aus. Durch die standardisierte Vorgehensweise ist eine zielgerichtete dynamische Instandhaltungsstrategieoptimierung an den Anlagen mit dem größten Optimierungs- und Risikopotenzial, den sogenannten kritischen Anlagen, möglich. Durch Eingrenzung auf kritische Anlagen, wird eine Fokussierung der vorhandenen Instandhaltungsressourcen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung hinsichtlich Wertschöpfungsorientierung und Risikominimierung ermöglicht. Die Erfolgskontrolle als letzten Schritt bildet die Basis für eine dynamische Anpassung an sich ändernde Bedingungen.<sup>514</sup>

---

<sup>510</sup> Vgl. Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 371 f.; Passath, T. et al. (2021a), S. 88.

<sup>511</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 88.

<sup>512</sup> Vgl. Clarke, G. et al. (2010), S. 1.; Passath, T. et al. (2021a), S. 85.

<sup>513</sup> Vgl. Mikkonen, H.; Lahdelma, S. (2012), S. 1038; Crespo Márquez, A. et al. (2016), S. 519.; Passath, T.; Mertens, K. (2019)

<sup>514</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Kinz, A. et al. (2017), S. 209.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 197.

#### 4.5.1 Vorteile der Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung

Die Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung ist mit zahlreichen Vorteilen (Abbildung 35) verbunden.



Abbildung 35: Vorteile der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung<sup>515</sup>

Neben dem eines transparenten und standardisierten Prozesses, ermöglicht das unternehmensspezifische Kriterienset durch die einheitliche Kriteriendefinition inklusive der dazugehörigen Ausprägungsstufen und der Gewichtung, eine objektive und vergleichbare Bewertung. Durch die regelmäßige Bewertungsdurchführung kann flexibel auf die Dynamik des volatilen Umfeldes sowie proaktiv auf Veränderungen reagiert werden<sup>516</sup>.

Ein unternehmensspezifisch, auf die jeweilige Komplexität und Datenreife der Betrachtungseinheit zugeschnittenes Instrumentenset ist wesentlich für den reibungslosen Bewertungsablauf. Dadurch können einerseits der Bewertungsaufwand, entweder durch eine automatisierte Bewertung oder durch eine gezielte Methodenvorgabe reduziert und andererseits Maßnahmen aus der Einstufung zu Steigerung der Datenreife bei kritischen Anlagen abgeleitet werden. Wird die Bewertung für mehrere strategische Geschäftsfelder durchgeführt, kann das Ergebnis als interner Benchmark verwendet werden. Der Erfolg von zuverlässigkeitssteigernden Maßnahmen kann im gesamten Kontext der Organisation betrachtet werden.

Unabhängig vom angewandten Instrumentenset liefert das Ergebnis der Kritikalitätsbeurteilung Input für die Mittel- bis Langfristplanung der Instandhaltung. Durch die systematische Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Instandhaltungsstrategie, aber auch zur Steigerung der Datenreife bei kritischen

<sup>515</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>516</sup> Vgl. Nebl, T.; Prüß, H. (2006), S. 191.; Kuhn, A. et al. (2006), S. 56 f.; Biedermann, H. (2016a), S. 19.

Komponenten kann dauerhaft eine Zuverlässigkeitsmaximierung und Kostenreduzierung erreicht werden.

Neben der standardisierten Vorgehensweise zur Anlagenbewertung und Maßnahmenableitung, wird die Transparenz erhöht, je nach Bewertungsmethode Fachwissen durch Faktenwissen untermauert und in weiterer Folge die Mitarbeitermotivation gesteigert, was langfristig eine Effizienz- und Effektivitätssteigerung begründet.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die dynamische Kritikalitätsbeurteilung zahlreiche Vorteile mit sich bringt, die durch eine flexible und agile Instandhaltungsstrategieanpassung auf Basis des Bewertungsergebnisses wesentlich zur Sicherstellung des Unternehmenserfolgs beiträgt.

#### **4.5.2 Entscheidungssituationen im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung**

Im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung sind die im Bewertungsprozess involvierten Personen mit zahlreichen komplexen Entscheidungssituationen konfrontiert. Um eine einheitliche und vergleichbare Bewertung der Anlagen sowie eine standardisierte Risiko- und Kostenanalyse als Basis der Instandhaltungsstrategieanpassung zu gewährleisten, ist eine strukturierte Vorgehensweise inklusive der Anwendung geeigneter Methoden, abhängig von der vorhandenen Datenreife, entscheidend.

##### **Charakteristika der Entscheidungssituationen im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung**

Eine Entscheidungssituation, wie die im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, ist dadurch charakterisiert, dass einer Person mindestens zwei Optionen vorgelegt werden, zwischen denen sie eine Wahl treffen muss. Somit stellen diese Optionen das Hauptproblem der Entscheidung dar. Diese Optionen können bereits vorgegeben sein oder selbst vom Entscheider entwickelt bzw. formuliert werden.<sup>517</sup> Vor allem im Bereich der betrieblichen Entscheidungen, wie im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, ist es umso schwieriger für das Individuum Mensch Entscheidungen zu treffen, da die Angst einer Fehlentscheidung in diesem Fall um ein Vielfaches höher ist.<sup>518</sup> Deshalb ist es wichtig für einen reibungslosen Entscheidungsfindungsprozess, ein geeignetes Instrumentenset zur Verfügung zu stellen.

Ein weiteres Charakteristikum ist der vorherrschende subjektive Charakter der Entscheidung, wie es auch bei gängigen in der Literatur beschriebenen Kritikalitätsbeurteilungsmethoden der Fall ist. Die Entscheidung, ob eine Anlage als kritisch einzustufen ist, sowie die Bestimmung der Einflussfaktoren, die den kritischen Zustand einer Anlage bestimmen, obliegt dem Bewertenden und dessen Erfahrung. Meist handelt es sich bei dieser Entscheidung um eine intuitive und unstrukturierte Einzelentscheidung, was den Druck auf den Entscheider weiters erhöht. Diese Entscheidung ist geprägt von subjektiver Wahrnehmung, Erfahrungswissen und Bauchgefühl, da die Risikowahrnehmung in diesem Falle von dem vorhandenen

---

<sup>517</sup> Vgl. Pfister, H.-R. et al. (2017), S. 16.

<sup>518</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 203.

Fachwissen über bestimmte Dinge und Situationen, Emotionen, Moralvorstellungen, Zielwerten und Meinungen beeinflusst wird. Dementsprechend ist in diesem Fall die Bereitstellung eines geeigneten Instrumentensets unerlässlich.

Ein weiterer Punkt, der mitbedacht werden muss, ist der, dass die Risikowahrnehmung meist auf Hypothesen beruht. Häufig werden auf gleiche Risikoarten unterschiedliche Vermutungen angestellt. Dabei zeigt sich, dass der Mensch nicht dafür geschaffen ist Wahrscheinlichkeiten zu bewerten, dennoch ist dieser Punkt wichtig in der Praxis des anlagenspezifischen Risikomanagements und zur langfristigen Effizienz- und Effektivitätssteigerung in Unternehmen. Um den Entscheidungsprozess zu erleichtern, ist es wesentlich dem Entscheider geeignete Methoden, auch datenbasierte, als Unterstützung zur Verfügung zu stellen<sup>519</sup>, wie es von diesem Vorgehens- und Entscheidungsmodell verfolgt wird, um dem aktuell noch vorherrschenden Problem der intuitiven Entscheidungen durch die Anwendung geeigneter Methoden Abhilfe zu verschaffen. So können intuitive Entscheidungen mit Daten untermauert und zeitgleich neben Fachwissen auch Faktenwissen in die Entscheidungssituation eingebracht werden.

Um der Komplexität der Entscheidungssituation gerecht zu werden und dem Individuum die Angst einer Fehlentscheidung zu nehmen, werden Gruppenentscheidungen in interdisziplinären Teams im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung angewandt.<sup>520</sup> Ihr Vorteil besteht darin, dass dem Individuum die Angst einer Fehlentscheidung genommen wird und mit der Hoffnung verbunden ist, bessere und ausgewogener Entscheidungen zu treffen als bei Individualentscheidungen, da mehr Meinungen und Informationen in der Entscheidungsfindung Beachtung finden. Dadurch wird eine stärkere sachliche Fundiertheit der Aussage<sup>521</sup> um komplexere Entscheidungen besser lösen zu können, erreicht.<sup>522</sup> Wichtig ist in diesem Fall, dass am Beginn der Gruppenentscheidung bereits die anzuwendende Methode, aber auch das Informationskonzept dahinter feststeht und das gemeinsame Ziel allen Gruppenmitgliedern bekannt ist. Deshalb wird im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung ein Methodenset dem Entscheidungsgremium vorgegeben, das durch eine standardisierte Vorgehensweise, teilweise auch datenbasiert, die Entscheidungssituation unterstützt und dementsprechend den Prozess der Entscheidung erleichtert.

Da bei Entscheidungen im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung Situationen mit gegebenenfalls unterschiedlichen Zielen beurteilt werden, ist die Anwendung multikriterieller Entscheidungsmodelle (siehe Abschnitt 2.2.1) unabdingbar, deren Entscheidungssituationen nachfolgend erläutert werden.

### **Entscheidungssituationen im Zuge der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung**

Nachfolgend wird auf die jeweiligen Entscheidungssituationen im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, angefangen vom Schritt der Kritikalitätsidentifikation, über die

---

<sup>519</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 203.

<sup>520</sup> Vgl. Meyer, R. (2000), S. 135.

<sup>521</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 191.

<sup>522</sup> Vgl. Laux, H. (2002), S. 405.



-analyse bin zur -bewertung und Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung eingegangen.

Entscheidungssituationen im Zuge der Kritikalitätsidentifikation

• **Systemanalyse und Ableitung Bewertungskriterien**

Die Ableitung von den Bewertungskriterien aus den Unternehmensphilosophie, den Marktanforderungen und dem Zielsystem der Instandhaltung ist ein wesentlicher Schritt im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung. Hierbei wird mit einer Morphologie im Zuge der Systemanalyse die strategische Ausrichtung analysiert.

Weiters werden die strategischen Erfolgsfaktoren des Unternehmens und der Instandhaltung mittels Brainstormings (siehe Anhang B) erhoben. Zur besseren Veranschaulichung der Zusammenhänge empfiehlt sich eine Kriterienhierarchie zu erstellen, ausgehend von den Unternehmenszielen, Instandhaltungs- und Produktionsziele, aber auch Qualitäts-, Kosten-, Umwelt- und Flexibilitätsziele (siehe Abschnitte 3.4.1, 5.5) abzuleiten und dazu passende Kriterien zu formulieren inklusive deren messbarer Attribute und deren Zielwerte. Diese Attribute dienen als Leitfaden zur Bewertung der jeweiligen Ausprägung im Zuge der Kritikalitätsbewertung (Abbildung 36).<sup>523</sup> Die erhobenen Erfolgsfaktoren werden geclustert und mittels Punktebewertung bewertet.

○ Punktebewertung

Zuteilung von Punkten aus einem vorab festgelegten Zahlenbereich zu jedem Kriterium. Hier gilt es zu beachten, dass je größer die Skalenspreizung, desto heterogener wird den bewerteten Kriterien Bedeutung zugemessen und desto stärker kann die Bedeutsamkeit ausgedrückt werden. Das tatsächliche Gewicht wird im Anschluss aus dem Verhältnis der festgelegten Punkte zur Gesamtpunkteanzahl berechnet.<sup>524</sup>

• **Definition von Bewertungskriterien**

Für eine einheitliche Definition der Bewertungskriterien und um eine dementsprechende Nachvollziehbarkeit für die Zukunft zu gewährleisten, ist es wichtig in interdisziplinären Teams zu arbeiten. Als Leitfaden wird ein Kriteriendefinitionsblatt zur Vereinheitlichung der Definitionen der Kriterien und um den Entscheidungsspielraum einzugrenzen, herangezogen (siehe Abbildung 50)

Einen wesentlichen Teil der Definition bilden die Ausprägungsformen je Kriterium, welche sich in einer Kriterienhierarchie darstellen lassen (Abbildung 36).

Diese Ausprägungen können auf unterschiedlichen Skalenniveaus basieren.<sup>525</sup> Essenziell ist hierbei, die Eigenschaften der verwendeten Zahlen einer Skala vorab zu definieren, um die Entscheidungen basierend auf den Ausprägungen einheitlich durchzuführen.<sup>526</sup>

---

<sup>523</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 6 f.

<sup>524</sup> Vgl. Kühnapfel, J. B. (2014), S. 10 f.

<sup>525</sup> Habinger, Y. (2018), S. 13.

<sup>526</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1971), S. 149.

Generell werden folgende Skalenniveaus zur Beschreibung der Ausprägungen differenziert:<sup>527</sup>

- Nominalskala
- Ordinalskala
- Intervallskala
- Verhältnis- und Rationalskala

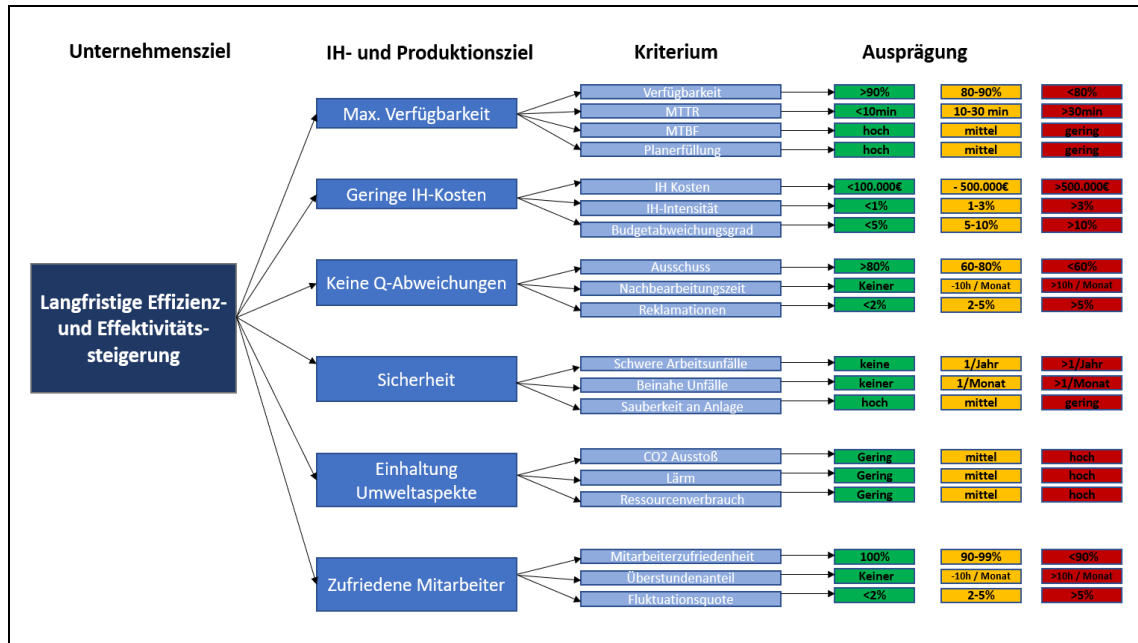


Abbildung 36: Beispielhafte Kriterienhierarchie<sup>528</sup>

Im Falle der Kritikalitätsidentifikation wären es die Ausprägungsstufen, die je Anlage und je Kriterium definiert werden bzw. die Ausprägungsstufen für Auftretenshäufigkeit, Schadensausmaß und Entdeckungswahrscheinlichkeit, die im Zuge der Risikobewertung kritischer Anlagen zur Anwendung kommen.

Durch die Vorgabe dieser strukturierten Vorgehensweise und in weiterer Folge der Ausprägungsstufen, fällt beim Entscheider das subjektive Entscheidungsproblem im Zuge Kriterienauswahl weg, was den Bewertungsprozess objektiviert und vergleichbar macht.

Für die Kriterienauswahl werden die Charakteristika der Morphologie den vorausgewählten Kriterien in einem dafür erstellten Excel-Sheet gegenübergestellt.

### • Anlagenauswahl

Ziel dieser Entscheidungssituation ist es, die wichtigsten Anlagen für die Kritikalitätsbewertung auszuwählen. Hierbei können zwei Methoden zur Anwendung kommen. Die erste Methode bewertet den Einfluss der Anlagen auf die einzelnen Erfolgsfaktoren (siehe Abschnitt 5.5.1 und Fallstudie 1). Die zweite, etwas komplexere Methode, zieht nichtveränderbare, den Anlagenpark beeinflussende Kriterien wie beispielsweise die Redundanz heran und bewertet deren Einfluss auf die Anlagen (siehe

<sup>527</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1971), S. 149ff.

<sup>528</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 7.

5.5.1, Fallstudien 2 & 3). Bei beiden Bewertungen ist es wichtig eine einheitliche Definition den Bewertungskriterien zu hinterlegen, um eine Vergleichbarkeit des Bewertungsergebnisses zu gewährleisten.

### Entscheidungssituationen im Zuge der Kritikalitätsanalyse

- **Gewichtung der Kriterien**

Die Gewichtung der Kriterien ist ein entscheidender Schritt der Kritikalitätsanalyse und ist im Teil des Entscheidungsprozesses durch ein hohes Maß an Subjektivität gekennzeichnet. Sie dient dazu die jeweilige Bedeutung der Kriterien für die Entscheidungsfindung festzulegen. Umso wichtiger ist es, diesen Schritt durch die Anwendung der geeigneten Bewertungsmethodik so objektiv wie möglich durchzuführen. Durch welche Methodiken es möglich ist dem Gewichtungsprozess mehr Objektivität zu verleihen, wird im Folgenden genauer betrachtet.<sup>529</sup>

Bei der Gewichtung handelt es sich in einer Verhältniszahl, die aussagt, wie wichtig ein Kriterium für die jeweilige Zielerreichung ist.<sup>530</sup>

Diese Wichtigkeit kann durch folgende Methoden ermittelt werden:<sup>531</sup>

- Punktebewertung (siehe Abschnitt 4.5.2)
- SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique)

Diese Methode ordnet dem wichtigsten Kriterium den Wert 100 zu. Dieser Wert wird als Referenz für die Aufteilung aller weiteren Gewichtungen, deren Gewicht relativ zu den wichtigsten Kriterien festgelegt wird, herangezogen. Abschließend wird die Summe der vergebenen Punkte gebildet.

- SWING

Swing ist die Bezeichnung für den Wechsel zwischen der schlechtesten Ausprägung zur besten eines Kriteriums. Zunächst wird für ein Kriterium eine fiktive Alternative entwickelt, die hinsichtlich aller Kriterien die schlechteste Ausprägung hat. Danach wählt der Entscheider das Kriterium aus, welches zur maximalen Ausprägung verändert werden soll. Diese Vorgehensweise wiederholt sich für alle Kriterien und führt im Endeffekt zu einer Priorisierung der Kriterien. Das wichtigste Kriterium erhält den Wert 100 und das Schlechteste 0. Allen weiteren Kriterien werden die Punkte entsprechend ihrer Rangfolge zugewiesen.

- SIMOS

Bei dieser Methode wird jedes Kriterium auf ein Kärtchen geschrieben und anschließend werden die Kärtchen nach ihrer Wichtigkeit geordnet. Bei dieser Methode können auch gleiche Wichtigkeiten (zwei Kärtchen nebeneinander) aber auch Leerkarten zur Symbolisierung von größeren Abständen zwischen den Wertigkeiten eingesetzt werden.

Die Gewichtung der Wertigkeit wird durch folgende Formel berechnet bei der r für den aktuellen Rang und f für die Relation aus  $r_{\max}/r_{\min}$  steht.<sup>532</sup>

---

<sup>529</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 15

<sup>530</sup> Vgl. Kühnapfel, J. B. (2014), S. 10

<sup>531</sup> Vgl. Habinger, Y. (2018), S. 15 ff.

<sup>532</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 36 ff.

- AHP

Diese Methode wurde von SAATY (1980)<sup>533</sup> zur Lösung von unstrukturierten Problemen, sowie von Entscheidungsproblemen mit mehreren Kriterien entwickelt.<sup>534</sup> Sie wurde während der praktischen Anwendung des Modells eingesetzt (siehe Kapitel 6, Fallstudie 2 und 3).

Der Name dieses Prozesses setzt sich folgendermaßen zusammen:<sup>535</sup>

- **Analytical:** Entscheidungen erfolgen über logische Schlüsse sowie mathematischen Berechnungen
- **Hierarchy:** Es erfolgt eine hierarchische Struktur der Bewertung
- **Process:** Charakterisiert den Weg zur Entscheidungsfindung

Im ersten Schritt des AHP wird das Entscheidungsproblem definiert und alle an der Problemlösung beteiligten Elemente, darunter Einflussfaktoren, Kriterien, Subkriterien sowie Alternativen zusammengefasst. Da es sich um einen hierarchischen Prozess handelt, wird das komplexe, aus vielen Kriterien bestehende Problem im zweiten Schritt in eine hierarchische Struktur heruntergebrochen. Zu beachten ist, dass jede AHP-Ebene einen Einfluss auf die nachfolgende Ebene hat.<sup>536</sup>

Der dritte Schritt umfasst die Bewertung der Hierarchieelemente<sup>537</sup>. Ein paarweiser Vergleich wird zur Priorisierung der einzelnen Kriterien untereinander vorgenommen. Innerhalb einer Hierarchie werden aus einer Reihe von Elementen zwei gegenübergestellt und die relative Wichtigkeit des einen zum anderen anhand einer standardisierten, numerischen Skalierung vorgenommen.<sup>538</sup> Gemäß ROMMELFANGER und EICKEMEIER geht SAATY<sup>539</sup> wie bei der Nutzwertanalyse von einem hierarchischen Zielsystem aus, jedoch lässt er zur Umsetzung in partielle Nutzwerte eine 9-Punkte-Skala zu (Tabelle 3).<sup>540</sup>

**Tabelle 3: Punkteskala nach SAATY für Paarvergleiche<sup>541</sup>**

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| 1       | gleiche Bedeutung           |
| 3       | etwas größere Bedeutung     |
| 5       | sehr viel größere Bedeutung |
| 7       | erheblich größere Bedeutung |
| 9       | absolut dominierend         |
| 2,4,6,8 | Zwischenwerte               |

Nach der Durchführung der Bewertungsurteile, können die relativen Gewichte der Elemente (Kriterien) berechnet werden. Zunächst werden die Bewertungsurteile der jeweiligen Erfolgsfaktoren in eine Evaluationsmatrix (A) übertragen. Die Kriterien (bzw.

<sup>533</sup> Für detaillierte Informationen siehe: Saaty, T. L. (1980)

<sup>534</sup> Vgl. Vafaei, N. et al. (2016), S.262.

<sup>535</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.1.

<sup>536</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.5.

<sup>537</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.5.

<sup>538</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 153f.

<sup>539</sup> Saaty, T. L. (1980)

<sup>540</sup> Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 154.

<sup>541</sup> In Anlehnung an: Saaty, T. L. (1980); zitiert nach: Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002)

die Bewertungsurteile) entsprechen somit den Spalten- und Zeilenelementen. Diese Evaluationsmatrizen bestehen aus  $n \times n$ , wobei  $n$  die Anzahl an Kriterien eines Erfolgsfaktors wiedergibt.<sup>542</sup> Nun folgt die eigentliche Berechnung der relativen Gewichte der Kriterien bezogen auf die Erfolgsfaktoren. Dies geschieht über die Eigenvektorberechnung. Die meistangewandte Methode hierfür ist die Eigenwertmethode.<sup>543</sup> Kurzum, das Resultat erfolgt über einen iterativen Prozess der Quadrierung und Normalisierung der Matrix und der darauffolgenden Gewichts Berechnung für die relativen Gewichte.<sup>544</sup>

Nach der Gewichtung erfolgt die Überprüfung der Konsistenz der Evaluationsmatrix. Um sich das Konzept der Konsistenz besser vorstellen zu können, soll folgendes Beispiel von Kriterien X, Y, und Z betrachtet werden: eine Entscheidung ist dann konsistent, wenn z.B. X zweimal wichtiger als Y, Y dreimal wichtiger als Z und demzufolge X sechsmal wichtiger als Z ist. Überprüft wird dies beim AHP mittels des maximalen Eigenwertes,  $\lambda_{\max}$ . Dieser wird mit der Summe des Spaltenelements  $n$  des Eigenvektors verglichen. Stimmen diese überein, so ist die Entscheidung konsistent. Der Consistency Index (CI) wird folgendermaßen berechnet:<sup>545</sup>

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.5.2.1)$$

Verglichen wird dieser Wert mit einem Durchschnittswert RI (Random Index), welcher auf Erfahrungswerten basiert (Tabelle 4).<sup>546</sup>

**Tabelle 4: RI bei gegebener Matrixgröße<sup>547</sup>**

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Größe der Matrix  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| Konsistenzindex R | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Somit kann festgestellt werden, inwiefern der CI-Wert vom RI-Wert abweicht, beziehungsweise, ob diese Abweichung noch akzeptabel ist. Diese Abweichung wird über die finale Consistency Ration (CR) berechnet<sup>548</sup>:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.5.2.2)$$

Die Evaluationsmatrix erreicht eine ausreichende Konsistenz, wenn  $CR < 0,1$  entspricht. Wenn der finale CR-Wert diese Zahl überschreitet, muss der

<sup>542</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.5.

<sup>543</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der Berechnung siehe: Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.6.

<sup>544</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.6.

<sup>545</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.6.

<sup>546</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.7.

<sup>547</sup> Quelle: Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.7.

<sup>548</sup> Vgl. Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013), S.7.

gesamte Evaluierungsprozess wiederholt werden, um eine Konsistenzsteigerung herbeizurufen.<sup>549</sup>

- **Nutzwertanalyse**

Ziel der Nutzwertanalyse ist es, die vorhandenen Lösungsalternativen in Abhängigkeit ihrer Präferenzen zu priorisieren. Als Ergebnis liegt der Gesamtnutzwert vor. Die Alternative mit dem höchsten Gesamtnutzwert, ist die zu priorisierende, die am besten den Zielvorstellungen und Präferenzen der Entscheider entspricht.<sup>550</sup>

Wesentlicher Teil der Nutzwertanalyse ist gleich wie bei AHP die breitgefächerten Ziele in Form eines hierarchisch aufgebauten Zielsystems zu strukturieren, denen anschließend Zielgewichte zugeordnet werden können.<sup>551</sup> Zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren (Gf) im ersten Schritt empfiehlt sich auch im Falle der Nutzwertanalyse ein paarweiser Vergleich. Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass nur Alternativen betrachtet werden, die die vorgegebenen Muss-Ziele erfüllen. Der Grad der Zielerfüllung wird mit dem sogenannten Zielerfüllungsfaktor (Zf) bewertet. In der Regel wird der Zielerfüllungsfaktor von 1-10 bewertet, wobei 10 als Höchstwert angenommen wird.<sup>552</sup>

Anschließend werden die Gewichtungsfaktoren mit den Zielerfüllungsfaktoren multipliziert um die Teilnutzwerte (TN) der einzelnen Kriterien zu bilden.<sup>553</sup>

$$TN = Gf * Zf \quad (4.5.2.3)$$

Der Gesamtnutzen ergibt sich aus der Summe aller Teilnutzen.<sup>554</sup>

- **Datenqualitäts- und -verfügbarkeitsanalyse**

Im Zuge der Datenqualitäts- und -verfügbarkeitsanalyse wird ein Reifegradmodell herangezogen, das dem Entscheider die Einschätzung der Datenqualität erleichtern soll. Anhand der darin enthaltenen Attribute kann er für jedes der ausgewählten Kriterien die Datenqualität und -verfügbarkeit analysieren, was den Prozess der Entscheidungsfindung auch in diesem Schritt objektiviert (siehe Abschnitt 5.4.2)

- **Auswahl des Instrumentensets zur Kritikalitätsbewertung**

Die Auswahl der geeigneten Methodik für die Kritikalitätsbewertung ist von der vorhergegangenen Systemanalyse sowie der Datenverfügbarkeit der ausgewählten

---

<sup>549</sup> Vgl. Görener, A. (2012), S.196.

<sup>550</sup> Vgl. Bundesverwaltungsamt,

[https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/65\\_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652\\_Qualitative/qualitative-node.html](https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/65_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652_Qualitative/qualitative-node.html) (Zugriff: 06.08.2021)

<sup>551</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 149 f.

<sup>552</sup> Vgl. Bundesverwaltungsamt,

[https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/65\\_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652\\_Qualitative/qualitative-node.html](https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/65_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652_Qualitative/qualitative-node.html) (Zugriff: 06.08.2021)

<sup>553</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 150 ff.; Bundesverwaltungsamt, [https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/65\\_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652\\_Qualitative/qualitative-node.html](https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/65_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652_Qualitative/qualitative-node.html) (Zugriff: 06.08.2021)

<sup>554</sup> Vgl. Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002), S. 150.

Kriterien abhängig. Auf Basis des festgestellten Datenreifegrades und des Komplexitätsgrades der Betrachtungseinheit werden mögliche Methoden zur Durchführung der Kritikalitätsbewertung vorgegeben (siehe Abschnitt 5.5.2). Falls mehrere Methoden zur Auswahl stehen, ist unternehmensspezifisch im interdisziplinären Team die geeignete Methode auszuwählen. Hierfür haben sich das Brainstorming oder die Erstellung einer Pro-und Contra Liste bewährt.

### Entscheidungssituationen im Zuge der Kritikalitätsbewertung

- **Kriterienbewertung**

Die Kriterienbewertung ist einer der wesentlichen Schritte im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, da in diesem die kritischen Anlagen identifiziert werden, für die nachfolgend Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden (siehe Abschnitt 5.6). Je nach ausgewählter Methode und Grad an Automatisierung der Bewertung, ist der Einfluss der Entscheider auf das Bewertungsergebnis ein anderer. Bei einer erfahrungsbasierten Bewertung ist die Entscheidung vom Erfahrungswissen der Entscheider abhängig, da keine Daten für die Bewertung zur Verfügung stehen. In solchen Fällen ist es wichtig in einem interdisziplinären Team mit Domänen Know-how die Bewertung durchzuführen. Das Beiziehen eines Moderators ist hierbei wesentlich um einen reibungslosen Bewertungsablauf zu gewährleisten. Bei einer Bewertungsmethodik, die überwiegend quantitative Kriterien für die Bewertung heranzieht, ist der Einfluss des Entscheiders ein kleinerer, da die Bewertung datenbasiert erfolgt. In beiden Fällen ist das Bewertungsergebnis von der gut durchdachten und einheitlichen Kriteriendefinition sowie der Definition der Ausprägungsstufen in interdisziplinären Teams abhängig, um eine Vergleichbarkeit der Bewertung zu schaffen und den Bewertungsaufwand, wenn diese erfahrungsbasiert erfolgt, einzugrenzen.

- **Bedeutung von Präferenzen**

Genauso wie im Zuge der Kriteriendefinition, ist bei der Bestimmung von Präferenzen auch ein Abgleich mit dem Zielsystem durchzuführen. Zur Darstellung von Präferenzen können Präferenzfunktionen verwendet werden, die den direkten Vergleich von den Ausprägungen zweier Alternativen darstellen. Diese Präferenzfunktionen sind ein Abbild dessen, ob die Einstellung gegenüber den Konsequenzen einer Handlungsalternative für den Entscheidungsträger positiv oder negativ ist<sup>555</sup>. Gemäß ZIMMERMANN und GUTSCHE ist die Präferenz der Zusammenhang zwischen Ergebnis und Nutzen, wodurch festgelegt wird, wann ein bestimmtes Ereignis besser als ein anderes ist.<sup>556</sup> Wesentlich ist das im Zuge der Kritikalitätsbewertung für den Schritt der Risiko- und Kostenanalyse. Sie helfen bei der Entscheidung für welche Anlagen risiko- und kostensenkende Maßnahmen abgeleitet werden oder welche Anlage priorisiert wird, wenn beispielsweise zwei Anlagen die gleiche Kritikalität haben. Andererseits können Präferenzfunktionen für den Schritt der Maßnahmenpriorisierung verwendet werden.

---

<sup>555</sup> Vgl. Geldermann, J.; Lerche, N. (2014), S. 7 f.

<sup>556</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991); zitiert nach: Habinger, Y. (2018), S. 15.

Entscheidungssituationen im Zuge der Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung

• **Maßnahmenpriorisierung und Instandhaltungsstrategieoptimierung**

Im Zuge dieses Prozessschrittes ist der Entscheider für die Priorisierung der abgeleiteten Maßnahmen zuständig. Hierfür eignet sich eine Aufwand-/Nutzen-Abschätzung. Wichtig ist in diesem Schritt die Involvierung von Personen mit Domänenwissen.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass es sich bei der dynamischen Kritikalitätsbeurteilung um einen Prozess handelt, in dem viele komplexe Entscheidungen zu treffen sind. Durch die Anwendung von multikriteriellen Entscheidungsmodellen können diese Entscheidungen strukturiert und dadurch weitestgehend objektiviert werden. Ein weiterer Aspekt, dem im Zuge dieser Bewertung immer mehr Wertigkeit zukommt, ist die Datenqualität und -verfügbarkeit der Anlagendaten. Diese wird folgend erläutert.

**4.5.3 Bedeutung der Datenqualität und -verfügbarkeit für die dynamische Kritikalitätsbeurteilung**

Die Datenqualität und -verfügbarkeit sind die zwei wesentlichen Parameter, für eine dynamische und im besten Fall automatisierte Kritikalitätsbewertung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung und wesentlich für die Integration von Faktenwissen in den Bewertungsprozess.

**Datenverfügbarkeit**

Die Datenverfügbarkeit ist entscheidend zur Automatisierung des Bewertungsprozesses. Sie bestimmt, welche Kriterien qualitativ und welche quantitativ bewertet werden. Für die Kritikalitätsbeurteilung bedeutet das, dass die Anlagendaten über alle ausgewählten Anlagen auf der definierten Bewertungsebene für das jeweilige Kriterium verfügbar sein müssen. Ist dies nicht der Fall, ist das jeweilige Kriterium qualitativ zu bewerten. Zusätzlich zur Datenverfügbarkeit ist die Datenqualität wesentlich. Erst das Zusammenspiel dieser beiden Parameter ermöglicht bei positiver Ausprägung der Charakteristika eine quantitative bzw. in weiterer Folge gegebenenfalls eine automatisierte Bewertung.

**Datenqualität**

Datenqualität ist gemäß WÜRTHELE das mehrdimensionale Maß für die Eignung von Daten, die den an ihrer Erfassung/Generierung gebundenen Zweck erfüllen. Diese Eignung kann sich über die Zeit ändern, wenn sich die Bedürfnisse ändern.<sup>557</sup>

Um Datenqualität messbar zu machen, müssen objektive Merkmale bestimmt werden, die den Daten zugeordnet werden.<sup>558</sup>

---

<sup>557</sup> Vgl. Würthele, V. G. (2003), S. 21.

<sup>558</sup> Vgl. Apel, D. et al. (2015), S. 7.



Für die Bestimmung der Kritikalität bedeutet das, dass die Verfügbarkeit alleine nicht ausreichend ist. Erst wenn Merkmale wie Aktualität, Eindeutigkeit, Fehlerfreiheit<sup>559</sup>, um ein paar Beispiele zu nennen, erfüllt sind, können die Daten für die Bewertung herangezogen werden (siehe Abschnitt 5.5.2).

Da sowohl die Datenqualität als auch die -verfügbarkeit für eine datengestützte Bewertung wichtig sind, werden sie im Zuge der Datenqualitäts- und -verfügbarkeitsanalyse, die eine der vier Schritte der Vorbereitungsphase darstellt, im Detail analysiert (siehe Abschnitt 5.5.2).

Im nächsten Kapitel das Vorgehensmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung im Detail erläutert.

## 4.6 Zusammenfassung und Relevanz für die Arbeit

Die Kritikalitätsbeurteilung ist eine Methode zur Identifikation kritischer Anlagen sowie dazugehöriger Anlagenrisiken, die als Basis für eine dynamische Instandhaltungsstrategieoptimierung dient. Das Hauptproblem, der in der Literatur vorherrschenden Methoden ist eine unstrukturierte, erfahrungsbasierte, statische Bewertung. Das Problem der subjektiven Einzel-Bewertung ist, dass das Bewertungsergebnis schwer über die Zeit vergleichbar ist. Eine statische Bewertung hat den Nachteil, dass auf die Dynamik der Märkte und die daraus resultierende Anpassung des Produktionsprogrammes nicht flexibel reagiert werden kann, was dementsprechend Auswirkung auf die Zuverlässigkeit der Anlagen durch eine nicht an die jeweiligen Umfeldbedingungen angepasste Instandhaltungsstrategie zur Folge hat.

Weiters wird in der Kriterienauswahl der Kontext zur Unternehmenspolitik und den Marktanforderungen ungenügend berücksichtigt, wie die Ergebnisse der Literaturanalyse ergaben. Das bewirkt, dass nicht rechtzeitig auf Änderungen am Absatzmarkt sowie der Umwelt reagiert werden kann. Meist ist die Instandhaltung alleine für die Bewertung zuständig, was die ganzheitliche Sicht auf die Anlage eindämmt.

Ganz wesentlich im Sinne des Asset Managements ist die systematische Ableitung von Konsequenzen von Fehlern, Ausfällen, um einige zu nennen, für den Produktionsbetrieb auf Basis einer standardisierten Bewertungsmethodik. Hierbei ist es wichtig durch die unternehmensspezifische Kriterienauswahl den Einfluss der gewählten Kriterien messbar zu machen, Veränderungen über die Zeit darzustellen und dementsprechende Maßnahmen zur Zuverlässigkeitssteigerung daraus abzuleiten. Durch Ableitung der Bewertungskriterien aus den Anlagenzielen, die wiederum aus den Unternehmenszielen entspringen sind, wird das umgesetzt.

Um die sich ständig ändernden Umfeldbedingungen, wie Marktveränderung inklusive der Betrachtung der Umwelt, die Änderung der Produktportfolios oder des Produktionsprogramms mitzubetrachten, ist die Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung entscheidend. Dadurch können laufend die aktuell kritischsten Anlagen identifiziert und zeitnah anlagenverbessernde Maßnahmen zur dynamischen

---

<sup>559</sup> Vgl. Apel, D. et al. (2015), S. 8.

Instandhaltungsstrategieanpassung eingeleitet werden, um langfristig die Effizienz und Effektivität zu steigern.

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zur Kritikalitätsbeurteilung betrachtet. Angefangen von den Begriffsdefinitionen und der Abgrenzung von Kritikalität und Risiko und deren Wechselwirkungen, wird auf die aktuell in der Literatur vorherrschenden Methoden zur Kritikalitätsbeurteilung eingegangen. Diese werden im Zuge einer systematischen Literaturanalyse erhoben und bilden die Grundlage zur Ableitung der Forschungslücke und als Input zur Modellentwicklung. Folgend wird auf die dynamische Kritikalitätsbeurteilung und dessen Vorteile sowie die im Prozess enthaltenen multikriteriellen Entscheidungssituationen eingegangen. Abschließend wird auf die Wichtigkeit der Datenqualität und -verfügbarkeit für die Kritikalitätsbeurteilung erläutert.

## **5 Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung**

In diesem Kapitel wird das entwickelte Modell im Detail vorgestellt. Dieses Modell ist angelehnt an die in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Aspekte und Definitionen. Das Modell dient als multikriterielle Entscheidungsunterstützung im Instandhaltungsstrategieoptimierungsprozess und soll Unternehmen je nach Datenreife und Komplexität der Anlagen/Prozesse und abgeleitet aus den Erfolgsfaktoren des Unternehmens und der strategischen Ausrichtung, ein Kriterien- und Instrumentenset für eine aufwandsminimierende, dynamische Kritikalitätsbeurteilung zur Verfügung stellen. Die dynamische Kritikalitätsbeurteilung ist die Basis für eine dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung, die durch gezielte Risiko- und Kostenminimierungsmaßnahmen bei den als kritisch identifizierten Anlagen zur langfristigen Effizienz- und Effektivitätssteigerung der Anlagen beiträgt<sup>560</sup>. Je komplexer das Unternehmen ist, desto automatisierter sollte der Schritt der Bewertung im Kritikalitätsbeurteilungsprozess sein und darauf basierend die Anpassung der Instandhaltungsstrategie erfolgen. Hierbei spielt die Datenreife eine entscheidende Rolle, die immer mit dem zu verwendeten Instrumentenset abgeglichen werden muss.

### **5.1 Anforderungen an das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur Kritikalitätsbeurteilung**

Die tiefgreifende Analyse des Standes der Wissenschaft bekräftigte den Forschungsbedarf auf diesem Gebiet und lokalisierte Schwachstellen in bestehenden Ansätzen. Teillösungen, meist qualitativer Natur sind bereits existent, welche die Effizienz- und Effektivitätssteigerung von industriellen Produktionssystemen begünstigen; jedoch wird das Potenzial einer quantitativen, auf Basis der Komplexität des betrachteten Unternehmens und deren Zielgrößen basierenden Bewertung nicht genutzt. Umso wichtiger ist es, wie zahlreiche Autoren belegen, klar definierte Leistungsindikatoren zu haben und deren Erreichung zu prüfen, sowie durch eine standardisierte Vorgehensweise die Entscheidungsprozesse zu erleichtern und Verbesserungspotenziale zu identifizieren<sup>561</sup>. Weiters ist die dynamische Anpassung der Instandhaltungsstrategie gemäß KUMAR ET AL. und BIEDERMANN essenziell um, die Wertschöpfung dauerhaft zu steigern und quantitativ zu evaluieren<sup>562</sup>. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden folgende Anforderungen an das Vorgehensmodell definiert.

---

<sup>560</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 83., Passath, T. et al. (2021b), S. 226 ff.

<sup>561</sup> Vgl. Muchiri, P. N. et al. (2010), S. 5905.; Kumar, U. et al. (2013), S. 235 ff.; Parida, A. et al. (2015), S. 2 ff.

<sup>562</sup> Vgl. Kumar, U. et al. (2013), S. 268f.; Biedermann, H. (2015), S. 23.

Anforderung 1:

**Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell bildet die Grundlage zur systematischen Unterstützung der Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung im Asset Management.**

Das siebenstufige Vorgehen zur Kritikalitätsbeurteilung, angelehnt an den Risikobeurteilungsprozess gemäß ISO 31000, genügt den Ansprüchen der Allgemeingültigkeit. Durch die integrierte Datenanalyse und Komplexitätseinstufung finden dennoch unternehmensspezifische Ansprüche und Vorgaben Berücksichtigung.

Anforderung 2:

**Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell ermöglicht eine gezielte Ableitung kritikalitätsrelevanter Einflussfaktoren für eine reibungslose Durchführung.**

Mit Hilfe der Morphologie im Zuge Kritikalitätsidentifikation werden die Erfolgsfaktoren der Betrachtungseinheit identifiziert und daraus das jeweils geeignete Kriterienset zur Kriterienbewertung abgeleitet. Durch die parallel verlaufende Analyse der Datenqualität und -verfügbarkeit je Kriterium wird ein geeignetes Instrumentenset zur Kritikalitätsbewertung ausgewählt. Die Datenanalyse liefert Informationen über die Bewertungsart – ob qualitativ, semi-quantitativ oder quantitativ –, die den Bewertungsaufwand sowie das maximal verwendbare Instrumentenset widerspiegeln.

Anforderung 3:

**Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell ist generisch branchen-, datenqualitäts- und -verfügbarkeitsunabhängig anwendbar.**

Durch das generische, literaturbasierte Komplexitätseinstufungs- und Datenreifegradmodell ist eine branchen-, datenqualitäts- und -verfügbarkeitsunabhängige Anwendung möglich. Das Ergebnis dieser Analysen bildet die Basis der unternehmensspezifischen Instrumentenauswahl zur Durchführung der Kritikalitätsbewertung als wesentlichen Schritt der Kritikalitätsbeurteilung.

Anforderung 4:

**Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell gibt das geeignete Kriterienset basierend auf der Komplexität der betrachteten Einheit vor.**

Die Morphologie spiegelt die wesentlichen Erfolgsfaktoren der betrachteten Einheit wider. Durch die Gegenüberstellung des literatur- und projekterfahrungsbasierenden Kriterienkataloges zu den Charakteristika der Morphologie werden die wesentlichen Kriterien, die Einfluss auf die Erfolgsfaktoren haben, identifiziert. Neben direkten instandhaltungsbezogenen Kriterien, können je nach Wichtigkeit der jeweiligen Erfolgsfaktoren auch mitarbeiterbezogene, marktseitige oder qualitätsrelevante Kriterien, nur um einige zu nennen, die indirekten Einfluss auf das Asset haben, ausgewählt werden.

Anforderung 5:

**Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell gibt das geeignete Instrumentenset basierend auf der vorherrschenden Datenqualität und -verfügbarkeit sowie Komplexitätseinstufung vor.**

Die systematische Festlegung des Datenqualitäts- und -verfügbarkeitsreifegrades sowie die Unternehmenscharakterisierung im Zuge der Morphologie und der darauf

basierenden Komplexitätseinstufung wählt unternehmensspezifisch das am geeignetste Instrumentenset zur Kritikalitätsbewertung aus. Der Datenreifegrad bildet den Ist-Stand des Instrumentenauswahlmodells ab, wohingegen die Komplexitätseinstufung den Soll-Reifegrad wiedergibt. Je nach Datenqualität und -verfügbarkeit werden unterschiedliche Methoden – qualitativ, semiquantitativ und quantitativ – vorgegeben. Je besser die Datenqualität ist, desto eher ist eine quantitative bzw. automatische Bewertung möglich. Durch diese standardisierte Vorgehensmethodik ist die Nachvollziehbarkeit sowie die dahinterliegende Transparenz über den gesamten Prozess durchgängig gegeben.

Anforderung 6:

***Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell unterstützt bei der dynamischen Anpassung der Instandhaltungsstrategie durch gezielte Ausfallkosten- und Risikoreduktion sowie bei der Steigerung der Datenreife.***

Die Detailanalysen, der als kritisch identifizierten Anlagen dienen der Optimierung der anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategie. Durch eine systematische Ursachenanalyse der größten Kosten- sowie Risikoverursacher werden die langfristigen Instandhaltungskosten sowie Anlagenrisiken minimiert und in weiterer Folge die Ausfallkosten durch Ableitung kurz-, mittel- und langfristiger Optimierungsmaßnahmen reduziert.

Die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Datenreife erfolgt basierend auf dem festgestellten Ist-Reifegrad der Daten. Ziel ist es durch die Ableitung von Verbesserungspotenzialen, beginnend bei den als kritisch identifizierten Anlagen den Ist-Stand der Komplexitätseinstufung zu erreichen und sich dementsprechend bei diesen Anlagen in Richtung einer quantitativen Kritikalitätsbewertung zu entwickeln. Voraussetzung hierfür ist eine einheitliche, gute auf der Ebene der Bewertung vorhandene Datenqualität und -verfügbarkeit. Die Anwender des Vorgehensmodells können direkt aus dem Reifegrad der Datenqualität und -verfügbarkeitsanalyse Handlungsempfehlungen ableiten.

## **5.2 Verankerung des Modells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung im Asset Management**

Die dynamische Kritikalitätsbeurteilung hat das Ziel dauerhaft die Effizienz- und Effektivität der Anlagen zu steigern. Zur Zielerreichung ist es notwendig den Fokus auf eine systematische Ableitung von Konsequenzen die Fehler, Ausfälle von Anlagen, die Ressourcenallokation und das anlagenspezifische Know-how für den Produktionsbetrieb haben, durch Anwendung eines geeigneten Kriteriensets zur Erfassung dieser, zu legen. Weiters sollte auf die Lebenszyklusbetrachtung, im speziellen auf die Nutzungsphase, wie es im strategischen Asset Management gefordert wird, der Schwerpunkt gelegt werden.

Durch die Anwendung des auf den Produktionsbetrieb abgestimmten Instrumentensets zur Bewertung des bestehenden Anlagenparks wird die Basis für die Instandhaltungsstrategieanpassung gelegt, die sich an der Outputsteigerung orientiert. Hierzu ist es notwendig alle Einflussfaktoren, externe und interne Faktoren, die auf das

Subsystem „Anlage“ wirken, zu identifizieren und im Zuge der Beurteilung mitzubetrachten. (Abbildung 37).

Nachfolgend werden die Charakteristika der einzelnen Systeme im Detail beleuchtet.

### 5.2.1 System Umwelt

Das System Umwelt ist durch den Markt und den Wettbewerb geprägt<sup>563</sup> und umfasst sowohl soziale als auch ökologische Kräfte.<sup>564</sup> Dieser marktorientierte Ansatz („market-based-view“) des strategischen Managements bezieht die Wettbewerbsvorteile auf die Branchenstruktur und das darin entstandene strategische Verhalten. Somit sind deren strukturelle Merkmale entscheidend für die Strategie des Unternehmens und des unternehmerischen Erfolges (Abbildung 37).<sup>565</sup>

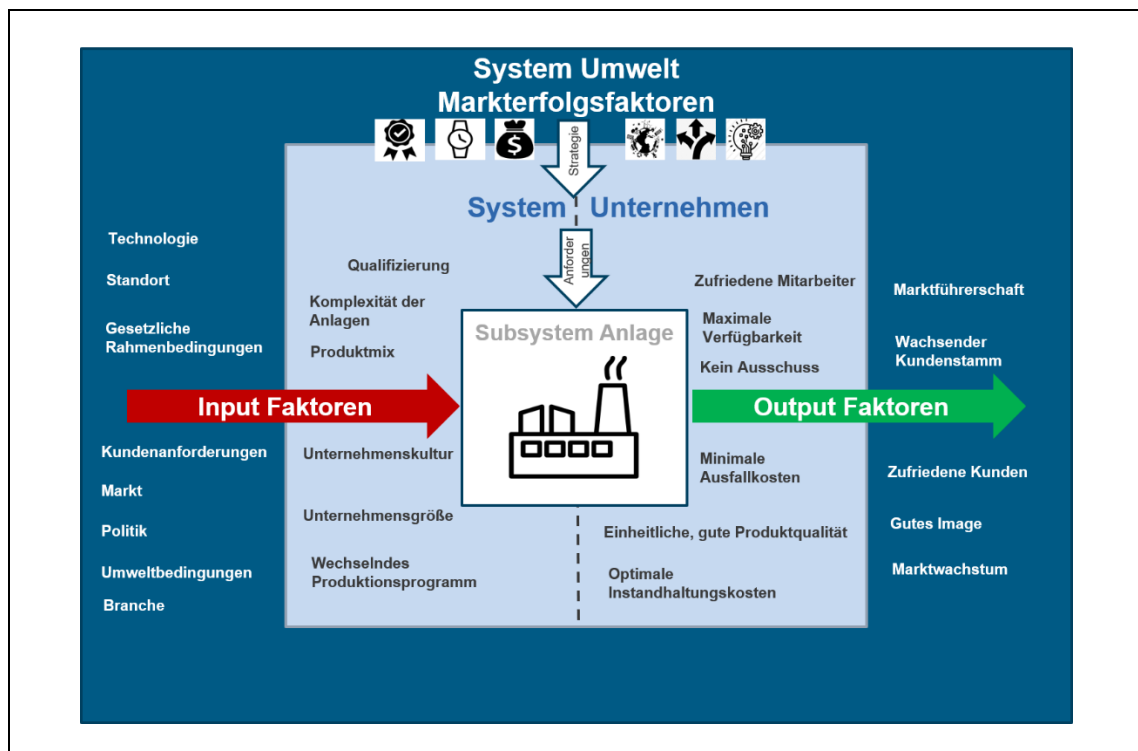


Abbildung 37: Input- und Output-Faktoren des Subsystems „Anlage“<sup>566</sup>

Folgende Aspekte sind dabei wesentlich:

- Wettbewerb (Wettbewerbsvorteile, Hyperwettbewerb)
- Märkte und Branchen (Strukturen, Attraktivität, Dynamik)
- Marktakteure und deren Verhalten (Kunden, Lieferanten, Konkurrenten)
- Strategien (Positionierung, Technologien,...)
- Politik, Gesetzgebung und Umwelt

Der wichtigste Einflussfaktor ist die Branche selbst, da diese die Spielregeln des Wettbewerbs enorm beeinflusst und auf die Strategien des Unternehmens Einfluss hat.

<sup>563</sup> Vgl. Ungericht, B. (2012), S. 152.

<sup>564</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 35.

<sup>565</sup> Vgl. Ungericht, B. (2012), S. 152.

<sup>566</sup> Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Matyas, K. (2010), S. 27.; DIN EN 15341 (2019), S. 7.

Alle Kräfte außerhalb der Branche haben eine untergeordnete Einwirkung auf das Unternehmen und dessen Strategie, da diese Kräfte die Allgemeinheit betreffen und einen unterschiedlich hohen Einfluss auf die jeweilige Branche haben. Der Wettbewerb einer Branche wird durch fünf Faktoren – die sogenannten Wettbewerbskräfte – beeinflusst (Abbildung 38).<sup>567</sup>



**Abbildung 38: Die fünf Wettbewerbskräfte nach PORTER<sup>568</sup>**

Somit zielt die Wettbewerbsstrategie darauf ab eine Position am Markt zu finden, in der sich das Unternehmen am besten gegen die Wettbewerbskräfte schützen bzw. sie zu seinen Gunsten beeinflussen kann.<sup>569</sup> Hierzu gibt es generell drei Strategiegruppen, die getrennt oder in Kombination eingesetzt werden können.

### **Umfassende Kostenführerschaft**

Diese Strategie ist durch niedrige Kosten im Vergleich zur Konkurrenz gekennzeichnet. Die Kostenführerschaft wird durch den aggressiven Aufbau von Produktionsanlagen effizienter Größe, energisches Ausnutzen erfahrungsbedingter Kostensenkungen, strenger Kontrollen von variablen Kosten und Gemeinkosten, Vermeidung von marginalen Kunden- und Kostenminimierung in Bereichen wie Forschung und Entwicklung, Service, Vertreterstab<sup>570</sup> und Werbung erreicht. Der Kostenvorsprung schützt Unternehmen einerseits gegen mächtige Abnehmer, da eine Preisdrückung nur begrenzt möglich ist und andererseits gegen starke Lieferanten, da sie mehr Flexibilität im Umgang mit Kosteneinsparungen der Inputparameter ermöglichen. Voraussetzung, um diesen Kostenvorsprung zu erlangen, ist ein günstiger Zugang zu Rohstoffen und ein hoher Marktanteil. Meist ist der Herstellungsprozess von Kostenführern einfach gestaltet und das Produktportfolio nicht stark schwankend.<sup>571</sup>

<sup>567</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 35.

<sup>568</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Porter, M. E. (2008), S. 36.

<sup>569</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 36.

<sup>570</sup> Porter, M. E. (2008), S. 72.

<sup>571</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 72 ff.

### **Differenzierung**

Der Strategietyp „Differenzierung“ ist durch die Einzigartigkeit der Produkte oder Dienstleistungen gekennzeichnet. Dieses Differenzierungsmerkmal kann vom Markennamen, dem Design, dem Farbkonzept, über die eingesetzte Technologie bis zum Händlernetz, um einige Beispiele zu nennen, reichen. Im besten Fall liegt diese Differenzierung auf unterschiedlichen Ebenen vor. Wichtig ist hier anzumerken, dass bei dieser Art der Strategie die Kostenbetrachtung dennoch nicht außer Acht gelassen werden darf, sie liegt jedoch nicht im Fokus der strategischen Ausrichtung des Unternehmens. Sie zielt auf überdurchschnittliche Erträge ab und hat Einfluss auf die fünf Wettbewerbskräfte. Ziel ist es den Kunden auf Grund des jeweiligen Differenzierungsmerkmals zu binden, wodurch der Preis der Produkte weitestgehend für den Kunden in den Hintergrund tritt. Durch Erhöhung der Ertragsspannen wird der Kostenvorsprung bei dieser Art der Strategie überflüssig und sie erleichtert den Umgang mit Zulieferern und Abnehmern.<sup>572</sup> Voraussetzungen für diese Strategie sind das exklusive Image des Unternehmens bzw. die Einzigartigkeit der Produkte.<sup>573</sup>

### **Konzentration auf Schwerpunkte**

Die letzte der drei Strategien fokussiert sich auf Marktnischen, bestimmte Abnehmergruppen, einen geografisch begrenzten Markt sowie einen Teil eines Produktionsprogramms. Sie zielt nicht wie die anderen beiden Strategien auf eine branchenweite Umsetzung ab, sondern verfolgt ein bestimmtes Ziel, sei es niedrige Kosten oder eine Differenzierung oder beides zusammen, jedoch immer auf ein Zielobjekt bezogen. Dadurch können mit Anwendung dieser Strategieform hohe Erträge erzielt werden.<sup>574</sup> Voraussetzung hierfür sind die Fähigkeiten von den oben genannten Strategien sowie die organisatorischen Anforderungen zielgerichtet einzusetzen und die beste Kombination der Maßnahmen fallspezifisch auszuwählen.<sup>575</sup>

Zusammenfassend wird festgehalten, dass es bei allen drei Strategieformen notwendig ist präventive Risikobekämpfung zu betreiben und sich laufend mit den Markterfordernissen auseinanderzusetzen und die Prozesse dementsprechend zu optimieren. Langfristiges Ziel sollte eine Marktsteigerung und damit verbundene Steigerung des ROI und des Cash-Flows sein. Um dies zu erreichen sind alle das Unternehmen und die Ressource „Anlage“ beeinflussende Faktoren, angefangen von internen Faktoren wie die Produktivität, die strategische Ausrichtung, die Produktqualität, Innovation und Differenzierung, vorhandene Technologien<sup>576</sup> aber auch externe wie der Marktanteil, das Marktwachstum, gesetzliche Rahmenbedingungen und die geografische Ausrichtung zu betrachten<sup>577</sup>. Aus diesen Wettbewerbskräften werden unternehmensspezifisch die wichtigsten Markterfolgskriterien abgeleitet, die sich in der Strategie des Unternehmens widerspiegeln sollten und im Zuge der Instandhaltungsoptimierung mitbetrachtet werden.

---

<sup>572</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 74 f.

<sup>573</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 75 ff.

<sup>574</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 75 ff.

<sup>575</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 78,

<sup>576</sup> Vgl. DIN EN 15341 (2019), S. 10 f.

<sup>577</sup> Vgl. Fritz, W. (1993), S. 18 f.; Krechting, M. J. (2000), S. 77 f.



## 5.2.2 System Unternehmen

Jedes im Wettbewerb stehende Unternehmen hat eine Wettbewerbsstrategie, unbewusst oder bewusst<sup>578</sup>, die sich aus den Markterfolgskriterien ableitet und zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens dient. Das System Unternehmen ist geprägt von strategischen Erfolgsfaktoren, die sich aus der Marktstrategie und der Ausrichtung ableiten lassen. Diese Faktoren (siehe Abschnitt 3.4.1) geben die Ziele des Unternehmens und der Prozesse wieder. Diese sind als Anforderungen für das Subsystem „Anlage“ zu sehen.

## 5.2.3 Subsystem Anlage

Auf das Subsystem „Anlage“ wirken sowohl interne als auch externe Einflussfaktoren. Um wettbewerbsfähig zu bleiben und den Wertschöpfungsbeitrag zu erhöhen, sollte die Instandhaltungsstrategie laufend überdacht und dementsprechend dynamisch angepasst werden. Hierzu ist es notwendig die kritischen Anlagen zu kennen, um Maßnahmen zur Anlagenverbesserung abzuleiten. Hier sind Faktoren wie das Alter der Anlage, die Konstruktion des Anlagenparks, der Verkettungsgrad und die Auslastung entscheidend und müssen im Optimierungsprozess mitbetrachtet werden. Weiters ist die Instandhaltung ein entscheidender Teil des Subsystems „Anlage“.

Die oben erwähnte ganzheitliche Betrachtung des Unternehmens mit samt der darauf einwirkenden Umweltfaktoren und der Ressource Anlage unter Einbeziehung aller drei Managementebenen gemäß ULRICH<sup>579</sup> (siehe Abschnitt 2.5.1) ist für die Anlagenoptimierung hinsichtlich der Unternehmenszielerreichung sowie des Wertschöpfungsbeitrags essenziell, um sich dauerhaft am Markt zu behaupten<sup>580, 581</sup>. Dabei ist der Prozess der Kritikalitätsbeurteilung wesentlich, da er sich über alle drei Managementebenen erstreckt und die Anlagenoptimierung nicht nur aus dem Winkel der Instandhaltung betrachtet, sondern auch die Unternehmensausrichtung, dessen Ziele sowie den Markt mitbeleuchtet (Abbildung 39).<sup>582</sup>

Bei Betrachtung des Regelkreises der Instandhaltung nach BIEDERMANN<sup>583</sup> wird ersichtlich, dass die Kritikalitätsbeurteilung einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Unternehmens- bzw. Instandhaltungsziele leistet, sowie für die langfristige Effizienz- und Effektivitätssteigerung unerlässlich ist. Die Vorbereitungsschritte der Kritikalitätsbeurteilung, die Kritikalitätsidentifikation und -analyse sind hauptsächlich in der normativen bzw. normativ-strategischen Ebene einzuordnen. Auf diesen Ebenen ist der Handlungsrahmen für das Asset Management definiert, der im Einklang mit der

---

<sup>578</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 23.

<sup>579</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984), S. 329.

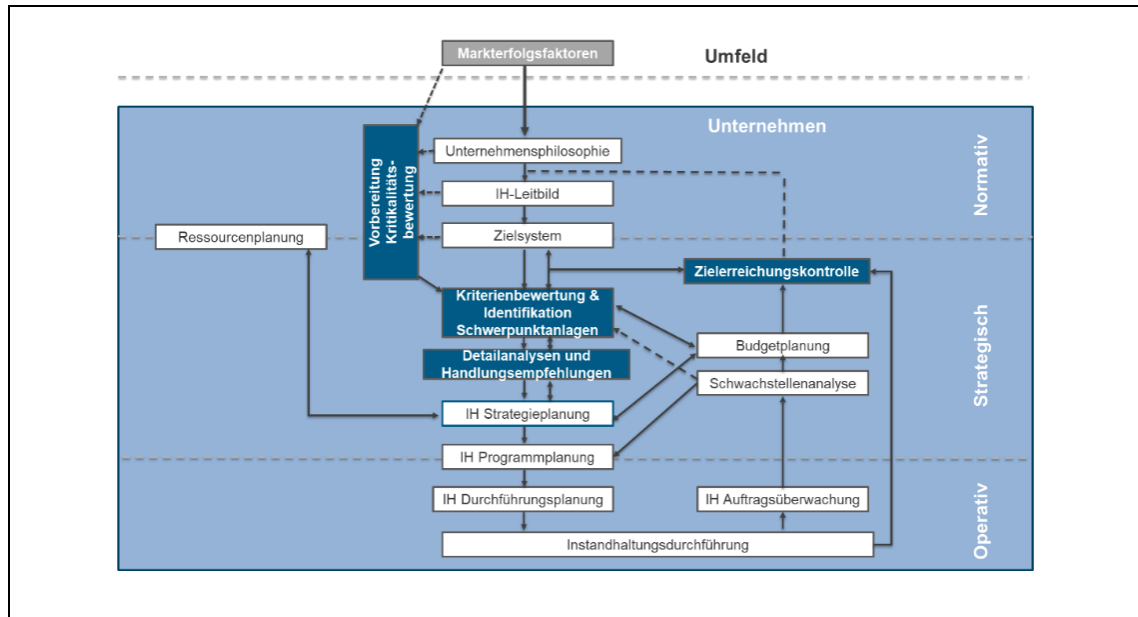
<sup>580</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 94.

<sup>581</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 42f.; Passath, T.; Huber, C. (2019), S. 8.; Biedermann, H. (2018), S. 23 ff.; Passath, T. et al. (2020a), S. 205.

<sup>582</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 30 ff.; Biedermann, H. (2018), S. 30 ff.; zitiert nach: Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 370.

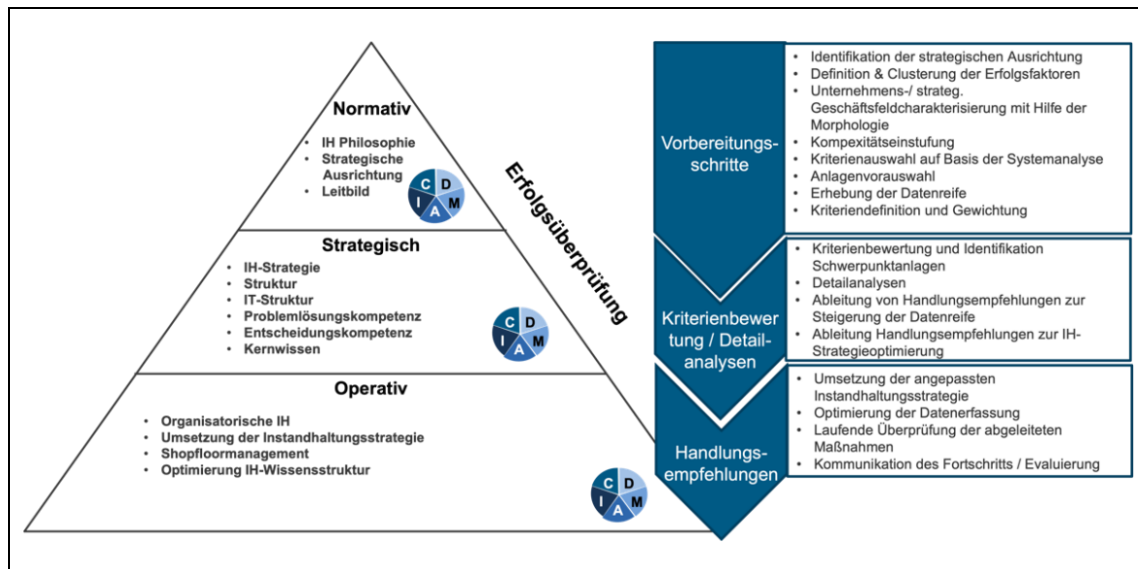
<sup>583</sup> Vgl. Biedermann, H. (1987b), S. 177.; Biedermann, H. (1992), S. 772.

Organisation steht<sup>584</sup> und Regeln und im Falle der Kritikalitätsbeurteilung ein standardisiertes Vorgehen zur Risikoreduktion vorgibt.



**Abbildung 39: Einfluss der Kritikalitätsbeurteilung auf das Instandhaltungsmanagementsystem<sup>585</sup>**

Die Kriterienbewertung, das Kernelement der Kritikalitätsbeurteilung, sowie die Detailanalysen als auch Strategieüberlegungen sind auf strategischer Ebene einzuordnen, jedoch ist die Umsetzung ein strategisch-operativer Prozess. Die Umsetzung abgeleiteter Maßnahmen sowie der Strategieoptimierung obliegt der operativen Ebene (Abbildung 40).



**Abbildung 40: Einbettung der Kritikalitätsbeurteilung in die drei Managementebenen<sup>586</sup>**

<sup>584</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 42.

<sup>585</sup> Quelle eigene Darstellung in Anlehnung an: Biedermann, H. (1987a), S. 410.; Biedermann, H. (1992), S. 772; Biedermann, H. (2003), S. 487ff.; Biedermann, H. (2008a), S. 99.; Kinz, A. (2017), S. 124.

<sup>586</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 92., leicht modifiziert

Die Erfolgskontrolle als letzter Schritt der Kritikalitätsbeurteilung wirkt sich auf alle drei Ebenen aus, im speziellen auf strategischer Ebene bzw. normativ-strategischer. Dies spiegelt sich in einer Zielerreichung, die durch eine erneute Bewertung sichtbar gemacht werden kann, wider. Bei Nichterreichung der gesetzten Ziele ist ein Nachjustieren der Maßnahmen auf strategischer und operativer Ebene erforderlich.

### 5.3 Aufbau des Modells

Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur Kritikalitätsbeurteilung setzt sich aus folgenden Bestandteilen, die in die drei Schritte: Kritikalitätsidentifikation, -analyse, -bewertung aufgeteilt sind sowie einer nachfolgenden Maßnahmenableitung, Instandhaltungsstrategieoptimierung und Erfolgsüberprüfung zusammen:

Übergeordnet steht das Vorgehensmodell zur Kritikalitätsbeurteilung, in dem das gesamte Prozessvorgehen beschrieben ist.

- Kritikalitätsidentifikation:
  - Einstufungsmodell zur Identifikation der Komplexität des betrachteten Unternehmens bzw. strategischen Geschäftsfeldes (siehe 5.4.1, 5.5.1)
  - Kriterienauswahlmodell zur Bewertung (siehe 5.4.1, 5.5.1, 5.5.2)
- Kritikalitätsanalyse:
  - Einstufungsmodell der Kritikalitätsbewertung (siehe 5.5.2)
  - Reifegradmodell zur Identifikation des Datenreifegrades für die Kritikalitätsbewertung (siehe 5.5.2)
  - Methodenset zur dynamischen Kritikalitätsbewertung je nach Komplexitätsgrad und Datenreife (siehe 5.5.2)
- Kritikalitätsbewertung:
  - Vorgehensmodell zur Kriterienbewertung, Risiko- und Kostenanalyse (siehe 5.6)
- Maßnahmenableitung, Instandhaltungsstrategieoptimierung und Erfolgsüberprüfung:
  - Vorgehensmodell zur Maßnahmenableitung, IH-Strategieanpassung und Erfolgsüberprüfung (siehe 5.7, 5.8)

Das Reifegradmodell zur Feststellung der Datenreife bzw. Verfügbarkeit bildet gemeinsam mit dem Einstufungsmodell für die Komplexität die Basis für das Methodenset der Kritikalitätsbewertung und der Kriterienauswahl, die der Kritikalitätsidentifikation zuzuordnen ist. Je nach Komplexität des Unternehmens werden Methoden zur Durchführung der Kritikalitätsbewertung, der entscheidende Schritt der Kritikalitätsbeurteilung, als eine Art Leitfaden vorgegeben (Abbildung 41, Abbildung 45).<sup>587</sup>

Der Abgleich mit der vorhandenen Datenverfügbarkeit ist der entscheidende Schritt, da dieser über das aktuell maximal verfügbare Instrumentenset Auskunft gibt und inwiefern eine quantitative Kritikalitätsbewertung durchführbar ist.

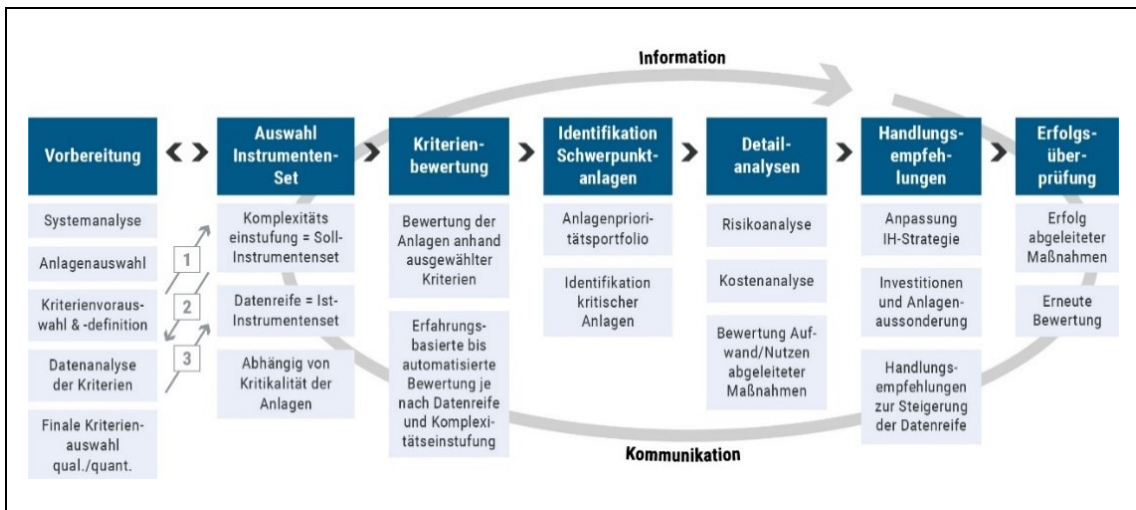
---

<sup>587</sup> Vgl. Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 373.; Passath, T. et al. (2021a), S. 88.



**Abbildung 41: Arten der Kritikalitätsbewertung abhängig von Datenreife und Komplexitätseinstufung<sup>588</sup>**

All diese Entscheidungs- und Einstufungsmodelle sind Teil des Vorgehensmodells der Kritikalitätsbeurteilung. Dieses Vorgehensmodell stellt ein standardisiertes Vorgehen zur Identifikation kritischer Anlagen und in weiterer Folge durch gezielte Risiko- und Kostenanalyse zur dynamischen Anpassung der Instandhaltungsstrategie dar.<sup>589</sup> Das Modell setzt sich im Wesentlichen aus sieben Schritten zusammen (Abbildung 42).<sup>590</sup> Die ersten beiden Schritte – die Vorbereitungsphase und die Auswahl des Instrumentensets, das der Kritikalitätsidentifikation und -analyse (siehe Abschnitt 5.5) zuzuordnen ist – stehen in Wechselwirkung zueinander.



**Abbildung 42: Prozessmodell zur Kritikalitätsbeurteilung<sup>591</sup>**

Nachfolgend werden die Systemabgrenzung sowie die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells, angelehnt an den Phasen des Risikobeurteilungsprozesses im Detail beschrieben und in Kapitel 6 anhand von drei Anwendungsbeispielen validiert.

## 5.4 Systemabgrenzung

Das Vorgehens- und Entscheidungsmodell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung wurde im Zuge von mehreren Auftragsforschungsprojekten in Unternehmen

<sup>588</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 88 f.

<sup>589</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 137.; Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 58ff.; Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 372.

<sup>590</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 205.

<sup>591</sup> Quelle: Eigene Darstellung

unterschiedlicher Branchen (Papier, Pharma, Metall, Mobilität, Chemie) entwickelt und laufend optimiert und validiert.

Die Anwendbarkeit des Modells ist branchen- und größenunabhängig, für alle Industriebetriebe die Anlagen betreiben, gegeben. Je höher die Datenqualität und -verfügbarkeit des Unternehmens ist, desto aufwandsminimierender und datengestützter kann der Schritt der Kritikalitätsbewertung im Zuge des Kritikalitätsbeurteilungsprozess erfolgen und schneller zu einem integralen Bestandteil des Anlagenoptimierungsprozesses werden.

Auf Basis der Projekterkenntnisse kann die generische Anwendbarkeit für die einzelnen Bestandteile dieses Vorgehens- und Entscheidungsmodells angelehnt an den Phasen des Risikobeurteilungsprozesses gemäß ISO 31000 wie folgt eingestuft werden:

#### **5.4.1 Kritikalitätsidentifikation**

##### **Einstufungsmodell zur Identifikation der Komplexität**

Dieses Modell ist branchen- und unternehmensspezifisch unabhängig anzuwenden, da in dem hierzu entwickelten morphologischen Kasten alle möglichen Ausprägungsformen zur Auswahl stehen, weshalb eine generische Anwendbarkeit gegeben ist. Abhängig von den Anforderungen des Unternehmens können jedoch einzelne Aspekte vernachlässigt werden.

##### **Kriterienauswahlmodell zur Bewertung**

Das Kriterienauswahlmodell zur Identifikation der relevanten Kriterien auf Basis der Morphologie ist universell anwendbar, da die Kriterien auf Basis der morphologischen Einstufung und den Erfolgsfaktoren des Unternehmens ausgewählt werden. Die Erfolgsfaktoren werden durch Anwendung des Brainstormings/Brainwritings sowie durch zur Hilfenahme von Checklisten erhoben, sowie aus den Ergebnissen der morphologischen Einstufung abgeleitet (siehe Abschnitt 5.5.1, Anhang B). Abhängig von den jeweiligen Ausprägungsformen, ist ein dahingehend angepasstes Kriterienset für die Bewertung heranzuziehen, was die generische Anwendbarkeit widerspiegelt.

#### **5.4.2 Kritikalitätsanalyse**

##### **Einstufungsmodell der Kritikalitätsbeurteilung**

Das Einstufungsmodell orientiert sich an den Ergebnissen der Bestimmung der Datenreife und der Komplexität. Die Datenreife wird mit einem Reifegradmodell bestimmt (siehe Abschnitt 5.5.2). Die vorherrschende Komplexität wird auf Basis des morphologischen Kastens festgestellt (siehe Abschnitt 5.5.1). Da sowohl von der erfahrungsbasierten bis zur automatischen Bewertung, die datenbasiert durchgeführt wird, alles abgebildet ist, ist die Allgemeingültigkeit bei diesem Modell gegeben.

##### **Reifegradmodell zur Identifikation des Datenreifegrades**

Das entwickelte Reifegradmodell zur Identifikation des Datenreifegrades ist hinsichtlich der darin beschriebenen Anforderungen als generisch einzustufen (siehe Abschnitt 5.5.2).

### Methodenset zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung

Das Methodenset ist allgemeingültig, da sowohl qualitative, semiquantitative als auch quantitative Methoden zum Einsatz kommen und diese je nach Datenverfügbarkeit variiert werden (siehe Abschnitt 5.5.1). Das Ergebnis der Anwendung der jeweiligen Methoden ist dasselbe (Kapitel 6).

### 5.4.3 Kritikalitätsbewertung

#### Vorgehensmodell zur Kriterienbewertung, Risiko- und Kostenanalyse

Der Prozess zur Kritikalitätsbewertung ist hinsichtlich seiner Eignung und Einsetzbarkeit allgemeingültig und branchenunabhängig (siehe Abschnitt 5.6).

### 5.4.4 Maßnahmenableitung, Instandhaltungsstrategieanpassung und Erfolgsüberprüfung

#### Vorgehensmodell zur Maßnahmenableitung, IH-Strategieanpassung und Erfolgsüberprüfung

Das Vorgehen zur Maßnahmenableitung, Strategieanpassung und Erfolgsüberprüfung ist branchenunabhängig und allgemeingültig einsetzbar (siehe Abschnitte 5.7, 5.8).

Folgend wird der Prozess der Kritikalitätsbeurteilung beginnend mit der Vorbereitungsphase (Kritikalitätsidentifikation und -analyse) beschrieben.

## 5.5 Vorbereitungsphase

Den ersten Schritt der Kritikalitätsbeurteilung bildet die Vorbereitungsphase, die aus vier Schritten – Systemanalyse, Anlagenauswahl, Kriterienauswahl und -definition sowie der Datenanalyse – besteht (Abbildung 43).<sup>592</sup> Dieser Schritt ist in Wechselwirkung mit dem zweiten Schritt der Kritikalitätsbeurteilung – der Auswahl des Instrumentensets – zu sehen (siehe hierzu Abbildung 42).

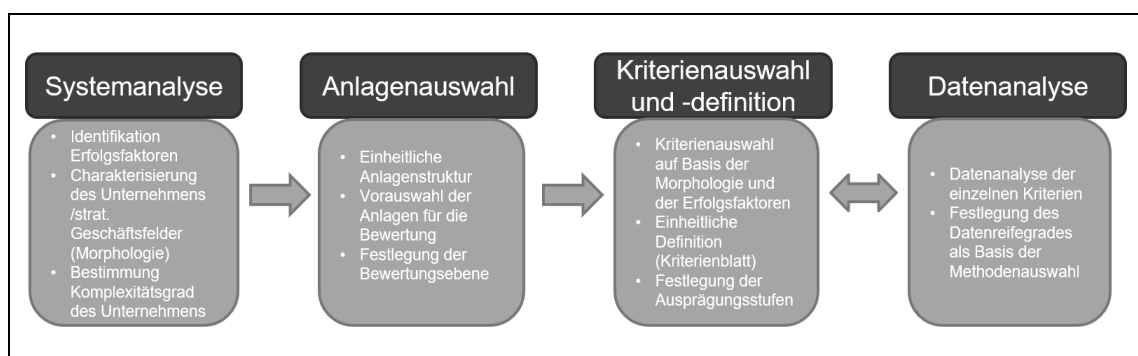


Abbildung 43: Die Vorbereitungsschritte im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung<sup>593</sup>

<sup>592</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 92.; in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2020a), S.205 f.

<sup>593</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 92.

Diese vier Schritte bilden den Grundstein der Kritikalitätsbeurteilung, da sie einerseits zur Analyse des Unternehmens und deren strategischer Geschäftsfelder<sup>594</sup>, zur Einstufung des Unternehmens hinsichtlich der Komplexität und andererseits für die Festlegung des unternehmensspezifischen, optimalen Kriteriensets zur Kriterienbewertung dienen. Hier ist der Schritt der Kriterienauswahl der Entscheidende, da dieser das zu verwendende Instrumentenset zur Kritikalitätsbewertung abgestimmt auf die strategische Ausrichtung der Betrachtungseinheit in Abhängigkeit der Datenqualität und -verfügbarkeit festlegt.<sup>595</sup>

Nachfolgend werden diese vier Schritte, die der Kritikalitätsidentifikation und -analyse zuzuordnen sind, im Detail erläutert.

### **5.5.1 Kritikalitätsidentifikation**

#### **Systemanalyse (Anlagenauswahl, Morphologie)**

Die Systemanalyse als erster Schritt der Vorbereitungsphase, ist der Kritikalitätsidentifikation untergeordnet. Sie dient der Charakterisierung des Unternehmens bzw. der zu betrachtenden strategischen Geschäftsfelder, deren Erfolgsfaktoren und der strategischen Ausrichtung. In Workshops mit interdisziplinären Teams (Instandhaltung, Produktion, Qualitätsmanagement, Controlling,...) werden die Erfolgsfaktoren des Unternehmens und einer erfolgreichen Produktion mittels Brainstormings oder Brainwritings definiert.<sup>596</sup> Auf normativer Ebene werden die Erfolgsfaktoren ausgehend von der Markt- und Unternehmensposition ausgedrückt durch die Unternehmensstrategie sowie den Unternehmenszielen abgeleitet. Danach werden sie in die Bereiche Qualität, Zeit, Kosten, Flexibilität, Umwelt und Sicherheit geclustert und gewichtet. Die Cluster können bei Bedarf unternehmensspezifisch abgewandelt werden. Als geeignetste Methodik für die Gewichtung zeigte sich aus den Projektanwendungen und der Literatur die Punktebewertung (siehe Abschnitt 4.5.2). Im nächsten Schritt werden den definierten Erfolgsfaktoren bereits im Unternehmen befindliche dazugehörige Kennzahlen zugeordnet, um einen Überblick zu bekommen und zu erkennen, ob bereits für jede Clusterung Kennzahlen im Unternehmen vorhanden sind.

Den nächsten Schritt der Systemanalyse bildet die Unternehmenscharakterisierung bzw. Charakterisierung der betrachteten strategischen Geschäftsfelder.<sup>597</sup> Die Betrachtung bezieht sich jeweils auf den Bereich, auf den die Kritikalitätsbeurteilung angewandt wird. Hier ist es wieder entscheidend mit interdisziplinären Teams zu arbeiten, da diese einen direkten Einfluss auf die unternehmensspezifischen Kategorien haben<sup>598</sup>. Im Vorfeld der Kritikalitätsbeurteilung müssen die strategischen Geschäftsfelder oder die unterschiedlichen Produktionslinien definiert und die morphologische Einstufung für

---

<sup>594</sup> Vgl. Pepels, W. (2013), S. 118. Ein strategisches Geschäftsfeld sind Marktbereiche bzw. Betätigungsfelder, die eine eigene Strategie verfolgen. Dabei handelt es sich um nach Wettbewerbern, Kunden und Produkten eindeutig abgegrenzte Betätigungsfelder.

<sup>595</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 91 f.

<sup>596</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020b), S. 51.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 170 f.

<sup>597</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 93.

<sup>598</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 171.

jedes dieser Felder durchgeführt werden. Diese Unternehmenscharakterisierung wird mit Hilfe eines morphologischen Kastens<sup>599</sup> – genannt Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung – durchgeführt. Diese Charakterisierung gibt Auskunft über die Komplexität<sup>600</sup> des Unternehmens bzw. der betrachteten strategischen Geschäftsfelder und deren Prozesse und bildet die Basis zur Identifikation kritischer Erfolgsfaktoren. Dadurch werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Marktsegmenten, den angebotenen Leistungen und des Anlagenparks anhand von Komplexitätsmerkmalen erfasst<sup>601</sup>. Weiters dient diese Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung der Ableitung anlagennaher Kriterien für die Kriterienbewertung als wesentlichen Schritt der Kritikalitätsbeurteilung.<sup>602</sup>

### **Aufbau der Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung**

Fünf Hauptkategorien wurden definiert, die eine Gesamtsicht auf die betrachtete Einheit ermöglichen. Diese Hauptkategorien spiegeln übergeordnet die größten Einflussfaktoren, direkt und indirekt, auf die Asset Performance wider und werden nachstehend im Detail erläutert.

Jeder Hauptkategorie sind Charakteristika und Ausprägungsformen zugeordnet. Die Ausprägungsformen variieren zwischen zwei bis elf Ausprägungen, wie es bei der Ausprägung „Branche“ der Fall ist. Die Charakteristika sowie die Ausprägungsformen wurden auf Basis von Literatur, Projekterfahrung und Expertendiskussionsrunden festgelegt.

#### Unternehmen & Markterfolg

Die Kategorie „Unternehmen und Markterfolg“ umfasst 21 Charakteristika, die im Zuge der Unternehmenscharakterisierung abgefragt werden (siehe Anhang A). Angefangen von allgemeinen Attributen wie der Branche, der Unternehmensgröße bis hin zu den strategischen Zielen, der Rentabilität und unternehmensrelevanter Faktoren wie Umwelt und Sicherheit.

Bei dieser Kategorie hat der verwendete Strategietyp einen entscheidenden Einfluss auf die Anlagen in einem produzierenden Betrieb. Hier wird zwischen der „Kostenführerschaft“, der „Qualitäts- und Technologieführerschaft“ sowie den jeweiligen Kombinationen der drei Möglichkeiten unterschieden.<sup>603</sup> Je nach strategischer Ausrichtung spielen Faktoren, wie die dynamische Modernisierung des Anlagenparks sowie der Automatisierungsgrad eine entscheidende Rolle. Auch die Strategieanpassung ist entscheidend für die Kritikalitätsbeurteilung. Je höher der Automatisierungsgrad ist und desto differenzierter der Kundenkreis, desto wichtiger ist

---

<sup>599</sup> Vgl. Zwicky, F. (1969), S. 114 ff.; zitiert nach: Rosemann, M. (1995), S. 22. Ein morphologischer Kasten ist eine einfach anwendbare, eindimensionale und disjunkte Facettenklassifikation.

<sup>600</sup> Vgl. Reiss, M. (2020), S. 13 ff. Unter Komplexität versteht man das formale Merkmal aller physischen, virtuellen und mentalen Werte. Diese ist wiederum durch die Metakomplexität geprägt, zu dessen Spezifikation mehrere untereinander verbundene Komplexitätsdimensionen, -domänen und -komponenten herangezogen werden müssen.

<sup>601</sup> Vgl. Reiss, M. (2020), S. 13.

<sup>602</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 171; Passath, T. et al. (2021a), S. 92 f.

<sup>603</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 71 ff.; Evonik Fibres GmbH, Aichinger, M. (2021)



es für das betrachtete Unternehmen, flexibel zu agieren und rasch auf sich ändernde Marktanforderungen zu reagieren.

Faktoren wie die Branche, die Marktstellung, der Marktanteil und die Rentabilität sind entscheidend für eine dauerhafte Effizienz- und Effektivitätssteigerung und haben je nach Ausprägung Einfluss auf die Kriterienauswahl. Beim Marktanteil wird zwischen „<10%“, „10-20%“, „21-50%“, „51-80%“, „81-99%“ und „100%“ unterschieden.<sup>604</sup> Je größer der Marktanteil, desto wichtiger ist es für das Unternehmen diese Stellung zu halten und die Anlagen bestmöglich zu betreiben.

Bei der Marktstellung wird zwischen Monopol und Konkurrenten unterschieden und in weiterer Folge der Bereich Konkurrenten in „kaum“, „national“, „kontinental“ und „international“ aufgespalten.

Die Unternehmensausrichtung als weiteres Charakteristikum hat einen entscheidenden Einfluss auf das Asset und die verwendeten Technologien sowie die Ersatzteilbewirtschaftung. Weiters sind internationale Konzerne durch den Benchmark der Unternehmensgruppe vergleichbar, was den Drang jedes einzelnen Unternehmens nach einer optimalen Instandhaltungsstrategie weiters verfestigt.<sup>605</sup>

#### Technologiereife und Produktportfolio

Die Kategorie „Technologiereife und Produktportfolio“ umfasst Charakteristika, die sich auf die Technologieattraktivität sowie die Ressourcenstärke des Unternehmens, aber auch auf die Produktvielfalt, -zusammensetzung und -wechsel fokussieren. Diese Ausprägungsformen wirken sich vor allem auf die Flexibilität des Unternehmens aus. Insgesamt umfasst diese Kategorie 18 Charakteristika mit den dazugehörigen Ausprägungen (siehe Anhang A).

Die Technologieattraktivität und die Ressourcenstärke sind Bestandteile der Technologie-Portfolio-Matrix<sup>606</sup>, um die strategischen Positionen von Produkten und Herstellungstechnologien aufzuzeigen. Beide Dimensionen setzen sich aus unterschiedlichen Einzelindikatoren zusammen, die als Charakteristika in der Morphologie ausgewiesen sind. Die Technologieattraktivität stellt die Summe aller technisch-wirtschaftlichen Vorteile dar, die durch Ausschöpfung der in einem speziellen Technologiegebiet steckenden Weiterentwicklungsmöglichkeiten noch erzielt werden können.<sup>607</sup> In diesem Modell setzt sie sich aus den Einzelindikatoren Anwendungsbreite, Weiterentwicklungspotenzial und Kompatibilität zusammen.

Die Anwendungsbreite gibt darüber Auskunft inwiefern die ökonomische Wirksamkeit der Ausschöpfung des Weiterentwicklungspotenzials genutzt wurde. Nicht nur interne, sondern auch externe Möglichkeiten sollten hier in Betracht gezogen werden, um die optimale Wachstums- bzw. Weiterentwicklungsstrategie festzulegen. Hierbei wird in der Morphologie zwischen „intern“, „intern und extern“ und „anwendungsfelderübergreifend“ unterschieden.<sup>608</sup>

---

<sup>604</sup> Vgl. Liessmann, K. (1993), S. 98.

<sup>605</sup> Vgl. Porter, M. E. (2008), S. 73.

<sup>606</sup> Für eine detaillierte Erklärung siehe: Busch, R. et al. (2001), S. 97f f.

<sup>607</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S.97.

<sup>608</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 97.

Ein weiteres Charakteristikum ist die Kompatibilität, die die Attraktivität einer Technologie beschreibt. Durch die Weiterentwicklung der Technologie und dem damit verbundenen Einsatz vor-, nach- oder parallel geschalteter Produkt- und Herstellungstechnologien können die ökonomischen Vorteile entfaltet werden. Weiters sind die Auswirkungen der Technologie auf andere Produkt- und Herstellungstechnologien mitzubetrachten. Hierbei wird zwischen „Technologie ist unattraktiv“, „neue Technologie ist tlw. attraktiv, aber hat negative Effekte“, „neue Technologie ist attraktiv aber hat negative Effekte“ und „neue Technologie ist attraktiv und hat tlw. negativen Effekte“ und „neue Technologie ist attraktiv und hat keine negativen Effekte“ unterscheiden.<sup>609</sup>

Beim (Weiter-) Entwicklungspotenzial wird ermittelt, „in welchem Maße die Weiterentwicklung der betreffenden Technologien zu Leistungssteigerungs- oder Kostensenkungseffekten oder beidem führen kann“<sup>610</sup>, was essenziell für eine langfristig Wertschöpfungssteigerung ist.

Die Ressourcenstärke als zweite Dimension der Technologieattraktivität hingegen enthält „diejenigen technisch-ökonomischen Faktoren, die bezüglich der betrachteten Technologie als Maß für die technische und wirtschaftliche Stärke oder Schwäche des Unternehmens in Relation zum Wettbewerb heranzuziehen sind.“<sup>611</sup> Sie untergliedert sich in den technisch-qualitativen Beherrschungsgrad, die Potenziale und die (Re-)Aktionsgeschwindigkeit.<sup>612</sup>

Der technisch-qualitative Beherrschungsgrad vergleicht die eigene Position der Technologie mit dem Hauptwettbewerber um den Wettbewerbsvorsprung bzw. -rückstand zu erkennen. In der Morphologie wird dabei zwischen den beiden Messgrößen „Entwicklungsvorsprung“ und „Entwicklungsrückstand“ und deren entsprechenden Abstufungen unterschieden, die in der Praxis zur Quantifizierung des Beherrschungsgrades häufig herangezogen werden.<sup>613</sup>

Das Charakteristikum „Potenziale“ fragt das Ausmaß der notwendigen Ressourcen (Know-how, Sachmittel sowie finanzielle Ressourcen) für die Technologieweiterentwicklung ab und ob diese vorhanden sind und leicht oder schwer beschaffbar sind.<sup>614</sup>

Der dritte Bestandteil der Ressourcenstärke ist die (Re-)Aktionsgeschwindigkeit. Sie dient der Feststellung der Geschwindigkeit, mit welcher ein Unternehmen die notwendigen Potenziale beschafft oder einsetzt, um entweder den Rückstand aufzuholen oder den Wettbewerbsvorsprung zu halten oder auszubauen.<sup>615</sup> In der Morphologie wird zwischen „langsam“, „mittel“, „hoch“ und „sehr hoch“ unterschieden.

Ein weiteres Charakteristikum, das für die Unternehmenscharakterisierung von Relevanz ist, ist die Technologieorientierung. Hierbei wird zwischen dem defensiven und dem offensiven Ansatz unterschieden. Defensiv bedeutet in diesem Zusammenhang,

---

<sup>609</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 97 ff.

<sup>610</sup> Busch, R. et al. (2001), S. 97.

<sup>611</sup> Busch, R. et al. (2001), S. 98.

<sup>612</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 98.

<sup>613</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 99.

<sup>614</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 99.

<sup>615</sup> Vgl. Busch, R. et al. (2001), S. 99.

dass es einen Mangel an Zukunftsperspektiven für die eingesetzte Technologie gibt, weshalb sie dem Ausgleich der unbefriedigten Marktsituation Abhilfe verschafft.<sup>616</sup> Dieses Ungleichgewicht kann aus Überkapazitäten auf den Märkten, aus der Reife der Märkte und einer damit verbundenen Sättigung der Nachfrage oder aus der Internationalisierung sowie Verschärfung des Wettbewerbs durch beispielhaft neue gesetzliche Regelungen resultieren.<sup>617</sup> Die offensive Variante verwendet neue Technologien, um den Lebenszyklus der Anlagen zu verlängern, was wiederum in einem weiteren Wachstum auf reifen Märkten resultieren kann. Es wird hierbei sowohl von geänderten Produktkonzepten als auch von Prozesstechnologien ausgegangen.<sup>618</sup>

Die Technologiestrategie sagt aus, wie ein Unternehmen im Vergleich zu seinen Konkurrenten am Markt vorherrscht. Hierbei wird zwischen „Technologieführerschaft“ und „technologischer Gefolgschaft“ unterschieden. Die Technologieführerschaft kann z.B. den Stand der Technik aufrechterhalten und umfangreiche Investitionen für diesen Erhalt tätigen. Die technologische Gefolgschaft wird auf drei Untercharakteristika aufgeteilt und gibt an, wie Konzerne agieren bzw. mit ihrer verwendeten Technologie umgehen. Hierbei wird in der Morphologie zur Kritikalitätsbewertung zwischen „me-too“ (einem ausgeprägten Kostenbewusstsein und einer hohen Imitationsfähigkeit), „follow the leader“ (einem ausgeprägten Wettbewerbsdenken, einer raschen Reaktion auf den technologischen Wandel und der Kenntnis des State of the Arts) und dem „application engineering“ (der Produktdifferenzierung durch Kostenbewusstsein, Wirtschaftlichkeit vor Innovation und dem Einsatz bewährter Technologien) unterschieden.<sup>619</sup>

Ein weiteres Charakteristikum dieser Kategorie ist der Technologiegrad, der die Technologiestufe (Gering-, Mittel-, Hochtechnologie) des betrachteten Unternehmens wiedergibt. Eine geringe Technologiestufe ist teilweise im Bereich Stahl, Baugewerbe zu finden. Die mittlere Technologiestufe ist charakterisierend für Unternehmen aus den Bereichen Chemie, Maschinenbau und Anlagenbau. Hochtechnologie findet man in Unternehmen der Sparte Biotechnologie und Mikroelektronik.<sup>620</sup> Die Einteilung erfolgt nach den der jeweiligen Technologiestufe zugehörigen Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten.

Die richtigen Technologiearten sind essenziell für produzierende Betriebe, um eine effiziente und effektive Produktion zu ermöglichen.<sup>621</sup> Es ist somit entscheidend für Unternehmen laufend die eingesetzten Technologien und Fertigungsprozesse auf Wirtschaftlichkeit und Aktualität zu überprüfen. Wichtig ist, sich der wesentlichen Technologien zu bedienen, um die Wettbewerbsposition zu halten und gegebenenfalls sogar auszubauen. Je weiter eine Technologie entwickelt ist, desto größer ist dessen Reife, und desto geringer ist das technische Risiko im Einsatz. Hierzu entwickelten FORD und RYAN<sup>622</sup> ein Modell, dass die Ausschöpfung des Wettbewerbspotenzials einer Technologie in einen zeitlichen Bezug setzt. Durch Weiterentwicklung der

---

<sup>616</sup> Vgl. Bühner, R. (1990), S. 20.; zitiert nach: Bühner, R. (1993), S. 292.

<sup>617</sup> Vgl. Bühner, R. (1993), S. 292 f.

<sup>618</sup> Vgl. Bühner, R. (1993), S. 292 f.

<sup>619</sup> Vgl. Bühner, R. (1993), S. 288 ff.

<sup>620</sup> Vgl. Bühner, R. (1993), S. 290.

<sup>621</sup> Vgl. Bullinger, H. J. (2008); zitiert nach: Reinhart, G.; Schindler, S. (2010), S. 710.

<sup>622</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Ford, D.; Ryan, C. (1981)

Technologie im eigenen Unternehmen sowie durch andere Unternehmen, sinkt das Wettbewerbspotenzial. Diese korreliert jedoch positiv mit der Reife.<sup>623</sup> Dabei wird zwischen Schrittmacher-, Schlüssel-, Basis- und verdrängten Technologien unterschieden.<sup>624</sup> In der Morphologie werden nur Schlüssel-, Basis- und ausgereifte und verdrängte Technologien betrachtet, da Schrittmachertechnologien noch der Entwicklungsphase angehören und in der morphologischen Betrachtung der Fokus auf Technologien im laufenden Betrieb gelegt wird. Weiters wird bei Basistechnologien unterschieden, ob eine Beherrschung oder eine dauerhafte Verbesserung im Vordergrund stehen. Je höher der Wunsch nach einer Technologie-Verbesserung ist, desto höher ist die Komplexität des betrachteten Bereichs.

Im Bereich Produktportfolio wird beispielsweise der optimale Produktwechselzyklus erfasst. Hierbei wird zwischen „>14 Tage“, „bis 2 Wochen“, „bis eine Woche“, „1 Tag“ und „wenig Stunden“ unterschieden. Der Produktwechselzyklus ist ausschlaggebend für die gewünschte Flexibilität und den Wunsch einer Dynamisierung der Bewertung. Je häufiger der Produktwechselzyklus vorkommt, desto komplexer ist das Unternehmen in diesem Punkt aufgestellt.

Ein weiteres Charakteristikum der Kategorie „Technologie und Produktreife“ ist der Aufwand des Produktwechselzyklus. Dieser ist eng mit dem Charakteristikum des optimalen Produktwechselzyklus verbunden. Hierbei wird zwischen „<1h“, „1-4h“, „0,5-1 Tag“, „1-2 Tage“, „>2 Tage“ unterschieden<sup>625</sup>. Je aufwändiger der Produktwechselzyklus ist, desto höher sind die damit verbundenen Ausfallkosten und umso wichtiger ist es eine dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung in Folge einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung zu etablieren, um Ziele wie die maximale Anlagenzuverlässigkeit zu erreichen. Daher werden auch die Charakteristika „Ausfallrisiko bei Produktwechsel“ und „Umstellungskosten in Relation zum Tagesumsatz“ abgefragt. Der Aufwand des Produktwechselzyklus korreliert in den meisten Fällen mit der Produktzusammensetzung. Es macht für die Produktion einen enormen Unterschied, ob ein Bestandteil oder die gesamten Bestandteile gewechselt werden. In der Morphologie wird dabei zwischen „gleichbleibend“, „annähernd gleichbleibend“, „variiert tlw.“, „variiert stark“ und „variiert sehr stark“ unterschieden.

### Produktion

Die Kategorie „Produktion“ umfasst 11 Charakteristika mit den dazugehörigen Ausprägungsstufen (siehe Anhang A). Der Bereich Produktion wird gesondert betrachtet, da er gemeinsam mit der Instandhaltung die Grund- und Kernfunktionen eines produzierenden Unternehmens darstellt<sup>626</sup> und diese beiden Bereiche gemeinsam an dem Ziel der langfristigen Wertschöpfungssteigerung arbeiten, um den größtmöglichen Erfolg zu erzielen. Vor allem im Bereich der Kritikalitätsbeurteilung und der damit verbundenen ganzheitlichen Betrachtung muss der Bereich „Produktion“ mitbeleuchtet werden. Im Fokus der Betrachtung stehen einerseits die

---

<sup>623</sup> Vgl. Reinhart, G.; Schindler, S. (2010), S. 711.

<sup>624</sup> Vgl. Ford, D.; Ryan, C. (1981), S. 117 ff.; zitiert nach: Reinhart, G.; Schindler, S. (2010), S. 711.

<sup>625</sup> Evonik Fibres GmbH, Aichinger, M. (2021)

<sup>626</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 101

Produktionsfaktoren und andererseits der Produktionsprozess. Zu den Produktionsfaktoren zählen Werkstoffe, Energie sowie Betriebsmittel und Arbeitskräfte.<sup>627</sup>

Charakteristika der Produktion, die auf die Anlagenperformance und die Kriterienauswahl Auswirkung haben, sind einerseits die Fertigungsart, der Automatisierungsgrad, die Einsatzintensität und andererseits Faktoren wie der Qualifizierungsgrad, der für die Technologiebeherrschung entscheidend ist.

Je nach Fertigungsart und Fertigungsprinzip müssen gewisse Vorkehrungen im Unternehmen bezüglich des Anlagenparks getroffen werden. Jedes Fertigungsprinzip verlangt andere Fertigungssysteme. Die einen sind z.B. automatisiert und andere laufen (noch) händisch ab.<sup>628</sup> Bei der Fertigungsart wird in der Morphologie zwischen „Massenfertigung“, „Großserienfertigung“, „Sortenfertigung“, „Kleinserienfertigung“, „Einzelfertigung“ und „Chargenfertigung“ unterschieden.<sup>629</sup>

- **Massenfertigung:** Von Massenfertigung wird gesprochen, wenn größere Mengen homogener Güter gefertigt werden. Beispiele hierfür wären Zement, Strom, Getränkeflaschen.<sup>630</sup>
- **Serienfertigung:** Bei der Serienfertigung wird eine begrenzte Stückzahl gleichartiger Erzeugnisse hergestellt, jedoch sind für die Fertigung unterschiedliche Materialien sowie auch Prozessschritte von Nöten.<sup>631</sup> Hier spielen vor allem Umrüstvorgänge, der Aufwand dahinter und die Dauer eine entscheidende Rolle zur Einstufung der Komplexität.
- **Sortenfertigung:** Im Zuge der Sortenfertigung werden unterschiedliche Varianten gleichartiger Erzeugnisse aufeinanderfolgend hergestellt, wie beispielsweise verschiedene Sorten von Schrauben oder Fruchtsäften. Lediglich die Funktionalität, Gestalt oder Abmessung sind das Unterscheidungsmerkmal der Produkte, der Herstellungsprozess bleibt gleich.<sup>632</sup>
- **Chargenfertigung:** Die Chargenfertigung ist eine Sonderform der Sortenfertigung, bei der die Produktionsmenge begrenzt ist. In Chargen werden Produkte produziert, die nicht permanent hergestellt werden. Chargen haben in der Regel identische Produktionsvorgaben, können aber aufgrund von Umfeldbedingungen oder des Herstellungsprozesses minimal abweichen. Anzutreffen ist dieser Fertigungstyp in Chemiebetrieben oder der Stahlindustrie.<sup>633</sup>
- **Einzelfertigung:** Die Einzelfertigung ist dadurch gekennzeichnet, dass jedes Produkt individuell und einmalig produziert wird, weshalb auch von

---

<sup>627</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 103 f.

<sup>628</sup> Vgl. Kunkel, R.; Westkämper, E. (2005), S.195 ff.

<sup>629</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 120.

<sup>630</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 120.

<sup>631</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 120 f.

<sup>632</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 120.

<sup>633</sup> Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (1992), S. 20.; Engelhardt-Nowitzki, C.; Lackner, E. (2006), S. 155.

Sonderfertigung gesprochen wird. Beispiele wären Maßanzüge oder Spezialanlagen.<sup>634</sup>

Ein weiteres Charakteristikum ist die Einsatzintensität der Produktion. Hierbei wird zwischen der „material-intensiven“ (z.B. Mineralölverarbeitung), der „anlagen-intensiven“ (Einsatz flexibler Fertigungssysteme), der „arbeits-intensiven“ (z.B. Herstellung kunsthandwerklicher Produkte) sowie der „informations-intensiven“ (z.B. Verlagswesen) Produktion unterschieden.<sup>635</sup>

Politische, wirtschaftliche und ökologische Anforderungen müssen ebenfalls berücksichtigt werden, da diese z.B. Einfluss auf den Betrieb der Anlage und die Konfiguration des Anlagenparks haben. Ökologische Anforderungen sind beispielsweise das Umweltdatencontrolling<sup>636</sup>, die Energieeinsparverordnungen<sup>637</sup>, die Vermeidung schwerer Unfälle sowie die Begrenzung von Umweltfolgen<sup>638</sup>, Forderungen des Wärmeschutzes und Lüftungen<sup>639</sup> sowie Regelungen zur Gefährdung und Belästigung beim Betrieb von Industrieanlagen<sup>640</sup>. Hier wird im Zuge der Morphologie zwischen Anforderungen an „Arbeits- und Gesundheitsschutz“, „Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit“ und „Anforderungen an die Umwelt“ unterschieden. Vor allem der Faktor Umwelt wird im Zuge der Klimaneutralität und der geforderten CO<sub>2</sub>-Einsparungen von mindestens 55% bis 2030<sup>641</sup> immer präsenter und muss bei der Anlagenoptimierung mitbetrachtet werden.

In diesem Zusammenhang spielt auch die Recyclingfähigkeit der Produkte, die im Zuge der Unternehmenscharakterisierung abgefragt wird, eine wichtige Rolle. Hierbei erfolgt die Einordnung nach den Ausprägungen „keine Verwertung“, „Wiederverwertung“, „Weiterverwertung“, „Wiederverwendung“ und „Weiterverwendung“.<sup>642</sup>

Ein weiteres Charakteristikum dieser Kategorie ist der durchschnittliche Qualifizierungsgrad der Mitarbeiter. Hierbei wird zwischen „verbesserungswürdig“, „differenziert“ und „optimal“ unterschieden. Der Qualifizierungsgrad ist vor allem in Zeiten steigender Digitalisierung und Automatisierung ein entscheidender, da Mitarbeiter durch Industrie 4.0 andere bzw. neue Qualifikationen aufweisen müssen, um nach wie vor problemlos mit den hochtechnologisierten Anlagen arbeiten zu können. Daher ist die Erhebung des Qualifizierungsgrades zur Anlagenoptimierung ganz entscheidend, um frühzeitig auf einen Know-how Rückstand reagieren zu können.<sup>643</sup>

### Asset

Die nächste Kategorie „Asset“ umfasst Charakteristika der Ressource „Asset“ die durch eine Instandhaltungsstrategieoptimierung kurzfristig nicht angepasst werden können,

---

<sup>634</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 121.

<sup>635</sup> Vgl. Zsifkovits, H. (2012), S. 122.

<sup>636</sup> Für nähere Informationen siehe: EG Nr. 166/2006 (2006)

<sup>637</sup> Für nähere Informationen siehe: Richtlinie 2010/31/EU (2010)

<sup>638</sup> Für detaillierte Informationen siehe: Servo III-RL, RL 2012/18/EU

<sup>639</sup> Vgl. Usemann, K. W. (2004).

<sup>640</sup> Für nähere Informationen siehe: GewO, BGBl. Nr.194/1994, §74 Abs.2

<sup>641</sup> Vgl. Europäische Kommission (2021), (Zugriff: 05.11.2021)

<sup>642</sup> Vgl. Pitz, T. (2000), S. 12 ff.; Rost, N. (2007), <https://www.regionalentwicklung.de/regionales-wirtschaften/technologien-rohstoffe/recycling/> (Zugriff: 03.11.2021)

<sup>643</sup> Vgl. Zinn, B.; Tenberg, R. (2015), S. 48 ff.

sondern als gegeben hingenommen werden. Hier werden Faktoren wie das Alter der Anlage, der Verkettungsgrad, ob Redundanzen vorhanden sind, die Komplexität der Anlagen, sowie die Zusammensetzung des Anlagenparks abgefragt. Insgesamt umfasst diese Kategorie neun Charakteristika (siehe Anhang A).

Das Charakteristikum „Redundanz“ erfasst die Ausweichmöglichkeiten. Es identifiziert, ob „keine“, „teilweise vorhanden“ oder „sehr anpassungsfähig/mehrere vorhanden“ sind. Dieser Faktor ist vor allem im Zuge der langfristigen Wertschöpfungssteigerung ein bedeutender, da den Anlagen bei einem hohem Verkettungsgrad noch mehr Wertigkeit zugesprochen werden muss, da die Ausfallkosten bei einer Störung um ein Vielfaches höher sind als bei einer Störung einer nicht verketteten Anlage und folgend auch Produktionsengpässe damit verbunden sind.

Beim Verkettungsgrad lassen sich grundsätzlich drei Formen unterscheiden:<sup>644</sup>

- Lose (unbegrenzte Pufferkapazität, verzögerte Weitergabe mögliche, vollständige Entkopplung)
- Elastisch (begrenzte Pufferkapazität, verzögerte Weitergabe möglich, teilweise Entkopplung)
- Starr (keine Puffer, sofortige Weitergabe, strikte Kopplung)

Neben den drei genannten, umfasst die Morphologie noch das Attribut „keine Verkettung“ mit der dazugehörigen Unterteilung „starr mit Taktzwang“ und „starr ohne Taktzwang“.

Das Charakteristikum „Komplexität“ umfasst Faktoren wie Anzahl der verbauten Komponenten, die Schwierigkeit der Wartungen bzw. die Zugänglichkeit der Anlagen sowie den Technologiefortschritt, um einige zu nennen. Hierbei wird zwischen „gering“, „mittel“ und „hoch“ unterschieden.

Weiters ist die Zusammensetzung des Anlagenparks essenziell für die Anlagenoptimierung. Bei dessen Charakterisierung wird zwischen einem „homogenen“ und einem „heterogenen“ Anlagenpark unterschieden. Unter einem homogenen Anlagenpark ist jener zu verstehen, der sich aus gleichen Anlagentypen zusammensetzt. Ein heterogener Anlagenpark hingegen hat unterschiedliche Anlagenarten. Diese beiden Ausprägungen werden weiters in „gleicher Hersteller“, „verschiedene Hersteller“, „Einzelanlagen“ und „Spezialanlagen“ unterteilt.

Ein weiteres Charakteristikum ist der Stand der Technik bei den Anlagen, der in dieser Kategorie zur Komplexitätsfeststellung dient. Es wird hierbei erfragt, ob dieser „veraltet“ (viele alte Anlagen, keine Modernisierung), „aktualisiert“ („Retro-fitting der Anlagen) oder „neu“ (hauptsächlich neue Anlagen) ist.

### Instandhaltung

Der Bereich „Instandhaltung“ spielt eine wesentliche Rolle im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung, vor allem im Schritt der Maßnahmenumsetzung, und ist essenziell für die Instandhaltungsstrategieanpassung. Jedoch wird die Instandhaltung von Faktoren bzw. falschen strategischen Entscheidungen beeinflusst, die einer optimalen und ressourcenschonende Instandhaltungsdurchführung im Wege stehen,

---

<sup>644</sup> Vgl. Lotter, B. (2006), S. 392 ff.

wie die falsche Instandhaltungsstrategie oder eine falsche Ersatzteilstrategie. Insgesamt umfasst diese Kategorie 17 Charakteristika, angefangen vom Erfüllungsgrad der Instandhaltung, über die IH-Intensität bis hin zur Festlegung der Instandhaltungsstrategie und deren Anpassung (siehe Anhang A).

Das Charakteristikum IH-Strategie erfragt die vorwiegend im Unternehmen angewandte Strategie, die vor allem für den Schritt der Handlungsempfehlungen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung entscheidend ist. Hierbei wird zwischen „reaktiv“, „präventiv“, „prädictiv“ und „perfektiv“ unterschieden<sup>645</sup>. Auf die Instandhaltungsstrategie wirken eine Vielzahl von Einflussgrößen, wie das Ausfallverhalten der Anlage, die Ersatzteilbeschaffung, die Produktionsplanung und die Anforderungen an die Zuverlässigkeit<sup>646</sup>, um einige zu nennen. Die externen Einflussgrößen unterliegen einer laufenden Veränderung, die eine dynamische Anpassung des Zielsystems und der IH-Strategie fordert.<sup>647</sup> Genau hier setzt die Kritikalitätsbeurteilung an, die durch Identifikation der kritischen Anlagen das Ziel eines anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategiemix, der dynamisch an diese Veränderungen angepasst wird<sup>648</sup>, umsetzt.

Die permanente Qualifizierung von Mitarbeitern ist ein Schlüssel zur nachhaltigen Weiterentwicklung von Organisationen. Qualifikation im Kontext des betrieblichen Arbeitsprozesses umfasst die Gesamtheit aller Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten, die eine bestimmte Person besitzt, und deren Handlungen, die zur Ausübung von definierten Tätigkeiten oder Funktionen eines Arbeitsplatzes benötigt werden. Hierbei wird ähnlich wie in der Kategorie „Produktion“ zwischen „schlecht“, „mittel“ und „hoch“ unterschieden. Weiters wird abgefragt, ob Fachwissen für die Bearbeitung erforderlich ist oder nicht, um den Bedarf an Spezialkräften zur Verrichtung der Tätigkeiten abzufragen.

Weiters wird die Relation von Instandhaltungs- zu Produktionsmitarbeitern abgefragt. Hierbei wird in der morphologischen Charakterisierung zwischen „<10%“, „10-20%“, „20-30%“ und „30-50%“ unterschieden.

Auch die Instandhaltungsintensität<sup>649</sup> wird in dieser Kategorie mitbetrachtet. Die dazugehörigen Ausprägungsformen in der Morphologie sind „<1%“, „1-3%“, „4-10%“, „>10%“.

### Digitalisierung / Daten

Die letzte Kategorie „Digitalisierung und Daten“ umfasst lediglich zwei Charakteristika – den Digitalisierungsgrad und die Datenqualität. Diese Kategorie dient der Voreinstufung der Datenqualität. Im Detail wird die Datenqualität nach erfolgter Kriterienauswahl im Zuge der Kritikalitätsanalyse beleuchtet (siehe Abschnitt 5.5.2).

---

<sup>645</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Kraus, T. (1981), S. 367ff.; Beckmann, G.; Marx, D. (1994), S. 98.; Nebl, T.; Prüß, H. (2006b), S. 220.; Biedermann, H. (2008), S. 19.; Mobely, R.K. et.al. (2008), S. 31 ff.

<sup>646</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 52 ff.

<sup>647</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 69

<sup>648</sup> Vgl. Kuhn, A. et al. (2006), S. 56 f.; zitiert nach: Kinz, A. (2017), S. 70.

<sup>649</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 212. Die Instandhaltungsintensität ist das Verhältnis von Instandhaltungskosten zum Wiederbeschaffungswert der Anlage.



Der Digitalisierungsgrad misst den Fortschritt der Digitalisierungsvorhaben in einem Unternehmen und stellt in weiterer Folge die digitale Reife fest.<sup>650</sup> Hierbei wird zwischen „gering“, „mittel“ und „hoch“ unterscheiden.

Die Datenqualität ist entscheidend für eine dynamische Kritikalitätsbeurteilung. Sie wird durch die Korrektheit, Vollständigkeit, Konsistenz und Aktualität bewertet. Die Sicherstellung der Datenqualität ist ein komplexes Thema, das ein effektives Zusammenspiel von Methodik, Standards, Sozialkompetenz und Technologie voraussetzt.<sup>651</sup> In der Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung wird zwischen „sehr schlecht“, „schlecht“, „gut“ und „sehr gut“ unterschieden.

Die Bewertung der Morphologie wird aus Gründen der Handhabbarkeit für die industrielle Praxis in einem dafür programmierten Excel-File vorgenommen. Nach erfolgter Einordnung des Unternehmens bzw. des strategischen Geschäftsfeldes kann die Komplexitätseinstufung, das zu verwendende Instrumentenset der Kritikalitätsbewertung festlegt, sowie das dafür notwendige Kriterienset ermittelt werden.<sup>652</sup>

Tabelle 5 zeigt am Beispiel der Chemieindustrie einen Ausschnitt der morphologischen Einordnung.

**Tabelle 5: Ausschnitt aus der morphologischen Einordnung zur Komplexitätsbestimmung und zur Kriteriendefinition aus strategischer Sicht<sup>653</sup>**

| Kategorie                             | Charakteristik          | Ausprägungen                |                       |                                     |   |                                     |             |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------|
| Unternehmen und Markterfolgsfaktoren  | Branche                 | Automobil                   |                       | Stahlindustrie                      | Chemie                                    | Papierindustrie                     |             |
|                                       | Unternehmensgröße       | <50 MA                      |                       | 50-500 MA                           |   | >500 MA                             |             |
|                                       | Marktanteil             | <10%                        | 10-20%                | 20-50%                              | 50-80%                                    | 80-99%                              | 100%        |
| Technologiereife und Produktportfolio | Strategisches Ziel      | Kostenführerschaft          | Qualitätsführerschaft | Technologieführerschaft             | Qualitäts- und Kostenführerschaft         | Technologie- und Kostenführerschaft | Marktführer |
|                                       | Technologiestrategie    | Technologische Gefolgschaft |                       |                                     |   | Technologieführer                   |             |
|                                       | Kompatibilität          | neuen Techn. Unattraktiv    |                       | neue Techn. attraktiv, neg. Effekte | neue Techn. attraktiv, keine neg. Effekte |                                     |             |
| Produktion                            | Produktnachfrage        | Bestände                    |                       | Eher beständig                      | Eher schwankend                           |                                     |             |
|                                       | Fertigungsart           | Massenfertigung             |                       | Großserienfertigung                 | Sortenfertigung                           |                                     |             |
| Instandhaltung                        | Automatisierungsgrad    | Keine Automatisierung       |                       | Teilweise Automatisierung           | Weitgehend Automatisierung                |                                     |             |
|                                       | Budgetierung der IH     | statisch                    |                       | vergangenheitsorientiert            | risikoorientiert                          |                                     |             |
| Asset                                 | IH-Strategie            | reaktiv                     |                       | präventiv                           | prädiktiv                                 |                                     | perfektiv   |
|                                       | Alter der Anlage        | >5 Jahre                    |                       | 5-10 Jahre                          | 10-20 Jahre                               |                                     | >20 Jahre   |
|                                       | Komplexität der Anlagen | Gering                      |                       | Mittel                              | Hoch                                      |                                     |             |
| Digitalisierung                       | Auslastungsgrad         | <50%                        | 50-70%                | 70-90%                              | 90-99%                                    | 100%                                |             |
|                                       | Digitalisierungsgrad    | gering                      |                       | mittel                              | hoch                                      |                                     |             |
|                                       | Datenqualität           | sehr schlecht               |                       | schlecht                            | gut                                       |                                     |             |
|                                       |                         |                             |                       |                                     | sehr gut                                  |                                     |             |

Es wird deutlich, dass es sich bei dem betrachteten Unternehmen um ein komplexes handelt, da die rote Linie eher rechts der Mitte liegt. Je weiter die rote Linie rechts liegt, desto höher ist der Komplexitätsgrad des betrachteten Unternehmens bzw. strategischen Geschäftsfeldes. Der Komplexitätsgrad und die Geschwindigkeit der Veränderung der organisationalen Umweltbedingungen resultieren je nach Ausprägung

<sup>650</sup> Vgl. Leyh, C. et al. (2016), S. 990.; Krafft, K. (2021), <https://www.cio.de/a/wie-das-vollstaendig-digitale-unternehmen-arbeitet,3574107>, (Zugriff: 30.10.2021); BSP Business School Berlin, [https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden\\_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf](https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf) (Zugriff: 30.10.2021).

<sup>651</sup> Vgl. Kühnle, M. (2006), S. 48 ff.; Große-Schwiep, B. et al. (2020), S. 8.

<sup>652</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 94.; Passath, T. et al. (2020b), S. 51.

<sup>653</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2020b), S. 51.

in Unsicherheit.<sup>654</sup> Ein niedriger Komplexitätsgrad und eine geringe Wandlungsgeschwindigkeit resultieren beispielsweise in einer geringen Unsicherheit, wohingegen eine hohe Komplexität und eine hohe Veränderungsgeschwindigkeit in einer großen Unsicherheit münden. Unsicherheit ist meist verbunden mit einem Mangel an Information bzw. ein Übermaß an nicht eindeutiger Information.<sup>655</sup> Die Kontingenztheorie geht davon aus, dass ein enger Zusammenhang zwischen Umweltbedingungen und den Organisationsstrategien und Strukturen besteht.<sup>656</sup> Um diesen Unsicherheiten Abhilfe zu verschaffen, muss durch gezielte Maßnahmen sowohl dem Informationsmangel entgegengewirkt werden sowie der Prozessablauf durch eine dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung langfristig sichergestellt werden. Handlungsbedarf besteht bei dem Beispiel des Chemieunternehmens (Tabelle 5) vor allem im Bereich Strategie und Digitalisierung, die zukünftig die entscheidenden Wettbewerbsfaktoren für Betriebe sein werden und wichtig für eine Weiterentwicklung in Richtung prädiktiver Instandhaltung sind. Weiters sind sie essenziell für eine dynamische Kritikalitätsbeurteilung, die von der Komplexität des Unternehmens bzw. des betrachteten strategischen Geschäftsfeldes her empfehlenswert wäre. Die Datenqualität wird von den meisten Unternehmen als gut wahrgenommen. Diese gilt es im Zuge der Datenanalyse zu überprüfen<sup>657</sup>, da Unternehmen sich vor allem in diesem Bereich überschätzen.

Wie bereits erwähnt, dient die morphologische Einordnung der Einstufung der Komplexität (Abbildung 44) und in weiterer Folge zur Bestimmung des Instrumentensets zur Durchführung der Kritikalitätsbewertung.

|                               | Nicht komplex  | Geringer Komplexitätsgrad  | Mäßiger Komplexitätsgrad   | Hoher Komplexitätsgrad  | Sehr hoher Komplexitätsgrad  |
|-------------------------------|--|--|--|---|--|
| Technologiereife              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kostenbewusstsein</li> <li>Keine Anwendung neuer Technologien</li> <li>Verfügbare Technologie</li> <li>Ressourcen vorhanden</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bewährte Technologien</li> <li>Gleichbleibend</li> <li>Basistechnologie</li> <li>Keine Anwendung neuer Technologien</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wettbewerbskriterien</li> <li>Teilweise Einsatz von Prototypen</li> <li>Basis Technologie</li> <li>Verbesserten angestrebt</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Entwicklungsrisikostand</li> <li>Stand der Technik</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Basistechnologie</li> <li>Verbesserungsorientiert</li> <li>Hohes Entwicklungspotenzial</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Schlüsseltrends gehen</li> <li>Neue Technologie in Verwendung</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Entwicklungsrichtung</li> </ul>  |
| Markterfolg                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Marktanteil &lt;10%</li> <li>Strategische Ziele leicht erreichbar</li> <li>Statische Strategie</li> <li>Wachstumsrate gering</li> <li>Restabilität &lt;1%</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Kostenführerschaft</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mäßiger Marktanteil 10-20%</li> <li>Strategische Ziele leicht erreichbar</li> <li>Statische bis vorausschauende Strategie</li> <li>Wachstumsrate gering</li> <li>Restabilität 3-5%</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mäßiger Marktanteil 20-50%</li> <li>Strategische Ziele schwer erreichbar</li> <li>Vorausschauende Strategie</li> <li>Wachstumsrate gering</li> <li>Restabilität 8-12%</li> <li>Unterschiedungsgrad eher hoch</li> <li>Technologieführerschaft</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Marktanteil 50-80%</li> <li>Strategische Ziele schwer erreichbar</li> <li>Vorausschauende Strategie</li> <li>Wachstumsrate gering bis stark</li> <li>Restabilität 12-15%</li> <li>Unterschiedungsgrad hoch</li> <li>Technologie- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Qualitätsführerschaft</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Marktanteil &gt;80%</li> <li>Strategische Ziele schwer erreichbar</li> <li>Dynamische Strategie</li> <li>Wachstumsrate stark</li> <li>Restabilität &gt;10%</li> <li>Unterschiedungsgrad hoch</li> <li>Spezialanbieter</li> <li>Marktführer</li> </ul>   |
| Produktion & Produktportfolio | <ul style="list-style-type: none"> <li>Produktzusammensetzung ist gleichbleibend</li> <li>Ausschuss ist nicht relevant</li> <li>Produktlebenszyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &lt;1h</li> <li>Umsatzkosten &lt;0,2%</li> <li>Kein Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Massenfertigung, Lagerfertigung</li> <li>Keine Nachbearbeitungszeit der Massenfertigung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Viele gleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung ist annähernd gleichbleibend</li> <li>Produktbedarf ist eher besändig</li> <li>Kaum anpassungsfähig</li> <li>Ausschuss gering</li> <li>Produktlebenszyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: 0,5-2Tage</li> <li>Umsatzkosten: 0,5-1,5%</li> <li>Geringes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Großserienfertigung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Produkte sind teilweise schwach</li> <li>Produktzusammensetzung annähernd gleichbleibend</li> <li>Besindliche Produktnachfrage</li> <li>Ausschuss mittel bis hoch</li> <li>Produktlebenszyklus: 1-3Tage</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &lt;1 Tag</li> <li>Umsatzkosten: 1,5-3%</li> <li>Mittleres Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Serien-/Massenfertigung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Teilweise ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert</li> <li>Produktanfrage ist schwach</li> <li>Schnell anpassungsfähig</li> <li>Ausschuss hoch</li> <li>Produktlebenszyklus: 1-2Tage</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &gt;2Tage</li> <li>Umsatzkosten: &gt;3%</li> <li>Produktbedarf ist stark schwach</li> <li>Ausschuss sehr hoch</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Einserfertigung, Chargenfertigung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Überwiegend ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktlebenszyklus: wenige Stunden</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &gt;2 Tage</li> <li>Umsatzkosten: &gt;5%</li> <li>Produktbedarf ist stark schwach</li> <li>Ausschuss sehr hoch</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Einserfertigung, Chargenfertigung</li> </ul> |
| Anlagenpark                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Automation</li> <li>Keine Vernetzung</li> <li>Alle Anlagen vom gleichen Hersteller</li> <li>Mehrere Ausbaupotentialen</li> <li>Auslastungsgrad: 50%</li> <li>Gleiche Systemarchitektur</li> <li>Instandhaltungsintervalle: &lt;1%</li> <li>Verfügbarkeit &lt;80%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenig Automation</li> <li>Mehr gleiche als unterschiedliche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Leise Verkettung der Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 50-70%</li> <li>Instandhaltungsintervalle: 1-3%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Teilweise Automation</li> <li>Alte und neue Anlagen</li> <li>Verknüpfung bzw. vorhanden</li> <li>Heterogene Anlagen &amp; Einzel-/Spezialanlagen</li> <li>Nicht sowie alle Anlagen</li> <li>Ausweichmöglichkeiten bzw. vorhanden</li> <li>Auslastungsgrad: 70-90%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Automation weitestgehend vorhanden</li> <li>Mehr verschiedene als gleiche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Komplexe Anlagen</li> <li>Nicht sowie alle Anlagen</li> <li>Viele Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 80-90%</li> <li>Instandhaltungsintervalle: 3-10%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollautomatisiert</li> <li>Anlagen haben verschiedene Hersteller</li> <li>Mehr verschiedene als gleiche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Komplexe Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: &gt;100%</li> <li>Anlagen haben unterschiedliche Systemarchitekturen</li> <li>HI Intervalle: &gt;10%</li> </ul>  |

Abbildung 44: Komplexitätseinstufung auf Basis der morphologischen Einordnung am Beispiel eines Chemieunternehmens<sup>658</sup>

<sup>654</sup> Vgl. Hatch, M. J. (1997); Ungericht, B. (2012), S. 357.

<sup>655</sup> Vgl. Ungericht, B. (2012), S. 357.

<sup>656</sup> Vgl. Ungericht, B. (2012), S. 358.

<sup>657</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 172.

<sup>658</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 93.; für eine detaillierte Beschreibung der Komplexität siehe Anhang A

Bei der Einstufung der Komplexität werden fünf Kategorien von nicht-komplex bis sehr komplex unterschieden. Diese sind durch die Hauptkategorien und die jeweiligen Charakteristika der morphologischen Einordnung definiert. Hier gilt das Prinzip: die meisten Übereinstimmungen je Kategorie spiegeln den Komplexitätsgrad der Kategorie wider. Für die Festlegung des übergreifenden Komplexitätsgrades gilt der Durchschnitt aller Werte. Im Falle des Beispiels der Chemieindustrie wäre es ein sehr hoher Komplexitätsgrad, da nur in einer Kategorie (Produktion & Produktportfolio) ein mäßiger identifiziert wurde.

Dieser Komplexitätsgrad ist gleichzusetzen mit der Einstufung zur Auswahl des Instrumentensets der Kritikalitätsbewertung. Das Einstufungsmodell ist in fünf Stufen aufgeteilt (Abbildung 45).

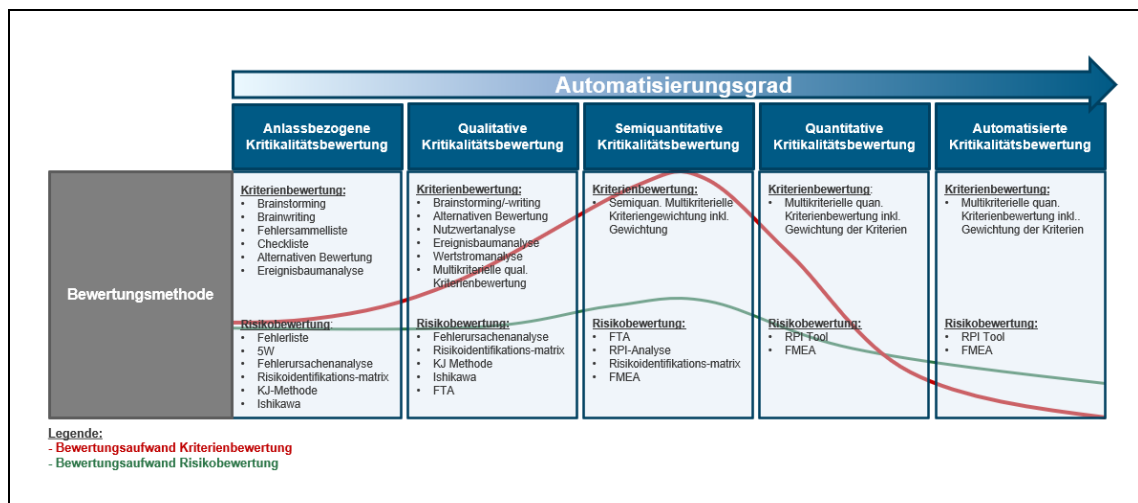


Abbildung 45: Methodenauswahl für die Kritikalitätsbeurteilung<sup>659</sup>

Die anlassbezogene Kritikalitätsbewertung ist gekennzeichnet durch eine qualitative Bewertung der Kriterien, da hierzu keine Anlagendaten vorliegen und wenn überhaupt, sehr wenige Daten in dokumentierter Form vorhanden sind. Diese Bewertung wird anlassbezogen durchgeführt, da das Bewusstsein der Wichtigkeit der Bewertung im Unternehmen noch nicht durchgängig vorhanden ist bzw. die Komplexität der Betrachtungseinheit nur eine anlassbezogene Bewertung zulässt. Der Schritt der Kritikalitätsbewertung beruht somit rein auf dem Fachwissen der Bewertenden.

Die qualitative Kritikalitätsbewertung ist durch den weitestgehend subjektiven Bewertungscharakter gekennzeichnet. Das resultiert aus der schlechten und nicht durchgängig für alle Anlagen vorhandenen Datenverfügbarkeit. Der Schritt der Kritikalitätsbewertung im Zuge des Kritikalitätsbeurteilungsprozesses basiert auch bei dieser Einstufung hauptsächlich auf Erfahrungswissen, das vereinzelt mit Daten bekräftigt wird.

Die semi-quantitative Kritikalitätsbewertung ist die erste Form der Kritikalitätsbewertung, bei der die Datenqualität und -verfügbarkeit so gut ist, dass teilweise auf Anlagendaten zur Bewertungsdurchführung zurückgegriffen werden kann. Diese Kritikalitätseinstufung

<sup>659</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 101.; Biedermann, H.; Kinz. A. (2021), S.173.

ist somit ein Zusammenspiel aus erfahrungsbasierten und datenbasierten Entscheidungen. Hier ist eine Systemunterstützung bereits denkbar.

Die quantitative Bewertung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Datenqualität und -verfügbarkeit so hoch ist, dass das Erfahrungswissen im Kriterienbewertungsprozess in den Hintergrund rückt. Hauptsächlich die Interpretation des Bewertungsergebnisses sowie die anschließende Risikoanalyse sind vom Fachwissen der Bewertenden abhängig. Um dementsprechend den Bewertungsaufwand zu minimieren, wird die Systemunterstützung ab dieser Stufe der Kritikalitätsbewertung empfohlen.

Die automatisierte Kritikalitätsbewertung, die bei sehr komplexen Unternehmen empfohlen wird, ist durch den objektiven Bewertungscharakter gekennzeichnet. Durch die einheitliche und gute Datenqualität der ausgewählten Kriterien und im besten Fall auch eine Echt-Zeit-Verfügbarkeit der Anlagendaten, ist eine automatisierte Kriterienbewertung möglich. Auch in diesem Fall gilt, dass lediglich der Bewertungsschritt automatisch erfolgt. Für die Vorbereitungsphase, die Interpretation sowie die anschließenden Detailanalysen ist Erfahrungswissen notwendig.

In diesem Einstufungsmodell sind sowohl Methoden zur Durchführung der Kriterienbewertung zur Identifikation kritischer Anlagen als auch Methoden zur nachgelagerten Risikobewertung enthalten.<sup>660</sup>

Wie bereits erwähnt, wird die Methodenauswahl nicht nur von der Komplexität, sondern auch von der vorliegenden Datenqualität und -verfügbarkeit bestimmt. Diese gibt das maximal, auf Grund der aktuellen Datenlage mögliche Instrumentenset vor.<sup>661</sup> Eine nähere Erläuterung der Methodenauswahl und der Voraussetzungen für die Anwendung des jeweilig zutreffenden Instrumentensets ist in Abschnitt 5.5.2 und Anhang B zu finden. Nach erfolgter Unternehmenscharakterisierung und Einstufung der Komplexität sowie der Vorauswahl des Instrumentensets zur Kritikalitätsbewertung auf Basis der Komplexitätseinstufung, erfolgt der zweite Schritt der Vorbereitungsphase, die Anlagenauswahl.

### **Anlagenauswahl**

Der nächste Schritt der Vorbereitungsphase ist die Anlagenauswahl. Dieser Schritt ist optional und muss individuell je Anwendungsfall auf Sinnhaftigkeit geprüft werden. Ob eine Durchführung erfolgt, hängt von der Größe des betrachteten Anlagenparks, sowie der ausgewählten Bewertungsebene für die Kritikalitätsbewertung ab.

Übergeordnetes Ziel dieses Vorbereitungsschrittes ist es, den Anlagenpark einzugrenzen um die relevantesten Anlagen – Schlüssel-, Engpassanlagen sowie die kritischsten aus Unternehmenssicht – zu identifizieren.<sup>662</sup> Entscheidend ist die Festlegung der Bewertungsebene in Abhängigkeit von der Komplexität der Anlagen. Die gewählte Bewertungsebene sollte einheitlich für die gesamten Betrachtungsobjekte sein.<sup>663</sup> Grundvoraussetzung hierfür und für eine vergleichende Bewertung ist eine

---

<sup>660</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 102.

<sup>661</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 102.

<sup>662</sup> Vgl. Hölbfer, Stefan (2014), S. 105.; Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 231.

<sup>663</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 50.; Passath, T.; Kinz, A. (2019), S. 18

einheitlich, hierarchisch aufgebaute Anlagenstruktur (Abbildung 46)<sup>664</sup>. In den meisten Fällen wird die Anlagen- oder Teilanlagenebene zur Bewertung herangezogen.<sup>665</sup> Als Richtwert sollte zumindest die Ebene der Kostenzuordnung herangezogen werden.

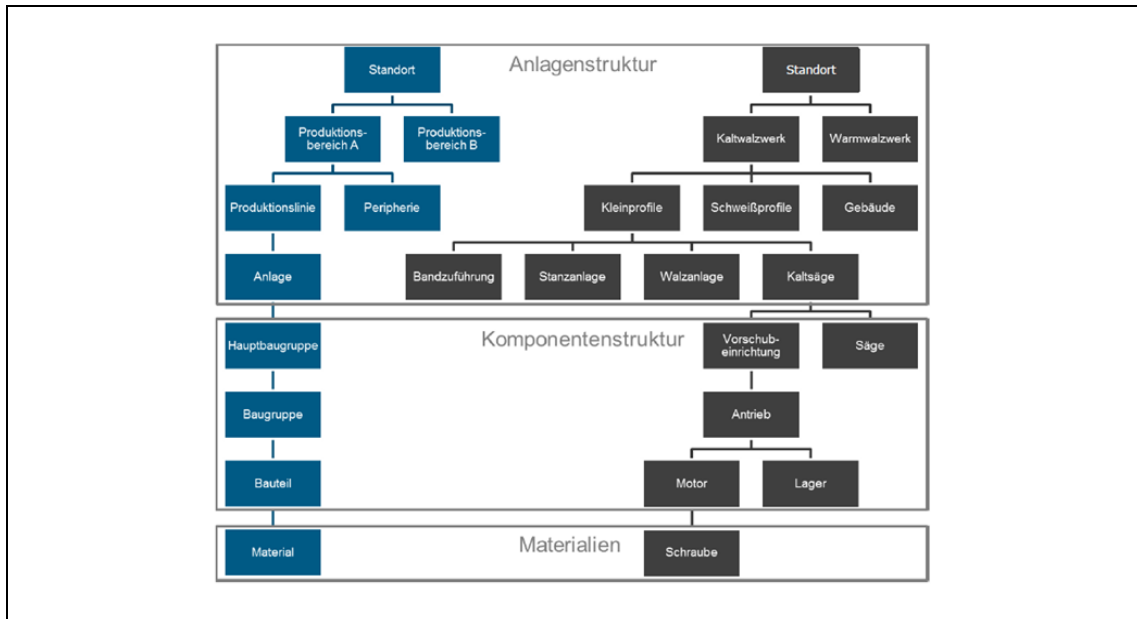


Abbildung 46: Beispielhafter Aufbau einer hierarchischen Anlagenstruktur<sup>666</sup>

Bei der Anlagenauswahl steht der Einfluss der Anlagen auf die Erfolgsfaktoren (Kosten, Zeit, Qualität, Umwelt und Flexibilität) im Mittelpunkt der Betrachtung. Je nach Größe des Anlagenparks können die Anlagen einzeln für sich bewertet oder zu Anlagengruppen (z.B. baugleiche Anlagen) zusammengefasst werden (Abbildung 47).

| Kriterium      | Anlage < 400€ | Anlagen >400-5000€ | <6000€ | Schlüsselanlagen |
|----------------|---------------|--------------------|--------|------------------|
| 💰 Kosten       | ★             | ★★★                | ★★★★★  | ★★★★★            |
| 🕒 Zeit         | ★★            | ★★                 | ★★★★   | ★★★★★            |
| 🏆 Qualität     | ★             | ★★                 | ★★     | ★★★              |
| 🌿 Umwelt       | ★             | ★                  | ★      | ★★★              |
| 🔄 Flexibilität | ★★★★★         | ★★                 | ★★★★   | ★★★★★            |

Legende: ★...geringe Beeinflussung    ★★...mittlere Beeinflussung  
 ★★★...große Beeinflussung    ★★★★...sehr große Beeinflussung

Abbildung 47: Beispielhafte Anlagengruppierung für die Anlagenvorauswahl<sup>667</sup>

Die Bewertung kann einerseits auf Basis des Einflusses der Anlagen auf die einzelnen Erfolgsfaktoren erfolgen. Andererseits können für die Bewertung auf Basis der Erfolgsfaktoren Kriterien abgeleitet werden, die Einfluss auf die Kritikalität haben, jedoch kurzfristig durch Anlagenoptimierungsmaßnahmen nicht beeinflussbar sind, wie beispielweise Redundanzen, Verkettungsgrad, Auswirkungen auf Sicherheit und Umwelt, um einige zu nennen<sup>668</sup>.

<sup>664</sup> Vgl. Bärenthaler, G. (1998), S. 510.

<sup>665</sup> Vgl. Passath, T.; Kinz, A. (2019), S. 18.

<sup>666</sup> Quelle: Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 50.

<sup>667</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 206.

<sup>668</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 95.

Für die erstgenannte Methode wird ein Bewertungssheet auf Excel Basis aus Gründen der Anwendbarkeit für die industrielle Praxis, das den Einfluss der Anlagen auf die jeweiligen Erfolgsfaktoren abbildet, verwendet (Tabelle 6). Der Einfluss der Anlagen auf den jeweiligen Erfolgsfaktoren wird mit „keinem Einfluss“, „gering“, „mittel“, und „hoch“ bewertet. Wichtig ist hierbei unternehmensspezifisch die Definition der einzelnen Ausprägungsstufen vorab festzulegen.

**Tabelle 6: Bewertungssheet zur Anlagenvorauswahl<sup>669</sup>**

| Anlagenpark                                       | Erfolgsfaktoren |     |          |     |      |     |             |     |             |     | Summe | Rang |
|---|-----------------|-----|----------|-----|------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------|------|
| Anlagenbezeichnung                                | Kosten          | 30% | Qualität | 20% | Zeit | 30% | Technologie | 10% | Mitarbeiter | 10% |       |      |
| Patent Membranbündelaufmachung mit Abstandshalter | 3               | 3,9 | 5        | 6   | 5    | 6,5 | 3           | 3,3 | 1           | 1,1 | 20,8  | 2    |
| Reaktor 3   | 5               | 6,5 | 3        | 3,6 | 3    | 3,9 | 1           | 1,1 | 3           | 3,3 | 18,4  | 3    |
| Schadstoffeffassungsanlage                        | 3               | 3,9 | 5        | 6   | 5    | 6,5 | 1           | 1,1 | 5           | 5,5 | 23    | 1    |
| Abgaswäscher                                      | 1               | 1,3 | 3        | 3,6 | 0    | 0   | 0           | 0   | 1           | 1,1 | 6     | 4    |

0...kein Einfluss; 1...geringer Einfluss; 3...mittlerer Einfluss; 5...großer Einfluss

Bei der Einflussbewertung auf Ebene der Erfolgsfaktoren wird die Gewichtung aus dem Schritt der Erhebung der Erfolgsfaktoren in das Bewertungssheet übernommen. Für jede Anlage der zuvor festgelegten Bewertungsebene wird der Beeinflussungsgrad bewertet. Die Zahlenwerte in Tabelle 7 sind ein Beispiel für die numerische Abbildung des Einflusses.

Das Ergebnis der Bewertung ist ein Zahlenwert bzw. eine Rangfolge, beginnend bei der Anlage, die den größten Einfluss auf die Erfolgsfaktoren hat. Wichtig ist es im Vorfeld festzulegen, ab welchem Beeinflussungsgrad je Kategorie<sup>670</sup>, ab welcher Gesamtpunkteanzahl<sup>671</sup> oder bis zu welchem Rang die Anlagen für die Kritikalitätsbewertung herangezogen werden. Das ist unternehmensspezifisch zu definieren und abhängig von der Anzahl der insgesamt zu bewertenden Anlagen. Als Richtwert kann angenommen werden, dass entweder zwei der fünf Kategorien mit der höchsten Beeinflussung bewertet werden<sup>672</sup>, oder eine Gesamtpunkteanzahl über 20 vorliegen muss, um diese Anlagen im Zuge der Kritikalitätsbewertung zu betrachten.

Eine etwas detailreichere Anlagenvorauswahl wird durch die Bewertung anhand nicht änderbarer Kriterien erzielt (Tabelle 7). Hierzu werden auf Basis der Erfolgsfaktoren Kriterien definiert, die durch eine Instandhaltungsstrategieanpassung nicht zeitnah veränderbar sind. Für jedes der Kriterien werden Ausprägungsstufen definiert und diesen Bewertungspunkte hinterlegt. Auch im Fall dieser Anlagenauswahlmethodik wird die Gewichtung der Erfolgsfaktoren miteinbezogen. Es werden alle Anlagen anhand der ausgewählten Kriterien bewertet. Folglich ist es auch in diesem Fall entscheidend im Vorfeld Grenzen zu definieren, ab wann eine Anlage für die Kritikalitätsbewertung herangezogen wird.

<sup>669</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>670</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 206.

<sup>671</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 95.

<sup>672</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 206.

**Tabelle 7: Bewertungssheet zur Anlagenvorauswahl mit Kriterien der Erfolgsfaktoren<sup>673</sup>**

|               |   |  |                      |   |                                     |  |   |   |                                |                        |        |        |
|---------------|---|--|----------------------|---|-------------------------------------|--|---|---|--------------------------------|------------------------|--------|--------|
| gering (1)    | Ausweichmöglichkeit vorhanden / keine Redundanz notwendig | Ausfall kann innerhalb einer Produktionswoche kompensiert werden           | <50%                 | Anlagenausfall resultiert in keiner Abweichung  | <100.000€                           | Mitarbeiter können ohne Probleme in anderen Produktionen eingesetzt werden | Ausfall erzeugt kaum Unzufriedenheit      | <5.000                                  | kein Risiko                    | kein Risiko            |        |        |
| mittel (2)    | thw. Ausweichmöglichkeit                                  | Ausfall kann innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden       | 50%-80%              | Anlagenausfall resultiert potentiell in einer Abweichung (z.B. Abhängigkeit von Ausfallzeitpunkt) | 100.000€-250.000€                   | Mitarbeiter können teilweise in anderen Produktionen eingesetzt werden     | Ausfall erzeugt teilweise Unzufriedenheit | 5.000-15.000                            | mittleres Risiko / SIF         | mittleres Risiko / SIF |        |        |
| hoch (3)      | keine Ausweichmöglichkeit                                 | Ausfall kann nicht innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden | >80%                 | Anlagenausfall resultiert in einer Abweichung   | >250.000€                           | Mitarbeiter können nicht in anderen Produktionen eingesetzt werden         | Ausfall erzeugt hohe Unzufriedenheit      | >15.000                                 | großes Risiko / SIF            | großes Risiko / SIF    |        |        |
|               |   | <b>Stabilität</b>  |                      | <b>Qualität (SCRAP)</b>   |                                     | <b>Mitarbeiter</b>   |   | <b>Kosten</b>                           | <b>Umwelt &amp; Sicherheit</b> |                        |        |        |
| Bereich-Linze | Redundanz   | Produktionsplanung   | Auslastung/Beplanung | Abweichung  | Anlagenausfall resultierender SCRAP | Umplanbarkeit  | Zufriedenheit                             | Ausfallkosten (Überstunden & Reparatur) | Mensch                         | Umwelt                 | M1-Sum | M2-Sum |
| Anlage 1      | 3   | 2  | 2                    | 3   | 2                                   | 1  | 3   | 3                                       | 1                              | 1                      | 2,1911 | WAHR   |
| Anlage 2      | 1   | 1  | 1                    | 2   | 1                                   | 1  | 1   | 1                                       | 1                              | 1                      | 1,1085 | FALSCH |

Nach erfolgter Systemanalyse und Anlagenvorauswahl ist der nächste Schritt der Vorbereitungsphase die Kriterienauswahl und -definition.

**Kriterienauswahl und -definition**

Einer der entscheidendsten Schritte der Kritikalitätsbeurteilung ist die Kriterienauswahl und -definition, da diese die Grundlage einer erfolgreichen Bewertungsdurchführung und in Folge dessen einer gezielten Anlagenoptimierung bildet.<sup>674</sup> Die Grundlage für die Kriterienauswahl ist die Unternehmenscharakterisierung mit Hilfe der Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung, um die Kriterien auszuwählen, die aus normativer, strategischer und operativer Sicht die größten Auswirkungen auf die Effizienz und Effektivität der Anlagen haben.<sup>675</sup> Die Charakteristika der Morphologie, die direkt Auswirkung auf die Anlage haben, werden einer literaturbasierten und aus Projekterfahrung abgeleiteten Kriterienliste gegenübergestellt (Tabelle 8 auszugsweise bzw. Anhang A).<sup>676</sup>

**Tabelle 8: Auszug aus der Einflussbewertung der Kriterien auf die Charakteristika der Morphologie<sup>677</sup>**

|                 |                       | Stabilität           |      | Qualität             | Umwelt und Sicherheit                   |                          |
|-----------------|-----------------------|----------------------|------|----------------------|---|--------------------------|
|                 |                       | Anlagenverfügbarkeit | MTBF | Nachbearbeitungszeit | Ressourcenverbrauch-/Produktionsbereich | Energieverbrauch/Produkt |
| Auslastung      | Morphologie           |                      |      |                      |   |                          |
|                 | <50%                  | 1                    | 1    | 1                    | 1                                       | 1                        |
|                 | 50-70%                | 3                    | 3    | 3                    | 3                                       | 3                        |
|                 | 70-90%                | 3                    | 3    | 3                    | 3                                       | 3                        |
|                 | 90-99%                | 5                    | 5    | 5                    | 5                                       | 5                        |
| Verkettungsgrad | 100%                  | 5                    | 5    | 5                    | 5                                       | 5                        |
|                 | Keine                 | 3                    | 1    | 1                    | 3                                       | 3                        |
|                 | lose                  | 3                    | 1    | 1                    | 3                                       | 3                        |
|                 | gering ohne Taktzwang | 3                    | 3    | 3                    | 3                                       | 3                        |
|                 | Starr mit Taktzwang   | 5                    | 5    | 5                    | 5                                       | 5                        |

<sup>673</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 112.

<sup>674</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020b), S. 51.; Passath, T. et al. (2020a), S. 206.

<sup>675</sup> Vgl. Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 366; Passath, T. et al. (2020b), S. 52.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 149.

<sup>676</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 96.

<sup>677</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 96., die vollständige Einflussbewertungstabelle ist im Anhang A zu finden

Bei dem verwendeten Kriterienkatalog werden vorwiegend Kriterien, die sich auf die Effektivität auswirken, wie beispielsweise die Ausschussrate oder Ausfallzeit, aber auch Kriterien, die für eine Effizienzsteigerung wichtig sind, wie die Instandhaltungsintensität betrachtet (Tabelle 9 auszugsweise, Gesamtkatalog in Anhang A).<sup>678</sup>

**Tabelle 9: Kriterienkatalog für die Kritikalitätsbewertung<sup>679</sup>**

| Zugehörigkeit | Kriterium         | Beschreibung  | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit) | Output (Effektivität) |
|---------------|-------------------|---|--|--|-----------------------|
| Kosten        | IH-Intensität     | Die IH-Intensität stellt die Beziehung zwischen Instandhaltungskosten und dem Wiederbeschaffungswert einer Anlage dar   | $(\text{Jährliche Instandhaltungskosten} / \text{Wiederbeschaffungswert der Anlage}) * 100$        | X                                      |                       |
|               | Vorbeugungsgrad   | Der Vorbeugungsgrad gibt Auskunft wieviel der Gesamtkosten auf vorbeugende Instandhaltung fällt   | $(\text{Kosten für vorbeugende IH-Maßnahmen} / \text{Gesamte IH-Kosten}) * 100$                    | X                                      |                       |
| Zeit          | Durchlaufzeit IH  | Durchlaufzeit IH gibt die Gesamtzeit die zur Durchführung der IH-Tätigkeit gebraucht wird wieder  | $\text{Summe Durchlaufzeiten aller Aufträge} / \text{summe Aufträge gesamt}$                       | X                                      |                       |
|               | Ausfallzeit       | Die Ausfallzeit der Anlage beschreibt die Anzahl an Stunden einer Periode, in denen die Anlage still gestanden ist in Bezug auf die Gesamtbetriebszeit der Anlage | $(\text{Ausfallzeit pro Anlage} / \text{Betriebszeit pro Anlage})$                                 |  | X                     |
| Qualität      | Liefertermintreue | Die Liefertermintreue bringt zum Ausdruck ob alle Aufträge planmäßig gefertigt wurde oder es zu Lieferengpässen kommt   | $(\text{Summe Aufträge ohne Verzug} / \text{Summe aller Aufträge}) * 100$                          |  | X                     |
|               | Ausschussrate     | Die Ausschussrate stellt die Anzahl der Ausschussteile, der gesamten Produktionsmenge einer Periode gegenüber   | $(\text{Anzahl der Ausschussteile einer Periode} / \text{gesamte Produktionsmenge einer Periode})$ |  | X                     |

Es ist unabdingbar beide Seiten für eine dauerhafte Wertschöpfungssteigerung zu betrachten, da kurzfristig durch die Instandhaltungsstrategieoptimierung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung der Output bzw. die Effektivität, wie es die Smart Seite der Lean Smart Maintenance Philosophie fordert, gesteigert wird. Jedoch die langfristigen Folgen der Optimierung in der Effizienzsteigerung, der Lean-Seite von LSM sichtbar werden.

Die vordefinierte Kriterienliste kann bei Bedarf um unternehmensspezifische Kriterien, wie beispielsweise die Sicherstellung der Patientenversorgung, wie es bei pharmazeutischen Unternehmen gewünscht sein kann, ergänzt werden. Diese Kriterienliste ist jeweils an das betrachtete Unternehmen und den bereits definierten Erfolgsfaktoren, sowie deren Morphologie anzupassen, um gegebenenfalls Kriterien zu entfernen.

Die Bewertung des Einflusses der Kriterien auf die jeweilige Ausprägungsform des Charakteristikums der Morphologie ist mit Experten der Instandhaltung und Produktion sowie aller anlagenrelevanter Bereiche durchzuführen. Hierbei ist das Domänenwissen der Beteiligten entscheidend. Es wird zwischen den Ausprägungsformen „nicht / wenig wichtig“, „mäßig wichtig“ und „sehr wichtig“ unterschieden. Diese Bewertung ist allgemeingültig und kann bei der Durchführung ohne Anpassung zur Kriterienauswahl herangezogen werden.

Zur Logik der Bewertung des Einflusses ist zu sagen, dass bei einer Anlagenauslastung von <50% beispielsweise die Verfügbarkeit als wenig wichtig zu bewerten ist. Bei einer Auslastung von 100% hingegen ist sie als sehr wichtig zu bewerten, da eine Störung nicht kompensiert werden kann. Jedoch ist die Auslastung immer in Relation zum Schichtmodell zu bewerten.

Jeder Gegenüberstellung einer Ausprägungsform zu einem Kriterium ist ein Zahlenwert hinterlegt. Gemäß der morphologischen Einstufung des betrachteten Unternehmens

<sup>678</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021b), S. 229 f.

<sup>679</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Biedermann, H. (1985), S. 36 ff.; Matyas, K. (2010), S. 94 ff.; Kinz, A. et al. (2017), Anhang.



bzw. strategischen Geschäftsfeldes errechnet sich je Kriterium ein aufsummierter Wert. Dieser Wert wird im nächsten Schritt mit der Gewichtung der Erfolgsfaktoren multipliziert, um den Kriterien, die zu einem höhergewichteten Erfolgsfaktor zählen, mehr Gewichtung zu geben (siehe Anhang A). Um eine Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse zu erreichen, werden diese mit der maximal erreichbaren Punktezahl normiert, da nicht für jedes Kriterium die gleiche Maximalpunktzahl erreichbar ist. Anschließend werden die Ergebnisse gereiht. Um nicht unzählige Kriterien für die Kriterienbewertung heranzuziehen, ist eine Einschränkung unabdingbar<sup>680</sup>. Hier wird das Pareto-Prinzip als Hilfestellung herangezogen. Dadurch werden die 20% der Kriterien ausgewählt, die 80% der Anforderungen gemäß Morphologie erfüllen. Wichtig ist hierbei, dass je nach Kritikalitätseinstufung unterschiedliche Kriterienkategorien in der Bewertung vorhanden sein sollten (Abbildung 48).

Je nach Instrumentenset der Kritikalitätsbewertung und je nach Grad an Automatisierung der Bewertung, sollten nicht mehr als 15 Kriterien für die Bewertung, wenn diese nicht quantitativ möglich ist, herangezogen werden, um den Bewertungsaufwand in Grenzen zu halten.

Bei den ausgewählten Kriterien ist es wichtig zusätzlich auf Doppelgleisigkeiten zu achten<sup>681</sup>. Wenn beispielsweise die Verfügbarkeit und Stördauer zu den wichtigsten Kriterien zählen, sollte im Zuge der Datenanalyse das Kriterium ausgewählt werden, das die bessere Datenverfügbarkeit und -qualität aufweist.

|   | Anlassbezogene Kritikalitätsbewertung                         | Qualitative Kritikalitätsbewertung                            | Semiquantitative Kritikalitätsbewertung   | Quantitative Kritikalitätsbewertung                                 | Automatisierte Kritikalitätsbewertung   |
|---|---|---|---|---|---|
| Kriterienbewertungsart und mind. Kriterienkategorie | Kreativitätstechniken<br>Kriterienbewertung<br>• \$<br>• Zeit | Kreativitätstechniken<br>Kriterienbewertung<br>• \$<br>• Zeit | Kriterienbewertung<br>• Drei wichtigsten EF-Bereiche<br>(z.B. \$, Zeit, Qualität) | Kriterienbewertung<br>• \$, Zeit, Qualität,<br>Umwelt, Flexibilität | Kriterienbewertung<br>• Alle Erfolgsfaktoren<br>umfassender<br>Kriterienkatalog |

**Abbildung 48: Definierte Kriterienkategorien je Kritikalitätsbewertungseinstufung<sup>682</sup>**

Die vorhandene Datenqualität und -verfügbarkeit ist ausschlaggebend für das zu verwendende Instrumentenset, sowie die Bewertungsform – qualitativ, semiquantitativ oder quantitativ – der Kriterien.<sup>683</sup>

Qualitative, auch latente Kriterien sind nur bedingt messbar, subjektiv zu bewerten und in der Regel können ihnen keine Zahlenwerte hinterlegt werden.<sup>684</sup> Weiters sind sie vergangenheitsorientiert, werden durch Erfahrungswissen definiert, was sie ungeeignet für eine automatische Kritikalitätsbewertung macht.<sup>685</sup> Umso wichtiger ist es dieser Art von Kriterien eine eindeutige Beschreibung zu hinterlegen, sodass das Bewertungsergebnis dieses Kriteriums unabhängig vom Bewertenden reproduzierbar

<sup>680</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 227.; Schwießelmann, J. (2014); Kleindienst, B. (2016)

<sup>681</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 96.

<sup>682</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>683</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2016), S. 11.; Kinz, A. et al. (2017), S. 191.; Passath, T. et al. (2020b), S. 51.

<sup>684</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Schneck, O. (2006), S. 32 f.; Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 229.; Kinz, A.; Biedermann, H. (2016), S. 17.; Kinz, A. et al. (2017), S. 191.

<sup>685</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 191.

ist.<sup>686</sup> Um latente Kriterien messbar und objektiv bewertbar zu machen, werden diese operationalisiert. Diese ist vor allem ab einer quantitativen Kritikalitätsbewertung notwendig. Hierzu sind direkt beobachtbare Indikatoren je Kriterium zu definieren, die allgemeingültig sind und Auswirkung auf das jeweilige Kriterium haben.<sup>687</sup>

Für die Mitarbeiterzufriedenheit beispielsweise können Indikatoren abgeleitet aus der Zielsetzungstheorie nach LATHAM und LOCKE, wie beispielsweise flexible Arbeitszeiten, das Aufgabenspektrum, Mitsprache- sowie Entscheidungsrechte, die Wertschätzung, Zielvorgaben und Förderung durch den Vorgesetzten ausschlaggebend sein.<sup>688</sup> Nach der Definition der Indikatoren erfolgt die Hypothesenbildung, um die Beziehungen zwischen den Indikatoren auf das jeweilige Kriterium zu verdeutlichen.

Am Beispiel des Kriteriums „Mitarbeiterzufriedenheit“ könnte eine der dazugehörigen Hypothesen wie folgt: „Je flexibler die Arbeitszeiten sind, desto höher ist die Mitarbeiterzufriedenheit“ lauten. Hierbei ist die Flexibilität die unabhängige und die Mitarbeiterzufriedenheit die abhängige Variable<sup>689</sup>.

Nachfolgend werden für die jeweiligen Indikatoren Korrespondenzregeln definiert, um die definierten Faktoren messbar zu machen. Ziel ist es festzustellen, ob der durch einen theoretischen Begriff bezeichnete Sachverhalt vorliegt und in welcher Ausprägung. Den jeweiligen Antwortmöglichkeiten werden Zahlenwerte hinterlegt, um die Bewertungen vergleichbar zu machen.<sup>690</sup> Für die Mitarbeiterzufriedenheit würde die Abfrage wie in Abbildung 49 dargestellt, aussehen.

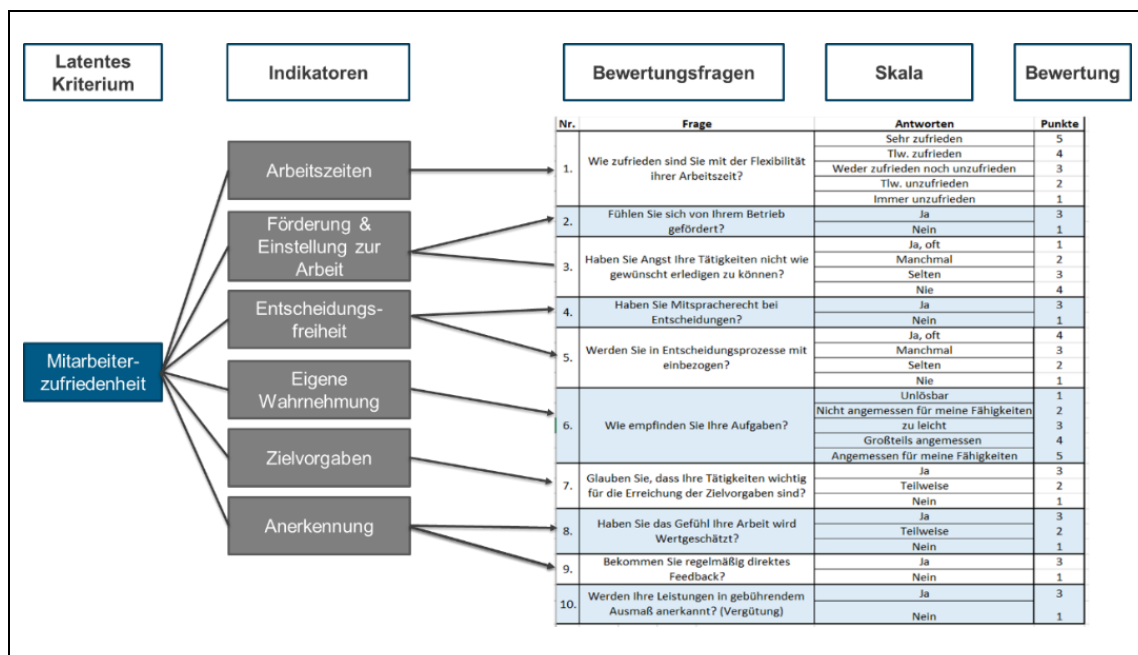


Abbildung 49: Fragebogen zur Operationalisierung von Kriterien<sup>691</sup>

<sup>686</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2016), S. 13.

<sup>687</sup> Vgl. Mayer, H. O. (2004), S. 71ff.; Ebert, T.; Raithel, S. (2009), S. 125

<sup>688</sup> Vgl. Latham, G. P.; Locke, E. A. (1991), S. 213.; Locke, E. A.; Latham, G. P. (2002), S. 702.; Locke, E. A.; Latham, G. P. (2006), S. 256 ff.; West, R. L. et al. (2013), S. 442 ff.

<sup>689</sup> Vgl. Mayer, H. O. (2004), S. 71 ff.

<sup>690</sup> Vgl. Kühnel, S.-M.; Krebs, D. (2001), S. 25 ff.

<sup>691</sup> Quelle: Eigene Darstellung

Je höher der errechnete Wert über alle Fragen hinweg ist, desto besser ist die Mitarbeiterzufriedenheit einzustufen. Wichtig für die einheitliche Bewertung ist es genau zu definieren ab welchem Zahlenwert eine geringe, mittlere und hohe Mitarbeiterzufriedenheit vorliegt.

Wichtig ist auch hier, die Indikatoren sowie die dazugehörige Bewertungsskala unternehmensspezifisch festzulegen.

Quantitative Kriterien hingegen sind aus Messungen gewonnene Informationen<sup>692</sup>, die direkt aus dem ERP-System gewonnen werden.<sup>693</sup> Ihnen können eindeutige Zahlenwerte zugeordnet werden, was die Grundlage einer quantitativen Kritikalitätsbewertung darstellt. Je höher die vorherrschende Datenqualität ist, desto mehr quantitative Kriterien können für die Bewertung herangezogen werden und ein objektiveres Bewertungsergebnis wird erreicht.

In dem Fall der quantitativen Bewertung ist der menschliche Einfluss im Bewertungsprozess überschaubar bzw. nicht gegeben, was Fehlbewertungen wegen unzureichender Qualifizierung oder Unsicherheit ausschließt. Die wesentlichen Unterschiede zwischen qualitativen und quantitativen Kriterien hinsichtlich des Bewertungsprozesses sind in Tabelle 10 angeführt.

**Tabelle 10: Unterschiede zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien<sup>694</sup>**

|   | <b>Quantitative Kriterien</b>   | <b>Qualitative Kriterien</b>                 |
|---|---|--|
| <b>Einmaliger Aufwand bei Modellentwicklung</b>         | Abhängig von vorhandenen Daten und deren Qualität   | Gering                                       |
| <b>Aufwand zur Modellanwendung</b>                      | Abhängig von vorhandenen Daten und deren Genauigkeit<br>Gering nach einmaliger Kriterienauswahl | Hoch   |
| <b>Menschlicher Einfluss auf das Bewertungsergebnis</b> | Gar nicht bis gering  | Hoch   |
| <b>Anpassung Bewertungsgrenzen</b>                      | Unproblematisch   | Meist komplette Neubewertung notwendig       |
| <b>Periodische Neubewertung</b>                         | Bei Integration in IPSA-System kein Aufwand, sonst gering                                       | Aufwändige Neubewertung aller Anlagen        |
| <b>Automatisierte Anlagenbewertung</b>                  | Bei Integration in IPSA-System möglich  | Nicht möglich, da keine Messwerte hinterlegt |

Nach erfolgter Kriterienselektion ist der nächste Schritt den Kriterien eine einheitliche Definition sowie eine Berechnungsformel zu hinterlegen, sowie die Ausprägungsformen

<sup>692</sup> Vgl. Sturm, A. (1996), S. 21., Ahnsen, A. (2006)., S. 32 f.

<sup>693</sup> Vgl. Bernerstätter, R. et al. (2016), S. 25 ff.; Passath, T.; Huber, C. (2019), S. 9.

<sup>694</sup> In Anlehnung an: Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 229.; Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 174.

je Kriterium zu definieren<sup>695</sup>. Hierzu ist es empfehlenswert ein Kriteriendefinitionsblatt<sup>696</sup> (Abbildung 50) zu verwenden (siehe Kapitel 6, Fallstudien 2 und 3), um einen einheitlichen Standard über alle Kriterien hinweg zu schaffen, die Transparenz zu erhöhen sowie die Nachverfolgbarkeit der Kriterien zu gewährleisten.<sup>697</sup>

**Planungsgrad IH**

**Definition**  
Der Planungsgrad gibt an, wie groß der Anteil der durchgeführten präventiven IH-Maßnahmen an der Gesamtzahl der IH-Maßnahmen ist.

**Kennzahl-Formel**

$$= \left( \frac{\sum \# \text{ Vorbeugende IH Maßnahmen}}{\sum \# \text{ Gesamte IH Maßnahmen}} \right) * 100$$

**Bewertungsform**  
quantitativ

**Datenverfügbarkeit**  
gut

**Datenherkunft**  
SAP (MC18, IW49N), bzw. zukünftig über QLIK (globales KPI Tool)

**Kleinste Ebene der Datenerhebung**  
Technischer Platz

**Ausprägungsformen**  
Untergrenze:0, Obergrenze:1  
1: >0,63  
2: 0,39-0,63  
3: <0,38

**Datenqualität**  
Gut

**Abbildung 50: Beispielhaftes Kriteriendefinitionsblatt<sup>698</sup>**

Die Ausprägungsformen je Kriterium, die auch Teil des Kriteriendefinitionsblatts sind, sind wesentlich für die eigentliche Kriterienbewertung, da die Anlagen nach ihnen bewertet werden.<sup>699</sup> Je nachdem ob es sich um ein qualitatives oder quantitatives Kriterium handelt, erfolgt die Definition der Ausprägungsformen auf unterschiedliche Weise. Für qualitative Kriterien werden die Ausprägungsformen auf Basis von Erfahrungswerten sowie einem internen Benchmark definiert. Für quantitative Kriterien hingegen resultieren die Ausprägungsformen aus statistischen Auswertungen wie beispielsweise dem Mittelwert, der Standardabweichung, Minimum und Maximum oder dem Perzentil,<sup>700</sup> sowie direkt aus dem ERP-System.

Parallel zur Kriteriendefinition findet die Datenqualitäts- und Datenverfügbarkeitsanalyse für jedes Kriterium statt, um zu ermitteln, ob eine quantitative oder qualitative Datenerhebung zu erfolgen hat. Nachfolgend wird die Datenanalyse, die Teil der Kritikalitätsanalyse ist, im Detail erläutert. Die Ergebnisse daraus werden im Kriteriendefinitionsblatt festgehalten.<sup>701</sup>

<sup>695</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 227.; Kinz, A.; Biedermann, H. (2016), S. 11

<sup>696</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Kleindienst, B. (2017), S. 150.

<sup>697</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 95 f.

<sup>698</sup> Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 96.

<sup>699</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 224 ff.

<sup>700</sup> Vgl. Ecker, S. (2021), S. 16.

<sup>701</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 97.; Kleindienst, B. (2016), S. Anhang A

## 5.5.2 Kritikalitätsanalyse

### Datenqualitäts- / -verfügbarkeitsanalyse

In dem Schritt der Datenqualität- und -verfügbarkeitsanalyse, die ein Teilprozess der Kritikalitätsanalyse ist, wird der Datenreifegrad hinsichtlich der ausgewählten Kriterien für die auserwählten Anlagen evaluiert, um das der Datenreife entsprechende Instrumentenset für die Kritikalitätsbewertung zu identifizieren. Der festgestellte Datenreifegrad wird mit der Komplexitätseinstufung der betrachteten Einheit abgeglichen und falls vorhanden der Gap identifiziert. Falls eine Abweichung der Reifegrade zutrifft, sind auf Basis der Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung Maßnahmen zur Steigerung der Datenqualität und -verfügbarkeit abzuleiten. Somit handelt es sich um eine geeignete Methode um Transparenz der jeweiligen Datenreife hinsichtlich der Kritikalitätsbeurteilung zu schaffen, sowie zur Darstellung und Ableitung der notwendigen Verbesserungen zur Steigerung der Datenverfügbarkeit und -qualität.

Den ersten Schritt der Datenanalyse bildet die Überprüfung der Verfügbarkeit, der für die Erfassung bzw. Berechnung der ausgewählten Kriterien notwendigen Daten, sowie die Ebene der Datenerhebung, die bereits im Zuge der Anlagenauswahl festgelegt wurde. Es können sowohl unterschiedliche Datenquellen als auch nur eine einzige für den Datenbezug der Anlagendaten verwendet werden, was für eine einheitliche Bewertung von Vorteil wäre. Im Zuge der Datenanalyse wird überprüft ob, die Daten auf der festgelegten Bewertungsebene über alle Bewertungsobjekte hinweg vorhanden sind und eine quantitative Bewertung des Kriteriums möglich ist, oder ob die Datenverfügbarkeit nicht ausreichend ist. Nach der Evaluierung der Datenverfügbarkeit der einzelnen Kriterien erfolgt im nächsten Schritt die Überprüfung der Anwendbarkeit.<sup>702</sup>

Ob die ausgewählten Kriterien qualitativ oder quantitativ bewertet werden, hängt von der bereits überprüften Verfügbarkeit aber auch der Datenqualität ab.<sup>703</sup> Der Ist-Stand der Datenqualität und Verfügbarkeit wird mit einem Datenreifegradmodell, das angelehnt an das Datenreifegradmodell von BERNERSTÄTTER<sup>704</sup> und des „Digital Opportunities Assessments“<sup>705</sup> eines pharmazeutischen Unternehmens entwickelt wurde, erhoben.

Das Reifegradmodell ist in die folgenden fünf Reifegrade unterteilt:

- Chaotische Daten
- Semi-strukturierte Daten
- Strukturierte Daten
- Automatisierte Daten
- Echt-Zeit Daten

Diese werden anhand von sechs Kategorien angefangen von der Datenerfassung bis zur Datenarchitektur und den Systemstandards bewertet (Abbildung 51)<sup>706</sup>.

---

<sup>702</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 97 ff.

<sup>703</sup> Vgl. Kinz, A. (2017b), S. 191.; Passath, T. et al. (2020a), S. 206.

<sup>704</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S.96 ff.

<sup>705</sup> Takeda Austria GmbH (2021)

<sup>706</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 98.

|                  | Chaotische Daten | Semi-strukturierte Daten | Strukturierte Daten | Automatisierte Daten | Echt-Zeit Daten |
|------------------|------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| Datenerfassung   |                  |                          |                     |                      |                 |
| Datenhaltung     |                  |                          |                     |                      |                 |
| Datenumfang      |                  |                          |                     |                      |                 |
| Datenkonsistenz  |                  |                          |                     |                      |                 |
| Datenarchitektur |                  |                          |                     |                      |                 |
| System-standards |                  |                          |                     |                      |                 |

**Abbildung 51: Aufbau des Reifegradmodells für die Kritikalitätsbeurteilung<sup>707</sup>**

Nachfolgend werden die sechs Charakteristika zur Ermittlung des Datenreifegrades sowie die einzelnen Datenreifegrade im Detail erläutert.

### Datenerfassung

Die Kategorie „Datenerfassung“ umfasst die Arten der Datenaufzeichnung bzw. -erhebung. Sie bildet die Grundlage für eine quantitative Kritikalitätsbewertung und ist wesentlich für den damit verbundenen Ressourcenaufwand. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten Daten zu erfassen. Angefangen von manuell oder automatisch, digital, nicht digital bis hin zur Unterteilung hinsichtlich des Erfassungsintervalls, ob dieser regelmäßig oder unregelmäßig ist.<sup>708</sup> Wohingegen die manuelle Datenerfassung auf den Menschen angewiesen ist, erfolgt die automatische Datenerfassung unabhängig vom System selbst.<sup>709</sup> Bestmögliche Ergebnisse werden durch eine automatische, digitale und regelmäßige Datenerfassung erzielt. Im Falle der quantitativen Kritikalitätsbewertung sind die Mindestanforderungen eine digital-automatische-unregelmäßige Datenerfassung.

Weitere Kombinationsmöglichkeiten sind die folgenden:<sup>710</sup>

- Digital-manuell-regelmäßig:  
Instandhaltungsdaten zu präventiven Instandhaltungstätigkeiten werden regelmäßig in Terminals oder über mobile Devices eingegeben.
- Digital-manuell-unregelmäßig:  
Reaktive Instandhaltungstätigkeiten werden über mobile Devices oder an Terminals erfasst.
- Digital-automatisch-regelmäßig:  
Sensorgestützte Erfassung von Zustandsparameter der Anlagen.
- Digital-automatisch-unregelmäßig:  
Die Datenaufzeichnung erfolgt, nachdem ein Trigger automatisch durch eine Änderung eines Sensor-Wertes oder des Maschinenstatus ausgelöst wurde.

<sup>707</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>708</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 114 f.

<sup>709</sup> Vgl. Bogaschewsky, R.; Müller, H. (2016), S. 1.

<sup>710</sup> Vgl. Ecker, S. (2021), S. 35.

Händische Aufzeichnungen sind bei den Kombinationsmöglichkeiten nicht digital-manuell-regelmäßig und nicht digital-manuell-unregelmäßig vorhanden.<sup>711</sup> Diese Datenerfassungen liegen teilweise bei der qualitative sowie der semi-quantitativen Kritikalitätsbewertung vor.

Auf Basis der Datenerfassung resultieren auch deren Glaubwürdigkeit, Fehlerfreiheit und Vollständigkeit, welche bei einer systemgestützten Erfassung deutlich höher einzustufen sind, als bei einer nicht standardisierten, händischen Erhebung.<sup>712</sup>

- **Glaubwürdigkeit**

Die Glaubwürdigkeit gibt darüber Auskunft, wie vertrauenswürdig die vorliegenden Daten sind. Je höher der Automatisierungsgrad der Datenerfassung und je geringer der menschliche Einfluss, desto höher ist die Glaubwürdigkeit einzustufen.<sup>713</sup>

- **Fehlerfreiheit**

Fehlerfreiheit ist gegeben, wenn die Daten mit der Realität übereinstimmen. Hierfür ist eine gut aufgebaute Datenarchitektur entscheidend, da diese ein fehlerhaftes Ausfüllen von Dateneinträgen unterbindet und so Ungenauigkeiten reduziert werden.<sup>714</sup> Ausschlaggebend für die Fehlerfreiheit ist die Art der Datenerfassung. Auch hier gilt, je höher der Automatisierungsgrad, desto eher kann von Fehlerfreiheit gesprochen werden. Validierungsprüfungen können zusätzlich zur Sicherstellung der Fehlerfreiheit eingesetzt werden.<sup>715</sup>

- **Vollständigkeit**

Dieser Parameter repräsentiert die verlustfreie Erfassung der Daten, welche durch die Vollständigkeit der Eintragungen (z.B. Datenfelder) erhoben wird. Fehlende Daten können unterschiedliche Gründe haben. Sie können durch gelöschte Daten oder auf fehlende Eintragungen zurückzuführen sein.<sup>716</sup>

Die beste Datenerfassung (Reifegrad 5) liegt bei einer automatischen, digitalen, weitestgehend echtzeitbasierten Datenerfassung, die in regelmäßigen Abständen durchgeführt wird, vor. Dieser Reifegrad entspricht den Voraussetzungen einer automatisierten Kritikalitätsbewertung.

### Datenhaltung

Die zweite Kategorie zur Charakterisierung der Datenqualität ist die Datenerhaltung, die die Datenbereitstellung und den -transfer beleuchtet. Sie berücksichtigt die Schnittstellen zum Datentransfer und die für die Speicherung der Daten notwendige Datenarchitektur. Die Datenarchitektur wird gesondert in der gleichnamigen Kategorie betrachtet. Schnittstellen sowie die Kompatibilität zwischen den Systemen<sup>717</sup> sind wesentlich für

---

<sup>711</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 116.

<sup>712</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 119.; Passath, T. et al. (2021a), S. 99.

<sup>713</sup> Vgl. Haegemans, T. et al. (2018), S. 12.

<sup>714</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 50 f.

<sup>715</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 113.

<sup>716</sup> Vgl. Kuhn, M.; Johnson, K. (2013), S. 41.; zitiert nach: Bernerstätter, R. (2019), S. 111.

<sup>717</sup> Vgl. Reder, L. et al. (2018), S. 13.

eine gute Datenqualität und Übertragung von Daten.<sup>718</sup> Umso wichtiger ist es die Daten mit geringstem Aufwand zwischen den Systemen übertragen zu können. Im besten Fall verläuft diese Übertragung in Echtzeit, was das Risiko eines Datenverlustes und einer Falscheintragung verringert. Hier sind die Datenhistorie, die Zugänglichkeit<sup>719</sup> und die Bearbeitbarkeit der Daten die entscheidenden Faktoren.

- **Historisierung**

Darunter ist eine lückenlose und überschneidungsfreie Speicherung der Daten zu verstehen. Wichtig ist, dass der Speicherort bekannt ist, Daten permanent gespeichert werden und je nach Bedarf abrufbar sind.<sup>720</sup>

- **Zugänglichkeit**

Entscheidend für die Durchführung der Kritikalitätsbewertung ist das Attribut der Zugänglichkeit. Die Speicherung der Daten, ihre Abrufbarkeit sowie das Format, in dem sie gespeichert sind, sind wesentliche Faktoren, die Einfluss auf die Zugänglichkeit haben<sup>721</sup> und den Aufwand für die Bewertung dementsprechend bei einer schlechten Ausprägung negativ beeinflussen.

- **Bearbeitbarkeit**

Die Bearbeitbarkeit beschreibt, inwieweit Daten veränderbar sind bzw. ob die verwendeten Datenformate ohne Probleme für Analysezwecke verwendet werden können oder erst umgewandelt bzw. angepasst gehören.<sup>722</sup> Vor allem für die quantitative Kritikalitätsbewertung ist die Bearbeitbarkeit entscheidend, um einen reibungslosen Verlauf der Bewertung gewährleisten zu können.

### Datenumfang

Diese Kategorie erhebt die jeweilige Datenmenge, die für den jeweiligen Reifegrad der Kritikalitätsbewertung zielführend ist. Vor allem die quantitative sowie die automatische Bewertung benötigen für einen reibungslosen Ablauf und um stichhaltige Ergebnisse zu erzielen große Datenmengen, da diese Prozesse gänzlich datenbasiert ablaufen. Wichtige Parameter, die im Zusammenhang mit dem Datenumfang stehen, sind die Vollständigkeit der Daten, die Relevanz, der angemessene Umfang und die Aktualität.<sup>723</sup>

- **Relevanz**

Die Relevanz von Daten gibt über die Anwendbarkeit der Daten für das jeweilige Problem, im Falle der Kritikalitätsbeurteilung für den Schritt der Kriterienbewertung, Auskunft. Ist diese gegeben, spricht man von einer hohen Relevanz der Daten.<sup>724</sup> Dieser Faktor ist mitzubetrachten, da es vorkommen kann, dass die Daten vollständig sind, in

---

<sup>718</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S.116.

<sup>719</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 111 f.

<sup>720</sup> Vgl. Helfert, M. (2002); zitiert nach: Kühnle, M. (2006), S. 54 f.

<sup>721</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 111.

<sup>722</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 112.

<sup>723</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 119.; Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 99.

<sup>724</sup> Vgl. Wang, R. Y.; Strong, D. M. (1996), S. 31.



einem aktuellen Umfang vorhanden sind, jedoch der Inhalt der Daten zur Lösung der Problemstellung nicht von Relevanz ist.<sup>725</sup>

- **Angemessener Umfang**

Unter dem angemessenen Umfang versteht man die Menge an Daten, die für die Durchführung der Kritikalitätsbewertung von Nöten ist. Es kann vorkommen, dass zu viele Daten vorliegen, was wiederum die Durchführung der Bewertung negativ beeinflusst und somit keine ideale Ausgangslage darstellt.<sup>726</sup> Weiters umfasst dieses Merkmal den notwendigen Aufzeichnungshorizont<sup>727</sup>. Für den höchsten Reifegrad beträgt dieser mindestens ein bis eineinhalb Jahre.<sup>728</sup>

Die Evaluierung des Datenumfanges wird in der Regel mit der untenstehenden Formel durchgeführt.<sup>729</sup>

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n 1 - \frac{|\text{fehlende Einträge}|_i}{|\text{Einträge}|_i}}{n}$$

$$Vollst = \begin{cases} 4 & V \geq 0,99 \\ 3 & 0,99 > V \geq 0,95 \\ 2 & 0,95 > V \geq 0,90 \end{cases} \quad (5.5.2.1)$$

Diese Formel analysiert die Vollständigkeit des Datenumfanges anhand von vier Stufen und den jeweils dazugehörigen Werten. Stufe 1 mit <0,95 weist die geringste Vollständigkeit auf.<sup>730</sup> Je höher die Vollständigkeit des Datenumfanges, desto höher ist die Reifegradeinstufung in dieser Kategorie.<sup>731</sup>

- **Aktualität**

Diese Dimension behandelt, wie die Fehlerfreiheit, die Abbildung der Realität. Hierbei wird der direkte Bezug der Daten zur Gegenwart analysiert, sprich ob die Datenwerte auf den gegenwärtigen Zeitpunkt bezogen erfasst sind.<sup>732</sup> Desto höher der zeitliche Bezug zur Gegenwart ist, desto höher ist die Aktualität.<sup>733</sup> Vor allem für die Stufen der quantitativen und der automatisierten Kritikalitätsbewertung ist ein hoher Grad an Aktualität Grundvoraussetzung.

### Datenkonsistenz

Die vierte Kategorie zur Feststellung der vorhandene Datenqualität und -verfügbarkeit untersucht die Realitätsabbildung der Daten. Von einem hohen Grad der Konsistenz wird ausgegangen, wenn die Übereinstimmung des Zeitpunktes der Durchführung einer Aktivität mit der Zeit, die einer Aktivität im System zugeordnet wird,

<sup>725</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S.108.

<sup>726</sup> Vgl. Rohweder, J. P. et al. (2015), S. 33.

<sup>727</sup> Vgl. Dippold, R. et al. (2005), S. 243.

<sup>728</sup> Vgl. Ecker, S. (2021), S. 36; Passath, T. et al. (2021a), S. 89.

<sup>729</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 122.

<sup>730</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 122.

<sup>731</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S.100.

<sup>732</sup> Vgl. Helfert, M. (2002); zitiert nach: Kühnle, M. (2006), S. 53.

<sup>733</sup> Vgl. Rohweder, J. P. et al. (2015), S. 62.

übereinstimmt. Das Problem manueller Eintragungen ist, dass diese oft verspätet und aus dem Gedächtnis heraus nachgetragen werden, was zu fehlerhaften Daten führen kann.<sup>734</sup> Im Falle der Kritikalitätsbewertung und in weiterer Folge zur Steuerung der Instandhaltung ist das vor allem für Kriterien, bei denen eine Rückmeldung des Instandhalters relevant ist, wie bei der MTTR, Störungsdauer oder MTBF wesentlich und kann bei Inkorrektheit das Bewertungsergebnis verfälschen. Umso wichtiger ist eine Systemunterstützung zur Datenerfassung zu implementieren, um die Datenkonsistenz zu erhöhen. Hier spielt die Aktualität der Daten die entscheidende Rolle.<sup>735</sup>

### Datenarchitektur

Die Datenarchitektur wird durch den „Zweck und die Form“ der Daten bestimmt. Sie umfasst die Art der Datennutzung innerhalb des Unternehmens sowie dessen kritischen Pfad durch das System.<sup>736</sup> Hierzu zählen Faktoren wie die horizontale und vertikale Datenintegration, akkurate und integrierte Datenverwaltung, sowie eine nachvollziehbare Vernetzung der Systeme. Weiters umfasst diese Kategorie die Datenformate, in welchen die Daten abgebildet sind, unabhängig ob diese standardisiert und offen zugänglich sind, sowie die Strukturierung der Daten.<sup>737</sup> Faktoren wie die Zugänglichkeit und Bearbeitbarkeit sowie die einheitliche Darstellung und die eindeutige Auslegbarkeit sind entscheidend.

- **Einheitliche Darstellung**

Die einheitliche Darstellung ist essenziell für die Vergleichbarkeit der Daten und für eine standardisierte Auswertung. Das System sollte so aufgebaut sein, dass die Daten einheitlich erfasst (z.B. Codiersysteme bei Aufzeichnungen) werden, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.<sup>738</sup>

- **Eindeutige Auslegbarkeit**

Bei der eindeutigen Auslegbarkeit geht es um den Interpretationsspielraum der Daten. Hier spielt auch die horizontale und vertikale Integration von Daten eine entscheidene Rolle um Unstimmigkeiten zu vermeiden.<sup>739</sup> Jedoch ist die Interpretation der Daten immer an Expertenwissen gebunden<sup>740</sup>, was bei der Kriterienbewertung und im Speziellen und bei der Interpretation des Ergebnisses sowie den Detailanalysen, falls eine quantitative Bewertung möglich ist, beachtet werden muss.

### Systemstandards

Systemstandards zielen nicht auf die Datenstruktur selbst, sondern auf die verwendeten Standards ab. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass sie den Fortschritt der Digitalisierung und Automatisierung unterstützen. Deshalb sind sie entscheidend, wenn

---

<sup>734</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 100.

<sup>735</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 123.

<sup>736</sup> Vgl. Masak, D. (2006), S. 103.

<sup>737</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 120 ff.

<sup>738</sup> Vgl. Döbrich, U. et al. (2017), S. 22.

<sup>739</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 111.

<sup>740</sup> Vgl. Döbrich, U. et al. (2017), S. 22.

die Kritikalitätsbewertung automatisiert durchgeführt werden soll. Mit dem Einsatz unternehmensweiter Standards kann die Datenqualität und -verfügbarkeit langfristig erhöht werden, was eine automatisierte Kritikalitätsbewertung begünstigt.<sup>741</sup> Zu diesen Standards zählen beispielhaft Blue Prints und Roadmaps des Datenflusses.

Diese beschriebenen Charakteristika dienen zur Festlegung des Datenreifegrades der betrachteten Einheit. Die jeweiligen Reifegradstufen beschreiben die Anforderungen je Reifegrad an die Daten. Ein Ausschnitt des Datenreifegradmodells ist in Abbildung 52 ersichtlich. Das gesamte Modell ist im Anhang A zu finden.

|                | Chaotische Daten  | Semi-strukturierte Daten   | Strukturierte Daten   | Automatisierte Daten  | Echt-Zeit Daten   |
|----------------|---|--|---|---|---|
| Datenerfassung | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaum Standards bzw. Ziele</li> <li>Vereinzelte digitale Datenerfassung</li> <li>Tlw. unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tlw. Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Tlw. vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Tlw. Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitestgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitestgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul> |
| Datenhaltung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht rentabel</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung multipler Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vereinheitlichung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, tlw. Papier gespeichert, Lücken vorhanden</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitestgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Tlw. Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten tlw. aufwändig</li> <li>Weitestgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken</li> <li>Tlw. Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitestgehend lückenlos</li> <li>Bearbeitbarkeit weitestgehend möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouses</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul>       |

Abbildung 52: Auszug aus dem Datenqualitätsreifegradmodell<sup>742</sup>

Nachfolgend werden die Reifegrade und deren Ausprägungen im Detail erläutert.

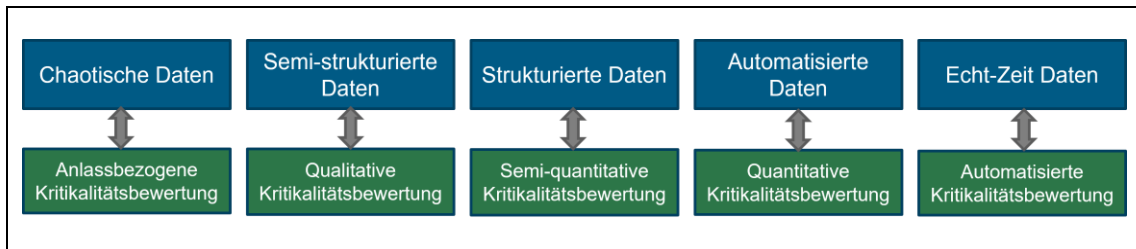
### Reifegrad 1 – Chaotische Daten

Dieser Reifegrad ist dadurch gekennzeichnet, dass keine Standards zur Datenerfassung vorhanden sind. Weiters erfolgt die Datenaufzeichnung händisch auf Papier, wodurch die Glaubwürdigkeit eingeschränkt ist.<sup>743</sup> Die Daten sind nicht vollständig und es ist keine Durchgängigkeit der Daten auf Anlagenebene gegeben. Weiters sind keine Formatstandards vorhanden. Somit ist die Auslegbarkeit an Erfahrungswissen gebunden. Des Weiteren gibt es keine Standards hinsichtlich Digitalisierung. Im Falle der chaotischen Daten, können keine datenbasierten Analysen durchgeführt werden, da wenige historische Daten zur Verfügung stehen. Für die Kritikalitätsbewertung bedeutet das, dass diese auf Basis von Erfahrungswerten durchgeführt wird (Abbildung 53).

<sup>741</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 101.

<sup>742</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>743</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 89.



**Abbildung 53: Zusammenhang Datenqualitätsreife und Einstufungsmodell zur Methodenauswahl für die Kritikalitätsbewertung<sup>744</sup>**

### Reifegrad 2 – Semi-strukturierte Daten

Ähnlich wie im Reifegrad 1 werden im Reifegrad 2 die Daten auch manuell erfasst. Nur vereinzelt gibt es schon digitale Datenaufzeichnungen. Die aufgezeichneten Daten werden systematisch in Standarddateiformaten abgespeichert (z.B. Excel) um einfache Berechnungen bereits durchführen zu können. Der Zeitbezug ist bei Reifegrad 2 schlecht. Teilweise sind bereits einheitliche Anlagendaten vorhanden, jedoch nicht durchgängig für alle Kriterien. Durch excelbasierte Aufzeichnungen, die projekterfahrungs basiert bei solch schlechter Datenqualität meist nur Kosten und eventuell Zeit-Kriterien umfassen, ist die Bewertung noch weitestgehend erfahrungsbasiert. Lediglich Kosten können, wenn überhaupt quantitativ bewertet werden.

### Reifegrad 3 – Strukturierte Daten

Der dritte Reifegrad ist hinsichtlich der Datenqualität durch digital erfasste Daten gekennzeichnet. Diese werden in isolierten Systemen erfasst, was zu Schnittstellenproblemen bei der Datenauswertung führt und mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden ist. Weiters erfolgt die Erfassung unregelmäßig. Auch die Vollständigkeit der Daten ist nur teilweise gegeben. Aufgrund der bereits teilweise digitalen Datenerfassung können die Kriterien zum Teil bereits quantitativ bewertet werden. Diese Reifegradstufe bildet somit eine Vermischung aus qualitativer und quantitativer Bewertung, was den Bewertungsaufwand dementsprechend erhöht (Abbildung 45).

### Reifegrad 4 – Automatisierte Daten

Der Reifegrad 4 – automatisierte Daten – bildet die Grundlage der quantitativen Kritikalitätsbewertung. In diesem Reifegrad werden die Daten zentral und weitestgehend automatisch erfasst. Die Daten sind leicht zugänglich und in zentralen Datenbanken gespeichert. Die Datenhistorie umfasst mindestens ein Jahr. Der Zeitbezug der Datenquellen ist konsistent. Anlagendaten sind einheitlich für alle Kriterien mindestens auf Anlagenebene, teilweise bereits auf Baugruppenebene vorhanden. In diesem Fall sind die Daten für die Bewertung (historische Daten), teilweise auch Echt-Zeit Daten zur Steuerung der Instandhaltung aus dem System abrufbar, was eine durchgängig quantitative Bewertung ermöglicht.

<sup>744</sup> Quelle: Eigene Darstellung

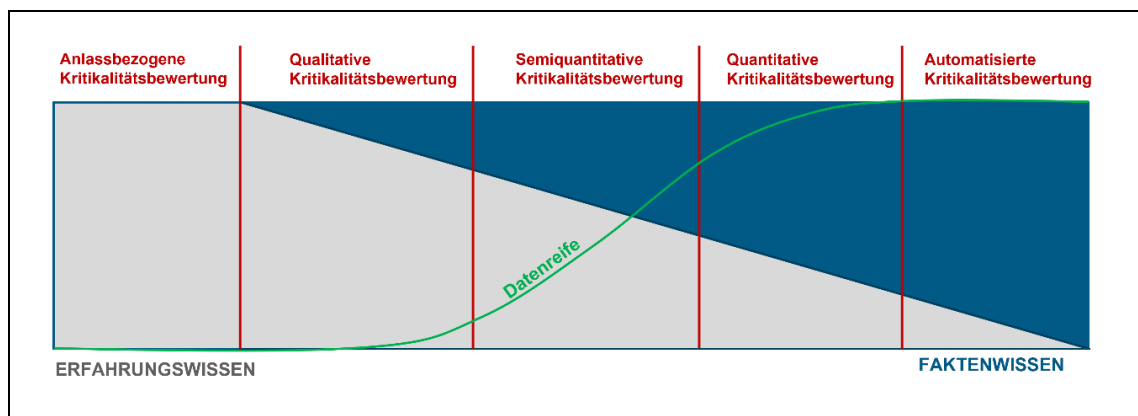
### Reifegrad 5 – Echt-Zeit Daten

Der höchste Reifegrad – Echt-Zeit Daten – ist durch eine automatisierte, weitestgehend echtzeitbasierte Datenerfassung gekennzeichnet. Unternehmensweite Standards zur Datenaufzeichnung sind etabliert sowie die Speicherung und Weitergabe einheitlich geregelt. Die manuelle Eingabe von Daten ist in diesem Reifegrad mit Ausnahme der Bestätigung von Eingaben nicht mehr existent. Die gespeicherten Daten liegen in einheitlichen Datenformaten (Date Warehouses) vor und sind einfach zugänglich. Die Datenhistorie umfasst im Falle der Echt-Zeit Daten über ein Jahr. Die Daten sind alle einheitlich auf Anlagenebene, auch großteils auf Baugruppen- und Komponentenebene in gleicher Qualität vorhanden.<sup>745</sup> Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist eine automatisierte Kritikalitätsbewertung, welche durch ihren geringen Aufwand charakterisiert ist, möglich.

Mit Hilfe dieses Reifegradmodells kann die Datenlage des Unternehmens bzw. des strategischen Geschäftsfeldes kriterienbezogen evaluiert werden. Im nächsten Schritt wird auf Basis der vorherrschenden Datenqualität das anzuwendende Instrumentenset für die dynamische Kritikalitätsbewertung ausgewählt.

### Auswahl des Instrumentensets zur dynamischen Kritikalitätsbewertung auf Basis der Datenreife und Komplexität

Nach erfolgreicher Ermittlung des Datenreifegrades sowie nach erfolgter Einstufung des Komplexitätsgrades der betrachteten Einheit, wird im nächsten Schritt das dazu passende Instrumentenset für die Durchführung der Kritikalitätsbewertung im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung ermittelt.<sup>746</sup> Je größer der Automatisierungsgrad der Bewertung vorangeschritten ist, desto mehr Faktenwissen ist für eine Bewertungsdurchführung erforderlich und umso wichtiger ist ein hoher Datenreifegrad (Abbildung 54).



**Abbildung 54: Zusammenspiel von Erfahrungs- und Faktenwissen im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung<sup>747</sup>**

Die Methoden für die Durchführung der Kritikalitätsbeurteilung wurden aus der systematischen Literaturrecherche, sowie der Kategorisierung der Methoden zur Risikoanalyse<sup>748</sup> und der Praxiserfahrung definiert.

<sup>745</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 97.

<sup>746</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 101.

<sup>747</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>748</sup> Für eine Übersicht über die gängigen Methoden siehe: Preiss, R. (2017), S. 92f.

Abbildung 55 gibt einen Überblick über die Methoden, die für die Kriterienbewertung sowie Risikobewertung im Zuge der Detailanalysen angewandt werden, sowie die Rahmenbedingungen zur Durchführung der Kriterien- bzw. Risikobewertung.

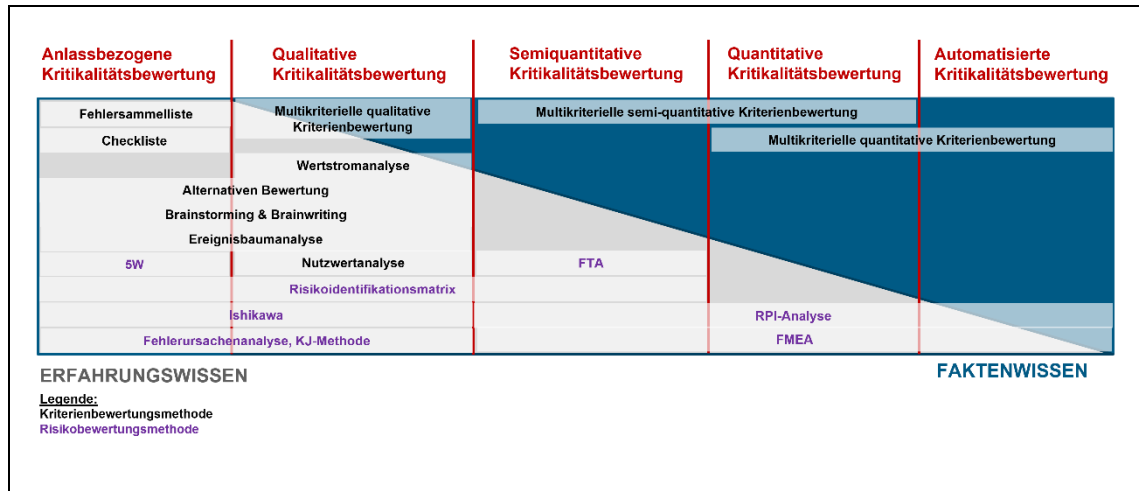


Abbildung 55: Zuordnung der Methoden der Kritikalitätsbewertung zu den jeweiligen Einstufungen<sup>749</sup>

Weiters sind je Kritikalitätsbeurteilungskategorie die dazugehörige Bewertungsart, die Kriterienanforderungen, die Bewertungsebene und der empfohlene Bewertungszeitraum zu beachten, um den Ressourcenaufwand für den eigentlichen Bewertungsprozess in Grenzen zu halten (Abbildung 56).

|   | Anlassbezogene Kritikalitätsbewertung   | Qualitative Kritikalitätsbewertung   | Semiquantitative Kritikalitätsbewertung   | Quantitative Kritikalitätsbewertung  | Automatisierte Kritikalitätsbewertung   |
|---|---|--|---|--|---|
| Bewertungsmethode   | <b>Kriterienbewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Brainwriting</li> <li>Brainstorming</li> <li>Checkliste</li> <li>Ereignisbaumanalyse</li> <li>Alternativen Bewertung</li> <li>Fehlersammeliste</li> </ul> <b>Risikobewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlerliste</li> <li>Fehlerursachenanalyse</li> <li>5W</li> <li>KJ</li> <li>Ishikawa</li> <li>Risikoidentifikationsmatrix</li> </ul> | <b>Kriterienbewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Brainstorming/-writing</li> <li>Alternativen Bewertung</li> <li>Nutzwertanalyse</li> <li>Wertstromanalyse</li> <li>Ereignisbaumanalyse</li> <li>Multikrit.qual. Kriterienbewertung</li> </ul> <b>Risikobewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlerursachenanalyse</li> <li>Risikoidentifikationsmatrix</li> <li>KJ Methode</li> <li>Ishikawa</li> </ul> | <b>Kriterienbewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Multikriterielle semi-quant. Kriterienbewertung inkl. Gewichtung der Kriterien</li> </ul> <b>Risikobewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>FTA</li> <li>RPI-Analyse</li> <li>Risikoidentifikationsmatrix</li> <li>FMEA</li> </ul> | <b>Kriterienbewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Multikriterielle quant. Kriterienbewertung inkl. Gewichtung der Kriterien</li> </ul> <b>Risikobewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>RPI Analyse</li> <li>FMEA</li> </ul> | <b>Kriterienbewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Multikriterielle quan. Kriterienbewertung inkl. Gewichtung der Kriterien</li> </ul> <b>Risikobewertung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>RPI Analyse</li> <li>FMEA</li> </ul> |
| Bewertungsart   | • Qualitativ  | Qualitativ   | • Qualitativ und tw. quantitativ  | • Überwiegend quantitativ  | • Quantitativ<br>• Echt-Zeit Kriterien  |
| Kriterienbewertungsart und mind. Kriterienkategorie                   | Kreativitätstechniken Kriterienbewertung<br>• \$<br>• Zeit  | Kreativitätstechniken Kriterienbewertung<br>• \$<br>• Zeit   | Kriterienbewertung<br>• Drei wichtigsten EF-Bereiche (z.B. \$, Zeit, Qualität)  | Kriterienbewertung<br>• \$, Zeit, Qualität, Umwelt, Flexibilität   | Kriterienbewertung<br>• Alle Erfolgsfaktoren umfassender Kriterienkatalog   |
| Bewertungsebene (Kriterien – und Risikobewertung)                     | • Anlage  | • Anlage<br>• Baugruppe  | • Anlage<br>• Baugruppe   | • Anlage<br>• Baugruppe<br>• Komponente  | • Anlage<br>• Baugruppe<br>• Komponente   |
| Empfohlener Bewertungszeitraum & Erfolgsüberprüfung mittel Kennzahlen | Bewertung:<br>• Alle paar Jahre<br>Erfolgsüberprüfung:<br>• Max. jährlich   | Bewertung:<br>• Alle 1-2 Jahre<br>Erfolgsüberprüfung:<br>• Jährlich  | Bewertung:<br>• Jährlich<br>Erfolgsüberprüfung:<br>• Halbjährlich - jährlich  | Bewertung:<br>• Jährlich<br>Erfolgsüberprüfung:<br>• Halbjährlich - monatlich  | Bewertung:<br>• Jährlich<br>Erfolgsüberprüfung:<br>• Laufend  |

Abbildung 56: Instrumentenset für die Kritikalitätsbewertung je nach vorherrschender Komplexität und Datenreife<sup>750</sup>

<sup>749</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>750</sup> Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Passath, T. et a. (2021a), S.101.

Die Anwendbarkeit der Methoden, die für die Kriterienbewertung empfohlen werden, ist abhängig von der Datenverfügbarkeit, dem Bewertungsaufwand für die Implementierung sowie für die laufende Bewertung, der Notwendigkeit von Fachwissen bzw. einer Systemunterstützung. Eine detaillierte Beschreibung der Methoden ist in Anhang B zu finden.

Wie in Tabelle 11 erkennbar, kristallisiert sich der Unterschied zwischen quantitativen und qualitativen Methoden heraus. Ist eine weitestgehend automatisierte Bewertung gewünscht, ist der quantitative bzw. teilquantitative Bewertungsmodus entscheidend, wie bei der multikriteriellen Bewertung, um den Bewertungsaufwand auch dementsprechend im Rahmen zu halten. Hierbei sind vor allem systemgestützte Methoden bei denen Fachwissen durch Faktenwissen untermauert werden kann zu empfehlen, um den zeitlichen Aufwand für die Bewertungsdurchführung zu reduzieren.

**Tabelle 11: Vergleich der Methoden zur Kriterienbewertung<sup>751</sup>**

| Methode                                   | Input       |            | Output      |            | Zeitlicher Aufwand Implementierung | Zeitlicher Aufwand laufende Bewertung | Methodenwissen notwendig | Fachwissen notwendig | Systemunterstützung notwendig |
|---|-------------|------------|-------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|
|   | Quantitativ | Qualitativ | Quantitativ | Qualitativ |                                    |                                       |                          |                      |                               |
| Brainstorming /Brainwriting               | ○           | ●          | ○           | ●          | ○                                  | ○                                     | ○                        | ●                    | ○                             |
| Fehlersammelliste                         | ●           | ○          | ◐           | ●          | ○                                  | ○                                     | ○                        | ●                    | ◐                             |
| Checkliste                                | ○           | ●          | ○           | ●          | ◐                                  | ○                                     | ○                        | ●                    | ○                             |
| Ereignisbaumanalyse                       | ○           | ●          | ○           | ●          | ◐                                  | ●                                     | ◐                        | ●                    | ○                             |
| Nutzwert Analyse                          | ◐           | ●          | ○           | ●          | ◐                                  | ◐                                     | ◐                        | ●                    | ◐                             |
| Alternativen Bewertung                    | ○           | ●          | ○           | ●          | ◐                                  | ◐                                     | ◐                        | ●                    | ◐                             |
| Wertstromanalyse                          | ◐           | ◐          | ○           | ●          | ●                                  | ●                                     | ●                        | ●                    | ●                             |
| Multikriterielle qual. Kriterienbewertung | ◐           | ◐          | ◐           | ◐          | ◐                                  | ●                                     | ●                        | ●                    | ●                             |
| Multikriterielle semi-quant. Bewertung    | ◐           | ◐          | ◐           | ◐          | ◐                                  | ◐                                     | ●                        | ◐                    | ●                             |
| Multikriterielle quan. Bewertung          | ●           | ○          | ●           | ○          | ◐                                  | ○                                     | ●                        | ◐                    | ●                             |

● ... starker Zusammenhang    ◐ ... mittlerer Zusammenhang    ○ ... schwacher Zusammenhang

Bei Methoden wie Brainstorming, Brainwriting, Checkliste, Ereignisbaumanalyse ist der Aufwand ein geringerer, jedoch ist die Vergleichbarkeit der Bewertungen durch den subjektiven Charakter der Methoden nicht gegeben. Bei diesen Methoden ist die Auswahl des Bewertungsteams sowie deren Domänenwissen entscheidend um akkurate Ergebnisse zu erzielen.

Die Fehlersammelliste ist durch die einfache, systemunabhängige Erfassungsmöglichkeit von Fehlern sowie dem geringen Ressourcenaufwand bei der Bewertung charakterisiert, jedoch ist auch diese Methode abhängig von der Erfahrung und der Qualifikation der Bewertenden.

Die Nutzwertanalyse hat den Vorteil, dass sie systemunabhängig durchgeführt werden kann und wenig Methodenkompetenz für die Bewertung erforderlich ist. Der Output dieser Methode ist wiederum von der Subjektivität der Bewertung geprägt

<sup>751</sup> Quelle: Eigene Darstellung, teilweise in Anlehnung an Romeike, F. (2018), Kamiske, G. F. (2012), Schawel, C.; Billing, F. (2012)

Durch die Wertstromanalyse können Prozesse einheitliche dargestellt sowie Engpässe visualisiert und anschließend bewertet werden. Der damit verbundene Aufwand ist der größte im Vergleich zu den anderen Methoden.

Die multikriterielle Kriterienbewertung, die auch im Zuge der Fallbeispiele angewandt wurde, ist dadurch gekennzeichnet, dass eine systematische ganzheitliche Betrachtung der Anlage samt all ihrer Einflussfaktoren erfolgt. Für die Systemunterstützung wurde im Zuge dieser Dissertation mit dem Softwareunternehmen Boom Software AG ein Tool (CAPP-Criticality and Asset Priority Portfolio) entwickelt. Bei der datenbasierten Bewertung ist es notwendig eine einheitliche Datenqualität über alle zu bewertenden Anlagen zu haben. Durch Schnittstellen ist es möglich die Daten direkt aus dem System in das Tool zu implementieren, was den Ressourcenaufwand bei der Bewertung deutlich reduziert. Das Tool kann jedoch auch für qualitative und semiquantitative Bewertungen herangezogen werden. Der Vorteil beim Einsatz des Tools ist je Anlagegruppe entscheiden zu können, ob das Kriterium qualitativ oder quantitativ bewertet wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Bewertung nicht mehr in einem Raum durchgeführt werden muss sondern den Kriterien Rollen zugewiesen werden können. Je Kriterium kann ein anderer Verantwortlicher für die Bewertung ausgewählt werden. Nachteile sind der zeitliche Implementierungsaufwand für die Software und die damit verbundene Einschulung des Personals.

Unabhängig davon, ob die Bewertung qualitativ, semiquantitativ oder quantitativ erfolgt, ist für die Interpretation der Ergebnisse immer Fachwissen notwendig. Lediglich die Bewertung der Anlagen kann, falls der Komplexitätsgrad sowie der Datenreifegrad es vorgeben, automatisiert erfolgen.

Die Methoden zur Durchführung der Detailanalysen variieren ebenso je Kritikalitätseinstufung bzw. hängen wiederum von der vorhandenen Datenqualität und -verfügbarkeit ab. Bei den Detailanalysen zur Risikoanalyse werden folgende Methoden (Tabelle 12) im Zuge der Kritikalitätsbeurteilung angewandt.

Bei den Methoden zur Risikoanalyse wird auch zwischen qualitativen, semi-quantitativen und quantitativen unterschieden. Für die Auswahl der Risikoanalysemethoden ist einerseits der Datenreifegrad bzw. die Komplexitätseinstufung verantwortlich. Andererseits ist die Wahl der Methodik von der Anzahl der als kritisch identifizierten Anlagen sowie den verfügbaren Ressourcen zur Durchführung der Detailanalysen abhängig.

Die Fehlersammelliste ist durch die einfache Anwendbarkeit charakterisiert, jedoch wird im Zuge der Risikoanalyse nur die Auftretenshäufigkeit beleuchtet, was eine sehr einseitige Betrachtung darstellt. Schadensausmaß und Entdeckungswahrscheinlichkeit treten in den Hintergrund der Betrachtung. Die Erkennung des Fehlers, sowie die Maßnahmenableitung ist an Fachwissen gebunden.

Die Anwendung der Fehlersammelliste, 5W und KJ haben den Vorteil das dafür kein Methodenwissen notwendig ist und der zeitliche Aufwand für die Implementierung sowie für die laufende Bewertung gering ist. Bei der 5W- und KJ-Methode ist keine Systemunterstützung möglich. Weiters ist der subjektive Charakter der Bewertung ein Nachteil.



Bei der Fehlerursachenanalyse ist eine Systemunterstützung teilweise möglich, jedoch ist der zeitliche Aufwand für die Implementierung als auch die laufende Bewertung mit einem hohen Ressourceneinsatz verbunden. Ein Nachteil ist auch bei dieser Methode die subjektive Ursachenforschung.

**Tabelle 12: Gegenüberstellung der Methoden zur Risikoanalyse<sup>752</sup>**

| Methode                                | Input       |            | Output      |            | Zeitlicher Aufwand Implementierung | Zeitlicher Aufwand laufende Bewertung | Methodenwissen notwendig | Fachwissen notwendig | Systemunterstützung notwendig |
|--|-------------|------------|-------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|
|  | Quantitativ | Qualitativ | Quantitativ | Qualitativ |                                    |                                       |                          |                      |                               |
| Fehlersammelliste & Maßnahmenableitung | ●           | ○          | ◐           | ●          | ○                                  | ○                                     | ○                        | ●                    | ◐                             |
| 5W                                     | ◐           | ●          | ○           | ●          | ○                                  | ○                                     | ○                        | ●                    | ○                             |
| Fehlerursachenanalyse                  | ◐           | ◐          | ◐           | ●          | ●                                  | ●                                     | ◐                        | ●                    | ◐                             |
| Risikoidentifikationsmatrix            | ◐           | ●          | ◐           | ●          | ◐                                  | ◐                                     | ●                        | ●                    | ◐                             |
| Ishikawa                               | ○           | ●          | ○           | ●          | ○                                  | ◐                                     | ◐                        | ●                    | ○                             |
| KJ Methode                             | ○           | ●          | ○           | ●          | ○                                  | ◐                                     | ○                        | ●                    | ○                             |
| FTA                                    | ◐           | ●          | ○           | ●          | ○                                  | ◐                                     | ◐                        | ●                    | ○                             |
| FMEA                                   | ◐           | ◐          | ◐           | ●          | ◐                                  | ●                                     | ●                        | ●                    | ●                             |
| RPI Analyse                            | ●           | ◐          | ◐           | ◐          | ◐                                  | ◐                                     | ◐                        | ◐                    | ●                             |

● ... starker Zusammenhang    ◐ ... mittlerer Zusammenhang    ○ ... schwacher Zusammenhang

Die Risikoidentifikationsmatrix ist eine zeitschonendere Methode als die Fehlerursachenanalyse, jedoch ist die Beschreibung der Ursachen-Wirkungszusammenhänge stark reduziert<sup>753</sup>. Weiters ist die Bewertung bei dieser Methode vom Fachwissen der Bewertenden anhängig.

Das Ishikawa-Diagramm ist eine in der Praxis weit verbreitete Methode, was die Anwendung ohne zusätzliche Schulungen unterstützt. Weiters ist der zeitliche Aufwand für die Durchführung überschaubar sowie eine übersichtliche Darstellung der Ursachenwirkungszusammenhänge möglich. Ein Nachteil ist, dass die zeitlichen Abhängigkeiten nicht erfasst werden können.<sup>754</sup>

Die KJ-Methode ist durch einfache Handhabung bei der Identifikation der Risiken sowie die einfache und pragmatische Visualisierung von Ursachen-Wirkungszusammenhängen gekennzeichnet. Diese werden ohne grundlegende Daten, rein subjektiv erhoben, was einen Nachteil dieser Methode darstellt. Weiters erfolgt keine Bewertung der Risiken. Nur basierend auf den Zusammenhängen werden Maßnahmen zur Risikoreduktion abgeleitet.

Die Fehlerbaumanalyse ist durch die bildliche Darstellung des Systems zum schnellen Verständnis, sowie qualitative und quantitative Resultate und die vielfältige Einsetzbarkeit charakterisiert. Nachteile hingegen sind der damit verbundene Aufwand

<sup>752</sup> Quelle: Eigene Darstellung, teilweise in Anlehnung an: Theden, P.; Colman, H. (2005); Kamiske, G. F. (2012); Romeike, F.; Hager, P. (2013); Romeike, F. (2018)

<sup>753</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 71.

<sup>754</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 674., Romeike, F. (2018), S. 118.

und die Abhängigkeit der Quantifizierung des Ergebnisses von der Datenverfügbarkeit.<sup>755</sup>

Die FMEA, die auch im Zuge der Fallstudie 1 zur Anwendung kam, ist durch die klare Formalisierung mit Hilfe der FMEA-Formblätter sowie die umfassende Betrachtung des Systems und deren Komponenten gekennzeichnet. Nachteile sind die subjektive Bewertung der RPZ sowie der hohe Zeit- und Ressourcenbedarf, der mit der Bewertung verbunden ist. Weiters sind viele Daten sowie Systemkenntnisse zur Durchführung erforderlich.<sup>756</sup> Ist jedoch ein hoher Datenreifegrad bereits vorhanden, sollte die Datenbereitstellung keine Hürde darstellen und wird deshalb auch als gängige Methodik empfohlen. Ein Nachteil ist, dass die Maßnahmenumsetzung auf Erfahrungswissen beruht und keine Aufwand-/Nutzenbetrachtung zugrunde liegt.

Die RPI-Analyse, die in Fallstudie 2 angewandt wurde, ist durch einen weitgehend objektiven Bewertungscharakter im Vergleich zu den übrigen Risikoanalysemethoden charakterisiert, da die Berechnungen auf Daten beruhen. Weiters erfolgt die Priorisierung der Maßnahmen nicht rein erfahrungsbasiert, sondern anhand einer detaillierten Aufwand-/Nutzen-Betrachtung. Nachteile sind der damit verbundene Aufwand zur Implementierung, die notwendige Systemunterstützung sowie die teilweise subjektive Maßnahmenableitung, die vom Erfahrungswissen der einzelnen Bewertenden abhängig ist.

Bei allen Methoden ist anzumerken, dass diese nie automatisiert ablaufen können, da für die Bewertung der Risiken an kritischen Anlagen immer Fachwissen nötig ist. Ist aufgrund des ermittelten Datenreifegrades eine semiquantitative oder höher eingestufte Kritikalitätsbewertung möglich, ist die Systemunterstützung beim Analyseprozess zu empfehlen. Weiters können bei diesen Bewertungsstufen Daten für die Risikoanalyse herangezogen werden, um das Fachwissen mit Faktenwissen zu bekräftigen sowie den Bewertungsaufwand zu reduzieren.

Bei Ermittlung des passenden Instrumentensets gilt, dass dieses einerseits auf der Feststellung der Komplexität der betrachteten Einheit, was das Soll-Instrumentenset darstellt, beruht. Andererseits auf dem Ergebnis der Datenqualität- und Verfügbarkeitsanalyse, welches das aktuell maximal mögliche Instrumentenset für die Kritikalitätsbewertung darstellt.<sup>757</sup>

Bei der Datenqualität gilt, der geringste Reifegrad über alle Bewertungskategorien hinweg ist gleichzusetzen mit dem jeweiligen Einstufungsgrad für die Auswahl des Instrumentensets. Hingegen ist bei der Einstufung der Komplexität der höchste Wert ausschlaggebend für das zu verwendende Methodenset.<sup>758</sup>

Wenn beispielsweise der Reifegrad drei (strukturierte Daten) für das betrachtete strategische Geschäftsfeld ermittelt wurde, kann maximal eine semi-quantitative Kritikalitätsbewertung mit der aktuell vorherrschenden Datenqualität durchgeführt werden (Abbildung 57).

---

<sup>755</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 711.; Thode, J., <https://mpl.loesungsfabrik.de/blog/iso-13485/fehlerbaumanalyse> (Zugriff: 28.10.2021)

<sup>756</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 705.; Romeike, F. (2018), S. 92.

<sup>757</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 102

<sup>758</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 102.

Im besten Fall ist der Datenreifegrad mit dem der Komplexitätseinstufung deckungsgleich. Ist jedoch beispielweise als Ergebnis festgestellt worden, dass hinsichtlich der Komplexität das betrachtete Unternehmen in Stufe fünf einzustufen ist, ist eine automatisierte Kritikalitätsbewertung hinsichtlich der Komplexität zu empfehlen. Hier ist das Ziel durch gezielte Maßnahmenableitung eine Steigerung der Datenqualität zu erzielen, beginnend bei den, im Zuge der Kriterienbewertung als kritisch identifizierten Anlagen. Weiters ist mit Hilfe einer Aufwand-/Nutzen-Betrachtung zu entscheiden, welche Kriterien zukünftig quantitativ erhoben werden sollen und welche qualitativ weiterhin bewertet werden. Bei den qualitativen ist es wichtig sich Indikatoren zu überlegen, wie diese messbar gemacht werden können (siehe Abschnitt 5.5.1).

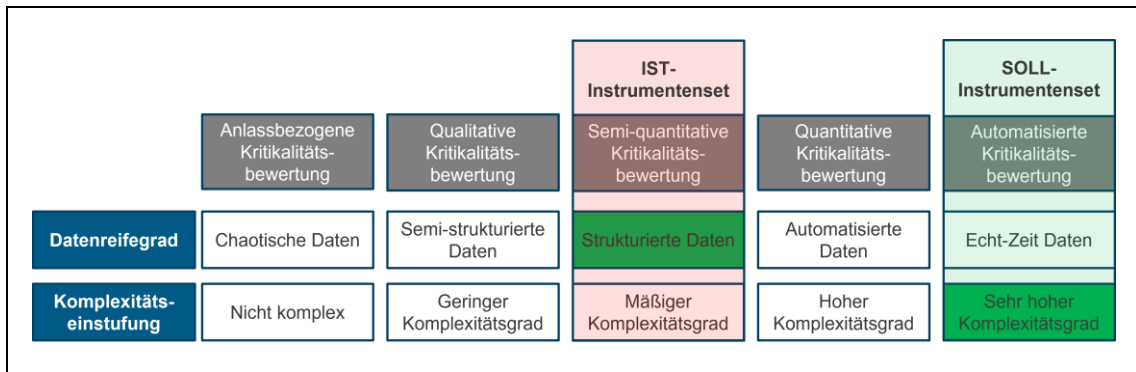


Abbildung 57: Logik zur Ermittlung des Instrumentensets zur Kritikalitätsbewertung<sup>759</sup>

Das Einstufungsmodell zur Kritikalitätsbewertung enthält neben der Kategorie „Bewertungsmethoden“, die Kategorien „Bewertungsart“, „Kriterienbewertungsart und mind. Kriterienkategorie“, „Bewertungsebene (Kriterien- und Risikobewertung)“ und „empfohlener Bewertungszeitraum“.

### Bewertungsart

Die Bewertungsart gibt die Art der Bewertung vor, ob diese qualitativ, semi-qualitativ oder rein quantitativ erfolgt.

Bei der anlassbezogenen Kritikalitätsbewertung ist eine rein qualitative Bewertung vorgesehen, da die Datenqualität- und -verfügbarkeit in dieser Kategorie schlecht ist, und wenn Daten vorhanden sind, diese in Papierform vorliegen.

Die qualitative Kritikalitätsbewertung ist auch die qualitative Bewertung als Bewertungsart zugerechnet worden, da in dieser Stufe wenige Daten vorhanden sind und diese nicht über alle Anlagen, die bewertet werden sollen, hinweg in gleicher Qualität vorliegen. Erfahrungswissen ist somit in dieser Kritikalitätsbewertungseinstufungsstufe die Basis der Bewertung. Somit handelt es sich hierbei um eine qualitative Bewertung.

Bei der semi-quantitativen Kritikalitätsbewertung liegt eine Kombination aus qualitativer und quantitativer Bewertung vor. In diesem Fall sind bereits Anlagendaten vorhanden, die auch in ausreichender Qualität über alle Betrachtungsobjekte hinweg vorliegen, sodass sie zur Bewertung mancher Kriterien herangezogen werden können.

<sup>759</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2021a), S. 102.

Die quantitative Kritikalitätsbewertung ist durch ihre sehr gute Datenqualität- und -verfügbarkeit gekennzeichnet. Aus diesen Gründen verläuft die Bewertung großteils quantitativ ab. Vereinzelt werden Kriterien, falls die Datenqualität nicht ausreichend ist, noch qualitativ bewertet. Der anschließende Risikoanalyseprozess ist auch datengestützt, jedoch ist hier Domänenwissen für die Bewertung entscheidend.

In der letzten Stufe, der automatisierten Kritikalitätsbewertung, liegen Anlagendaten zu allen Kriterien vor, die bereits einer Plausibilitätsprüfung unterzogen wurden. In diesem Fall verläuft der Bewertungsprozess rein datenbasiert, somit quantitativ ab. Für die Interpretation des Ergebnisses sowie für die anschließende Risikoanalyse ist auch in diesem Fall Erfahrungswissen notwendig.

#### Kriterienbewertungsart und mindeste Kriterienkategorie für die Kriterienbewertung

Diese Kategorie gibt die allgemeinen Bewertungsmethoden für die Kriterienbewertung, sowie die mindestens zu verwendenden Kriterienkategorien vor. Je weniger Daten vorliegen, umso wichtiger ist es sich auf die wesentlichen Punkte zu fokussieren und nicht zu viele verschiedene Kriterienkategorien auszuwählen, um den Bewertungsaufwand in Grenzen zu halten. Im Falle der anlassbezogenen Kritikalitätsbewertung sind die Kriterienkategorien Kosten und Zeit empfehlenswert. Für diese beiden liegen im Normalfall Daten, auch wenn nur in Papierform, vor. Weitere Kriterien sind je nach Bedarf hinzuzufügen.

Für die qualitative Kritikalitätsbewertung werden Kreativitätstechniken und eine einfache multikriterielle Kriterienbewertung als Bewertungsmethoden empfohlen. Fokus sollte bei der Kriterienwahl, auch in diesem Fall, auf Zeit- und Kosten-Kriterien gelegt werden, da in dieser Stufe die Bewertung auch erfahrungsbasiert durchgeführt wird.

Die semi-quantitative Kritikalitätsbewertung nähert sich der ganzheitlichen Betrachtung des Unternehmens und dessen Einflussfaktoren an, in dem neben Zeit- und Kosten-Kriterien, der wichtigste Erfolgsfaktorcluster zusätzlich betrachtet wird.

In der quantitativen Kritikalitätsbewertung werden die wichtigsten vier bis fünf Erfolgsfaktoren betrachtet. Hier ist die Datenbasis so ausgeprägt, dass einer ganzheitlichen Betrachtung nichts im Wege steht.

Die automatisierte Kritikalitätsbewertung enthält einen umfassenden Kriterienkatalog, der alle Erfolgsfaktoren des Unternehmens enthält.

#### Bewertungsebene

Die Bewertungsebene, als vierte Kategorie, ist ein Richtwert auf welcher Ebene sowohl die Kriterienbewertung als auch die Risikoanalyse je Einstufung durchgeführt wird. Die Kriterienbewertung wird empfohlen sowohl für die erfahrungsbasierte als auch qualitative Bewertung auf Anlagenebene durchzuführen. Für die semi-quantitative Bewertung wird je nach Komplexitätsgrad der Anlage die Anlagen- bzw. Baugruppenebene empfohlen. Für die quantitative und automatische Kritikalitätsbewertung empfiehlt sich neben der Anlagen- und Baugruppen- auch die Komponentenebene für die Bewertung heranzuziehen. Die ausgewählte Ebene ist bei den letzten beiden Stufen so anzusetzen, dass die Daten für alle betrachteten Anlagen in gleicher Qualität und Verfügbarkeit vorliegen. Hier gilt, besser weniger in die Tiefe

gehen, dafür eine gute Datenbasis zu haben. Für die Detailanalysen wird im Zuge der anlassbezogenen Bewertung die Anlagenebene empfohlen. Für die übrigen vier Stufen gilt als Richtwert die Risikoanalyse auf Baugruppenebene bzw. bei der quantitativen und automatischen auf Komponentenebene durchzuführen.

#### Empfohlener Bewertungszeitraum

Der Bewertungszeitraum gibt den Abstand zwischen den Bewertungen an.

Für die anlassbezogene Bewertung, bei der das Bewusstsein für die Integration der Kritikalitätsbewertung noch nicht vollständig vorhanden ist, gilt, dass sie mindestens alle paar Jahre durchzuführen ist. Falls Maßnahmen im Zuge der Detailanalysen abgeleitet wurden, sind diese durch eine erneute Bewertungsdurchführung zu überprüfen. Weiters sollte eine Bewertung bei jeder Neuanschaffung durchgeführt werden.

Bei der nächsten Stufe, der qualitativen Kritikalitätsbewertung wird ein Bewertungszeitraum von ein bis zwei Jahren empfohlen, da der Aufwand aufgrund des erfahrungsbasierten Bewertungscharakters nicht zu vernachlässigen ist.

Eine semiquantitative Kritikalitätsbewertung wird empfohlen, sie jährlich im Zuge der Budget- und Investitionsentscheidungen zu wiederholen. Die quantitativen Kriterien können durch das Vorhandensein der Daten im Zuge des Instandhaltungscontrollings überwacht werden. Wichtig ist hierbei die Ergebnisse des Controllings mit denen der Kriterienbewertung und den daraus abgeleiteten Maßnahmen abzugleichen.

Bei der quantitativen Bewertung wird empfohlen, sie auch jährlich durchzuführen. Hier ist der Bewertungsaufwand durch die hohe Datenqualität und -verfügbarkeit und im besten Fall einer systemgestützten Bewertung ein geringerer, sodass die Erfolgsüberprüfung durch eine halbjährliche bis monatliche Analyse der quantitativen Kriterien zu erfolgen hat.

Die automatisierte Kritikalitätsbewertung sollte allumfassend einmal im Jahr durchgeführt werden. Quantitative Kriterien sowie die gesetzten Maßnahmen sollten jedoch laufend im Zuge des Instandhaltungscontrollings überwacht und gegebenenfalls zeitnah Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Das ist vor allem für flexible Produktionen bzw. Unternehmen mit einem stark schwankenden Produktionsprogramm oder Produktzusammensetzung von Bedeutung. Hier ist es wichtig, zeitnah die kritischen Anlagen zu identifizieren und bei einer Verschiebung der kritischen Stellung gegenzusteuern.

Wichtig ist hier zu erwähnen, dass sich der Erfolg gesetzter Maßnahmen unabhängig der gewählten Bewertungsart erst zeitversetzt messen lässt.

Der nächste Schritt ist die Gewichtung der Kriterien.

#### **Kriteriengewichtung**

Die Gewichtung der Kriterien ist vor allem in den komplexeren Kritikalitätsbewertungsstufen empfehlenswert, um die Wichtigkeit einzelner Kriterien herauszustreichen.

Je komplexer die Kritikalitätsbewertung ist, desto mehr unterschiedliche Kriterienbereiche (Kosten Zeit, Flexibilität,...) werden im Zuge der Kriterienbewertung betrachtet. Da die auf Basis der Morphologie gewählten Kriterien unterschiedlich stark

die Kritikalität und in weiterer Folge die Erfolgsfaktoren des Unternehmens bzw. des betrachteten strategischen Geschäftsfeldes beeinflussen, ist eine Gewichtung wesentlich, um die Haupteinflussfaktoren bzw. größten Stellhebel zu identifizieren.

Um den Gewichtungsprozess, der durch Subjektivität gekennzeichnet ist, zu objektivieren, kommen unterschiedliche Methoden angefangen von einem paarweisen Vergleich (siehe Fallstudie 1, Abschnitt 4.5.2), bis hin zur Anwendung des AHP (4.5.2, Fallbeispiel 2 & 3, Abschnitte 6.2.2, 6.3.2) oder eines Kausalitätsmappings (Fallstudie 2 & 3), bei dem die Ursachen-Wirkungszusammenhänge der Kriterien untersucht werden, in Kombination mit den Ergebnissen der Morphologie zum Einsatz. Hierzu werden die Ergebnisse, die aus der Morphologie zur Auswahl der Kriterien erhalten wurden, mit den Ergebnissen der jeweils gewählten Gewichtungsmethodik verglichen. Das Ergebnis der Wichtigkeit der Kriterien auf Basis der Morphologie im Vergleich zu den Ergebnissen der jeweiligen Bewertung ist im besten Fall dasselbe<sup>760</sup>. Dieser Schritt ist ein wesentlicher, um das Erfahrungswissen der Mitarbeiter auf den Prüfstand zu stellen.

Als Ergebnis dieses Prozessschrittes liegt ein Gewichtungswert für jedes Kriterium vor, der im Zuge der Kriterienbewertung, dem nächsten Schritt der Kritikalitätsbeurteilung, in der Berechnung der Kritikalität mitberücksichtigt wird.

## 5.6 Kritikalitätsbewertung

Im Zuge Kritikalitätsbeurteilung wird im Schritt der Kritikalitätsbewertung<sup>761</sup> die in der Vorbereitungsphase als am einflussreichsten identifizierten Anlagen anhand der zuvor festgelegten Kriterien bewertet (Abbildung 58). Je nach Einstufungsgrad der Kriterienbewertung bzw. des anzuwendendem Kriterienset kommen unterschiedliche Methoden (siehe Tabelle 11) zu Anwendung.

| Anlagenbewertungstool            |        |        |      |              |                |                         |           |
|----------------------------------|--------|--------|------|--------------|----------------|-------------------------|-----------|
|                                  |        |        |      | Kritikalität | Gewichtung     | Kritikalität+Gewichtung | Bewertung |
| Ausfallzeit                      | gering | mittel | hoch | 1            | 20,00%         | 0,2                     |           |
| Beanspruchungsgrad               | gering | mittel | hoch | 3            | 20,00%         | 0,6                     |           |
| Ersatzteilverfügbarkeit          | gering | mittel | hoch | 1            | 20,00%         | 0,2                     |           |
| Qualifizierung der Instandhalter | gering | mittel | hoch | 1            | 40,00%         | 0,4                     |           |
|                                  |        |        |      | <b>6</b>     | <b>100,00%</b> | <b>1,4</b>              | <b>1</b>  |
|                                  |        |        |      |              | Speichern      | Zurück zur Hauptseite   |           |

Abbildung 58: Ausschnitt aus der excelbasierten Kriterienbewertung<sup>762</sup>

Die detaillierte Beschreibung der Anwendung der Methoden im Zuge der Kritikalitätsbewertung ist im Anhang B zu finden. In diesem Abschnitt wird im speziellen auf die Anwendung der multikriteriellen Kriterienbewertung eingegangen, da diese im

<sup>760</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 102 f.

<sup>761</sup> Für eine detaillierte Beschreibung des Kriterienbewertung siehe: Kinz, A. et al. (2017), S. 189 ff.; Kinz, A. (2017), S. 141 ff.; Passath, T. et al. (2020a), S. 209 ff.; Passath, T.; Huber, C. (2019), S. 9 ff.

<sup>762</sup> Quelle: Excel-Tool wBw, in Anlehnung an: Schröder, W.; Kleindienst, B. (2013), S. 118.; Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 28

Zuge der industriellen Verifizierung des Modells in allen drei Fallstudien angewandt wurde.

### **Multikriterielle Kriterienbewertung**

Das Ziel dieser Bewertung ist es, alle Anlagen anhand der aus der Morphologie abgeleiteten Kriterien je nach Datenreife qualitativ, semi-quantitativ oder quantitativ zu bewerten und den Anlagenindex je Anlage zu berechnen.

Zur Veranschaulichung des Bewertungsablaufes wurden wie in Abbildung 58 ersichtlich vier Kriterien „Ausfallzeit“, „Beanspruchungsgrad“, „Ersatzteilverfügbarkeit“ und „Qualifizierung der Instandhalter“ für die Bewertung ausgewählt. Im Vorfeld wurden im Zuge der Kriteriendefinition je Kriterium bereits die Ausprägungsstufen definiert und ihnen Zahlenwerte hinterlegt. Für jede der ausgewählten Anlagen wird die zutreffende Ausprägungsform je Kriterium ausgewählt. Die Zahlenwerte, die den Ausprägungsstufen hinterlegt sind, ergeben aufsummiert den Anlagenindex<sup>763</sup>. Falls die Kriterien im Vorfeld gewichtet wurden (ab der semi-quantitativen Kritikalitätsbewertung empfohlen), werden diese Gewichtungen in der Berechnung des Anlagenindex berücksichtigt.

Es empfiehlt sich die Bewertung im Falle einer geringen Datenverfügbarkeit in interdisziplinären Teams mit Personen mit großem Anlagen Know-how durchzuführen. Eine weitere Möglichkeit ist, jede der ausgewählten Personen eine eigene Bewertung durchführen zu lassen und aus diesen den Mittelwert zu bilden.

Im Falle einer Systemunterstützung im Bewertungsprozess, werden im System vorab die Ausprägungsstufen hinterlegt. Im Falle der semi-quantitativen Kritikalitätsbewertung ist die Datenqualität und -verfügbarkeit der Kriterien teilweise so ausgeprägt, dass für einzelne Kriterien auf Anlagendaten aus dem ERP-System zur Bewertungsdurchführung zurückgegriffen werden kann. Diese Kritikalitätseinstufung ist somit ein Zusammenspiel aus erfahrungsbasierten und datenbasierten Entscheidungen.

Der einzige Unterschied der quantitativen Kritikalitätsbewertung im Vergleich zur semi-quantitativen ist bei der Verwendung des Bewertungstools, dass der Ressourcenaufwand ein deutlich geringerer ist, da die meisten Kriterien automatisch nach einmaliger vorhergegangener Kriteriendefinition auf Basis der vorhandenen Daten bewertet werden.

Die Kriterien der quantitativen Bewertung sind weitestgehend quantitativer Natur. Vereinzelt ist die Datenqualität nicht einheitlich, sodass die Kriterien auf Basis von Erfahrungswerten bewertet werden. Da dem Ergebnis weitestgehend Daten zu Grund liegen, ist die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse nicht fraglich. Im Falle der quantitativen Kritikalitätsbewertung wird eine halbjährliche bis quartalsweise Überwachung der Anlagenverbesserungsmaßnahmen empfohlen.

Wie für die quantitative Kritikalitätsbewertung, ist auch bei der automatisierten Kritikalitätsbewertung der Einsatz eines Bewertungstools unerlässlich. Das Vorgehen dieser Bewertung ist ident mit dem der semi-quantitativen Bewertung im CAPP-Tool. Der einzige Unterschied ist, dass die Ermittlung des Anlagenindex automatisch erfolgt. Nach erfolgter Festlegung des Betrachtungszeitraums für die Bewertung und dem

---

<sup>763</sup> Vgl. Schröder, W. (2010b), S. 78.

Bewertungsintervall, wird der Anlagenindex je Anlage automatisch ermittelt, da alle Bewertungskriterien quantitativer Natur sind. Als Ergebnis liegt eine Liste der Anlagen gereiht nach der Höhe des Anlagenindex vor.

Die automatisierte Kritikalitätsbewertung ist durch einen sehr geringen Bewertungsaufwand gekennzeichnet. Durch die mögliche Echtzeitanalyse und die empfohlene laufende Überwachung des Anlagenstatus, ist ein frühzeitiges Einlenken bei einer Verschiebung der kritischen Anlagen möglich.

Egal welche Methodik abhängig von der Komplexität des betrachteten strategischen Geschäftsfeldes und der Datenverfügbarkeit und -qualität zur Anwendung kommt, das Ziel ist immer die kritischsten Anlagen zu identifizieren. Die Art der Identifizierung sowie die Darstellungsform variieren je nach verwendeter Methodik und werden im nächsten Abschnitt – der Identifikation von Schwerpunktanlagen – behandelt.

### **5.6.1 Identifikation von Schwerpunktanlagen**

Ziel einer agilen und wertschöpfungsorientierten Instandhaltungsorganisation ist die Maximierung des Wertschöpfungsbeitrags in der Nutzungsphase durch Fokussierung auf das Gesamtkostenoptimum. Diese Kosten sind im Sinne des Asset Managements direkte als auch indirekte Instandhaltungskosten.<sup>764</sup> Um sich im Zuge der Detailanalysen auf diejenigen Anlagen zu fokussieren, die das größte Potenzial zur Erhöhung des Wertschöpfungsbeitrags durch eine dynamische Anpassung der Instandhaltungsstrategie haben, müssen die direkten Instandhaltungskosten der Anlagenkritikalität bzw. der Rangliste je nach eingesetztem Instrumentenset zur Kriterienbewertung gegenübergestellt werden. Alle Auswertungen liefern jedoch dasselbe Ergebnis – einen Überblick der kritischsten Anlagen des betrachteten Anlagenparks.

Eine Rangliste der kritischsten Anlagen liegt bei folgenden Methoden als Ergebnis vor:

- Brainstorming
- Brainwriting
- Fehlersammelliste
- Checkliste
- Alternativen Bewertung
- Ereignisbaumanalyse
- Wertstromanalyse

Um diese kritischen Anlagen mit den entsprechenden direkten Instandhaltungskosten einer Periode in Verbindung zu setzen, empfiehlt sich ein vereinfachtes Anlagenprioritätsportfolio (Abbildung 59) zu erstellen.

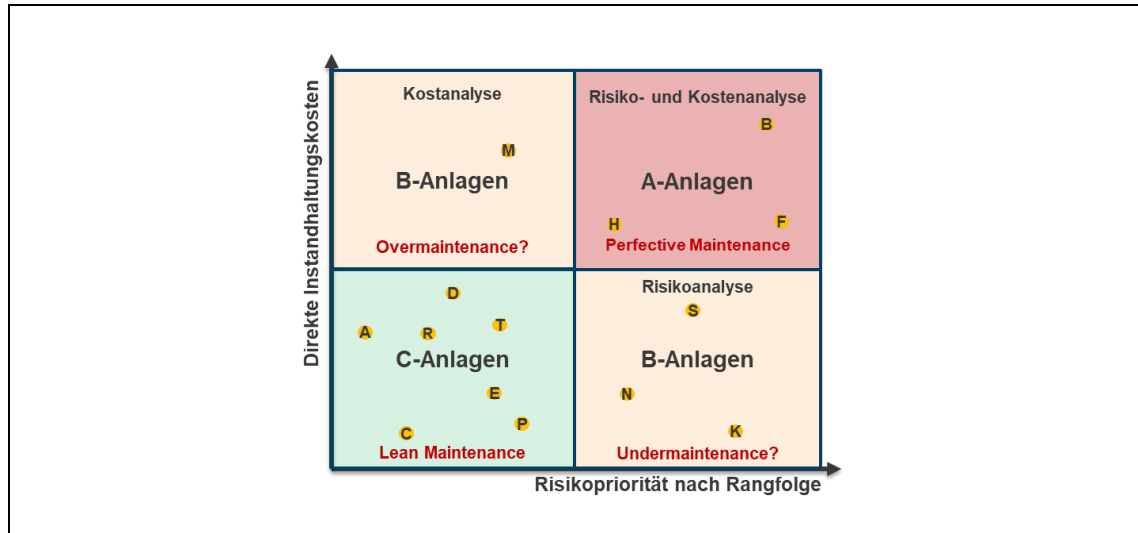
Dabei wird die kritische Stellung der jeweiligen Anlagen auf der x-Achse aufgetragen und den direkten Instandhaltungskosten gegenübergestellt. Das dadurch entstandene Portfolio ist in vier Quadranten unterteilt. Die Teilungslinien sollten

---

<sup>764</sup> Vgl. Biedermann, H.; Kinz, A. (2021), S. 154.



unternehmensspezifisch festgelegt werden.<sup>765</sup> Auf Basis des Portfolios werden die betrachteten Anlagen in A-, B-, C-Anlagen eingeteilt. Je nach Anlagentyp (A, B oder C) ist zukünftig das Instrumentenset zur Kritikalitätsbewertung durch Steigerung der Datenqualität und -verfügbarkeit anzupassen sowie die anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie zu überdenken.<sup>766</sup>



**Abbildung 59: Vereinfachtes Anlagenprioritätsportfolio - Rangfolge zu Instandhaltungskosten<sup>767</sup>**

A-Anlagen befinden sich im rechten oberen Quadranten und sind sowohl als kosten- als auch risikobehaftet einzustufen. Diese Anlagen sind die kritischsten im Vergleich untereinander und sollten zukünftig mit der Bewertungsmethodik, die die Komplexitätseinstufung des betrachteten Unternehmens bzw. strategischen Geschäftsfeldes vorgibt, bewertet werden. Somit ist das Ziel bei A-Anlagen, falls die Ist- von der Soll-Kritikalitätsbewertungsmethodik abweicht einerseits die Instandhaltungsstrategie anzupassen und andererseits die Datenqualität und -verfügbarkeit zu steigern.<sup>768</sup>

Anlagen mit hohen Kosten aber geringer Kritikalität oder hoher Kritikalität und geringen Kosten, gehören der Gruppe der B-Anlagen an. Diese Anlagen befinden sich links oben oder rechts unten im Portfolio. Bei diesen Anlagen empfiehlt sich diese weiterhin mit dem auf Basis der Komplexitätseinstufung abgeleiteten Instrumentenset zu bewerten, jedoch sollten diese Anlagen im Zuge des Instandhaltungscontrollings regelmäßig analysiert werden<sup>769</sup>. Diese Anlagengruppe sollte, nachdem die Datenqualität und -verfügbarkeit von allen A-Anlagen auf das Level der benötigten Kritikalitätsbewertung angehoben wurde, im nächsten Schritt optimiert werden. Weiters ist die Instandhaltungsstrategie auch bei diesen Anlagen zu durch gezielte Kosten- oder Risikoanalysen und entsprechende Maßnahmenableitung zu optimieren.

<sup>765</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 91.; Kinz, A. et al. (2017), S. 193.; Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 373.

<sup>766</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 106.

<sup>767</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Kinz, A. et al. (2016), S. 18.; Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 91., Passath, T. et al. (2021a), S. 193

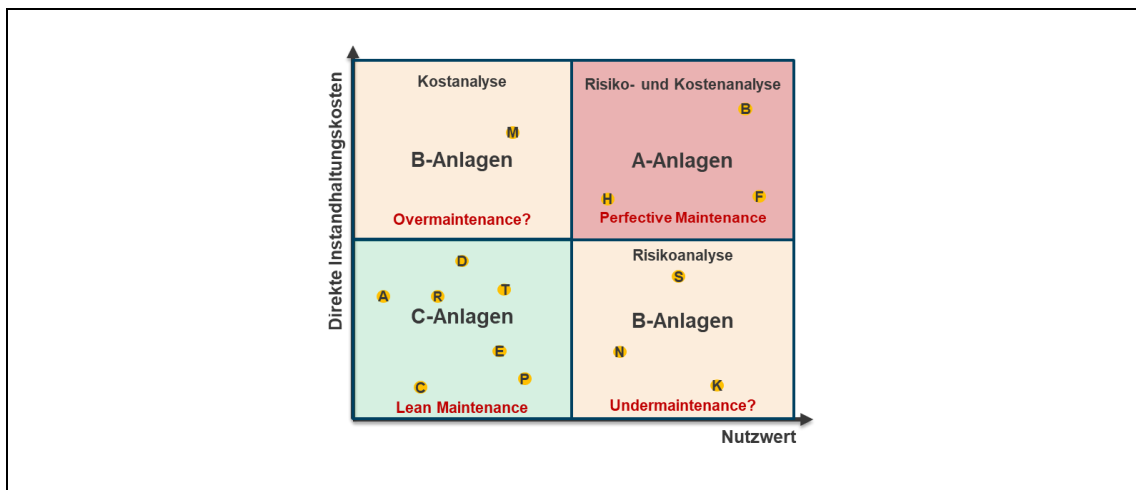
<sup>768</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 106 f.

<sup>769</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 107.

Die letzte Kategorie, die unkritischen Anlagen, werden als C-Anlagen bezeichnet. Diese sind durch geringe direkte Instandhaltungskosten und eine geringe Kritikalität gekennzeichnet und sind somit aktuell unbedenklich. Sie können weiterhin mit der verwendeten Bewertungsmethodik (anhängig vom Datenreifegrad der betrachteten Einheit) bewertet<sup>770</sup>, sowie die Instandhaltungsstrategie beibehalten werden. Die Verbesserung der Datenqualität und -verfügbarkeit ist als nebensächlich zu betrachten. Hier ist anzumerken, dass nur weil die Anlagen aktuell als unkritisch angesehen werden, sie dennoch im Zuge der laufenden Bewertung mitbetrachtet werden sollten, um zu überprüfen, ob die in diesem Quadranten enthaltenen Anlagen weiterhin als unbedenklich eingestuft sind oder ob sich ihre Kritikalität bzw. ihre Instandhaltungskosten verändert haben.

Die Erstellung des vereinfachten Anlagenprioritätsportfolios ist jedoch nur möglich, wenn die Daten der Instandhaltungskosten auf Anlagenebene einheitlich für alle betrachteten Anlagen vorliegen. Die Ebene der Risikopriorität muss der Kostenstellenebene entsprechen. Ist dies nicht der Fall, wird auf Basis der Liste der kritischsten Anlagen, diejenigen, die im Zuge der detaillierten Risiko- und Kostenanalyse betrachtet werden sollen, ausgewählt.

Bei der Nutzwertanalyse als auch bei der multikriteriellen Kriterienbewertung liegt hingegen das Ergebnis der betrachteten Anlagen als Zahlenwert – entweder als Nutzwert oder als Anlagenindex (Kritikalität) – vor. Im Falle der Nutzwertanalyse empfiehlt es sich, den Nutzwert den direkten Instandhaltungskosten gegenüberzustellen, ein Anlagenprioritätsportfolio (Abbildung 60) zu erstellen und ebenfalls die Anlagen in die obengenannten Anlagentypen einzuteilen.



**Abbildung 60: Anlagenprioritätsportfolio - Nutzwert zu Instandhaltungskosten<sup>771</sup>**

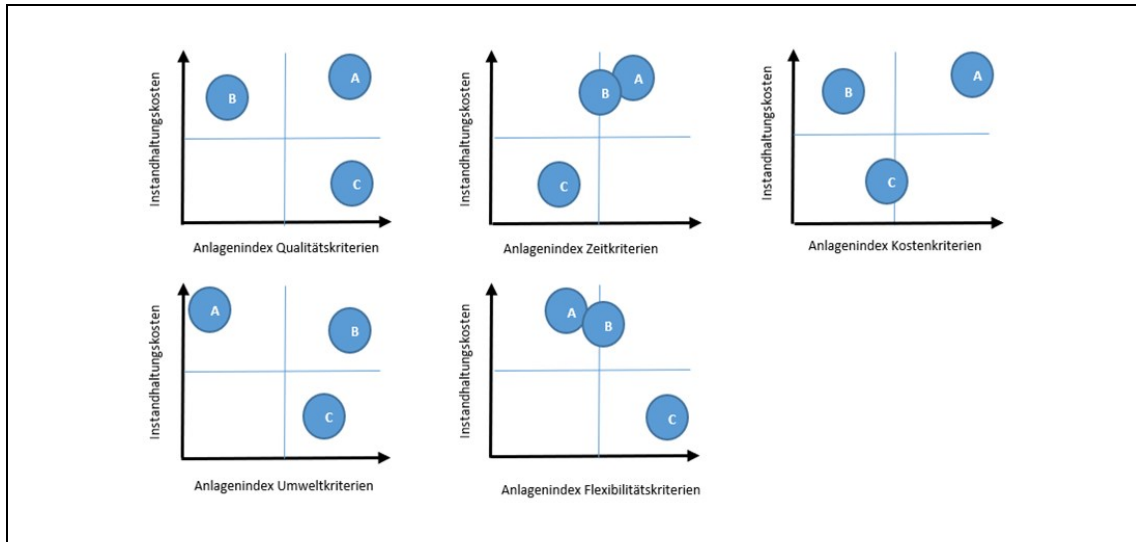
Im Falle der multikriteriellen Kriterienbewertung liegt als Ergebnis der Anlagenindex je Anlage vor. Dieser wird im Zuge der Identifikation der Schwerpunktanlagen in einem Anlagenprioritätsportfolio, gleich wie bei den zuvor beschriebenen Methoden den direkten Instandhaltungskosten gegenübergestellt. Weiters ist es im Falle dieser Kriterienbewertungsmethode möglich die Instandhaltungskosten dem Anlagenindex je

<sup>770</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 107.

<sup>771</sup>Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Kinz, A. et al. (2016); Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 91.; Passath, T. et al. (2021a), S. 193.

Erfolgsfaktor (Qualität, Kosten, Zeit,...) gegenüberzustellen, um eine detailliertere Betrachtung zu bekommen. Ist eine Anlage in mehreren Portfolios als risikoreich bzw. kostenintensiv einzustufen, ist diese im Zuge der Maßnahmenableitung zu priorisieren. Wie in Abbildung 61 ersichtlich, befindet sich Anlage A in drei der fünf Portfolios im rechten oberen Quadranten und ist somit als risiko- und kostenkritisch einzustufen<sup>772</sup>.

Diese Anlage sollte im Falle der Detailanalysen priorisiert werden, da sie in drei von fünf Portfolios als A-Anlage eingestuft wurde.



**Abbildung 61: Kriterienkategorien bezogenes Anlagenprioritätsportfolio<sup>773</sup>**

Bei dieser Darstellungsform muss jedoch bedacht werden, dass die Portfolios unterschiedliche Zeitdimensionen aufweisen. Während Maßnahmen zur Reduktion des Anlagenindex von Umweltfaktoren langfristige Strategieänderungen mit sich bringen, sind qualitätsverbessernde Maßnahmen eher kurzfristig. Die Optimierung des Erfolgsfaktors Zeit ist mit kurz- bis mittelfristigen Strategieänderungen verbunden und diese von Kosten und Flexibilität sind auf mittel- bis langfristige Sicht ausgelegt. Somit sind die Maßnahmen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung mit der Unternehmensstrategie abzugleichen und dementsprechend die Maßnahmenpriorisierung vorzunehmen.

Die aufgeschlüsselten Anlagenprioritätsportfolios machen nur im Falle der multikriteriellen Kriterienbewertung Sinn, da nur diese im Zuge der Bewertung mehrere Kriterienarten analysieren und der Anlagenindex direkt den einzelnen Kriterienarten zuzurechnen ist. Die Darstellungsform je Kriterienkategorie ermöglicht eine rasche Identifikation der Haupteinflussfaktoren, die im Zuge der Detailanalysen verfolgt werden müssen.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass sowohl für die Steigerung der Datenreife als auch für die Detailanalysen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung im nächsten Schritt der Kritikalitätsbewertung mit den A-Anlagen gestartet werden soll, gefolgt von den B-Anlagen, um langfristig die Bewertungsmethodik an das geforderte Instrumentenset basierend auf der Komplexitätseinstufung bei den kritischen Anlagen anzupassen.

<sup>772</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 210.

<sup>773</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 210.

## 5.6.2 Detailanalysen

Die Detailanalysen der Schwerpunktanlagen<sup>774</sup>, (A- und B-Anlagen), sind durch ein hohes Risiko- und/oder Kostenpotenzial gekennzeichnet.<sup>775</sup> Je nach angewandtem Instrumentenset kann die Risikoanalyse auf unterschiedliche Wiesen erfolgen, jedoch immer mit dem Ziel Maßnahmen zur Risiko- und Kostenreduktion im Zuge der Instandhaltungsstrategieoptimierung abzuleiten. Die Kostenanalyse ist ein standardisierter Prozess, der stark von der Datenverfügbarkeit, -qualität und Dokumentation abhängig. Hierbei ist die Form und Ebene der Datenerfassung entscheidend.

### Risikoanalyse

Im Zuge der Risikoanalyse werden die Anlagen, die sich rechts der Kritikalitätslinie im Anlagenprioritätsportfolio befinden, betrachtet.<sup>776</sup> Diese Anlagen sind durch eine hohe Kritikalität gekennzeichnet. Je nach Einstufung der betrachteten Einheit hinsichtlich des anzuwendenden Instrumentensets, variieren die Methoden (gleich wie bei der Kriterienbewertung). Die detaillierte Beschreibung der Methoden ist im Anhang B zu finden. In diesem Abschnitt wird der Fokus auf die FMEA und die RPI-Analyse gelegt, da diese Methoden im Zuge der industriellen Fallstudien zur Anwendung kamen.

### FMEA

Im Zuge der FMEA werden alle Anlagenrisiken, der als kritisch identifizierten Anlagen anhand der drei Faktoren Auftretenshäufigkeit (A), Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) und Schadensausmaß (S) bewertet. Die Bewertung selbst erfolgt in einem FMEA-Formblatt aufgrund der einfacheren Handhabbarkeit für die industrielle Praxis (Abbildung 62).

| Anlage    |        | Schadensausmaß    |                     |                           |               |                 |                         | Risikobewertung           |   |   |   |     |
|-----------|--------|-------------------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|---|---|---|-----|
| Baugruppe | Risiko | Reparaturzeit (h) | Reparaturkosten (€) | Warten auf Ersatzteil (h) | ET-Kosten (€) | Ausfallzeit (h) | Ausfallfolge kosten (€) | Schadensges amtkosten (€) | A | S | E | RPZ |
|           |        |                   |                     |                           |               |                 |                         |                           |   |   |   |     |
|           |        |                   |                     |                           |               |                 |                         |                           |   |   |   |     |
|           |        |                   |                     |                           |               |                 |                         |                           |   |   |   |     |
|           |        |                   |                     |                           |               |                 |                         |                           |   |   |   |     |

| Anlage    |                 |          |                     | Schadensausmaß        |                         |                           |                   |                    |                         | Risikobewertung           |         |         |         |           |               |
|-----------|-----------------|----------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|-----------|---------------|
| Baugruppe | Fehler / Risiko | Maßnahme | Kosten der Maßnahme | Reparaturzeit neu (h) | Reparaturkosten neu (€) | Warten auf Ersatzteil (h) | ET-Kosten neu (€) | Ausfallzeit neu(h) | Ausfallfolge kosten (€) | Schadensges amtkosten (€) | A (neu) | S (neu) | E (neu) | RPZ (neu) | Reduktion RPZ |
|           |                 |          |                     |                       |                         |                           |                   |                    |                         |                           |         |         |         |           |               |
|           |                 |          |                     |                       |                         |                           |                   |                    |                         |                           |         |         |         |           |               |
|           |                 |          |                     |                       |                         |                           |                   |                    |                         |                           |         |         |         |           |               |
|           |                 |          |                     |                       |                         |                           |                   |                    |                         |                           |         |         |         |           |               |

Abbildung 62: Beispielhaftes FMEA-Formblatt inkl. Maßnahmenableitung<sup>777</sup>

Bevor mit der Bewertung begonnen werden kann, ist ein Bewertungsteam auszuwählen, sowie wie Ausprägungsstufen von A, E und S festzulegen. Im Falle des Schadensausmaßes ist es wesentlich zu definieren, welche Faktoren alle mitbetrachtet werden. Diese sind stark von den verfügbaren Daten abhängig. Nach Festlegung der

<sup>774</sup> Für eine detaillierte Beschreibung siehe: Kinz, A. (2017), S. 149 ff.

<sup>775</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Passath, T.; Kinz, A. (2018), S. 53.; Passath, T. et al. (2020a), S. 211.; Passath, T. et al. (2021a), S. 107.

<sup>776</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 197.

<sup>777</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 78.

Ausprägungsstufen kann mit der Risikobewertung begonnen werden. Für jedes Risiko wird durch die Bewertung der drei Faktoren die RPZ ermittelt. Im nächsten Schritt werden Maßnahmen zur Risikoreduktion abgeleitet und ihre Auswirkungen wieder anhand der drei Faktoren bewertet. Für jede Maßnahme wird erneut die RPZ berechnet.<sup>778</sup> Je größer die Einsparung, desto eher sollte die jeweilige Maßnahme verfolgt werden.

**RPI-Analyse**

Die RPI-Analyse kann zur gezielten Risikoanalyse und integrierter Aufwand-Nutzenbetrachtung bei kritischen Anlagen verwendet werden. Durch eine Systemintegration der Methodik ist es möglich Daten direkt aus dem ERP-System abzugreifen, was den Bewertungsaufwand reduziert und die Bewertung teilweise objektiviert. Weiters ist es möglich laufend, bei Auftreten eines Risikos die Bewertung durchzuführen. Vorteil dabei ist, dass immer aktuelle Daten und sowie eine Risikoprioritätsliste vorliegen, die im Zuge des Instandhaltungscontrollings behandelt werden kann.

Tritt ein Anlagenrisiko auf, wird dieses anhand der Faktoren Schadensindex, Auftretenshäufigkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit nach einer Schritt-für-Schritt-Anleitung bewertet, sowie Maßnahmen zur Reduktion des Risikos abgeleitet. Weiters wird für jede Maßnahme der Aufwand zur Risikoreduktion bewertet. Der Nutzen ist gleichzusetzen mit der Reduktion des RPIs. Als Ergebnis der Bewertung liegt eine Liste aller Risiken inklusive einer Vorhersage vor, ab wann sich die abgeleitete Maßnahme rentieren würde (Abbildung 63).

| Bewertende/<br>wertender | Tätigkeitsbereich | Risiko                     | Risikokategorie    | Anlage   | Anlagenkritikalität | Komponente    | Ausfallkonnensatz [€/h] | Stundensatz [€/h] | Aktueller Schaden          |                                 |                           |                       |                      |                               |     |   |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|----------|---------------------|---------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-----|---|
|                          |                   |                            |                    |          |                     |               |                         |                   | Ausfallkosten pro Jahr [€] | II-Reparaturkosten pro Jahr [€] | Gesamtkosten pro Jahr [€] | Ausmaß des Ausfalls   | Auftretenshäufigkeit | Entdeckungswahrscheinlichkeit | RPI | Risikoklasse  |
| Mustermann               | Produktion        | Fehlerhafte Produkte       | Einstellungsfehler | Anlage A | 4                   | Komponente A3 | 100                     | 30                | 200                        | 1015                            | 1215                      | Kein Ausfall          | 1-mal im Jahr        | 5 (unwahrscheinlich)          | 50  | nicht kritisch  |
| Maier                    | IH                | Verschmutzung des Greifers | Bedienfehler       | Anlage B | 5                   | Komponente B3 | 200                     | 30                | 10000                      | 210                             | 10210                     | langfristiger Ausfall | 1-mal im Jahr        | 5 (unwahrscheinlich)          | 75  | teilweise kritisch  |
| Huber                    | Produktion        | Verformung Offenrohr       | Anlagenfehler      | Anlage B | 5                   | Komponente B1 | 170                     | 30                | 131000                     | 67100                           | 198100                    | Produktionsausfall    | potenzielles Risiko  | 5 (unwahrscheinlich)          | 25  | hochkritisch aufgrund hoher Kosten und schwerer Auswirkung auf Leib und Leben |

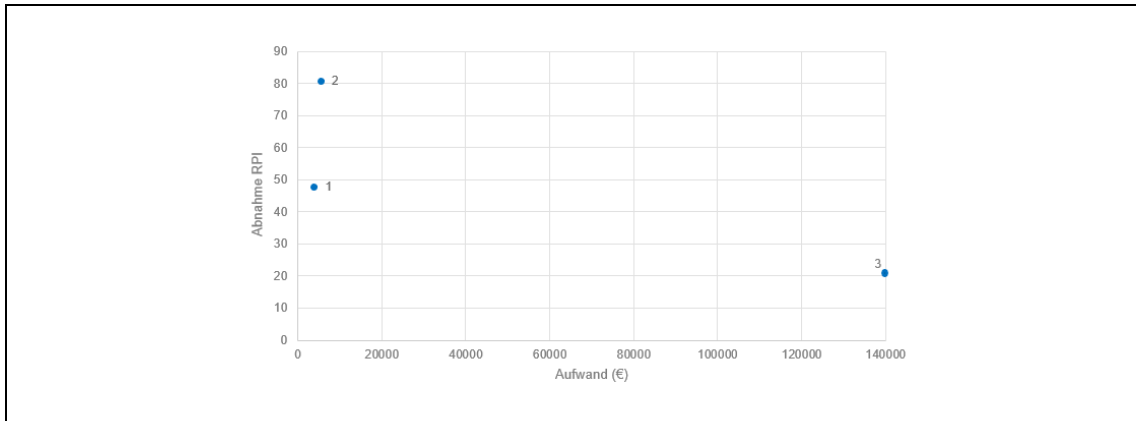
| Wie wurde Risiko bemerkt | Bereits getätigte Gegenmaßnahmen           | Beschreibung der Maßnahmen               | Aufwand              |                      | Schaden nach Risikobekämpfung |                                 |                           |                       |                                   |                               |     | Abnahme RPI    | Zahlt sich der Aufwand aus? | Ab welchem Jahr? |              |
|--------------------------|--|--|----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----|----------------|-----------------------------|------------------|--------------|
|                          |  |  | Einmalige Kosten [€] | Jährliche Kosten [€] | Ausfallkosten pro Jahr [€]    | II-Reparaturkosten pro Jahr [€] | Gesamtkosten pro Jahr [€] | Ausmaß des Ausfalls   | Auftretenshäufigkeit              | Entdeckungswahrscheinlichkeit | RPZ |                |                             |                  | Risikoklasse |
| Fehlerhafte Produkte     | Es wurden bisher keine Maßnahmen ergriffen | Sensoren montieren                       | 3150                 | 50                   | 10                            | 160                             | 170                       | kein Ausfall          | höchstens einmal während Laufzeit | 1 (hoch)                      | 2   | nicht kritisch | 48                          | ja               | 4            |
| Stillstand Anlage        | Es wurden bisher keine Maßnahmen ergriffen | Sensoren montieren, präventive Reinigung | 7400                 | 400                  | 200                           | 130                             | 330                       | kurzfristiger Ausfall | höchstens einmal während Laufzeit | 1 (hoch)                      | 2   | nicht kritisch | 73                          | ja               | 1            |
| -                        | -  | Sockel als Stütze montieren              | 63000                | 0                    | 18500                         | 21200                           | 39700                     | langfristiger Ausfall | voraussichtlich nie               | 2                             | 8   | nicht kritisch | 17                          | ja               | 1            |

**Abbildung 63: Beispielhaftes Ergebnis der RPI-Analyse<sup>779</sup>**

Weiters ist eine grafische Darstellung des Aufwandes zum Nutzen möglich, um auf einen Blick die Maßnahmen mit dem größten Einsparungspotenzial zu identifizieren, die als erstes umzusetzen sind (Abbildung 64).

<sup>778</sup> Für eine detaillierte Beschreibung des Risikobewertungsprozesse siehe: Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 71 ff.

<sup>779</sup> Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 64: Beispielhafte Auswertung der Aufwand/Nutzen-Betrachtung im Zuge der RPI-Analyse<sup>780</sup>**

Zusammenfassend wird festgehalten, dass für die Risikoanalyse immer Fachwissen notwendig ist. Durch eine einheitliche und gute Datenbasis kann die Risikoanalyse mit Daten untermauert werden, was den Bewertungsprozess vergleichbarer und objektiver macht.

### Kostenanalyse

Die detaillierte Kostenanalyse ist für Anlagen anzuwenden, die sich oberhalb der Kostenlinie im Anlagenprioritätsportfolio befinden. Hierzu werden die direkten Instandhaltungskosten der kritischen Anlagen nach der Entstehungs- und Kostenart wie folgend eingeteilt:<sup>781</sup>

- Personalkosten
- Fremdleistungskosten
- Fremdmateriakosten
- Eigenmaterialkosten
- Eigenmaterialkosten

Je nach vorliegender Datenqualität und Dokumentation auf Anlagenebene ist eine mehr oder weniger detaillierte Aufteilung der Kosten möglich. Ziel dieser Kostenaufteilung ist es, den größten Kostentreiber zu identifizieren und in weiterer Folge Maßnahmen zur Kostenreduktion abzuleiten<sup>782</sup> und dementsprechend die zugrundeliegende Instandhaltungsstrategie anzupassen. Hierzu werden die Kosten der Instandhaltungsaufträge der jeweiligen Betrachtungsperiode aufsummiert und nach der Kostenhöhe sortiert. Unter Anwendung des Pareto Prinzips lassen sich 20% der größten Kostentreiber identifizieren, die für 80% der Kosten verantwortlich sind.<sup>783</sup> Für diese Kostentreiber werden im nächsten Schritt Maßnahmen abgeleitet, um die Kosten langfristig zu senken.

Auf Basis der Ergebnisse der Detailanalysen werden Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Instandhaltungsstrategie, sowie zur Steigerung der Datenqualität und -verfügbarkeit abgeleitet.

<sup>780</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>781</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 145; Kinz, A. et al. (2017), S. 197.

<sup>782</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 145.

<sup>783</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 194.

## **5.7 Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung**

Die Maßnahmenableitung und Instandhaltungsstrategieanpassung bilden die Basis für eine langfristige Wertschöpfungssteigerung. Einerseits können durch eine Steigerung der Datenreife für ausgewählte Anlagen, der Aufwand des Bewertungsprozesses verringert werden. Andererseits ist eine Anpassung der Instandhaltungsstrategie essenziell, um wertschöpfend und agil, in einem sich ständig ändernden Produktionsumfeld agieren zu können.

Folgend werden die Handlungsempfehlungen im Zuge der Maßnahmenableitung im Detail erläutert.

### **5.7.1 Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Datenreife**

Um eine für die quantitative bzw. automatisierte Kritikalitätsbewertung notwendige Datenreife zu erreichen, sind Maßnahmen zur Erhöhung der Datenqualität und -verfügbarkeit abzuleiten. Als Leitfaden hierfür dient das im Zuge der Dissertation entwickelte Datenreifegradmodell (siehe Anhang A). Die in den jeweiligen Kategorien angeführten Beschreibungen spiegeln die Mindestanforderungen des jeweiligen Reifegrades wider.<sup>784</sup> Zur Verbesserung des Datenreifegrades, gilt es die noch nicht erfüllten Attribute für den nachfolgenden Reifegrad zu erfüllen.<sup>785</sup>

Wenn eine Entwicklung beispielsweise von einer qualitativen zu einer quantitativen Kritikalitätsbewertung entsprechend der Komplexitätseinstufung verfolgt wird, ist dies im ersten Schritt für die als A-Anlagen identifizierten kritischen Anlagen umzusetzen. Je nach Größe der Datenlücke kann der Fokus im ersten Schritt auf ausgewählte Kriterien gelegt werden und für diese die Datenqualität und -verfügbarkeit angepasst werden. Das ist sinnvoll, wenn den Daten eine einheitliche Datenbasis zugrunde liegt. Im Falle der Datenerfassung bedeutet das, dass die Datenerfassung weiterstehend automatisiert werden muss, um eine hohe Glaubwürdigkeit der Daten zu schaffen und eine weitestgehend quantitative Kritikalitätsbewertung durchführen zu können. Folgend muss die Datenerfassung so konzipiert sein, dass eine hohe Fehlerfreiheit sowie eine zuverlässige und vollständige Datenerfassung gegeben sind, beispielsweise durch standardisierte Auswahlfelder bei der Störungsmeldung sowie Barcodes direkt an der Anlage für eine zeitgerechte Störungsrückmeldung.

Diese Handlungsempfehlungen zielen in erster Linie darauf ab, dass sich Unternehmen hinsichtlich der ihrer Komplexität entsprechenden Kritikalitätsbewertung weiterentwickeln. Diese Maßnahmen sollten in der jährlichen Investitions- und Budgetplanung Berücksichtigung finden, um den Schritt in Richtung Digitalisierung und Automatisierung der Kritikalitätsbewertung voranzutreiben, um am Markt weiterhin bestehen zu können.

---

<sup>784</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 108.

<sup>785</sup> Vgl. Vgl. Schwaiger, W.S.A.; Brandstätter, M. (2022), S.37.

### 5.7.2 Handlungsempfehlungen zur Instandhaltungsstrategieoptimierung

Der optimale Instandhaltungsstrategiemix ist entscheidend für die Bewahrung der qualitativen und quantitativen Flexibilität sowie von Wettbewerbsvorteilen. Je höher die Komplexitätseinstufung ist, die stark von der Flexibilität des Unternehmens abhängt, desto dynamischer sollte die Instandhaltungsstrategieanpassung erfolgen. Die Ergebnisse der Kosten- und Risikoanalyse bilden die Basis für die Anpassung des Instandhaltungsstrategiemix. Das Ziel ist es die Strategie an den als kritisch identifizierten Anlagen zu hinterfragen und auf Basis einer Kosten-/Nutzen-Bewertung anzupassen. Der in Abbildung 65 dargestellte Entscheidungsbaum bildet die Grundlage für die Anpassung der Instandhaltungsstrategie.

Die detaillierte Kostenanalyse zeigt, wie hoch die Kosten sind und ob die Kosten an den einzelnen Anlagen berechtigt sind (z.B. eine einmalige große Reparatur) und somit die Instandhaltungsstrategie nicht angepasst werden muss<sup>786</sup>, oder ob die betrachtete Anlage zu hohe, nichtgerechtfertigte Kosten aufweist. Sind zu hohe Kosten identifiziert worden und die Kritikalität der betrachteten Anlage ist als gering eingestuft worden, muss die aktuelle Instandhaltungsstrategie hinterfragt werden. Bei hohen reaktiven Kosten müssen die Kostentreiber bzw. die Tätigkeiten, für die diese Kosten angefallen sind im Detail analysiert werden. Für Komponenten eine hohe Ausfallsrate haben, wird die Anpassung der Strategie in Richtung einer präventiven Instandhaltung empfohlen.

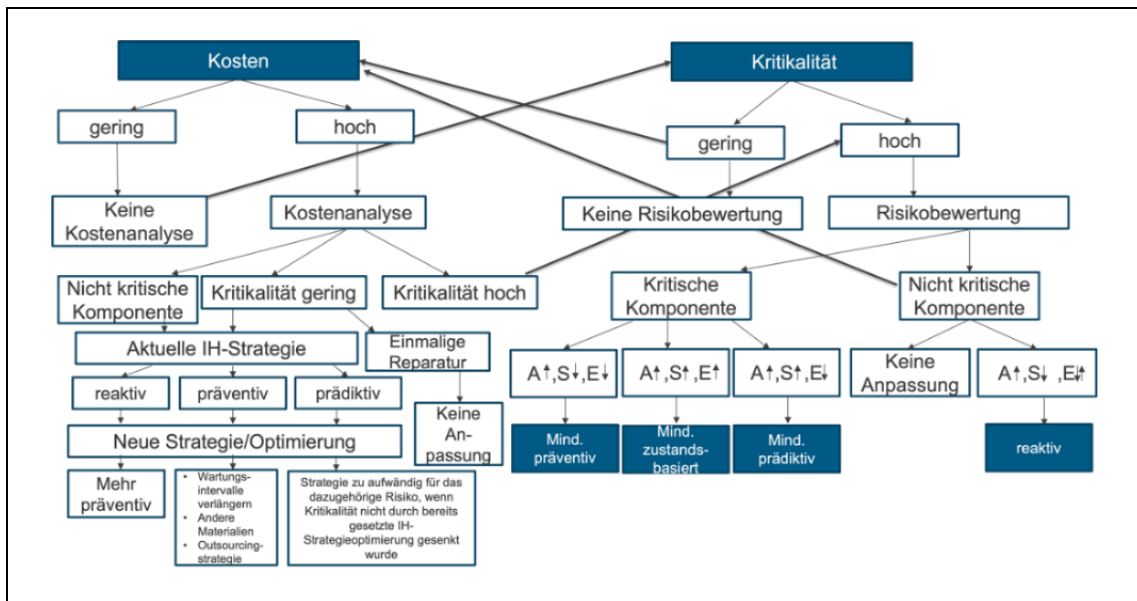


Abbildung 65: Leitfaden zur Instandhaltungsstrategieanpassung<sup>787</sup>

Sind die hohen Kosten durch präventive Instandhaltung zustande gekommen, müssen durch eine gezielte Maßnahmenableitung die größten Kostentreiber identifiziert und alternative Maßnahmen zur Kostenreduktion gesucht werden. Maßnahmen können sowohl organisatorischer Natur wie z.B. die Einführung der autonomen Instandhaltung für ausgewählte Tätigkeiten oder die Anpassung der Outsourcing-Strategie oder auch

<sup>786</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 204.

<sup>787</sup> Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Passath et. al. (2021a), S. 108.



technischer Natur wie z.B. andere Materialien zu verwenden oder die Wartungs- und Inspektionsintervalle zu verlängern<sup>788</sup>, sein.

Ist bereits prädiktive Instandhaltung im Einsatz, muss abgeklärt werden, ob die Strategie zu aufwändig für das bestehende Risiko ist bzw. ob diese Strategie aufgrund einer kritikalitätssenkenden Maßnahme gewählt wurde. Falls es sich um eine kritikalitätsverbessernde Maßnahme gehandelt hat, muss die Strategie beibehalten werden, da die Kosten gerechtfertigt sind.

Liegen sowohl hohe Kosten als auch eine hohe Kritikalität vor, wird im ersten Schritt die Risikobewertung durchgeführt. Als Ergebnis der Risikobewertung werden kritische und unkritische Komponenten identifiziert.

Die Instandhaltungsstrategie, der nicht kritischen Komponenten wird auf Basis des Ergebnisses der Risikobewertung entweder nicht angepasst bis die Kostenanalyse im nächsten Schritt abgeschlossen ist oder bei Vorliegen einer hohen Auftretenshäufigkeit, einer geringen Entdeckungswahrscheinlichkeit und eines geringes Schadensausmaßes in Richtung reaktiver Instandhaltungsstrategie angepasst. Im zweiten Schritt wird die nicht kritische Komponente einer Kostenanalyse unterzogen und die Instandhaltungsstrategie gleich wie bei einer geringen Kritikalität und hohen Kosten verfolgt und gegebenenfalls angepasst.

Für Komponenten, die als kritisch im Zuge der Risikoanalyse identifiziert wurden gilt, dass die Auftretenshäufigkeit, das Schadensausmaß und die Entdeckungswahrscheinlichkeit ausschlaggebend für die Instandhaltungsstrategieanpassung sind. Ist die Auftretenshäufigkeit hoch, das Schadensausmaß und die Entdeckungswahrscheinlichkeit gering, beispielsweise wenn eine Störung wenig kostet und nicht leicht entdeckt werden kann und oft auftritt, empfiehlt sich im Zuge der Maßnahmenableitung Maßnahmen für diese Komponente umzusetzen, die mindestens präventiver Natur sind.

Sind alle drei Faktoren hoch, sollten die abgeleiteten Maßnahmen mindestens zustandsbasiert sein. Sind die Auftretenshäufigkeit und das Schadensausmaß hoch und die Entdeckungswahrscheinlichkeit gering, wird mindestens die prädiktive Instandhaltungsstrategie empfohlen.

Diese Empfehlungen sind im Zuge der Maßnahmenableitung und -umsetzung zu beachten und sollten unternehmensspezifisch für die jeweiligen Anlagen auf Relevanz überprüft werden, um den optimalen Instandhaltungsstrategiemix zur langfristigen Effizienz- und Effektivitätssteigerung der Anlagen zu erreichen.

Den letzten Schritt der Kritikalitätsbeurteilung bildet die Erfolgsüberprüfung zur Kontrolle der abgeleiteten Maßnahmen.

## 5.8 Erfolgsüberprüfung

Der letzte Schritt im Prozess der Kritikalitätsbeurteilung ist die Erfolgsüberprüfung. Hierbei werden die abgeleiteten und umgesetzten Maßnahmen der Datenreife sowie der

---

<sup>788</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 204.

IH-Strategieoptimierung auf Wirksamkeit überprüft. Die Erfolgsüberprüfung erfolgt im Zuge einer erneute Kriterienbewertung, die vom vorgegebenen Bewertungszeitraum abhängig ist, jedoch mindestens einmal pro Jahr im Zuge der Zielerreichungskontrolle<sup>789</sup> erfolgen sollte.<sup>790</sup> Der Erfolg der abgeleiteten Instandhaltungsoptimierungsmaßnahmen spiegelt sich in einem gesunkenen Anlagenindex sowie gesunkenen Instandhaltungskosten wider, die sich in einer Verschiebung der Anlage im Anlagenprioritätsportfolio auswirkt.

Die Steigerung der Datenreife ist durch die Änderung der Bewertungsmethodik je nach Komplexitätseinstufung in Richtung Automatisierung der Bewertung ersichtlich. Durch eine Steigerung in Richtung einer quantitativen Bewertung, reduziert sich der Ressourcenaufwand und die neugewonnene Zeit kann für Anlagenoptimierungen verwendet werden.<sup>791</sup>

Um den langfristigen Erfolg des Unternehmens sicherzustellen und das Ziel einer dynamischen und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung zu erreichen, müssen die Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung, besonders die Maßnahmen zur Kosten- und Risikoreduktion in die jährlichen Investitions- und Budgetentscheidungen integriert werden.<sup>792</sup>

Zusammenfassend ist anzumerken, dass der Prozess der Kritikalitätsbeurteilung ein kontinuierlicher, der durch verschiedenste Entscheidungssituationen geprägt ist (siehe Abschnitt 4.5.2), der laufend überwacht werden muss und als integraler Bestandteil des Unternehmens zur langfristigen Wertschöpfungssteigerung implementiert gehört.

---

<sup>789</sup> Vgl. Kinz, A. et al. (2017), S. 209

<sup>790</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 71ff., Kinz, A. et al. (2017), S.202 ff., Passath, T. et al (2019), S. 10, Passath, T.; Mertens, K. (2019), S. 374.

<sup>791</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 109.

<sup>792</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 211.

## 6 Praktische Fallstudien

Dieses Kapitel fasst drei Anwendungsfälle in zwei Unternehmen des entwickelten Vorgehens- und Entscheidungsmodells zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung zusammen und stellt die wesentlichen Erkenntnisse im Detail vor. Die beiden Beispielunternehmen gehören der anlagen- und materialintensiven Industrie an, weisen jedoch unterschiedliche Ausgangssituationen und Rahmenbedingungen auf.

Umgesetzt wurden diese Projekte gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften (wBw) und dessen Kooperationspartner der Boom Software AG. Das wBw übernahm bei der Umsetzung die Rolle des Fachexperten auf dem Gebiet der Kritikalitätsbeurteilung, sowie die des Prozesspromotors bei der Entwicklung und Implementierung in Pilotbereichen. Die Boom Software AG half bei der systemtechnischen Umsetzung der Kritikalitätsbeurteilung.

Ausgehend von der Beschreibung der jeweiligen Ausgangssituation und Zielsetzung, wird das unternehmensspezifische Vorgehen beschrieben sowie auf die wesentlichen Ergebnisse eingegangen. Abgerundet wird jedes Fallbeispiel mit einem kurzen Resümee und einem Ausblick.

### 6.1 Fallstudie 1 – Siemens Mobility GmbH

Die Siemens Mobility GmbH in Graz, ein Vertreter aus dem Bereich Maschinenbau, produziert im Weltkompetenzzentrum für Fahrwerke hochsicherheitskritische und technisch komplexe Produkte. Da die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit aber auch die Sicherheit der Anlagen oberste Priorität haben, ist die Implementierung eines anlagenbezogenen Risikomanagements wesentlich für den Unternehmenserfolg. Dieses Risikomanagement soll auf den gesamten Anlagenlebenszyklus ausgerichtet sein, von der Produktion der Fahrwerke über den Betrieb bis zur Aussonderung.<sup>793</sup>

#### 6.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Vorrangiges Ziel des Risikomanagements bei der Siemens Mobility GmbH war die Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit sowie dessen Konsequenzen, jedoch stellte die Quantifizierung der Auswirkungen Siemens vor große Herausforderungen, da diese Entscheidungen meist erfahrungsbasiert, einseitig und nicht standardisiert abliefen. Weiters war das Ziel der Einführung eine Verbesserung der Kommunikation zu internen und externen Stakeholdern zu erreichen, sowie eine langfristige Wissenssicherung durch die Standardisierung von Prozessen. Daher war der Wunsch gegeben, eine transparente, standardisierte, datenbasierte Methodik – die dynamische Kritikalitätsbeurteilung – einzuführen, die durch eine entsprechende Kriterienauswahl zur Bewertung und einer Betrachtung aller auf die Anlage Einfluss habender Bereiche und

---

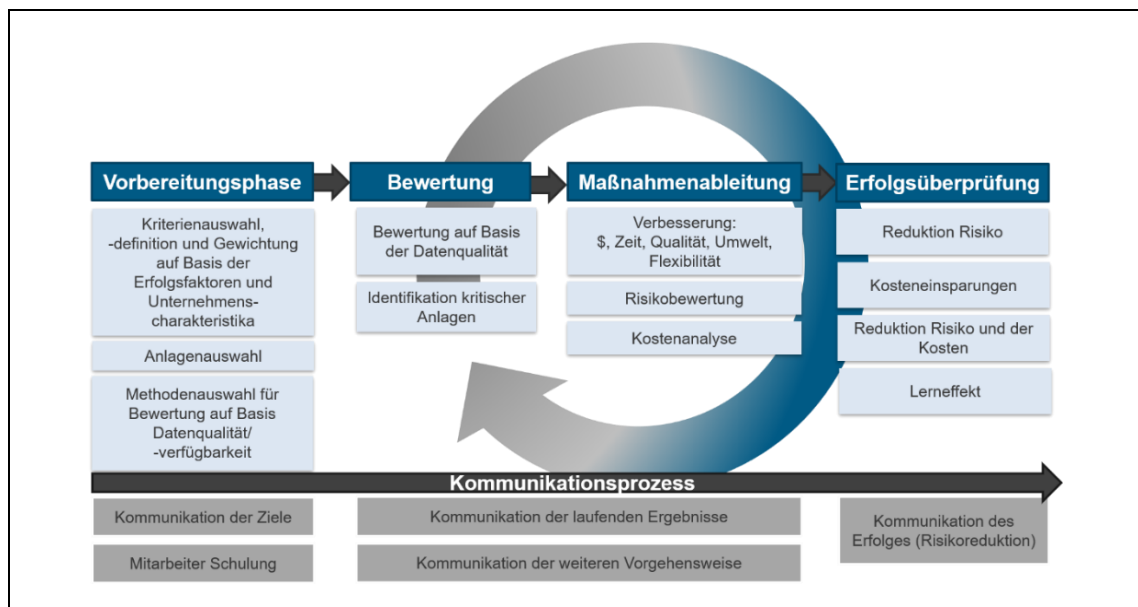
<sup>793</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 211.

Faktoren, eine ganzheitliche Sicht auf die Anlage ermöglicht und so objektiv die kritischen Anlagen identifiziert. Weiters sollte das Risikobewusstsein bei den Mitarbeitern durch eine verstärkte Identifizierung mit den Anlagen und deren Kritikalität gehoben werden. Ziel war es durch die Bewertung, eine Argumentationsbasis für Instandhaltungspriorisierungen aber auch für Investitionsentscheidungen gegenüber dem Management zu schaffen.

Im Zuge der Kooperationsvereinbarung der Siemens Mobility GmbH mit dem wBw und durch die systemseitige Unterstützung der Boom Software AG, wurde dieses Vorhaben umgesetzt.

### 6.1.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise ist angelehnt an die in Kapitel 5 beschriebene Methodik. Die wesentlichen Schritte der Einführung der Kritikalitätsbeurteilung bei der Siemens Mobility GmbH waren die in Abbildung 66 dargestellten. Die Erarbeitung erfolgte in Workshops mit einem interdisziplinären Team.



**Abbildung 66: Vorgehen zur Einführung der Kritikalitätsbeurteilung bei der Siemens Mobility GmbH<sup>794</sup>**

Ziel der Vorbereitungsphase war es, die Unternehmenscharakteristika und Besonderheiten zu erfassen, sowie daraus die Erfolgsfaktoren und in weiterer Folge die Kriterien für die Bewertung abzuleiten. Bei der Kriterienauswahl war der Abgleich mit der Datenqualität und -verfügbarkeit der Entscheidende, um die geeignete Bewertungsmethodik auszuwählen. Der letzte Schritt der Vorbereitungsphase war die Anlagenauswahl. Hierbei war es notwendig wichtige von unwichtigeren Anlagen zu unterscheiden, da der Anlagenpark der Siemens Mobility GmbH über 50 Schlüsselanlagen enthält und der Bewertungsumfang dennoch in Grenzen gehalten werden sollte.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Passath, T. et al. (2020a), S. 205.

Im nächsten Schritt erfolgte die Bewertung der Anlagen anhand der davor ausgewählten Kriterien zur Identifikation kritischer Anlagen. Im Zuge der Maßnahmenableitung wurden anlagenverbessernde Maßnahmen abgeleitet. Ihr Erfolg wird weiterhin laufend erhoben und im jährlichen Budget berücksichtigt. Im Zuge dieses Projektes lag der Fokus vor allem bei den Detailanalysen und dazugehöriger Maßnahmenableitung auf der Bewertung von IT-Risiken, die Auswirkungen auf alle kritischen Anlagen und den gesamten Standort haben. Intern wurde die Risikobewertung für alle als kritisch identifizierten Anlagen durchgeführt.

Das wBw unterstützte den Prozess der Einführung der Kritikalitätsbeurteilung aktiv bis zur Maßnahmenableitung. Weiters wurde eine beispielhafte Risikobewertung für IT-Risiken durchgeführt, da diese wesentlich die Verfügbarkeit der Anlagen beeinflussen und bei Eintritt den größten Schaden verursachen. Die weiteren Schritte wurden und werden weiterhin von der Siemens Mobility GmbH durchgeführt und durch ein quartalsmäßiges Controlling dem wBw im Zuge der Kooperationsvereinbarung vermittelt.

### **6.1.3 Ergebnisse**

Die Kritikalitätsbeurteilung wurde unternehmensweit mit dem Ziel die Anlagenverfügbarkeit zu maximieren und die Instandhaltungskosten, wo möglich zu reduzieren, eingeführt.

Folgend werden die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Phasen der Einführung der Kritikalitätsbeurteilung bei der Siemens Mobility GmbH erläutert.

#### **Vorbereitungsphase (Kritikalitätsidentifikation und -analyse)**

Das Ergebnis der Unternehmenscharakterisierung (Abbildung 67) zeigt, dass es sich bei der Siemens Mobility GmbH um ein komplexes Unternehmen handelt. Ihre Erfolgsfaktoren reichen von zeitlichen, wie der Liefertermintreue und der Anlagenverfügbarkeit über kostentechnische bis hin zu qualitätsrelevanten, wie fehlerfreie Produkte.

Auf Grund des ermittelten hohen Komplexitätsgrades, ist es unerlässlich eine quantitative Kritikalitätsbewertung einzuführen. Bei der Kriterienauswahl wurden neben den Kosten und der Betrachtung zeitlicher Kriterien, auch die Qualität beleuchtet. Da Umweltfaktoren für die Produktion der Siemens Mobility GmbH nicht von Relevanz waren, wurden diese bei der Kriterienauswahl nicht mitbetrachtet. Da der Produktionsprozess von den drei Abteilungen – Instandhaltung, Produktion und Arbeitsvorbereitung – gesteuert wird, war es wichtig alle drei Bereiche in die Kriteriendefinition und -gewichtung zu involvieren, um eine ganzheitliche Sicht auf die Anlage zu erhalten. Hier war der Wunsch der Entwicklung eines unternehmensweit gültigen Standards, sowie der Betrachtung der Beeinflussung der Kriterien untereinander als Input für die Gewichtung.<sup>795</sup>

---

<sup>795</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 212 f.

|                               | Nicht komplex   | Geringer Komplexitätsgrad   | Mäßiger Komplexitätsgrad   | Hoher Komplexitätsgrad  | Sehr hoher Komplexitätsgrad   |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|
| Markterfolg                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;10MA</li> <li>Sehr geringer Marktanteil &lt;10%</li> <li>Unterschiedungsgrad zu branchengleichen Unternehmen sehr gering</li> <li>Keine Strategieanpassung</li> <li>Keine Strategischen Ziele</li> <li>Wachstumsrate starker Rückgang</li> <li>Restabilität &lt;3%</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Kostenführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen nicht vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit nicht vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>10-49 MA</li> <li>Geringer Marktanteil 10-20%</li> <li>Unterschiedungsgrad zu branchengleichen Unternehmen gering</li> <li>Statische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele leicht erreichbar</li> <li>Wachstumsrate geringer Rückgang</li> <li>Restabilität 3-8%</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>50-100 MA</li> <li>Mäßiger Marktanteil 21-50%</li> <li>Unterschiedungsgrad zu branchengleichen Unternehmen eher hoch</li> <li>Die vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Wachstumsrate stagnierend</li> <li>Restabilität 9-12%</li> <li>Unterschiedungsgrad eher hoch</li> <li>Technologieführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen als Unternehmensstandards implementiert</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit als Standard implementiert</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>101-249 MA</li> <li>Hoher Marktanteil 51-80%</li> <li>Unterschiedungsgrad zu branchengleichen Unternehmen hoch</li> <li>Vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele herausfordernd mit neg. Perspektive</li> <li>Wachstumsrate geringfügig steigend</li> <li>Restabilität 13-15%</li> <li>Unterschiedungsgrad hoch</li> <li>Qualitäts- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen in Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit in Verbesserung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;249MA</li> <li>Sehr hoher Marktanteil &gt;80%</li> <li>Unterschiedungsgrad zu branchengleichen Unternehmen hoch</li> <li>Dynamische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele mit pos. Perspektive</li> <li>Wachstumsrate stark steigend</li> <li>Restabilität &gt;15%</li> <li>Rohstoffzugang schwierig</li> <li>Unterschiedungsgrad hoch</li> <li>Marktführer</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen laufende Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit laufende Verbesserung</li> </ul>   |
| Technologieerife              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie</li> <li>Kostenbewusstsein, hohe Innovationsfähigkeit</li> <li>Defensive Strategie, keine Veränderungsmöglichkeiten</li> <li>Geringer Entwicklungsgrad</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Großer Entwicklungsrisikofaktor</li> <li>Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Verdingte Technologie</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie</li> <li>Defensive Strategie geringe Veränderungsmöglichkeit / defensiv</li> <li>Optimierungsmöglichkeit</li> <li>Keine Leistungssteigerung aber Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsgrad</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien gleichbleibend</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Application Engineering</li> <li>Offensive und geringe Veränderungsmöglichkeit / defensiv</li> <li>hohe veränderungs- und optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Leistungssteigerung, keine bis geringe Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsgrad</li> <li>Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien in verbesserungsorientiert</li> <li>Basistechnologien in verbesserungsorientiert</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Follow the leader</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungsbereitschaft / defensiv</li> <li>Leistungs- und Kostensteigerung</li> <li>Leistungssteigerung</li> <li>Hoher Entwicklungsgrad</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien</li> <li>verbesserungsorientiert in Schlüsseltechnologien</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungsbereitschaft &amp; Optimierung</li> <li>Leistungs- und Kostensteigerung</li> <li>Entwicklungsgrad wird laufend verbessert</li> <li>Sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Schlüsseltechnologien</li> <li>Neue Technologien weitestgehend in Verwertung</li> </ul>   |
| Produktion & Produktportfolio | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Produktnachfrage</li> <li>Sehr geringe Produktionsmengen</li> <li>Alle Produkte sind gleich</li> <li>Produktzusammensetzung ist gleichbleibend</li> <li>Produktlebenszyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktlebenszyklus: &lt;1h</li> <li>Umsatzkosten: &lt;0,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Kein Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 1-Schicht</li> <li>Optimaler Qualifizierungsgrad</li> <li>Massenfertigung</li> <li>Lagerfertigung</li> <li>Bauserienfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: bei umgesetz. Anf. O-Sicherung</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzl. Anf. sind umgesetzt</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: wird betrachtet, keine Analyse</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzl. Anf. umgesetzt</li> <li>Materialeintensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beständige Produktnachfrage</li> <li>Geringe Produktionsmengen</li> <li>Viele gleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung ist zunehmend gleichbleibend</li> <li>Produktlebenszyklus: 1 bis zwei Wochen</li> <li>Aufwand Produktlebenszyklus: 1-10h</li> <li>Umsatzkosten: 0,5-1,4% des Tagesumsatzes</li> <li>Geringes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Mittlerer Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 2-Schicht</li> <li>Serienfertigung</li> <li>Gruppenfertigung</li> <li>Arbeitsintensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher schwankende Produktnachfrage</li> <li>Mäßige Produktionsmengen</li> <li>Produkte sind Bw. schwankend</li> <li>Produktzusammensetzung variiert</li> <li>Produktlebenszyklus: bis eine Woche</li> <li>Aufwand Produktlebenszyklus: &lt;1 Tag</li> <li>Umsatzkosten: 1,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Mittleres Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 3-schichtig oder Wochenendbetrieb 1-schichtig</li> <li>Mäßiger Qualifizierungsgrad</li> <li>Serienfertigung</li> <li>Auftragsfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Überprüfung während Prozess</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: keine Analyse von Kennzahlen</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beständig steigende Produktnachfrage</li> <li>Große Produktionsmengen</li> <li>Die ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktlebenszyklus: 1 Tag</li> <li>Schnell anpassungsfähig</li> <li>Aufwand Produktlebenszyklus: 1,5-2Tage</li> <li>Umsatzkosten: 1,5-3% des Tagesumsatzes</li> <li>Hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Wochenendbetrieb 2-3 schichtig</li> <li>Erziehfertigung</li> <li>Erziehfertigung</li> <li>Arbeitsintensive Einsatzintensität</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schwankende, steigende Produktnachfrage</li> <li>Sehr große Produktionsmengen</li> <li>Überwiegend ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktlebenszyklus: wenige Stunden</li> <li>Aufwand Produktlebenszyklus: &gt;2 Tage</li> <li>Umsatzkosten: &gt;3% des Tagesumsatzes</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Wochenendbetrieb (4-5 Schichtig)</li> <li>Verbesserungsvorgänge</li> <li>Qualifizierungsgrad</li> <li>Chargenfertigung</li> <li>Programmfertigung</li> <li>Werkstofffertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Produktqualität als Erfolgsfaktor, laufende Verbesserung</li> <li>Anf. an Schutz: laufende Evaluierung &amp; Verbesserung d. Sicherheitsbestimmungen</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: laufende Analyse und Verbesserung</li> <li>Anf. an Umwelt: laufende Optimierung hinsichtlich Ressourcenschonung</li> <li>Informationsintensive Einsatzintensität</li> </ul> |
| Asset                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Automation</li> <li>Durchgängige Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Keine Verflechtung</li> <li>Alle Anlagen vom gleichen Hersteller</li> <li>Auslastungsgrad: &lt;50%</li> <li>Gleiche Systemarchitektur</li> <li>Instandhaltungsintensität: &lt;1%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenig Automation</li> <li>Mittlere Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Loose Verflechtung der Anlagen</li> <li>Schlechter Erhaltungszustand</li> <li>Geringe Komplexität</li> <li>Mehr gleiche als unterschiedliche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Homogener Anlagenpark</li> <li>Loose Verflechtung der Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 50-70%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 1-3%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Automation</li> <li>Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Elastische Verflechtung</li> <li>Gerechter Erhaltungszustand</li> <li>Mittlere Komplexität</li> <li>Heterogener Anlagenpark</li> <li>Mehr verschiedene Hersteller, Bw. Excel-Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 71-90%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Automation weitestgehend vorhanden</li> <li>Verzweigte Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Stare Verflechtung ohne Taktzwang</li> <li>Guter Erhaltungszustand</li> <li>Hohe Komplexität</li> <li>Hauptsächlich Einzelanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 81-90%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 4-10%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollautomatisiert</li> <li>Keine Ausweichmöglichkeiten</li> <li>Stare Verflechtung mit Taktzwang</li> <li>Anlagen haben verschiedene Hersteller</li> <li>Nur Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 91-100%</li> <li>Anlagen haben unterschiedliche Systemarchitekturen</li> <li>IH Intensität: &gt;10%</li> </ul>   |

Abbildung 67: Morphologie zur Kritikalitätsbewertung der Siemens Mobility Graz<sup>796</sup>

Wesentlich bei der Kriterienauswahl war der Abgleich mit der Datenqualität und -verfügbarkeit sowie die Zuordnung jedes Kriteriums zu dessen Ursprung. Tabelle 13 zeigt die auf Basis der Erfolgsfaktoren abgeleiteten Kriterien, deren Zuständigkeiten, Abhängigkeiten untereinander, für welchen Erfolgsfaktor sie von Relevanz sind und die dazugehörige verfügbare Datenreife.

Tabelle 13: Kriterienkatalog zur Kritikalitätsbewertung der Siemens Mobility GmbH<sup>797</sup>

| Kriterium        | Definition   | Kategorie | Relevant für | Beeinflussung anderer Kriterien        | Datenqualität/-verfügbarkeit |
|------------------|--|-----------|--------------|--|------------------------------|
| Alter der Anlage |  | IH        | Qualität     | alles                                  | Sehr gut                     |
| MTR              | $= \frac{\sum \text{Ausfallszeiten}}{\text{Anzahl Ausfälle}}$  | IH        | Zeit         | Betriebsstunden, Wartungsvertrag       | Gut – Befriedigend           |
| MTBF             | $= \frac{\sum \text{Betriebsstunden}}{\text{Anzahl Ausfälle}}$ | IH        | Zeit         | Ersatzteillagerung, MA Schulungsniveau | Gut – Befriedigend           |

<sup>796</sup> Quelle: Eigene Darstellung, für die detaillierte Ansicht, der in der Komplexitätseinstufung enthaltenen Attribute siehe Anhang A

<sup>797</sup> Quelle Passath, T. et al. (2020a), S. 213 f.

Fortsetzung Tabelle 13: Kriterienkatalog zur Kritikalitätsbewertung<sup>798</sup>

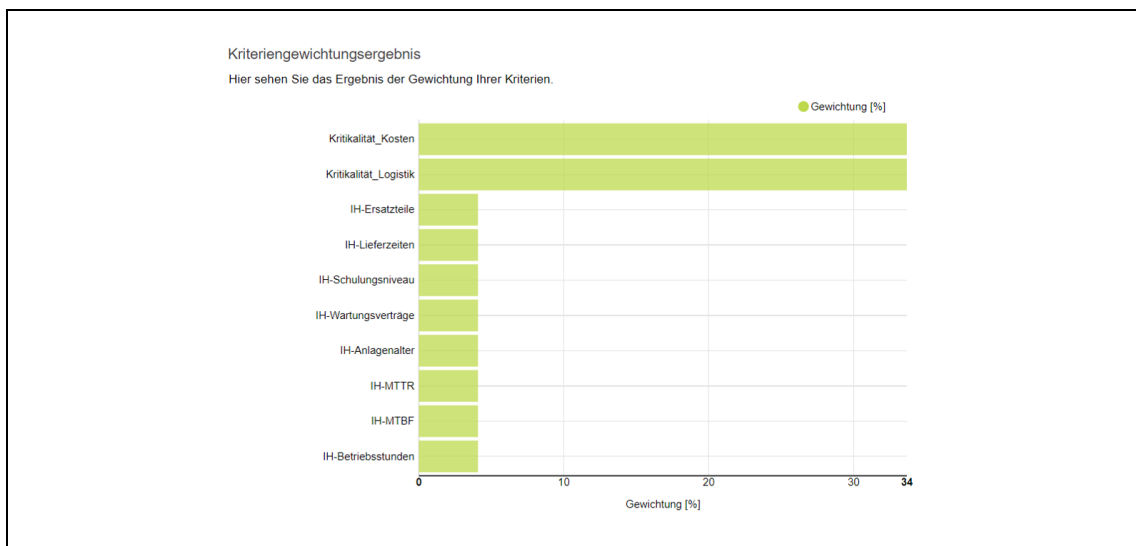
| Kriterium  | Definition  | Kategorie | Relevant für   | Beeinflussung anderer Kriterien  | Datenqualität/-verfügbarkeit |
|--|---|-----------|----------------|--|------------------------------|
| Ersatzteilbevorratung                              | % bezogen auf den Anschaffungswert der Anlage                         | IH        | Kosten         | Wartungsvertrag  | Gut                          |
| Ersatzteillieferzeiten                             | Durchschnittl. Wiederbeschaffungszeit letzter Bestellungen            | IH        | Zeit           | MTTR, Ersatzteilbevorratung  | Gut                          |
| MA Schulungsniveau                                 | % der MA, unter Bezugnahme wie lange diese in der Vergangenheit liegt | IH        | Qualität       | MTTR, Wartungsvertrag  | Sehr gut                     |
| Wartungsvertrag                                    | Vorhanden oder nicht vorhanden  | IH        | Zeit<br>Kosten | Ersatzteillieferzeiten, Ersatzteilbevorratung                                | Sehr gut                     |
| Betriebsstunden                                    | $= \frac{\text{Anlagenbetriebsstd.}}{\text{Alter der Anlage}}$        | IH        | Zeit           | MTTR, MTBF   | Sehr gut                     |
| Auswirkung auf Liefertermin                        | Einfluss auf Pönalen  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag, Ersatzteilbevorratung                                       | Befriedigend                 |
| Auswirkung auf LB-Termin                           | Einfluss auf Pönalen  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Auswirkung auf LB-Termin (interne Rückfallsebene)  | Einfluss auf Pönalen  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Auswirkung auf interne Wertschöpfung (30 MA-Stopp) | Anzahl betroffener Mitarbeiter  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Auswirkung auf interne Wertschöpfung (20 MA-Stopp) | Anzahl betroffener Mitarbeiter  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Auswirkung auf interne Wertschöpfung (10 MA-Stopp) | Anzahl betroffener Mitarbeiter  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Verzug direkt wirkungsvoll                         | Einfluss auf Pönalen  | P         | Kosten         | Wartungsvertrag  | Befriedigend                 |
| Kompensation durch Umplanung                       | Wo in der Wertschöpfungskette; Nähe zum Kunden                        | P         | Kosten         | Betriebsstunden, MA Schulungsniveau  | Befriedigend                 |
| Ausfallstunden pro Jahr                            | $\sum$ Ausfallszeiten (aus Ist-Daten des letzten Jahres)              | AV        | Zeit<br>Kosten | MTTR, MTBF   | Gut                          |
| Ausfallkosten ~eine Schicht                        | Stundensatz (€) * Ausfallszeiten (Std.)                               | AV        | Zeit<br>Kosten | Alter der Anlage, Wartungsvertrag, Ersatzteilbevorratung, MA Schulungsniveau | Gut                          |
| Ausfallkosten < 1 Tag                              | Stundensatz (€) * Ausfallszeiten (Std.)                               | AV        | Zeit<br>Kosten | Alter der Anlage, Wartungsvertrag, Ersatzteilbevorratung, MA Schulungsniveau | Gut                          |
| Ausfallkosten < 3 Tage                             | Stundensatz (€) * Ausfallszeiten (Std.)                               | AV        | Zeit<br>Kosten | Alter der Anlage, Wartungsvertrag, Ersatzteilbevorratung, MA Schulungsniveau | Gut                          |

IH = Instandhaltung; P = Produktion; AV =Arbeitsvorbereitung

<sup>798</sup> Quelle Passath, T. et al. (2020a), S. 213 f.

Eine gute Datenqualität ist wesentlich für eine quantitative Bewertung. Eine unzureichende Datenqualität konnte deshalb zum Ausschluss eines Kriteriums führen, da eine weitestgehende Automatisierung der Bewertung wesentlich für die Siemens Mobility Graz war bzw. zu einer Reduktion der Wichtigkeit des Kriteriums im Zuge der Gewichtung führte. Aus dem Ergebnis der Datenanalyse wurde geschlossen, dass eine weitgehend gute Datenbasis vorhanden war.<sup>799</sup> Nach der Kriterienauswahl und -definition, wurden diese in das CAPP-Tool der Firma Boom Software AG eingepflegt. Die Gewichtung sowie die eigentliche Bewertung erfolgten anschließend im Softwaretool.

Die Gewichtung basierte auf einem paarweisen Vergleich der Kriterien. Da nicht jede Abteilung gleich viele Kriterien bewerten musste, wurden die 100%, die bei der Gewichtung erreichbar waren, auf die drei Abteilungen aufgeteilt. Somit standen jeder Abteilung 33,3% der Gesamtprozente der Gewichtung zur Verfügung. Das Ergebnis der Gewichtung ist in Abbildung 68 ersichtlich.



**Abbildung 68: Gewichtungsergebnis der Kriteriengewichtung<sup>800</sup>**

Als letzter Schritt der Vorbereitung, wurde die Anlagenauswahl für die Kritikalitätsbewertung durchgeführt. Dabei ging es in erster Linie um die Anlageneingrenzung. Hierfür wurde in einem Workshop eine Checkliste (Abbildung 69) erstellt, die Kriterien enthält, die wesentlich für kritische Anlage sind.

Durch diese Voreinstufung konnte das Risikopotenzial der jeweiligen Anlage abgeschätzt werden, sowie auf die aktuell vorherrschenden Regeln des Instandhaltungsmanagements geschlossen werden. Beispielsweise erfolgte eine Anbindung an die Siemens interne Cloud, sowie an das Produktionssystem bis dato nur bei kritischen Schlüsselanlagen. Bei Betrachtung des Kriteriums „Anlagenpriorisierung“, wurde ersichtlich, dass die Anlagen, die die Mehrheit der Kriterien für die Bewertung erfüllten, auch die mit dem größten Einfluss auf die Erfolgsfaktorenkategorien waren und entsprechend von Relevanz für die Kritikalitätsbewertung waren.<sup>801</sup>

<sup>799</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 214.

<sup>800</sup> Quelle: Siemens Mobility Austria GmbH / Ausschnitt aus CAPP-Tool der Boom Software AG

<sup>801</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 214.



|                                    | unbewertete Anlagen |                    | bewertete Anlagen      |                                     |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------------|
|                                    | < 400 €             | > 400 € & < 5000 € | Nicht kritische Anlage | Kritische Anlage (Schlüsselanlagen) |
| ▪ Eintrag in IPSA                  | ✓                   | ✓                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ gesetzlich Wartung + Überprüfung | ✓                   | ✓                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ Eindeutige Kennzeichnung         | ✗                   | ✓                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ Pflege als Serie oder Unikat     | ✗                   | ✓                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ Zuordnung MA, verantwortlich IH  | ✗                   | ✓                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ Präventive Instandhaltung        | ✗                   | ✗                  | ✓                      | ✓                                   |
| ▪ Vertragliche Absicherung         | ✗                   | ✗                  | ✗                      | ✓                                   |
| ▪ Kennzahlensystem                 | ✗                   | ✗                  | ✗                      | ✓                                   |
| ▪ Anschluss Produktionsnetzwerk    | ✗                   | ✗                  | ✗                      | ✓                                   |
| ▪ Mindsphere Visualisierung        | ✗                   | ✗                  | ✗                      | ✓                                   |
| ▪ Anlagenpriorisierung             | ✗                   | ✗                  | ✗                      | ✓                                   |

Abbildung 69: Checkliste zur Anlagenvorauswahl<sup>802</sup>

### Kritikalitätsbewertung

Die Bewertung wurde beispielhaft für die ausgewählten Anlagen mit Unterstützung der Boom Software AG im Zuge eines Workshops durchgeführt. Vorab wurden die Workshopteilnehmer für die Anwendung des Tools eingeschult, da die Bewertung der restlichen Anlagen intern erfolgte und die softwaregestützte Bewertung als Standard bei der Siemens Mobility GmbH implementiert wurde.

Im Zuge der Bewertung ist jede Anlage durch die Instandhaltung, Produktion und Arbeitsvorbereitung bewertet worden, um eine ganzheitliche Sicht auf jedes Kriterium bzw. jede Anlage zu erhalten. Je Abteilung wurde je Anlage die Kritikalität (1-5) ermittelt und der Durchschnitt gebildet, der die Gesamtkritikalität ergab. Ein beispielhaftes Bewertungsergebnis ist Abbildung 70 in dargestellt.<sup>803</sup>

| Anlagen                      | Kritikalität aus Sicht der Produktion | Kritikalität aus Sicht der Arbeitsvorbereitung | Kritikalität aus Sicht der Instandhaltung | Gesamtkritikalität |
|------------------------------|---------------------------------------|--|---|--------------------|
| <b>Schweißroboter</b>        |                                       |  |   |                    |
| X122 Schweißroboter 1        | 3,4                                   | 4,2  | 3,0                                       | 3,5                |
| X136 Schweißroboter 2        | 3,4                                   | 4,6  | 3,3                                       | 3,8                |
| X165 Schweißroboter 3        | 3,4                                   | 1,7  | 2,8                                       | 2,6                |
| X145 Schweißroboter 4        | 3,0                                   | 4,5  | 3,9                                       | 3,8                |
| X164 Schweißroboter 5        | 3,0                                   | 5,0  | 3,0                                       | 3,7                |
| X146 Schweißroboter 6        | 2,9                                   | 4,3  | 2,7                                       | 3,3                |
| X153 Schweißroboter 7        | 2,9                                   | 3,6  | 3,0                                       | 3,2                |
| <b>mechanische Fertigung</b> |                                       |  |   |                    |
| X114 Fräsmaschine 1          | 2,2                                   | 4,7  | 3,6                                       | 3,5                |
| X115 Fräsmaschine 2          | 2,7                                   | 2,6  | 3,6                                       | 3,0                |
| X010 Fräsmaschine 3          | 2,5                                   | 1,0  | 4,1                                       | 2,5                |
| X053 Fräsmaschine 4          | 3,4                                   | 2,4  | 4,3                                       | 3,4                |
| X066 Fräsmaschine 5          | 2,5                                   | 1,0  | 4,0                                       | 2,5                |
| X063 Fräsmaschine 6          | 2,5                                   | 1,6  | 3,6                                       | 2,6                |
| X116 Fräsmaschine 7          | 2,2                                   | 4,4  | 3,7                                       | 3,2                |
| X119 Fräsmaschine 8          | 2,2                                   | 3,9  | 3,6                                       | 3,2                |
| <b>Oberfläche</b>            |                                       |  |   |                    |
| X040 Lackieranlage 1         | 4,0                                   | 5,0  | 4,2                                       | 4,4                |
| X124 Lackieranlage 2         | 3,9                                   | 5,0  | 3,9                                       | 4,3                |
| X127 Lackieranlage 3         | 4,0                                   | 2,1  | 3,7                                       | 3,3                |
| X008 Lackieranlage 4         | 4,0                                   | 1,6  | 4,1                                       | 3,2                |
| <b>Messmaschinen</b>         |                                       |  |   |                    |
| X055 Messmaschine 1          | 4,5                                   | 1,0  | 4,0                                       | 3,2                |
| X111 Messmaschine 2          | 3,5                                   | 4,2  | 3,3                                       | 3,7                |
| X125 Messmaschine 3          | 3,9                                   | 3,9  | 3,7                                       | 3,8                |
| X128 Messmaschine 4          | 3,9                                   | 1,1  | 3,5                                       | 2,8                |
| X163 Messmaschine 5          | 3,6                                   | 2,7  | 3,2                                       | 3,2                |
| X138 Messmaschine 6          | 3,6                                   | 1,2  | 3,1                                       | 2,6                |

Abbildung 70: Auszug aus der Kriterienbewertung bei der Siemens Mobility GmbH<sup>804</sup>

<sup>802</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S 215.

<sup>803</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 215.

<sup>804</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 215.

Das Bewertungsergebnis zeigt, dass die Lackieranlagen durchgängig hohe Kritikalitätswerte hatten. Weiters ist ersichtlich, dass die Bewertungen der Wichtigkeit der Anlagen abteilungsspezifisch unterschiedlich ausgefallen sind. Die Schweißroboter wurden aus Sicht der Arbeitsvorbereitung als die kritischsten Anlagen bewertet, die Gesamtkritikalität liegt jedoch im Mittelfeld (2,6-3,8), da die Instandhaltung und die Produktion sie mit einer geringeren Kritikalität bewerteten.<sup>805</sup> Auf Basis des Bewertungsergebnisses wurden im nächsten Schritt im Zuge der Detailanalysen Maßnahmen zur Senkung der Kritikalität abgeleitet.

### Detailanalysen inklusive Maßnahmenableitung

Dieser Schritt zielte darauf ab, Maßnahmen sowohl zur Kostensenkung als auch zur Risikoreduktion bei den als kritisch identifizierten Anlagen, wie beispielsweise den Lackieranlagen, abzuleiten. Kurzfristige Maßnahmen wurden auf Basis der Kriterien zur Anlagenauswahl abgeleitet. War beispielsweise eine Siemens-interne Cloud Anbindung noch nicht gegeben, wurde dies bei kritischen Anlagen nachgeholt. Generell wurden fünf allgemeine Maßnahmen (Abbildung 71) für die kritischen Anlagen im Workshop erarbeitet. Diese wurden anlagenspezifisch auf Sinnhaftigkeit und Anwendbarkeit überprüft.

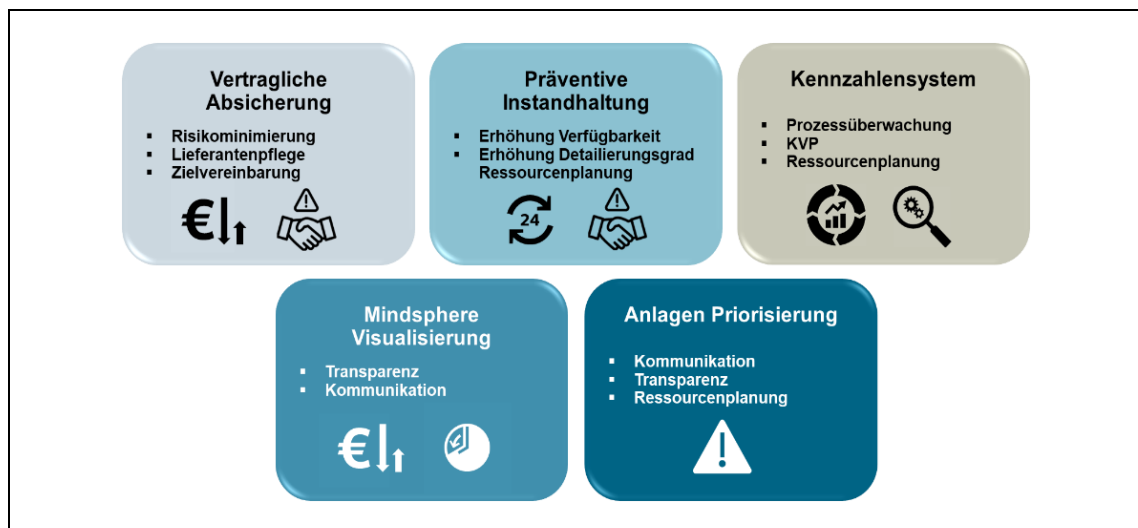


Abbildung 71: Maßnahmenableitung auf Basis der Kritikalität zur langfristigen Anlagenoptimierung<sup>806</sup>

Die vertragliche Absicherung durch Wartungsverträge verfolgt das Ziel durch die Verkürzung von Reaktionszeiten, Verfügbarkeitserhöhung bei Ersatzteilen, sowie den Einsatz von Spezialkräften bei Ausfällen, das Risiko entscheidend zu senken. Die Erhöhung der präventiven Instandhaltungstätigkeiten bei kritischen Anlagen, sollte jedenfalls betrachtet werden. Hierbei ist auf das Verhältnis von Instandhaltungskosten zu Risiko zu achten.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Überwachung der Anlagen mit Hilfe eines Kennzahlensystems. Dieses soll einerseits bei der Risikoüberwachung und andererseits bei der Ressourcenplanung unterstützen. Hierbei werden instandhaltungsrelevante

<sup>805</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 216.

<sup>806</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2020a), S. 216.

Kennzahlen wie die MTBF aber auch der Einsatz von abteilungsübergreifenden Kennzahlen (OEE) eingesetzt, um die ganzheitliche Sichtweise auch im Controlling zu verankern. Um die laufende Überwachung der als kritisch identifizierten Anlagen sicherzustellen, ist eine Zustandsüberwachung dieser sinnvoll. Der Vorteil hierbei ist, dass die anlagenrelevanten Informationen in Echt-Zeit abgerufen werden können, was die Transparenz erhöht und ein Eingreifen bei einer Verschlechterung der kritischen Stellung zeitnah erlaubt. Die letzte Maßnahme, die Anlagenpriorisierung, dient der Priorisierung von Instandhaltungstätigkeiten. Störungen an kritischen Anlagen sind demnach zu priorisieren.<sup>807</sup>

Ein weiteres Thema, das im Zuge der Maßnahmenableitung aufgekommen ist, war das der IT-Risiken, das sowohl für kritische Anlagen, aber auch für unkritische relevant ist. Aus diesem Grund wurde eine beispielhafte Risikobewertung für IT-Risiken zum Kennenlernen der Bewertungsmethodik durchgeführt, die seitdem fallspezifisch auch für kritische Anlagen bei der Siemens Mobility GmbH angewandt wird.

### Risikobewertung von IT-Risiken

Die Risikobewertung wurde auf Basis einer FMEA durchgeführt. Hierfür wurden im ersten Schritt die Bewertungsdimensionen (Personenschaden, Schadensausmaß, Eintrittswahrscheinlichkeit) bestimmt, sowie deren Ausprägungen definiert (Abbildung 72).

| Schadensausmaß              |   | Bewertung |
|-----------------------------|---|-----------|
| Gering                      | Personenschaden ohne Folge-schäden; weniger als 10 Ausfallstage, Sachschäden bis € 10.000 | 1         |
| Mittel                      | Personenschaden ohne Folgeschäden, ab 10 Ausfallstagen, Sachschäden bis € 100.000         | 2         |
| Hoch                        | Personenschaden mit Folgeschäden, Sachschäden über € 100.000                              | 3         |
| Eintrittswahrscheinlichkeit |   | Bewertung |
| Unwahrscheinlich            | Risiko tritt weniger als einmal in 5 Jahren auf   | 1         |
| Gelegentlich                | Risiko tritt einmal innerhalb der Zeitspanne von 1-5 Jahren auf                           | 2         |
| Häufig                      | Risiko tritt mindestens einmal pro Jahr auf   | 3         |
| Personenschaden             |   | Bewertung |
| Nein                        |   | 1         |
| Ja                          |   | 2         |

**Abbildung 72: Ausprägungsstufen zur Bewertung der IT-Risiken bei der Siemens Mobility GmbH<sup>808</sup>**

Mit Hilfe eines FMEA-Formblatts wurde die Bewertung der Risiken durchgeführt und im Anschluss eine Risikomatrix (Abbildung 73) zur Visualisierung des Risikopotenzials der identifizierten Risiken erstellt. Auf Basis dessen wurden Maßnahmen zur Risikosenkung

<sup>807</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 216 f.

<sup>808</sup> Quelle: Eigene Darstellung

abgeleitet. Diese Maßnahmen wurden folgend erneut bezüglich ihres Einsparungspotenzials bewertet. Das Ziel hierbei war das Risiko zu eliminieren.

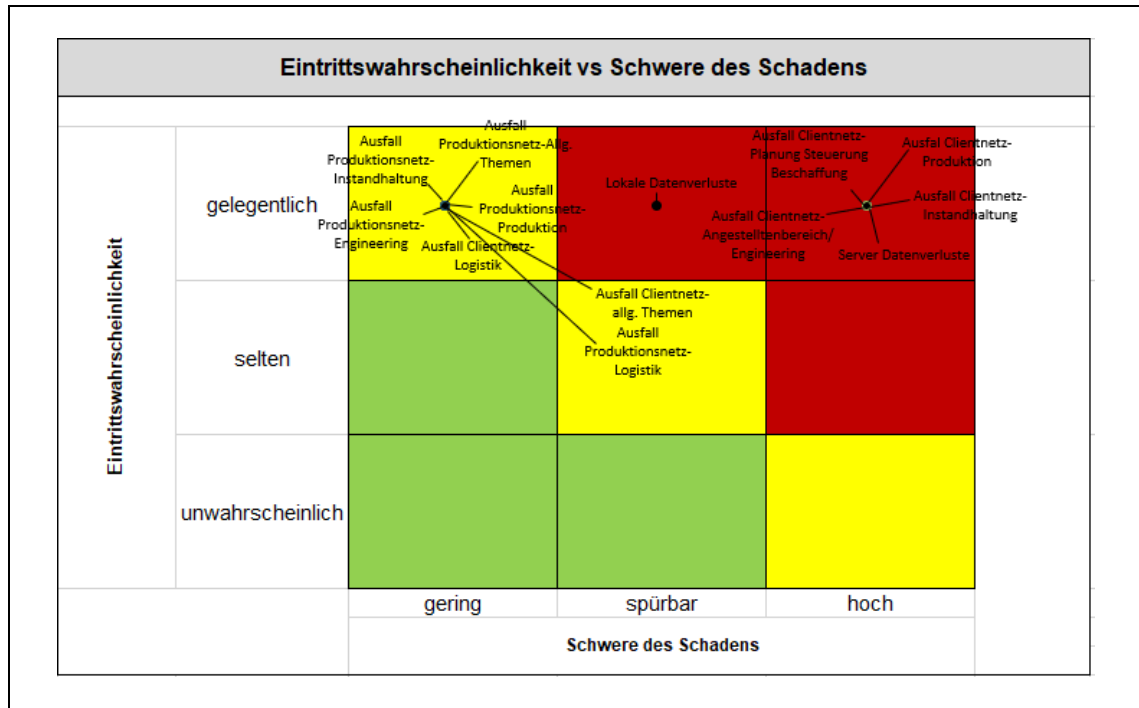


Abbildung 73: Risikomatrix der IT-Risiken Siemens Mobility GmbH<sup>809</sup>

Ein Ausschnitt des Bewertungsergebnisses inklusive der Maßnahmenableitung ist in Abbildung 74 ersichtlich. Die gesamte Bewertung kann im Anhang C nachgeschlagen werden.

| Gefahr   | Beschreibung / Ausprägung jew. Abteilung  | Pers. Schaden | Schwere | Eintrittswahrscheinlichkeit | Risiko (alle Felder multipliziert) | Betrachtung mit Maßnahme   |               |         |                             | Medizinisch relevant |      |    |
|--|---|---------------|---------|-----------------------------|------------------------------------|--|---------------|---------|-----------------------------|----------------------|------|----|
|  |   |               |         |                             |                                    | Maßnahme   | Pers. Schaden | Schwere | Eintrittswahrscheinlichkeit | Restrisiko           | Nein | Ja |
| <b>Gefahren/Schäden durch Ausfall der IT</b>                                 |   |               |         |                             |                                    |  |               |         |                             |                      |      |    |
| Ausfall Clientnetz (ATOS)<br>Annahme Ausfall größer 1 Tag bis maximal 5 Tage | <i>Planung, Steuerung und Beschaffung:</i> keine Materialdisposition, Keine Abrufe beim Lieferanten, keine Bestellungen   | 1             | 3       | 3                           | 9                                  | Expertenrunde (Arbeitsrunde) einsetzen (LU)  |               |         |                             | 0                    | X    |    |
|  | <i>Logistik:</i> Material nicht auffindbar, Keine Kommissionierlisten, kein Wertefluss, keine Wareneingänge buchbar, Kein Versand möglich   | 1             | 3       | 3                           | 9                                  | Clustern, Zugang, Bestand, Abgang - Paperisierung denkbar? Pufferlager bei externen Dienstleistern (BA)          | 1             |         |                             | 0                    |      | X  |
|  | <i>Produktion:</i> Kein Material, Fertigungsaufträge nicht buchbar, Kein AZM, keine Personaldaten, keine Materialabrufe für die Zukunft, Produktionsstillstand (keine Stücklisten, ...) | 1             | 3       | 3                           | 9                                  | MA Zwangsurlaub; Arbeitsgruppen (LA & LU)  | 1             |         |                             | 0                    |      | X  |
|  | <i>Instandhaltung:</i> Ausfall IPSA: kein Zugriff auf Dokumente, Keine I.H. Vorschläge, Keine Auftragsabwicklung, kein Kostenfluss, ...   | 1             | 1       | 3                           | 3                                  | Hotlineummer für Notfall festlegen, auf Mobiltelefone umsteigen, händisches Mitschreiben der Ausfälle & Aufträge | 1             |         |                             | 0                    |      | X  |
|  | <i>Angestelltenbereich:</i> kein Arbeiten möglich, ...  | 1             | 3       | 3                           | 9                                  | Homeoffice, Handylotspot, Organisation für den Ernstfall durchdenken   | 1             |         |                             | 0                    |      | X  |
|  | <i>Allgemeine Themen:</i> Festnetztelefone funktionieren nicht mehr, eingeschränkter Mailverkehr (nur PCs), GLT läuft nur noch autark,  | 1             | 1       | 3                           | 3                                  | Ausweichen auf Mobil- oder Notruftelefone  | 1             |         |                             | 0                    |      | X  |

Abbildung 74: Auszug aus der Maßnahmenableitung zur Senkung der IT-Risiken<sup>810</sup>

<sup>809</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>810</sup> Quelle: Eigene Darstellung

### **Erfolgsüberprüfung**

Die Erfolgsüberprüfung ist ein kontinuierlicher Prozess und wird durch eine regelmäßige Kritikalitätsbeurteilung (nach jeder größeren Änderung) bei der Siemens Mobility erreicht<sup>811</sup>. Durch die laufende Überprüfung der Kritikalität sowie ausgewählter Kennzahlen im Zuge des Instandhaltungscontrollings wird der Erfolg der abgeleiteten Maßnahmen erhoben. Die Senkung der Kritikalität gibt hierbei den Erfolg wieder.

#### **6.1.4 Resümee und Ausblick**

Durch die Einführung der standardisierten, weitestgehend automatisierten, systemunterstützten und dynamischen Kritikalitätsbeurteilung wurde ein Standard zur Identifikation kritischer Anlagen geschaffen und das Bewusstsein der Instandhaltung aber auch der Produktion und Arbeitsvorbereitung für kritische Anlagen verstärkt. Durch die ressourcenschonende Bewertung ist es möglich auf Knopfdruck, bei Änderung der Produktionsbedingungen, die kritischen Anlagen zu ermitteln und dementsprechende Maßnahmen zur Instandhaltungsoptimierung abzuleiten. Durch die standardisierte Methodik kann Wissen aus Störungen gewonnen und für zukünftige Ausfälle herangezogen werden.

Die nächsten Schritte sind die Einführung einer standardisierten Maßnahmenbewertung im Sinne einer Aufwand-/Nutzen-Bewertung, sowie die Verknüpfung des Bewertungsergebnisses mit der Budgetierung um den Kritikalitätsbeurteilungsprozess abzurunden. Hierbei ist auch eine Systemunterstützung durch die Boom Software AG angedacht.

Für die Modellweiterentwicklung zeigte sich, dass die Morphologie noch stärker Einfluss auf die Kriterienauswahl nehmen sollte, da vor allem externe Einflussfaktoren aber auch interne Charakteristika, die Einfluss auf die Anlage haben, wesentlich für den Erfolg des Unternehmens sind. Hierzu wurde das Einstufungsmodell zur Komplexität weiterentwickelt. Weiters sollte die Gewichtung hinsichtlich Objektivität im Bewertungsprozess weiterentwickelt werden. Bei der Kriteriendefinition sollte ein Standard zur Erfassung und Dokumentation der Kriterien geschaffen werden, welches im Zuge der Fallstudien 2 und 3 angewandt wurde.

---

<sup>811</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2020a), S. 217.

## 6.2 Fallstudie 2 – pharmazeutisches Unternehmen (strategisches Geschäftsfeld der pharmazeutischen Verpackung)

Das in Fallstudie 2 betrachtete pharmazeutische Unternehmen ist ein weltweit tätiges mit dem Schwerpunkt auf verschreibungspflichtige Medikamente. Somit stellt das übergeordnete Ziel die Sicherstellung der Patientenversorgung dar, die durch eine gute Qualität der Produkte sowie deren Verfügbarkeit wesentlich beeinflusst wird. Umso notwendiger sind in diesem Zusammenhang zuverlässige Anlagen, sowie eine präzise Planung und Einhaltung des Produktionsprogramms<sup>812</sup>, was durch die Einführung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung erleichtert wird.

Im Zuge dieser Fallstudie wurde das strategische Geschäftsfeld der pharmazeutischen Verpackung im Detail erläutert. Die Potenziale, die im ersten Anwendungsfall aufgedeckt wurden, sind in die Vorgehensweise der Kritikalitätsbeurteilung eingearbeitet worden.

### 6.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die steigende Digitalisierung, der zunehmende Wettbewerbsdruck, der Wandel vom Verkäufer zum Käufermarkt und die verstärkte Anlagenkomplexität, machen auch vor der Pharmaindustrie nicht Halt. Umso wichtiger ist es, die Prozesse so wertschöpfungsorientiert und flexibel wie möglich zu gestalten. Das kann durch einen zielgerichteten Ressourceneinsatz, sowie die Verwendung von Anlagendaten für Analyse- und Optimierungszwecke, um Produktionsvorgaben einzuhalten, geschehen.<sup>813</sup>

Das betrachtete strategische Geschäftsfeld der „pharmazeutischen Verpackung“ produziert fertig abgefüllte Spritzen in einem automatisierten Prozess. Hierbei werden sie zu einem Autoinjektor (ähnlich wie ein Insulinpen) assembliert und verpackt. Das strategische Geschäftsfeld ist durch die hohe Anzahl an Anlagentypen, die Heterogenität des Anlagenparks und die sich ständig ändernden Produktionsbedingungen gekennzeichnet. Aus diesen Gründen war es wichtig, eine geeignete Methodik zu implementieren, die dynamisch die größten Gefahrenquellen identifiziert. Weiters war das Ziel der Einführung dieser standardisierten Methodik den Ressourcenaufwand zu reduzieren, um dem Mitarbeiter mehr Zeit für anlagenverbessernde Tätigkeiten einzuräumen. Folgend sollten durch die datengestützte Bewertung erfahrungsbasierte Entscheidungen auf ein Minimum reduziert, sowie eine durchgängige Anlagenüberwachung durch die regelmäßige Bewertung ermöglicht werden, um dementsprechend zeitnah auf Produkt- und Produktionsänderungen zu reagieren.<sup>814</sup>

Dieses Projekt wurde bei dem beschriebenen pharmazeutischen Unternehmen operativ vom wBw durchgeführt und systemseitig von der Boom Software AG unterstützt.

<sup>812</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 83.

<sup>813</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 85.

<sup>814</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 83 ff.

## 6.2.2 Vorgehensweise

Das strategische Geschäftsfeld „pharmazeutische Verpackung“ wurde nach der 7-stufigen Vorgehensweise zur Kritikalitätsbeurteilung in Kapitel 5 analysiert. Die Durchführung der einzelnen Phasen erfolgte in Workshops im Rahmen eines Auftragsforschungsprojekts, sowie im Zuge von Dokumentensichtungen und Datenanalysen. Ziel der Vorbereitungsphase war es, auf Basis der Unternehmenscharakterisierung wichtige Einflussfaktoren der Anlagen zu identifizieren, die strategischen Erfolgsfaktoren zu erheben und daraus den Komplexitätsgrad des betrachteten strategischen Geschäftsfeldes abzuleiten. Weiters wurde der Anlagenpark, der über 500 technische Plätze umfasst, auf die Wesentlichen durch Bewertung des Einflusses der Erfolgsfaktoren auf die Anlagen begrenzt. Als letzter Schritt der Vorbereitung erfolgte in bereitgefächerten Teams die Kriteriendefinition und -gewichtung sowie die Feststellung der Datenreife je Kriterium und übergeordnet des strategischen Geschäftsfeldes. Die Datenanalyse und Feststellung der Datenreife wurden zweigeteilt. Im Zuge einer online-Datenumfrage (Survey Monkey) erfolgt die Erstbewertung der Datenverfügbarkeit je Kriterium. Die eigentliche Datenanalyse zielte darauf ab, die Datenverfügbarkeit jedes Kriteriums zu analysieren und abzugleichen, ob das Erfahrungswissen deckungsgleich mit der tatsächlich vorherrschenden Datenqualität und -verfügbarkeit ist<sup>815</sup>. Hierbei wurde das Vorhandensein der Daten in SAP, der technische Platz-Bezug der Daten sowie die Datenqualität überprüft. Die Gewichtung wurde anhand des Kausalitätsmappings, auf Basis der Morphologie und einer AHP-Bewertung festgelegt. Die Kriterienbewertung selbst wurde im CAPP-Tool der Boom Software AG durchgeführt.<sup>816</sup> Bevor mit der eigentlichen Bewertung gestartet werden konnte, mussten manche quantitativen Kriterien (Störhäufigkeit, Wartungsaufwand, MTBF, MTTR) noch berechnet werden, da die Daten hierzu nicht direkt aus dem System abrufbar waren. In diesem Schritt war das Data Cleaning wesentlich. Fehlende Daten wurden, wenn möglich ergänzt sowie „saubere“ Teilmengen für die Bewertung herangezogen. Als Betrachtungszeitraum wurde ein Geschäftsjahr herangezogen. Im Zuge der Maßnahmenableitung wurde Maßnahmen zur Steigerung der Datenreife abgeleitet, sowie beispielhaft eine Risikoanalyse einer als kritisch identifizierten Anlage durchgeführt.

Das wBw unterstützte den Prozess der Einführung der Kritikalitätsbeurteilung aktiv bis einschließlich der Maßnahmenableitung. Eine beispielhafte Risikobewertung wurde für eine als kritisch identifizierte Anlage durchgeführt und Maßnahmen zur Risikominimierung abgeleitet und auf Basis einer Aufwand-/Nutzenbewertung priorisiert.

## 6.2.3 Ergebnisse

Die Kritikalitätsbeurteilung wurde bei der pharmazeutischen Verpackung, einer der kritischsten Produktionslinien des betrachteten Unternehmens, durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

---

<sup>815</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 115.

<sup>816</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 121.

### Vorbereitungsphase (Kritikalitätsidentifikation und -analyse)

Im ersten Schritt wurden die strategischen Erfolgsfaktoren des Unternehmens aus den Unternehmenszielen im Rahmen eines Workshops mit Personen aus unterschiedlichen Abteilungen abgeleitet, geclustert und gewichtet. Insgesamt wurden sechs Erfolgsfaktorencluster gebildet, die für die Kritikalitätsbeurteilung, insbesondere die Kriterienauswahl von Relevanz sind und mittels Punktebewertung gewichtet (Abbildung 75).<sup>817</sup>

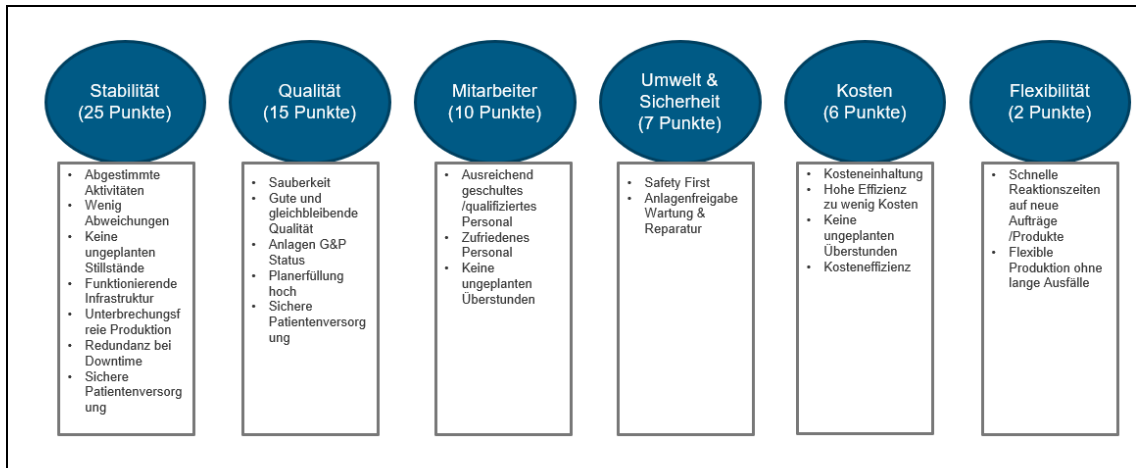


Abbildung 75: Ergebnis der Erhebung der Erfolgsfaktoren<sup>818</sup>

Hierbei zeigte sich, dass der Cluster „Stabilität“ der wichtigste, gefolgt vom Cluster „Qualität“ und dem Cluster „Mitarbeiter“ war.<sup>819</sup>

Im nächsten Schritt erfolgte die Charakterisierung des betrachteten strategischen Geschäftsfelds zur Identifikation (siehe Anhang D) der größten Einflussfaktoren und zum Abgleich der Gewichtung der Erfolgsfaktorencluster mit den Erkenntnissen aus der Morphologie sowie die darauf basierende Einstufung der Komplexität. Die pharmazeutische Verpackung ist gekennzeichnet durch die Marktführerschaft auf diesem Gebiet mit 100% der Marktanteile. Weiters ist die Wachstumsrate stark steigend, was auf den hohen Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen zurückzuführen ist. Die Produkte sind annähernd gleichbleibend. Der aktuelle Produktwechselzyklus liegt bei ein bis zwei Wochen mit einem damit verbundenen Aufwand von bis zu vier Stunden. Der Anlagenpark ist heterogen, jedoch sind keine Spezialanlagen im Einsatz.

Auf Basis der Charakterisierung konnte der Komplexitätsgrad fünf (sehr hoher Komplexitätsgrad) (Abbildung 76) festgestellt werden. Dieser Einstufungsgrad ist gleichzusetzen mit dem Reifegrad zur Auswahl des Instrumentensets für die Kritikalitätsbewertung. Somit wird im Falle der pharmazeutischen Verpackung eine automatisierte Kritikalitätsbewertung empfohlen. Ob die Anwendung dieser Methode möglich ist, wurde im Zuge der Datenanalyse festgestellt.

<sup>817</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 109.

<sup>818</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 109.

<sup>819</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 109.



|                               | Nicht komplex   | Geringer Komplexitätsgrad   | Mäßiger Komplexitätsgrad  | Hoher Komplexitätsgrad  | Sehr hoher Komplexitätsgrad  |
|-------------------------------|---|---|---|---|--|
| Markterfolg                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;10MA</li> <li>Sehr geringer Marktanteil &lt;10%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen sehr gering</li> <li>Keine Strategieanpassung</li> <li>Keine Strategischen Ziele</li> <li>Wachstumsrate starker Rückgang</li> <li>Rentabilität &lt;3%</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Kostenführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen nicht vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>10-49 MA</li> <li>Geringer Marktanteil 10-20%</li> <li>branchengleichen Unternehmen</li> <li>Statische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele leicht erreichbar</li> <li>Wachstumsrate geringer Rückgang</li> <li>Rentabilität 3-9%</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>50-100 MA</li> <li>Mäßiger Marktanteil 21-50%</li> <li>branchengleichen Unternehmen Bv gegeben</li> <li>Thv. vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele Bv. schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate stagnierend</li> <li>Rentabilität 9-12%</li> <li>Unterscheidungsgrad eher hoch</li> <li>Technologieführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen als Unternehmensstandards implementiert</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit als Standard implementiert</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>101-249 MA</li> <li>Hoher Marktanteil 51-80%</li> <li>branchengleichen Unternehmen eher hoch</li> <li>Vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate gering steigend</li> <li>Rentabilität 13-15%</li> <li>Unterscheidungsgrad hoch</li> <li>Qualitäts- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen Bv. Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit Bv. Verbesserung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;249MA</li> <li>Sehr hoher Marktanteil &gt;80%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen hoch</li> <li>Dynamische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele sehr schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate stark steigend</li> <li>Rentabilität &gt;16%</li> <li>Rohstoffzugang schwierig</li> <li>Unterscheidungsgrad hoch</li> <li>Wachstumsrate</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen laufende Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit laufende Verbesserung</li> </ul>  |
| Technologiereife              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie (Imitationsbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit)</li> <li>Defensive Strategie, keine Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien unattraktiv</li> <li>Weder Leistungssteigerung noch Kostensenkung</li> <li>Großer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Veraltete Technologie</li> <li>Ressourcen vorhanden</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie</li> <li>Defensive Strategie geringe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeit</li> <li>Neue Technologien Bv. attraktiv, aber neg. Effekte</li> <li>Keine Leistungssteigerung aber Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien gleichbleibend</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Application Engineering</li> <li>Offensive und geringe Veränderungsmöglichkeit / dehnbar</li> <li>Neue Technologien attraktiv und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien attraktiv aber neg. Effekte</li> <li>Leistungssteigerung, keine bis geringe Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsrückstand</li> <li>Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien verbesserungspotential</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Follow the leader</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungsbereitschaft</li> <li>Neue Technologien attraktiv, Bv. neg. Effekte</li> <li>Leistungs- und Kostensteigerung unausgeglichen</li> <li>Hoher Entwicklungsrückstand</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien verbesserungsorientiert/ Bv. Schlüsseltechnologien</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungsbereitschaft &amp; Optimierung</li> <li>Neue Technologien attraktiv, keine neg. Effekte</li> <li>Ausgeglichene Leistungs- und Kostensteigerung</li> <li>Entwicklungsvorsprung wird laufend verbessert</li> <li>Sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Schlüsseltechnologien</li> <li>Neue Technologien weitestgehend in Verwendung</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> </ul>   |
| Produktion & Produktportfolio | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Produktnachfrage</li> <li>Sehr geringe Produktionsmengen</li> <li>Alle Produkte sind gleich</li> <li>Produktzusammensetzung ist gleichbleibend</li> <li>Produktwechsellzyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &lt;1h</li> <li>Umsstellkosten: &lt;0,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Kein Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 1-Schicht</li> <li>Optimaler Qualifikationsgrad</li> <li>Massenfertigung</li> <li>Lagerfertigung</li> <li>Basistaufbereitung</li> <li>Anf. an Produktqualität, Bv. umgesetzt, Bv. Q-Sicherung</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzl. Anf. sind umgesetzt</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität wird betrachtet, keine Analyse</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzl. Anf. umgesetzt</li> <li>Material-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beständige Produktnachfrage</li> <li>Geringe Produktionsmengen</li> <li>Viele gleiche Produktprozesse</li> <li>Produktzusammensetzung ist annähernd gleichbleibend</li> <li>Produktwechsellzyklus: 1 bis zwei Wochen</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: 1-4h</li> <li>Umsstellkosten: 0,5-1,4% des Tagesumsatzes</li> <li>Geringes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 2-Schicht</li> <li>Sortierfertigung</li> <li>Gruppenfertigung</li> <li>Anlagen-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher beständige Produktnachfrage</li> <li>Mäßige Produktionsmengen</li> <li>Produkte sind Bv. schwach</li> <li>Produktzusammensetzung variiert Bv.</li> <li>Produktwechsellzyklus: bis eine Woche</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &lt;1 Tag</li> <li>Umsstellkosten: 1,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Mittleres Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 3-schichtig oder Wochenendbetrieb 1-schichtig</li> <li>Mäßiger Qualifikationsgrad</li> <li>Serienfertigung</li> <li>Auftragsfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Überprüfung während Prozess</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: Bv. Analyse von Kennzahlen</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher schwankende Produktnachfrage</li> <li>Produktliche</li> <li>Große Produktionsmengen</li> <li>Th. ungleiche Produktprozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktwechsellzyklus: 1 Tag</li> <li>Schnell anpassungsfähig</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: 1,6-2Tage</li> <li>Umsstellkosten: 1,6-3% des Tagesumsatzes</li> <li>Hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Wochenendbetrieb 2-3 schichtig</li> <li>Einzel- und Kleinfertigung</li> <li>Fließfertigung</li> <li>Arbeitsintensive Einsatzintensität</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schwankende Produktnachfrage</li> <li>Sehr große Produktionsmengen</li> <li>Überwiegend ungleiche Produktprozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert sehr stark</li> <li>Produktwechsellzyklus: wenige Stunden</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &gt;2 Tage</li> <li>Umsstellkosten: &gt;3% des Tagesumsatzes</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Wochenendbetrieb (4-5 Schichtig)</li> <li>Verbesserungsgradiger Qualifikationsgrad</li> <li>Chargenfertigung</li> <li>Programmfertigung</li> <li>Werkstattdfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Produktqualität als Erfolgsfaktor, laufende Verbesserung</li> <li>Anf. an Schutz: laufende Evaluierung &amp; Verbesserung d. Sicherheitsbedingungen</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: laufende Analyse und Verbesserung</li> <li>Anf. an Umwelt: laufende Optimierung hinsichtlich Ressourcenschonung</li> <li>Informations-intensive Einsatzintensität</li> </ul> |
| Asset                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Automation</li> <li>Durchgängige Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Keine Verflechtung</li> <li>Alle Anlagen vom gleichen Hersteller</li> <li>Auslastungsgrad: ~50%</li> <li>Gleiche Systemarchitektur</li> <li>Instandhaltungsintensität: &lt;1%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenig Automation</li> <li>Mehrere Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Loose Verflechtung der Anlagen</li> <li>Guter Erhaltungszustand</li> <li>Geringe Komplexität</li> <li>Mehr gleiche als unterschiedliche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Homogener Anlagenpark</li> <li>Loose Verflechtung der Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 50-70%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 1-3%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Th. Automation</li> <li>Ausweichmöglichkeiten Bv. vorhanden</li> <li>Elastische Verflechtung</li> <li>Gemischter Erhaltungszustand</li> <li>Mittlere Komplexität</li> <li>Heterogener Anlagenpark</li> <li>Mehr verschiedene Hersteller, Bv. Einzel-Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 71-80%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Automation weitestgehend vorhanden</li> <li>Verschiedene Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Starre Verflechtung ohne Taktzwang</li> <li>Schlechter Erhaltungszustand</li> <li>Hohe Komplexität</li> <li>Hauptsächlich Einzelanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 81-90%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 4-10%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollautomatisiert</li> <li>Keine Ausweichmöglichkeiten</li> <li>Starre Verflechtung mit Taktzwang</li> <li>Anlagen haben verschiedene Hersteller</li> <li>Nur Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 91-100%</li> <li>Anlagen haben unterschiedliche Systemarchitekturen</li> <li>91 Instandz. &gt;10%</li> </ul>   |

Abbildung 76: Ergebnis der Komplexitätseinstufung der pharmazeutischen Verpackung<sup>820</sup>

Nach der Festlegung der Komplexität, wurde im nächsten Schritt im Rahmen eines Workshops die Bewertungsebene auf technischer Platzebene festgelegt, sowie der Anlagenpark eingegrenzt. Dazu wurden die Erfolgsfaktoren bzw. Kriterien, die diese widerspiegeln definiert, Ausprägungsstufen festgelegt, den Anlagen gegenübergestellt und deren Einfluss bewertet (Abbildung 77). So konnten die technischen Plätze auf 140 über das gesamte Unternehmen reduziert werden, wovon vier der pharmazeutischen Verpackung zuzuordnen sind.

<sup>820</sup> Quelle: Eigene Darstellung

| Einfluss      |   |  |                      |  |                                     |   |   |   |                       |                       |                                |                     |
|---------------|---|--|----------------------|--|-------------------------------------|---|---|---|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| gering (1)    | Ausweichmöglichkeit vorhanden / keine Redundanz notwendig | Ausfall kann innerhalb einer Produktionswoche kompensiert werden           | <50%                 | Anlagenausfall resultiert in keiner Abweichung | <100.000€                           | Mitarbeiter können ohne Probleme in anderen | Ausfall erzeugt kaum Unzufriedenheit      | <5.000                                  | kein Risiko           | kein Risiko           | kein Einfluss                  |                     |
| mittel (2)    | tlw. Ausweichmöglichkeit                                  | Ausfall kann innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden       | 50%-80%              | Anlagenausfall resultiert in einer Abweichung  | 100.000€-250.000€                   | Mitarbeiter können teilweise in anderen     | Ausfall erzeugt teilweise Unzufriedenheit | 5.000-15.000                            | mittleres Risiko pSIF | mittleres Risiko pSIF | potentieller Einfluss          |                     |
| hoch (3)      | keine Ausweichmöglichkeit                                 | Ausfall kann nicht innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden | >80%                 | Anlagenausfall resultiert in einer Abweichung  | >250.000€                           | Mitarbeiter können nicht in anderen         | Ausfall erzeugt hohe Unzufriedenheit      | >15.000                                 | großes Risiko / SIF   | großes Risiko / SIF   | Patientenversorgung kann nicht |                     |
| Stabilität    |   |  | Qualität (SCRAP)     |  |                                     | Mitarbeiter                                 |   | Kosten                                  |                       | Umwelt & Sicherheit   |                                | Patientenversorgung |
| Bereich-Linze | Redundanz   | Produktionsplanung   | Auslastung/Beplanung | Abweichung                                     | Anlagenausfall resultierender SCRAP | Umplanbarkeit                               | Zufriedenheit                             | Ausfallkosten (Überstunden & Reparatur) | Mensch                | Umwelt                | CSL                            |                     |
| Verpackung    | 3   | 1  | 2                    | 2  | -                                   | 1   | 1   | 3                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 1   | 1  | 3                    | 1  | -                                   | 1   | 1   | 1                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 1   | 1  | 3                    | 1  | -                                   | 1   | 1   | 1                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 1   | 1  | 3                    | 1  | -                                   | 1   | 1   | 1                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 3   | 2  | 2                    | 1  | -                                   | 1   | 1   | 1                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 2   | 3  | 3                    | 2  | -                                   | 1   | 1   | 3                                       | 1                     | 1                     | 3                              |                     |
| Verpackung    | 2   | 2  | 2                    | 2  | -                                   | 1   | 1   | 3                                       | 1                     | 1                     | 2                              |                     |
| Verpackung    | 3   | 3  | 3                    | 2  | -                                   | 1   | 1   | 3                                       | 1                     | 1                     | 3                              |                     |

Abbildung 77: Auszug aus der Bewertung der Anlagen im Zuge der Anlagenauswahl<sup>821</sup>

Im nächsten Schritt erfolgte die Kriterienauswahl. Hierbei wurden die Charakteristika der Morphologie den auf die jeweils definierten Erfolgsfaktoren zutreffenden Kriterien gegenübergestellt und deren Wichtigkeit ermittelt (auszugsweise in Tabelle 14, gesamte Tabelle Anhang D)

Tabelle 14: Auszug aus der Kriterienauswahl für den Erfolgsfaktor Mitarbeiter

| Charakteristik                        |                              | Mitarbeiter                     |                |                             |                          |                        |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
|                                       |                              | Qualifizierung (Ausbildungsrad) | Schulungsquote | Mitarbeiterflexibilitätsrad | Mitarbeiterzufriedenheit | Personalauslastungsrad |
| Fertigungsart                         | Ausprägungsstufen            |                                 |                |                             |                          |                        |
|                                       | Massenfertigung              | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Größserienfertigung          | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Sortenfertigung              | 3                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Einzel-/Kleinserienfertigung | 5                               | 3              | 3                           | 1                        | 3                      |
|                                       | Wiederholfertigung           | 3                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Chargenfertigung             | 3                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Einzelfertigung              | 5                               | 3              | 5                           | 1                        | 3                      |
|                                       | Ortsgebunden                 | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Ortsungebunden               | 1                               | 3              | 3                           | 1                        | 5                      |
|                                       | Lagerfertigung               | 3                               | 1              | 1                           | 1                        | 1                      |
|                                       | Auftragsfertigung            | 5                               | 1              | 3                           | 3                        | 3                      |
|                                       | Programmfertigung            | 3                               | 1              | 3                           | 1                        | 3                      |
| Schichtmodell                         | Kein Wochenendbetrieb        | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 1                      |
|                                       | Wochenendbetrieb             | 5                               | 1              | 5                           | 3                        | 1                      |
|                                       | 1 Schicht                    | 5                               | 1              | 1                           | 1                        | 1                      |
|                                       | 2 Schicht                    | 5                               | 1              | 3                           | 1                        | 1                      |
|                                       | 3 Schicht                    | 5                               | 1              | 5                           | 1                        | 1                      |
| Qualifizierung, slevel noch aufnehmen | nicht bekannt                | 5                               | 5              | 5                           | 5                        | 5                      |
|                                       | durchwachsen                 | 5                               | 3              | 5                           | 5                        | 5                      |
|                                       | einheitlich gut              | 1                               | 1              | 5                           | 5                        | 5                      |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand       | gut                          | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 1                      |
|                                       | schlecht                     | 1                               | 1              | 1                           | 1                        | 1                      |
| Zusammenfassung                       | Punkteanzahl                 | 48                              | 34             | 34                          | 42                       | 46                     |
|                                       | Wichtigkeit der Punkteanzahl | 63,16%                          | 44,74%         | 44,74%                      | 55,26%                   | 60,53%                 |
|                                       | Wichtigkeit inkl. Gewichtung | 52,3                            | 37,1           | 37,1                        | 45,8                     | 50,1                   |
|                                       | EF                           | 56,43%                          | 39,97%         | 39,97%                      | 49,37%                   | 54,08%                 |

<sup>821</sup> Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt wurden im ersten Schritt 35 Kriterien ausgewählt, die es durch Analyse der Datenqualität und -verfügbarkeit sowie auf Hinblick deren Bedeutung mit dem Ziel einer weitestgehend automatisierten Bewertung, zu reduzieren galt. Nach erster Kriterienanalyse und Elimination von Doppelgleisigkeiten, wurden 29 der ausgewählten Kriterien mit den jeweiligen Zuständigen ausdefiniert (Tabelle 15) und für jedes Kriterium ein Kriteriendefinitionsblatt (siehe Abschnitt 5.5.1) erarbeitet, in dem auch die Ausprägungsstufen, die essenziell für die Bewertung waren, enthalten sind.

**Tabelle 15: Kriterienübersicht für die Kriterienbewertung<sup>822</sup>**

| Cluster-Erfolgsfaktor | Kriterium                 | Definition   | Formel  | Effektivität / Effizienz | Bewertungsform |
|-----------------------|---------------------------|--|---|--------------------------|----------------|
| STABILITÄT            | Anlagenverfügbarkeit      | Die Anlagenverfügbarkeit gibt Aufschluss darüber, wie lang die Anlage im Vergleich zur geplanten Laufzeit tatsächlich gelaufen ist. (Wochenende wird dazugezählt)  | $\frac{\text{tatsächliche Laufzeit}}{\text{Planbelegungszeit}}$ $= \frac{(\text{theoretisch verfügbare Gesamtzeit} - \text{geplante Stillstände} - \text{ungeplante Stillstände})}{(\text{theoretisch verfügbare Gesamtzeit} - \text{geplante Stillstände})}$ | Effektivität             | qualitativ     |
|                       | Ausfallzeit               | Die Ausfallzeit der Anlage beschreibt die Anzahl an Stunden einer Periode, in denen die Anlage still gestanden ist in Bezug auf die Gesamtbetriebszeit der Anlage. Es handelt sich um eine störungsbedingte Ausfallzeit, wobei ungeplante Kurzstillstände (<3min.) nicht dazugezählt werden. | $\frac{\text{Ausfallzeit}}{\text{Planbelegungszeit}}$   | Effektivität             | qualitativ     |
|                       | Dauer Chargenwechsel      | Damit wird die Abweichung vom Richtwert dargestellt.   | $\frac{\text{Die Abweichung der Ist Dauer des Chargenwechsel} + \text{Kampagnen} + \text{Formatwechsel pro Linie zum vorgegeben Richtwert} [\%]}{\text{Richtwert}}$   | Effektivität             | qualitativ     |
|                       | Einhaltung der Planzeiten | Prozessauftragsbasierte Einhaltung der Planzeiten. (Maschinenzeit)   | $\frac{\text{Ist} - \text{Zeit}}{\text{Soll} - \text{Zeit}}$  | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Ersatzteilverfügbarkeit   | Die Ersatzteilverfügbarkeit gibt Aufschluss ob und in welchem Ausmaß Ersatzteile auf Lager liegen.   | $\frac{\sum \text{Ersatzteiltypen} > 0 \text{ je Anlage}}{\sum \text{Ersatzteiltypen je Anlage}}$   | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | MTBF                      | Mean Time Between Failure beinhaltet die durchschnittliche Betriebszeit zwischen zwei aufeinander folgenden Ausfällen.   | $\frac{\text{Zeit zwischen Störungen}}{\text{Anzahl der Ausfälle}}$   | Effektivität             | quantitativ    |
|                       | Output                    | Der Output gibt Auskunft über den prozentuellen Anteil der produzierten Teile.   | $\frac{\text{Ist Anzahl produzierter Teile}}{\text{Soll Anzahl produzierter Teile}}$  | Effektivität             | qualitativ     |

<sup>822</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 121 ff.

Fortsetzung Tabelle 15: Kriterienübersicht für die Kriterienbewertung<sup>823</sup>

| Cluster-Erfolgsfaktor | Kriterium                | Definition   | Formel  | Effektivität / Effizienz | Bewertungsform |
|-----------------------|--------------------------|--|---|--------------------------|----------------|
| STABILITÄT            | Planungsgrad             | Der Planungsgrad gibt an, wie groß der Anteil der durchgeführten präventiven IH-Maßnahmen an der Gesamtzahl der IH-Maßnahmen ist.  | $\frac{\text{Anzahl vorbeugender Wartungen}}{\text{Anzahl Wartungen}}$  | Effizienz                | quantitativ    |
|                       | Störhäufigkeit           | Die Störhäufigkeit bildet die Anzahl von Störungen einer Anlage in einer bestimmten Periode.   | $\frac{\text{Anzahl der Störungen}}{\text{Planbelegungszeit}}$<br>$= \frac{\text{Anzahl der Störungen}}{(\text{Tage} - \text{Dauer der geplanten Wartungen [Tage]})}$ | Effektivität             | quantitativ    |
|                       | Überfällige Wartungen    | Definition von Überfällig = Alle Wartungen bei denen das "Due Date" + die zulässige Toleranz überschritten wurde (Sobald Status Confirmed).  | $\frac{\text{Anzahl überfälliger Wartungen}}{\text{Gesamte Anzahl an Wartungen}}$   | Effektivität             | quantitativ    |
|                       | Wartungsaufwand          | Der Wartungsaufwand gibt Auskunft über den durchschnittlichen stündlichen Aufwand der Instandhalter bei einer Wartung.   | $\frac{\text{Dauer Wartungen je Periode}}{\text{Anzahl Wartungen}}$   | Effizienz                | quantitativ    |
|                       | Wartungsverträge         | Damit wird die Abdeckung einer Linie durch Wartungsverträge dargestellt.   | k. A.   | Effizienz                | qualitativ     |
| FLEXIBILITÄT          | MTTR                     | Mean Time to Repair ist der durchschnittliche Zeitaufwand in Stunden bis der Betriebszustand wiederhergestellt ist.  | $\frac{\text{ungeplante Arbeitsstunden (Störstunden)}}{\text{Anzahl der Störungen}}$  | Effektivität             | quantitativ    |
|                       | Fremdleistungsanteil     | Der Fremdleistungsanteil gibt Auskunft über den Anteil der Fremdleistungen, die für Instandhaltungstätigkeiten in Anspruch genommen worden sind im Verhältnis zu den gesamten IH-Leistungen. | $\frac{\text{Fremdleistungskosten}}{\text{Summe IH Kosten}}$  | Effizienz                | quantitativ    |
|                       | Durchlaufzeit (IH)       | Die Durchlaufzeit der Instandhaltung gibt die Gesamtzeit, die zur Durchführung der IH-Tätigkeit gebraucht wurde, an.   | $\text{Durchführungszeit (Bearbeitungszeit, Rüstzeit)} + \text{Übergangszeit (Liegezeit, Transport)} + \text{Zwischenzeit (Wartezeit, Liegezeit)}$                    | Effektivität             | qualitativ     |
| MITARBEITER           | Qualifizierungsgrad (IH) | Die Qualifizierung der Instandhalter bezieht sich auf das Fachwissen der Mitarbeiter am Standort sowie auf den Grad der universellen Einsetzbarkeit.   | $\text{Anzahl der verfügbaren Mitarbeiter pro Linie}$   | Effizienz                | quantitativ    |

<sup>823</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 121 ff.

Fortsetzung Tabelle 15: Kriterienübersicht für die Kriterienbewertung<sup>824</sup>

| Cluster-Erfolgsfaktor | Kriterium                   | Definition   | Formel  | Effektivität / Effizienz | Bewertungsform |
|-----------------------|-----------------------------|--|---|--------------------------|----------------|
| UMWELT UND SICHERHEIT | Mitarbeiter flexibilität    | Anteil der MA, die einen anderen in seiner Tätigkeit ersetzen könnten, je höher der MA-Flexibilitätsgrad, umso flexibler der MA Einsatz.                   | $\frac{\text{Anzahl verfügbare Mitarbeiter}}{\text{notwendige Mitarbeiter pro Linie}}$  | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Mitarbeiter zufriedenheit   | Die Mitarbeiterzufriedenheit gibt Auskunft darüber wie sehr die Mitarbeiter mit dem Arbeitsumfeld, -bedingungen und der Arbeit an sich zufrieden sind.     | k. A.   | Effektivität             | qualitativ     |
|                       | Personalauslastung          | Der Personalauslastungsgrad gibt die verfügbare Zeit der Mitarbeiter für wertschöpfende Tätigkeiten an.  | $\frac{\text{Soll Arbeitszeit} - \text{nicht wertschöpfende Arbeitszeit}}{\text{Soll Arbeitszeit}}$                             | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Sauberkeit                  | Gibt an, inwiefern Anlagenverfügbarkeit aufgrund von Sauberkeit beeinträchtigt wird.   | k. A.   | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Sicherheit                  | Anzahl an möglichen Arbeitsunfällen bzw. Arbeitsunfällen je Periode.   | $\sum \text{Anzahl pSIF \& SIF einer Periode}$  | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Umwelt                      | Anzahl an möglichen Unfällen bzw. Unfällen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben. (pSIF/SIF)  | $\sum \text{Anzahl pSIF \& SIF einer Periode}$  | Effizienz                | qualitativ     |
|                       | Ressourcenverbrauch/Bereich | Diese Kennzahl spiegelt den Ressourcenverbrauch (Wasser, Energie, Material...) eines Produktionsbereichs wieder in Bezug auf das vergangene Geschäftsjahr. | k. A.   | Effektivität             | qualitativ     |
| QUALITÄT              | Ausschussrate               | Die Ausschussrate stellt die Anzahl der Ausschussteile der gesamten Produktionsmenge einer Periode gegenüber.  | $\frac{\text{Anzahl der Ausschussteile einer Periode}}{\text{Gesamte Produktionsmenge einer Periode}}$                          | Effektivität             | quantitativ    |
|                       | Technical Deviations        | Die Qualitätsabweichungen geben Auskunft, inwiefern sich die Produktqualität verändert hat.  | $\frac{(\text{Anzahl der technischen Abweichungen} + \text{Anzahl der Reklamationen})}{\text{Anzahl der produzierten Batches}}$ | Effektivität             | qualitativ     |
| KOSTEN                | IH-Intensität               | Die IH-Intensität stellt die Beziehung zwischen Instandhaltungskosten und dem Wiederbeschaffungswert einer Anlage dar.                                     | $\frac{\sum \text{IH Kosten einer Periode}}{\text{Wiederbeschaffungswert der Anlage}}$  | Effizienz                | qualitativ     |

<sup>824</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 121 ff.

Fortsetzung Tabelle 15: Kriterienübersicht für die Kriterienbewertung<sup>825</sup>

| Cluster-Erfolgsfaktor | Kriterium             | Definition   | Formel  | Effektivität / Effizienz | Bewertungsform |
|-----------------------|-----------------------|--|---|--------------------------|----------------|
|                       | IH-Kosten-effizienz   | Unter der IH-Kosten-effizienz versteht man die periodenbezogenen Kosten für Personal-, Material- und Fremdleistungen in Bezug auf alle IH-Aktivitäten  | $\frac{\sum (\text{Personal, Material, Fremdleistungskosten})}{\text{Anzahl IH Tätigkeiten einer Periode}}$ | Effizienz                | quantitativ    |
| KOSTEN                | Überstunden/Abteilung | Die Überstunden pro Abteilung geben die Überstunden je Bereich bezogen auf eine Periode wieder. Alles was über 38 Std/Woche ist als Überstunde zu betrachten (Mehr- & Überstunden werden in einen Topf gehaut).            | $\frac{\text{Überstunden}}{\text{Mitarbeiter}} \text{ Woche}$   | Effektivität             | qualitativ     |
|                       | Budgetabweichung      | Der Budgetabweichungsgrad gibt die prozentuale Überschreitung des Budgets für geplante Instandhaltungsaktivitäten (Preventive Maintenance) an. Alle ungeplanten IH-Aktivitäten (Reactive) stellen eine Überschreitung dar. | $\frac{(\text{Ist Budget} - \text{Soll Budget})}{\text{Soll Budget}}$                                       | Effizienz                | quantitativ    |

Die Ermittlung der drei Ausprägungsstufen – unkritisch, kritisch, hoch kritisch – wurde auf zwei Arten durchgeführt. Einerseits wurden interne Benchmarkwerte und Erfahrungswissen herangezogen und andererseits wurden diese wie in Abschnitt 5.5.1 beschrieben festgesetzt. Aufgrund der hohen Streuung der Daten, war die Anwendung der Standardabweichung nicht möglich. Dementsprechend wurden die Ausprägungsstufen angelehnt an die erwähnten Perzentile mit der Excel Funktion „Conditional Formating“ festgelegt. Für die Berechnung wurden Cut-off Werte,<sup>826</sup> welche die Basis für die Einstufung der Abstufungen „unkritisch“, „kritisch“ und „hoch kritisch“, die in Expertenworkshops definiert wurden, herangezogen. Eine beispielhafte Festlegung der Ausprägungsstufen ist in Abbildung 78 ersichtlich.

<sup>825</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 121 ff.

<sup>826</sup> Vgl. Ecker, S. (2021), S. 71 f.; Passath, T. et al. (2021a), S. 115 ff.

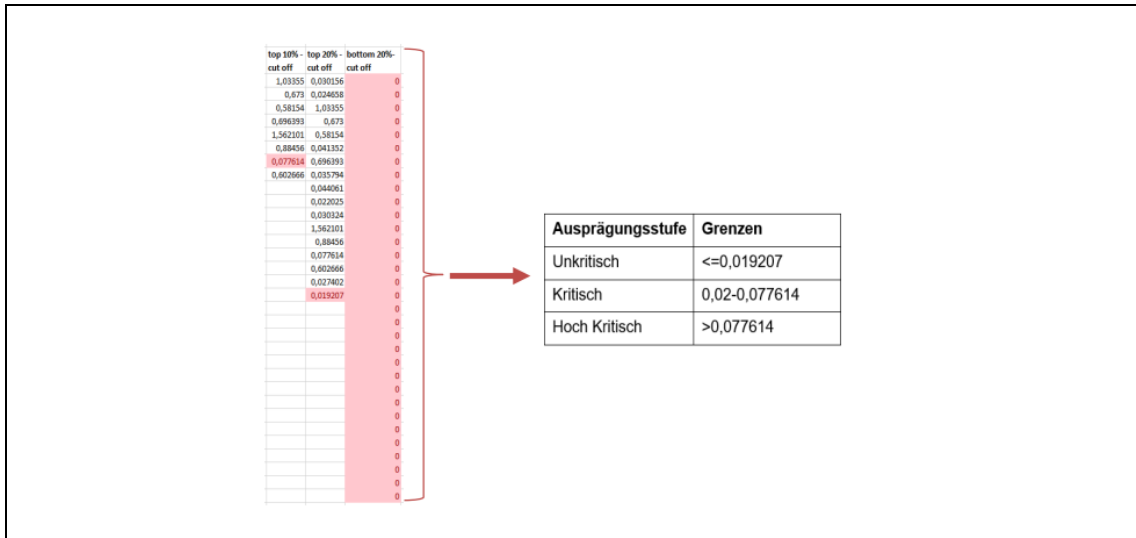


Abbildung 78: Vorgang zur Bestimmung der Ausprägungsstufen<sup>827</sup>

Im Zuge der Kriterienausarbeitung wurde die dazugehörige Datenreife mittels Onlineumfrage (Abbildung 79) und anhand des Datenreifegradmodells ermittelt, um zu identifizieren, welche Kriterien quantitativ und welche qualitativ zu bewerten sind und welches Instrumentenset maximal anwendbar ist. Für die pharmazeutische Verpackung wurde insgesamt der Datenreifegrad zwei ermittelt (Abbildung 80).

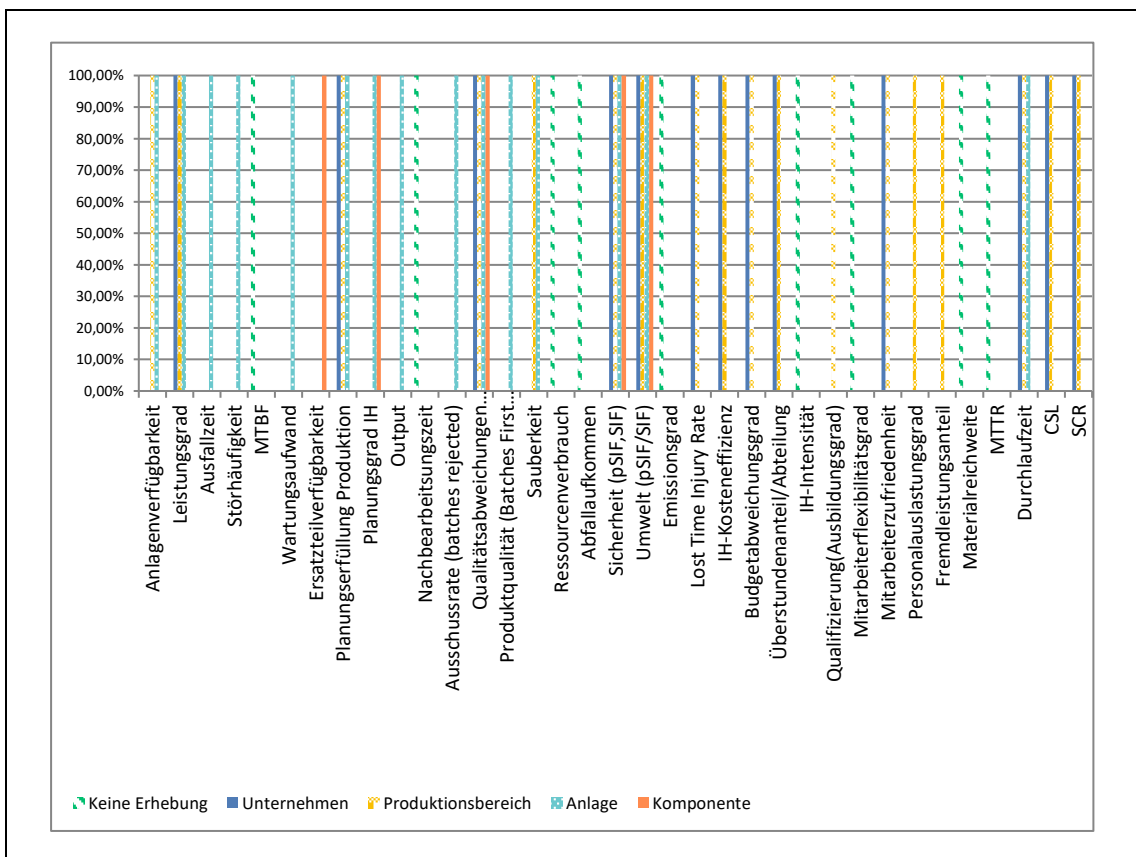


Abbildung 79: Ergebnisse der Umfrage zum Thema "Datenverfügbarkeit"<sup>828</sup>

<sup>827</sup> Quelle: Ecker, S. (2021), S. 72.

<sup>828</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 116.

Die Ergebnisse der Datenverfügbarkeitsanalyse kamen zu dem gleichen Resultat wie die Einstufung des Datenreifegrades, nämlich, dass wenig Daten auf Anlagenebene vorhanden sind. In diesem Fall empfiehlt es sich eine qualitative Bewertung anhand größtenteils qualitativer Kriterien durchzuführen.

|                  | Chaotische Daten   | Semi-strukturierte Daten   | Strukturierte Daten  | Automatisierte Daten  | Echt-Zeit Daten   |
|------------------|--|--|--|---|---|
| Datenerfassung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Standards bzw. Ziele</li> <li>Vermischt digitale Datenerfassung</li> <li>Die unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig) und zuverlässige</li> <li>Die vollständige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Die Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul>                   |
| Datenhaltung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht reibend</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung mehrerer Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vernechtung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, die Papier gespeichert, Lücken vorhanden, viele Überschneidungen</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, aber isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Die Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten in Aufwändig</li> <li>Weitgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken, die Überschneidungen</li> <li>Die Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitgehend lückenlos, wenig Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit weitgehend möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouses</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System, keine Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul> |
| Datenumfang      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, keine Vollständigkeit</li> <li>Wenig historische Daten</li> <li>Datenmenge nicht ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, keine Vollständigkeit</li> <li>Teilweise historische Daten</li> <li>Datenmenge ist ausreichend für einfache Berechnungen (Excel)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsrate von mind. 6 Monaten</li> <li>Historische Daten</li> <li>Datenmenge ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsrate mind 1 Jahr</li> <li>Historische Daten und die Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmengen für quantitative Bewertungen weitgehend geeignet</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten vollständig erfasst, optimaler Datenumfang</li> <li>Auszeichnungsrate ca. 1,5 Jahre</li> <li>Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmengen optimal für quantitative Bewertungen</li> </ul>                  |
| Datenkonsistenz  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug der Daten nicht vorhanden oder schlecht</li> <li>Einheitliche Anlagendaten nicht verfügbar</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug teilweise schlecht / Inkonsistenz</li> <li>Einheitliche Anlagendaten verfügbar</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz innerhalb der Quelle</li> <li>Datenquellenübergreifend arbeitserfassende Konsistenzbehandlung</li> <li>Daten auf Anlagenebene einheitlich</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz über Quellen hinweg gegeben</li> <li>Anlagen und Baugruppendaten einheitlich vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitempfindlichkeit durch Echt-Zeit Übertragung, horizontal und vertikal durchgängiges System</li> <li>Anlagen-, Baugruppen-, und Komponentendaten einheitlich</li> </ul>                                |
| Datenarchitektur | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Datenarchitektur nicht vorhanden</li> <li>Keine Formatstandards</li> <li>Architekturwissen gebunden</li> <li>Inkonsistente Daten innerhalb des Standards</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vermischt einheitliche Datenarchitektur</li> <li>Für Schlüsselwörter gibt es Architekturstandards</li> <li>Die Formatstandards ermöglichen ein Erfahrungswissen gebunden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend einheitliche Anlagenstruktur</li> <li>Weitgehend Formatstandards</li> <li>Die Einheitliche Architektur / horizontale Integration</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Architektur</li> <li>Einheitliche Formatstandards</li> <li>Weitgehend eindeutige Ausgestaltung, horizontale und vertikale Integration</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Laufend optimierte Architektur</li> <li>Formatstandards laufend optimiert</li> <li>Horizontale und vertikale Integration vollständig umgesetzt / eindeutige Auslegbarkeit</li> </ul>                     |
| System-Standards | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Standards bzw. Umsetzungsmöglichkeiten hinsichtlich Digitalisierung</li> <li>Keine Schnittstellen</li> <li>Unstrukturierte Daten</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenige Standards zur Digitalisierung</li> <li>Vermischt Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Datenströme robotermatisch</li> <li>Die unstrukturierte Daten</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend Standards zur Digitalisierung</li> <li>Die Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Weitgehend strukturierte Daten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Standards vorhanden</li> <li>Weitgehend sind die Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Strukturierte Daten vorhanden</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Standards werden laufend optimiert</li> <li>Schnittstellen durchgängig vorhanden</li> <li>Einheitliches Informations- und Datenmanagement</li> </ul>   |
| Datenerfassung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Standards bzw. Ziele</li> <li>Vermischt digitale Datenerfassung</li> <li>Die unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Die vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Die Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul>                   |
| Datenhaltung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht reibend</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung mehrerer Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vernechtung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, die Papier gespeichert, Lücken vorhanden</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Die Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten in Aufwändig</li> <li>Weitgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken, die Überschneidungen</li> <li>Die Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitgehend lückenlos</li> <li>Bearbeitbarkeit weitgehend möglich</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouses</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul>                         |

Abbildung 80: Datenreifegrad der pharmazeutischen Verpackung<sup>829</sup>

Für Kriterien, denen keine eindeutige Formel als Berechnungsgrundlage zugewiesen werden konnte, wurden in interdisziplinären Teams die Ausprägungsstufen definiert.

Für die Bewertung des Kriteriums „Mitarbeiterzufriedenheit“ wurde ein Fragebogen erstellt, dem eine Punkteverteilung gemäß dem Vorgehen beschrieben in Abschnitt 5.5.1 hinterlegt wurde. Hierbei sind Faktoren wie das Arbeitsumfeld, die Arbeitszeiten, ob eine Über- oder Unterforderung vorliegt, wie groß der Dokumentationsaufwand bei der Verrichtung ihrer Tätigkeiten ist, um einige zu nennen, abgefragt worden. Die erreichbaren Punkte wurden in einem Expertenworkshop in die drei Ausprägungsstufen eingeteilt, damit es möglich war auch dieses Kriterium zu bewerten.

Den letzten Schritt der Vorbereitung bildete die Gewichtung der Kriterien. Diese wurde auf Basis der AHP-Gewichtung, des Kausalitätsmappings (siehe Anhang D) und der

<sup>829</sup> Quelle: Eigene Darstellung



Morphologie festgelegt. Beim Vergleich der Gewichtungen (Abbildung 81) der drei Methoden zeigte sich eine überwiegende Korrelation des Kausalitätsmappings mit der Morphologie, weshalb die Gesamtgewichtung der Kriterien auf Basis des Kausalitätsmappings und der Morphologie mit jeweils 40% und des Ergebnisses der AHP-Bewertung (20%) festgelegt wurde.<sup>830</sup>

| Kriterien                              | Morphologie            |         |                                |                   |                      | K-Mapping          |                                |
|--|------------------------|---------|--------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------|
|  | Verh.max.Pu<br>nktzahl | *EF     | Vergleich<br>Zueinander<br>+EF | AHP-<br>Betreiber | AHP-<br>Betreiber*EF | Summe<br>Pfeilchen | Summe<br>Pfeilchen<br>normiert |
| Anlagenverfügbarkeit                   | 0,034606               | 0,01331 | 0,938534279                    | 0,084171016       | 0,032373468          | 22                 | 0,0674847                      |
| Ausfallzeit                            | 0,03687238             | 0,01418 | 1                              | 0,10919033        | 0,041996281          | 20                 | 0,0613497                      |
| Störfrequenz                           | 0,03233961             | 0,01244 | 0,877068558                    | 0,105370505       | 0,040527117          | 22                 | 0,0674847                      |
| MTBF                                   | 0,03024756             | 0,01163 | 0,820330969                    | 0,106881605       | 0,041108309          | 14                 | 0,0429448                      |
| Wartungsaufwand                        | 0,03216527             | 0,01237 | 0,872340426                    | 0,046333249       | 0,01782048           | 12                 | 0,0368098                      |
| Ersatzteilverfügbarkeit                | 0,02658647             | 0,01023 | 0,721040189                    | 0,074163031       | 0,028524243          | 11                 | 0,0337423                      |
| Einhaltung der Planzeiten              | 0,02745816             | 0,01056 | 0,744680851                    | 0,085613276       | 0,032928183          | 19                 | 0,0582822                      |
| Planungsgrad                           | 0,02745816             | 0,01056 | 0,744680851                    | 0,058847577       | 0,022633683          | 11                 | 0,0337423                      |
| Wartungsverträge                       | 0,02257671             | 0,00868 | 0,612293144                    | 0,036361355       | 0,013985137          | 4                  | 0,0122699                      |
| Dauer Chargenwechsel                   | 0,02920153             | 0,01123 | 0,791962175                    | 0,058322015       | 0,022431544          | 9                  | 0,0276074                      |
| Alter der Anlage                       | 0,02170502             | 0,00835 | 0,588652482                    | 0,026649335       | 0,010249744          | 8                  | 0,0245399                      |
| Überfällige Wartungen                  | 0,03059623             | 0,01177 | 0,829787234                    | 0,07849766        | 0,030191408          | 13                 | 0,0398773                      |
| Output                                 | 0,03199093             | 0,0123  | 0,867612293                    | 0,129599048       | 0,049845788          | 1                  | 0,0030675                      |
| Ausschussrate                          | 0,02676081             | 0,00618 | 0,645127397                    | 0,253333333       | 0,058461538          | 7                  | 0,0214724                      |
| Technical Deviations                   | 0,02397141             | 0,00553 | 0,577882847                    | 0,746666667       | 0,172307692          | 6                  | 0,0184049                      |
| Sauberkeit                             | 0,02519177             | 0,00233 | 0,538980825                    | 0,153714729       | 0,014189052          | 7                  | 0,0214724                      |
| Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich | 0,03495467             | 0,00323 | 0,747859207                    | 0,096908788       | 0,008945427          | 9                  | 0,0276074                      |
| Sicherheit (pSIF, SIF)                 | 0,02606346             | 0,00241 | 0,55763068                     | 0,400401429       | 0,036960132          | 12                 | 0,0368098                      |
| Umwelt (pSIF, SIF)                     | 0,02885286             | 0,00266 | 0,617310218                    | 0,348975054       | 0,032213082          | 5                  | 0,0153374                      |
| IH-Kosteneffizienz                     | 0,02676081             | 0,00288 | 0,580614657                    | 0,220812301       | 0,023779786          | 8                  | 0,0245399                      |
| Budgetabweichungsgrad                  | 0,01664923             | 0,00179 | 0,361229314                    | 0,125968392       | 0,013565827          | 13                 | 0,0398773                      |
| Überstunden/Abteilung                  | 0,0192643              | 0,00207 | 0,417966903                    | 0,335234497       | 0,036102177          | 6                  | 0,0184049                      |
| IH-Intensität                          | 0,01734658             | 0,00187 | 0,376359338                    | 0,317984811       | 0,034244518          | 14                 | 0,0429448                      |
| Qualifizierungsgrad                    | 0,02327406             | 0,00358 | 0,526004728                    | 0,29082486        | 0,044742286          | 10                 | 0,0306748                      |
| Mitarbeiterflexibilität                | 0,01769526             | 0,00272 | 0,399921198                    | 0,189063646       | 0,029086715          | 9                  | 0,0276074                      |
| Mitarbeiterzufriedenheit               | 0,02083333             | 0,00321 | 0,470843184                    | 0,368715948       | 0,05672553           | 15                 | 0,0460123                      |
| Personalauslastung                     | 0,02135635             | 0,00329 | 0,482663515                    | 0,151395546       | 0,023291622          | 5                  | 0,0153374                      |
| Fremdleistungsanteil                   | 0,02309972             | 0,00071 | 0,466377725                    | 0,148691142       | 0,004575112          | 6                  | 0,0184049                      |
| MTTR                                   | 0,0290272              | 0,00089 | 0,586052009                    | 0,397036121       | 0,012216496          | 16                 | 0,0490798                      |
| Durchlaufzeit                          | 0,0290272              | 0,02422 | 0,586052009                    | 0,454272737       | 0,013977623          | 12                 | 0,0368098                      |

Abbildung 81: Gegenüberstellung der Gewichtungsmethoden<sup>831</sup>

Die Gewichtung der Morphologie zeigte, dass die Anlagenverfügbarkeit, die Ausfallzeit, der Leistungsgrad, die Störfrequenz, der Vorbeugungsgrad, der Ressourcenverbrauch zu den am höchsten gewichteten Kriterien zählten (Abbildung 81, Anhang D).

Da der Leistungsgrad und der Vorbeugungsgrad aktuell nicht anlagenspezifisch bestimmt werden konnten, wurden diese Kriterien für die Kriterienbewertung ausgeschlossen. Jedoch wurden im Zuge der AHP-Bewertung und des Kausalitätsmappings noch die Kriterien „Wartungsaufwand“ und „überfällige Wartungen“ auf Wunsch des Unternehmens aufgenommen. Die Gesamtgewichtung (Abbildung 82), bei der auch die Ergebnisse der AHP-Bewertung miteinfließen, sahen die Anlagenverfügbarkeit, die Ausfallzeit, die Störfrequenz, Qualitätsabweichungen und die Einhaltung von Planzeiten sowie überfällige Wartungen und die Mitarbeiterzufriedenheit als die wichtigsten Kriterien. Diese Gewichtung wurde in das CAPP-Tool für die Durchführung der Kritikalitätsbewertung übernommen.

<sup>830</sup> Vgl. Passath, T. et al. (2021a), S. 119.

<sup>831</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 120.

| Kriterien                              | AHP-      |         |         | Summe     |             |         | GESAMTE |            |            | GESAMTE    |            |
|--|-----------|---------|---------|-----------|-------------|---------|---------|------------|------------|------------|------------|
|  | Betreiber | *EF     | Pfeilch | Pfeilchen | Morphologie | 2/5     | 2/5Morp | GEWICHTUNG | 1/5 AHP    | GEWICHTUNG |            |
| Anlagenverfügbarkeit                   | 0,08417   | 0,03237 | 22      | 0,0674847 | 0,067484663 | 0,01683 | 0,02699 | 0,02699    | 0,02360731 | 0,00647    | 0,02015414 |
| Ausfallzeit                            | 0,10919   | 0,042   | 20      | 0,0613497 | 0,061349693 | 0,02184 | 0,02454 | 0,02454    | 0,02363927 | 0,0084     | 0,01915967 |
| Störfrequenz                           | 0,10537   | 0,04053 | 22      | 0,0674847 | 0,067484663 | 0,02107 | 0,02699 | 0,02699    | 0,02502061 | 0,00811    | 0,02069772 |
| MTBF                                   | 0,10688   | 0,04111 | 14      | 0,0429448 | 0,042944785 | 0,02138 | 0,01718 | 0,01718    | 0,01857738 | 0,00822    | 0,0141925  |
| Wartungsaufwand                        | 0,04633   | 0,01782 | 12      | 0,0368098 | 0,036809816 | 0,00927 | 0,01472 | 0,01472    | 0,01290483 | 0,00356    | 0,01100398 |
| Ersatzteilverfügbarkeit                | 0,07416   | 0,02852 | 11      | 0,0337423 | 0,033742331 | 0,01483 | 0,0135  | 0,0135     | 0,01394216 | 0,0057     | 0,01089957 |
| Einhaltung der Planzeiten              | 0,08561   | 0,03293 | 19      | 0,0582822 | 0,058282209 | 0,01712 | 0,02331 | 0,02331    | 0,02124947 | 0,00659    | 0,01773713 |
| Planungsgrad                           | 0,05885   | 0,02263 | 11      | 0,0337423 | 0,033742331 | 0,01177 | 0,0135  | 0,0135     | 0,01292113 | 0,00453    | 0,01050687 |
| Wartungsaufwand                        | 0,03636   | 0,01399 | 4       | 0,0122699 |             | 0,00727 | 0,00982 |            | 0,00569607 | 0,0028     | 0,00420433 |
| Dauer Chargenwechsel                   | 0,05832   | 0,02243 | 9       | 0,0276074 | 0,027607362 | 0,01166 | 0,01104 | 0,01104    | 0,0112501  | 0,00449    | 0,0088574  |
| Output                                 | 0,1296    | 0,04985 | 1       | 0,0030675 | 0,003067485 | 0,02592 | 0,00123 | 0,00123    | 0,00945793 | 0,00997    | 0,00414105 |
| Ausschussrate                          | 0,25333   | 0,05846 | 7       | 0,0214724 | 0,021472393 | 0,05067 | 0,00859 | 0,00859    | 0,02261486 | 0,01169    | 0,00962341 |
| Überfällige Wartungen                  | 0,0785    | 0,03019 | 13      | 0,0398773 |             | 0,0157  | 0,0319  |            | 0,01586712 | 0,00604    | 0,01264671 |
| Technical Deviations                   | 0,74667   | 0,17231 | 6       | 0,0184049 | 0,018404908 | 0,14933 | 0,00736 | 0,00736    | 0,05468575 | 0,03446    | 0,01639515 |
| Sauberkeit                             | 0,15371   | 0,01419 | 7       | 0,0214724 | 0,021472393 | 0,03074 | 0,00859 | 0,00859    | 0,01597362 | 0,00284    | 0,00667191 |
| Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich | 0,09691   | 0,00895 | 9       | 0,0276074 | 0,027607362 | 0,01938 | 0,01104 | 0,01104    | 0,01382255 | 0,00179    | 0,00795832 |
| Sicherheit (pSIF, SIF)                 | 0,4004    | 0,03696 | 12      | 0,0368098 | 0,036809816 | 0,08008 | 0,01472 | 0,01472    | 0,03650938 | 0,00739    | 0,01227996 |
| Umwelt (pSIF, SIF)                     | 0,34898   | 0,03221 | 5       | 0,0153374 | 0,015337423 | 0,0698  | 0,00613 | 0,00613    | 0,02735498 | 0,00644    | 0,00623752 |
| IH-Kosteneffizienz                     | 0,22081   | 0,02378 | 8       | 0,0245399 | 0,024539877 | 0,04416 | 0,00982 | 0,00982    | 0,02126479 | 0,00476    | 0,00812929 |
| Budgetabweichungsgrad                  | 0,12597   | 0,01357 | 13      | 0,0398773 | 0,039877301 | 0,02519 | 0,01595 | 0,01595    | 0,01903184 | 0,00271    | 0,01153834 |
| Überstunden/Abteilung                  | 0,33523   | 0,0361  | 6       | 0,0184049 | 0,018404908 | 0,06705 | 0,00736 | 0,00736    | 0,02725694 | 0,00722    | 0,00731479 |
| IH-Intensität                          | 0,31798   | 0,03424 | 14      | 0,0429448 | 0,042944785 | 0,0636  | 0,01718 | 0,01718    | 0,03265093 | 0,00685    | 0,01373491 |
| Qualifizierungsgrad                    | 0,29082   | 0,04474 | 10      | 0,0306748 | 0,030674847 | 0,05816 | 0,01227 | 0,01227    | 0,02756828 | 0,00895    | 0,01116278 |
| Mitarbeiterflexibilität                | 0,18906   | 0,02909 | 9       | 0,0276074 | 0,027607362 | 0,03781 | 0,01104 | 0,01104    | 0,01996621 | 0,00582    | 0,00930108 |
| Mitarbeiterzufriedenheit               | 0,36872   | 0,05673 | 15      | 0,0460123 | 0,04601227  | 0,07374 | 0,0184  | 0,0184     | 0,036851   | 0,01135    | 0,01605164 |
| Personalauslastung                     | 0,1514    | 0,02329 | 5       | 0,0153374 | 0,015337423 | 0,03028 | 0,00613 | 0,00613    | 0,01418302 | 0,00466    | 0,00564275 |
| Fremdleistungsanteil                   | 0,14869   | 0,00458 | 6       | 0,0184049 | 0,018404908 | 0,02974 | 0,00736 | 0,00736    | 0,01482072 | 0,00092    | 0,00521298 |
| MTR                                    | 0,39704   | 0,01222 | 16      | 0,0490798 | 0,049079755 | 0,07941 | 0,01963 | 0,01963    | 0,03955701 | 0,00244    | 0,01390237 |
| Durchlaufzeit                          | 0,45427   | 0,01398 | 12      | 0,0368098 | 0,036809816 | 0,09085 | 0,01472 | 0,01472    | 0,0401008  | 0,0028     | 0,01074779 |
| SUMME                                  |           | 0,98975 |         |           | 9,23312883  |         |         |            | 6,5834608  |            |            |

Abbildung 82: Gewichtungsergebnis der pharmazeutischen Verpackung<sup>832</sup>

### Auswahl des Instrumentensets

Auf Basis der festgestellten Datenreife (RG 2) und der Komplexitätseinstufung (Stufe 5) wurde das Instrumentenset zur Kritikalitätsbewertung ausgewählt. Da die Datenreife das maximal mögliche Instrumentenset vorgibt, wurde für die pharmazeutische Verpackung eine qualitative Kritikalitätsbewertung durchgeführt.

Dadurch dass der Komplexitätsgrad eine automatisierte Bewertung vorgibt, ist die Steigerung der Datenreife im Zuge der Maßnahmenableitung wichtig. Aus dem Wunsch des Unternehmens heraus sich in Richtung Automatisierung zu entwickeln, erfolgte die Bewertung systemgestützt, auch wenn die Bewertung der Anlagen großteils qualitativ erfolgte.

### Kriterienbewertung und Identifikation der Schwerpunktanlagen

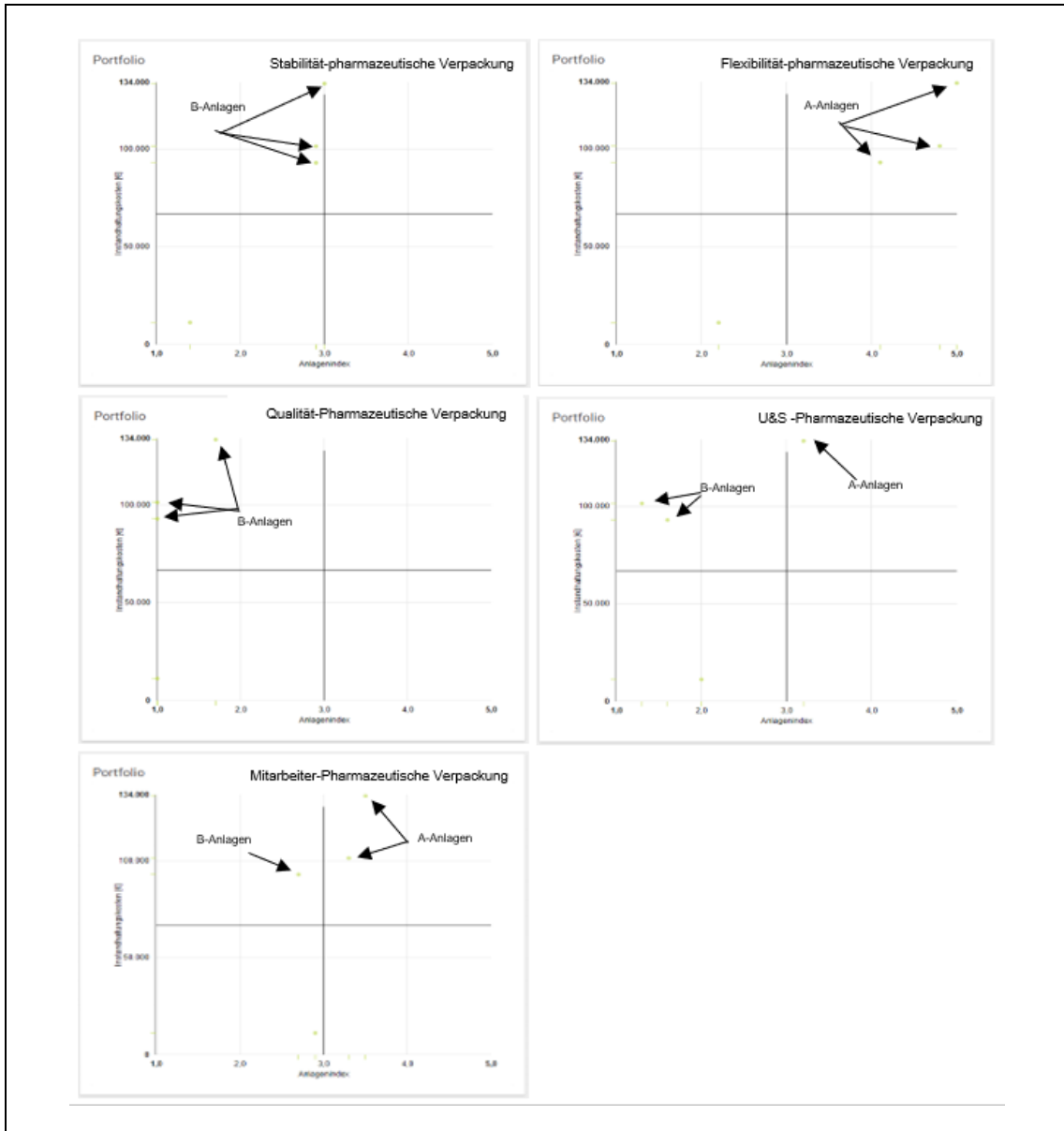
Die Bewertung der Anlagen wurde, wie bei Fallstudie 1, im CAPP-Tool durchgeführt. Dadurch, dass von den ausgewählten Kriterien nur neun quantitativ auf Grund der schlechten Datenqualität und -verfügbarkeit bewertet wurden, war der subjektive Einfluss auf das Bewertungsergebnis sowie der Ressourcenaufwand zur Bewertungsdurchführung nicht zu vernachlässigen. Das Bewertungsergebnis ist in Abbildung 83 dargestellt.

Es wurde für jeden Erfolgsfaktor ein Anlagenprioritätsportfolio erstellt, um die wesentlichen Risikofaktoren leichter zu identifizieren<sup>833</sup>

Insgesamt wurden drei Anlagen als kritisch identifiziert, von denen im Zuge der Maßnahmenableitung eine im Detail analysiert wurde.

<sup>832</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>833</sup> Für eine detaillierte Erläuterung siehe: Passath, T. et al. (2020a), S. 209 ff.



**Abbildung 83: Ergebnis der Kriterienbewertung der pharmazeutischen Verpackung<sup>834</sup>**

Die Verpackungslinie 1 ist in drei der fünf Portfolios als kosten- und risikobehaftet eingestuft worden. Sie ist somit ein Vertreter der A-Anlagen. Verpackungslinie 2 ist zweimal als kosten- und risikobehaftet und dreimal als nur kostenkritisch bewertet worden. Auch sie zählt zu den A-Anlagen. Verpackungslinie 3 ist viermal als kostenbehaftet bewertet worden und gehört somit der Gruppe der B-Anlagen an. Die Ergebnisse sind gesammelt im Anhang D darstellt.

### Detailanalysen

Die Verpackungslinie 1, als höchstkritische Anlage, wurde für die Detailanalysen herangezogen. Das Ergebnis der Risikobewertung durch Anwendung der RPI-Analyse ist in Abbildung 84 ersichtlich.

<sup>834</sup> Quelle: Eigene Darstellung; Auszug aus CAPP-Tool, Boom Software AG

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass das Risiko (Abbildung 84) und somit die Kritikalität der betrachteten Anlage durch die Umsetzung der Maßnahmen um 20 RPI abnimmt und sich die Maßnahme bereits ab dem 2. Jahr auszahlt.

| Tätigkeitsbereich | Datum      | Risiko     | Risikokategorie    | Anlage   | Anlagenkritikalität | Komponente               | Ausfallkostensatz [€/h] | Stunden-satz (IH) [€/h] | Aktueller Schaden          |                                 |                           |                       |                      |                               | RPI | Risikoklasse                       |
|-------------------|------------|------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-----|------------------------------------|
|                   |            |            |                    |          |                     |                          |                         |                         | Ausfallkosten pro Jahr [€] | IH-Reparaturkosten pro Jahr [€] | Gesamtkosten pro Jahr [€] | Ausmaß des Ausfalls   | Auftretenshäufigkeit | Entdeckungswahrscheinlichkeit |     |                                    |
| Produktion        | 16/12/2021 | mechanisch | Einstellungsfehler | Anlage A | 3                   | 0018-PROD-PACK-43590-130 | 2400                    | 100                     | 1250000                    | 50000                           | 1300000                   | langfristiger Ausfall | 1-mal im Jahr        | 1 (hoch)                      | 25  | hochkritisch aufgrund hoher Kosten |

| Wie wurde Risiko bemerkt | Bereits getätigte Gegenmaßnahmen | Risikobekämpfungsart | Beschreibung der Maßnahmen         | Aufwand              |                      | Schaden nach Risikobekämpfung |                                 |                           |                       |                      |                               | Abnahme RPI | Zahl sich der Aufwand aus?         | Ab welchem Jahr? |     |              |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------|-----|--------------|
|                          |                                  |                      |                                    | Einmalige Kosten [€] | Jährliche Kosten [€] | Ausfallkosten pro Jahr [€]    | IH-Reparaturkosten pro Jahr [€] | Gesamtkosten pro Jahr [€] | Ausmaß des Ausfalls   | Auftretenshäufigkeit | Entdeckungswahrscheinlichkeit |             |                                    |                  | RPZ | Risikoklasse |
| Maschinenstillstand      | Instandhaltungseingriff          | Risikovermeidung     | entsprechende Anpassung der Anlage | 1305000              | 0                    | 290000                        | 10000                           | 300000                    | kurzfristiger Ausfall | voraussichtlich nie  | 1 (hoch)                      | 5           | hochkritisch aufgrund hoher Kosten | 20               | ja  | 2            |

Abbildung 84: Ergebnis der beispielhaften Risikobewertung<sup>835</sup>

### Handlungsempfehlungen

Bei der im Zuge der Risikobewertung betrachteten Anlage (Verpackungslinie 1) empfiehlt sich, da sowohl das Schadensausmaß als auch die Auftretenshäufigkeit des betrachteten Risikos mit fünf bewertet wurde, gemäß dem Handlungsleitfaden (siehe 5.7.2) die Instandhaltungsstrategie anzupassen. Da die Kritikalität insgesamt jedoch im mittleren Bereich liegt, reicht eine präventive Instandhaltung in diesem Fall aus. Weiters ist die abgeleitete Maßnahme umzusetzen, da diese eine hohe Risikoreduktion bewirkt und sich bereits im 2. Jahr rentiert.

Da es sich bei dieser Anlage um eine mittelkritische handelt, wird empfohlen die Bewertung in Richtung der Komplexitätseinstufung entsprechendem Instrumentenset anzupassen. Hierzu ist eine hohe Datenverfügbarkeit, die aktuell nicht vorhanden ist, Grundvoraussetzung. Somit sollte auch darauf ein Fokus gelegt werden. Auch für Verpackungslinie 2 wird in weiterer Folge eine Detailanalyse empfohlen, um die größten Risikoquellen zu identifizieren. Weiters sollte bei Verpackungslinie 3 eine detaillierte Kostenanalyse durchgeführt werden, um die größten Kostentreiber zu identifizieren. Die Instandhaltungsstrategie sollte zur Kostenverminderung im nächsten Schritt angepasst werden.

In Bezug auf die Steigerung der Datenreife sollte im ersten Schritt die Datenverfügbarkeit und -qualität der A-Anlagen (Verpackungslinie 1 und 2) gesteigert werden. Hierbei ist die Steigerung der Datenerfassung, der Datenkonsistenz, des Datenumfangs wesentlich.

### Erfolgsüberprüfung

Um den Erfolg der abgeleiteten Maßnahmen zu überprüfen, ist eine Erfolgsüberprüfung essenziell. Da das Projekt erst vor kurzem abgeschlossen wurde, ist der Erfolg abgeleiteter Maßnahmen noch nicht sichtbar. Wichtig ist die Kritikalität in regelmäßigen Abständen zu überprüfen, aber auch die Datenqualität, der noch qualitativ zu bewerteten Kriterien, um sich in Richtung der Komplexität des jeweiligen Instrumentensets entsprechend zu entwickeln.

<sup>835</sup> Quelle: Eigene Darstellung, Auszug aus RPI-Analyse des pharmazeutischen Unternehmens

#### **6.2.4 Resümee und Ausblick**

Durch die Einführung der Kritikalitätsbeurteilung wurden einerseits die Defizite im Bereich Anlagendaten aufgezeigt, die dem Unternehmen selbst nicht bewusst waren. Andererseits gelang es durch diese standardisierte Beurteilung, auch wenn noch erfahrungsbasiert, kritische Anlagen zu identifizieren und gezielt anlagenverbessernde Maßnahmen abzuleiten. Vor allem in der Pharmabranche ist es wichtig hohe Verfügbarkeiten sicherzustellen, um sich weiterhin am wettbewerbsstarken Markt behaupten zu können.

Aktuell wird die Risikobewertung auf alle als kritisch identifizierten Anlagen ausgeweitet, sowie die Datenqualität und -verfügbarkeit versucht zu steigern. Hierbei liegt der Fokus auf einer kriterienspezifischen Steigerung der Datenqualität.

### **6.3 Fallstudie 3 – pharmazeutisches Unternehmen (strategisches Geschäftsfeld der biologischen Produktion)**

Da es sich um das gleiche pharmazeutische Unternehmen wie in Fallstudie 2 handelt, wird auf die Unternehmenscharakteristika nicht erneut eingegangen.

In diesem Fallbeispiel wurde eine weitere Produktionslinie, die biologische Produktion, im Detail analysiert.

#### **6.3.1 Ausgangssituation und Zielsetzung**

Die betrachtete Produktionslinie stellt eine End to End Produktion eines Medizinproduktes inklusive der Verarbeitung von Rohmaterialien bis zum fertigen Produkt in einem mehrstufigen, großteils manuellen Prozess dar. Sie ist gekennzeichnet durch die Technologieführerschaft auf diesem Gebiet, einer beständigen Produktnachfrage und einer gleichbleibenden Produktvielfalt sowie Produktzusammensetzung. Weiters wird nur ein Produkt an dieser Linie gefertigt, weshalb der Aufwand für den Produktwechselzyklus und die dadurch verursachten Umstellkosten nicht relevant sind. Wesentlich ist, dass der Anlagenpark der biologischen Produktion nur Spezialanlagen verschiedener Hersteller umfasst, die eine Auslastung von über 90% haben. Umso wichtiger ist es hier vorbeugend Risiken zu eliminieren.

Hier ist die Patientenversorgung wieder oberstes Ziel, weshalb auch im Falle dieses strategischen Geschäftsfeldes zeitnahe Entscheidungen im Bereich Instandhaltung der Schlüssel zum Erfolg sind.

Dieses Projekt wurde auch operativ vom wBw durchgeführt und systemseitig von der Boom Software AG unterstützt.

#### **6.3.2 Vorgehensweise**

Die angewandte Vorgehensweise beruht, gleich wie bei der pharmazeutischen Verpackung (Fallstudie 2), auf dem 7-stufigen Prozess, der in Kapitel 5 im Detail erläutert wurde.

Das wBw unterstützte den Prozess der Einführung der Kritikalitätsbeurteilung aktiv bis zur Maßnahmenableitung. Die Maßnahmenableitung wurde für die als kritisch identifizierten Anlagen noch nicht durchgeführt, aber ist demnächst angedacht.

#### **6.3.3 Ergebnisse**

Die Kritikalitätsbeurteilung wurde bei der biologischen Produktion des betrachteten Unternehmens durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

##### **Vorbereitungsphase (Kritikalitätsidentifikation und -analyse)**

Da die Erhebung der Erfolgsfaktoren auf Basis der Unternehmensziele durchgeführt wurde, sowie die Kriterienauswahl und -definition unternehmensweit vereinheitlicht wurde, sind die Ergebnisse dieser Schritte ident mit denen in Fallstudie 2 (siehe Abschnitt 6.2.3).

Die Charakterisierung des strategischen Geschäftsfeldes ist im Anhang D dargestellt. Daraus abgeleitet, konnte der Komplexitätsgrad der biologischen Produktion ermittelt werden. Dieser wurde mit der vierten Stufe bewertet, was eine quantitative Kritikalitätsbewertung als optimale Methodik empfahl (Abbildung 85).

|                               | Nicht komplex  | Geringer Komplexitätsgrad  | Mäßiger Komplexitätsgrad   | Hoher Komplexitätsgrad  | Sehr hoher Komplexitätsgrad  |
|-------------------------------|--|--|--|---|--|
| Markterfolg                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;100MA</li> <li>Sehr geringer Marktanteil &lt;10%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen sehr gering</li> <li>Keine Strategieanpassung</li> <li>Keine Strategischen Ziele</li> <li>Wachstumsrate starker Rückgang</li> <li>Rentabilität &lt;3-8%</li> <li>Massenmarkt</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Kostenführerschaft</li> <li>Unterscheidungsgrad gering</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen nicht vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit nicht vorhanden</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>10-49 MA</li> <li>Geringer Marktanteil 10-20%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen gering</li> <li>Statische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele leicht erreichbar</li> <li>Wachstumsrate geringer Rückgang</li> <li>Rentabilität &gt;3-8%</li> <li>Nischenmarkt</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> <li>Unterscheidungsgrad eher gering</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>50-100 MA</li> <li>Mäßiger Marktanteil 21-50%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen Bw. gegeben</li> <li>The vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele Bw. schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate stagnierend</li> <li>Rentabilität 9-12%</li> <li>Segmentierter Markt</li> <li>Unterscheidungsgrad eher hoch</li> <li>Technologieführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen als Unternehmensstandards implementiert</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit als Standards implementiert</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>101-249 MA</li> <li>Hoher Marktanteil 51-80%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen eher hoch</li> <li>Vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate gering steigend</li> <li>Rentabilität 13-18%</li> <li>Diversifizierter Markt</li> <li>Unterscheidungsgrad hoch</li> <li>Qualitäts- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Kostenvorteile</li> <li>Technologie- und Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen Bw. Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit Bw. Verbesserung</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;249MA</li> <li>Sehr hoher Marktanteil &gt;80%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen hoch</li> <li>Dynamische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele sehr schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate stark steigend</li> <li>Rentabilität &gt;15%</li> <li>Multi-Sided Plattform</li> <li>Rohstoffzugang schwierig</li> <li>Unterscheidungsgrad hoch</li> <li>Spezialanlagen</li> <li>Marktführer</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen laufende Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit laufende Verbesserung</li> </ul>   |
| Technologieoffenheit          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Meer-Too Strategie (Kostenbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit)</li> <li>Defensive Strategie, keine Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien unattraktiv</li> <li>Wieder Leistungssteigerung noch Kostensteigerung</li> <li>Großer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Verstärkte Technologie</li> <li>Ressourcen vorhanden</li> <li>Kein Entwicklungspotenzial</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Meer-Too Strategie</li> <li>Defensive Strategie geringe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeit</li> <li>Neue Technologien Bw. attraktiv, aber neg. Effekte</li> <li>Keine Leistungssteigerung aber Kostenlenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien gleichbleibend</li> <li>Produktwechsellzyklus als Verbesserungspotenzial</li> <li>Geringes Entwicklungspotenzial</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Application Engineering</li> <li>Offensive und geringe Veränderbarkeit / defensiv Bw. veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien attraktiv aber neg. Effekte</li> <li>Leistungssteigerung, keine bis geringe Kostensteigerung</li> <li>Geringer Entwicklungsrückstand</li> <li>Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologie Bw. verbesserungsorientiert</li> <li>Mittleres Entwicklungspotenzial</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Follow the leader</li> <li>Offensive Strategie, hohe Veränderbarkeit</li> <li>Neue Technologien attraktiv, Bw. neg. Effekte</li> <li>Leistungs- und Kostensteigerung unausgeglichen</li> <li>Hoher Entwicklungsvorprung</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien verbesserungsorientiert Bw. Schlüsseltechnologien</li> <li>Hoher Entwicklungspotenzial</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderbarkeit &amp; Optimierung</li> <li>Neue Technologien attraktiv, keine neg. Effekte</li> <li>Ausgeglichene Leistungs- und Kostensteigerung</li> <li>Entwicklungsvorprung wird laufend verbessert</li> <li>Sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Schlüsseltechnologie</li> <li>Neue Technologien weitestgehend in Verwendung</li> <li>Entwicklungsvorprung</li> </ul>   |
| Produktion & Produktportfolio | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Produktnachfrage</li> <li>Sehr geringe Produktionsmengen</li> <li>Alle Produkte sind gleich</li> <li>Produktzusammensetzung ist gleichbleibend</li> <li>Produktwechsellzyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &lt;1h</li> <li>Umsstellkosten: &lt;0,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Kein Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 1-Schicht</li> <li>Optimaler Qualifizierungsgrad</li> <li>Massenfertigung</li> <li>Lagerfertigung</li> <li>Basenfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität Bw. umgesetzt, Bw. Q-Sicherung</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzl. Anf. sind umgesetzt</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: wird betrachtet, keine Analyse</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzl. Anf. umgesetzt</li> <li>Material-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beständige Produktnachfrage</li> <li>Geringe Produktionsmengen</li> <li>Viele gleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung ist annähernd gleichbleibend</li> <li>Produktwechsellzyklus: bis zwei Wochen</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: 1-4h</li> <li>Umsstellkosten: 0,5-1,4% des Tagesumsatzes</li> <li>Geringes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>&lt;1h/ Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 2 Schicht</li> <li>Serienfertigung</li> <li>Großpenfertigung</li> <li>Anlagen-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher beständige Produktnachfrage</li> <li>Mäßige Produktionsmengen</li> <li>Produkte sind Bw. schwach</li> <li>Produktzusammensetzung variiert Bw.</li> <li>Produktwechsellzyklus: bis eine Woche</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &lt;1 Tag</li> <li>Umsstellkosten: 1,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Mittleres Ausfallrisiko bei Produktwechsel</li> <li>1-10h/ Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 1-schichtig oder Wochenendbetrieb 1-schichtig</li> <li>Mäßiger Qualifizierungsgrad</li> <li>Serienfertigung</li> <li>Auftragsfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Überprüfung während Prozess</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: Bw. Analyse von Kennzahlen</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher schwach beständige Produktnachfrage</li> <li>Große Produktionsmengen</li> <li>The gleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktwechsellzyklus: 1 Tag</li> <li>Schnell anpassungsfähig</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: 1,6-2Tage</li> <li>Umsstellkosten: 1,6-3% des Tagesumsatzes</li> <li>Hoher Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>11h-24h/ Monat Nachbearbeitung</li> <li>Wochenendbetrieb 2-3 schichtig</li> <li>Einzelfertigung</li> <li>Fließfertigung</li> <li>Arbeits-intensive Einsatzintensität</li> <li>Programmfertigung</li> <li>Wertstofffertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Produktqualität als Erfolgsfaktor, laufende Verbesserung</li> <li>Anf. an Schutz: laufende Evaluierung &amp; Verbesserung &amp; Sicherheitsbestimmungen</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: laufende Analyse und Verbesserung</li> <li>Anf. an Umwelt: laufende Optimierung hinsichtlich Ressourcenzuschonung</li> <li>Informations-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schwankende Produktnachfrage</li> <li>Sehr große Produktionsmengen</li> <li>Unterschiedlich angelegte Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert sehr stark</li> <li>Produktwechsellzyklus: wenige Stunden</li> <li>Aufwand Produktwechsellzyklus: &gt;2 Tage</li> <li>Umsstellkosten: &gt;3% des Tagesumsatzes</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>&gt;24h/ Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Wochenendbetrieb (4-5 Schicht)</li> <li>Verbesserungswürdiger</li> <li>Qualifizierungsgrad</li> <li>Chargenfertigung</li> <li>Programmfertigung</li> <li>Wertstofffertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Produktqualität als Erfolgsfaktor, laufende Verbesserung</li> <li>Anf. an Schutz: laufende Evaluierung &amp; Verbesserung &amp; Sicherheitsbestimmungen</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: laufende Analyse und Verbesserung</li> <li>Anf. an Umwelt: laufende Optimierung hinsichtlich Ressourcenzuschonung</li> <li>Informations-intensive Einsatzintensität</li> </ul> |
| Asset                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Automation</li> <li>Durchgängige Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Keine Verklebung</li> <li>Alle Anlagen vom gleichen Hersteller</li> <li>Auslastungsgrad: &lt;50%</li> <li>Gleiche Systemarchitektur</li> <li>Instandhaltungsintensität: &lt;1%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenig Automation</li> <li>Mehrere Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Leise Verklebung der Anlagen</li> <li>Guter Erhaltungszustand</li> <li>Geringe Komplexität</li> <li>Mehr gleiche als unterschiedliche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Homogener Anlagenpark</li> <li>Leise Verklebung der Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 50-70%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 1-3%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>The Automation Ausweichmöglichkeiten Bw. vorhanden</li> <li>Elastische Verklebung</li> <li>Gemischter Erhaltungszustand</li> <li>Mittlere Komplexität</li> <li>Heterogener Anlagenpark</li> <li>Mehr verschiedene Hersteller, Bw. Einzel-Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 71-90%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Automation weitestgehend vorhanden</li> <li>Verzweigte Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Starke Verklebung ohne Taktzwang</li> <li>Schlechter Erhaltungszustand</li> <li>Hohe Komplexität</li> <li>Hauptsächlich Einzelanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 81-90%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 4-10%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollautomatisiert</li> <li>Keine Ausweichmöglichkeiten</li> <li>Starke Verklebung mit Taktzwang</li> <li>Anlagen haben verschiedene Hersteller</li> <li>Nur Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 91-100%</li> <li>Anlagen haben unterschiedliche Systemarchitekturen</li> <li>HI Intensität: &gt;10%</li> </ul>   |

Abbildung 85: Komplexitätseinstufung biologischen Produktion<sup>836</sup>

Bei der Anlagenauswahl wurden auch im Falle der biologischen Produktion die technischen Plätze den Erfolgsfaktoren gegenübergestellt. Insgesamt wurden 52 technische Plätze für die Bewertung im Zuge der Kritikalitätsbewertung ausgewählt.

Da die Kriterienauswahl und -definition eine unternehmensweite Gültigkeit haben, sind dieselben Kriterien, wie bereits oben beschrieben, relevant gewesen (siehe Abschnitt 6.2.3).

Im nächsten Schritt erfolgte die Festlegung des Datenreifegrades. Dieser wurde, wie bei der pharmazeutischen Verpackung, mit zwei bewertet (Abbildung 86), was die Durchführung einer qualitativen Kritikalitätsbewertung widerspiegelt.

<sup>836</sup> Quelle: Eigene Darstellung

|                  | Chaotische Daten  | Semi-strukturierte Daten  | Strukturierte Daten  | Automatisierte Daten   | Echt-Zeit Daten  |
|------------------|---|---|--|--|--|
| Datenerfassung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaum Standards bzw. Ziele</li> <li>Vereinzelt digitale Datenerfassung</li> <li>Die unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Die vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Die Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul>                  |
| Datenhaltung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht rentabel</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung multipler Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vereinheitlichung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, tw. Papier gespeichert, Lücken vorhanden, viele Überschneidungen</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Die Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten tw. aufwändig</li> <li>Weitgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken, tw. Überschneidungen</li> <li>Die Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitgehend lückenlos, wenig Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit weitestgehend möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouse</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System, keine Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul> |
| Datenumfang      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, keine Vollständigkeit</li> <li>Wenig historische Daten</li> <li>Datenmenge nicht ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, keine Vollständigkeit</li> <li>Teilweise historische Daten</li> <li>Datenmenge nicht ausreichend für einfache Berechnungen (Excel)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Der angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsdauer von mind. 6 Monaten</li> <li>Historische Daten</li> <li>Datenmenge ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsdauer mind. 1 Jahr</li> <li>Historische Daten und tw. Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmengen für quantitative Bewertungen weitestgehend geeignet</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten vollständig erfasst, optimaler Datenumfang</li> <li>Aufzeichnungsdauer ca. 1,5 Jahre</li> <li>Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmenge optimal für quantitative Bewertungen</li> </ul>                 |
| Datenkonsistenz  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug der Daten nicht vorhanden oder schlecht</li> <li>Einheitliche Anlagendaten nicht verfügbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug teilweise schlecht / Inkonsistenz</li> <li>Einheitliche Anlagendaten tw. verfügbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz innerhalb der Quelle</li> <li>Datenquellenübergreifend arbeitsaufwändige Konsistenzsicherung</li> <li>Daten auf Anlagenebene einheitlich</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz über Quellen hinweg gegeben</li> <li>Anlagen- und Baugruppendaten einheitlich vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitampelnegrität durch Echt-Zeit Übertragung, horizontal und vertikal durchgängiges System</li> <li>Anlagen-, Baugruppen- und Komponentendaten einheitlich</li> </ul>                                  |
| Datenarchitektur | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Datenarchitektur nicht vorhanden</li> <li>Keine Formatstandards</li> <li>Auslegbarkeit an Erfahrungsweisen gebunden</li> <li>Inkonsistente Daten innerhalb des Standards</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vereinzelt einheitliche Datenarchitektur</li> <li>Für Schlüsselangaben gibt es Architekturstandards</li> <li>Die Formatstandards</li> <li>Auslegbarkeit termäßig an Erfahrungsweisen gebunden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend einheitliche Anlagenstruktur</li> <li>Weitgehend Formatstandards</li> <li>Die Eindeutige Auslegbarkeit / horizontale Integration</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Architektur</li> <li>Einheitliche Formatstandards</li> <li>Weitgehend eindeutige Auslegbarkeit / horizontale und vertikale Integration</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Laufend optimierte Architektur</li> <li>Formatstandards laufend optimiert</li> <li>Horizontale und vertikale Integration vollständig umgesetzt / eindeutige Auslegbarkeit</li> </ul>                    |
| System-Standards | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Standards bzw. Umsetzungsmöglichkeiten hinsichtlich Digitalisierung</li> <li>Keine Schnittstellen</li> <li>Unstrukturierte Daten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenige Standards zur Digitalisierung</li> <li>Vereinzelt Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Datentransfer inkompatibel</li> <li>Die unstrukturierte Daten</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitgehend Standards zur Digitalisierung</li> <li>Die Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Weitgehend strukturierte Daten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Standards vorhanden</li> <li>Weitgehend sind die Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Strukturierte Daten vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Standards werden laufend optimiert</li> <li>Schnittstellen durchgängig vorhanden</li> <li>Einheitliches Informations- und Datenmanagement</li> </ul>  |
| Datenerfassung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaum Standards bzw. Ziele</li> <li>Vereinzelt digitale Datenerfassung</li> <li>Die unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Die vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Die Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul>                  |
| Datenhaltung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht rentabel</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung multipler Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vereinheitlichung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, tw. Papier gespeichert, Lücken vorhanden, viele Überschneidungen</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Die Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten tw. aufwändig</li> <li>Weitgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken, tw. Überschneidungen</li> <li>Die Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitgehend lückenlos</li> <li>Bearbeitbarkeit weitestgehend möglich</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouse</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul>                         |

Abbildung 86: Datenreifegrad der biologischen Produktion<sup>837</sup>

Das Ergebnis der Gewichtung der Kriterien unterscheidet sich von dem der pharmazeutischen Verpackung. Während bei der pharmazeutischen Verpackung die Ausfallzeit, Störfrequenz und den Ressourcenverbrauch als die drei wichtigsten Kriterien identifiziert wurden, sind die wichtigsten für die biologische Produktion neben der Ausfallzeit, der Störfrequenz, die Anlagenverfügbarkeit und der Output (siehe Anhang D). Der Leistungsgrad und der Vorbeugungsgrad zählen auch zu den wichtigsten, jedoch ist bei diesen die Datenlage so schlecht, dass sie nicht weiter in der Bewertung beachtet wurden. Die Gesamtbewertung (Abbildung 87) zeigte, dass neben der Anlagenverfügbarkeit, Ausfallzeit, der Störfrequenz auch die Einhaltung von Planzeiten, die MTBF, Qualitätsabweichungen und die Mitarbeiterzufriedenheit zu den wichtigsten zählten. Die Gewichtungswerte wurde für die Kritikalitätsbewertung übernommen.

<sup>837</sup> Quelle: Passath, T. et al. (2021a), S. 117.





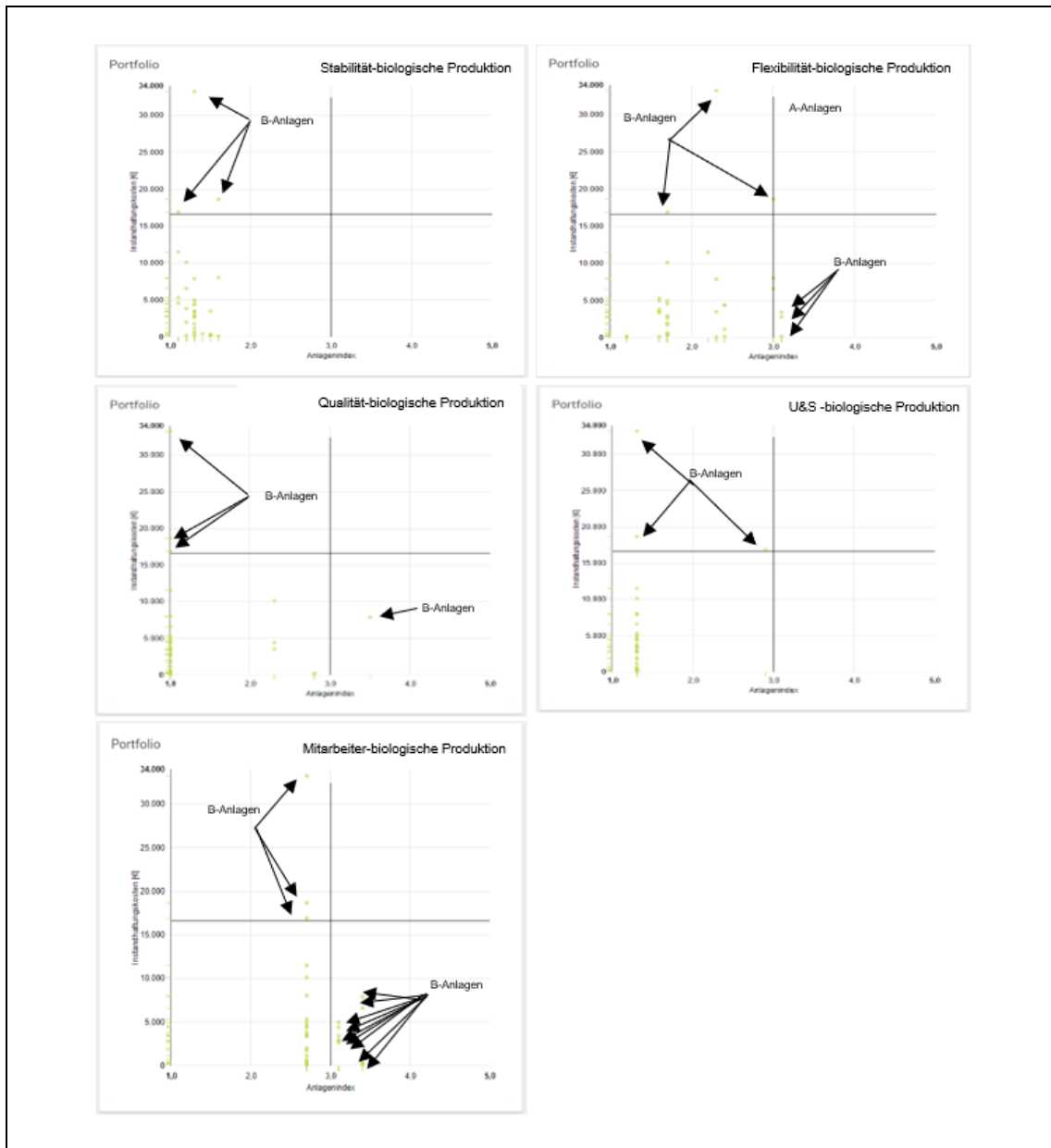


Abbildung 88: Bewertungsergebnis der Kriterienbewertung der biologischen Produktion<sup>839</sup>

### 6.3.4 Resümee und Ausblick

Für die biologische Produktion, die ein in der Pharmabranche einzigartiges Produkt herstellt, ist die Zuverlässigkeit der am Prozess beteiligten Anlagen wichtig. Ungeplante Ausfälle sind hierbei das größte Problem und gefährden die Patientenversorgung. Umso wichtiger ist es für dieses strategische Geschäftsfeld, die kritischen Anlagen laufend zu analysieren sowie die Datenreife der Anlagendaten zu steigern, um einerseits sich in Richtung automatisierte Bewertung weiterzuentwickeln und andererseits diese Daten für Analysezwecke heranziehen zu können, sowie Ressourcen bei der Datensuche

<sup>839</sup> Quelle: Eigene Darstellung; Auszug aus CAPP Tool, Boom Software AG

einzusparen, die stattdessen für anlagenverbessernde Tätigkeiten verwendet werden können.

Langfristig ist der Wunsch des Unternehmens eine weitestgehend automatisierte Bewertung einzuführen. Hierzu wird bereits an der Steigerung der Datenqualität gearbeitet. Diese wird jedoch nicht anlagenspezifisch, sondern unternehmensweit auf ausgewählte Kriterien angepasst. Der Grund hierfür ist die gleiche Datenquelle bei allen Anlagen.

Kurzfristig ist angedacht die Bewertung auf die noch ausständigen Produktionslinien auszuweiten sowie Detailanalysen für kritischen Anlagen durchzuführen. Auf Basis der Detailanalysen sollen Maßnahmen zur Anpassung der Instandhaltungsstrategie gemäß dem in Unterkapitel 5.7. beschriebenen Vorgehen abgeleitet. Weiters soll das Kennzahlenset um instandhaltungsrelevante und in der Kritikalitätsbeurteilung enthaltene Kennzahlen erweitert werden, um laufend den Erfolg abgeleiteter Maßnahmen zu überprüfen.

## **6.4 Schlussfolgerungen**

Alle drei Fallstudien zeigen, dass für eine langfristige Erfüllung der Zuverlässigkeits-, Verfügbarkeits-, Qualitäts-, Produktions-, und Instandhaltungsziele eine systematische Bewertung der Anlagen wichtig ist, da sich die Umfeldbedingungen laufend ändern und dementsprechend eine Dynamisierung der Methodik erfordern. Die Kritikalitätsbeurteilung bietet je nach Datenreife und Komplexitätseinstufung des betrachteten strategischen Geschäftsfeldes, ein geeignetes Methodenset zur objektiven Bewertung des Anlagenparks und zur Identifizierung kritischer Anlagen.

Alle Anwendungsfälle zeigen, dass die ganzheitliche Betrachtung der Anlage und all ihrer Einflussfaktoren durch Anwendung eines geeigneten Kriteriensets, sowie die Involvierung eines interdisziplinären Teams in den Bewertungsprozess essenziell ist, um akkurate und vergleichbare Bewertungsergebnisse zu erzielen.

Aktuell stellt das Hauptproblem der quantitativen Kritikalitätsbewertung die Datenqualität und -verfügbarkeit dar. Hier gilt es zuerst anzusetzen und durch gezielte Maßnahmen die Datenreife zu steigern. Wie die Anwendungsfälle zeigen, ist eine quantitative Bewertung vielfach noch nicht umsetzbar. Es zeigt sich in allen drei Anwendungsfällen, dass eine laufende Überprüfung des Bewertungsergebnisses sowie die Einführung von Kennzahlen zur Messung des Erfolges abgeleiteter Maßnahmen wesentlich für den langfristigen Erfolg der Kritikalitätsbeurteilung sind.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel resümiert und würdigt die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit. Des Weiteren wird auf die eingangs gestellten Forschungsfragen eingegangen und diese beantwortet. Den Abschluss bildet ein Ausblick in zukünftige Forschungsfelder.

### 7.1 Zusammenfassung

Die steigende Komplexität der Anlagen, sowie die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung sowie der zunehmende Konkurrenzdruck, sind Faktoren die wesentlich die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen einschränken. Um weiterhin am Markt bestehen zu können, ist eine dynamische und flexible Produktion unumgänglich. Hierbei spielen zuverlässige Anlagen, kurze Stillstandzeiten, die Einhaltung von Produktionsplänen und Lieferterminen eine entscheidende Rolle. Eine dynamische, anlagenspezifische Instandhaltungsstrategie, um ungeplanten Ausfällen vorzubeugen, ist somit essenziell.

Das im Zuge dieser Dissertation entwickelte Modell zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung zielt genau darauf ab. Auf Basis der Unternehmenscharakterisierung, der strategischen Erfolgsfaktoren, der vorhandenen Komplexität in Bezug auf das Asset, der Produktion sowie der Unternehmensausrichtung, aber auch der vorhandenen Datenreife, wird das optimale Instrumentenset zur Durchführung der Bewertung vorgegeben, das als Basis für die dynamische Instandhaltungsstrategiefestlegung herangezogen werden kann. Durch die ganzheitliche Betrachtung der Anlage und all ihrer Einflussfaktoren im Sinne eines ganzheitlichen Asset Managements kann eine allumfassende, dynamische Kritikalitätsbeurteilung durchgeführt werden, mit dem Ziel kritische Anlagen zu identifizieren und langfristig deren Wertschöpfung durch gezielte Maßnahmenableitung zur Risiko- und Kostenminimierung im Zuge der Instandhaltungsstrategieanpassung, zu steigern.

Da auch die Digitalisierung als Chance für Industriebetriebe sich in Richtung Industrie 4.0 und einer Smart Factory zu entwickeln gilt, sind einheitlich gute und über alle Anlagen vorhandene Anlagendaten Grundvoraussetzung für eine dynamische Kritikalitätsbeurteilung. Hier ist in der Praxis jedoch noch Handlungsbedarf gegeben. Das im Zuge der Dissertation entwickelte Modell ermöglicht es trotz schlechter Datenreife eine standardisierte, dynamische Bewertung durchzuführen und durch Vorgabe von Handlungsempfehlungen sich in Richtung der jeweiligen Komplexitätseinstufung entsprechender Kritikalitätsbewertung zu entwickeln.

Die Ableitung von Maßnahmen zur Kosten- und Risikominimierung, bei den als kritisch identifizierten Anlagen, bildet die Grundlage für die dynamische Instandhaltungsstrategieoptimierung. Je nach Maßnahme und deren Aufwand-/Nutzenverhältnis sowie dem damit verbundenen Einsparungspotenzial, wird die Instandhaltungsstrategie angepasst.

Das Modell wurde bereits in mehreren Unternehmen angewandt und mittels Aktionsforschungsansatz iterativ weiterentwickelt. Als Auszug der bereits durchgeführten Anwendungen wurden drei Anwendungsfälle im Zuge der Dissertation beschrieben.

Um das Zitat von Seneca aus der Einleitung: „*Nicht, weil es schwer ist, wagen wir es nicht, sondern weil wir es nicht wagen, ist es schwer*“, noch einmal aufzugreifen, sollten die Chancen der Anwendung einer dynamischen Kritikalitätsbeurteilung zur langfristigen Effizienz- und Effektivitätssteigerung der Anlagen genutzt, sowie Ressourcen dafür bereitgestellt werden, um langfristig eine Erfolgssteigerung zu erzielen. Hierbei gilt, falls auf Basis der aktuell vorherrschenden Datenreife nur die Anwendung einer qualitativen bzw. semiquantitativen Bewertung durchführbar ist, sollte dennoch präventiv Anlagenrisiken vorgebeugt werden. Hierbei ist die Anwendung der Kritikalitätsbewertung entscheidend, um ungeplante Ausfälle und damit verbundene Risiken und Instandhaltungskosten weitestgehend zu minimieren – denn wer nicht wagt, der nicht gewinnt.

## 7.2 Kritische Würdigung

Das im Zuge dieser Dissertation entwickelte Vorgehens- und Entscheidungsmodell gibt auf Basis der vorhandenen Komplexität und Datenreife ein geeignetes Instrumentenset zur dynamischen Kritikalitätsbeurteilung vor. Durch eine ressourcenschonende, auf den Komplexitätsgrad des Unternehmens abgestimmte Bewertungsmethodik ermöglicht sie vergleichbare Bewertungsergebnisse, die für eine langfristige Wissenssicherung im Unternehmen wichtig sind. Weiters liefert sie die Basis für eine dynamische anlagenspezifische Instandhaltungsstrategieoptimierung, die in weiterer Folge zur Ausfallkosten- und Risikoreduktion beiträgt.

Die Beantwortung der Hauptforschungsfragen erstreckt sich über alle Kapitel dieser Dissertation jedoch wird sie mit der detaillierten Erläuterung des Modells in Kapitel 5 konkretisiert.

Die Beantwortung der Nebenforschungsfragen erfolgte folgendermaßen:

- *Was sind die Grundanforderungen der Kritikalitätsbeurteilung und welche Einflussfaktoren wirken darauf ein?* Abschnitte 4.4, 4.5.2, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4.1
- *Wie können die wesentlichen Einflussfaktoren identifiziert und daraus Kriterien für die Kritikalitätsbeurteilung abgeleitet werden?* Abschnitte 5.2, 5.3, 5.4.1, 5.5.
- *Wie wird die Datenqualität und -verfügbarkeit in diesem Modell berücksichtigt?* Abschnitte 4.5.2, 4.5.3, 5.5.2, 5.7.1
- *Welche Bewertungsmethodik ist bei welchem Produktionssystem/Komplexität der Assets mit Fokus auf die vorhandene Datenbasis anwendbar?* Abschnitte 5.6, 5.7.1, 5.8
- *Wie ist die optimale marktstrategieabhängige Durchführungsfrequenz der Kritikalitätsbeurteilung ermittelbar?* Abschnitte 4.5.1, 5.5.2
- *Welche Handlungsempfehlungen zur Entwicklung in Richtung dynamischer Kritikalitätsbeurteilung werden von dem Modell vorgegeben?* Abschnitt 5.7

- *Wie fließt das Ergebnis der Kritikalitätsbeurteilung in die dynamische IH-Strategieanpassung und somit in eine gezielte Ausfallkosten- und Risikoreduktion mit ein?* Abschnitte 5.7, 5.8

### 7.3 Ausblick

Das entwickelte Modell wurde bereits anhand mehrerer Anwendungsfälle getestet. Durch die weitere Anwendung des Modells in anderen Branchen, strategischen Geschäftsfeldern, soll eine vollständige Verifizierung erfolgen, sowie ein Vergleich der Datenreife und des Komplexitätsgrades der unterschiedlichen Branchen bzw. strategischer Geschäftsfelder. Auf Basis dieses Benchmarks kann ein optimales Kriterienset vorgegeben werden, was den Ressourceneinsatz im Kriterienauswahlprozess verringern würde.

Zusätzlich wäre eine Anwendung des Modells über die Anlagennutzung hinaus in der Anlagenplanung anzudenken. Durch Betrachtung der Anlagenrisiken in der Investitionsphase kann frühzeitig auf mögliche Anlagenrisiken, die nach der Fertigstellung der Anlage nur mit erhöhtem Einsatz eliminiert werden können, eingegangen werden und so die Instandhaltungskosten, die in der Nutzungsphase sonst anfallen würden, reduziert werden.

Eine Ausweitung der Anwendung des Modells auf andere Bereiche, wie beispielsweise den Infrastrukturbereich, wäre auch denkbar.

Weiters zeigt dieses Modell im Zuge der Instandhaltungsstrategieoptimierung Handlungsempfehlungen zur Strategieanpassung auf. Hier wäre eine Simulation der Maßnahmen zur Kosten- und Risikominimierung hilfreich, um die Auswirkungen der Strategieanpassung sowie des dadurch gesteigerten Wertschöpfungsbeitrages sichtbarzumachen.

Erste Ansätze zur Quantifizierung von quantitativen Kriterien wurden im Zuge dieser Dissertation, mit Fokus auf das Kriterium der „Mitarbeiterzufriedenheit“ verfolgt. Da der im Zuge der Dissertation entwickelte Kriterienkatalog weiters qualitative Kriterien enthält, sollten auch diese quantitativ messbar gemacht und die Anwendung in der Praxis überwürt werden.

Ein weiterer Forschungsbedarf ist im Bereich Wissensmanagement ersichtlich. Das Modell zielt darauf ab, durch Anwendung der Methodik, Wissen zu generieren, jedoch wird keine Vorgehensweise zur Wissenssicherung vorgestellt.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass dieses Thema die Basis für weitere Forschungsthemen bildet, die im Sinne eines ganzheitlichen Asset Managements, wie von der LSM-Philosophie gefordert, gelöst werden sollten.

## Literaturverzeichnis

- acatech (2015): Smart Maintenance für Smart Factories: Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. München: Herbert Utz Verlag. ISBN 978-3-8316-4493-3.
- acatech (2019): Smart Maintenance - Der Weg vom Status quo zur Zielvision, München: Herbert Utz Verlag. ISBN 978-3-8316-4726-2
- Adams, J.; Srinivasan, R.; Parlikad, A. K.; González-Prida, V.; Crespo, A. M. (2016): Towards Dynamic Criticality-Based Maintenance Strategy for Industrial Assets., 2016.
- Ahlemann, F.; Schröder, C.; Teuteberg, F. (2005): Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement: Grundlagen, Vergleich und Einsatz. Osnabrück: Univ., FB Wirtschaftswiss., Organisation für Wirtschaftsinformatik. ISBN 978-3-936475-24-1.
- Akkasoglu, G. (2013): Methodik zur Konzeption und Applikation anwendungsspezifischer Reifegradmodelle unter Berücksichtigung der Informationsunsicherheit. Dissertation, Technische Fakultät der Friedrich-Alexander Universität.
- Al-Hourani, S. (2020): Rescheduling Preventive Maintenance For Utilities Equipment Using Criticality Analysis., Makkah, SAUDI ARABIA, November 4 2020. Makkah, SAUDI ARABIA. ISBN 978-1-72816-640-7.
- Allianz (2021): Allianz Risk Barometer - Identifying the major business risks for 2021, URL:  
<https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/Allianz-Risk-Barometer-2021.pdf>.
- Ansoff, H. I. (1966): Management-Strategie. München: Verl. Moderne Industrie.
- Apel, D.; Behme, W.; Eberlein, R.; Merighi, C. (2015): Datenqualität erfolgreich steuern: Praxislösungen für Business-Intelligence-Projekte. dpunkt.verlag. ISBN 978-3-86491-642-7.
- Appelfeller, W.; Feldmann, C. (2018): Die digitale Transformation des Unternehmens. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-54060-2.
- Ashby, W. R. (1970): An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall.
- Bakhat, R.; Rajaa, M. (2020): Risk Assessment of a Wind Turbine Using an AHP-MABAC Approach with Grey System Theory: A Case Study of Morocco. In: Mathematical Problems in Engineering, Jg. 2020, S. e2496914.
- Balogh, Z.; Gatial, E.; Barbosa, J.; Leitão, P.; Matejka, T. (2018): Reference Architecture for a Collaborative Predictive Platform for Smart Maintenance in Manufacturing., Las Palmas, 2018. Las Palmas. ISBN 978-1-5386-1122-7.

- Balzert, H. (1982): Die Entwicklung von Software-Systemen. Prinzipien, Methoden, Sprachen, Werkzeuge. 1992. Aufl., Zürich: Bibliographisches Institut. ISBN 978-3-411-01618-1.
- Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.; Krapp, M. (2008): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 14. überarbeitete Auflage, Vahlen. ISBN 978-3-8006-3506-1.
- Bardmann, M. (2014): Grundlagen der allgemeinen Betriebswirtschaftslehre. [S.l.]: Gabler. ISBN 3-8349-3147-0.
- Bauernfeind, M. (2014): Wertorientierte Unternehmenssteuerung: Die Integration von Qualitäts- und Risikomanagement in Managementsystemen. Igel Verlag RWS. ISBN 978-3-95485-063-1.
- Baum, H.-G.; Coenenberg, A. G.; Günther, T. (2013): Strategisches Controlling. 5. grundlegend neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2013, Stuttgart: Schäffer-Poeschel. ISBN 978-3-7910-2971-9.
- Baumgartner, R. J.; Biedermann, H.; Klügl, F.; Strohmeier, G.; Zielowski, G. (2006): Generic Management: Unternehmensführung in einem komplexen und dynamischen Umfeld. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. ISBN 978-3-8350-0369-9.
- Becker, J.; Kahn, D. (2012): Der Prozess im Fokus. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-33843-4, S. 3–16.
- Becker, W. (1986): Arbeitssicherheit in der Instandhaltung. Köln: TÜV Rheinland GmbH. ISBN 3-88585-317-5.
- Beckmann, G.; Marx, D. (1994): Instandhaltung von Anlagen: Konzepte - Strategien - Planung. 4., stark überarb, Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-30903-0.
- Behrenbeck, K. R. (1994): DV-Einsatz in der Instandhaltung: Erfolgsfaktoren und betriebswirtschaftliche Gesamtkonzeption. 1994. Aufl., Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. ISBN 978-3-8244-6076-2.
- Ben Daya, M.; Duffaa, S.O.; Raouf A.; Knezevic, J.; Ait-Kadi, D. (2009): Handbook of Maintenance Management and Engineering. London: Springer London. ISBN 978-1-84882-471-3.
- Bennett, N.; Lemoine, G. J. (2014): What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. In: Business Horizons, Jg. 57, Nr. 3, S. 311–317.
- Bernerstätter, R. (2019): Reifegradmodell zur Bewertung der Inputfaktoren für datenanalytische Anwendungen-Konzeptionierung am Beispiel der Schwachstellenanalyse. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Bernerstätter, R.; Nemeth, T.; Glawar, R.; Habersohn, C.; Biedermann, H. (2016): Instandhaltung 4.0 - Sicherung der Produktqualität und Anlagenverfügbarkeit durch einen echtzeitbasierten Instandhaltungsleitstand. In: Wing Business. Jg., Nr. 01/2016, S. 25–28.



- Bertalanffy, L. V. (1968): General System Theory: Foundations, Development, Applications. GEORGE BRAZILLER.
- Bertalanffy, L. von (2008): General system theory: foundations, development, applications. New York: G. Braziller. ISBN 0-8076-0452-6.
- Bessai, B. (1974): Eine Analyse des Begriffs Management in der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Literatur. In: ZfbF, Jg. 26, S. 353–362.
- Bevilacqua, M.; Braglia, M. (2000): The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. In: Reliability Engineering & System Safety, Jg. 70, Nr. 1, S. 71–83.
- Bevilacqua, M.; Ciarapica, F. E.; Mazzuto, G. (2016): A Fuzzy Cognitive Maps Tool for Developing a RBI&M Model. In: Quality and Reliability Engineering International, Jg. 32, Nr. 2, S. 373–390.
- Biedermann, H. (1985): Erfolgsorientierte Instandhaltung durch Kennzahlen: Führungsinstrument für die Instandhaltung. Köln: Verlag TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-243-8.
- Biedermann, H. (1987a): Flexibilität in der Instandhaltung., S. 408–414.
- Biedermann, H. (1987b): Organisation zur Realisierung der Instandhaltungsplanung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Planung der Instandhaltung. Köln: TÜV Rheinland. ISBN 3-88585-371-X (3. Instandhaltungsforum)., S. 173–196.
- Biedermann, H. (1988): Instandhaltungs-Controlling mittels Kennzahlen. In: Männel, W. (Hrsg.): Integrierte Anlagenwirtschaft. Köln: TÜV Rheinland GmbH. ISBN 3-88585-467-8 (Schriftenreihe Anlagenwirtschaft)., S. 305–329.
- Biedermann, H. (1990): Anlagenmanagement: Managementwerkzeuge zur Rationalisierung. Köln: Verl. TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-444-9.
- Biedermann, H. (1992): Kennzahlengestütztes Controlling. In: Instandhaltungsmanagement. 2., völlig überarb. Aufl. Köln: TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5.
- Biedermann, H. (2003): Risikominimierung im Anlagenmanagement. In: Risikominimierung im Anlagenmanagement - Risiken beim Planen, Errichten und Betreiben von Anlagen. TÜV-Verlag. S. 9–24.
- Biedermann, H. (2008a): Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung. 2., vollst. überarb. u. aktualis. Aufl., TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-8249-1080-9.
- Biedermann, H. (2008b): Entwicklungsrichtungen im modernen Anlagenmanagement. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Entwicklungsrichtungen im modernen Anlagenmanagement: Strategien, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung. Köln: TÜV Media Verlag. ISBN 978-3-8249-1186-8 (22. Instandhaltungsforum)., S. 9–19.
- Biedermann, H. (2015): Smart Maintenance - Intelligente, lernorientierte Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Smart Maintenance: intelligente, lernorientierte Instandhaltung: 29. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1950-5, S. 23–33.

- Biedermann, H. (2016a): Lean Smart Maintenance: Wertschöpfende, lernorientierte und ressourceneffiziente Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Smart Maintenance: Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. 1. Aufl., Köln: TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0096-9, S. 19–29.
- Biedermann, H. (2016b): Optimierung der Instandhaltungsstrategie durch datenanalytische Risikoklassifikation und Störungsprognose. In: Megatrend Digitalisierung - Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation (Megatrend Digitalisierung - Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation. - Berlin: GITO mbH Verlag, ISBN 3-95545-185-2. - 2016, p. 71-88).
- Biedermann, H. (2017): Lean Smart Maintenance - Controlling. In: Erfolg durch Lean Smart Maintenance: 31. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media, S. 23–36.
- Biedermann, H. (2018): Predictive Maintenance - Möglichkeiten und Grenzen. In: Predictive Maintenance-Realität und Vision, 32. Instandhaltungsforum. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0359-5, S. 23–40.
- Biedermann, H. (2012): Die Transformation vom Instandhaltungs- zum Asset Management. In: Vom Instandhaltungs- zu Assetmanagement - Konzepte, Lösungen, Erfahrungen, 36. Instandhaltungsforum. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0774-6, S. 11-20.
- Biedermann, H.; Kinz, A. (2019): Lean Smart Maintenance -Value Adding, Flexible and Intelligent Asset Management. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 1, Nr. 164, S. 13–18.
- Biedermann, H.; Kinz, A. (2021): Lean Smart Maintenance: Agiles, lern- und wertschöpfungsorientiertes Instandhaltungsmanagement. Gabler Verlag. ISBN 978-3-658-35472-5.
- Biedermann, H.; Kinz, A.; Bernerstätter, R.; Zellner, T. (2016): Lean Smart Maintenance: Umsetzung einer schlanken, lernorientierten, risiko- und ressourcenoptimierten Instandhaltung in der Prozessindustrie. In: productivITy, Jg. 21, Nr. 2, S. 41–43.
- Biedermann, H.; Schmiedbauer, O. (2020): Maintenance Excellence - Wertschöpfende Instandhaltung und deren Elemente. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Wertschöpfende Instandhaltung- Tools, Methoden und Modelle. 34. Instandhaltungsforum, Köln: TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0568-1, S. 11–25.
- Bititci, U. S.; Ackermann, F.; Ates, A.; Davies, J.; Garengo, P.; Gibb, S.; MacBryde, J.; Mackay, D.; Maguire, C.; Meer, R. van der; Shafti, F.; Bourne, M.; Umit Firat, S. (2011): Managerial processes: business process that sustain performance. In: International Journal of Operations & Production Management, Jg. 31, Nr. 8, S. 851–891.
- Bitz, M. (1977): Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle. Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-33281-1.
- Blecker, T.; Kaluza, B. (2004): Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag. ISBN 978-3-503-08367-1.

- Bleicher, K. (1996): Das Konzept Integriertes Management. Frankfurt/Main: Campus Verlag GmbH. ISBN 978-3-593-34792-9.
- Bleicher, K. (2011): Das Konzept Integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme. 8. Auflage, Frankfurt/Main: Campus-Verl. ISBN 978-3-593-39440-4.
- Bogaschewsky, R.; Müller, H. (2016): Industrie 4.0: Wie verändern sich die IT-Systeme in Einkauf und SCM?, 2016.
- Bokrantz, J.; Skoogh, A.; Berlin, C.; Wuest, T.; Stahre, J. (2020a): Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. In: International Journal of Production Economics. Jg., Nr. 224, S. 1–14.
- Bokrantz, J.; Skoogh, A.; Berlin, C.; Wuest, T.; Stahre, J. (2020b): Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. In: International Journal of Production Economics, Jg. 223, S. 107534.
- Bokrantz, J.; Skoogh, A.; Ylipää, T. (2014): Lean principles and engineering tools in maintenance organizations – a survey study'. Paper Presentation, Gothenburg. 2014.
- Bortz, J.; Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler. 4., überarb. Aufl., Berlin, u.a.: Springer. ISBN 978-3-540-33305-0.
- Braglia, M. (2000): MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis. In: International Journal of Quality & Reliability Management, Jg. 17, S. 1017–1033.
- Braglia, M.; Frosolini, M.; Montanari, R. (2003): Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. In: International Journal of Quality & Reliability Management, Jg. 20, Nr. 4, S. 503–524.
- Brauner, G.; Lavicka, G.; Reisinger, F.; Vogler, K. (2000): Anlagen-Zustandsbewertung und Erneuerungsstrategien. In: Elektrotechnik und Informationstechnik, Vol.117, Issue 10, S. 624-628.
- Bretzke, W. R. (1980): Der Problembezug von Entscheidungsmodellen. 1. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck. ISBN 978-3-16-942852-6.
- Britzelmaier, B. (2013): Controlling: Grundlagen, Praxis, Handlungsfelder. München u.a.: Pearson. ISBN 978-3-86894-104-3.
- Brockhaus (1987): Ziel. Brockhaus Enzyklopädie. Mannheim: F. A. Brockhaus.
- Brumby, L. (2018): Instandhaltung und Asset Management. In: Betriebliche Instandhaltung. 2. Auflage, Berlin: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-53134-1 (VDI Buch).
- Brumby, L.; Niessen, J.; Schick, E. (2002): RCM Reliability Centered Maintenance: Grundlagen, Konzept und Einführung. Aachen: printproduction M. Wolff. ISBN 978-3-934318-23-6.
- BSI (2008): PAS55:2008-1: Specification for the optimized management of physical assets. URL: <https://shop.bsigroup.com/products/pas55-2008-1-2008->

- specification-for-the-optimized-management-of-physical-assets/standard  
(Zugriff: 13.12.2021).
- Bullinger, H. J. (2008): Fokus Technologie. Chancen erkennen Leistungen entwickeln. München: Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-41793-9.
- Bundesverwaltungsamt Organisationshandbuch - Qualitative Bewertungsmethoden.  
URL:  
[https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/65\\_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652\\_Qualitative/qualitative-node.html](https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/65_Wirtschaftlichkeitsuntersuchung/652_Qualitative/qualitative-node.html) (Zugriff: 06.08.2021).
- Burmann, C. (2005): Strategische Flexibilität und der Marktwert von Unternehmen. In: Kaluza, B.; Blecker, T. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Flexibilität -Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG. ISBN 3-503-08367-7 (Technological Economic), S. 29–55.
- Busch, R.; Dögl, R.; Unger, F. (2001): Integriertes Marketing. Strategie - Organisation - Instrumente. 3. Aufl, Wiesbaden: Dr. Th. Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-33664-2.
- Buzzell, R. D.; Gale, B. T. (1989): Das PIMS-Programm. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-663-09547-7.
- Bühner, R. (1990): Die Bedeutung von Unternehmenszusammenschlüssen im Rahmen einer technologieorientierten Unternehmensstrategie. In: Ifo-Studien, Jg. 36. Jg., Nr. Nr. 1, S. 17–40.
- BWB-Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung. (1990): Software-Entwicklungsstandard der Bundeswehr. 1990.
- Bühner, R. (1993): Strategie und Organisation: Analyse und Planung der Unternehmensdiversifikation mit Fallbeispielen. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-23102-1.
- Bärenthaler, G. (1998): Anlagenbewertung als ein Weg zur Optimierung der Instandhaltung. In: e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Jg. 115, Nr. 10, S. 509–512.
- BSP Business School Berlin GmbH. (2016): Mittelstand im Wandel - Wie ein Unternehmen seinen digitalen Reifegrad ermitteln kann. URL: [https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden\\_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf](https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf).
- Campbell, J. D.; Jardine, A. K. S. (2001): Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. New York: M.Dekker. ISBN 0-8247-0497-5.
- Camphausen, B. (2013): Strategisches Management: Planung, Entscheidung, Controlling. 3. Aufl., München: De Gruyter Oldenbourg. ISBN 978-3-486-71944-4.
- Carpitella, S.; Certa, A.; Izquierdo, J.; La Fata, C. M. (2018): A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. In: Reliability Engineering & System Safety, Jg. 169, S. 394–402.

- Chattopadhyaya, P. K.; Basu, S. K.; Majumdar, M. C. (2017): Quantified Risk Ranking Model for Condition-Based Risk and Reliability Centered Maintenance. In: Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, Jg. 98, Nr. 3, S. 325–333.
- Chrissis, M. B.; Konrad, M.; Shrum, S. (2006): Richtlinien für Prozess-Integration und Produkt-Verbesserung. Version 1.2, München Boston: Addison-Wesley.
- Chroust, G. (1992): Modelle der Software-Entwicklung. München Wien: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN 978-3-486-21878-7.
- Clarke, G.; Mulryan, G.; Liggan, P. (2010): Lean Maintenance – A Risk-Based Approach. In: Lean Maintenance, S. 6.
- CMMI Production Team (2010): CMMI® for Acquisition, Version 1.3 - Improving processes for acquiring better products and services, CarnegieMellon. URL: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalReport/2010\\_005\\_001\\_15284.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2010_005_001_15284.pdf).
- Cranenburgh, N. (2018): Risk-based Maintenance Management and Reliability Centred Maintenance. REBOK Community. URL: <https://rebok.engineersaustralia.org.au/wiki.html/risk-based-maintenance-management-and-reliability-centred-maintenance-r32/> (Zugriff: 15.12.2021).
- Crespo Marquez, A.; León, P.; Fernández, J. F.; Márquez, C.; López-Campos, M. (2009): The maintenance management framework. In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 15, S. 167–178.
- Crespo Márquez, A.; Moreu de León, P.; Sola Rosique, A.; Gómez Fernández, J. F. (2016): Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets: A study for complex in-service engineering assets. In: Quality and Reliability Engineering International, Jg. 32, Nr. 2, S. 519–533.
- Deeken, M.; Fuchs, T. (2018): Agiles Management als Antwort auf die Herausforderungen der Digitalisierung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-22705-0.
- Dehghanian, P.; Fotuhi-Firuzabad, M.; Bagheri-Shouraki, S.; Kazemi, A. A. R. (2012): Critical component identification in reliability centered 185 A. Khaira, R. Dwivedi: Two-Step Decision Making Approach for... asset management of power distribution systems via fuzzy AHP. In: IEEE Systems Journal, Jg. 6, Nr. 4, S. 593–602.
- Deloitte (2015): Asset Management: A Risk-Based Approach Energy & Resources, Benchmark Study. London: Deloitte. 2015.
- Diederichs, M. (2017): Risikomanagement und Risikocontrolling. Vahlen. ISBN 978-3-8006-5249-5.
- DIN 31051 (2019): Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 13306 (2015): Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 15341 (2019): Instandhaltung - Wesentliche Leistungskennzahlen für die Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag.

- DIN EN 16646 (2014): Instandhaltung - Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements. Berlin: Beuth Verlag.
- Dinkelbach, W. (1978): Ziele, Zielvariablen und Zielfunktionen. In: Die Betriebswirtschaft, Jg. 38, S. 51–58.
- Dippold, R.; Meier, A.; Schnider, W.; Schwinn, K. (2005): Unternehmensweites Datenmanagement: Von der Datenbankadministration bis zum Informationsmanagement. 4., überarb. und erw. Aufl, Braunschweig: Vieweg. ISBN 978-3-528-35661-3.
- Domschke, W.; Scholl, A. (2005): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre: Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht. 3., verb. Aufl., Berlin, u.a.: Springer. ISBN 978-3-540-25047-0.
- Döbrich, U.; Hakel, M.; Heidel, R.; Hoffmeister, M. (2017): Industrie 4.0 - Basiswissen RAMI 4.0 - Döbrich / Hankel / Heidel / Hoffmeister | Bücher & Normen für Ingenieure. 1. Auflage, Berlin: Beuth Verlag. ISBN 978-3-410-26482-8.
- Duden | Kritikalität | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kritikalitaet> (Zugriff: 13.08.2020).
- Ebert, T.; Raithel, S. (2009): Operationalisierung latenter Variablen. In: WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Jg. 38, S. 125–130.
- Ecker, S. (2021a): Dynamische Kritikalitätsbewertung nach den Anforderungen von Industrie 4.0 am Beispiel der Pharma-Industrie. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- EG Nr. 166/2006 (2006): Verordnung (EG) NR. 166/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzung- und -verbringungsregisters und zur Änderung der Richtlinien 91/689/EWG und 96/61/EG des Rates.
- Eidenmüller, B. (1991): Die Produktion als Wettbewerbsfaktor — Herausforderungen an das Produktionsmanagement. Bullinger, H.-J. (Hrsg.), Berlin, Heidelberg, 1991. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-662-09469-3.
- Eipper, C. (1995): Die Bewertung des Umweltrisikos von Gewerbe- und Industriebetrieben: ein Verfahren zur praxisorientierten Durchführung von Umweltrisikoprüfungen auf der Grundlage von Risikostudien für die Versicherungswirtschaft. Trierer geographische Studien. Trier: Geographische Gesellschaft. ISBN 978-3-921599-23-5.
- Eisenführ, F.; Weber, M.; Langer, T. (2010): Rationales Entscheiden. 5. überarb. und erw. Auflage, Berlin: Springer-Lehrbuch. ISBN 978-3-642-02848-9.
- Engelhardt-Nowitzki, C.; Lackner, E. (2006): Chargenverfolgung Möglichkeiten, Grenzen und Anwendungsgebiete. 1st. ed. 2006, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. ISBN 3-8350-9482-3.
- Engels, J. I.; Nordmann, A. (2018): Was heißt Kritikalität? zu einem Schlüsselbegriff der Debatte um kritische Infrastrukturen. Bielefeld: transcript Verlag. ISBN 978-3-8394-4207-4.

- Europäische Kommission (2021): Europäischer Grüner Deal: Kommission schlägt Neuausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft in der EU vor, um Klimaziele zu erreichen. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_3541).
- Evonik Fibres GmbH, Aichinger, M. (2021): Morphologie zur Kritikalitätsbewertung. Workshop, 21.09.2021.
- Federmann, R. (1976): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Grundlagen in visueller Form: 225 graphische Übersichten zu den Grundlagen der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre für Lehr- und Lernzwecke. Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-32771-8.
- Fischer, T.; Biskup, H.; Müller-Luschnat, G. (1998): Begriffliche Grundlagen für Vorgehensmodelle. In: Kneuper, R.; Müller-Luschnat, G.; Oberweis, A. (Hrsg.): Vorgehensmodelle für die betriebliche Anwendungsentwicklung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. ISBN 978-3-8154-2605-0, S. 13–31.
- Fleckenstein, M. (2015): Risikoorientierte Instandhaltung auf der Basis der Value-at-Risk Methode im Übertragungsnetz. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Ford, D.; Ryan, C. (1981): Taking technology to market. In: Harv. Bus. Rev.; (United States), Jg. 59:2.
- Fraser, P.; Moultrie, J.; Gregory, M. (2002): The use of maturity models / grids as a tool assessing product development capability. Proceedings of IEEE international Engineering Management Conference, Cambridge, 22.08 2002. Cambridge.
- Fritz, W. (1993): Die empirische Erfolgsfaktorenforschung und ihr Beitrag zum Marketing: Eine Bestandsaufnahme. *Working Papers*. Technische Universität Braunschweig, Institute of Marketing. Working Papers. URL: <https://ideas.repec.org/p/zbw/tbsimw/9312.html> (Zugriff: 21.11.2022).
- Gal, T.; Gehring, H. (1981): Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken. Berlin u.a.: de Gruyter. ISBN 978-3-11-008315-6.
- Galler, J. (1997): Vom Geschäftsprozeßmodell zum Workflow-Modell. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-322-90848-3.
- Geldermann, J. Entscheidungstheorie — Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. URL: <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Entscheidungstheorie> (Zugriff: 07.04.2021).
- Geldermann, J.; Lerche, N. (2014): Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, Georg-August Universität Göttingen. URL: <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/285813337d59201d34806cfc48dae518-en.pdf/MCDA-Leitfaden-PROMETHEE.pdf>.
- George, M. L.; Maxey, J.; Rowlands, D.; Price, M. (2004): The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed. 1st edition, New York; London: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-144119-3.
- Gillenkirch, P. D. R. Definition: mehrstufige Entscheidungen. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mehrstufige-entscheidungen->

39961. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mehrstufige-entscheidungen-39961> (Zugriff: 05.08.2021).
- Glinz, M. (2005): Einführung in die Modelltheorie, Universität Zürich, Institut für Informatik. URL: [https://files.ifi.uzh.ch/rerg/amadeus/teaching/courses/inf\\_II\\_fs10/inf\\_II\\_kapitel\\_02.pdf](https://files.ifi.uzh.ch/rerg/amadeus/teaching/courses/inf_II_fs10/inf_II_kapitel_02.pdf).
- Gnoni, M. G.; Lettera, G. (2012): Near-miss management systems: A methodological comparison. In: Journal of Loss Prevention in Process Industries, Jg. 25, S. 609–616.
- Gómez Fernández, J. F.; Martínez-Galán Fernández, P.; López, A. J. G.; Crespo Márquez, A. (2017): CRITICALITY ANALYSIS FOR NETWORK UTILITIES ASSET MANAGEMENT, IJNM. URL: [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/84879/JGomez-Criticality%20Network%20Utilites-IJNM\\_2017%20v5.0%284%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/84879/JGomez-Criticality%20Network%20Utilites-IJNM_2017%20v5.0%284%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y).
- Gopalakrishnan, M.; Bokrantz, J.; Ylipää, T.; Skoogh, A. (2015): Planning of Maintenance Activities – A Current State Mapping in Industry | Elsevier Enhanced Reader., 2015.
- Gopalakrishnan, M.; Skoogh, A.; Salonen, A.; Asp, M. (2019): Machine criticality assessment for productivity improvement: Smart maintenance decision support. In: International Journal of Productivity and Performance Management, Jg. 68, Nr. 5, S. 858–878.
- Grieser, F.; Schlich, M.; Weber, F. (1991): Angewandter Umweltschutz und Instandhaltung in der Stahlweiterverarbeitung., 1991. Bad Honnef: VDI-Ausschuß Instandhaltung und VdEh-Ausschuß für Anlagentechnik.
- Große-Schwiep, B.; Bensberg, F.; Schinnenburg, H. (2020): Entwicklung eines Reifegradmodells zur Bewertung des Digitalisierungsgrades von Geschäftsprozessen. In: Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik. Jg., Nr. 11.
- Grothus, H. (1989): Die Eignung von Expertensystemen für die Unternehmensberatung auf dem Gebiet der Anlagenwirtschaft. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Gupta, G.; Mishra, R. (2016): A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM: A FMECA of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic. In: Quality and Reliability Engineering International, Jg. 33.
- Gupta, G.; Mishra, R. P. (2018): Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. In: Procedia CIRP, Jg. 69, S. 905–909 (25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark).
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (1992): Übungsbuch Produktion und Logistik. 8., erw. und verb. Aufl., Norderstedt BoD. ISBN ISBN 9783732247301.



- Gäfen, G. (1974): „THEORIE DER WIRTSCHAFTLICHEN ENTSCHEIDUNG. Untersuchungen zur Logik und Bedeutung des rationalen Handelns. 3. Auflage, TÜBINGEN, J.C.B. MOHR (PAUL SIEBECK).
- Görener, A. (2012): Comparing AHP and ANP: An Application of Strategic Decisions Making in a Manufacturing Company., Jg. 3, Nr. 11, S. 16.
- Götze, U.; Bloech, J. (1995): Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 2., überarb. und erw. Aufl., Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-60000-8.
- Haberfellner, R. (1974): Die Unternehmung als dynamisches System. Der Prozeßcharakter der Unternehmungsaktivitäten. Dissertation, Industrielle Organisation Zürich.
- Haberfellner, R., Haberfellner, Reinhard, Haberfellner, Reinhard; Weck, O. de; Fricke, E.; Vössner, S. (2012): Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli. ISBN 978-3-280-04068-3.
- Habinger, Y. (2018): Entwicklung eines multikriteriellen Bewertungsmodells zum Vergleich von Standorten für gewerbliche Nutzung in Wien. Dissertation, TU Wien.
- Haegemans, T.; Snoeck, M.; Lemahieu, W. (2018): Entering data correctly: An empirical evaluation of the theory of planned behaviour in the context of manual data acquisition. In: Reliability Engineering & System Safety, Jg. Jg. 178, S. 12–30.
- Hammad, D.; Shafiq, N.; Nuruddin, M.; Sodangi, M.; Umar, A. (2014): Criticality Analysis of Defects in Civil Engineering Structures: Case of Onshore Process Plant. In: Procedia Engineering, Jg. 77, S. 53–60.
- Harrach, H. (2012): Risiko-Assessments für Datenqualität: Konzept und Realisierung. 2010. Aufl., Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. ISBN 978-3-8348-1344-2.
- Hastings, N. (2015): Physical Asset Management: With an Introduction to ISO55000. 2. Aufl., Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-33104-1.
- Hatch, M. J. (1997): Organization Theory: Modern, Symbolic and Postmodern Perspectives. Oxford; New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-877491-4.
- Hauschild, J. (1977): Entscheidungsziele. Zielbildung in innovativen Entscheidungsprozessen: theoretische Ansätze und empirische Prüfung. Tübingen: Mohr Verlag.
- Hax, H. (1974): Entscheidungsmodelle in der Unternehmung: Einführung in Operations Research. Reinbek (bei Hamburg): Rowohlt. ISBN 3-499-21063-0.
- Healy, J. A. (2006): Criticality in Asset Management. In: Mathew, J.; Kennedy, J.; Ma, L.; Tan, A.; Anderson, D. (Hrsg.): Engineering Asset Management. London: Springer London. ISBN 978-1-84628-814-2, S. 822–836.
- Heck, K. (1992): Begriff, Wesen, Arten und Systematisierung der Instandhaltungskosten. In: Warnecke, H. J. (Hrsg.): Instandhaltungsmanagement. 2., völlig überarb. Aufl. Köln: Verl. TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5, S. 683–698.

- Heinen, E. (1971a): Der entscheidungsorientierte Ansatz der Betriebswirtschaftslehre. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 41, Nr. 7, S. 429–444.
- Heinen, E. (1971b): Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen: Das Zielsystem der Unternehmung. 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-32288-1.
- Helfert, M. (2002): Planung und Messung der Datenqualität in Data-Warehouse-Systemen. Dissertation, Universität St.Gallen.
- Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P. (1996): Qualitätsmanagement für Ingenieure. 3., überarb. edition, Düsseldorf: Springer. ISBN 978-3-540-62255-0.
- Herzig, N. (1975): Die theoretischen Grundlagen betrieblicher Instandhaltung. Meisenheim (am Glan): Hain. ISBN 978-3-445-01235-7.
- Hesse, W.; Merbeth, G.; Frölich, R. (1992): Software-Entwicklung - Vorgehensmodelle, Projektführung, Produktverwaltung. Oldenbourg Verlag.
- Hitzler, L. (1998): Analyse und Beurteilung von betrieblichen Umweltrisiken: eine praxisbezogene Methode zur Ermittlung und Bewertung von Umweltauswirkungen und Umweltrisiken von Betrieben. Kassel: Kassel University Press. ISBN 978-3-933146-09-0.
- Homburg, C. (1998): Quantitative Betriebswirtschaftslehre: Entscheidungsunterstützung durch Modelle. 2. Aufl., Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-23417-7.
- Homburg, C. (2000): Quantitative Betriebswirtschaftslehre: Entscheidungsunterstützung durch Modelle. 3. Aufl., Gabler Verlag. ISBN 978-3-8349-4341-5.
- Horváth, P. (1996): Controlling. 6., vollst. überarb. Aufl., München: Vahlen. ISBN 978-3-409-23417-7.
- Horváth, P. (2011): Controlling. 12., vollständig überarbeitete Auflage, München: Vahlen. ISBN 978-3-8006-3878-9.
- Hruby, J.; Hanke, T. (2014): Mindsets für das Management: Überblick und Bedeutung für Unternehmen und Organisationen. Gabler Verlag. ISBN 978-3-658-06325-2.
- Hwang, C.-L.; Masud, A. S. M. (1979): Multiple Objective Decision Making — Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-09111-0.
- Hyun, K.-C.; Min, S.; Choi, H.; Park, J.; Lee, I.-M. (2015): Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. In: Tunnelling and Underground Space Technology. Jg., Nr. Volume 49, S. 121–129.
- Hölbfer, Stefan (2013): Strategiefindung in der Instandhaltung. In: Ressourceneffizientes Anlagenmanagement. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. , S. 77–104.
- IEEE (2000): IEEE Recommended Practice for Architectural Description for Software-Intensive Systems. In: IEEE Std 1471-2000, S. 1–30.
- Ishikawa, K. (1986): Guide to Quality Control. Hong Kong: Asian Productivity Organization. ISBN 978-92-833-1036-5.

- ISO 31000 (2018): Risk Management Guidelines, Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 55000 (2014): Asset Management - Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO 55000:2014). Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 55001 (2014): Asset Management- Managementsysteme - Anforderungen (ISO 55001:2014). Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 55002 (2018): Asset Management - Managementsysteme - Leitfaden für die Anwendung. Berlin: Beuth Verlag.
- Jacob, H. (1989): Flexibilität und ihre Bedeutung für die Betriebspolitik. In: Integration und Flexibilität. Eine Herausforderung für die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden.
- Jafari, M. A.; Parlikad, A. K.; Robazetti-Concho, L.; Jafari, B.; Vaghefi, S. A.; Dayhim, M. (2014): REVIEW OF ASSET HIERARCHY, CRITICALITY ASSESSMENT AND RISK ANALYSIS PRACTICES, URL: <http://www.utrc2.org/sites/default/files/Final-Report-Review-of-Asset-Hierarchy-Criticality.pdf> (Zugriff: 29.11.2021).
- Jasiulewicz - Kaczmarek, M.; Gola, A. (2019): Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 52, Nr. 10, S. 91–96 (13th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2019).
- Jeske, T.; Garrel, J. von; Starke, J. (2011): Erfolgsfaktor Flexibilität. In: Industrial Engineering, Jg. 2011, Nr. 1/2011, S. 20–23.
- Jochem, R. (2010): Was kostet Qualität? - Wirtschaftlichkeit von Qualität ermitteln. 1., überarbeitete und erweiterte Edition, München: Hanser Wirtschaft. ISBN 978-3-446-42182-0.
- Jockisch, M.; Rosendahl, J. (2010): Klassifikation von Modellen. In: Bandow, G.; Holzmüller, H. H. (Hrsg.): „Das ist gar kein Modell!“. Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-8349-1842-0, S. 23–52.
- Jording, T. (2018): Entwicklung und Konzeption eines Reifegradmodells des Supply Chain Managements -Der Supply Chain Management Maturity Cube (SCMMC). Bamberg: University of Bamberg Press. ISBN 978-3-86309-563-5.
- Jöbstl, O. (1999): Einsatz von Qualitätsinstrumenten und -methoden: ein Anwendungsmodell für Dienstleistungen am Beispiel der Instandhaltung. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. ISBN 978-3-8244-0487-2.
- Jöbstl, O. (2004): Verbesserung der Overall Equipment Effectiveness als Maßnahme zur Kostensenkung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Leistungs- und kostenorientiertes Anlagenmanagement: Gestaltungselemente zur Kostenminimierung und Effizienzsteigerung: 18. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV-Verlag. ISBN 978-3-8249-0891-2, S. 35–46.
- Kalaitzis, D. (2004): Benchmarking in der Instandhaltung mit Kennzahlen und Kennzahlensystemen. In: Kalaitzis, D. (Hrsg.): Instandhaltungscontrolling: Führungs- und Steuerungssystem erfolgreicher Instandhaltung. 3., vollst. überarb. Aufl, Köln: TÜV-Verlag. ISBN 978-3-8249-0730-4, S. 75–92.

- Kaluza, B. (1989): Erzeugniswechsel als unternehmenspolitische Aufgabe: integrative Lösungen aus betriebswirtschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Sicht. Berlin: Erich Schmidt. ISBN 978-3-503-02843-6.
- Kaluza, B. (1993): Betriebliche Flexibilität. In: Wittmann, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Stuttgart. S. 1173–1184.
- Kaluza, B. (1994): Rahmenentscheidungen zu Kapazität und Flexibilität produktionswirtschaftlicher Systeme. In: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement: Strategie-Führung-Technologie-Schnittstellen. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 3-409-19959-4, S. 51–72.
- Kaluza, B.; Klenter, G. (1993): Zeit als strategischer Erfolgsfaktor von Industrieunternehmen. Teil 2: Erfolgskritische Komponenten des strategischen Erfolgsfaktors Zeit. Duisburg. 1993.
- Kamiske, G. F. (2012): Handbuch QM-Methoden: die richtige Methode auswählen und erfolgreich umsetzen. München: Hanser. ISBN 978-3-446-42019-9.
- Khaira, A.; Dwivedi, R. (2019): A TWO-STEP DECISION MAKING APPROACH FOR IDENTIFICATION OF CRITICAL EQUIPMENT USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AND PREFERENCE RANKING ORGANIZATION METHOD FOR ENRICHMENT EVALUATIONS WITH IMPROVED NORMALIZATION. In: Engineering Review, Jg. Vol. 39, Nr. Issue 2, S. 174–185.
- Kinz, A. (2017): Ausgestaltung einer dynamischen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016): Instandhaltungsoptimierung mittels Lean Smart Maintenance: Einführung des Lean Smart Maintenance Ansatzes. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Smart Maintenance: Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. 1. Aufl., Köln: TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0096-9, S. 61–100.
- Kinz, A.; Bernerstätter, R.; Zellner, T. (2016): Lean Smart Maintenance in der Prozessindustrie. In: WINGbusiness, Jg. Jg. 49, Nr. Nr. 01/2016, S. 16–19.
- Kinz, A.; Biedermann, H. (2015): Anlagenspezifische Instandhaltungsstrategiewahl durch strukturierte Anlagenbewertung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Smart Maintenance: intelligente, lernorientierte Instandhaltung: 29. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1950-5, S. 221–238.
- Kinz, A.; Biedermann, H. (2016): Strukturierte Anlagenbewertung: Ein Instrument zur Optimierung des Instandhaltungsstrategiemix in der Smart Maintenance. In: Der Instandhaltungsberater. 68. Aufl., Köln: TÜV Media., S. 1–29.
- Kinz, A.; Schröder, W.; Passath, Theresa; Praher, Patrick; Freudenthaler, Bernhard (2017): Optimierung des anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategiemix am Beispiel eines komplexen Fertigungssystems. In: Erfolg durch Lean Smart Maintenance: 31. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media., S. 185–216.
- Kinz, A. (2018): Bewertungskategorie "Instandhaltungsstrategie". In: Benchmark-Instandhaltung, Eine Studie zum Reifegrad von Instandhaltungsorganisationen in der DACH-Region. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0360-1, S. 68–76.

- Klecker, T. (2009): Grundsätze der Entscheidungstheorien, Hochschule Mittweida. 2009.
- Kleindienst, B. (2016): Performance Measurement und Management: Partizipative Entwicklung eines Systems zur Steuerung, Analyse und Kontrolle von Unternehmen. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Kleindienst, B. (2017): Performance Measurement and Management - Gestaltung und Einführung von Kennzahlen- und Steuerungssystemen. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-19448-2.
- Klenter, G. (1995): Zeit, Strategischer Erfolgsfaktor von Industrieunternehmen. Hamburg: S und W, Steuer- und Wirtschaftsverlag. ISBN 978-3-89161-859-2.
- Konstantinou, E.; Parlikad, A. K.; Wong, A.; Broom, C. (2019): Prioritization of Responsive Maintenance Tasks via Machine Learning-based Inference., januari 1 2019.
- Krafft, K. (2021): 5 Stufen der Digitalisierung - Wie vollständig das Unternehmen arbeitet. URL: <https://www.cio.de/a/wie-das-vollstaendig-digitale-unternehmen-arbeitet,3574107> (Zugriff: 30.10.2021).
- Kraus, T. (1981): Organisation der Instandhaltung: Ablauforganisation. In: Warnecker, H.-J. (Hrsg.): Instandhaltung: Grundlagen. Köln: TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-020-5, S. 352–383.
- Krechting, M. J. (2000): Erfolgsfaktoren. In: Zerres, M. P. (Hrsg.): Handbuch Marketing-Controlling. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-662-07717-7, S. 75–89.
- Krishnasamy, L.; Kahn, F.; Haddara, M. (2005): Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. In: Journal of Loss Prevention in Process Industries, Jg. Vol 18., S. 69-81.
- Kromrey, H. (2009): Empirische Sozialforschung: Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung. 12. Aufl., Stuttgart: UTB. ISBN 978-3-8252-1040-3.
- Kuhn, A.; Schuh, G.; Stahl, B. (2006): Nachhaltige Instandhaltung: Trends, Potenziale und Handlungsfelder Nachhaltiger Instandhaltung. Frankfurt am Main: VDMA Verlag. ISBN 3-8163-0522-9.
- Kuhn, M.; Johnson, K. (2013): Applied Predictive Modeling. New York: Springer-Verlag. ISBN 978-1-4614-6848-6.
- Kumar, G.; Maiti, J. (2012): Modeling risk based maintenance using fuzzy analytic network process. In: Expert Systems with Applications, Jg. 39, S. 9946–9954.
- Kumar, U.; Galar, D.; Parida, A.; Stenström, C.; Berges, L. (2013): Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. Kumar, U.; Parida, A.; O. Duffuaa, S. (Hrsg.) In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 19, Nr. 3, S. 233–277.
- Kunkel, R.; Westkämper, E. (2005): Einführung In Die Organisation Der Produktion. 2006. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-26039-4.
- Kühnapfel, J. B. (2019): Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. 2. Aufl., Gabler Verlag. ISBN 978-3-658-25163-5.

- Kühnel, S.-M.; Krebs, D. (2001): Statistik für die Sozialwissenschaften: Grundlagen, Methoden, Anwendungen. 6. edition, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch. ISBN 978-3-499-55639-5.
- Kühnle, M. (2006): Bewertungsmethoden von Datenqualität in einem Data Warehouse. Dissertation, Technische Universität München.
- Lahdelma, S.; Mikkonen, H. (2012): Practical Considerations on Selecting Assets for Condition Monitoring., 2012.
- Latham, G. P.; Locke, E. A. (1991): Self-Regulation through Goal Setting. In: Organizational Behaviour and Human Decision Processes, Jg. 50, S. 212–247.
- Laux, H. (2002): Entscheidungstheorie. 5.Auflage, Springer. ISBN 978-3-540-43877-7.
- Leidinger, B. (2014): Wertorientierte Instandhaltung: Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten. 2014 edition, Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-04400-8.
- Leyh, C.; Schäffer, T.; Forstehäusler, S. (2016): SIMMI 4.0 – Vorschlag eines Reifegradmodells zur Klassifikation der unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft mit Fokus Industrie 4.0., Technische Universität Ilmenau, mars 9 2016. Technische Universität Ilmenau.
- Liessmann, K. (1993): Strategisches Controlling. In: Mayer, E. (Hrsg.): Controlling-Konzepte: Führung — Strategisches und Operatives Controlling — Franchising — Internationales Controlling. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-322-83708-0, S. 117–210.
- Lindemann, U. (2005): Vorgehensmodelle, Grundprinzipien und Methoden. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-26617-4, S. 31–53.
- Liu, H.-L. (2012): Arbeitswissenschaftliches Modell zur nutzerorientierten Gestaltung technischer Produkte für Menschen mit krankheitsbedingten Einschränkungen am Beispiel von Sanitärprodukten. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Locke, E. A.; Latham, G. P. (2002): Building a Practically Useful Theory of Goal Setting and Task Motivation: A 35Year Odyssey. In: American Psychologist, Jg. Vol. 57, Nr. Nr. 9, S. 705–717.
- Locke, E. A.; Latham, G. P. (2006): New Directions in Goal-Setting Theory. In: Current Directions in Psychological Science, Jg. Vol. 15, Nr. Nr. 5, S. 265–268.
- Lorenz, B. (2011): Wertorientierte Gestaltung der betrieblichen Instandhaltung. 1. Aufl., Aachen: Apprimus Verlag. ISBN 978-3-86359-032-1.
- Lotter, B. (2006): Montage in der industriellen Produktion ein Handbuch für die Praxis. Mit 16 Tabellen. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-21413-7.
- Luhmann, N. (1980): Komplexität. In: Grochla, E. (Hrsg.): Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre-Handwörterbuch der Organisation. 2. Auflage, Stuttgart, S. 1064–1070.
- Luhmann, N. (1987): Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie. Frankfurt am Main: Suhrkamp. ISBN 3-518-28266-2.

- Lüring, A. (2001): Qualitative Aspekte und quantitative Modelle der Instandhaltung. Dargestellt am Beispiel der Salzgitter AG - Stahl und Technologie. 1. Aufl, Lohmar Köln: Josef Eul Verlag, Lohmar. ISBN 978-3-89012-862-7.
- Mahnke, A.; Rohlf, T. (2020): Betriebliches Risikomanagement und Industrierversicherung: Erfolgreiche Unternehmenssteuerung durch ein effektives Risiko- und Versicherungsmanagement. 1. Aufl. 2020 edition, Wiesbaden, Germany Heidelberg: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-30420-1.
- Maier, H.; Schmiedbauer, O.; Biedermann, H. (2021): Lean Smart Maintenance Reifegradmodell zur Transformation der Instandhaltungsorganisation. In: WING Business. Jg., Nr. 01/21, S. 29–32.
- Maier, H. T.; Schmiedbauer, O.; Biedermann, H. (2020): Validation of a Lean Smart Maintenance Maturity Model., Kroatien, 2020. Kroatien: University North. ISBN 1846-6168.
- Maier, P. D. G. W. Definition: Entscheidungsbaum. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entscheidungsbaum-35225>. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entscheidungsbaum-35225> (Zugriff: 05.08.2021).
- Mandelartz, J. (2009): VDI-Richtlinie-mit technischen Regeln Wirtschaftlichkeit erhöhen und Standards setzen. In: Betriebliche Instandhaltung. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-00502-2, S. 311–318.
- Martínez-Galán, P.; Gómez, J. Fco.; Crespo, A.; Guillén, A.; Fuente, A. de la; Candón, E. (2019): Criticality Analysis for Network Utilities Asset Management. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 52, Nr. 13, S. 2074–2079.
- Masak, D. (2006): Moderne Enterprise Architekturen. Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-27281-6.
- Matyas, K. (2010): Taschenbuch Instandhaltungslogistik - Qualität und Produktivität steigern. 4. überarbeitete Auflage, Hanser. ISBN 978-3-446-42376-3.
- Matyas, K.: (2010): Kennzahlen und Controlling in der Instandhaltung. In: Taschenbuch Instandhaltungslogistik. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. ISBN 978-3-446-42376-3, S. 91–113.
- Mayer, H. O. (2004): Interview und schriftliche Befragung. Entwicklung, Durchführung und Auswertung. verbesserte Auflage, München Wien: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN 978-3-486-27539-1.
- Meer, J. D. (2015): Kritikalitätsbewertung von technischen Prozessen in Kritischen Infrastrukturen.
- Meffert, H. (1985): Größere Unternehmensflexibilität als Unternehmenskonzept. In: ZfbFo. Jg., Nr. Vol. 37, S. 121–137.
- Meyer, J. (2006): Entscheidungstheorien in Unternehmen. GRIN Verlag. ISBN 978-3-638-67061-6.
- Meyer, R. (2000): Entscheidungstheorie: Ein Lehr- und Arbeitsbuch. 2. durchgesehene Aufl., Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-22249-5.

- Mikkonen, H.; Lahdelma, S. (2012): Practical Considerations on Selecting Assets for Condition Monitoring., London, Juni 12 2012. London.
- Minnaar, J. R.; Basson, W.; Vlok, P.-J. (2013): Quantitative methods required for implementing PAS 55 or the ISO 55000 series for asset management. In: The South African Journal of Industrial Engineering, Jg. 24, Nr. 3, S. 98-111.
- Mitchell, J. S.; Carlson, J. (2001): Equipment asset management - what are the real requirements? In: Reliability Magazine, Jg. October.
- Moerth-Teo, O.; Ramsauer, C. (2021): Design for Agile Manufacturing: Product Design Principles that Enhance Agile Manufacturing of Powertrain Systems. In: Journal of Industrial and Intelligent Information, Vol. 9, No. 1, S. 7-14.
- Moss, T. R.; Woodhouse, J. (1999): Criticality analysis revisited. In: Quality and Reliability Engineering International, Jg. 15, Nr. 2, S. 117–121.
- Moubray, J. (1991): Reliability Centred Maintenance. New York: Industrial Press Inc.
- Moubray, J. (1996): RCM, Die Hohe Schule der Zuverlässigkeit von Produkten und Systemen. Landsberg: MI. ISBN 978-3-478-91630-1.
- Muchiri, P. N.; Pintelon, L.; Martin, H.; Meyer, A. M. (2010): Empirical Analysis of Maintenance Performance Measurement in Belgian Industries. In: International Journal of Production Research, Jg. 48, Nr. 2, S. 5905–5924.
- Mühlbacher, A. C.; Kaczynski, A. (2013): Der Analytic Hierarchy Process (AHP): Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung im Gesundheitswesen. In: PharmacoEconomics German Research Articles, Jg. 11, Nr. 2, S. 119–132.
- Müller, K. (1990): Der Managementprozeß. In: Müller, K. (Hrsg.): Management für Ingenieure: Grundlagen, Techniken, Instrumente. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-662-08462-5, S. 1–51.
- Männel, W. (1988): Integrierte Anlagenwirtschaft. In: Männel, W. (Hrsg.): Integrierte Anlagenwirtschaft. Köln: TÜV Rheinland GmbH. ISBN 3-88585-467-8 (Schriften Anlagenwirtschaft), S. 1–51.
- Männel, W. (1991): Softwaresysteme für die Instandhaltung: Module, Grundfunktionen und Marktüberblick. In: CIM Management, Jg. Vol.7, Nr. Vol. 7, Nr. 2, S. 4–15.
- Männel, W. (2001): Kennzahlen und Kennzahlensysteme für das Instandhaltungscontrolling. Lauf a.d. Pregnitz.
- Nebel, T.; Prüß, H. (2006): Anlagenwirtschaft. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN 978-3-486-57961-1.
- Nehfort, A. (2009): Qualitätsmanagement für IT-Lösungen. In: Handbuch IT-Management: Konzepte, Methoden, Lösungen und Arbeitshilfen für die Praxis. 3. überarbeitete und erweiterte Aufl., München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. ISBN 978-3-446-41842-4.
- Ninck, A.; Hungerbühler, R.; Bürki, L.; Mühlemann, H. (1998): Systemik: Integrales Denken, Konzipieren und Realisieren. 2. überarb. Auflage, Zürich: Industrielle Organisation. ISBN 978-3-85743-994-0.



- Nowlan, F. S.; Heap, H. F. (1978): RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE, Dolby Access Press. 1978.
- Obermaier, R.; Saliger, E. (2013): Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen. 6. Auflage, München: Oldenbourg Verlag. ISBN 978-3-486-72768-5.
- Oberschmidt, J. (2010): Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme. Dissertation, Universität Göttingen.
- Ortner, E. (1996): Glossar: Workflow-Management-Systeme und ihre Anwendung. GI-Arbeitskreis: Grundlagen der Modellierung und Ausführung von Workflows, URL: <http://is2221.inf.tu-dresden.de/~www/GI-Dokumente/>.
- Parajes, J. S.; Marquez, A. C.; Rosique, A. S. (2018): Criticality analysis for preventive maintenance optimization purposes in gas network infrastructures. In: Risk and Reliability, Jg. 232, Nr. 4, S. 464–472.
- Parida, A.; Kumar, U.; Galar, D.; Stenström, C. (2015): Performance measurement and management for maintenance: a literature review. In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 21, Nr. 1, S. 2–33.
- Parra, C.; Marquez, A. C. (2020): Criticality Analysis Methods. Based on the Risk Assessment Process.
- Passath, T.; Ecker, S.; Hinterberger, S.; Greinecker, M. (2021a): Eine automatisierte Kritikalitätsbewertung als Schlüssel zur dynamischen Instandhaltung und langfristigen Wertschöpfungssteigerung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Instandhaltung als Erfolgsfaktor - Strategie, Lebenszyklusbetrachtung und Digitalisierung. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0666-4 (Praxiswissen Instandhaltung), S. 83–125.
- Passath, T.; Huber, C.; Kohl, L.; Biedermann, H.; Fazel, A. (2021b): A knowledge-based digital lifecycle-oriented asset optimization. Proceedings of MOTSP 2021, Porec, Juni 8 2021. Porec. ISBN ISSN 1846-6168.
- Passath, T.; Hochstrasser, P.; Kühnast-Benedikt, R.; Simbeni, L. (2020a): Anlagenspezifisches Risikomanagement in der gelebten Praxis - Kritikalität, Wissenssicherung und Transparenzsteigerung. In: Wertschöpfende Instandhaltung - Tools, Methoden und Modelle. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0568-1 (34. Instandhaltungsforum), S. 189-220.
- Passath, T.; Huber, C.; Biedermann, H. (2020b): Dynamic criticality assessment as a supporting tool for knowledge retention to increase the efficiency and effectiveness of maintenance., Proceedings of the 1<sup>st</sup> Conference on Production Systems and Logistics (CPSL), S. 48-57.
- Passath, T.; Huber, C. (2019): Dynamische Instandhaltungsstrategieanpassung durch Anlagenkritikalitätsbewertung. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 1, Nr. 164, S. 7–12.
- Passath, T. (2019): Decision Making in Lean Smart Maintenance. 13<sup>th</sup> IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, S. 370-375. ISSN: 24058963

- Passath, T.; Kinz, A. (2019): Optimierung der Anlagen-Lebenszykluskosten durch Einführung eines Asset Management Systems. In: Der Instandhaltungsberater. (79. Ergänzungen), S. 1–43.
- Passath, T.; Mertens, K. (2019): Decision Making in Lean Smart Maintenance: Criticality Analysis as a Support Tool. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 52, Nr. 10, S. 364–369.
- Passath, T.; Kinz, A. (2018): Einführung eines strategischen Asset Management Systems am Beispiel der Zellstoffindustrie. In: Predictive Maintenance-Realität und Vision, 32. Instandhaltungsforum. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group., S. 41–64.
- Pawellek, G. (2013): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik: Vorgehensweisen, Methoden, Tools. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-31383-7.
- Pepels, W. (2013): Strategisches Marketing-Controlling: Grundlagen, Organisation, Instrumente. Symposion Publishing GmbH. ISBN 978-3-86329-441-0.
- Peters, W. (1998): Zur Theorie der Modellierung von Natur und Umwelt. Ein Ansatz zur Rekonstruktion und Systematisierung der Grundperspektiven ökologischer Modellbildung für planungsbezogene Anwendungen. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Peterson, S. B. (2021): Developing an Asset Management Strategy. URL: [https://reliabilityweb.com/articles/entry/developing\\_an\\_asset\\_management\\_strategy](https://reliabilityweb.com/articles/entry/developing_an_asset_management_strategy) (Zugriff: 14.12.2021).
- Pfeifer, T. (1996): Praxishandbuch Qualitätsmanagement. München: Hanser Elektronik / Fachbuch. ISBN 978-3-446-18156-4.
- Pfister, H.-R.; Jungermann, H.; Fischer, K. (2017): Die Psychologie der Entscheidung: Eine Einführung. 4. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-662-53037-5.
- Picot, A.; Maier, M. (1992): Analyse- und Gestaltungskonzepte für das Outsourcing. In: Die Fachzeitschrift für Informationsmanagement. Jg., Nr. 4/92, S. 14–27.
- Piratla, K. R.; Ariaratnam, S. T. (2011): Criticality Analysis of Water Distribution Pipelines. In: Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, Jg. 2, Nr. 3, S. 91–101.
- Pitz, T. (2000): Recycling aus produktionstheoretischer Sicht. 2000th edition, Heidelberg: Physica-Verlag Heidelberg. ISBN 978-3-7908-1267-1.
- Porter, M. E. (2008): Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. 11. Aufl., Frankfurt am Main: Campus Verlag. ISBN 978-3-593-38710-9.
- Preiss, R. (2017): Methoden der Risikoanalyse in der Technik: Systematische Analyse komplexer Systeme. 2. Aufl., Wien: TÜV Austria. ISBN 978-3-901942-76-1.
- Proesler, H. (1956): Der Industriebetrieb und sein Rechnungswesen. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-322-96164-8.
- Prüß, H. (2003): Henning Prüß - Ökonomische Relevanz der komplexen Anlagenwirtschaft. Aachen: Shaker Verlag. ISBN 978-3-8322-1246-9.

- Pschierer-Barnfather, P.; Technology, E. (2011): DETERMINATION OF ASSET CRITICALITY: A PRACTICAL METHOD FOR USE IN RISK-BASED INVESTMENT PLANNING., 2011.
- Pujadas, W.; Frank Chen, F. (1996): A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility. In: Computers & Industrial Engineering, Jg. 31, Nr. 1, S. 241–244 (Proceedings of the 19th International Conference on Computers and Industrial Engineering).
- Pümpin, C. (1986): Management strategischer Erfolgspositionen- Das SEP-Konzept zur Grundlage wirkungsvoller Unternehmensführung. 3. überarbeitete Auflage, Bern; Stuttgart: Paul Haupt.
- Ragnitz, J. (2020): Langfristige wirtschaftliche Auswirkungen der Corona-Pandemie. In: ifo Schnelldienst, Jg. 73, Nr. Nr. 11, S. 25–30.
- Ramsauer, C.; Kayser, D.; Schmitz, C. (2017). In: Ramsauer, C.; Kayser, D.; Schmitz, C. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Agilität: Chancen für Unternehmen in einem volatilen Marktumfeld. 1. Auflage, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN 978-3-527-50901-0, S. 7–9.
- Rasch, A. A. (2000): Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG. ISBN 978-3-503-05811-2.
- Rawlinson, J. G. (1981): Creative Thinking and Brainstorming. London: Routledge. ISBN 978-1-315-25900-0.
- Reder, L.; Steven, M.; Klünder, T. (2018): Industrie 4.0 - Readiness von Supply Chain Netzwerken; Qualitative und quantitative Analyse am Beispiel der Automobilindustrie. In: Industrie 4.0 Management, Jg. Jg. 2018, Nr. Nr. 5, S. 11–16.
- Reinhart, G.; Schindler, S. (2010): Reife von Produktionstechnologien: Konzeptionelle Bestimmung des Entwicklungsstadiums von Fertigungsverfahren und -prozessen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 105, Nr. 7–8, S. 710–714.
- Reiss, M. (2020): Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Anwendungen. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH. ISBN 978-3-17-035593-4.
- Richtlinie (2010): RICHTLINIE 2010/31/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
- Roberts, N.; Vesely, W.; Haasl, D.; Goldberg, F. (1981): Fault Tree Handbook. US Nuclear Regulatory Commission.
- Rohweder, J. P.; Kasten, G.; Malzahn, D.; Piro, A.; Schmid, J. (2015): Informationsqualität - Definitionen, Dimensionen und Begriffe. In: Hildebrand, K.; Gebauer, M.; Hinrichs, H.; Mielke, M. (Hrsg.): Daten- und Informationsqualität. 1. auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-09214-6, S. 26–46.
- Romeike, F. (2018): Risikomanagement. 1. Aufl. 2018 Edition, Wiesbaden Heidelberg: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-13951-3.

- Romeike, F.; Hager, P. (2013): Erfolgsfaktor Risiko-Management 3.0: Methoden, Beispiele, Checklisten Praxishandbuch für Industrie und Handel. 3. Aufl. 2013 edition, Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 978-3-8349-3339-3.
- Romeike, F.; Hager, P. (2020): Erfolgsfaktor Risiko-Management 4.0: Methoden, Beispiele, Checklisten Praxishandbuch für Industrie und Handel. 4. Aufl., Gabler Verlag. ISBN 978-3-658-29445-8.
- Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002): Entscheidungstheorie klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen; mit 109 Tabellen. Berlin: Springer Lehrbuch. ISBN 978-3-540-42465-9.
- Rosemann, M. (1995): Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen: Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Springer-Verlag. ISBN 978-3-322-99232-1.
- Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005): Unternehmensrisiken erkennen und managen: Einführung in die quantitative Planung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-24507-0.
- Rost, N. (2007): Recycling - Rohstoffquelle des 21. Jahrhunderts, URL: <https://www.regionalentwicklung.de/regionales-wirtschaften/technologien-rohstoffe/recycling/>.
- Rüegg-Stürm, J. (2003): Das neue St. Galler Management-Modell: Grundkategorien einer integrierten Managementlehre; der HSG-Ansatz. Bern [u.a.]: Haupt. ISBN 3-258-06629-9.
- Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2017): Das St. Galler Management-Modell - Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisbeispiele. 3. Auflage, Bern: Haupt Verlag. ISBN 978-3-258-08015-4.
- Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (2020): Das St. Galler Management-Modell: Management in einer komplexen Welt. 2. aktual. Aufl. edition, Bern: utb GmbH. ISBN 978-3-8252-5499-5.
- Saarinen, K.; Westerlund, P., W. (2013): CRIM - Bestimmung der besten Instandhaltungsstrategie für komplexe Prozessanlagen. In: ABB review Nr. 2/13, 2013, S. 64–69.
- Saaty, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
- Saavedra, V.; Dávila, A.; Melendez, K.; Pessoa, M. (2017): Organizational maturity models architectures: A systematic literature review. In: Adv. Intell. Syst. Comp.o. Jg., Nr. 537, S. 33–46.
- Savino, M.; Brun, A.; Riccio, C. (2011): Integrated system for maintenance and safety management through FMECA principles and fuzzy inference engine. In: European Journal of Industrial Engineering, Jg. 5, S. 132–169.
- SCAMPI Upgrade Team (2011): Standard CMMI® Appraisal Method for Process Improvement (SCAMPISM) A, Version 1.3: Method Definition Document, CarnegieMellon. URL: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/Handbook/2011\\_002\\_001\\_15311.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/Handbook/2011_002_001_15311.pdf).

- Schawel, C.; Billing, F. (2012): Top 100 Management Tools: Das wichtigste Buch eines Managers Von ABC-Analyse bis Zielvereinbarung. 4., überarb. Aufl. 2012. Korr. Nachdruck 2012 Edition, Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-8349-4104-6.
- Scheller, T. (2017): Auf dem Weg zur agilen Organisation: Wie Sie Ihr Unternehmen dynamischer, flexibler und leistungsfähiger gestalten. 1. Aufl., München: Vahlen. ISBN 978-3-8006-5271-6.
- Schmidt, B. (1985): Systemanalyse und Modellaufbau: Grundlagen der Simulationstechnik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-13784-9.
- Schmiedbauer, O.; Maier, H.; Biedermann, H. (2020): Evolution of a Lean Smart Maintenance Maturity Model towards the new Age of Industry 4.0., Stellenbosch, South Africa, 2020. Stellenbosch, South Africa: © Institute for Production and Logistics Research GbR.
- Schmiedbauer, O.; Maier, H.; Biedermann, H. (2021a): Lean Smart Maintenance Reifegradmodell zur Transformation der Instandhaltungsorganisation. In: WING Business. Jg., Nr. 01/21, S. 29–32.
- Schmiedbauer, O.; Maier, H. T.; Sandner, W.; Biedermann, H. (2021b): Flexibilisierungspotenziale durch Lean Smart Maintenance-Herausforderungen in großen Organisationen. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Instandhaltung als Erfolgsfaktor-Strategie Lebenszyklusorientierung und Digitalisierung. Köln: TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group. ISBN 978-3-7406-0666-4 (Praxiswissen Instandhaltung; 35. Instandhaltungsforum), S. 165–181.
- Schneck, O. (2006): Handbuch alternative Finanzierungsformen: Anlässe, Private Equity, Genussscheine, ABS, Leasing, Factoring, Mitarbeiterbeteiligung, BAV, Franchising, Stille Gesellschaft, Partiarisches Darlehen, Börsengang. John Wiley & Sons. ISBN 978-3-527-50219-6.
- Schneider, B. (1984): Allgemeine Modelltheorie und Validierung. Breitenecker, F.; Kleinbert, W. (Hrsg.), Berlin, Heidelberg, 1984. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-642-69706-7.
- Schröder, W. (2010a): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. 1. Aufl, Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-8349-2038-6.
- Schröder, W. (2010b): Reorganisation der Instandhaltung durch Konzentration auf die Kernkompetenzen: Methode der Entscheidungsunterstützung zur Erhöhung von Effizienz und Effektivität innerer Abläufe. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Anlagenmanagement: Moderne Planungs-, Entscheidungs- und Steuerungsinstrumente entlang des Anlagenlebenszyklus. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1388-6, S. 67–83.
- Schröder, W. (2014): ISO 55000 - Asset Management, Anforderungen an ein Asset Management System. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Instandhaltung im Wandel: Industrie 4.0 - Herausforderungen und Lösungen. Köln: Tüv Media. ISBN 978-3-8249-1950-5, S. 185–196.
- Schröder, W.; Kleindienst, B. (2013): Resource Risk Based Maintenance: Ein Vorgehensmodell und dessen beispielhafte Umsetzung in der Stahlindustrie. In:

- Biedermann, H. (Hrsg.): Ressourceneffizientes Anlagenmanagement: Der Beitrag von Instandhaltung und Anlagenwirtschaft zu einem effizienten Umgang mit Ressourcen: 27. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1736-5, S. 105–130.
- Schubert, M. (1993): FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse: Leitfaden. Berlin: Beuth. ISBN 978-3-410-32841-4.
- Schuh, G.; Kampker, A.; Odak, R. (2009): Verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung - Stellhebel zur Steigerung der Verfügbarkeit in produzierenden Unternehmen. 1. Aufl., Aachen: Apprimus Verlag. ISBN 978-3-940565-98-3.
- Schuh, G.; Wemhöner, N.; Franzkoch, B.; Kampker, A. (2006): Nachhaltige Instandhaltung: Herausforderungen für die Industrie. In: wt Werkstatttechnik Online, Jg. 96, Nr. 7/8, S. 536–539.
- Schuman, C. A.; Brent, A. C. (2005): Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. In: International Journal of Operations & Production Management, Jg. 25, Nr. 6, S. 566–579.
- Schumann, J., Gerisch, Manfred (1988): Softwareentwurf Prinzipien - Methoden - Arbeitsschritte - Rechnerunterstützung. ISBN 978-3-481-35711-5.
- Schwaiger, M.; Meyer, A. (2011): Theorien und Methoden der Betriebswirtschaft: Handbuch für Wissenschaftler und Studierende. Vahlen. ISBN 978-3-8006-4437-7.
- Schwaiger, W.S.A.; Brandstätter, M. (2022): Design und Implementierung von Reifegradmodellen für das "Reifegrad-Controlling" im ERM-Kontext - Eine Veranschaulichung anhand des ERM-MA-Artefakts. In: Controlling - Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 34. Jahrgang, Vol.1. S.35-42.
- Schwaninger, M. (1994): Managementsysteme. 1. Aufl., Frankfurt; New York: Campus Verlag. ISBN 978-3-593-35068-4.
- Schweitzer, M. (1994): Gegenstand der Industriebetriebslehre. In: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre: das Wirtschaften in Industrieunternehmen. 2. völlig überarb. und erw. Auflage, München: Vahlen. ISBN 978-3-8006-1755-5, S. 3–60.
- Schweitzer, M.; Krause, H.-U. (1997): Produktions- und Kostentheorie: Grundlagen - Anwendungen. 2., vollst. überarb. u. wesentl. erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-12167-5.
- Schweitzer, M.; Küpper, H.-U. (1997): Produktions- und Kostentheorie: Grundlagen — Anwendungen. 2. Aufl., Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-12167-5.
- Schwießelmann, J. (2014): Instandhaltung - Strategiefindung: Möglichkeiten, Auswahl und Einführung an einem Praxisbeispiel. 1. Aufl., Hamburg: disserta Verlag. ISBN 978-3-95425-554-2.
- Scopus. (2021): URL:  
<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=3e1276956ad85be8c3e91c3c9b1ceea5&origin=resultslist&src=s&sort=plf-f&sdt=a&sot=a&sessionSearchId=3e1276956ad85be8c3e91c3c9b1ceea5&count=115&analyzeResults=Analyze+results&cluster=scopubstage%2c%22final%2>

2%2ct%2bscosubjabbr%2c%22PHYS%22%2cf%2c%22ENER%22%2cf%2c%22COMP%22%2cf%2c%22MATH%22%2cf%2c%22MATE%22%2cf%2c%22SOCIOCI%22%2cf%2c%22EART%22%2cf%2c%22MEDI%22%2cf%2c%22CENG%22%2cf%2c%22CHEM%22%2cf%2c%22BIOC%22%2cf%2c%22AGRI%22%2cf%2c%22MULT%22%2cf%2c%22ECON%22%2cf%2c%22ARTS%22%2cf%2c%22NEUR%22%2cf%2c%22PHAR%22%2cf%2c%22PSYC%22%2cf%2c%22HEAL%22%2cf%2c%22NURS%22%2cf%2c%22VETE%22%2cf%2c%22ENVI%22%2cf%2bscosubtype%2c%22cp%22%2ct%2c%22ar%22%2ct%2c%22ch%22%2ct%2bscolang%2c%22English%22%2ct%2bscoexactkeywords%2c%22Criticality+%28nuclear+Fission%29%22%2ct%2c%22Criticality+Analysis%22%2ct%2c%22Risk+Assessment%22%2ct&txGid=d9a84b626a7af0e6285917776ff4dadcd

- Scupin, R. (2008): The KJ Method: A Technique for Analyzing Data Derived from Japanese Ethnology. In: Human Organization, Jg. 56, Nr. 2, S. 233–237.
- Sepeda, A. (2009): A risk based maintenance approach (for facilities complying with the US OSHA PSM regulation). In: Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Jg. Vol. 22, S. 680–684.
- Sethi, A. K.; Sethi, S. P. (1990): Flexibility in manufacturing: A survey. In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Jg. 2, Nr. 4, S. 289–328.
- Silvia, C.; Antonella, C.; Enea, M. (2018): The ELECTRE I method to support the FMECA. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 51, Nr. 11, S. 459–464 (16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018).
- Simon, H. (1989): Die Zeit als strategischer Erfolgsfaktor. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft. Jg., Nr. Vol. 59, S. 70–93.
- Singh, S.; Glar, D.; Baglee, D.; Brörling, S. E. (2014): Self-maintenance techniques: A smart approach towards self-maintenance system. Jg. 5, Nr. 1, S. 75–83.
- Smith, A. M.; Hinchcliffe, G. R. (2004): RCM: gateway to world class maintenance. Amsterdam; Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-7461-4.
- Smith, R. (2009): Equipment Criticality Analysis, URL: <https://www.slideshare.net/rickysmithcmrp/chapter-54-equipment-criticality-analysis> (Zugriff: 29.11.2021).
- Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien New York: Springer. ISBN 978-3-211-81106-1.
- Stachowiak, H. (1980): Der Modellbegriff in der Erkenntnistheorie. In: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Jg. 11, Nr. 1, S. 53–68.
- Stachowiak, H. (1992): Modell. In: Seiffert, H.; Radnitzky, G. (Hrsg.): Handlexikon der Wissenschaftstheorie. 2. Auflage, München: Dt. Taschenbuch-Verlag. ISBN 3-423-04586-5, S. 219–222.
- Steffen, R. (1973): Analyse industrieller Elementarfaktoren in produktionstheoretischer Sicht: Grundlagen f. d. Aufbau kurzfristiger Planungsmodelle. Berlin. ISBN 978-3-503-01035-6.
- Stoff, V. A. (1969): Modellierung und Philosophie. Akademie-Verl.

- Strohmeier, G. (2007): Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben: Grundlagen, Gestaltungsmodell und praktische Anwendung. 1. Aufl., Deutscher Universitätsverlag. ISBN 978-3-8350-0683-6.
- Strunz, M. (2012): Instandhaltung: Grundlagen - Strategien - Werkstätten. 2012. Aufl., Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-27389-6.
- Sturm, A. (1996): Zustandswissen für Betriebsführung und Instandhaltung mit CD ROM Betriebsführungssystem BFS++. VGB.
- Susman, G. I.; Evered, R. D. (1978): An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. In: Administrative Science Quarterly, Jg. 23, S. 582–603.
- Takeda Austria GmbH (2021): Digital Opportunities Assessment, 2021.
- Theden, P.; Colman, H. (2005): Qualitätstechniken: Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung. 4. edition, München Wien: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. ISBN 978-3-446-40044-3.
- Thode, J. (2017): Risikoanalyse-Tools: Fehlerbaumanalyse (FTA). Lösungsfabrik. URL: <https://mpl.loesungsfabrik.de/blog/iso-13485/fehlerbaumanalyse> (Zugriff: 28.10.2021).
- Tranfield, D.; Denyer, D.; Smart, P. (2003): Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. In: British Journal of Management, Jg., Nr. Vol. 14, S. 207–222.
- Troitzsch, K. G. (1990): Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften. VS Verlag für Sozialwissenschaften. ISBN 978-3-531-12150-5.
- Trommler, U.; Horbach, S.; Bullinger-Hoffmann, A. C.; Löffler, T.; Müller, E.; Hopf, H. (2014): Instandhaltung in der Industrie 4.0. In: Industrie Management, Jg. 30, Nr. 6, S. 51–54.
- Töllner, A.; Jungmann, T.; Bücken, M.; Brutscheck, T. (2010): Modelle und Modellierung: Terminologie, Funktionen und Nutzung. In: Bandow, G.; Holzmüller, H. H. (Hrsg.): „Das ist gar kein Modell!“. Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-8349-1842-0, S. 3–21.
- Töpfer, A. (2012): Erfolgreich Forschen: Ein Leitfaden für Bachelor-, Master-Studierende und Doktoranden. 3. überarb. und erw. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 978-3-642-34168-7.
- Ulrich, H. (1968): Die Unternehmung als produktives soziales System: Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre. Bern; Stuttgart: Haupt.
- Ulrich, H. (1978): Unternehmenspolitik. Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmensführung; Band 6, Bern; Stuttgart: Haupt. ISBN 978-3-25-802750-0
- Ulrich, H. (1982): Anwendungsorientierte Wissenschaft. In: Die Unternehmung, Jg. 36, Nr. 1, S. 1–10.
- Ulrich, H. (1984): Management. Bern: Haupt. ISBN 978-3-258-03446-1.



- Ulrich, H.; Krieg, W. (1972): St. Galler Management-Modell. Bern: Haupt.
- Ungericht, B. (2012): Strategiebewusstes Management: Konzepte und Instrumente für nachhaltiges Handeln. Pearson. ISBN 978-3.86894-148-7.
- Usemann, K. W. (2004): Energieeinsparende Gebäude und Anlagentechnik: Grundlagen, Auswirkungen, Probleme und Schwachstellen, Wege und Lösungen bei der Anwendung der EnEV. 1. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-40609-9.
- Vafaei, N.; Ribeiro, R. A.; Camarinha-Matos, L. M. (2016): Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study. In: Camarinha-Matos, L. M.; Falcão, A. J.; Vafaei, N.; Najdi, S. (Hrsg.): Technological Innovation for Cyber-Physical Systems. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-31164-7, S. 261–269.
- VDI 2895 (2012): VDI-Richtlinie: Organisation der Instandhaltung-Instandhalten als Unternehmensaufgabe.
- Von Petersdorff, H.; Vlok, P. J. (2014): Prioritising Maintenance improvement opportunities in physical Asset Management, in: South African Journal of industrial Engineering, Vol. 25(3), S. 154-168.
- Wagner, K. W.; Dürr, W. (2008): Wagner / Dürr | Reifegrad nach ISO/IEC 15504 (SPiCE) ermitteln. Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-40721-3.
- Wallmüller, E. (2007): SPI - Software Process Improvement mit CMMI, PSP/TSP und ISO 15504. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. ISBN 978-3-446-40492-2.
- Wang, R. Y.; Strong, D. M. (1996): Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. In: J. Manage. Inf. Syst., Jg. 12, Nr. 4, S. 5–33.
- Weber, M. (1994): FMEA-Anwendung: Masche oder Methode. In: QZ, Jg. 40, Nr. 4, S. .
- Wenger, W. (2010): Multikriterielle Tourenplanung. Gabler Verlag. ISBN 978-3-8349-2257-1.
- Werner, H. (2013): Modernes Management von Qualitätskennzahlen. In: Controlling & Management Review, Jg. 57, Nr. 6, S. 40–49.
- West, R. L.; Ebner, N. C.; Hastings, E. C. (2013): Linking Goals and Aging. In: Locke, E. A.; Latham, G. P. (Hrsg.): New Developments in Goal Setting and Task Performance. New York, London: Routledge Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-88548-5, S. 439–458.
- Westkämper, E.; Sihn, W.; Stender, S. (1998): Instandhaltungsmanagement in neuen Organisationsformen. 1999. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-63862-9.
- Wildemann, H.; Kaluza, B.; Blecker, T. (2005): Betreibermodelle: Ein Beitrag zur Steigerung der Flexibilität von Unternehmen. In: Erfolgsfaktor Flexibilität - Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG. ISBN 3-503-08367-7.

- Wincheringer, W. (1992): Eingliederung des Instandhaltungsbereiches in das Unternehmen. In: Bauer, C.-O. (Hrsg.): Handbuch Instandhaltung. 2., völlig überarb. Aufl., Köln: TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5, S. 303–312.
- Witt, C. (1995): Kosten der integrierten Instandhaltung im Unternehmen. In: Integrierte Instandhaltung / Handbuch für die betriebliche Praxis -. Landsberg: Ecomed Verlagsgesellschaft. ISBN 978-3-609-75951-7.
- Wurth, T. (2008): Übersicht über Reifegradmodelle. In: Software Zertifizierung, interner Bericht.
- Würthele, V. G. (2003): Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität. Dissertation, Universität Stuttgart.
- Yang, Z.; Guo, J.; Tian, H.; Chen, C.; Zhu, Y.; Liu, J. (2021): Weakness Ranking Method for Subsystems of Heavy-Duty Machine Tools Based on FMECA Information. In: Chinese Journal of Mechanical Engineering, Jg. 34, Nr. 1, S. 17.
- Zammori, F.; Gabrielli, R. (2012): ANP/RPN: a multi criteria evaluation of the Risk Priority Number. In: Quality and Reliability Eng. Int., Jg. 28, S. 85–104.
- Zangemeister, C. (1971): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 2. Auflage, BoD – Books on Demand. ISBN 978-3-923264-00-1.
- Zhang, Q.; Vonderembse, M. A.; Lim, J.-S. (2003): Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction. In: Journal of Operations Management, Jg. 21, Nr. 2, S. 173–191.
- Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse: Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-54483-8.
- Zinn, B.; Tenberg, R. (2015): Entwicklungen 4.0 – Ausblicke auf zukünftige Anforderungen an und Auswirkungen auf Arbeit und Ausbildung. In: Journal of Technical Education, Jg. 3, Nr. Heft 2, S. 45–61.
- Zsifkovits, H. (2012): Logistik. 1. Aufl., Konstanz: UTB GmbH. ISBN 978-3-8252-3673-1.
- Zwicky, F. (1969): Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach. Springer Berlin. ISBN 978-1-114-24306-4.

# Anhang A: Allgemeine ergänzende Informationen

## Vergleich der Instandhaltungsphilosophien in Bezug auf die Risikobeurteilung im Zuge der Instandhaltungsstrategiewahl und -anpassung

|  | Instandhaltungsphilosophien     |                          |                                 |                                 |                        |                                  |   |                     |   |  |
|--|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|---|---------------------|---|--|
|  | Ausfallorientierte IH-Strategie | Vorbeugende IH-Strategie | Zustandsbasierte IH-Strategie   | Total Productive Maintenance    | Risk-based Maintenance | Reliability centered Maintenance | Smart Maintenance                             | Lean Maintenance    | Lean Smart Maintenance                        |  |
| <b>Instandhaltungsstrategiewahl &amp; -anpassung</b>                             |                                 |                          |                                 |                                 |                        |                                  |   |                     |   |  |
| Risikobetrachtung als Input Strategiewahl  | /                               | x                        | x                               | x                               | ✓                      | ✓                                | ✓   | x                   | ✓   |  |
| Systematische Vorgehensweise   | unsystematisch                  | Erfahrungsbasiert        | Erfahrungsbasiert, datenbasiert | Erfahrungsbasiert, datenbasiert | Risikoorientiert       | Risikoorientiert                 | Risikoorientiert                              | Schadensstatistiken | Kriterienbewertung                            |  |
| Systematische Vorgehensweise Anpassung   | /                               | x                        | x                               | x                               | x                      | x                                | x   | x                   | x   |  |
| Dynamische Anpassung   | /                               | x                        | x                               | x                               | ~                      | ~                                | x   | x                   | ✓   |  |
| Bewertung der Anlagen für Anpassung  | /                               | x                        | x                               | x                               | ✓                      | ✓                                | ✓   | x                   | ✓   |  |
| Systematische Vorgehensweise für Bewertung                                       | /                               | /                        | /                               | /                               | ~                      | ~                                | ~   | x                   | ✓   |  |
| Auswahl der Methodik in Abhängigkeit der Datenreife                              | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | x                                | x   | /                   | x   |  |
| Bewertungsmethode  |                                 |                          |                                 |                                 |                        |                                  | Erfahrungsbasiert, tlw. mit Daten untermauert |                     | Erfahrungsbasiert, tlw. mit Daten untermauert |  |
| Anlagenlebenszyklusbetrachtung   | /                               | /                        | /                               | /                               | ✓                      | ✓                                | ✓   | ~                   | ✓   |  |
| Ableitung der Kriterien aus den Unternehmenszielen und Umfeldbedingungen         | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | x                                | x   | /                   | ~   |  |
| Bewertung anhand Schadensausmaß & Auftretenshäufigkeit                           | /                               | /                        | /                               | /                               | ✓                      | ✓                                | ✓   | x                   | x   |  |
| Betrachtung techn. Fortschritt in Bewertung                                      | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | x                                | x   | /                   | x   |  |
| Ganzheitliche Betrachtung (O, Kosten, Zeit, Umwelt und Sicherheit, Flexibilität) | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | ~                                | x   | /                   | ~   |  |
| Betrachtung der Marktstellung in Bewertung                                       | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | x                                | x   | /                   | x   |  |
| Betrachtung Unternehmenscharakteristika in Bewertung                             | /                               | /                        | /                               | /                               | x                      | x                                | x   | /                   | x   |  |

## Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung – Unternehmen und Markterfolgskriterien



Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung

Alle antworten zurücksetzen

| Kategorie                                     | Charakteristika                                     | Ausprägungen                        |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
|---|---|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------------|----------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Unternehmen & Markterfolgskriterien           | Branche   | Automobil                           | Kunststoff            | Metallverarbeitung      | Zellstoff/Papier                | Chemie                            | Stahl                                | Holz      | Energie         | Pharma         | Lebensmittel | Maschinenbau                |           |
|   | Unternehmensgröße                                   | <10 Mitarbeiter                     | 10-49 Mitarbeiter     | 50-100 Mitarbeiter      | 101-249 Mitarbeiter             | >249 Mitarbeiter                  |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
|   | Unternehmensbereich                                 | TSF                                 | TST-FALT              | HTA                     | TSS-AT                          | Konkurrenten                      |                                      |           |                 |                |              | PTA                         |           |
|   | Marktentstellung                                    | Monopol                             |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
|   | Markanteil  | <10%                                | 10-20%                | 21-50%                  | 51-80%                          | 81-99%                            | 100%                                 |           |                 |                |              |                             |           |
|   | Zugang zu günstigen Rohstoffen                      | leicht                              |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
|   | Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen | niedrig                             | eher niedrig          |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             | hoch      |
|   | Strategisches Ziel                                  | Kostenführerschaft                  | Qualitätsführerschaft | Technologieführerschaft | Qualitäts- & Kostenführerschaft | Technologie- & Kostenführerschaft | Technologie- & Qualitätsführerschaft |           |                 |                |              |                             |           |
|   | Strategische Ziele sind ... zu erreichen            | keine strategischen Ziele           | leicht                |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             | schwierig |
|   | Strategieanpassung                                  | statisch                            |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             | dynamisch |
| Wachstumsrate im letzten Jahr                 | stagnierend   | stark                               |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | Wachstum                    |           |
| Rentabilität                                  | <3%   | 3-8%                                |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | gering                      |           |
| Kundenkreis                                   | Massenmarkt   | Nischenmarkt                        |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | 13-15%                      |           |
| Verfügbarkeit Arbeitskräfte (am Arbeitsmarkt) | keine Konkurrenz                                    | segmentierter Markt                 |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | diversifizierter Markt      |           |
| Durchschn. Firmenzugehörigkeit                | lang (>10 Jahre)                                    | mittel (3-10 Jahre)                 |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | Multi-Sided Plattform       |           |
| Supply Chain Varietät                         | homogen   |                                     |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              | viel Konkurrenz in Umgebung |           |
| international/nationale Ausrichtung           | konstant  | variiert selten                     | heterogen             | auftragsbezogen         | variiert stark                  | konstant                          | variiert selten                      | heterogen | auftragsbezogen | variiert stark |              | heterogen                   |           |
| Umweltanforderung Lärm                        | eigenständiges Unternehmen                          | Tochtergesellschaft                 |                       |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
| Umweltanforderung Geruch                      | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen vorhanden | Unternehmensstandard  |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
| Umweltanforderung Schadstoffe                 | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen vorhanden | Unternehmensstandard  |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |
| Sicherheitsanforderungen                      | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen vorhanden | Unternehmensstandard  |                         |                                 |                                   |                                      |           |                 |                |              |                             |           |

## Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung – Technologiereife und Produktportfolio

| Kategorie                             | Charakteristika                              | Ausprägungen                                |   |   |  |  |                                    |                                     |  |  |  |  |
|---------------------------------------|--|---|---|---|--|--|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|
|                                       |  | technologische Gefolgschaft                 |   |   |  |  | Technologieführerschaft            |                                     |  |  |  |  |
|                                       |  | Kostenbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit | Wirtschaftl., Produktdifferenzierung, bewährte Technologien | Wettbewerbsdenken, rasche Reaktion, Kenntnis      | defensiv   | offensiv   |                                    |                                     |  |  |  |  |
| Technologiereife und Produktportfolio | Technologiestrategie                         | nicht zutreffend                            | keine Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten             | geringe Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten | große Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten          | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |
|                                       | Technologieorientierung                      | nicht zutreffend                            | keine Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten             | geringe Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten | große Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten          | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |
|                                       | Technologiegrad                              | nicht zutreffend                            | keine Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten             | geringe Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten | große Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten          | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |
|                                       | Anwendungsart/Technologie                    | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Kompatibilität                               | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Anwendungsbreite                             | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | (Weiter-) Entwicklungspotenzial              | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Techn.-qualitativer Beherrschungsgrad        | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Potenziale (Re-) Aktionsgeschwindigkeit      | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Technologiearten                             | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Produktnachfrage                             | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Produktvielfalt                              | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | optimaler Produktwechselzyklus in Produktion | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
|                                       | Aufwand Produktwechselzyklus                 | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                          | tlw. Einsatz von Prototypen                       | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien | tlw. Einsatz von Prototypen         | Einführungsphase neuer Technologien                      | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |
| Ausfallrisiko bei Produktwechsel      | nicht zutreffend                             | keine Anwendung neuer Technologien          | tlw. Einsatz von Prototypen                                 | Einführungsphase neuer Technologien               | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |
| Umstellkosten                         | nicht zutreffend                             | keine Anwendung neuer Technologien          | tlw. Einsatz von Prototypen                                 | Einführungsphase neuer Technologien               | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |
| Produktzusammensetzung                | nicht zutreffend                             | keine Anwendung neuer Technologien          | tlw. Einsatz von Prototypen                                 | Einführungsphase neuer Technologien               | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung | keine Anwendung neuer Technologien                       | tlw. Einsatz von Prototypen        | Einführungsphase neuer Technologien | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |  |  |  |

Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung – Produktion, Asset

| Kategorie  | Charakteristika  |                  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |
|------------|--|------------------|--|--|--|---|---|---|---|---|--|
|            | Ausprägungen   |                  | Serienfertigung                                      |  | Sortenfertigung                            |   | Massenfertigung   |   | Einzelfertigung   |   |  |
| Produktion | Fertigungsart  | nicht zutreffend | ortsungebundene Fertigung                            | Sortenfertigung                                      | Serienfertigung                            | Einzelfertigung   | ortsgebundene Fertigung   | Charzefertigung   |   |   |  |
|            | Fertigungsprinzip  | nicht zutreffend | Lagerfertigung                                       | Gruppenfertigung                                     | Auftragsfertigung                          | Fließfertigung  | Programmfertigung   | Fließbandfertigung  | Reihenfertigung   | Transstraßen  |  |
|            | Anforderungen an Produktqualität                         | nicht zutreffend | gesetzl. Anfr. umgesetzt, tw. Q.Sicherung            | Überprüfung während Prozess                          | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen | laufende Evaluierung und Verbesserung der Sicherheitsbestimmungen | Produktqualität Erfolgsfaktor des Unternehmens, laufende Verbesserung | Produktqualität Erfolgsfaktor des Unternehmens, laufende Verbesserung | laufende Evaluierung und Verbesserung der Sicherheitsbestimmungen | laufende Analyse v. Kennzahlen & Optimierung der Arbeitsproduktivität | laufende Optimierung d. Produktionsprozesses hinsichtlich Ressourcenschonung |
|            | Anforderungen an Arbeitsproduktivität/Wirtschaftlichkeit | nicht zutreffend | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                        | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                            | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                            | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                        | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                            | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen                                   |
|            | Anforderungen an Umwelt (ökologische Aspekte)            | nicht zutreffend | keine Verwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                           | Wiederverwertung  | Wiederverwertung  | Wiederverwertung  | Wiederverwertung  | Wiederverwertung  | Wiederverwertung   |
|            | Reifungsfähigkeit d. Produkte                            | nicht zutreffend | keine  | <1h/Monat  | 1-10h/Monat                                | 11-24h/Monat  | >24h/Monat  |   |   |   |  |
|            | Nacharbeitungszeit Ausschuss                             | nicht zutreffend | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                      | kein Wochenendbetrieb   | kein Wochenendbetrieb   | kein Wochenendbetrieb   | kein Wochenendbetrieb   | kein Wochenendbetrieb   | kein Wochenendbetrieb  |
|            | Produktions-Schichtmodell                                | nicht zutreffend | 1-schichtig  | 2-schichtig  | 3-schichtig                                | 4-schichtig   | 5-schichtig   |   |   |   |  |
|            | Einsatzintensität der Produktion                         | nicht zutreffend | Material-intensiv                                    | Material-intensiv                                    | Anlagen-intensiv                           | Arbeits-intensiv  | Arbeits-intensiv  | Arbeits-intensiv  | Arbeits-intensiv  | Arbeits-intensiv  | Arbeits-intensiv   |
|            | Durchschn. Qualifizierungsgrad                           | nicht zutreffend | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | durchgewachsen                             | durchgewachsen  | durchgewachsen  | durchgewachsen  | durchgewachsen  | durchgewachsen  | durchgewachsen   |
| Asset      | Ausweichmöglichkeiten / Redundanz                        | nicht zutreffend | keine  | lose   | elastisch                                  | starr ohne Taktzwang  | starr mit Taktzwang   | starr mit Taktzwang   | starr mit Taktzwang   | starr mit Taktzwang   |  |
|            | Verkettung   | nicht zutreffend | schlecht   | schlecht   | schlecht                                   | schlecht  | schlecht  | schlecht  | schlecht  | schlecht  |  |
|            | Zeitbezogener Erhaltungszustand                          | nicht zutreffend | gering   | mittel   | aktualisiert                               | aktualisiert  | aktualisiert  | aktualisiert  | aktualisiert  | aktualisiert  |  |
|            | Komplexität der Anlagen                                  | nicht zutreffend | veraltet   | <5 Jahre   | 5-10 Jahre                                 | 11-20 Jahre   | >20 Jahre   |   |   |   |  |
|            | Stand der Technik der Anlagen                            | nicht zutreffend | manuell  | mechanisch   | mechanisch                                 | mechanisch  | mechanisch  | mechanisch  | mechanisch  | mechanisch  |  |
|            | Alter der Anlagen (durchschnittlich)                     | nicht zutreffend | gleichbleibend                                       | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                   | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  |  |
|            | Anlagenpark  | nicht zutreffend | gleiche Hersteller                                   | verschiedene Hersteller                              | gleiche Hersteller                         | verschiedene Hersteller   | verschiedene Hersteller   | verschiedene Hersteller   | verschiedene Hersteller   | verschiedene Hersteller   |  |
|            | Automatisierungsgrad                                     | nicht zutreffend | gleichbleibend                                       | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                   | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  |  |
|            | Durchschn. Auslastungsgrad                               | nicht zutreffend | gleichbleibend                                       | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                   | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  | annahernd gleichbleibend  |  |

## Morphologie zur Kritikalitätsbeurteilung– Instandhaltung/Anlagentechnik, Digitalisierung/Daten

| Kategorie                       | Charakteristika                          | Ausprägungen                                  |   |   |   |   |                                |
|---------------------------------|--|---|---|---|---|---|--------------------------------|
|                                 |  | nicht zutreffend                              | nicht erfüllt                                 | verspätet                                     | zeitgerecht                             | risikoorientiert                        | dynamisch                      |
| Anlagentechnik                  | Erfüllungsgrad                           | nicht zutreffend                              | nicht erfüllt                                 | verspätet                                     | zeitgerecht                             | risikoorientiert                        | dynamisch                      |
|                                 | Budgetierung der AT                      | nicht zutreffend                              | statisch                                      | vergangenheitsbezogen                         | risikoorientiert                        | risikoorientiert                        | dynamisch                      |
|                                 | Outsourcing-Anteil(DL)                   | nicht zutreffend                              | nur externe DL                                | mehr externe als interne DL                   | mehr interne als externe DL             | nur bei Großprojekten                   | keine Fremddienstleister       |
|                                 | Schichtmodell                            | nicht zutreffend                              | kein Wochenendbetrieb                         | kein Wochenendbetrieb                         | Wochenendbetrieb                        | Wochenendbetrieb                        | keine Fremddienstleister       |
|                                 | Instandhaltungs(IH)-intensivität         | nicht zutreffend                              | 1-schichtig                                   | 2-schichtig                                   | 3-schichtig                             | 4-schichtig                             | 5-schichtig                    |
|                                 | Ausfallkosten                            | nicht zutreffend                              | <1%   | 1-3%  | 3-10%                                   | 4-10%                                   | >10%                           |
|                                 | Ausfallkostenart                         | nicht zutreffend                              | nicht bekannt                                 | bekannt                                       | bekannt                                 | dokumentiert                            | dokumentiert                   |
|                                 | Dezentralisierungsgrad                   | nicht zutreffend                              | unternehmensspezifisch                        | manuelle Erfassung                            | manuelle Erfassung                      | automatische Erfassung                  | automatische Erfassung         |
|                                 | Durchlaufzeit der IH-Fähigkeiten         | nicht zutreffend                              | dezentral                                     | eher dezentral                                | eher dezentral                          | produkt-spezifisch                      | produkt- und anlagenspezifisch |
|                                 | Mitarbeiteranteil der AT (AT/Produktion) | nicht zutreffend                              | hoch  | niedrig                                       | mittel                                  | eher zentral                            | zentral                        |
|                                 | Sicherheit, Sauberkeit, Ordnung          | nicht zutreffend                              | <10%  | 20-30%  | 30-50%                                  | 30-50%                                  | 30-50%                         |
|                                 | IH-Strategie (vorwiegend)                | nicht zutreffend                              | keine   | keine Beachtung                               | keine Beachtung                         | teilw. Standards                        | Standards                      |
|                                 | Strategieanpassung                       | nicht zutreffend                              | reaktiv                                       | präventiv                                     | präventiv                               | prädiaktiv                              | prädiaktiv                     |
|                                 | Ersatzteilverfügbarkeit                  | nicht zutreffend                              | statisch                                      | vorausschauend                                | vorausschauend                          | dynamisch                               | dynamisch                      |
| Planungsgrad d. Anlagentechnik  | nicht zutreffend                         | keine vorhanden                               | nur für Schlüsselanlagen                      | nur für Schlüsselanlagen                      | laut Herstellerinformation              | für alle Anlagen                        |                                |
| Qualifizierung des Personals    | nicht zutreffend                         | niedrig                                       | mittel  | mittel  | hoch                                    | hoch                                    |                                |
| Grad d. Funktionale Integration | nicht zutreffend                         | Fachwissen für Bearbeitung nicht erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung nicht erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung nicht erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung erforderlich |                                |
| Digitalisierungsgrad            | nicht zutreffend                         | keine F-Tätigkeiten                           | vereinzelte Tätigkeiten                       | vereinzelte Tätigkeiten                       | bei allen Anlagen                       | bei allen Anlagen                       |                                |
| Datenqualität                   | nicht zutreffend                         | sehr schlecht                                 | schlecht                                      | mittel  | gut                                     | sehr gut                                |                                |

Kriterienkatalog - Kosten

| Zugehörigkeit | Kriterium                       | Beschreibung   | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit) | Output (Effektivität) | Qualitativ | Quantitativ |
|---------------|---------------------------------|--|--|--|-----------------------|------------|-------------|
| Kosten        | Instandhaltungskosten           | Instandhaltungskosten sind Kosten für anlagenbezogene Verschleißbeobachtung, Verschleißbeseitigung und Verschleißbeseitigung                   | $\frac{\text{Summe aller Instandhaltungs-, Wartungs-, Inspektions-, Instandsetzungs- und Verbesserungsmaßnahmen}}{\text{Buger (SOLL)}} \cdot 100$      | X                                      |                       |            | X           |
|               | Ausfallkosten                   | Die Ausfallkosten sind die Kosten, die durch den Stillstand einer Anlage pro Stunde anfallen.  | $\frac{\text{Summe aller Stillstände einer Anlage}}{\text{Buger (SOLL)}} \cdot 100$  | X                                      |                       |            | X           |
|               | Wiederbeschaffungswert          | Wert, zu dem ein Vermögensgegenstand am Bilanzstichtag wieder beschafft werden könnte  |  |  | X                     |            | X           |
|               | IH-Kosteneffizienz              | Unter der IH-Kosteneffizienz versteht man die monatlichen Kosten für Personal-, Material- und Fremdleistungen in Bezug auf alle IH-Aktivitäten | $\frac{\text{Kosten verbrauchter Ersatzteile} \setminus \text{Kosten Fremdleistungen} \setminus \text{Kosten Personal}}{\text{Instandhaltungskosten}}$ | X                                      |                       |            | X           |
|               | Budgetabweichungsgrad           | Der Budgetabweichungsgrad gibt die prozentuale Abweichung zum geplanten Instandhaltungsbudget an   | $\frac{\text{Budget (IST)} - \text{Budget (SOLL)}}{\text{Buger (SOLL)}} \cdot 100$   | X                                      |                       |            | X           |
|               | IH-Intensität                   | Die IH-Intensität stellt die Beziehung zwischen Instandhaltungskosten und dem Wiederbeschaffungswert einer Anlage dar                          | $\frac{\text{Jährliche Instandhaltungskosten}}{\text{Wiederbeschaffungswert der Anlage}} \cdot 100$  | X                                      |                       |            | X           |
|               | Materialkostenintensität        | Die Materialkostenintensität gibt den prozentuellen Wert der Materialkosten zum Wiederbeschaffungswert der Anlage wieder                       | $\frac{\text{Materialkosten}}{\text{Wiederbeschaffungswert der Anlage}} \cdot 100$   |  |                       |            |             |
|               | Materialkostenanteil            | Beim Materialkostenanteil werden die Materialkosten den gesamten IH-Kosten gegenübergestellt   | $\frac{\text{Materialkosten}}{\text{Gesamte IH - Kosten}} \cdot 100$   | X                                      |                       |            | X           |
|               | Instandhaltungskostenquote      | Die Instandhaltungskostenquote ist definiert durch die gesamten IH-Kosten dividiert durch die Erzeugnismenge                                   | $\frac{\text{Gesamte IH - Kosten}}{\text{Erzeugnismenge}}$   |  | X                     |            | X           |
|               | Instandhaltungskostenintensität | Sie gibt da prozentuelle Verhältnis der Instandhaltungskosten zu den Produktionskosten an  | $\frac{\text{Gesamte IH - Kosten}}{\text{Gesamte Produktionskosten}} \cdot 100$  |  |                       |            | X           |
|               | Vorbeugungsgrad                 | Der Vorbeugungsgrad gibt Auskunft, wieviel der Gesamtkosten auf vorbeugende Instandhaltung fällt   | $\frac{\text{Kosten für vorbeugende IH - Maßnahmen}}{\text{Gesamte IH - Kosten}} \cdot 100$  | X                                      |                       |            | X           |



Kriterienkatalog - Zeit

| Zugehörigkeit | Kriterium                             | Beschreibung   | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit) | Output (Effektivität) | Qualitativ | Quantitativ |
|---------------|---------------------------------------|--|--|--|-----------------------|------------|-------------|
| Zeit          | Anlagenverfügbarkeit                  | Die Anlagenverfügbarkeit gibt Aufschluss darüber, wie lang die Anlage im Vergleich zur geplanten Laufzeit tatsächlich gelaufen ist.  | $\frac{\text{Mittl. durchschn. Nutzungszeit}}{\text{Mittl. durchschn. Nutzungszeit} + \text{mittl. durchschn. Ausfallzeit}} * 100$ | X                                      | X                     |            | X           |
|               | Durchlaufzeit IH                      | Durchlaufzeit IH gibt die Gesamtzeit die zur Durchführung der IH-Fähigkeit gebraucht wird wieder   | $\frac{\text{Summe Durchlaufzeiten aller Aufträge}}{\text{Summe Aufträge gesamt}} * 100$   | X                                      |                       |            | X           |
|               | MTBF                                  | Unter MTBF versteht man die Betriebszeit zwischen zwei aufeinander folgenden Ausfällen   | $\frac{\text{Summe der Betriebszeit}}{\text{Ausfallanzahl}}$   |  | X                     |            | X           |
|               | MTTR                                  | Durchschnittlicher Zeitaufwand in Stunden bis der Betriebszustand wiederhergestellt ist  | $\frac{\text{Summe der Ausfallszeiten}}{\text{Ausfallanzahl}}$   | X                                      |                       |            | X           |
|               | Ausfallzeit                           | Die Ausfallzeit der Anlage beschreibt die Anzahl an Stunden einer Periode, in denen die Anlage still gestanden ist in Bezug auf die Gesamtbetriebszeit der Anlage  | $\text{Ausfallzeit pro Anlage} * 100$  |  | X                     |            | X           |
|               | Leistungsgrad / Prod.-Geschwindigkeit | Der Leistungsgrad beschreibt den prozentualen Anteil an Stunden, den die Maschine theoretisch hätte leisten können, wenn die Maschine während der tatsächlichen Laufzeit mit maximaler Geschwindigkeit gelaufen wäre | $\frac{\text{Ist} - \text{Arbeitszeit}}{\text{Soll} - \text{Arbeitszeit}} * 100$   |  | X                     |            | X           |
|               | Störfähigkeit                         | Die Störfähigkeit bildet die Anzahl von Störungen einer Anlage in einer bestimmten Periode ab  | $\text{Störung} * \text{Anzahl in einer bestimmten Periode}$   |  | X                     |            | X           |
|               | Wartungsaufwand                       | Der Wartungsaufwand gibt Auskunft über den durchschnittlichen stündlichen Aufwand der Instandhalter bei einer Wartung  | $\frac{\text{Gesamtkosten der Wartung}}{\text{Zeitaufwand für Wartung}}$   | X                                      |                       |            | X           |
|               | Planungsgrad IH                       | Der Planungsgrad ist das prozentuale Verhältnis aus vorübergehender Instandhaltungsmaßnahmen zu der Gesamtzahl aller Instandhaltungsmaßnahmen  | $\frac{\text{Vorbeugende IH} - \text{Maßnahmen}}{\text{Gesamte Instandhaltungsmaßnahmen}} * 100$                                   | X                                      |                       |            | X           |
|               | OEE                                   | Die Gesamtanlageneffektivität gibt Aufschluss über ungeplante Verluste einer Anlage durch Aufsummieren der Verfügbarkeit, des Leistungsgrades und der Qualitätsrate  | $\text{Verfügbarkeit} * \text{Leistungsgrad} * \text{Qualitätsrate}$   |  | X                     |            | X           |
|               | Nachbearbeitungszeit                  | Zeit für die Nacharbeit an der Gesamtproduktionszeit   | $\frac{\text{Anzahl Stunden Nacharbeit}}{\text{Gesamte Produktionszeit}} * 100$  |  | X                     |            | X           |
|               | Dauer Chargenwechsel                  | Die Dauer des Chargenwechsels gibt an, wie lange Mitarbeitende brauchen, um eine Charge zu wechseln  | $\text{Anzahl der Stunden für den Chargenwechsel}$   |  | X                     |            | X           |
|               | Planungserfüllung Produktion          | Die Planungserfüllung gibt die prozentuale Abweichung der tatsächlichen Planzeit von der Soll-Planzeit wieder  | $\frac{\text{Planzeit (IST)} - \text{Planzeit (SOLL)}}{\text{Planzeit (SOLL)}} * 100$  |  | X                     |            | X           |

Kriterienkatalog - Qualität

| Zugehörigkeit | Kriterium                | Beschreibung  | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit) | Output (Effektivität) | Qualitativ | Quantitativ |
|---------------|--------------------------|---|--|--|-----------------------|------------|-------------|
| Qualität      | Liefertermintreue        | Die Liefertermintreue bringt zum Ausdruck ob alle Aufträge planmäßig gefertigt wurde oder es zu Lieferengpässen kommt.                                | $\frac{\text{Summe Aufträge ohne Verzug}}{\text{Summe aller Aufträge}} * 100$                                |  | X                     |            | X           |
|               | Reklamationsquote        | Die Reklamationsquote spiegelt den prozentuellen Anteil an Reklamationen zu den gesamt hergestellten Produkten je Zeitraum wider                      | $\frac{\text{Anzahl der Reklamationen innerhalb Jahresfrist}}{\text{Anzahl ausgelieferte Produkte}}$         |  | X                     |            | X           |
|               | Ausschussrate            | Die Ausschussrate stellt die Anzahl der Ausschussteile, der gesamten Produktionsmenge einer Periode gegenüber   | $\frac{\text{Anzahl der Ausschussteile einer Periode}}{\text{Gesamte Produktionsmenge einer Periode}} * 100$ |  | X                     |            | X           |
|               | Nachbearbeitungsquote    | Anteil jener Produkte mit erforderlicher Nacharbeit zu den gesamt produzierten Produkten  | $\frac{\text{Anzahl der zu nachbearbeitenden Produkte}}{\text{Gesamte Produktionsmenge}} * 100$              |  | X                     |            | X           |
|               | Nachbearbeitungsaufwand  | Gibt die Anzahl an Stunden an, die durch Qualitätsmängel für die Nachbearbeitung der Produkte einer Periode aufgewendet werden                        | $\text{Summe aller für die Nachbearbeitung aufgewendeten Stunden}$   |  |                       |            | X           |
|               | Output                   | Der Output gibt Auskunft über die tatsächliche Anzahl der produzierten Teile einer Periode  | $\text{Summe aller produzierten Teile einer Periode}$  |  | X                     |            | X           |
|               | Qualitätsabweichungen    | Die Qualitätsabweichungen geben Auskunft in wie fern sich die Produktqualität verändert hat   | $\frac{\text{Aktuelle Produktqualität}}{\text{Vergangene Produktqualität}} * 100$                            |  | X                     |            | X           |
|               | Produktqualität          | Die Produktqualität gibt an wie hoch der Anteil an mangelfreier Produkte ist  | $\frac{\text{Erstellte Anzahl} - \text{Defekte Anzahl}}{\text{Erstellte Anzahl}} * 100$                      |  | X                     |            | X           |
|               | Überfällige Wartungen    | Definition von Überfällig = Alle Wartungen bei denen das "Due Date" + die zulässige Toleranz überschritten wurde (Sobald Status Confirmed) [%]        | $\frac{\text{Summe aller Wartungen, die "Due Date" und Toleranz überschreiten}}{\text{Gesamtnutzzeit}}$      | X                                      | X                     |            | X           |
|               | Qualitätsrate            | Die Qualitätsrate ist ein Maß für das Verhältnis zwischen der Anzahl hergestellter Einheiten und der Anzahl einwandfrei hergestellter Einheiten       | $\frac{\text{Gesamtnutzzeit} \cdot \text{Ausschussrate}}{\text{Gesamtnutzzeit}}$                             |  | X                     |            | X           |
|               | Instandhaltungsquote     | Die Instandhaltungsquote gibt die aufgewendeten Instandhaltungsstunden zu der erzeugten Menge wieder  | $\frac{\text{Aufgewendete Instandhaltungsstunden}}{\text{Erzeugte Menge}}$                                   |  | X                     |            | X           |
|               | Fehlerhäufigkeit         | Die Fehlerhäufigkeit gibt an, wie oft ein bestimmter Fehler während einer Periode auftritt  | $\text{Anzahl eines bestimmten Fehlers}$   |  | X                     |            | X           |
|               | Mitarbeiterzufriedenheit | Die Mitarbeiterzufriedenheit gibt Auskunft darüber, wie sehr die Mitarbeiter mit dem Arbeitsumfeld, Bedingungen und der Arbeit an sich zufrieden sind |  |  | X                     |            | X           |

**Kriterienkatalog - Flexibilität**

| Zugehörigkeit       | Kriterium               | Beschreibung   | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit)  | Output (Effektivität) | Qualitativ | Quantitativ |
|---------------------|-------------------------|--|--|---|-----------------------|------------|-------------|
| <b>Flexibilität</b> | Ersatzteilverfügbarkeit | Die Ersatzteilverfügbarkeit gibt Aufschluss ob und in welchem Ausmaß Ersatzteile auf Lager liegen  | $\frac{\text{Anzahl der Ersatzteile für eine Anlage}}{\text{Anwesenheitszeit}} * 100$                      | X   |                       |            | X           |
|                     | Überstundenanteil       | Die Überstunden pro Abteilung geben die Überstunden je Bereich bezogen auf eine Periode wieder   | $\frac{\text{Überstunden}}{\text{Anwesenheitszeit}} * 100$   |   | X                     |            | X           |
|                     | Mitarbeiterflexibilität | Anteil der MA, die andere in ihren Tätigkeiten ersetzen können   | $\frac{\text{Anzahl der Mitarbeiter, die andere ersetzen können}}{\text{Gesamte Mitarbeiteranzahl}} * 100$ | X   |                       | X          | X           |
|                     | Flexibilitätsgrad       | Er gibt Auskunft darüber wie anpassungsfähig die Maschine an unterschiedliche Fertigungsaufgaben ist   |  |   |                       | X          |             |
|                     | Personalauslastungsgrad | Verfügbare Zeit der Mitarbeiter für wertschöpfende Tätigkeiten   |  | $\frac{\text{Istzeit der erfassten Aufträge}}{\text{Anwesenheitszeit}} * 100$   | X                     |            | X           |
|                     | Fremdleistungsanteil    | Der Fremdleistungsanteil gibt Auskunft über den prozentualen Anteil der Fremdleistungen, die für Instandhaltungstätigkeiten in Anspruch genommen worden sind       |  | $\frac{\text{Anzahl der Fremdleistungen}}{\text{Gesamte Instandhaltungstätigkeiten}} * 100$   | X                     |            | X           |
|                     | Materialreichweite      | Zeitraum, für den der aktuelle Lagerbestand für die Produktion ausreichen würde, wenn keine Teile mehr nachgeliefert werden.                                       |  | $\frac{\text{Anzahl der Produktionsstunden ohne neue Materiallieferung}}{\text{Anzahl der Produktionsstunden ohne neue Materiallieferung}}$ | X                     |            | X           |
|                     | Customer Service Level  | Der Customer Service Level gibt an, wie oft Kunden Dienstleistungen unterschiedlicher Qualität erhalten haben  |  |   |                       | X          | X           |
|                     | Qualifikation IH        | Die Qualifizierung der Instandhalter bezieht sich auf das Fachwissen der Mitarbeiter am Standort sowie auf den Grad der universellen                               |  |   | X                     |            | X           |
|                     | Schulungsrate           | Anzahl der Schulungen/Schulungstage je Mitarbeiter in einer vorgegebenen Periode   |  | $\frac{\text{Anzahl der Stunden für Schulungen je Jahr}}{\text{Anzahl der Mitarbeiter}}$  | X                     |            | X           |
|                     | Vorbeugungsgrad (IH)    | Der Vorbeugungsgrad spiegelt den prozentuellen Anteil an vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen zu den gesamten IH-Maßnahmen wieder                                 |  | $\frac{\text{Vorbeugende IH - Maßnahmen}}{\text{Gesamte Instandhaltungsmaßnahmen}} * 100$   |                       |            | X           |
|                     | Ausbringungsrelevanz    | Ist die Anlage stark veraltet mit vor- und nachgelagerten Anlagen? Sind Pufferlager vorhanden? Wie viele Parallelanlagen führen den gleichen Arbeitsschritt durch? |  |   |                       |            | X           |
|                     | Spontanitätsgrad        | Gibt Auskunft über die prozentuelle Anzahl der unteplante IH-Stunden   |  | $\frac{\text{Ungeplante IH - Stunden}}{\text{Gesamte IH - Stunden}} * 100$  |                       |            | X           |

**Kriterienkatalog – Umwelt und Sicherheit**

| Zugehörigkeit         | Kriterium                              | Beschreibung   | Formel   | Input (Effizienz & Wirtschaftlichkeit)                                     | Output (Effektivität) | Qualitativ | Quantitativ |   |
|-----------------------|--|--|--|--|-----------------------|------------|-------------|---|
| Umwelt und Sicherheit | Umweltgrenzwerte                       | Umweltgrenzwerte geben vor, wie viele Emissionen (Luft, Wärme, Wasser, ...) maximal während einer Periode ausgestoßen werden | $\frac{\text{Ausgestoßene Emissionen während einer Periode}}{\text{Max. erlaubte Emissionen}} * 100$ |  |                       |            | X           |   |
|                       | Lärmgrenzwerte                         | Sie geben Aufschluss, ob der erlaubte Lärmpegel (dB) eingehalten wird  | $\frac{\text{Ausgestoßene Dezibel}}{\text{Max. erlaubte Dezibel}} * 100$                             |  |                       |            | X           |   |
|                       | CO <sub>2</sub> -Emissionsrate         | Prozentualer Anteil der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Vergleich zu den gesamten Emissionen                                  | $\frac{\text{CO}_2 \text{ Emissionen}}{\text{Gesamtemissionen}} * 100$                               |  | X                     |            | X           |   |
|                       | Umweltschäden                          | Anzahl an möglichen Unfällen bzw. Unfällen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben (PSI/SIF)                                  |  |  | X                     |            | X           |   |
|                       | Anlagensauberkeit                      | Gibt Aufschluss darüber wie weit die Sauberkeit der Anlage für eine reibungslose Produktion verantwortlich ist               |  |  |                       | X          |             |   |
|                       | Reinigungsaufwand                      | Wie hoch, gemessen in Minuten, ist der Reinigungsaufwand der Anlage, um einen reibungslosen Prozessablauf zu garantieren     |  |  |                       | X          | X           |   |
|                       | Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich | Diese Kennzahl spiegelt den Ressourcenverbrauch (Wasser, Energie, ...) eines Produktionsbereichs                             |  | $\text{Summe aller verbrauchten Ressourcen eines Produktionsbereichs}$     |                       | X          | X           |   |
|                       | Abfallaufkommen/Produktionsbereich     | Das Abfallaufkommen gibt einen Überblick über die Abfallmenge je Produktionsbereich  |  | $\text{Summe der Abfallmengen eines Produktionsbereichs}$                  |                       | X          | X           |   |
|                       | Gefährdungsgrad für Bediener           | Der Gefährdungsgrad sagt aus, wie sehr die IH-Tätigkeit Auswirkungen auf das Leben der Instandhalter haben kann              |  |  |                       |            | X           |   |
|                       | Sicherheit                             | Anzahl an möglichen Arbeitsunfällen bzw. Arbeitsunfällen je Periode  |  | $\frac{\text{Summe Verletzungen bzw. Unfälle}}{\text{Jahr}}$               |                       | X          |             | X |
|                       | Lost Time Injury Rate                  | LTIIR spiegelt die Unfälle wider, die mindestens einen Ausfalltag des Mitarbeiters zur Folge haben                           |  | $\frac{\text{Anzahl der LTIIR}}{\text{Gesamte Energiemenge einer Charge}}$ |                       | X          |             | X |
|                       | Energieverbrauch/Produkt               | Beim Energieverbrauch pro Produkt wird der gesamte Energieverbrauch einer Charge durch die Chargenmenge dividiert            |  | $\frac{\text{Gesamte Energiemenge einer Charge}}{\text{Chargenmenge}}$     |                       | X          |             | X |

**Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung –  
Teil 1**

| Quelle   |  |      | Bewertung                             |                                   |                           |           |            |                      | Bewertungskriterien |   |
|--|--|------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|----------------------|---------------------|---|
| Autor  | Titel  | Jahr | Methode                               | Ziel                              | IH-Strategie<br>anpassung | Sonstiges | Qualitativ | Semi-<br>quantitativ | Quantitativ         |   |
|  |  |      |                                       | Kritische Anlagen /<br>Strukturen |                           |           |            |                      |                     |   |
| bis 2000   |  |      |                                       |                                   |                           |           |            |                      |                     |   |
| WEI, B.C.  | A unified approach to failure mode, effects and criticality analysis (FMECA)   | 1991 | FMECA                                 |                                   |                           |           | X          |                      |                     | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Pujadas, W.; Chen, F.F.  | A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility   | 1996 | FMECA<br>LTA (Logic Tree<br>Analysis) |                                   | X                         |           | X          |                      |                     | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Umweltaspekte<br>Sicherheit  |
| 2000-2009  |  |      |                                       |                                   |                           |           |            |                      |                     |   |
| Bevilacqua, M.; Braglia, M.                                    | The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection   | 2000 | AHP & Sensitivitäts-<br>analyse       |                                   | X                         |           |            |                      |                     | Sicherheit<br>Wichtigkeit der Anlage<br>Instandhaltungskosten<br>Fehlerhäufigkeit<br>Stillstandszeit<br>Betriebsbedingungen<br>Anlagenzugänglichkeit                  |
| Gjerstad, V.; Lauvas, T.; Grahl-Madsen, M.                     | FMECA of an offshore man-riding winch  | 2003 | FMECA & Markov<br>Analyse             |                                   |                           |           |            |                      | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Yun, C.; Chung, T.S.; Yu, C.W.; Chung, C.Y.; Ming, Z.; Xin, S. | Application of reliability-centered stochastic approach and FMECA to conditional maintenance of electric power plants in China | 2004 | FMECA, RCM                            |                                   |                           |           |            | X                    |                     | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Bertolini, A.; Bevilacqua, A.                                  | A Multi Attribute Utility Theory Approach to FMECA implementation in the food industry   | 2006 | Prozessanalyse,<br>FMEA               |                                   |                           |           |            |                      |                     | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Fehlerrückmeldung auf<br>Verfügbarkeit<br>Produktqualität<br>Zuverlässigkeit<br>Sicherheit |
| Ukhita A.W.N.; Pharmtrisanti A.                                | Preparation of power transformer's CBM implementation in PLN P3B Jawa Bali   | 2008 | FTA<br>ETA<br>FMECA                   |                                   | X                         |           |            |                      | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Sonawane B.U.; Ahuja B.B.                                      | Modelling for availability of a reliability based system using monte carlo simulation and markov chain analysis                | 2009 | FMECA<br>Montecarlo<br>Simulation     |                                   |                           |           |            |                      | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>MTR<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |

## Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung – Teil 2

| Autor  | Quelle<br>Titel  | Jahr | Methode  | Bewertung |                                   |      |                           | Bewertungskriterien |   |
|--|--|------|--|-----------|-----------------------------------|------|---------------------------|---------------------|---|
|  |  |      |  | Fehler    | Kritische Anlagen /<br>Strukturen | Ziel | Qualitativ                |                     |   |
|  |  |      |  |           |                                   |      | IH-Strategie<br>anpassung |                     | Sonstiges   |
| 2010-2015  |  |      |  |           |                                   |      |                           |                     |   |
| Lazakis I., Turan O.; Aksu S.                              | Improving ship maintenance: A criticality and reliability approach   | 2010 | FMECA<br>FTA<br>Markov-Analyse   |           | X                                 |      |                           | X                   | Zuverlässigkeit<br>Kritikalität   |
| Lazakis, I.; Turan, O.; Aksu, S.                           | Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy | 2010 | FMECA<br>FTA<br>Kritikalitäts-<br>assessment<br>Markov Analyse         |           | X                                 | X    |                           | X                   | Zuverlässigkeit<br>Verfügbarkeit  |
| Savino, M.M.; Brun, A.; Riccio, C.                         | Integrated system for maintenance and safety management through FMECA principles and fuzzy inference engine      | 2011 | FMECA  |           |                                   |      | X                         |                     | Auftretenshäufigkeit<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Schadensausmaß<br>Sicherheit |
| Bevilacqua M.; Ciariapica F.E.; Giachetta G.; Marchetti B. | Development of a criticality index for preventive maintenance programme  | 2011 | Einfache Bewertung nach Oii-sector Standards (ASA, API, UNI, ISO, ...) |           | X                                 |      |                           | X                   | Fehlerauswirkung<br>Schadensausmaß  |
| Piratta, K.R.; Ariaratnam, S.T.                            | Criticality analysis of water distribution pipelines   | 2011 | RCI  |           |                                   |      |                           | X                   | Ausfallkosten<br>Energiezufuhr<br>Aspekte der Zuverlässigkeit                         |
| Das, S.; Chew, M.Y.L.                                      | Generic method of grading building defects using FMECA to improve maintainability decisions                      | 2011 | FMECA  | X         |                                   |      |                           | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit               |
| Zammoni, F.; Gabbriellini, R.                              | ANP/RPN: a multi criteria evaluation of the Risk Priority Number   | 2012 | ANP & FMECA  |           |                                   |      |                           |                     | Schadensausmaß<br>(Produktionskosten, Instandhaltungskosten, Schadenskosten)          |
| Gan, L.; Li, Y.; Xiao, N.-C.; Liu, Y.; Huang, H.-Z.        | Apply degree of match & fuzzy rule based mode for FMECA in flight control system                                 | 2012 | Fuzzy FMECA  | X         |                                   |      |                           | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Schadensausmaß               |
| Mikkonen, H.; Lahti, S.                                    | Practical considerations on selecting assets for condition monitoring  | 2012 | Kritikalitäts-<br>assessment   |           | X                                 |      |                           | X                   | Fehlerrhäufigkeit mit<br>Unterteilung in Sicherheit,<br>Umwelt, Produktion,           |
| Silvestri, A.; de Felice, F.; Petrillo, A.                 | Multi-criteria risk analysis to improve safety in manufacturing systems  | 2012 | SIRA   | X         |                                   |      |                           | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit               |

## Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung – Teil 3

| Quelle   |   | Jahr | Methode                  | Ziel                              |                           |           | Bewertung  |                      |             | Bewertungskriterien  |
|--|---|------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|----------------------|-------------|--|
|  |   |      |                          | Kritische Anlagen /<br>Strukturen | IH-Strategie<br>anpassung | Sonstiges | Qualitativ | Semi-<br>quantitativ | Quantitativ |  |
| Author   | Title   |      | Fehler                   | 2010-2015                         | 2016 - heute              |           |            |                      |             |  |
| You-Peng, Z.; Zheng-Jie, X.; Hong-Sheng, S.                        | Risk assessment on railway signal system based on Fuzzy-FMECA method  | 2013 | FMECA<br>FAHP            |                                   |                           | X         |            |                      | X           | Auftrenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |
| Bevilaqua, M.; Ciarplica, F.E.; Mazzuto, G.                        | A Fuzzy Cognitive Maps Tool for Developing a RBI&M Model  | 2014 | Fuzzy Cognitive Map      | X                                 |                           |           |            |                      | X           | Temperatur<br>Druck<br>Fehlergrund<br>Anlagentyp<br>Vibrationen<br>Ausschuss<br>(Unterscheidung in statische und dynamische Kritikalität)  |
| Quintana, C.; Millwater, H.R.; Perimetsa, R.C.                     | Integration of system reliability analysis and FMECA to efficiently identify structural hot spots   | 2014 | FMECA                    |                                   |                           | X         |            |                      | X           | Auftrenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |
| Hammad, D.B.; Shafiq, N.; Nuruddin, M.F.; Sodangi, M.; Ahmed, U.A. | Criticality Analysis of Defects in Civil Engineering Structures: Case of Onshore Process Plant  | 2014 | AHP                      | X                                 |                           |           | X          |                      |             | Auswirkung auf Mensch<br>Anlage<br>Umwelt<br>Image   |
| Durán, A. O.   | Spare parts criticality analysis using a fuzzy ahp approach [Analiza kritičnosti rezervnih dijelova primjenom pristupa neizravnog analitičkog hijerarhijskog procesa] | 2015 | AHP                      |                                   |                           |           |            |                      |             | Zulieferkriterien<br>Ökonomische Faktoren<br>Fehlerrate<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Lebenszyklusphase<br>Reparierbarkeit<br>Häufigkeit der Verwendung<br>Verfügbarkeit technischer Informationen |
| Said, A.B.; Shahtad, M. K.; Zamai, E.; Hubac, S.; Tollenaere, M.   | Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using Bayesian approach   | 2016 | FMECA & Bayesian Network |                                   | X                         |           |            |                      | X           | Auftrenshäufigkeit<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Schadensausmaß  |

## Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbewertung – Teil 4

| Quelle   |   |      | Bewertung   |        |                                |      |                        | Bewertungskriterien |           |            |                  |   |
|--|---|------|---|--------|--------------------------------|------|------------------------|---------------------|-----------|------------|------------------|---|
| Autor  | Titel   | Jahr | Methode   | Fehler | Kritische Anlagen / Strukturen | Ziel | IH-Strategie anpassung |                     | Sonstiges | Qualitativ | Semi-quantitativ | Quantitativ   |
| Garner, S.; Ibrahim, Z.  | Gas Turbine Common Issues, Failure Investigations, Root Cause Analyses, and Preventative Actions                    | 2016 | QRA, HAZOP, PHA, What-if-analyses, FMEA, Root-Cause Analyses, Failure Analyses, FTA (unterteiltung in proaktiv und reaktiv) | X      |                                |      |                        |                     | X         |            |                  | Anwendung mehrerer Methoden verschiedene Kriterien  |
| Marquez, A.C.; de Leon, P.M.; Rosique, A.S.; Fernandez, J.F.G.             | Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets                    | 2016 | Kritikalitätsanalyse basierend auf FMEA   |        | X                              |      |                        |                     | X         |            |                  | Sicherheitskriterium korrektive Instandhaltungskosten Komfort   |
| Wang, X.Z.; Rui, Z.Y.; Ren, L.N.   | A New Method of Failure Analysis of the Feed System of CNC Milling Machine Based on Triangular Fuzzy Number         | 2016 | Triangular fuzzy number   | X      |                                |      |                        |                     |           | X          |                  | Auftretenshäufigkeit Instandhaltungskosten Reparaturzeit Schadensauswirkung   |
| Javier, S.P.; Márquez, A.C.; Rosique, A.S.                                 | Criticality Analysis for optimising OPEX cost lifecycle   | 2016 |   |        |                                | X    |                        |                     |           | X          |                  | Auftretenshäufigkeit Schadensausmaß Personalsicherheit Umweltauswirkungen Verfügbarkeit Servicequalität Instandhaltungskosten |
| Capitella, S.; Certa, A.; Galant, G.; Izquierdo, J.; La Fata, C.M.         | The FTOPSIS method to support FMECA analyses  | 2016 | FMECA FTOPSIS   | X      |                                |      |                        |                     |           | X          |                  | Auftretenshäufigkeit Schadensausmaß Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Liu, X.; Xia, J.; Xing, Z.; Jia, L. Qin, Y.                                | Application of reverse FTF in metro door failure analysis   | 2016 | FTA FMECA   | X      |                                |      |                        |                     |           | X          |                  | Auftretenshäufigkeit Schadensausmaß Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Gupta, G.; Mishra, R.P.  | A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM | 2017 | Fuzzy FMECA   | X      |                                |      |                        | X                   |           |            |                  | Auftretenshäufigkeit Entdeckungswahrscheinlichkeit Schadensausmaß kritische Reihung   |
| Marhaug, A.; Barabadi, A.; Størum, E.; Karlsen, K.; Olsen, A.; Ayele, Y.Z. | Criticality Analysis for Maintenance Purposes of Platform Supply Vessels in Remote Areas                            | 2017 | Entscheidungsbaum, FMEA & FTA   |        | X                              |      |                        |                     |           |            | X                | Schadensausmaß Entdeckungswahrscheinlichkeit Auftretenshäufigkeit (Kein Zugriff auf Volltext)                                 |



## Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung – Teil 5

| Quelle   |  |      | Bewertung                                   |              |                                |      |                        |           |            |                  |             |  |
|--|--|------|---|--------------|--------------------------------|------|------------------------|-----------|------------|------------------|-------------|--|
| Autor  | Titel  | Jahr | Methode                                     | Fehler       | Kritische Anlagen / Strukturen | Ziel | IH-Strategie anpassung | Sonstiges | Qualitativ | Semi-quantitativ | Quantitativ | Bewertungskriterien  |
|  |  |      |   | 2016 - heute |                                |      |                        |           |            |                  |             |  |
| Chattopadhyaya, P.K.; Basu, S.K.; Majumdar, M.C.               | Quantified Risk Ranking Model for Condition-Based Risk and Reliability Centered Maintenance  | 2017 | FMEA<br>Monte Carlo Simulation              |              | X                              |      |                        |           |            |                  | X           | Auftretenshäufigkeit<br>Finanzielle Einbußen<br>Sicherheit<br>Umwelt<br>Instandhaltungskosten<br>Ökonomische Faktoren<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit |
| Du, Y.-B.; Liao, L.; Wang, L.-S.                               | Failure Mode Effects and Criticality Analysis of remanufactured machine tools in service   | 2017 | FMEA  | X            |                                |      |                        |           |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |
| Singh, A.K.; Mondal, S.  | Root cause analysis of interruptions in the sinter making process of integrated iron and steel plant   | 2017 | FMEA  |              | X                              |      |                        |           |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |
| Kapadia, J.; Tabibzadeh, M.                                    | An integrated system-oriented risk and reliability analysis methodology to improve maintenance strategies of beverage filling and packing line equipment | 2017 | FMEA<br>FTA                                 |              | X                              |      |                        |           |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit  |
| Kumar, A.M.; Rajakarunakaran, S.; Pitchipoo, P.; Vimalasan, R. | Fuzzy based risk prioritisation in an auto LPG dispensing station  | 2018 | Fuzzy FMEA                                  | X            |                                |      |                        |           |            | X                |             | Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Aufretenshäufigkeit   |
| Catelani, M.; Ciani, L.; Venzi, M.                             | Failure modes, mechanisms and effect analysis on temperature redundant sensor stage  | 2018 | FMEA & FMMEA                                | X            |                                |      |                        |           |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit (MITR, MTBF)<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Oguz, E.; Kubicek, M.; Clelland, D.                            | Failure modes and criticality analysis of the preliminary design phase of the Mars Desert Research Station considering human factors                     | 2018 | FMEA & HDA (Human Design Approach)          |              |                                |      |                        | X         |            | X                |             | Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Aufretenshäufigkeit<br>Reparaturaufwand in Verbindung mit der Zugänglichkeit  |
| Carpitella, S.; Certa, A.; Izquierdo, J.; La Fata, C.M.        | A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case  | 2018 | FMEA & AHP / Fuzzy Topsis zur Priorisierung | X            |                                |      | X                      |           |            | X                |             | Durchführungszeit<br>Ausführungsart<br>Aufretenshäufigkeit   |
| Parajes, J.S.; Marquez, A.C.; Rosique, A.S.                    | Criticality analysis for preventive maintenance optimization purposes in gas network infrastructures   | 2018 | Criticality Assessment                      |              | X                              |      |                        |           |            |                  | X           | Kein Zugriff auf Volltext  |

**Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung –  
Teil 6**

| Autor  | Quelle  |      | Jahr | Methode                                     | Bewertung |                                   |                           |           |            | Bewertungskriterien |   |  |
|--|---|------|------|---|-----------|-----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------|---|--|
|  | Titel   | Ziel |      |   | Fehler    | Kritische Anlagen /<br>Strukturen | IH-Strategie<br>anpassung | Sonstiges | Qualitativ |                     | Semi-<br>quantitativ  | Quantitativ  |
|  |   |      |      |   |           |                                   |                           |           |            |                     |   |  |
| Gupta, G.; Mishra, R.P.  | Identification of Critical Components using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance                              |      | 2018 | FMEA, ANP                                   |           | X                                 |                           |           |            | X                   | Kosten<br>Funktionale Abhängigkeiten<br>Komplexität<br>Instandhaltbarkeit<br>Sicherheit                     |  |
| Crespo, A.; Sola, A.;<br>Moreu, P.; Gómez, J.F.; De<br>la Fuente, A.; Guillén, A.;<br>González-Prida, V. | Criticality Analysis for improving maintenance: felling and pruning cycles in power lines   |      | 2018 | Kritikalitätsanalyse<br>basierend auf RPN   |           | X                                 |                           |           |            | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Verfügbarkeit<br>Servicequalität |  |
| Silvia, C.; Antonella, C.;<br>Enea, M.   | The ELECTRE I method to support the FMECA   |      | 2018 | MCDM (ELECTRE I)<br>Paarweiser<br>Vergleich | X         |                                   |                           |           |            | X                   | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit                                     |  |
| Li, X.; Dai, C.; Gao, F.;<br>Wang, H.D.; Sun, Z.M.   | Application of failure mode and effect analysis on centrifugal pumps of atmospheric and vacuum distillation unit                    |      | 2019 | FMEA  | X         |                                   |                           |           |            | X                   | Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Aufretenshäufigkeit                                      |  |
| Tang, Y.; Yao, J.X.; Wang,<br>G.R.; Zhang, Z.D.; He, Y.F.;<br>Jing, J.J.                                 | Risk Identification and Quantitative Evaluation Method for Asset Integrity Management of Offshore Platform Equipment and Facilities |      | 2019 | SFMECA                                      | X         |                                   |                           | X         |            |                     | Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Aufretenshäufigkeit                                      |  |
| Lazakis, I.;<br>Kougoumtzoglou, M.A.   | Assessing offshore wind turbine reliability and availability  |      | 2019 | FMECA                                       | X         |                                   |                           |           |            | X                   | Sicherheit<br>Umwelteinfluss<br>Prozesskriterien<br>Anlagenbezogene Kriterien                               |  |
| Konstantinou, E.;<br>Parikad, A.K.; Wong, A.;<br>Broom, C.   | Prioritization of responsive maintenance tasks via machine learning-based inference   |      | 2019 | Nicht konkret<br>genannt                    |           | X                                 |                           |           |            |                     | X   | Sicherheit, Fehlerhäufigkeit,<br>Schadensausmaß,<br>Stillstandszeit, Produktivität |
| Passath, T.; Mertens, K.   | Decision Making in Lean Smart Maintenance: Criticality Analysis as a Support Tool   |      | 2019 | Kriterienbewertung                          |           | X                                 |                           |           |            | X                   | Unternehmensspezifische<br>Kriterien<br>Qualität<br>Kosten<br>Zeit<br>Umwelt                                |  |

## Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung – Teil 7

| Quelle  |                                   | Bewertung  |   |       |                           |           |            | Bewertungskriterien  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|-------|---------------------------|-----------|------------|----------------------|---|
|   |                                   | Methode  | Jahr                                    | Titel | Ziel                      |           |            |                      | Quantitativ   |
| Fehler  | Kritische Anlagen /<br>Strukturen |  |   |       | IH-Strategie<br>anpassung | Sonstiges | Qualitativ | Semi-<br>quantitativ |   |
| Khaira, A.; Dwivedi R.  | 2019                              | A two-step decision making approach for identification of critical equipment using analytical hierarchy process and preference ranking organization method for enrichment evaluations with improved normalization  | Two-step decision making, AHP PROMETHEE |       |                           |           |            |                      | Energieverbrauch<br>Fehlerhäufigkeit<br>Anzahl an Ersatzteilen<br>Ersatzteilkosten<br>Verfügbarkeit<br>MTBF<br>MTTR<br>Fehlerrate<br>Fehlerranzahl  |
| Martínez-Galán, P.;<br>Gómez, J.F.; Crespo, A.;<br>Guillén, A.; de la Fuente,<br>A.; Candón, E. | 2019                              | Criticality analysis for network utilities asset management  | Risk-based asset evaluation             | X     |                           | X         |            |                      | Sicherheitskriterium, Soziales Kriterium, Netzwerk Resilienz Kriterium, Einbußen  |
| Nunes, A.S.; Andrade, J.J.O.  | 2019                              | Use of failure data and criticality analysis in a maintenance management tool for electric power distribution company [Uso de análisis de falla y criticidad en una herramienta de gestión de mantenimiento para una empresa de distribución de energía eléctrica] | Brainstorming<br>FMEA                   |       |                           |           |            |                      | Kundenanzahl<br>Aufretrenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Risiko für die Bevölkerung<br>Energie<br>Ausweichmöglichkeiten<br>Wegzeiten<br>Linielänge                |
| Mohanty, J.K.; Dash, P.R.;<br>Pradhan, P.K.   | 2020                              | FMEA analysis and condition monitoring of critical equipments in super thermal power plant   | FMEA                                    | X     |                           |           |            |                      | Aufretrenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Kein Zugriff auf Volltext  |
| Fang, Z.; Zhang, Y.;<br>Zheng, C.; Wang, X.;<br>Cheng, M.; Zhang, H.;<br>Al-Hourani, S.         | 2020                              | Braking safety design and analysis for railway vehicles  | FMEA, FTA, PHA                          | X     |                           |           | X          |                      |   |
|   | 2020                              | Rescheduling Preventive Maintenance For Utilities Equipment Using Criticality Analysis   | MCDM                                    |       | X                         |           |            |                      | Sicherheit<br>Umwelt<br>Ausweichmöglichkeiten<br>Qualität<br>Produktionsbedingungen<br>Ausschuss<br>Instandhaltungskosten<br>Verwendungsgrad<br>Lebenserwartung<br>Störfähigkeit<br>Materialzustand |

**Systematische Literaturrecherche zum Thema Kritikalitätsbeurteilung –  
Teil 8**

| Quelle  |  | Bewertung |   |                                |                        |            |                  |             |   |
|---|--|-----------|---|--------------------------------|------------------------|------------|------------------|-------------|---|
| Autor   | Titel  | Jahr      | Methode   | Ziel                           |                        | Qualitativ | Semi-quantitativ | Quantitativ | Bewertungskriterien   |
|   |  |           |   | Kritische Anlagen / Strukturen | IH-Strategie anpassung |            |                  |             |   |
|   |  |           |   |                                | 2016 - heute           |            |                  |             |   |
| Jafaripisheh, R.; Karbasian, M.; Asadpour, M.                     | A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan  | 2020      | PROMETHEE<br>AHP<br>TOPSIS<br>MCDM<br>FMECA       | X                              |                        |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit   |
| Bakhat, R.; Rajaa, M.   | Risk Assessment of a Wind Turbine Using an AHP-MABAC Approach with Grey System Theory: A Case Study of Morocco | 2020      | MCDM & FMECA                                      | X                              |                        |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Schadensausmaß<br>Abgeschätzte Kosten  |
| Yang, Z.J.; Guo, J.Y.; Tian, H.L.; Chen, C.H.; Zhu, Y.F.; Liu, J. | Weakness Ranking Method for Subsystems of Heavy-Duty Machine Tools Based on FMECA Information                  | 2021      | Weakness - ranking method basierend auf der FMECA |                                | X                      |            | X                |             | Fehlerhäufigkeit<br>Fehlerbedeutung<br>Entdeckungsproblematik<br>Schadensausmaß<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Instandhaltbarkeit<br>Instandhaltungskosten |
| Voicu, M.-A.; Fuiorea, I.   | Failure analysis of turboprop medium courier aircrafts   | 2021      | FMECA   | X                              |                        |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit<br>Auswirkung des Fehlers   |
| Nordal, H.; El-Thalji, I.   | Assessing the Technical Specifications of Predictive Maintenance: A Case Study of Centrifugal Compressor       | 2021      | Predictive Maintenance Matrix                     |                                | X                      |            | X                |             | Auftretenshäufigkeit<br>Fehlerart<br>RUL  |

**Datenreifegradmodell – Teil 1**

|                        | Chaotische Daten  | Semi-strukturierte Daten   | Strukturierte Daten   | Automatisierte Daten  | Echt-Zeit Daten   |
|------------------------|---|--|---|---|---|
| <b>Datenerfassung</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaum Standards bzw. Ziele</li> <li>Vereinzelt digitale Datenerfassung</li> <li>Thw. unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Thw. Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Thw. vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Thw. Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitestgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitestgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische, Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul>                   |
| <b>Datenhaltung</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht rentabel</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung multipler Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vereinheitlichung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, thw. Papier gespeichert, Lücken vorhanden, viele Überschneidungen</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, aber isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitestgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Thw. Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten thw. aufwändig</li> <li>Weitestgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken, thw. Überschneidungen</li> <li>Thw. Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitestgehend lückenlos, wenig Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit weitestgehend möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouses</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System, keine Überschneidungen</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul> |
| <b>Datenumfang</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, keine Vollständigkeit</li> <li>Wenig historische Daten</li> <li>Datenmenge nicht ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kein angemessener Umfang, thw. Vollständigkeit</li> <li>Teilweise historische Daten</li> <li>Datenmenge thw. ausreichend für einfache Berechnungen (Excel)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Thw. angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsdauer von mind. 6 Monaten</li> <li>Historische Daten</li> <li>Datenmengen ausreichend für einfache Berechnungen</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitestgehend angemessener Umfang und Vollständigkeit der Daten</li> <li>Aufzeichnungsdauer mind. 1 Jahr</li> <li>Historische Daten und thw. Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmengen für quantitative Bewertungen weitestgehend geeignet</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten vollständig erfasst, optimaler Datenumfang</li> <li>Auszeichnungsdauer ca. 1,5 Jahre</li> <li>Echt-Zeit Daten</li> <li>Datenmengen optimal für quantitative Bewertungen</li> </ul>                 |
| <b>Datenkonsistenz</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug der Daten nicht vorhanden oder schlecht</li> <li>Einheitliche Anlagendaten nicht verfügbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug teilweise schlecht / Inkonsistenz</li> <li>Einheitliche Anlagendaten thw. verfügbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz innerhalb der Quelle</li> <li>Datenquellenübergreifend abteilsaufrändige Konsistenzherstellung</li> <li>Daten auf Anlagenebene einheitlich</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitbezug/Konsistenz über Quellen hinweg gegeben</li> <li>Anlagen und Baugruppendaten einheitlich vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitstempelintegrität durch Echt-Zeit Übertragung, horizontal und vertikal durchgängiges System</li> <li>Anlagen-, Baugruppen-, und Komponentendaten einheitlich</li> </ul>                              |

## Datenreifegradmodell – Teil 2

|                  | Chaotische Daten  | Semi-strukturierte Daten   | Strukturierte Daten   | Automatisierte Daten  | Echt-Zeit Daten  |
|------------------|---|--|---|---|--|
| Datenarchitektur | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Datenarchitektur nicht vorhanden</li> <li>Keine Formatsstandards</li> <li>Auslegbarkeit an Erfahrungswissen gebunden</li> <li>Inkonsistente Daten innerhalb des Standorts</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vereinzelte einheitliche Datenarchitektur</li> <li>Für Schlussanfragen gibt es Architekturstandards</li> <li>Tiw. Formatsstandards</li> <li>Auslegbarkeit übermäßig an Erfahrungswissen gebunden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitestgehend einheitliche Anlagenstruktur</li> <li>Teilweise Formatstandards</li> <li>Tiw. Eindeutige Auslegbarkeit / horizontale Integration</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Architektur</li> <li>Einheitliche Formatsstandards</li> <li>Weitestgehend eindeutige Auslegbarkeit / horizontale und vertikale Integration</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Laufend optimierte Architektur</li> <li>Formatsstandards laufend optimiert</li> <li>Horizontale und vertikale Integration vollständig umgesetzt / eindeutige Auslegbarkeit</li> </ul> |
| System-Standards | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Standards bzw. Umsetzungsmöglichkeiten hinsichtlich Digitalisierung</li> <li>Keine Schnittstellen</li> <li>Unstrukturierte Daten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenige Standards zur Digitalisierung</li> <li>Vereinzelte Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Datentransfer problematisch</li> <li>Tiw. unstrukturierte Daten</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitestgehend Standards zur Digitalisierung</li> <li>Tiw. Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Weitestgehend strukturierte Daten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einheitliche Standards vorhanden</li> <li>Weitestgehend sind die Systeme über Schnittstellen verbunden</li> <li>Strukturierte Daten vorhanden</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Standards werden laufend optimiert</li> <li>Schnittstellen durchgängig vorhanden</li> <li>Einheitliches Informations- und Datenmanagement</li> </ul>                                  |
| Datenerfassung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Weder Standards noch Ziele definiert</li> <li>Aufzeichnungen nur auf Papier</li> <li>Unvollständige, unzuverlässige Aufzeichnungen</li> <li>Glaubwürdigkeit der Daten nicht gegeben</li> <li>Keine Fehlerfreiheit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaum Standards bzw. Ziele</li> <li>Vereinzelte digitale Datenerfassung</li> <li>Tiw. unvollständige und unzuverlässige Datenerfassung</li> <li>Geringe Datenmengen → schlechte Glaubwürdigkeit</li> <li>Geringe Fehlerfreiheit</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tiw. Ziele und Standards definiert</li> <li>Digitale Datenerfassung (unregelmäßig)</li> <li>Tiw. vollständige und zuverlässige Datenerfassung</li> <li>Aufzeichnungen manuell sowie digital vorhanden</li> <li>Mittlere Datenmengen</li> <li>Tiw. Glaubwürdigkeit durch technische Systeme gewährleistet</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standard definiert</li> <li>Weitestgehend automatische Datenerfassung</li> <li>Hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Hohe Fehlerfreiheit</li> <li>Vollständige und weitestgehend zuverlässige Datenerfassung</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ziele und Standards werden laufend optimiert</li> <li>Automatische Echt-Zeit Datenerfassung</li> <li>Sehr hohe Glaubwürdigkeit der Daten</li> <li>Sehr hohe Fehlerfreiheit</li> </ul> |
| Datenhaltung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Papieraufzeichnungen werden nicht digital erfasst</li> <li>Datenübertragung sehr aufwändig, nicht rentabel</li> <li>Keine Kompatibilität zwischen den Systemen</li> <li>Große Lücken bei der Datenspeicherung, keine Standards</li> <li>Keine Bearbeitbarkeit möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung multipler Systeme, Zugänglichkeit aufwändig</li> <li>Extrahieren, Vereinheitlichung der Daten sehr aufwändig</li> <li>Daten in Access oder Excel, tiw. Papier gespeichert, Lücken vorhanden</li> <li>Geringe Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden in offenen, isolierten Systemen erfasst, Zugänglichkeit gegeben</li> <li>Weitestgehend digitale Aufzeichnung</li> <li>Tiw. Daten für analytische Prozesse geeignet</li> <li>Übertragung der Daten tiw. aufwändig</li> <li>Weitestgehend digitale Speicherorte, wenige Lücken</li> <li>Tiw. Bearbeitbarkeit der Daten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten sind leicht zugänglich, zentrale Datenbanken</li> <li>Datenübertragung nicht aufwändig</li> <li>Digitale Speicherorte, verschiedene Systeme, weitestgehend lückenlos</li> <li>Bearbeitbarkeit weitestgehend möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datenspeicherung in Data-Warehouses</li> <li>Echt-Zeit Übertragung der Daten</li> <li>Lückenlose Speicherung, ein System</li> <li>Bearbeitbarkeit vollständig gegeben</li> </ul>      |

## Komplexitätseinstufungsmodell – Teil 1

| Nicht komplex   | Geringer Komplexitätsgrad   | Mäßiger Komplexitätsgrad   | Hoher Komplexitätsgrad   | Sehr hoher Komplexitätsgrad   |   |
|-----------------|---|--|--|---|---|
| Markterfolg     | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;10MA</li> <li>Sehr geringer Marktanteil &lt;10%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen sehr gering</li> <li>Keine Strategieanpassung</li> <li>Keine Strategischen Ziele</li> <li>Wachstumsrate starker Rückgang</li> <li>Rentabilität: &lt;3%</li> <li>Massenmarkt</li> <li>Leichter Rohstoffzugang</li> <li>Kostenführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen nicht vorhanden</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit nicht vorhanden</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>10-49 MA</li> <li>Geringer Marktanteil 10-20%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen gering</li> <li>Statische Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele erreichbar</li> <li>Wachstumsrate geringer Rückgang</li> <li>Rentabilität: 3-8%</li> <li>Nischenmarkt</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen vorhanden</li> <li>Sicherheit vorhanden</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>50-100 MA</li> <li>Mäßiger Marktanteil 21-50%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen thw. gegeben</li> <li>Thw. vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele thw. schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate stagnierend</li> <li>Rentabilität: 9-12%</li> <li>Segmentierter Markt</li> <li>Unterscheidungsgrad eher hoch</li> <li>Technologieführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen als Unternehmensstandards implementiert</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit als Standard implementiert</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>101-249 MA</li> <li>Hoher Marktanteil 51-80%</li> <li>Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen eher hoch</li> <li>Vorausschauende Strategieanpassung</li> <li>Strategischen Ziele schwer erreichbar</li> <li>Wachstumsrate gering steigend</li> <li>Rentabilität: 13-15%</li> <li>Diversifizierter Markt</li> <li>Unterscheidungsgrad hoch</li> <li>Qualitäts- und Kostenführerschaft oder Technologie- und Technologieführerschaft</li> <li>Qualitätsführerschaft</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Emissionen thw. Verbesserung</li> <li>Gesetzliche Anforderungen an Sicherheit thw. Verbesserung</li> </ul> |   |
| Technologierufe | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie (Kostenbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit)</li> <li>Defensive Strategie, keine Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien unattraktiv</li> <li>Keine Leistungssteigerung noch Kostensenkung</li> <li>Weder Leistungssteigerung noch Großer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Verdrängte Technologie</li> <li>Ressourcen vorhanden</li> <li>Kein Entwicklungspotenzial</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mee-too Strategie</li> <li>Defensive Strategie geringe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeit</li> <li>Neue Technologien thw. attraktiv, aber neg. Effekte</li> <li>Keine Leistungssteigerung aber Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsrückstand</li> <li>Langsame Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien gleichbleibend</li> <li>Geringes Entwicklungspotenzial</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Application Engineering</li> <li>Offensive und geringe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien attraktiv aber neg. Effekte</li> <li>Leistungssteigerung, keine bis geringe Kostensenkung</li> <li>Geringer Entwicklungsvorsprung</li> <li>Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologie thw. verbesserungsorientiert</li> <li>Mittleres Entwicklungspotenzial</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Follow the leader</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien attraktiv, thw. neg. Effekte</li> <li>Leistungs- und Kostensteigerung unausgeglichen</li> <li>Hoher Entwicklungsvorsprung</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Basistechnologien verbesserungsorientiert/ thw. Schlüsseltechnologien</li> <li>Hohes Entwicklungspotenzial</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologieführer</li> <li>Offensive Strategie hohe Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>Neue Technologien attraktiv, keine neg. Effekte</li> <li>Ausgeglichene Leistungs- und Kostensteigerung</li> <li>Entwicklungsvorsprung wird laufend verbessert</li> <li>Sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Schlüsseltechnologie</li> <li>Neue Technologien weitestgehend in Verwendung</li> <li>Hohe Reaktionsgeschwindigkeit</li> <li>Entwicklungsvorsprung</li> </ul> |

## Komplexitätseinstufungsmodell – Teil 2

| Nicht komplex                 | Geringer Komplexitätsgrad   | Mäßiger Komplexitätsgrad  | Hoher Komplexitätsgrad   | Sehr hoher Komplexitätsgrad  |
|-------------------------------|---|---|--|--|
| Produktion & Produktportfolio | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Produktnachfrage</li> <li>Sehr geringe Produktionsmengen</li> <li>Alle Produkte sind gleich</li> <li>Produktzusammensetzung ist gleichbleibend</li> <li>Produktwechselzyklus: &gt;14Tage</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &lt;1h</li> <li>Umstellkosten: &lt;0,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Kein Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>Keine Nachbearbeitungszeit</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 1-Schicht</li> <li>Optimaler Qualifizierungsgrad</li> <li>Massenfertigung</li> <li>Lagerfertigung</li> <li>Baustellenfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: tw. umgesetzt; tw. Q-Sicherung</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzl. Anf. sind umgesetzt</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: wird betrachtet, keine Analyse umgesetzt</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzl. Anf. umgesetzt</li> <li>Material-intensive Einsatzintensität</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beständige Produktnachfrage</li> <li>Geringe Produktionsmengen</li> <li>Viele gleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung ist annähernd gleichbleibend</li> <li>Produktwechselzyklus: bis zwei Wochen</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: 1-4h</li> <li>Umstellkosten: 0.5-1,4% des Tagesumsatzes</li> <li>Geringes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>&lt;1h/ Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 2 Schicht</li> <li>Sortenfertigung</li> <li>Gruppenfertigung</li> <li>Anlagen-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher beständige Produktnachfrage</li> <li>Mäßige Produktionsmengen</li> <li>Produkte sind tw. schwankend</li> <li>Produktzusammensetzung variiert tw.</li> <li>Produktwechselzyklus: bis eine Woche</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &lt;1 Tag</li> <li>Umstellkosten: 1,5% des Tagesumsatzes</li> <li>Mittleres Ausfallrisiko bei Produktwechsel</li> <li>1-10h/ Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Kein Wochenendbetrieb 3-schichtig oder Wochenendbetrieb 1-schichtig</li> <li>Mäßiger Qualifizierungsgrad</li> <li>Sortenfertigung</li> <li>Auftragsfertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: Überprüfung während Prozess</li> <li>Anf. an Schutz: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> <li>Analyse von Kennzahlen</li> <li>Anf. an Umwelt: gesetzliche &amp; unternehmensspezifische Anf.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eher schwankende Produktnachfrage</li> <li>Große Produktionsmengen</li> <li>Tw. ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert stark</li> <li>Produktwechselzyklus: 1 Tag</li> <li>Schnell anpassungsfähig</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: 1,6-2 Tage</li> <li>Umstellkosten: 1,6-3% des Tagesumsatzes</li> <li>Hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>11h-24h/Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Wochenendbetrieb 2-3 schichtig</li> <li>Einzelfertigung</li> <li>Arbeits-intensive Einsatzintensität</li> </ul> |
| Asset                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Automation</li> <li>Durchgängige</li> <li>Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Keine Verketzung</li> <li>Alle Anlagen vom gleichen Hersteller</li> <li>Auslastungsgrad: &gt;50%</li> <li>Gleiche Systemarchitektur</li> <li>Instandhaltungsintensität: &lt;1%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wenig Automation</li> <li>Mehrere Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Lose Verketzung der Anlagen</li> <li>Guter Erhaltungszustand</li> <li>Geringe Komplexität</li> <li>Mehr gleiche als unterschiedliche Hersteller bei den Anlagen</li> <li>Homogener Anlagenpark</li> <li>Lose Verketzung der Anlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 50-70%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 1-3%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Thw. Automation</li> <li>Ausweichmöglichkeiten tw. vorhanden</li> <li>Elastische Verketzung</li> <li>Gemischter Erhaltungszustand</li> <li>Mittlere Komplexität</li> <li>Heterogener Anlagenpark</li> <li>Mehr verschiedene Hersteller, tw. Einzel-/Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 71-80%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Automation weitestgehend vorhanden</li> <li>Vereinzelte Ausweichmöglichkeiten vorhanden</li> <li>Starre Verketzung ohne Taktzwang</li> <li>Schlechter Erhaltungszustand</li> <li>Hohe Komplexität</li> <li>Hauptsächlich Einzelanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 81-90%</li> <li>Instandhaltungsintensität: 4-10%</li> </ul>  |
|                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schwankende Produktnachfrage</li> <li>Sehr große Produktionsmengen</li> <li>Überwiegend ungleiche Produkte/Prozesse</li> <li>Produktzusammensetzung variiert sehr stark</li> <li>Produktwechselzyklus: wenige Stunden</li> <li>Aufwand Produktwechselzyklus: &gt;2 Tage</li> <li>Umstellkosten: &gt;3% des Tagesumsatzes</li> <li>Sehr hohes Ausfallrisiko beim Produktwechsel</li> <li>&gt;24h/Monat Nachbearbeitungszeit</li> <li>Wochenendbetrieb (4-5 Schichtig)</li> <li>Verbesserungswürdiger Qualifizierungsgrad</li> <li>Charakterfertigung</li> <li>Programmfertigung</li> <li>Werkstoffertigung</li> <li>Anf. an Produktqualität: laufende Verbesserung</li> <li>Anf. an Schutz: laufende Evaluierung &amp; Verbesserung d.</li> <li>Sicherheitsbestimmungen</li> <li>Anf. an Arbeitsproduktivität: laufende Analyse und Verbesserung</li> <li>Anf. an Umwelt: laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung</li> <li>Informations-intensive Einsatzintensität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollautomatisiert</li> <li>Keine Ausweichmöglichkeiten</li> <li>Starre Verketzung mit Taktzwang</li> <li>Anlagen haben verschiedene Hersteller</li> <li>Nur Spezialanlagen</li> <li>Auslastungsgrad: 91-100%</li> <li>Anlagen haben unterschiedliche Systemarchitekturen</li> <li>IH Intensität: &gt;10%</li> </ul>  |  |  |



**Ausschnitt aus der Kriterienauswahlliste**

| Einfluss von                     |   | Auf Erfolgsfaktor   |               |           |                           |
|----------------------------------|---|---|---------------|-----------|---------------------------|
|                                  |   | Flexibilität  | Kosten        | Qualität  | Umwelt                    |
|                                  |   | Fremdleistungsanteil  | IH-Intensität | Ausschuss | Energieverbrauch /Produkt |
| Charakteristik                   | Ausprägungsstufen   |   |               |           |                           |
| Aufwand Produktwechselzyklus     | hoch  | 5   | 3             | 5         | 5                         |
|                                  | <b>mittel</b>   | <b>3</b>  | <b>1</b>      | <b>3</b>  | <b>3</b>                  |
|                                  | gering  | 1   | 1             | 1         | 3                         |
| Durchlaufzeit der IH-Tätigkeiten | hoch  | 1   | 5             | 1         | 1                         |
|                                  | <b>mittel</b>   | <b>1</b>  | <b>3</b>      | <b>1</b>  | <b>1</b>                  |
|                                  | gering  | 1   | 1             | 1         | 1                         |
| Automatisierungsgrad             | Keine bis geringe Automatisierung                             | 5   | 3             | 5         | 3                         |
|                                  | Mittel - tw. Automatisierung                                  | 5   | 3             | 3         | 3                         |
|                                  | <b>hoch-weitgehend Automatisierung</b>                        | <b>5</b>  | <b>3</b>      | <b>1</b>  | <b>5</b>                  |
| Wachstumsrate im letzten Jahr    | Rückgang - stark  | 3   | 3             | 5         | 5                         |
|                                  | <b>Rückgang - gering</b>                                      | <b>3</b>  | <b>3</b>      | <b>5</b>  | <b>3</b>                  |
|                                  | Wachstum - stark  | 5   | 5             | 5         | 5                         |
|                                  | Wachstum - gering   | 5   | 5             | 5         | 3                         |
| Produkt-nachfrage                | <b>beständig</b>  |   | <b>5</b>      | <b>5</b>  | <b>3</b>                  |
|                                  | eher beständig  |   | 5             | 5         | 3                         |
|                                  | eher schwankend   |   | 3             | 3         | 3                         |
|                                  | schwankend  |   | 3             | 3         | 3                         |
| Ersatzteilverfügbarkeit          | keine vorhanden   | 3   | 3             | 1         | 1                         |
|                                  | nur für Schlüsselanlagen                                      | 1   | 1             | 1         | 1                         |
|                                  | <b>laut Herstellerinformation</b>                             | <b>1</b>  | <b>1</b>      | <b>1</b>  | <b>1</b>                  |
|                                  | für alle Anlagen  | 1   | 1             | 1         | 1                         |
| Planungsgrad d. Instandhaltung   | Niedrig   | 1   | 3             | 5         |                           |
|                                  | Mittel  | 3   | 5             | 3         | 3                         |
|                                  | <b>Hoch</b>   | <b>5</b>  | <b>5</b>      | <b>5</b>  | <b>5</b>                  |
| Erfüllungsgrad                   | Nicht erfüllt   | 5   | 5             | 5         | 5                         |
|                                  | Verspätet   | 5   | 5             | 5         | 5                         |
|                                  | <b>Zeitgerecht</b>  | <b>5</b>  | <b>5</b>      | <b>3</b>  | <b>3</b>                  |
| Weitere Charakteristika          | <b>Weitere Ausprägungsformen</b>                              | ...   | ...           | ...       | ...                       |
|                                  | Maximal erreichbare Punkte                                    | Summe der höchsten Ausprägung (Wert) je Charakteristikum je Kriterium |               |           |                           |
|                                  | Erreichte Punkteanzahl  | Summe der grau hinterlegten Ausprägungen je Kriterium                 |               |           |                           |
|                                  | Maximal erreichbare Punkte inklusive Gewichtung Erfolgsfaktor | Maximal erreichbare Punkte* Kriteriengewichtung je Erfolgsfaktor      |               |           |                           |
|                                  | Erreichte Punkteanzahl inklusive Gewichtung Erfolgsfaktor     | Erreichte Punkte* Kriteriengewichtung je Erfolgsfaktor                |               |           |                           |

## **Anhang B: Methodenbeschreibung und Erläuterung deren Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung**

### **Bewertungsmethoden der Kritikalitätsbewertung**

#### **Brainstorming**

Das Brainstorming, das von Alex Faickney Osborn Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde<sup>840</sup>, zählt zu den Kreativitätstechniken, die dadurch gekennzeichnet sind, neue Ideen zum Lösen einer konkreten Problemstellung zu erzeugen. Zuerst werden die Ideen gesucht und unkommentiert, für alle gut ersichtlich aufgeschrieben. Im zweiten Schritt werden die Ergebnisse von einem Moderator vorgestellt, geclustert und bewertet, um die Hauptfaktoren zu eruieren.<sup>841</sup>

#### *Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung*

Bei der Anwendung dieser Methode ist es unerlässlich Personen mit großem Anlagen-Know-how in den Prozess zu involvieren, um adäquate Ergebnisse zu erzielen.<sup>842</sup> In Workshops werden die ausgewählten Kriterien, abgeleitet aus den Erfolgsfaktoren und der Morphologie, gut ersichtlich auf eine Pinnwand gepinnt und im Anschluss je Kriterium die Anlagen erhoben, die den größten Einfluss auf das jeweilige Kriterium haben. Auf je mehr Kriterien eine Anlage Auswirkungen hat und je öfter diese erwähnt wird, desto kritischer ist sie einzustufen. Als Ergebnis erhält man eine Liste aller kritischen Anlagen, die für die Detailanalysen herangezogen werden.

#### **Brainwriting**

Brainwriting ist eine weitere Kreativitätstechnik, bei der wie beim Brainstorming die freie Meinungsäußerung im Vordergrund steht<sup>843</sup>. Bei dieser Technik schreibt jeder Teilnehmer zu einer konkreten Problemstellung seine Ideen auf Kärtchen. Die Kärtchen werden gesammelt, im Anschluss vom Moderator vorgestellt und wie beim Brainstorming geclustert und gegebenenfalls bewertet.

#### *Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung*

Ähnlich wie im Zuge des Brainstormings werden im Falle des Brainwritings schriftlich diejenigen Anlagen erhoben, die Einfluss auf die zuvor definierten Kriterien haben. Am Ende werden die Ergebnisse der Bewertenden zusammengefasst. Das Ergebnis ist eine Liste der kritischsten Anlagen, die im Zuge der Detailanalysen genauer untersucht werden. Auch hier ist der Personenkreis für das Bewertungsergebnis entscheidend, da die Einstufung rein auf subjektiver Basis beruht.

---

<sup>840</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2020), S. 96.

<sup>841</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 212.

<sup>842</sup> Vgl. Rawlinson, J. G. (1981), S. 24 ff.; Romeike, F.; Hager, P. (2020), S. 96.

<sup>843</sup> Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2020), S. 97.

### **Fehlersammelliste**

Die Fehlerliste erfasst systematisch über einen definierten Zeitraum wie oft und in welcher Form ein Fehler auftritt. Wichtig ist hierbei ein einheitliches Methodenverständnis bzw. Fachwissen zur Identifikation der Fehler.<sup>844</sup> Im Anschluss können die erfassten Fehler ausgewertet werden und die Anlagen, mit den meisten Fehlern eruiert und Maßnahmen zur Fehlerreduktion abgeleitet werden.

#### *Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung*

Die Fehlersammelliste wird bei der anlassbezogenen Kritikalitätsbewertung zur Identifikation der kritischen Anlagen angewandt. Hierfür werden über einen vordefinierten Zeitraum je Anlage die Fehlerhäufigkeit sowie die Fehlerart erhoben. Das kann entweder systemgestützt oder händisch erfolgen. Dadurch ist sofort ersichtlich bei welchen Anlagen die meisten Fehler auftreten und somit kritischer als andere einzustufen sind. Diese Anlagen werden im Anschluss gereiht und ihr Einfluss auf die Erfolgsfaktoren untersucht, um im nächsten Schritt einen Vorgehensplan für die Detailanalysen zu haben. Die Reihung kann entweder anhand der Fehlerhäufigkeiten oder anhand einer Einflussanalyse erfolgen. Dafür wird für jede Anlage mit einer hohen Fehlerhäufigkeit der Einfluss auf die bereits definierten Kriterien untersucht. Je höher der Einfluss ist, desto wichtiger ist es diese Anlagen im Zuge der Risikoanalyse zu untersuchen.

### **Checkliste**

Die Checkliste ist eine Form der Prüfliste zur Funktionskontrolle.<sup>845</sup> Hierzu ist es notwendig im Team Merkmale, die einen Gegenstand umfassend beschreiben zu erfassen und aufzulisten. Sind diese Charakteristika einmal definiert, kann die Checkliste für zukünftige Bewertungen wiederverwendet werden bzw. kann sie auch weiterentwickelt werden. Wichtig ist anzumerken, dass eine Checkliste nie vollständig sein kann, da die gewählten Attribute aus subjektiven Empfindungen resultieren.<sup>846</sup>

#### *Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung*

Im Zuge der Kriterienbewertung wird die Checkliste angewandt, wenn die Datenqualität schlecht ist. Hierzu ist es notwendig im Team Merkmale zu definieren, die für das betrachtete Unternehmen von Relevanz für kritische Anlage sind. Einerseits können diese Attribute die bereits abgeleiteten Kriterien selbst sein und andererseits Fragen, die an die gewählten Kriterien angelehnt sind.

Alle Anlagen werden mit der Checkliste anhand der definierten Attribute bewertet und als Ergebnis liegt eine Reihung der bewerteten Anlagen nach dem Einfluss auf die Kriterien vor. Je öfters im Falle des Beispiels „Ja“ für eine Anlage angekreuzt wird, umso kritischer ist die Anlage einzustufen.

---

<sup>844</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 660 f.

<sup>845</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 61.

<sup>846</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 66 f.

## Anhang B: Methodenbeschreibung und Erläuterung deren Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung

| <b>Checkliste Kriterienbewertung</b>   |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
|  | <b>Ja</b>                | <b>Nein</b>              |
| Ist die betrachtete Anlage eine Engpassanlage?                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Steht die gesamte Produktion bei einem Ausfall?                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Fällt diese Anlage oft aus?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Handelt es sich bei dieser Anlage um eine „in die Jahre gekommene“?            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ist der Reparaturaufwand im Durchschnitt hoch?                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sind die notwendigsten Ersatzteile für diese Anlage auf Lager?                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hat die Anlage eine hohe Auslastung?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ist die Verfügbarkeit der Anlage hoch?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ist eine spezielle Qualifizierung zur Instandhaltung und Inbetriebnahme nötig? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Besteht bei Ausfall der Anlagen Gefahr für Leib und Leben?                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### **Beispielhafte Checkliste für eine Kriterienbewertung**

### **Ereignisbaum-Analyse**

Die Ereignisbaumanalyse auch bekannt als Event Tree Analysis (ETA) ermittelt induktiv das Verhalten und dessen Folgen innerhalb eines Systems<sup>847</sup>. Ein Ereignis ist in diesem Zusammenhang alles, das Auswirkungen auf das Risiko haben kann. Weiters werden die möglichen Folgen der Ereignisse analysiert. Diese Ereignisse werden in Form eines Event Tree aufgeschlüsselt. Üblicherweise wird der Ereignisbaum von links nach rechts gezeichnet, jeweils mit den Abzweigungen für die Alternativen. Durch Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten vom Startereignis sowie deren Abzweigungen erhält man die Gesamtwahrscheinlichkeit des Versagens der Komponente. Anders als die FTA, die von einem Fehler Rückschlüsse auf die Ursache zieht, ist der Fokus bei der ETA ausgehend von einem Versagen einer Komponente auf die Auswirkungen zu schließen<sup>848</sup> um die kritischsten Komponenten eines Systems zu identifizieren.

### Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung

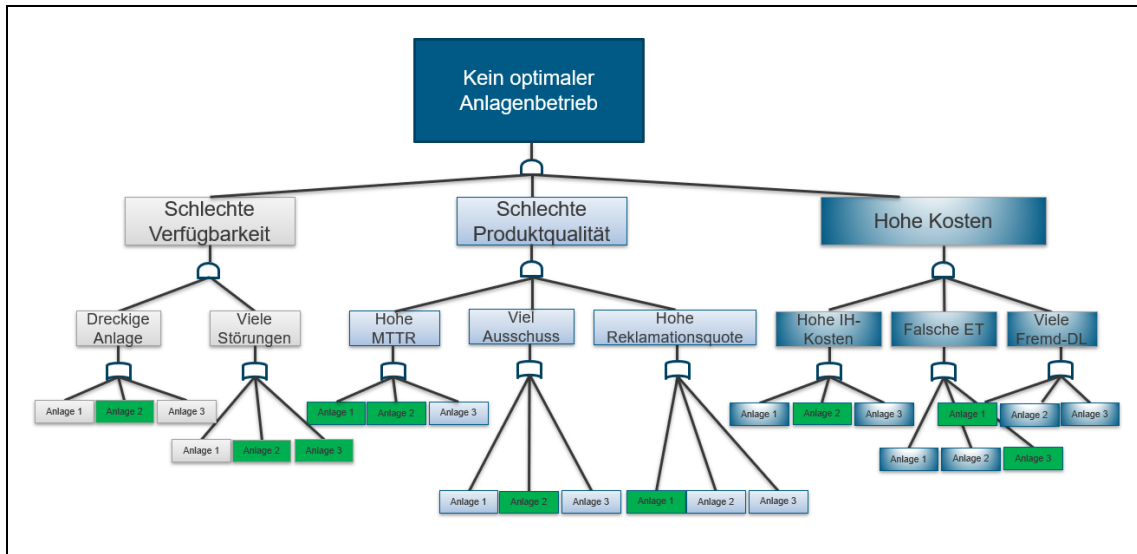
Im Zuge der Ereignisbaumanalyse werden in Form eines Baumes ausgehend von dem Hauptereignis beispielhaft ein nicht optimaler Anlagenbetrieb, die Gründe bzw. die ausschlaggebenden Anlagen identifiziert.

Die Erstellung des Ereignisbaums ist in interdisziplinären Teams mit erfahrenen Personen durchzuführen. Ausgehend vom Ereignis werden darunter alle negativen Ausprägungen der bereits abgeleiteten Kriterien aufgelistet. Darunter werden die Gründe dafür, sowie alle Anlagen, die im Zuge der Kritikalitätsbewertung betrachtet werden sollten aufgelistet. Die Anlagen, die für das jeweilige Attribut verantwortlich sind, werden extra gekennzeichnet. Am Ende liegt eine Reihung der Anlagen, die den größten Einfluss auf den nicht optimalen Anlagenzustand haben, wie in dem Beispiel veranschaulicht, vor.

<sup>847</sup> Vgl. Liu, H.-L. (2012), S. 70.

<sup>848</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 118 f.

Eine weitere Möglichkeit ist, für die Kriterien und deren Gründe Wahrscheinlichkeiten zu hinterlegen und je Anlage die Gesamtwahrscheinlichkeit des Versagens auszurechnen und diese untereinander zu vergleichen.



**Beispielhafte Darstellung eines Ereignisbaums für die Kritikalitätsbewertung<sup>849</sup>**

Diese Methode ist sehr zeitintensiv und der Umfang stark von der Anzahl der betrachteten Kriterien und Anlagen abhängig. Weiters sind Daten bei der Analyse hilfreich, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten.

### **Nutzwertanalyse**

Ziel der Nutzwertanalyse ist es Alternativen anhand vorab definierter Kriterien zu bewerten. Als Hilfe wird eine Bewertungsmatrix, die die Alternativen den Kriterien gegenüberstellt, verwendet. Am Beginn der Nutzwertanalyse werden die Kriterien erhoben und jedem Kriterium ein relatives Gewicht zugeordnet. Für jedes Kriterium wird der Erfüllungsgrad des jeweiligen Kriteriums durch Ermittlung des Zielertrages anhand einer vorab definierten Skala ermittelt. Folgend wird der Teilnutzen durch Multiplikation der Gewichtung und Zielerreichung für jede Alternativen-Kriterien-Kombination ermittelt. Im letzten Schritt werden die Teilnutzen jeder Alternative aufsummiert. Durch den Vergleich der Gesamtnutzen der Alternativen, ist eine Priorisierung möglich.<sup>850</sup>

### **Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung**

Bei der Nutzwertanalyse werden die vorab definierten Kriterien den zu betrachteten Anlagen gegenübergestellt. Bei den Kriterien wird die schlechteste Ausprägungsform der Kriterien herangezogen, um den Nutzen der Anlagenoptimierung darzustellen. Folgend wird jedem Kriterium ein relatives Gewicht zugeordnet. Danach werden alle Anlagen anhand des aktuellen Anlagenzustandes bezogen auf das jeweilige Kriterium anhand einer unternehmensspezifisch definierten Skala bewertet. Der Gesamtnutzen wird durch die Summe der Teilnutzen der Kriterien gebildet. Je höher der Gesamtnutzen ist, desto wichtiger ist diese Anlage einzustufen.

<sup>849</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>850</sup> Vgl. Jöbstl, O. (1999), S. 99.

**Beispielhafte Nutzwert-Analyse im Zuge der Kriterienbewertung<sup>851</sup>**

| Anlage   | Schlechte Verfügbarkeit<br>( $g_1 = 0,5$ ) | Schlechter Qualifikationsgrad<br>( $g_2 = 0,1$ ) | Schlechte Durchlaufzeit<br>( $g_3 = 0,2$ ) | Hoher Ausschuss<br>( $g_4 = 0,3$ ) | Nutzwert ( $N_i$ ) | Rang |
|----------|--|--|--|------------------------------------|--------------------|------|
| Anlage 1 | 4  | 1  | 6  | 8                                  | 5,7                | 3    |
| Anlage 2 | 2  | 2  | 1  | 2                                  | 2                  | 5    |
| Anlage 3 | 10   | 8  | 6  | 8                                  | 9,4                | 1    |
| Anlage 4 | 4  | 8  | 4  | 5                                  | 5,1                | 4    |
| Anlage 5 | 7  | 10   | 5  | 2                                  | 6,1                | 2    |

Bewertung der Auswirkungen von 1- 10, z.B. 1 = trifft nicht zu, 10 = tritt völlig zu

Für die folgenden Detailanalysen ist es wichtig eine Grenze festzulegen, ab welcher eine Anlage als kritisch gilt. Hierbei kann entweder eine Grenze beim Nutzwert gezogen werden oder die ersten zehn Anlagen in der Rangfolge beispielsweise für die Detailanalysen herangezogen werden. Diese Grenzen sind unternehmensspezifisch festzulegen.

**Alternativen Bewertung**

Die Alternativen Bewertung hat zum Ziel, die beste Handlungsoption aus allen Alternativen auszuwählen. Dafür wird im ersten Schritt das Problem bzw. das Ziel definiert. Im nächsten Schritt werden alle Optionen dafür erhoben und aufgelistet. Weiters werden Entscheidungskriterien definiert, durch die diese Handlungsoption ideal erfüllt werden, z.B. hohe Verfügbarkeit oder geringe Kosten. Jede Option wird für jedes Kriterium hinsichtlich ihrer Beeinflussung bewertet. Die Beeinflussung kann anhand von Kreisen, über eine Rangfolge oder textliche Beschreibungen dargestellt werden.<sup>852</sup> Als Ergebnis liegt eine Reihung der Optionen gemäß ihrer Beeinflussung vor.

Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung

Ähnlich wie die Nutzwertanalyse ist die Alternativen Bewertung aufgebaut. Hierzu werden die schlechtesten Ausprägungsformen je Kriterium den Anlagen in einer Matrix gegenübergestellt. Für die Kriterienbewertung empfiehlt sich den Füllstand von Kreisen für die Bewertung des Erfüllungsgrades heranzuziehen. Die Anzahl an befüllten Kreisen spiegelt die kritische Stellung der Anlagen wider.

Der einzige Unterschied zur Nutzwertanalyse besteht darin, dass alle Kriterien als gleich wichtig angenommen werden.

<sup>851</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>852</sup> Vgl. Schawel, C.; Billing, F. (2012), S. 19 ff.

**Beispielhafte Alternativen Bewertung zur Identifikation der kritischen Anlage**

| Anlage   | Schlechte Verfügbarkeit | Schlechter Qualifikationsgrad | Schlechte Durchlaufzeit | Hoher Ausschuss |
|----------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Anlage 1 | ●                       | ◐                             | ◑                       | ●               |
| Anlage 2 | ◑                       | ●                             | ◑                       | ◐               |
| Anlage 3 | ●                       | ◑                             | ◑                       | ◑               |
| Anlage 4 | ◑                       | ○                             | ◑                       | ◑               |
| Anlage 5 | ○                       | ◑                             | ◑                       | ●               |

○ ... kein Erfüllungsgrad  
 ◑ ... geringer Erfüllungsgrad  
 ◐ ... mittlerer Erfüllungsgrad  
 ◑ ... hoher Erfüllungsgrad  
 ● ... sehr hoher Erfüllungsgrad

**Wertstromanalyse**

Die Wertstromanalyse zielt darauf ab durch grafische Darstellung des Produktionsprozesses die wertschöpfenden Tätigkeiten abzubilden und Engpässe zu identifizieren. Hierzu ist es notwendig, das Modell so einfach wie möglich aufzubauen, um die Schlüsselanlagen sofort sichtbar zu machen. Hierzu ist eine Systemunterstützung erforderlich, um einerseits einen Unternehmensstandard zu schaffen und andererseits den Aufwand einzugrenzen.

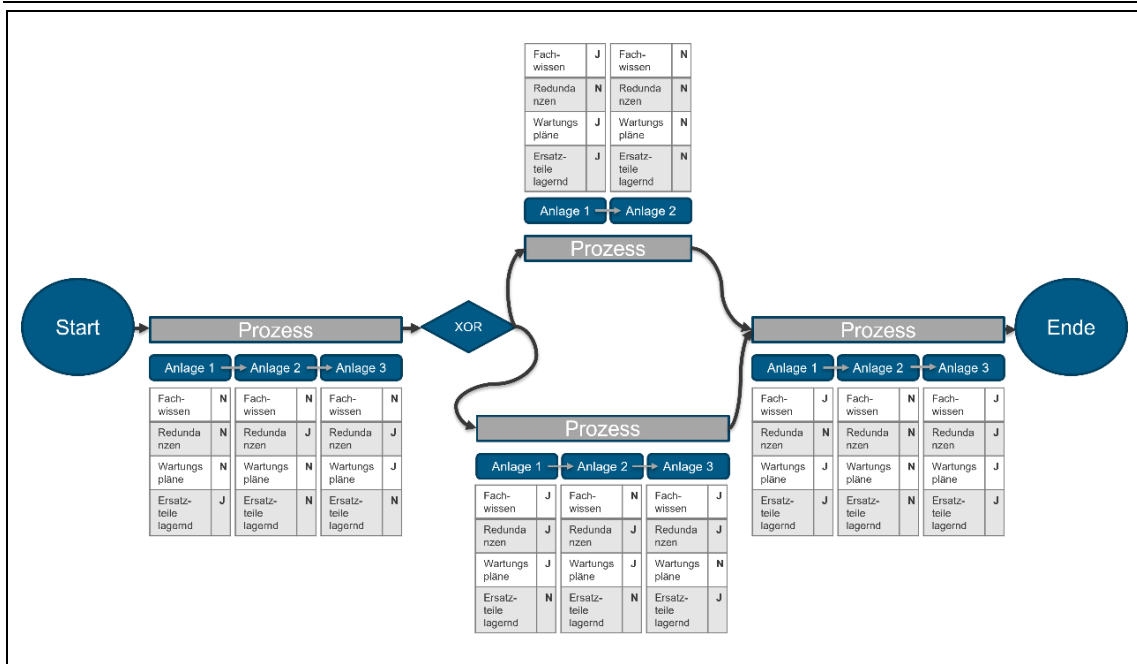
Im ersten Schritt wird das Ziel definiert sowie der Detaillierungsgrad der Aufschlüsselung (Festlegung der Hauptprozessschritte und Hierarchieebenen) abgesteckt. In Phase 2 werden Daten für die Prozessdarstellung erhoben. Diese Daten können angefangen vom Informationsfluss, den Anlagendaten, Konstruktionsdaten bis zu Betriebsdaten wie Anzahl der Produkte, Durchlaufzeiten umfassen. Hierbei ist es notwendig externe Einflussparameter auf den Prozess bzw. den Engpass mitzubeachten. Im letzten Schritt erfolgt der Bau des Modells.<sup>853</sup> Hierbei ist auf die Verwendung von einheitlichen Symbolen sowie auf eine farbliche Kennzeichnung zu achten.

Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung

Das Ziel der Wertstromanalyse ist es durch eine grafische Darstellung des Produktionsprozesses und der darin enthaltenen Anlagen, die kritischen Komponenten herauszufiltern. Hierbei wird der Prozess in seine Teilprozesse sowie die darin enthaltenen Anlagen aber auch Zwischenlager zerlegt und deren Verknüpfungen dargestellt.

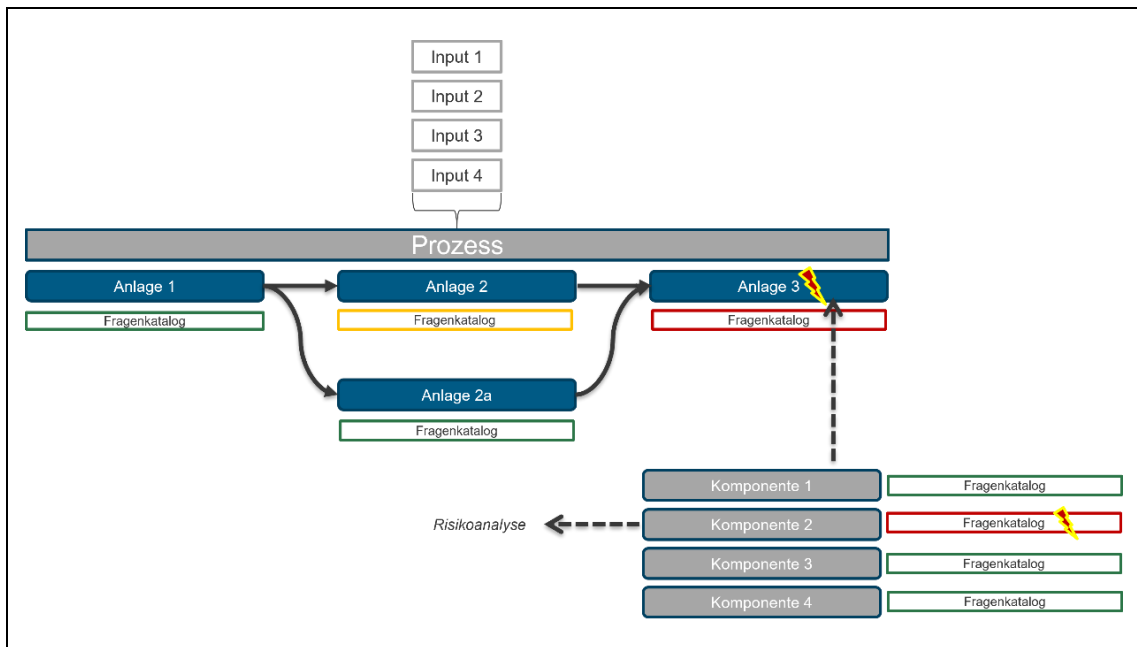
<sup>853</sup> Vgl. Jöbstl, O. (1999), S. 47 f.

Anhang B: Methodenbeschreibung und Erläuterung deren Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung



Darstellung eines verketteten Prozesses zur Identifikation kritische Anlagen<sup>854</sup>

Des Weiteren ist ein Fragenkatalog basierend auf den ausgewählten Kriterien (ähnlich einer Checkliste,) den einzelnen Anlagen zu hinterlegen und im Zuge der Durchführung für alle Anlagen zu beantworten. Je mehr Wechselwirkungen mit den Kriterien zu erkennen sind bzw. je mehr eine Anlage der Grund für einen nicht optimalen Anlagenbetrieb ist, desto kritischer ist die betrachtete Anlage einzustufen und sollte im Zuge der Detailanalysen näher betrachtet werden.



Identifikation kritischer Anlagen/Komponenten im Zuge der Wertstromanalyse<sup>855</sup>

<sup>854</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>855</sup> Quelle: Eigene Darstellung



### **Multikriterielle, qualitative Kriterienbewertung**

Die Kriterienbewertung ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Anlage und all ihrer Einflussfaktoren. Die qualitative Kriterienbewertung beruht auf Erfahrungswissen, da keine Daten für die Bewertung vorhanden sind. Durch die Involvierung unterschiedlicher Unternehmensbereiche wird eine ganzheitliche Sicht auf die Anlage ermöglicht, was eine objektive Bewertung<sup>856</sup> von Anlagen zur Identifikation der kritischsten bewirkt. Die Objektivität wird durch die Ableitung der Kriterien aus der Morphologie gegeben. Die ausgewählten Kriterien werden für die Bewertung beispielsweise in einem Excel Tool eingepflegt und jede Anlage hinsichtlich jedes Kriteriums anhand der definierten Ausprägungsstufen bewertet. Diese Ausprägungsstufen je Kriterium und die dahinterstehenden Zahlenwerte ergeben aufsummiert je Anlage den Anlagenindex<sup>857</sup>.

### **Multikriterielle, semiquantitative Kriterienbewertung**

Die multikriterielle, semiquantitative Kriterienbewertung verläuft gleich wie die qualitative mit dem Unterschied, dass teilweise bei der Bewertung der Kriterien auf Daten zurückgegriffen werden kann, was die Objektivität im Bewertungsprozess erhöht. Im Falle der semiquantitativen Kriterienbewertung wird eine Systemunterstützung empfohlen, um den Bewertungsaufwand in Grenzen zu halten.

### **Multikriterielle, quantitative Kriterienbewertung**

Die quantitative Kriterienbewertung ist eine datenbasierte, objektive Methodik zu Bewertung der Anlagen. Ihr Ablauf ist gleich der qualitativen bzw. der semi-quantitativen. Hier ist eine Systemunterstützung erforderlich.

---

<sup>856</sup> Vgl. Kinz, A.; Biedermann, H. (2015), S. 226.

<sup>857</sup> Vgl. Schröder, W. (2010a), S. 78.

## Methoden der Risikoanalyse

### **Fehlersammelliste inkl. Maßnahmenableitung**

Die Fehlersammelliste wird auch im Zuge der Risikoanalyse angewandt. Es werden, wie bereits bei den Methoden zur Kriterienbewertung beschrieben, Fehler gesammelt und im Anschluss analysiert. Der Unterschied zur Kriterienbewertung ist, dass bei der Risikoanalyse die häufigsten Fehler analysiert werden, nicht wie bei der Kriterienbewertung, die Anlagen mit den häufigsten Fehleraufkommen identifiziert werden. Weiters ist die Fehlersammelliste im Zuge der Risikobewertung mit der Maßnahmenableitung verbunden. Für die häufigsten Fehler werden Maßnahmen zur Reduktion der Auftretenshäufigkeit abgeleitet.

#### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Im Zuge der Risikoanalyse werden die häufigsten Fehler der kritischsten Anlage ausgewertet und in einem Workshop Maßnahmen zur Reduktion der Fehlerhäufigkeiten abgeleitet. Wesentlich ist hierbei, dass alle Personen, die mit der jeweiligen Anlage arbeiten im Risikoanalyseprozess involviert sind.

Diese Methodik kann mit der 5W, Fehlerursachenanalyse oder dem Ishikawa-Diagramm kombiniert werden.

### **5W**

Die 5W oder auch fünf-mal-Warum Methode dient der Ursachenfindung von Fehlern. Im Team wird ein Fehler nach dem anderen ausgewählt und sich die Frage gestellt „Warum ist er aufgetreten?“. Nach Ermittlung der Gründe wird wieder nach dem „Warum“ dahinter gefragt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis die wirkliche Ursache des Fehlers gefunden wurde, für den im nächsten Schritt Maßnahmen abgeleitet werden.<sup>858</sup>

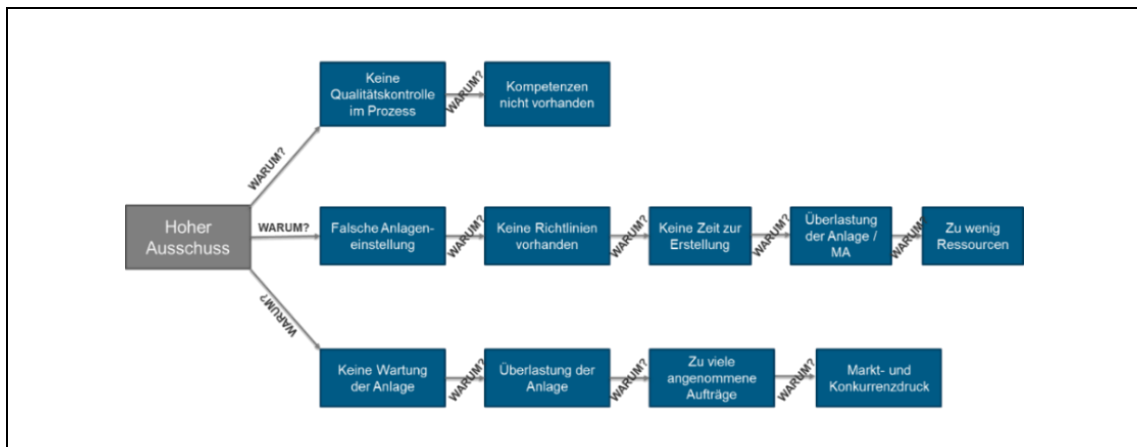
#### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Die 5-W Methode wird im Zuge der Risikoanalyse von kritischen Anlagen verwendet, um die Grundursache des Risikos zu identifizieren. In einem Workshop werden im Team die häufigsten Fehler der kritischsten Anlagen erhoben und die Ursachen durch Anwendung der Methode identifiziert.

Für einen Fehler können auch mehrere Ursachen identifiziert werden. Ist das der Fall, ist die Hauptursache im Team zu ermitteln und dementsprechend Maßnahmen zur Bekämpfung abzuleiten.

---

<sup>858</sup> Vgl. George, M. L. et al. (2004), S. 145.



Beispielhafte 5-W-Methode im Zuge der Risikoanalyse<sup>859</sup>

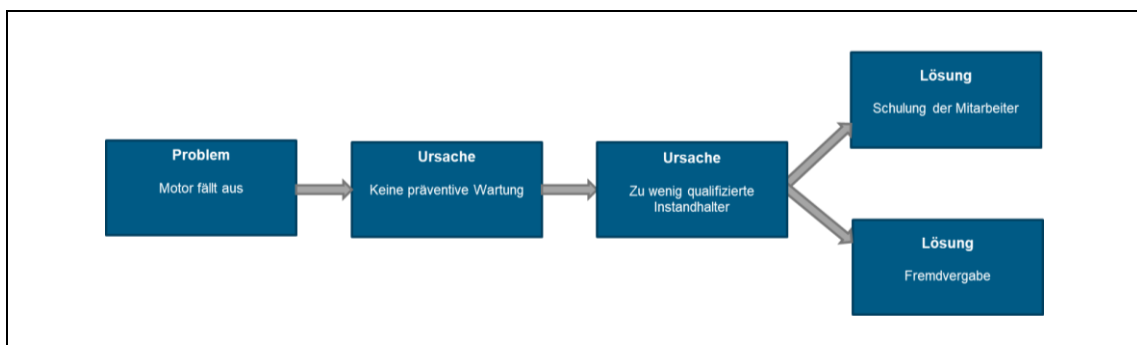
### Fehlerursachen-Analyse

Die Fehlerursachenanalyse ist eine qualitative Methode zur systematischen Analyse von Risiken. Die besteht aus folgenden vier Schritten:<sup>860</sup>

1. Datenerhebung: In dieser Phase werden alle Daten und Informationen zum betrachteten Fehler gesammelt.
2. Kausalanalyse: In dieser Phase werden die Zusammenhänge grafisch aufbereitet. Eine Möglichkeit zur Darstellung ist der Ereignisbaum.
3. Ursachenanalyse: Der dritte Schritt, die Ursachenanalyse fokussiert sich auf die Grundursachensuche, die auf Basis der kausalen Zusammenhänge ermittelt wird. Hier steht die Frage „Warum?“ im Mittelpunkt der Analyse. Diese wird so oft gestellt bis man den Ursprung des Fehlers eruiert hat.
4. Maßnahmendefinition und Implementierung: Im letzten Schritt werden Maßnahmen zur Risikoreduktion bzw. zukünftigen Fehlervermeidung abgeleitet.

### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Ähnlich der 5-W Methode, werden zuerst die häufigsten Fehler erhoben, die Ursachen dafür ermittelt sowie Maßnahmen zur Risikoreduktion abgeleitet. Der Unterschied zu den bereits genannten Methoden besteht darin, dass der Fehler, die Ursache sowie die Maßnahmen in einer Grafik dargestellt werden.



Beispielhafte Fehlerursachenanalyse<sup>861</sup>

<sup>859</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>860</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 100 f.

<sup>861</sup> Quelle: Eigene Darstellung

Mit der Fehlerursachenanalyse können Risiken strukturiert und übersichtlich auch ohne vorhandene Daten analysiert werden, jedoch ist diese Methodik sehr zeitintensiv vor allem wenn alle Risiken der kritischen Anlagen analysiert werden.

### Risikoidentifikationsmatrix

Die Risikoidentifikationsmatrix hat zum Ziel Risiken zeit- und ressourceneffizient zu erheben und grob zu bewerten. Dabei werden die Risikoursachen (horizontale Achse) den Auswirkungen (vertikale Achse) in Form einer Matrix gegenübergestellt und nach einer unternehmensspezifisch festgelegten Bewertungslogik numerisch bewertet. Als Abschluss wird die Summe je Ursache über alle Auswirkungen hinweg gebildet, was in einer Priorisierung der Ursachen resultiert.<sup>862</sup>

#### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Die Risikoidentifikationsmatrix ist eine geeignete Methodik, wenn viele Risiken je Anlage vorliegen. Hierzu werden im Team oder auf Basis vorhandener Daten aktuelle und potenzielle Fehler erhoben und in einer Matrix aufgelistet. Diesen Risiken werden die Auswirkungen gegenübergestellt und der Einfluss des Risikos auf die jeweilige Auswirkung bewertet. Im Zuge von Anlagenrisiken können die Auswirkungen beispielsweise Leib und Leben, Umwelt, Qualität, Markt und Produktion sein.

Am Beispiel ist deutlich erkennbar, dass die falsche Einstellung des Greifarms das gravierendste Risiko ist. Hierzu sollten im ersten Schritt Maßnahmen zu Risikoreduktion abgeleitet werden.

**Risikoidentifikationsmatrix zur Reihung von Anlagenrisiken<sup>863</sup>**

| Auswirkungen   | Fehler          |                       |                              |
|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|
|                | Motor fällt aus | Klappe bleibt stecken | Falsche Einstellung Greifarm |
| Leib und Leben | 2               | 7                     | 3                            |
| Qualität       | 10              | 2                     | 10                           |
| Produktion     | 10              | 8                     | 9                            |
| Umwelt         | 1               | 1                     | 1                            |
| Markt          | 1               | 1                     | 3                            |
| <b>Summe</b>   | <b>24</b>       | <b>19</b>             | <b>26</b>                    |

### Ishikawa-Diagramm

Das Ishikawa auch als Ursachen-Wirkungsdiagramm bekannt, wurde 1986 von dem japanischen Statistiker Kaoru Ishikawa<sup>864</sup> entwickelt und ist ein Werkzeug zur Unterstützung der Ursachenfindung. Hierzu werden zu einem Problem bekannte, sowie potenzielle Ursachen gesammelt, diese in Haupt- und Nebenursachen unterteilt und grafisch dargestellt.<sup>865</sup> Diese Ursachen können im Anschluss bewertet werden, um die

<sup>862</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 69.

<sup>863</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>864</sup> Vgl. Ishikawa, K. (1986)

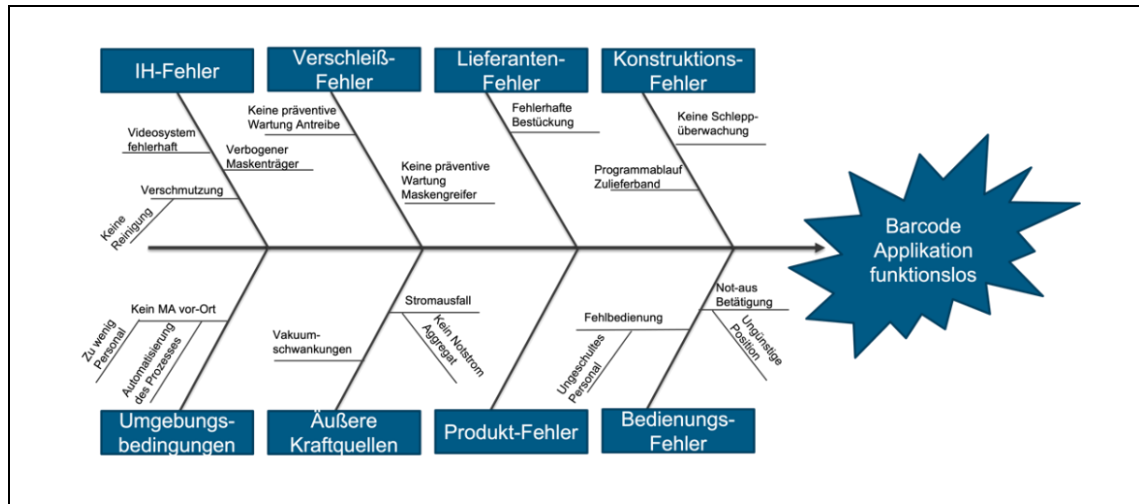
<sup>865</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 671f.; Romeike, F. (2018), S. 114.

wichtigste Hauptursache herauszufiltern, die im Detail im Zuge der  
Maßnahmenableitung behandelt werden soll.<sup>866</sup>

### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Das Ishikawa-Diagramm wird angewandt um die Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge der Anlagenrisiken, der als kritisch identifizierten Anlagen zu analysieren. Hierzu wird empfohlen, die Erstellung des Ishikawa-Diagramms mit Fachexperten durchzuführen.

Ein beispielhaftes Ishikawa-Diagramm zur Analyse eines Anlagenrisikos ist folgend dargestellt.



**Beispielhaftes Ishikawa-Diagramm für einen Anlagenfehler<sup>867</sup>**

Wichtig bei der Anwendung des Ishikawa-Diagramms ist es im Anschluss die Ursachen zu bewerten um dementsprechend für die wichtigsten Ursachen Maßnahmen abzuleiten.

### **KJ-Methode**

Diese Methode, die von Jiro Kawakite (1967) entwickelt wurde<sup>868</sup>, zählt zu den Kreativitätstechniken. Anhand von zwei Phasen werden die Ursachen sowie die Wirkungen von Risiken erhoben. Durchgeführt wird diese Methode an einer Pinnwand oder einer Tafel. Im ersten Schritt werden Stichworte zu einem Oberbegriff erhoben und gesammelt. Im nächsten Schritt werden diese geclustert um eine Risikolandschaft zu erhalten, die die Ursachen- und Wirkungszusammenhänge der Stichworte wiedergeben.<sup>869</sup>

### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Die KJ-Methode ist eine bei sehr geringe Datenqualität und -verfügbarkeit geeignete Methode Risiken zu analysieren. Hierzu werden in interdisziplinären Teams alle Risiken einer kritischen Anlage aufgeschrieben und auf eine Pinnwand geheftet. Im nächsten Schritt werden die Fehlerarten gruppiert und die Wirkungszusammenhänge zwischen

<sup>866</sup> Vgl. Theden, P.; Colman, H. (2005), S. 38 f.

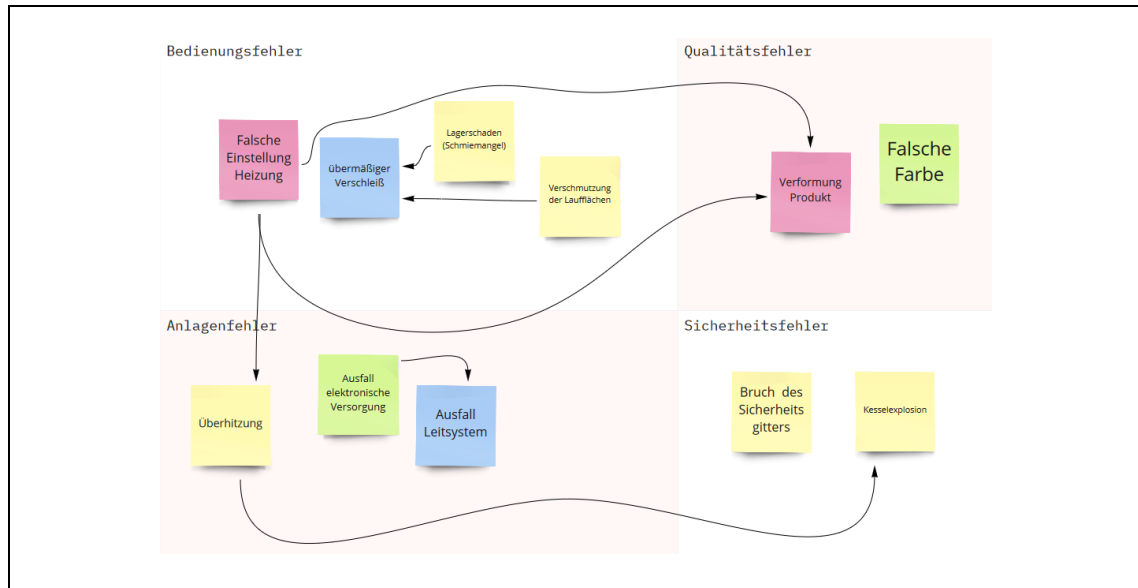
<sup>867</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Jöbstl, O. (1999), S. 292.

<sup>868</sup> Vgl. Scupin, R. (2008), S. 233 ff.

<sup>869</sup> Vgl. Romeike, F. (2018), S. 137 ff.

den Gruppen dargestellt. Teilweise bedingt ein Fehler einen anderen, was mit dieser Methode sehr gut veranschaulicht werden kann.

Wie im Beispiel ersichtlich, ist die falsche Einstellung der Heizung die Ursache für viele weitere Fehler. Daher sollten gegen diesen Fehler zuerst Maßnahmen zur Risikoreduktion abgeleitet werden. Auch diese Methode kann je nach Anzahl der als kritisch identifizierten Anlagen sehr umfangreich und ressourcenkonsumierend sein.



**Beispielhafte Anwendung der KJ-Methode für Anlagenfehler<sup>870</sup>**

### Fehlerbaumanalyse

Die Fehlerbaumanalyse, auch bekannt als Fault Tree Analysis (FTA), wurde von Watson 1961 eingeführt und zielt darauf ab gesicherte Informationen über einen Prozess oder ein System (Subsystem Anlage) zu erheben. Grundlage für die Durchführung bilden bereits aufgetretene oder potenzielle Fehler, die im Zuge der FTA auf ihre Ursache untersucht werden, um die Ausfallwahrscheinlichkeit beurteilen zu können. Theoretische Beziehungen zwischen den Risikokategorien (Top Events), den Risiken selbst (Gates) und den Risikofaktoren (Events) werden auf Grundlage der UND- und ODER-Logik dargestellt.<sup>871</sup>

Die Fehleranalyse kann sowohl qualitativ als auch quantitativ erfolgen. In der Regel umfasst sie sieben Schritte, die in drei Phasen aufgliedert sind.

In der ersten Phase werden die einzelnen Komponenten des Systems betrachtet und deren Funktionen dargestellt. Als Ergebnis erhält man einen Komponentenbaum, die Beschreibung der Organisation sowie Kenntnisse über das Verhalten des betrachteten Systems.

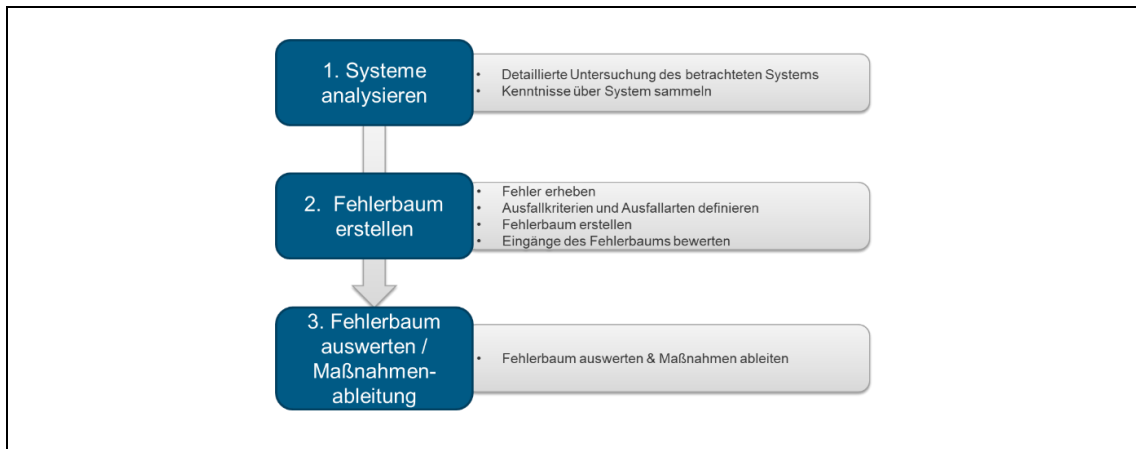
In der zweiten Phase steht die Erstellung des Fehlerbaums im Vordergrund. Hierfür werden für das unerwünschte Ereignis Ausfallkriterien definiert. Im Anschluss werden die Ausfallarten der einzelnen Komponenten ermittelt. Hier unterscheidet man in der

<sup>870</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>871</sup> Vgl. Roberts, N. et al. (1981); zitiert nach: Hyun, K.-C. et al. (2015), S. 122.; Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 707 f.

Regel zwischen primärem Ausfall, kommandiertem Ausfall und sekundärem Ausfall<sup>872</sup>.  
Auf Basis dessen kann der Fehlerbaum grafisch erstellt werden.

Die letzte Phase der FTA bildet die Auswertung des Fehlerbaums. Hierbei wird zwischen  
der qualitativen und der quantitativen Auswertung unterschieden<sup>873</sup>



#### Vorgehensmodell der Fehlerbaumanalyse<sup>874</sup>

Bei der quantitativen Analyse hingegen werden jedem Primärereignis und nicht weiterentwickelten Ereignis Ausfallwahrscheinlichkeiten zugewiesen. Hier ist die Datenverfügbarkeit Grundvoraussetzung für die Berechnung. Sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Fehlers bekannt, kann ausgehend von den einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten die Gesamtwahrscheinlichkeit des Top Ereignisses berechnet werden.<sup>875</sup> Im Anschluss können Maßnahmen zur Risikoreduktion abgeleitet werden.

#### Anwendung im Zuge der Risikoanalyse

Im Zuge der Fehlerbaumanalyse wird das Zusammenwirken potenzieller Ursachen für die jeweiligen Fehler mit Hilfe von logischen Verknüpfungen dargestellt. Hierzu werden bereits aufgetretenen sowie potenzielle Fehler im Team erhoben. Nachdem die Fehler erhoben wurden, werden diese priorisiert bevor mit der Erstellung des Fehlerbaums begonnen wird. Je Fehler muss ein Baum erstellt werden, was diese Methode zu einer sehr Zeitaufwändigen macht.

Im Falle des Beispiels wird die Ursache falsches Material und mangelnde Q-Kontrolle nicht weiter untersucht. Hingehen werden für die falsche Einstellung und die Verschmutzung der Anlage weitere Ursachen gesucht. Die rund dargestellten Ursachen, wie die Überlastung der Anlage bilden das Primärereignis, die Ursache, die den Ausfall größtenteils bedingt, ab.

Durch die detaillierte Aufschlüsselung der Risikoursachen, sind die Primärquellen auf den ersten Blick ersichtlich. Dementsprechend können im nächsten Schritt gezielt

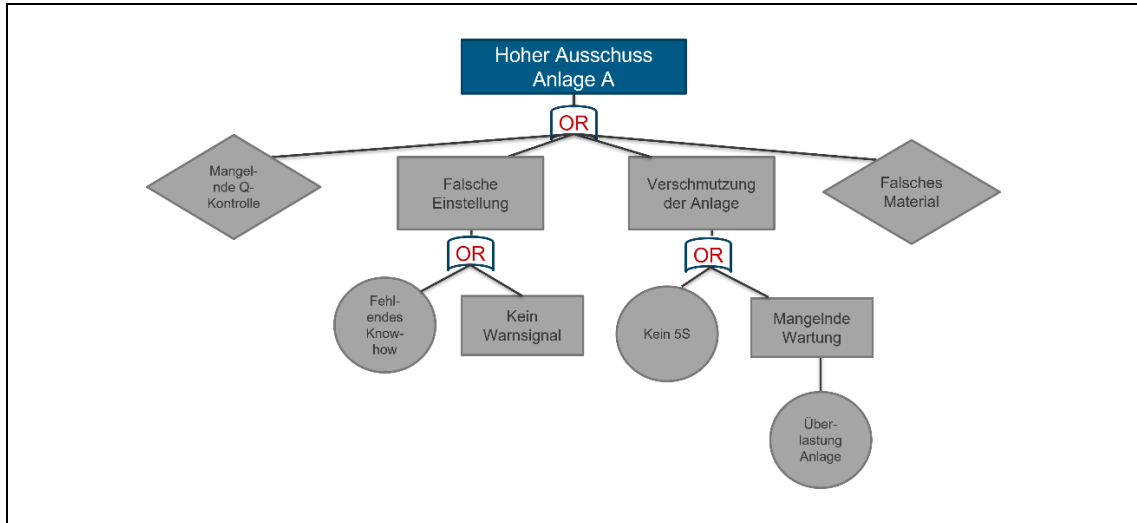
<sup>872</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der Ausfallarten siehe: Kamiske, G. F. (2012), S. 708.

<sup>873</sup> Vgl. Kamiske, G. F. (2012), S. 710.

<sup>874</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Kamiske, G. F. (2012), S. 708.; Jöbstl, O. (1999), S. 117.

<sup>875</sup> Vgl. Thode, J., <https://mpl.loesungsfabrik.de/blog/iso-13485/fehlerbaumanalyse> (Zugriff: 28.10.2021)

Maßnahmen zur Ursachenbekämpfung abgeleitet werden. Der Vorteil dieser Methodik ist, dass beim Vorhandensein von Daten, diese zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit herangezogen werden können.



Beispielhafte Darstellung einer FTA für ein Anlagenrisiko<sup>876</sup>

## FMEA

Die Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), ist eine systematische, strukturierte halbquantitative Risikoanalyse um potenzielle sowie bereits aufgetretene Schwachstellen eines Systems zu erfassen, zu bewerten und Maßnahmen zur Risikoreduktion abzuleiten.<sup>877</sup>

Die Durchführung der FMEA ist in folgende fünf Phasen unterteilt:

- **Systemanalyse**

Im ersten Schritt wird die Systemfunktion und der Systemzustand des betrachteten Systems sowie die darin enthaltenen Systemelemente definiert und verknüpft.<sup>878</sup>

- **Risikoidentifikation**

In diesem Schritt werden alle potenziellen und bereits aufgetretenen Risiken des festgelegten Teilsystems ermittelt.<sup>879</sup>

- **Risikobewertung**

Im Zuge der Risikobewertung, dem Hauptschritt der FMEA, werden die identifizierten Risiken nach den drei Faktoren (Auftrittswahrscheinlichkeit (A), Schadensausmaß (S) und Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)) bewertet.<sup>880</sup> Für die drei Faktoren werden

<sup>876</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>877</sup> Vgl. Gilchrist, W. (1993), S. 16.; Jöbstl, O. (1999), S. 110.; Kamiske, G. F. (2012), S. 689.; Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 256 f.,

<sup>878</sup> Vgl. Weber, M. (1994), S. 434.

<sup>879</sup> Vgl. Hering, E. et al. (1996), S. 115ff.; zitiert nach: Jöbstl, O. (1999), S. 111 f.

<sup>880</sup> Vgl. Schubert, M. (1993), S. 5ff.; Kamiske, G. F. (2012), S. 689 ff.; Romeike, F.; Hager, P. (2013), S. 314.



unternehmensspezifisch Ausprägungsformen inklusive dazugehöriger Zahlenwerte definiert. Im Normalfall werden alle drei Faktoren auf den Bereich von 1 bis 10 normiert. Die Multiplikation der drei Faktoren ergibt die Risikoprioritätszahl (RPZ), die die Wichtigkeit jedes einzelnen Risikos widerspiegelt. Sie kann zwischen 1 bis 1000 liegen.<sup>881</sup> Je höher die Zahl, desto kritischer ist das Risiko einzustufen.

- **Risikominimierung**

Ziel der Risikominimierung ist es Maßnahmen abzuleiten um die RPZ zu senken. Diese Maßnahmen können sich auf das Schadensausmaß, die Entdeckungswahrscheinlichkeit oder die Auftretenswahrscheinlichkeit auswirken, sowie alle drei Faktoren beeinflussen.<sup>882</sup>

- **Erfolgskontrolle**

Die Erfolgskontrolle ist der letzte Schritt der FMEA. Im Zuge dessen wird die Wirksamkeit der abgeleiteten Maßnahmen sowie der Abarbeitungsgrad des Maßnahmenplans überprüft.<sup>883</sup>

- **Dokumentation**

Die Dokumentation bildet die Klammer über den gesamten FMEA-Prozess. Hierbei sind Formblätter für den Prozess der Risikoidentifikation, -bewertung und -minimierung empfehlenswert um die Transparenz und die Ganzheitlichkeit der Bewertung zu erfassen.<sup>884</sup>

### **RPI-Analyse**

Die Risikoprioritätsindex (RPI)-Analyse ist eine auf der FMEA und der von GNONI und LETTERA<sup>885</sup> entwickelten Near-Miss-Index basierende Risikoklassifikationsmethode, die im Zuge dieser Dissertation entwickelt wurde. Ihr Ziel ist es Risiken objektiver und ganzheitlicher, als bei Anwendung einer herkömmlichen FMEA zu identifizieren, zu bewerten und Maßnahmen zur Risikoreduktion abzuleiten.

Hierzu ist eine Systemunterstützung unerlässlich um den Ressourcenaufwand der Bewertung einzugrenzen, die Transparenz des Bewertungsprozesses zu erhöhen und einen Standard zu etablieren. Deshalb wurde ein Excel-Tool zur Anwendung entwickelt. Gleich wie bei der FMEA sind die verwendeten Grundfaktoren die Auftretenshäufigkeit, die Entdeckungswahrscheinlichkeit und der Schadensindex. Für jeden der drei Faktoren gibt es anstatt der gewöhnlichen zehn Abstufungen im Falle der RPI maximal fünf. Somit ist der höchste zu erzielende RPI Wert 125.

Eine Darstellung beispielhafter Ausprägungsstufen ist unten ersichtlich.

---

<sup>881</sup> Vgl. hierzu stellvertretend: Schubert, M. (1993), S. 5 ff.; Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 70f.; Vgl. Romeike, F.; Hager, P. (2020), S. 315.

<sup>882</sup> Vgl. Pfeifer, T. (1996), S. 48.

<sup>883</sup> Vgl. Pfeifer, T. (1996), S. 51.

<sup>884</sup> Vgl. Jöbstl, O. (1999), S. 114.; Romeike, F. (2018), S. 87.; Romeike, F.; Hager, P. (2020), S. 315.

<sup>885</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der Methodik siehe: Gnoni, M. G.; Lettera, G. (2012)

## Anhang B: Methodenbeschreibung und Erläuterung deren Anwendung im Zuge der Kritikalitätsbewertung

Der Schadensindex ist im Falle der RPI-Analyse etwas umfassender, als der der im Zuge der FMEA erhoben wird, da er sowohl die Ausfallkosten als auch zusätzliche Auswirkungen auf Qualität, Leib und Leben, Produktion, Umwelt, Marktversorgung und deren jeweilige Ausprägung mitbetrachtet. Hierzu ist es wichtig die Auswirkungen unternehmensspezifisch von eins bis fünf im Vorfeld zu reihen

### Beispielhafte Ausprägungsstufen zur Berechnung des RPI<sup>886</sup>

| Hinterlegter Wert für RPI Berechnung | Auftretenshäufigkeit      | Entdeckungswahrscheinlichkeit | Schadensausmaß (monetär) |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1                                    | Nie / potenzielles Risiko | Sehr hoch                     | Bis 10 000€              |
| 2                                    | 1-malig aufgetreten       | Hoch                          | 10.000€ – 50.000€        |
| 3                                    | 1-mal in 10 Jahren        | Mittel                        | 50.000€ - 100.000€       |
| 4                                    | 1-mal in 5 Jahren         | Gering                        | 100.000€- 500.000€       |
| 5                                    | 1-mal im Jahr             | Sehr gering                   | > 500.000€               |

### Beispielhafte Reihung der nicht monetären Auswirkungen eines Risikos<sup>887</sup>

| Merkmal         | Reihung |
|-----------------|---------|
| Leib und Leben  | 1       |
| Qualität        | 2       |
| Umwelt          | 3       |
| Produktion      | 4       |
| Marktversorgung | 5       |

Im Zuge der Bewertung wird für jedes der fünf Merkmale die jeweilige Auswirkung auf das einzelne Risiko erhoben. Hierbei wird zwischen „keine Auswirkung“, „geringe Auswirkung“ und „schwerer Auswirkung“ unterschieden.

Zusätzliche Auswirkung des Risikos auf:

|                  |   |
|------------------|---|
| Qualität:        | <input type="text"/>  |
| Leib und Leben:  | <input type="text"/> <ul style="list-style-type: none"> <li>keine Auswirkungen</li> <li>geringe Auswirkungen</li> <li>schwere Auswirkungen</li> </ul> |
| Produktion       | <input type="text"/>  |
| Umwelt:          | <input type="text"/>  |
| Marktversorgung: | <input type="text"/>  |

### Auswirkungen der einzelnen Merkmale eines Risikos<sup>888</sup>

Keine Auswirkung wird mit 0 Punkten in die Bewertung mitaufgenommen, geringe Auswirkung mit dem Wert 0,35 und eine schwere Auswirkung mit 0,7 bewertet. Somit kann der Maximalwert der Auswirkungen 3,5 betragen.

Weiters ist im Schadensausmaß die Schwere des Risikos enthalten. Diese ist einerseits davon abhängig, ob das Risiko einen Anlagenausfall bedingt und andererseits von der

<sup>886</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>887</sup> Quelle: Eigene Darstellung

<sup>888</sup> Quelle: Eigene Darstellung, Auszug aus RPI-Tool

Fehlerquelle. Ein kurzfristiger Anlagenausfall wird mit  $0,16^-$  bewertet, ein langfristiger mit  $0,33^-$  und einer der zu einem Produktionsausfall führt mit  $0,5$ . Bei der Fehlerquelle wird zwischen personenbezogenen Fehlern (Bedienungsfehler, Einstellungsfehler), Betriebsfehlern (Qualitäts- und Sicherheitsfehler) und Systemfehlern (Produktionsfehler, Anlagenfehler), unterschieden Diese drei Arten werden unternehmensspezifisch gereiht, mit den Werten des Anlagenausfalls multipliziert und dementsprechend in der Kalkulation des Schadenindex mitberücksichtigt.

**Beispielhafte Reihung der Fehlerquelle<sup>889</sup>**

| Merkmal             | Reihung |
|---------------------|---------|
| Systemfehler        | 1       |
| Menschlicher Fehler | 2       |
| Betriebsfehler      | 3       |

Die errechneten Werte für einen möglichen Anlagenausfall und die Fehlerquelle werden aufsummiert und mit dem maximalen Wert von fünf in die Berechnung des Schadensindexes mit aufgenommen.

Der Schadensindex ist somit das Produkt aus den Ausfallkosten, die mit 70% gewichtet werden und den zusätzlichen Auswirkungen, die mit 30% in der Berechnung berücksichtigt werden. Maximal ist ein Schadensindex von fünf zu erreichen.

$$\text{Schadensindex} = 0,7x \text{ Auprägung Kosten} + 0,3x \text{ zusätzliche Auswirkung} \quad (\text{Formel 1})$$

Bei Bedarf können die Prozentanteile des jeweiligen Einflusses angepasst werden.

Um den jeweiligen Risiken, je nach Zugehörigkeit zu den Anlagen und deren Kritikalität, mehr Wichtigkeit zuzusprechen, wird auch das Ergebnis der Kriterienbewertung zu 20% in die Berechnung des RPI integriert. Der maximale RPI ist somit 150.

Alle Risiken werden anhand dieser drei Faktoren (A\*E\*S) bewertet und auf Basis des jeweiligen RPIs können die betrachteten Risiken gereiht werden.

Im Anschluss werden für die jeweiligen Risiken, gleich wie im Zuge einer FMEA, Maßnahmen zur Reduktion der drei Faktoren abgeleitet. Weiters wird im Zuge der RPI-Analyse auch der Aufwand sowie der Nutzen der abgeleiteten Maßnahmen mitbetrachtet, um eine objektivere Priorisierung der Maßnahmenumsetzung zu erzielen. Hierzu werden die jährliche Einsparung (Formel 2) und der Break Even Point (BEP) (Formel 3) bzw. ob sich die Maßnahme überhaupt rentiert zur Quantifizierung des Nutzens herangezogen.

$$\text{Jährlich Einsparung} = (\text{Schadenskostengesamt pro Jahr} - \text{monetärer Aufwand zur Risikobekämpfung} - \text{jährlicher Aufwand zur Risikobekämpfung}) \quad (\text{Formel 2})$$

$$\text{Break Even Point} = \frac{\text{Einmaliger Aufwand}}{\text{Jährliche Einsparung}} \quad (\text{Formel 3})$$

<sup>889</sup> Quelle: Eigene Darstellung





# Anhang D: Anwendungsfall 2 + 3 – Pharmazeutisches Unternehmen

## Morphologiebewertung: Pharmazeutische Verpackung – Unternehmen und Markterfolgskriterien



Morphologie zur Kritikalitätsbewertung

| Kategorie                                     | Charakteristika                                     | Ausprägungen                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------------|
|   |   | Automobil                                 | Kunststoff                                | Metallverarbeitung                        | Zellstoff/Papier                          | Chemie                                    | Stahl                                     | Holz                                      | Energie                                   | Pharma                                    | Lebensmittel                              | Maschinenbau                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
| Unternehmen & Markterfolgskriterien           | Branche   | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          |   |                         |
|   | Unternehmensgröße                                   | <10 Mitarbeiter                           | 10-49 Mitarbeiter                         | 50-100 Mitarbeiter                        | 101-249 Mitarbeiter                       | >249 Mitarbeiter                          | non-GMP                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|   | Unternehmensbereich                                 | Biologische Produktion                    | Pharmazeutische Verpackung                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|   | Markstellung  | Monopol                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|   | Marktanteil   | <10%                                      | 10-20%                                    | 21-50%                                    | 51-80%                                    | 81-99%                                    | 100%                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|   | Zugang zu günstigen Rohstoffen                      | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend                          | nicht zutreffend        |
|   | Unterscheidungsgrad zu branchengleichen Unternehmen | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                                   | niedrig                 |
|   | Strategisches Ziel                                  | Kostenführerschaft                        | Qualitätsführerschaft                     | Technologieführerschaft                   | Qualitäts- & Kostenführerschaft           | Technologie- & Kostenführerschaft         | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft                   | Technologieführerschaft |
|   | Strategische Ziele sind ... zu erreichen            | keine strategischen Ziele                 | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                                  | statisch                |
|   | Strategieanpassung                                  | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend                               | stagnierend             |
|   | Wachstumsrate im letzten Jahr                       | <5%                                       | 5-8%                                      | 9-12%                                     | 13-15%                                    | >15%                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|   | Flexibilität  | Massenmarkt                               | Nischenmarkt                              | segmentierter Markt                       | diversifizierter Markt                    | Multi-Sided Platform                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
| Kundenkreis                                   | keine Konkurrenz                                    | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          |                         |
| Verfügbarkeit Arbeitskräfte (am Arbeitsmarkt) | lang (>10 Jahre)                                    | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          | lang (>10 Jahre)                          |                         |
| Durchschn. Firmenzugehörigkeit                | homogen   | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 | heterogen                                 |                         |
| Supply Chain Varietät                         | konstant  | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           | variiert selten                           |                         |
| International/nationale Ausrichtung           | eigenständiges Unternehmen                          | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       | tochtergesellschaft                       |                         |
| Umweltanforderung Lärm                        | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden |                         |
| Umweltanforderung Geruch                      | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden |                         |
| Umweltanforderung Schadstoffe                 | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden |                         |
| Sicherheitsanforderungen                      | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden           | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden | gesetzliche Anforderungen nicht vorhanden |                         |

Alle antworten zurücksetzen

## Morphologiebewertung: Pharmazeutische Verpackung – Technologiereife und Produktportfolio

| Kategorie                             | Charakteristika                              |                          | Ausprägungen   |   |   |  |
|---------------------------------------|--|--------------------------|--|---|---|--|
|                                       | Technologiestrategie                         | Technologierorientierung | Wirtschaftl., Produktifizierung, bewährte Technologien       | technologische Gefolgschaft                               | Wettbewerbsdenken, rasche Reaktion, Kenntnis    | Technologieführerschaft                                  |
| Technologiereife und Produktportfolio | Technologierorientierung                     | nicht zutreffend         | keine Veränderungen, hohe Imitationsfähigkeit                | defensiv  | offensiv  |  |
|                                       | Technologegrad                               | nicht zutreffend         | keine Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten              | geringe Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten         | große Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten |  |
|                                       | Anwendungsart/Technologie                    | nicht zutreffend         | keine Anwendung neuer Technologien                           | tlw. Einsatz von Prototypen                               | Einführungsphase neuer Technologien             | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |
|                                       | Kompatibilität                               | nicht zutreffend         | neue Technologie ist attraktiv & hat keine negativen Effekte | neue Technologie ist attraktiv, aber hat negative Effekte | neue Technologie ist unattraktiv                | neue Technologie ist unattraktiv                         |
|                                       | Anwendungsbreite                             | nicht zutreffend         | intern   | intern und extern   | intern und extern                               | anwendungsfelderübergreifend                             |
|                                       | (Weiter-) Entwicklungspotenzial              | nicht zutreffend         | weder Leistungssteigerung noch Kostensenkung                 | keine Leistungssteigerung, aber Kostensenkung             | Leistungssteigerung, keine Kostensenkung        | Leistungssteigerung & Kostensenkung                      |
|                                       | Techn.-qualitativer Beherrschungsgrad        | nicht zutreffend         | Entwicklungsrückstand  |   | Entwicklungsvorsprung                           |  |
|                                       | Potenziale (Re-)Aktionsgeschwindigkeit       | nicht zutreffend         | langsam  | Ressourcen sind vorhanden                                 | hoch  | Ressourcen sind schwer beschaffbar                       |
|                                       | Technologiearten                             | nicht zutreffend         | verdrängte Technologie                                       | mittel  | Basistechnologie                                | Schlüsseltechnologie                                     |
|                                       | Produktnachfrage                             | nicht zutreffend         | beständig  | gleichbleibend  | verbesserungsorientiert                         | gleichbleibend   |
|                                       | Produktivität                                | nicht zutreffend         | alle Produkte sind gleich                                    | eher beständig  | eher schwankend                                 | schwankend   |
|                                       | optimaler Produktwechselzyklus in Produktion | nicht zutreffend         | > 14 Tage  | bis zwei Wochen   | tlw. ungleiche Produkte/Prozesse                | überwiegend ungleiche Produkte/Prozesse                  |
|                                       | Aufwand Produktwechselzyklus                 | nicht zutreffend         | <1h  | 1-4h  | 0,5-1 Tag                                       | 1 Tag  |
|                                       | Ausfallrisiko bei Produktwechsel             | nicht zutreffend         | keines   | geringes  | mittleres                                       | hohes  |
| Umstellkosten                         | nicht zutreffend                             | <0,5%                    | 0,5-1,4%   | 1,5%  | 1,6-3%  |  |
| Produktzusammensetzung                | nicht zutreffend                             | gleichbleibend           | annahmend gleichbleibend                                     | variiert tlw.   | variiert stark                                  | variiert sehr stark                                      |

## Morphologiebewertung: Pharmazeutische Verpackung – Produktion, Asset

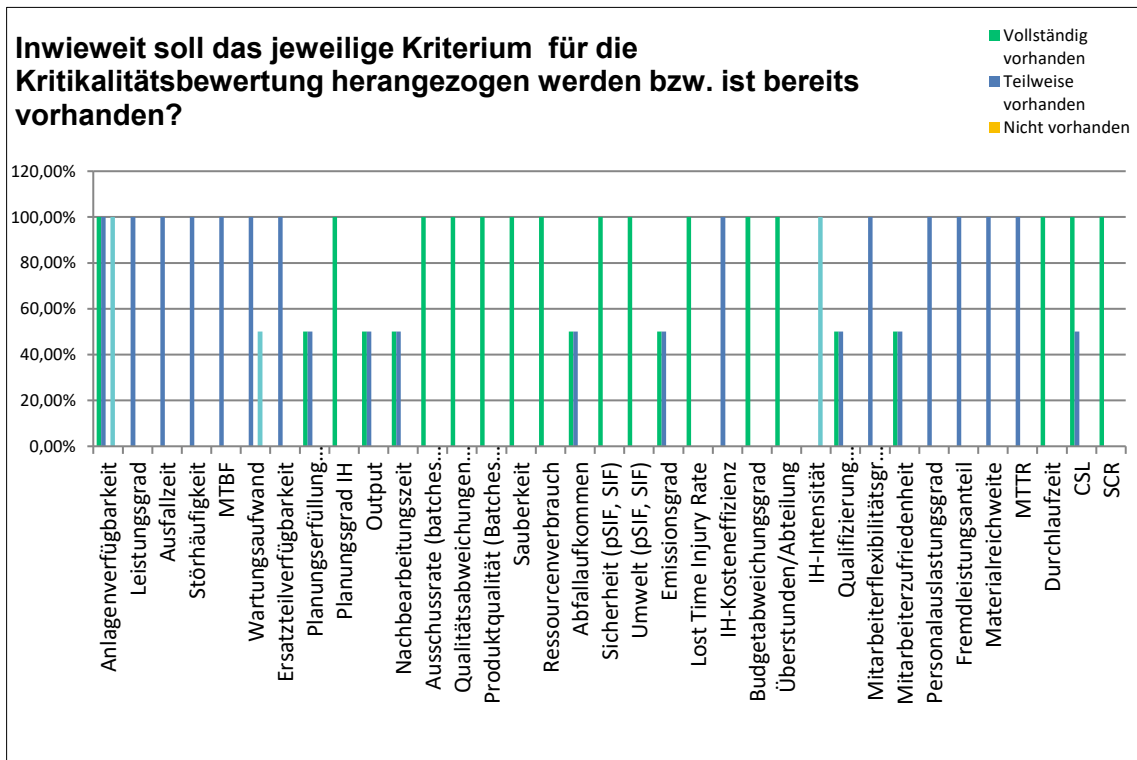
| Kategorie  | Charakteristika  | Ausprägungen  |  |  |  |  |  |
|------------|--|---|--|--|--|--|--|
|            |  | Massenfertigung                                       | Sortenfertigung  | Serienfertigung                              | Einzelfertigung  | Charakterisierung                            |  |
| Produktion | Fertigungsart  | nicht zureifend<br>nicht zureifend<br>nicht zureifend | Massenfertigung<br>ortsungebundene Fertigung<br>Lagerfertigung | Sortenfertigung<br>ortsungebundene Fertigung | Serienfertigung<br>ortsungebundene Fertigung                                 | Einzelfertigung<br>ortsungebundene Fertigung | Charakterisierung<br>Programmfertigung |
|            | Fertigungsprinzip  | nicht zureifend                                       | Baustellfertigung<br>Gruppenfertigung                          | Fließfertigung<br>Relieffertigung            | Fließfertigung<br>Fließbandfertigung   | Transferstraßen                              | Werkstattfertigung                     |
|            | Anforderungen an Produktqualität                         | nicht zureifend                                       | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q.Sicherung                      | Überprüfung während Prozess                  | Produktqualität Erfolgsfaktor des Unternehmens, laufende Verbesserung        |  |  |
|            | Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz          | nicht zureifend                                       | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt                       | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen   | laufende Evaluierung und Verbesserung der Sicherheitsbestimmungen            |  |  |
|            | Anforderungen an Arbeitsproduktivität/Wirtschaftlichkeit | nicht zureifend                                       | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse                        | tlw. Analyse v. Kennzahlen                   | laufende Analyse von Kennzahlen & Optimierung der Arbeitsproduktivität       |  |  |
|            | Anforderungen an Umwelt (ökologische Aspekte)            | nicht zureifend                                       | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt                       | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen   | laufende Optimierung d. Produktionsprozesses hinsichtlich Ressourcenschonung |  |  |
|            | Reifigkeit d. Produkte                                   | nicht zureifend                                       | keine Verwertung   | Wiederverwertung                             | Wiederverwertung   | Wiederverwertung                             | Weitenverwendung                       |
|            | Nachbearbeitungszeit Ausschuss                           | nicht zureifend                                       | keine  | <1h/Monat                                    | 1-10h/Monat  | 11-24h/Monat                                 | >24h/Monat                             |
|            | Produktions-Schichtmodell                                | nicht zureifend                                       | kein Wochenendbetrieb  | 2-schichtig                                  | 3-schichtig  | 4-schichtig                                  | 5-schichtig                            |
|            | Einsatzintensität der Produktion                         | nicht zureifend                                       | Material-intensiv<br>verbesserungswürdig                       | Anlage-intensiv<br>durchwachsen              | Arbeits-intensiv   | Informations-intensiv                        | optimal                                |
| Asset      | Durchschn. Qualifizierungsgrad                           | nicht zureifend                                       | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten           | anlagenbezogen / tlw.-vorhanden              |  |  | keine                                  |
|            | Ausweichmöglichkeiten / Redundanz                        | nicht zureifend                                       | keine  | elastisch                                    | starr ohne Taktzwang   |  | starr mit Taktzwang                    |
|            | Verfettung   | nicht zureifend                                       | schlecht   | gut  |  |  |  |
|            | Zeitbezogener Erhaltungszustand                          | nicht zureifend                                       | gering   | mittel                                       |  |  |  |
|            | Komplexität der Anlagen                                  | nicht zureifend                                       | veraltet   | aktualisiert                                 |  |  | hoch                                   |
|            | Stand der Technik der Anlagen                            | nicht zureifend                                       | <5 Jahre   | 5-10 Jahre                                   | 11-20 Jahre  |  | neu                                    |
|            | Alter der Anlagen (durchschnittlich)                     | nicht zureifend                                       | homogen  | verschiedene Hersteller                      | gleiche Hersteller   | verschiedene Hersteller                      | heterogen                              |
|            | Anlagenpark  | nicht zureifend                                       | gleiche Hersteller<br>manuell                                  | Einzelanlagen<br>mechanisch                  | Spezialanlagen   | Einzelanlagen<br>automatisiert               | Spezialanlagen                         |
|            | Automatisierungsgrad                                     | nicht zureifend                                       | gleichbleibend   | annähernd gleichbleibend                     | variiert tlw.  | variiert stark                               | variiert sehr stark                    |
|            | Durchschn. Auslastungsgrad                               | nicht zureifend                                       | gleichbleibend   | annähernd gleichbleibend                     | variiert tlw.  | variiert stark                               | variiert sehr stark                    |



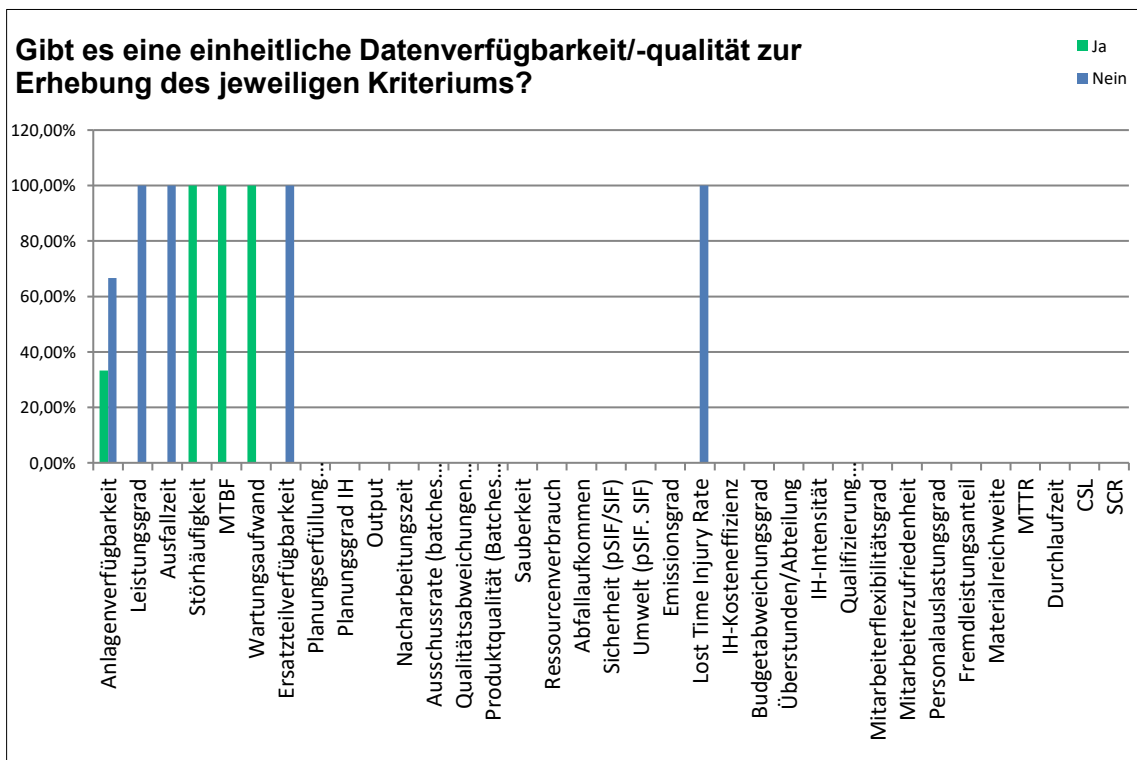
Morphologiebewertung: Pharmazeutische Verpackung – Instandhaltung/Anlagentechnik, Digitalisierung/Daten

| Kategorie                       | Charakteristika                          | Ausprägungen                                  |   |   |   |
|---------------------------------|--|---|---|---|---|
| Anlagentechnik                  | Erfüllungsgrad                           | nicht zureifend                               | nicht erfüllt                           | verpätet                                | zeitgerecht                                       |
|                                 | Budgetierung der AT                      | nicht zureifend                               | statisch                                | vergangenheitsbezogen                   | dynamisch   |
|                                 | Outsourcing-Anteil(DI)                   | nicht zureifend                               | nur externe DL                          | mehr externe als interne DL             | risikoorientiert<br>mehr interne als externe DL   |
|                                 | Schichtmodell                            | nicht zureifend                               | kein Wochenendbetrieb                   | Wochenendbetrieb                        | nur bei Großprojekten<br>keine Fremddienstleister |
|                                 | Instandhaltungs(IH)-Intensität           | nicht zureifend                               | 1-schichtig                             | 2-schichtig                             | 3-schichtig                                       |
|                                 | Ausfallkosten                            | nicht zureifend                               | <1%                                     | 1-3%                                    | 4-10%<br>>10%                                     |
|                                 | Ausfallkostenart                         | nicht zureifend                               | nicht bekannt                           | bekannt                                 | dokumentiert                                      |
|                                 | Dezentralisierungsgrad                   | nicht zureifend                               | unternehmensspezifisch                  | manuelle Erfassung                      | automatische Erfassung                            |
|                                 | Durchlaufzeit der IH-Tätigkeiten         | nicht zureifend                               | dezentral                               | anlagenspezifisch                       | produktspezifisch                                 |
|                                 | Mitarbeiteranteil der AT (AT/Produktion) | nicht zureifend                               | hoch                                    | eher dezentral                          | eher zentral                                      |
|                                 | Sicherheit, Sauberkeit, Ordnung          | nicht zureifend                               | <40%                                    | mittel                                  | gering  |
|                                 | IH-Strategie (vorwiegend)                | nicht zureifend                               | keine                                   | keine Beachtung                         | teilw. Standards                                  |
|                                 | Strategieanpassung                       | nicht zureifend                               | reaktiv                                 | präventiv                               | prädiaktiv  |
|                                 | Erstattteilverfügbarkeit                 | nicht zureifend                               | statisch                                | veranschauend                           | dynamisch   |
| Planungsgrad d. Anlagentechnik  | nicht zureifend                          | keine vorhanden                               | nur für Schlüsselanlagen                | laut Herstellerinformation              |   |
| Qualifizierung des Personals    | nicht zureifend                          | niedrig                                       | mittel                                  | hoch                                    |   |
| Grad d. Funktionale Integration | nicht zureifend                          | schlecht                                      | mittel                                  | hoch                                    |   |
| Digitalisierungsgrad            | nicht zureifend                          | Fachwissen für Bearbeitung nicht erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung erforderlich |   |
| Datenqualität                   | nicht zureifend                          | keine Fertigkeiten                            | vereinzelt Tätigkeiten                  | bei allen Anlagen                       |   |
|                                 |  | gering  | mittel                                  | hoch                                    |   |
|                                 |  | sehrschlecht                                  | schlecht                                | gut                                     |   |
|                                 |  |   |   | sehr gut                                |   |

### Umfrage zur Datenqualität – Teil 1



### Umfrage zur Datenqualität – Teil 2



### AHP-Gewichtung – Stabilität

|            |                           | Gewichtung der Kriterien |                |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|------------|---------------------------|--------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-------------|---------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|            |                           | als                      |                |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            |                           | Bewertungskriterium 2    |                |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            |                           | Stabilität               |                |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | wichtiger                 | Anlagenverfügbarkeit     | Storhäufigkeit | MTBF | Storhäufigkeit | Wartungsaufwand | Ersatzteilverfügbarkeit | Wartungsaufwand | Überfällige Wartungen | Planungsgrad | Überfällige Wartungen | Ausfallzeit | Einhaltung der Planzeiten | Output | Alter der Anlage | Dauer Chargenwechsel | Wartungsverträge |
| Stabilität | Anlagenverfügbarkeit      | 3                        |                |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Storhäufigkeit            | 3                        | 1              |      |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | MTBF                      | 1/5                      | 1/5            | 1/5  |                |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Wartungsaufwand           | 1/3                      | 1/3            | 1/3  | 3              |                 |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Ersatzteilverfügbarkeit   | 1/3                      | 1              | 1    | 1              | 1/3             |                         |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Planungsgrad              | 1/5                      | 1/3            | 1    | 1              | 1/3             | 1                       |                 |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Überfällige Wartungen     | 1                        | 3              | 1    | 3              | 1               | 3                       | 5               |                       |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Ausfallzeit               | 1/5                      | 1/5            | 1/5  | 1              | 1               | 3                       | 5               | 1/5                   |              |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Einhaltung der Planzeiten | 5                        | 7              | 7    | 7              | 7               | 9                       | 9               | 7                     | 9            |                       |             |                           |        |                  |                      |                  |
|            | Output                    | 1/7                      | 1/7            | 1/7  | 1/7            | 1/7             | 1/7                     | 1/7             | 1/7                   | 1/7          | 1/7                   | 1/7         | 1/7                       | 1/7    | 1/7              | 1/7                  | 1/7              |
|            | Alter der Anlage          | 1/7                      | 1/7            | 1/7  | 1/7            | 1/7             | 1/7                     | 1/7             | 1/7                   | 1/7          | 1/7                   | 1/7         | 1/7                       | 1/7    | 1/7              | 1/7                  | 1/7              |
|            | Dauer Chargenwechsel      | 1/7                      | 1/7            | 1/7  | 1/7            | 1/7             | 1/7                     | 1/7             | 1/7                   | 1/7          | 1/7                   | 1/7         | 1/7                       | 1/7    | 1/7              | 1/7                  | 1/7              |
|            | Wartungsverträge          | 1/7                      | 1/7            | 1/7  | 1/7            | 1/7             | 1/7                     | 1/7             | 1/7                   | 1/7          | 1/7                   | 1/7         | 1/7                       | 1/7    | 1/7              | 1/7                  | 1/7              |

wichtiger

Eingabewerte:

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 1       | gleiche Bedeutung             |
| 3       | etwas größere Bedeutung       |
| 5       | sehr viel größere Bedeutung   |
| 7       | erheblich größere Bedeutung   |
| 9       | absolut dominierend           |
| 2,4,6,8 | Zwischenwerte                 |
| 1       | gleiche Bedeutung             |
| 1/3     | etwas geringere Bedeutung     |
| 1/5     | sehr viel geringere Bedeutung |
| 1/7     | erheblich geringere Bedeutung |
| 1/9     | weit unwichtiger              |

### AHP-Gewichtung - Qualität

|                              |                 |                                 |  |                      |                      |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------|--|----------------------|----------------------|
|                              |                 | <b>Gewichtung der Kriterien</b> |  |                      |                      |
|                              |                 | <b>als</b>                      |  |                      |                      |
|                              |                 | <b>Bewertungskriterium 2</b>    |  |                      |                      |
|                              |                 | <b>Qualität</b>                 |  |                      |                      |
| <b>Bewertungskriterium 1</b> | <b>Qualität</b> | <b>wichtiger</b>                |  | Ausschussrate        | Technical Deviations |
|                              |                 |                                 |  | Ausschussrate        | 5                    |
|                              |                 |                                 |  | Technical Deviations |                      |

### AHP-Gewichtung – Mitarbeiter

|                              |                    |                                 |  |                          |                         |                          |                    |
|------------------------------|--------------------|---------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
|                              |                    | <b>Gewichtung der Kriterien</b> |  |                          |                         |                          |                    |
|                              |                    | <b>als</b>                      |  |                          |                         |                          |                    |
|                              |                    | <b>Bewertungskriterium 2</b>    |  |                          |                         |                          |                    |
|                              |                    | <b>Mitarbeiter</b>              |  |                          |                         |                          |                    |
| <b>Bewertungskriterium 1</b> | <b>Mitarbeiter</b> | <b>wichtiger</b>                |  | Qualifizierungsgrad      | Mitarbeiterflexibilität | Mitarbeiterzufriedenheit | Personalauslastung |
|                              |                    |                                 |  | Qualifizierungsgrad      |                         |                          |                    |
|                              |                    |                                 |  | Mitarbeiterflexibilität  | 5                       |                          |                    |
|                              |                    |                                 |  | Mitarbeiterzufriedenheit | 9                       | 9                        |                    |
|                              |                    |                                 |  | Personalauslastung       | 3                       | 1/5                      | 1/7                |

### AHP-Gewichtung – Kosten

|                              |               |                              |  |                       |                       |               |                       |
|------------------------------|---------------|------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                              |               | <b>als</b>                   |  |                       |                       |               |                       |
|                              |               | <b>Bewertungskriterium 2</b> |  |                       |                       |               |                       |
|                              |               | <b>Kosten</b>                |  |                       |                       |               |                       |
| <b>Bewertungskriterium 1</b> | <b>Kosten</b> | <b>wichtiger</b>             |  | IH-Kosteneffizienz    | Budgetabweichungsgrad | IH-Intensität | Überstunden/Abteilung |
|                              |               |                              |  | IH-Kosteneffizienz    |                       |               |                       |
|                              |               |                              |  | Budgetabweichungsgrad | 1/5                   |               |                       |
|                              |               |                              |  | IH-Intensität         | 3                     | 5             |                       |
|                              |               |                              |  | Überstunden/Abteilung | 1/3                   | 3             | 1/5                   |

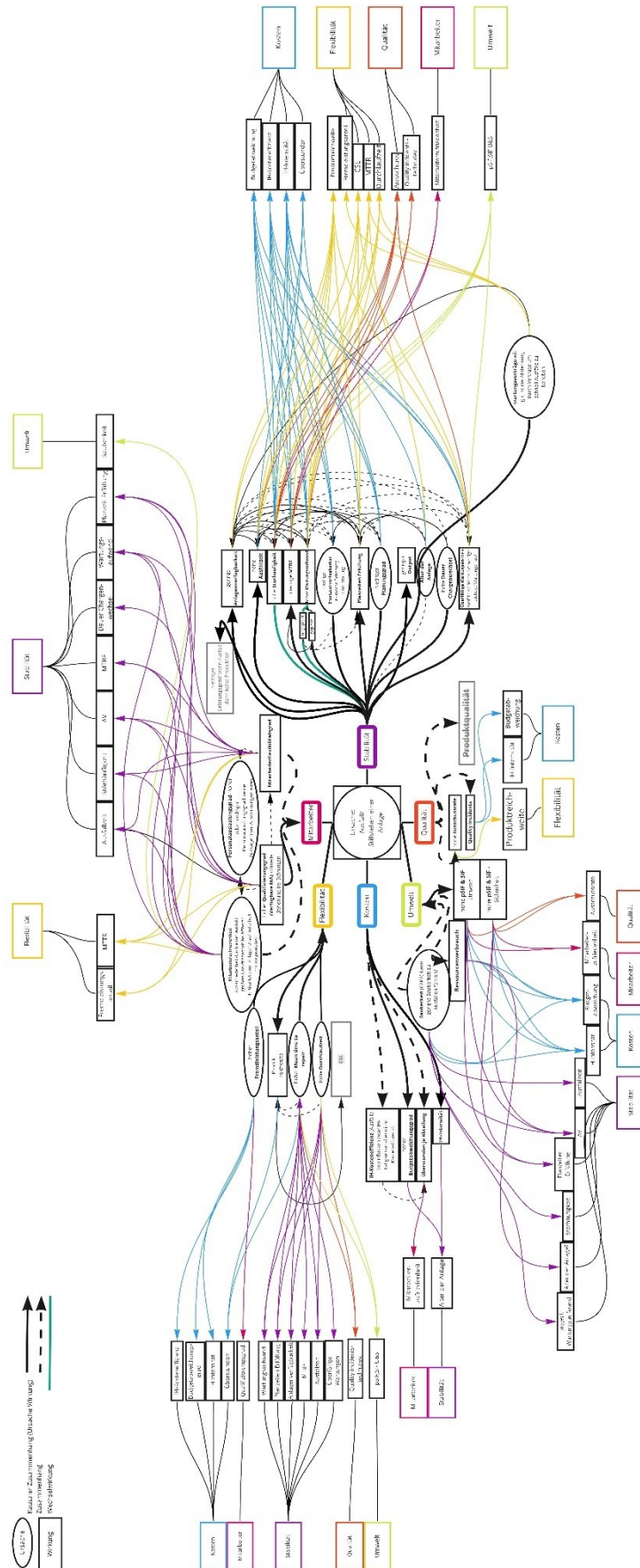
### AHP-Gewichtung – Umwelt und Sicherheit

|                              |                |  |     |  |     |
|------------------------------|----------------|--|-----|--|-----|
|                              |                | <b>Bewertungskriterium 2</b>           |     |  |     |
|                              |                | <b>U&amp;S</b>                         |     |  |     |
| <b>Bewertungskriterium 1</b> | <b>U&amp;S</b> | <b>wichtiger</b>                       |     | Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich |     |
|                              |                | Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich |     |  |     |
|                              |                | Sauberkeit                             | 1/5 |  |     |
|                              |                | Sicherheit (pSIF, SIF)                 | 9   | 9                                      |     |
|                              |                | Umwelt (pSIF, SIF)                     | 7   | 7                                      | 1/3 |

### AHP-Gewichtung – Flexibilität

|                              |                     |                                 |   |      |
|------------------------------|---------------------|---------------------------------|---|------|
|                              |                     | <b>Gewichtung der Kriterien</b> |   |      |
|                              |                     | <b>als</b>                      |   |      |
|                              |                     | <b>Bewertungskriterium 2</b>    |   |      |
|                              |                     | <b>Flexibilität</b>             |   |      |
| <b>Bewertungskriterium 1</b> | <b>Flexibilität</b> | <b>wichtiger</b>                |   | MTTR |
|                              |                     | MTTR                            |   |      |
|                              |                     | Fremdleistungsanteil            | 1 |      |
|                              |                     | Durchlaufzeit                   | 3 | 3    |

### Kausalitätsmapping



Gewichtung auf Basis der Morphologie – Pharmazeutische Verpackung

|             | max | Verpackung                                 | Verpackung + EF | Verfh. zu max. PZ (Reihung nach Wichtigk.) Verpackung | Verfh. zu Summe max. PZ (Rn. V* Normierung (allg. V) Verpackung | Verfh. zu max. PZ verpackung (normierte max. PZ) | Vergleich untereinander Verpackung | Vergleich untereinander Verpackung |
|-------------|-----|--|-----------------|---|---|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Stabilität  | 84  | Anlagenverfügbarkeit                       | 85,2173913      | 0,833333333333  | 0,02782194  | 0,833333333333                                   | 0,921052632                        | 0,9321052632                       |
|             | 74  | Leistungsgrad / P-Geschwindigkeit          | 82,7826087      | 0,918918919   | 0,027027027   | 0,80952381                                       | 0,894736842                        | 0,894736842                        |
|             | 84  | Ausfallzeit                                | 92,92173913     | 0,904761905   | 0,030206677   | 0,904761905                                      | 1                                  | 1                                  |
|             | 76  | Störfähigkeit                              | 85,2173913      | 0,921052632   | 0,02782194  | 0,833333333333                                   | 0,921052632                        | 0,9321052632                       |
|             | 74  | MTBF                                       | 75,47826087     | 0,837837638   | 0,024642289   | 0,738095238                                      | 0,815789474                        | 0,815789474                        |
|             | 77  | Wartungsaufwand                            | 80,34782609     | 0,857428571   | 0,026232114   | 0,785714286                                      | 0,868421053                        | 0,868421053                        |
|             | 56  | Liefertreue                                | 56              | 0,821428571   | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 80  | Vorbeugungsgrad                            | 80,34782609     | 0,825   | 0,0286232114  | 0,785714286                                      | 0,868421053                        | 0,868421053                        |
|             | 62  | Ersatzteilverfügbarkeit                    | 65,73913043     | 0,870967742   | 0,021462639   | 0,642857143                                      | 0,710526316                        | 0,710526316                        |
|             | 66  | Planungsgrad Produktion                    | 63,30434783     | 0,787878788   | 0,020667727   | 0,619047619                                      | 0,684210526                        | 0,684210526                        |
| Qualität    | 70  | Planungsgrad IH                            | 68,17391304     | 0,8   | 0,022257552   | 0,686666667                                      | 0,736842105                        | 0,736842105                        |
|             | 70  | Output                                     | 77,91304348     | 0,914285714   | 0,025437202   | 0,761904762                                      | 0,842105263                        | 0,842105263                        |
|             | 54  | Dauer Chargenwechsel                       | 58,43478261     | 0,888888889   | 0,019071901   | 0,571428571                                      | 0,631578947                        | 0,631578947                        |
|             | 54  | Nachbearbeitungsquote                      | 56              | 0,851851852   | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 46  | Ausschussrate (batches rejected)           | 46              | 0,851851852   | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 54  | Qualitätsabweichungen (deviations)         | 56              | 0,851851852   | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 54  | Produktqualität (batches right first time) | 56              | 0,851851852   | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 73  | Sauberkeit                                 | 75,47826087     | 0,861111111   | 0,020667727   | 0,619047619                                      | 0,684210526                        | 0,684210526                        |
|             | 84  | Ressourcenverbrauch/Produktionsbereich     | 85,2173913      | 0,833333333333  | 0,02782194  | 0,833333333333                                   | 0,921052632                        | 0,921052632                        |
|             | 72  | Abfallaufkommen/Produktionsbereich         | 75,47826087     | 0,861111111   | 0,021462639   | 0,642857143                                      | 0,710526316                        | 0,710526316                        |
| GSU         | 80  | Sicherheit (pSIF & SIF)                    | 65,73913043     | 0,75  | 0,021462639   | 0,642857143                                      | 0,710526316                        | 0,710526316                        |
|             | 86  | Energieverbrauch/Produkt                   | 80,34782609     | 0,825   | 0,0286232114  | 0,785714286                                      | 0,868421053                        | 0,868421053                        |
|             | 74  | Umwelt (pSIF & SIF)                        | 70,60869565     | 0,783783784   | 0,023052464   | 0,69047619                                       | 0,763157895                        | 0,763157895                        |
|             | 68  | Emissionsgrad                              | 70,60869565     | 0,852941176   | 0,023052464   | 0,69047619                                       | 0,763157895                        | 0,763157895                        |
|             | 60  | Lost Time Injury Rate                      | 63,30434783     | 0,868666667   | 0,020667727   | 0,619047619                                      | 0,684210526                        | 0,684210526                        |
|             | 60  | IH-Kosteneffizienz                         | 68,17391304     | 0,933333333333  | 0,022257552   | 0,666666667                                      | 0,736842105                        | 0,736842105                        |
|             | 48  | Budgetabweichungsgrad                      | 43,82608696     | 0,75  | 0,014308426   | 0,426571429                                      | 0,473684211                        | 0,473684211                        |
|             | 50  | Überstunden pro Abteilung                  | 48,69565217     | 0,8   | 0,016696251   | 0,476190476                                      | 0,526315789                        | 0,526315789                        |
|             | 42  | IH-Intensität                              | 46,26086957     | 0,8   | 0,015103339   | 0,452380952                                      | 0,5                                | 0,5                                |
|             | 54  | Qualifizierung (Ausbildungsgrad)           | 58,43478261     | 0,888888889   | 0,019071901   | 0,571428571                                      | 0,631578947                        | 0,631578947                        |
| Mitarbeiter | 48  | Schulungsquote                             | 41,39130435     | 0,708333333333  | 0,019513514   | 0,404761905                                      | 0,447368421                        | 0,447368421                        |
|             | 54  | Mitarbeiterflexibilitätsgrad               | 41,39130435     | 0,708333333333  | 0,019513514   | 0,404761905                                      | 0,447368421                        | 0,447368421                        |
|             | 44  | Mitarbeiterzufriedenheit                   | 51,13043478     | 0,954545455   | 0,018693164   | 0,5  | 0,552631579                        | 0,552631579                        |
|             | 48  | Personalauslastungsgrad                    | 50,86956522     | 0,958333333333  | 0,018232389   | 0,547619048                                      | 0,605263158                        | 0,605263158                        |
|             | 54  | Fremdleistungsanteil                       | 60,86956522     | 0,925925926   | 0,019672814   | 0,595238095                                      | 0,657894737                        | 0,657894737                        |
|             | 54  | Materialreichweite                         | 60,86956522     | 0,925925926   | 0,019672814   | 0,595238095                                      | 0,657894737                        | 0,657894737                        |
|             | 68  | MTR  | 70,60869565     | 0,852941176   | 0,023052464   | 0,69047619                                       | 0,763157895                        | 0,763157895                        |
|             | 76  | Durchlaufzeit                              | 73,04347826     | 0,789473684   | 0,023847377   | 0,74285714                                       | 0,789473684                        | 0,789473684                        |
|             | 46  | CSL  | 53,56521739     | 0,956521739   | 0,017488076   | 0,523809524                                      | 0,578947368                        | 0,578947368                        |

2516

**Bewertungskriterien des Einflusses der Erfolgsfaktoren auf die Anlage**

| Einfluss   |   |  |         |  |                   |  |   |              |                       |                       |  |
|------------|---|--|---------|--|-------------------|--|---|--------------|-----------------------|-----------------------|--|
| gering (1) | Ausweichmöglichkeit vorhanden / keine Redundanz notwendig | Ausfall kann innerhalb einer Produktionswoche kompensiert werden           | <50%    | Anlagenausfall resultiert in keiner Abweichung                                     | <100.000€         | Mitarbeiter können ohne Probleme in anderen Produktionen eingesetzt werden | Ausfall erzeugt kaum Unzufriedenheit      | <5.000       | kein Risiko           | kein Risiko           | kein Einfluss  |
| mittel (2) | tlw. Ausweichmöglichkeit                                  | Ausfall kann innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden       | 50%-80% | Anlagenausfall potentiell in einer Abweichung (z.b. Abhängig von Ausfallzeitpunkt) | 100.000€-250.000€ | Mitarbeiter können teilweise in anderen Produktionen eingesetzt werden     | Ausfall erzeugt teilweise Unzufriedenheit | 5.000-15.000 | mittleres Risiko pSIF | mittleres Risiko pSIF | potentieller Einfluss                                |
| hoch (3)   | keine Ausweichmöglichkeit                                 | Ausfall kann nicht innerhalb von zwei Produktionswochen kompensiert werden | >80%    | Anlagenausfall resultiert in einer Abweichung                                      | >250.000€         | Mitarbeiter können nicht in anderen Produktionen eingesetzt werden         | Ausfall erzeugt hohe Unzufriedenheit      | >15.000      | großes Risiko / SIF   | großes Risiko / SIF   | Patientenversorgung kann nicht sichergestellt werden |







**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Flexibilität**

|  |   | Flexibilität         |                    |      |               |     |
|--|---|----------------------|--------------------|------|---------------|-----|
|  |   | Fremdleistungsanteil | Materialreichweite | MTTR | Durchlaufzeit | CSL |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |                      |                    |      |               |     |
| Auslastung   | <50%  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 5   |
|  | 50-70%  | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | 70-90%  | 3                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | 90-99%  | 5                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
|  | 100%  | 5                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 5   |
|  | lose  | 1                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
| Komplexität  | gering  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | mittel  | 1                    | 1                  | 3    | 3             | 1   |
|  | hoch  | 3                    | 1                  | 5    | 5             | 1   |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 5                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | Mittel - tw. Automatisierung                          | 3                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 3                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 3                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 5                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 3                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | 5-20 Jahre  | 1                    | 1                  | 1    | 3             | 1   |
|  | >20 Jahre   | 1                    | 1                  | 1    | 5             | 1   |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
|  | bekannt   | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Dokumentiert  | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
| Redundanz  | Keine   | 3                    | 1                  | 5    | 5             | 5   |
|  | anlagenbezogen/tw. Vorhanden                          | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 3   |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                    | 5                  | 1    | 1             | 1   |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 1                    | 3                  | 3    | 5             | 1   |
|  | Insselfertigung                                       | 1                    | 3                  | 3    | 5             | 1   |
|  | Fließfreihentfertigung                                | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Linienfertigung                                       | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Fließbandfertigung                                    | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Flexibilität**

|                                     |                                 | Flexibilität          |                    |        |               |        |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|--------|---------------|--------|
|                                     |                                 | Fremdleistungsanteil  | Materialreichweite | MTTR   | Durchlaufzeit | CSL    |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                       |                    |        |               |        |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 5                     | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Großserienfertigung             | 5                     | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Sortenfertigung                 | 5                     | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                     | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Wiederholfertigung              | 5                     | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Chargenfertigung                | 5                     | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Einzelfertigung                 | 5                     | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Ortgebunden                     | 5                     | 3                  | 5      | 3             | 1      |
|                                     | Ortsungebunden                  | 5                     | 1                  | 3      | 5             | 1      |
|                                     | Lagerfertigung                  | 3                     | 3                  | 3      | 5             | 5      |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                     | 5                  | 5      | 5             | 5      |
|                                     | Programmfertigung               | 3                     | 3                  | 5      | 5             | 5      |
|                                     | Schichtmodell                   | Kein Wochenendbetrieb | 1                  | 3      | 5             | 5      |
| Wochenendbetrieb                    |                                 | 1                     | 1                  | 3      | 3             | 5      |
| 1-schicht                           |                                 | 1                     | 1                  | 5      | 5             | 5      |
| 2-Schicht                           |                                 | 1                     | 3                  | 3      | 3             | 5      |
| 3-Schicht                           |                                 | 3                     | 5                  | 3      | 3             | 5      |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 5                     | 1                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | durchwachsen                    | 3                     | 1                  | 3      | 3             | 1      |
|                                     | einheitlich gut                 | 1                     | 1                  | 1      | 1             | 1      |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                     | 5                  | 1      | 1             | 1      |
|                                     | schlecht                        | 1                     | 5                  | 1      | 1             | 1      |
|                                     | Punkteanzahl                    | 50                    | 50                 | 58     | 60            | 44     |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 65,79%                | 65,79%             | 76,32% | 78,95%        | 57,89% |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 51                    | 51                 | 59     | 61            | 63     |
|                                     |                                 | 55,00%                | 55,00%             | 63,81% | 66,01%        | 68,33% |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie GSU**

|  |   | GSU        |   |  |                            |                              |                     |               |                       |
|--|---|------------|---|--|----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------|-----------------------|
|  |   | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktionsbereich | Abfallaufkommen/<br>Produktionsbereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energieverbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF & SIF) | Emissionsgrad | Lost Time Injury Rate |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |            |   |  |                            |                              |                     |               |                       |
| Auslastung   | <50%  | 3          | 1   | 1                                      | 5                          | 1                            | 5                   | 1             | 5                     |
|  | 50-70%  | 3          | 3   | 3                                      | 5                          | 3                            | 5                   | 3             | 5                     |
|  | 70-90%  | 3          | 3   | 3                                      | 5                          | 3                            | 5                   | 3             | 5                     |
|  | 90-99%  | 5          | 5   | 5                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 5                     |
|  | 100%  | 5          | 5   | 5                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 5                     |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1          | 3   | 5                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 3             | 1                     |
|  | lose  | 1          | 3   | 5                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 3             | 1                     |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1          | 3   | 5                                      | 1                          | 3                            | 3                   | 3             | 1                     |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 5                   | 5             | 1                     |
| Komplexität  | gering  | 1          | 1   | 1                                      | 1                          | 1                            | 1                   | 1             | 1                     |
|  | mittel  | 1          | 1   | 1                                      | 1                          | 1                            | 1                   | 1             | 1                     |
|  | hoch  | 3          | 3   | 1                                      | 3                          | 3                            | 3                   | 1             | 3                     |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 1          | 3   | 1                                      | 5                          | 3                            | 5                   | 1             | 5                     |
|  | Mittel - tw. Automatisierung                          | 1          | 3   | 1                                      | 3                          | 3                            | 3                   | 1             | 3                     |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1          | 5   | 1                                      | 1                          | 5                            | 1                   | 1             | 3                     |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 3          | 5   | 3                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 1             | 5                     |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 3          | 5   | 3                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 1             | 5                     |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 5          | 5   | 3                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 1             | 5                     |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 3             | 1                     |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 3             | 1                     |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 3             | 1                     |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 5                   | 3             | 1                     |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 5                   | 5             | 1                     |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 5                   | 5             | 1                     |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 1                   | 5             | 1                     |
|  | 5-20 Jahre  | 1          | 3   | 3                                      | 3                          | 3                            | 3                   | 3             | 1                     |
|  | >20 Jahre   | 1          | 5   | 5                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 3                     |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 1                   | 5             | 1                     |
|  | bekannt   | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 1                   | 5             | 1                     |
|  | Dokumentiert  | 1          | 5   | 5                                      | 1                          | 5                            | 1                   | 5             | 1                     |
| Redundanz  | Keine   | 1          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 1             | 1                     |
|  | anlagenbezogen/tw. Vorhanden                          | 1          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 1             | 1                     |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1          | 3   | 3                                      | 1                          | 3                            | 1                   | 1             | 1                     |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 5          | 5   | 3                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 5                     |
|  | Inselfertigung  | 5          | 5   | 3                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 5                     |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 5          | 5   | 5                                      | 5                          | 5                            | 5                   | 5             | 5                     |

Anhang D: Anwendungsfall 2 + 3 – Pharmazeutisches Unternehmen

|                |                    | GSU        |  |   |                            |                                   |                        |               |                                |
|----------------|--------------------|------------|--|---|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
|                |                    | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktions-<br>bereich | Abfallaufkomm-<br>en/Produktion-<br>s-bereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energie-<br>verbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF &<br>SIF) | Emissionsgrad | Lost<br>Time<br>Injury<br>Rate |
| Charakteristik | Ausprägungsstufen  |            |  |   |                            |                                   |                        |               |                                |
|                | Linienfertigung    | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                | Fließbandfertigung | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie GSU**

|   |                                       | GSU        |  |   |                            |                                   |                        |               |                                |
|---|---------------------------------------|------------|--|---|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
|   |                                       | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktions-<br>bereich | Abfallaufkomm-<br>en/Produktion-<br>s-bereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energie-<br>verbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF &<br>SIF) | Emissionsgrad | Lost<br>Time<br>Injury<br>Rate |
| Charakteristik                              | Ausprägungsstufen                     |            |  |   |                            |                                   |                        |               |                                |
| Fertigungsart                               | Massenfertigung                       | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Großserienfertigung                   | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Sortenfertigung                       | 5          | 5  | 3   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Einzel-<br>/Kleinserienfertigung      | 5          | 5  | 1   | 5                          | 1                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|   | Wiederholfertigung                    | 5          | 5  | 3   | 5                          | 3                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|   | Chargenfertigung                      | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Einzelfertigung                       | 5          | 5  | 3   | 5                          | 3                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|   | Ortgebunden                           | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Ortsungebunden                        | 5          | 5  | 3   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Lagerfertigung                        | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Auftragsfertigung                     | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | Programmfertigung                     | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
| Schichtmodell                               | Kein<br>Wochenendbetrieb              | 1          | 1  | 1   | 1                          | 1                                 | 1                      | 1             | 1                              |
|   | Wochenendbetrieb                      | 5          | 5  | 5   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | 1-Schicht                             | 5          | 5  | 1   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | 2-Schicht                             | 5          | 5  | 3   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|   | 3-Schicht                             | 5          | 5  | 3   | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
| Qualifizierungs-<br>level noch<br>aufnehmen | nicht bekannt                         | 1          | 5  | 5   | 5                          | 1                                 | 5                      | 1             | 3                              |
|   | durchwachsen                          | 1          | 3  | 3   | 3                          | 1                                 | 3                      | 1             | 3                              |
|   | einheitlich gut                       | 3          | 1  | 1   | 1                          | 1                                 | 1                      | 1             | 1                              |
| Zeitbezogene<br>Erhaltungszustand           | gut                                   | 3          | 3  | 1   | 1                          | 1                                 | 1                      | 3             | 1                              |
|   | schlecht                              | 1          | 5  | 1   | 5                          | 5                                 | 3                      | 5             | 1                              |
|   | Punkteanzahl                          | 52         | 70   | 62  | 54                         | 66                                | 58                     | 58            | 52                             |
|   | Wichtigkeit<br>der<br>Punkteanzahl    | 68,42%     | 92,11%   | 81,58%  | 71,05%                     | 86,84%                            | 76,32%                 | 76,32%        | 68,42%                         |
|   | Wichtigkeit<br>inkl.<br>Gewichtung EF | 55         | 74   | 65  | 57                         | 69                                | 61                     | 61            | 55                             |
|   |                                       | 58,89%     | 79,27%   | 70,21%  | 61,15%                     | 74,74%                            | 65,68%                 | 65,68%        | 58,89%                         |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Kosten**

|  |   | Kosten             |                       |                           |               |
|--|---|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|
|  |   | IH-Kosteneffizienz | Budgetabweichungsgrad | Überstunden pro Abteilung | IH-Intensität |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |                    |                       |                           |               |
| Auslastung   | <50%  | 5                  | 5                     | 1                         | 3             |
|  | 50-70%  | 5                  | 5                     | 1                         | 3             |
|  | 70-90%  | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | 90-99%  | 5                  | 5                     | 3                         | 5             |
|  | 100%  | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | lose  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
| Komplexität  | gering  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | mittel  | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | hoch  | 5                  | 3                     | 3                         | 3             |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | Mittel - tw. Automatisierung                          | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 5                  | 1                     | 1                         | 3             |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3                  | 3                     | 1                         | 1             |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 5                  | 3                     | 1                         | 5             |
|  | 5-20 Jahre  | 5                  | 1                     | 1                         | 3             |
|  | >20 Jahre   | 5                  | 3                     | 1                         | 5             |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 5                  | 3                     | 5                         | 5             |
|  | bekannt   | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
|  | Dokumentiert  | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
| Redundanz  | Keine   | 5                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | anlagenbezogen/tw. Vorhanden                          | 5                  | 3                     | 1                         | 1             |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 5                  | 5                     | 1                         | 1             |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Insselfertigung                                       | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Linienfertigung                                       | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Fließbandfertigung                                    | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Kosten**

|                                     |  | Kosten             |                       |                           |               |
|-------------------------------------|--|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|
|                                     |  | IH-Kosteneffizienz | Budgetabweichungsgrad | Überstunden pro Abteilung | IH-Intensität |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen                      |                    |                       |                           |               |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                        | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Großserienfertigung                    | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Sortenfertigung                        | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung           | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Wiederholfertigung                     | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Chargenfertigung                       | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Einzelfertigung                        | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Ortgebunden                            | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Ortsungebunden                         | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Lagerfertigung                         | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Auftragsfertigung                      | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
|                                     | Programmfertigung                      | 3                  | 3                     | 3                         | 3             |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb                  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Wochenendbetrieb                       | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 1-Schicht                              | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 2-Schicht                              | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 3-Schicht                              | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                          | 5                  | 3                     | 5                         | 3             |
|                                     | durchwachsen                           | 5                  | 1                     | 3                         | 3             |
|                                     | einheitlich gut                        | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                                    | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | schlecht                               | 3                  | 5                     | 3                         | 3             |
|                                     | <b>Punkteanzahl</b>                    | 56                 | 36                    | 40                        | 38            |
|                                     | <b>Wichtigkeit der Punkteanzahl</b>    | 73,68%             | 47,37%                | 52,63%                    | 50,00%        |
|                                     | <b>Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF</b> | 59                 | 38                    | 42                        | 40            |
|                                     |  | 64,02%             | 41,16%                | 45,73%                    | 43,44%        |



**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Mitarbeiter**

|  |   | Mitarbeiter                      |                |                              |                          |                         |
|--|---|----------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|  |   | Qualifizierung (Ausbildungsgrad) | Schulungsquote | Mitarbeiterflexibilitätsgrad | Mitarbeiterzufriedenheit | Personalauslastungsgrad |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |                                  |                |                              |                          |                         |
| Auslastung   | <50%  | 1                                | 1              | 5                            | 5                        | 1                       |
|  | 50-70%  | 1                                | 1              | 5                            | 5                        | 1                       |
|  | 70-90%  | 3                                | 1              | 3                            | 5                        | 3                       |
|  | 90-99%  | 5                                | 3              | 1                            | 5                        | 3                       |
|  | 100%  | 5                                | 3              | 1                            | 5                        | 5                       |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | lose  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Komplexität  | gering  | 1                                | 1              | 5                            | 1                        | 1                       |
|  | mittel  | 3                                | 3              | 3                            | 1                        | 3                       |
|  | hoch  | 5                                | 5              | 1                            | 1                        | 5                       |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 5                                | 5              | 5                            | 3                        | 5                       |
|  | Mittel - tw. Automatisierung                          | 5                                | 3              | 3                            | 3                        | 3                       |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 5                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                                | 3              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | 5-20 Jahre  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | >20 Jahre   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
|  | bekannt   | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
|  | Dokumentiert  | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
| Redundanz  | Keine   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | anlagenbezogen/tw. Vorhanden                          | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Insselfertigung                                       | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Linienfertigung                                       | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Fließbandfertigung                                    | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Mitarbeiter**

|                                       |                                 | Mitarbeiter                      |                |                              |                           |                          |
|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                       |                                 | Qualifizierung (Ausbildungsgrad) | Schulungsquote | Mitarbeiterflexibilitätsgrad | Mitarbeiter-zufriedenheit | Personal-auslastungsgrad |
| Charakteristik                        | Ausprägungsstufen               |                                  |                |                              |                           |                          |
| Fertigungsart                         | Massenfertigung                 | 1                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Großserienfertigung             | 1                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Sortenfertigung                 | 3                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                                | 3              | 3                            | 1                         | 3                        |
|                                       | Wiederholfertigung              | 3                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Chargenfertigung                | 3                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Einzelfertigung                 | 5                                | 3              | 5                            | 1                         | 3                        |
|                                       | Ortgebunden                     | 1                                | 1              | 1                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Ortsungebunden                  | 1                                | 3              | 3                            | 1                         | 5                        |
|                                       | Lagerfertigung                  | 3                                | 1              | 1                            | 1                         | 1                        |
|                                       | Auftragsfertigung               | 5                                | 1              | 3                            | 3                         | 3                        |
|                                       | Programmfertigung               | 3                                | 1              | 3                            | 1                         | 3                        |
|                                       | Schichtmodell                   | Kein Wochenendbetrieb            | 1              | 1                            | 1                         | 1                        |
| Wochenendbetrieb                      |                                 | 5                                | 1              | 5                            | 3                         | 1                        |
| 1-schicht                             |                                 | 5                                | 1              | 1                            | 1                         | 1                        |
| 2-Schicht                             |                                 | 5                                | 1              | 3                            | 1                         | 1                        |
| 3-Schicht                             |                                 | 5                                | 1              | 5                            | 1                         | 1                        |
| Qualifizierung s-level noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 5                                | 5              | 5                            | 5                         | 5                        |
|                                       | durchwachsen                    | 5                                | 3              | 5                            | 5                         | 5                        |
|                                       | einheitlich gut                 | 1                                | 1              | 5                            | 5                         | 5                        |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand       | gut                             | 1                                | 1              | 1                            | 1                         | 1                        |
|                                       | schlecht                        | 1                                | 1              | 1                            | 1                         | 1                        |
|                                       | Punkteanzahl                    | 48                               | 34             | 34                           | 42                        | 46                       |
|                                       | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 63,16%                           | 44,74%         | 44,74%                       | 55,26%                    | 60,53%                   |
|                                       | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 52,3                             | 37,1           | 37,1                         | 45,8                      | 50,1                     |
|                                       |                                 | 56,43%                           | 39,97%         | 39,97%                       | 49,37%                    | 54,08%                   |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Qualität**

|  |   | Qualität             |                       |                                  |                   |                                    |  |
|--|---|----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
|  |   | Nachbearbeitungszeit | Nachbearbeitungsquote | Ausschussrate (batches rejected) | Reklamationsquote | Qualitätsabweichungen (deviations) | Produktqualität (batches right first time) |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |                      |                       |                                  |                   |                                    |  |
| Auslastung   | <50%  | 1                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 5  |
|  | 50-70%  | 3                    | 5                     | 5                                | 3                 | 3                                  | 5  |
|  | 70-90%  | 3                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|  | 90-99%  | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|  | 100%  | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | lose  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 3                    | 3                     | 3                                | 1                 | 3                                  | 3  |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 3  |
| Komplexität  | gering  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | mittel  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | hoch  | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 3                    | 3                     | 1                                | 1                 | 5                                  | 3  |
|  | Mittel - tlw. Automatisierung                         | 3                    | 1                     | 1                                | 1                 | 3                                  | 1  |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 5                                  | 1  |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gesetzl. unternehmensspez. Anforderungen              | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3                    | 3                     | 3                                | 3                 | 3                                  | 3  |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gesetzl. unternehmensspez. Anforderungen              | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | 5-20 Jahre  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | >20 Jahre   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 3                                  | 1  |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 5  |
|  | bekannt   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 5  |
|  | Dokumentiert  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 5  |
| Redundanz  | Keine   | 1                    | 1                     | 1                                | 5                 | 1                                  | 1  |
|  | anlagenbezogen/tlw. Vorhanden                         | 1                    | 1                     | 1                                | 3                 | 1                                  | 1  |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Inselfertigung  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Linienfertigung                                       | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Fließbandfertigung                                    | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |

### Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Qualität

|                                     |                                 | Qualität             |                       |                                  |                   |                                    |  |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
|                                     |                                 | Nachbearbeitungszeit | Nachbearbeitungsquote | Ausschussrate (batches rejected) | Reklamationsquote | Qualitätsabweichungen (deviations) | Produktqualität (batches right first time) |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                      |                       |                                  |                   |                                    |  |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Großserienfertigung             | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Sortenfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Wiederholfertigung              | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Chargenfertigung                | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Einzelfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Ortgebunden                     | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Ortsungebunden                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Lagerfertigung                  | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 3                                  | 5  |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Programmfertigung               | 3                    | 3                     | 3                                | 3                 | 5                                  | 5  |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb           | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | Wochenendbetrieb                | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 1-schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 2-Schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 3-Schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 1                    | 1                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|                                     | durchwachsen                    | 3                    | 3                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 3  |
|                                     | einheitlich gut                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 3  |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | schlecht                        | 1                    | 1                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | Punkteanzahl                    | 48                   | 46                    | 52                               | 34                | 46                                 | 46   |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 63,16%               | 60,53%                | 68,42%                           | 44,74%            | 60,53%                             | 60,53%                                     |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 54                   | 52                    | 59                               | 38                | 52                                 | 52   |
|                                     |                                 | 58,50%               | 56,06%                | 63,37%                           | 41,44%            | 56,06%                             | 56,06%                                     |

### Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Stabilität

|                 |                   | Stabilität           |                                     |             |              |      |                 |             |                 |                          |                              |                 |        |
|-----------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|------|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|--------|
|                 |                   | Anlagenverfügbarkeit | Leistung s-grad / P-Geschwindigkeit | Ausfallzeit | Störfrequenz | MTBF | Wartungsaufwand | Liefertreue | Vorbeugungsgrad | Ersatzteil-Verfügbarkeit | Planungserfüllung Produktion | Planungsgrad IH | Output |
| Charakteristik  | Ausprägungsstufen |                      |                                     |             |              |      |                 |             |                 |                          |                              |                 |        |
| Auslastung      | <50%              | 1                    | 1                                   | 1           | 1            | 1    | 1               | 1           | 1               | 1                        | 5                            | 1               | 5      |
|                 | 50-70%            | 3                    | 3                                   | 3           | 3            | 3    | 3               | 3           | 3               | 3                        | 5                            | 3               | 5      |
|                 | 70-90%            | 3                    | 3                                   | 3           | 3            | 3    | 3               | 3           | 3               | 3                        | 5                            | 3               | 5      |
|                 | 90-99%            | 5                    | 3                                   | 5           | 5            | 5    | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 5               | 5      |
|                 | 100%              | 5                    | 5                                   | 5           | 5            | 5    | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 5               | 5      |
| Verkettungsgrad | Keine             | 3                    | 3                                   | 5           | 5            | 1    | 1               | 1           | 3               | 3                        | 1                            | 3               | 5      |
|                 | lose              | 3                    | 3                                   | 5           | 5            | 1    | 3               | 1           | 3               | 3                        | 3                            | 3               | 5      |

Anhang D: Anwendungsfall 2 + 3 – Pharmazeutisches Unternehmen

|  |  | Stabilität             |                                      |               |                  |       |                  |             |                   |                           |                               |                    |         |
|--|--|------------------------|--------------------------------------|---------------|------------------|-------|------------------|-------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|---------|
|  |  | Anlagen-verfüg-barkeit | Leistungs-grad / P-Ge-schwind-igkeit | Aus-fall-zeit | Stör-häufig-keit | MTB F | Wartungs-aufwand | Liefertreue | Vor-beugungs-grad | Ersatzteil-Verfüg-barkeit | Planungs-erfüllung Produktion | Planung-s-grad III | Out-put |
| Charakteristi-k  | Ausprägung s-stufen                                |                        |                                      |               |                  |       |                  |             |                   |                           |                               |                    |         |
|  | gering ohne Taktzwang                              | 3                      | 5                                    | 5             | 5                | 3     | 3                | 3           | 5                 | 5                         | 3                             | 5                  | 5       |
|  | Starr mit Taktzwang                                | 5                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 5                | 5           | 5                 | 5                         | 5                             | 5                  | 5       |
| Komplexität  | gering   | 1                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 3                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | mittel   | 1                      | 1                                    | 3             | 3                | 1     | 3                | 1           | 3                 | 3                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | hoch   | 1                      | 1                                    | 5             | 5                | 1     | 5                | 1           | 5                 | 5                         | 1                             | 5                  | 1       |
| Automati-sierungsgrad  | Keine bis geringe Automati-sierung                 | 1                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 3                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | Mittel - tlw. Automati-sierung                     | 3                      | 3                                    | 3             | 3                | 3     | 3                | 1           | 3                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | hoch-weltgehend Automati-sierung                   | 5                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 5                | 1           | 5                 | 1                         | 3                             | 5                  | 1       |
| Anforderunge n an Arbeits- und Gesundheits-schutz              | gesetzl. Anforderunge n umgesetzt                  | 3                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | gesetzl. & unternehmen spez. Anforderunge n        | 3                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                | 3                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 3                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
| An-forderungen an Arbeits- produktivität / Wirtschaft-lichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse          | 1                      | 1                                    | 3             | 1                | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                   | 3                      | 3                                    | 3             | 3                | 3     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                   | 5                      | 3                                    | 5             | 5                | 5     | 1                | 1           | 3                 | 1                         | 3                             | 3                  | 3       |
| Anforderunge n an Umwelt                                       | gesetzl. Anforderunge n umgesetzt                  | 3                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | gesetzl. & unternehmen spez. Anforderunge n        | 3                      | 1                                    | 1             | 1                | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung | 5                      | 3                                    | 3             | 3                | 1     | 3                | 1           | 1                 | 1                         | 1                             | 3                  | 1       |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre   | 5                      | 5                                    | 1             | 5                | 5     | 5                | 1           | 5                 | 1                         | 1                             | 5                  | 3       |
|  | 5-20 Jahre   | 3                      | 5                                    | 3             | 5                | 3     | 3                | 1           | 3                 | 1                         | 1                             | 5                  | 3       |
|  | >20 Jahre  | 5                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 5                | 3           | 5                 | 5                         | 3                             | 5                  | 5       |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt                                      | 1                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                         | 1                             | 5                  | 5       |
|  | bekannt  | 5                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                         | 1                             | 5                  | 5       |
|  | Dokumentiert                                       | 5                      | 5                                    | 5             | 5                | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                         | 1                             | 5                  | 5       |

**Kriterienübersicht pharmazeutische Verpackung Kategorie Stabilität**

|                                     |  | Stabilität           |                                   |             |              |        |                 |             |                 |                          |                              |                 |        |
|-------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------------|-------------|--------------|--------|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|--------|
|                                     |  | Anlagenverfügbarkeit | Leistungsgrad / P-Geschwindigkeit | Ausfallzeit | Störfrequenz | MTBF   | Wartungsaufwand | Liefertreue | Vorbeugungsgrad | Ersatzteil-Verfügbarkeit | Planungserfüllung Produktion | Planungsgrad IH | Output |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen                                      |                      |                                   |             |              |        |                 |             |                 |                          |                              |                 |        |
| Redundanz                           | Keine  | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 1      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 5               | 5      |
|                                     | Anlagenbezogen/thw. Vorhanden                          | 3                    | 3                                 | 3           | 3            | 1      | 3               | 3           | 3               | 3                        | 3                            | 3               | 3      |
|                                     | Sehr anpassungsfähig / Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                    | 1                                 | 1           | 1            | 1      | 1               | 1           | 1               | 1                        | 1                            | 1               | 3      |
| Fertigungsprinzip                   | Werkstättenfertigung                                   | 3                    | 5                                 | 5           | 1            | 5      | 5               | 1           | 5               | 3                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Insselfertigung  | 3                    | 5                                 | 5           | 1            | 5      | 5               | 1           | 5               | 3                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Fließreihenfertigung                                   | 5                    | 5                                 | 5           | 3            | 5      | 5               | 1           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Linienfertigung  | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 1           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Fließbandfertigung                                     | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 1           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung  | 5                    | 5                                 | 5           | 1            | 3      | 3               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 3      |
|                                     | Großserienfertigung                                    | 5                    | 5                                 | 5           | 1            | 3      | 3               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 3      |
|                                     | Sortenfertigung  | 5                    | 5                                 | 5           | 3            | 5      | 3               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 3      |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung                           | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Wiederholfertigung                                     | 5                    | 5                                 | 5           | 3            | 3      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 3      |
|                                     | Chargenfertigung                                       | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Einzelfertigung  | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Ortgebunden  | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Ortsungebunden   | 3                    | 5                                 | 3           | 1            | 3      | 1               | 5           | 5               | 3                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | Lagerfertigung   | 3                    | 5                                 | 3           | 1            | 3      | 3               | 1           | 5               | 3                        | 5                            | 1               | 3      |
|                                     | Auftragsfertigung                                      | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 5           | 5               | 5                        | 5                            | 3               | 5      |
| Programmfertigung                   | 3  | 5                    | 3                                 | 3           | 3            | 3      | 3               | 5           | 3               | 5                        | 3                            | 5               |        |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb                                  | 5                    | 5                                 | 5           | 1            | 5      | 5               | 5           | 5               | 1                        | 5                            | 5               | 5      |
|                                     | Wochenendbetrieb                                       | 5                    | 5                                 | 3           | 1            | 3      | 5               | 3           | 3               | 1                        | 3                            | 5               | 5      |
|                                     | 1-Schicht  | 5                    | 5                                 | 5           | 1            | 5      | 5               | 5           | 5               | 1                        | 5                            | 5               | 5      |
|                                     | 2-Schicht  | 5                    | 5                                 | 3           | 1            | 3      | 5               | 5           | 3               | 1                        | 3                            | 5               | 5      |
|                                     | 3-Schicht  | 5                    | 5                                 | 3           | 1            | 3      | 5               | 3           | 3               | 1                        | 3                            | 5               | 5      |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt  | 1                    | 1                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 1           | 5               | 1                        | 5                            | 1               | 5      |
|                                     | durchwachsen   | 3                    | 1                                 | 5           | 3            | 3      | 3               | 1           | 3               | 1                        | 3                            | 1               | 5      |
|                                     | einheitlich gut  | 5                    | 1                                 | 5           | 1            | 1      | 1               | 1           | 1               | 1                        | 1                            | 1               | 5      |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut  | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 3               | 1           | 3               | 5                        | 1                            | 1               | 1      |
|                                     | schlecht   | 5                    | 5                                 | 5           | 5            | 5      | 5               | 1           | 5               | 5                        | 1                            | 5               | 3      |
|                                     | Punkteanzahl   | 70                   | 68                                | 76          | 70           | 62     | 66              | 46          | 66              | 54                       | 52                           | 56              | 64     |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl                           | 92,11%               | 89,47%                            | 100,0%      | 92,11%       | 81,58% | 86,84%          | 60,53%      | 86,84%          | 71,05%                   | 68,42%                       | 73,68%          | 84,21% |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF                        | 85                   | 83                                | 93          | 85           | 76     | 81              | 56          | 81              | 66                       | 63                           | 68              | 78     |
|                                     |  | 92,11%               | 89,47%                            | 100,0%      | 92,11%       | 81,58% | 86,84%          | 60,53%      | 86,84%          | 71,05%                   | 68,42%                       | 73,68%          | 84,21% |



## Morphologiebewertung: Biologische Produktion – Technologiereife und Produktportfolio

| Kategorie                             | Charakteristika                              | Ausprägungen                                |  |   |   |  |          |             |          |             |          |
|---------------------------------------|--|---|--|---|---|--|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                                       |  | Kostenbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit | Wirtschaftl., Produktdifferenzierung, bewährte Technologien  | Wettbewerbsdenken, rasche Reaktion, Kenntnis                | Technologieführerschaft                         | de defensiv  | offensiv | de defensiv | offensiv | de defensiv | offensiv |
| Technologiereife und Produktportfolio | Technologiestrategie                         | nicht zutreffend                            | Kostenbewusstsein, hohe Imitationsfähigkeit                  | Wirtschaftl., Produktdifferenzierung, bewährte Technologien | Wettbewerbsdenken, rasche Reaktion, Kenntnis    | Technologieführerschaft                                  |          |             |          |             |          |
|                                       | Technologieorientierung                      | nicht zutreffend                            | keine Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten              | geringe Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten           | große Veränderungs- & Optimierungsmöglichkeiten |  |          |             |          |             |          |
|                                       | Technologiegrad                              | nicht zutreffend                            | keine Anwendung neuer Technologien                           | teilw. Einsatz von Prototypen                               | Einführungsphase neuer Technologien             | neue Technologien werden akzeptiert & sind in Verwendung |          |             |          |             |          |
|                                       | Anwendungsart Technologie                    | nicht zutreffend                            | neue Technologie ist attraktiv & hat keine negativen Effekte | neue Technologie ist attraktiv, aber hat negative Effekte   | neue Technologie ist unattraktiv                |  |          |             |          |             |          |
|                                       | Kompatibilität                               | nicht zutreffend                            | intern   | intern und extern   | anwendungsfelderübergreifend                    |  |          |             |          |             |          |
|                                       | Anwendungsbreite                             | nicht zutreffend                            | weder Leistungssteigerung noch Kostensenkung                 | keine Leistungssteigerung, aber Kostensenkung               | Leistungssteigerung, keine Kostensenkung        | Leistungssteigerung & Kostensenkung                      |          |             |          |             |          |
|                                       | (Weiter-) Entwicklungspotenzial              | nicht zutreffend                            | Entwicklungsgrückstand                                       | Entwicklungsgrückstand                                      | Entwicklungsgrückstand                          | Entwicklungsgrückstand                                   |          |             |          |             |          |
|                                       | Techn.-qualitativer Beherrschungsgrad        | nicht zutreffend                            | Ressourcen sind vorhanden                                    | Ressourcen sind leicht beschaffbar                          | Ressourcen sind schwer beschaffbar              |  |          |             |          |             |          |
|                                       | Potenziale (Re-) Aktionsgeschwindigkeit      | nicht zutreffend                            | langsam  | mittel  | hoch  | sehr hoch  |          |             |          |             |          |
|                                       | Technologiearten                             | nicht zutreffend                            | verdrängte Technologie                                       | Basistechnologie  | verbesserungsorientiert                         | Schlusstechnologie                                       |          |             |          |             |          |
|                                       | Produktnachfrage                             | nicht zutreffend                            | beständig  | gleichbleibend  | eher schwankend                                 | schwankend   |          |             |          |             |          |
|                                       | Produktvielfalt                              | nicht zutreffend                            | alle Produkte sind gleich                                    | eher beständig  | Produkte sind tlw. schwankend                   | tlw. ungleiche Produkte/Prozesse                         |          |             |          |             |          |
|                                       | optimaler Produktwechselzyklus in Produktion | nicht zutreffend                            | > 14 Tage  | bis zwei Wochen   | bis eine Woche                                  | über wiegend ungleiche Produkte/Prozesse                 |          |             |          |             |          |
|                                       | Aufwand Produktwechselzyklus                 | nicht zutreffend                            | <1h  | 1-4h  | 0,5-1 Tag                                       | 1 Tag  |          |             |          |             |          |
|                                       | Ausfallrisiko bei Produktwechsel             | nicht zutreffend                            | keines   | geringes  | mittleres                                       | hohes  |          |             |          |             |          |
| Umstellkosten                         | nicht zutreffend                             | <0,5%                                       | 0,5-1,4%   | 1,5%  | 1,6-3%  |  |          |             |          |             |          |
| Produktzusammensetzung                | nicht zutreffend                             | gleichbleibend                              | annahernd gleichbleibend                                     | variiert tlw.   | variiert stark                                  |  |          |             |          |             |          |



Morphologiebewertung: Biologische Produktion – Produktion, Asset

| Kategorie                            | Charakteristika  |  | Ausprägungen   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                      | Massenfertigung  | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      | Sortenfertigung                                      |
| Produktion                           | Fertigungsart  | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     | nicht zutreffend                                     |
|                                      | Fertigungsprinzip  | Bauteilfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     | Gruppenfertigung                                     |
|                                      | Anforderungen an Produktqualität                         | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            | gesetzl. Anf. umgesetzt, tlw. Q-Sicherung            |
|                                      | Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz          | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             |
|                                      | Anforderungen an Arbeitsproduktivität/Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              | Ist/Soll wird betrachtet, keine Analyse              |
|                                      | Anforderungen an Umwelt (ökologische Aspekte)            | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             | gesetzliche Anforderungen sind umgesetzt             |
|                                      | Revidierbarkeit d. Produkte                              | keine Verwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     | Wiederverwertung                                     |
|                                      | Nacharbeitungszeit Ausschuss                             | keine  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  | <1h/Monat  |
|                                      | Produktions-Schichtmodell                                | 1-schichtig  | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                | kein Wochenendbetrieb                                |
|                                      | Asset  | Einsatzintensität der Produktion                     | Material-intensiv                                    | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     | Anlagen-intensiv                                     |
| Durchschn. Qualifizierungsgrad       |  | verbesserungswürdig                                  | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   | durchwachsen   |
| Ausweichmöglichkeiten / Redundanz    |  | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten | sehr anpassungsfähig / mehrere Ausweichmöglichkeiten |
| Verkettung                           |  | keine  | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   | lose   |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand      |  | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   | schlecht   |
| Komplexität der Anlagen              |  | gering   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   | mittel   |
| Stand der Technik der Anlagen        |  | veraltet   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   | aktualisiert   |
| Alter der Anlagen (durchschnittlich) |  | <5 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   | 5-10 Jahre   |
| Anlagenpark                          |  | gleiche Hersteller                                   | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              | verschiedene Hersteller                              |
| Automatisierungsgrad                 |  | manuell  | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   | mechanisch   |
| Durchschn. Auslastungsgrad           | gleichbleibend   | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             | annahernd gleichbleibend                             |  |

## Morphologiebewertung: Biologische Produktion – Instandhaltung/Anlagentechnik, Digitalisierung/Daten

| Kategorie                       | Charakteristika                          |   | Ausprägungen                            |                             |                             |                                |
|---------------------------------|--|---|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                                 | Erfüllungsgrad                           | nicht erfüllt                                 | verspätet                               | zeitgerecht                 | risikoorientiert            | dynamisch                      |
| Anlagentechnik                  | Budgetierung der AT                      | nicht zutreffend                              | statisch                                | zeitgerecht                 | risikoorientiert            | dynamisch                      |
|                                 | Outsourcing-Anteil(DL)                   | nicht zutreffend                              | nur externe DL                          | vergangenheitsbezogen       | mehr interne als externe DL | keine Fremddienstleister       |
|                                 | Schichtmodell                            | nicht zutreffend                              | kein Wochenendbetrieb                   | mehr externe als interne DL | Wochenendbetrieb            |                                |
|                                 | Instandhaltung(IH)-Intensität            | nicht zutreffend                              | 1-schichtig                             | 3-schichtig                 | 4-schichtig                 | 5-schichtig                    |
|                                 | Ausfallkosten                            | nicht zutreffend                              | <1%                                     | 1-3%                        | 4-10%                       | >10%                           |
|                                 | Ausfallkostenart                         | nicht zutreffend                              | nicht bekannt                           | bekannt                     | dokumentiert                |                                |
|                                 | Dezentralisierungsgrad                   | nicht zutreffend                              | unternehmensspezifisch                  | manuelle Erfassung          | automatische Erfassung      | produkt- und anlagenspezifisch |
|                                 | Durchlaufzeit der IH-Tätigkeiten         | nicht zutreffend                              | dezentral                               | eher dezentral              | eher zentral                | zentral                        |
|                                 | Mitarbeiteranteil der AT (AT/Produktion) | nicht zutreffend                              | hoch                                    | mittel                      | gering                      |                                |
|                                 | Sicherheit, Sauberkeit, Ordnung          | nicht zutreffend                              | <10%                                    | 20-30%                      | 31-50%                      | laufend optimiert              |
|                                 | IH-Strategie (vorwiegend)                | nicht zutreffend                              | keine                                   | keine Beachtung             | teilw. Standards            | Standards                      |
|                                 | Strategieanpassung                       | nicht zutreffend                              | reaktiv                                 | präventiv                   | prädiktiv                   | perfektiv                      |
|                                 | Ersatzteilverfügbarkeit                  | nicht zutreffend                              | statisch                                | vorausschauend              | dynamisch                   |                                |
|                                 | Planungsgrad d. Anlagentechnik           | nicht zutreffend                              | keine vorhanden                         | nur für Schlüsselanlagen    | laut Herstellerinformation  | für alle Anlagen               |
| Qualifizierung des Personals    | nicht zutreffend                         | niedrig                                       | mittel                                  | hoch                        |                             |                                |
| Grad d. Funktionale Integration | nicht zutreffend                         | schlecht                                      | mittel                                  | hoch                        |                             |                                |
| Digitalisierungsgrad            | nicht zutreffend                         | Fachwissen für Bearbeitung nicht erforderlich | Fachwissen für Bearbeitung erforderlich |                             |                             |                                |
| Datenqualität                   | nicht zutreffend                         | keine IT-Tätigkeiten                          | vereinzelt Tätigkeiten                  | hoch                        | bei allen Anlagen           |                                |
|                                 | nicht zutreffend                         | gering  | mittel                                  | hoch                        |                             |                                |
|                                 | nicht zutreffend                         | sehr schlecht                                 | schlecht                                | gut                         | sehr gut                    |                                |

Gewichtung auf Basis der Morphologie – Biologische Produktion

|                     | max          | Bio. Produktion | Bio. Prod. + EF | Verh. zu max. PZ (Reihung nach Wichtigk.) bio. Prod. | Verh. zu max. PZ (max. PZ (Bn. V * Normierung (fallg. V) bio. Prod. | Verh. zu max. PZ bio. (Prod.) | Vergleich untereinander Bio. Prod. | Vergleich untereinander Bio. Prod. |             |
|---------------------|--------------|-----------------|-----------------|--|---|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| Stabilität          | 84           | 70              | 85,2173913      | 0,8333333333333333                                   | 0,02762194  | 0,8333333333333333            | 0,945945946                        | 0,945945946                        |             |
|                     | 84           | 70              | 85,2173913      | 0,945945946  | 0,02762194  | 0,8333333333333333            | 0,945945946                        | 0,945945946                        |             |
|                     | 74           | 74              | 90,08695652     | 0,880952381  | 0,029341765   | 0,880952381                   | 0,880952381                        | 1                                  |             |
|                     | 76           | 68              | 82,7826087      | 0,894736842  | 0,027027027   | 0,80952381                    | 0,80952381                         | 0,916318919                        |             |
|                     | 74           | 62              | 75,47826087     | 0,837637838  | 0,024642289   | 0,738095238                   | 0,738095238                        | 0,837637838                        |             |
|                     | 77           | 66              | 80,34782609     | 0,857442857  | 0,028232714   | 0,785714286                   | 0,785714286                        | 0,857442857                        |             |
|                     | 56           | 48              | 58,43478261     | 0,857442857  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 80           | 68              | 82,7826087      | 0,85   | 0,027027027   | 0,80952381                    | 0,80952381                         | 0,916318919                        |             |
|                     | 80           | 52              | 63,30434783     | 0,838709677  | 0,020667727   | 0,619047619                   | 0,619047619                        | 0,702702703                        |             |
|                     | 62           | 58              | 70,6066565      | 0,878787879  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,69047619                         | 0,783783784                        |             |
| Qualität            | 70           | 58              | 70,6066565      | 0,828571429  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,783783784                        | 0,783783784                        |             |
|                     | 70           | 66              | 80,34782609     | 0,942857143  | 0,028232714   | 0,785714286                   | 0,857442857                        | 0,857442857                        |             |
|                     | 54           | 44              | 53,56521739     | 0,814814815  | 0,0148076   | 0,523809524                   | 0,523809524                        | 0,594594595                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 58           | 54              | 65,73913043     | 0,931034483  | 0,021462639   | 0,642857143                   | 0,642857143                        | 0,72972973                         |             |
|                     | 40           | 30              | 36,52773913     | 0,75   | 0,019236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 73           | 50              | 60,86958522     | 0,684931507  | 0,019872914   | 0,595238095                   | 0,595238095                        | 0,675675678                        |             |
|                     | 84           | 65              | 79,13043478     | 0,773809524  | 0,025834658   | 0,773809524                   | 0,773809524                        | 0,878378378                        |             |
| GSU                 | 72           | 58              | 70,6066565      | 0,805555556  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,783783784                        | 0,783783784                        |             |
|                     | 72           | 52              | 63,30434783     | 0,722222222  | 0,020667727   | 0,619047619                   | 0,619047619                        | 0,702702703                        |             |
|                     | 80           | 66              | 80,34782609     | 0,825  | 0,028232714   | 0,785714286                   | 0,857442857                        | 0,857442857                        |             |
|                     | 74           | 60              | 73,04347826     | 0,810810811  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 68           | 56              | 68,17391304     | 0,823529412  | 0,02257952  | 0,666666667                   | 0,666666667                        | 0,756756757                        |             |
|                     | 60           | 52              | 63,30434783     | 0,866666667  | 0,020667727   | 0,619047619                   | 0,619047619                        | 0,702702703                        |             |
|                     | 60           | 56              | 68,17391304     | 0,825  | 0,02257952  | 0,666666667                   | 0,666666667                        | 0,756756757                        |             |
|                     | 48           | 30              | 36,52773913     | 0,625  | 0,018236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 50           | 36              | 43,82808696     | 0,72   | 0,014308426   | 0,428571429                   | 0,428571429                        | 0,486486486                        |             |
|                     | 42           | 34              | 41,39130435     | 0,80952381   | 0,019513514   | 0,404761905                   | 0,404761905                        | 0,459459459                        |             |
| Kosten              | 54           | 42              | 51,13043478     | 0,777777778  | 0,016683164   | 0,5                           | 0,567567568                        | 0,567567568                        |             |
|                     | 48           | 30              | 36,52773913     | 0,625  | 0,019236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 54           | 34              | 41,39130435     | 0,62962963   | 0,019513514   | 0,404761905                   | 0,404761905                        | 0,459459459                        |             |
|                     | 44           | 40              | 48,8565217      | 0,909090909  | 0,015898251   | 0,476190476                   | 0,476190476                        | 0,540540541                        |             |
|                     | 48           | 40              | 48,8565217      | 0,833333333  | 0,015898251   | 0,476190476                   | 0,476190476                        | 0,540540541                        |             |
|                     | 54           | 42              | 51,13043478     | 0,777777778  | 0,016683164   | 0,5                           | 0,567567568                        | 0,567567568                        |             |
|                     | 54           | 44              | 53,56521739     | 0,814814815  | 0,017468076   | 0,523809524                   | 0,523809524                        | 0,594594595                        |             |
|                     | 68           | 60              | 73,04347826     | 0,862352941  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 76           | 60              | 73,04347826     | 0,862352941  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 46           | 46              | 56              | 789473684  | 0,789473684   | 0,023847377                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
| Mitarbeiter         | 46           | 46              | 56              | 1  | 0,018282989   | 0,547619048                   | 0,621621622                        | 0,621621622                        |             |
|                     | Flexibilität | 84              | 70              | 85,2173913   | 0,8333333333333333  | 0,02762194                    | 0,8333333333333333                 | 0,945945946                        | 0,945945946 |
|                     |              | 84              | 70              | 85,2173913   | 0,945945946   | 0,02762194                    | 0,8333333333333333                 | 0,945945946                        | 0,945945946 |
|                     |              | 74              | 74              | 90,08695652  | 0,880952381   | 0,029341765                   | 0,880952381                        | 0,880952381                        | 1           |
|                     |              | 76              | 68              | 82,7826087   | 0,894736842   | 0,027027027                   | 0,80952381                         | 0,80952381                         | 0,916318919 |
|                     |              | 74              | 62              | 75,47826087  | 0,837637838   | 0,024642289                   | 0,738095238                        | 0,738095238                        | 0,837637838 |
|                     |              | 77              | 66              | 80,34782609  | 0,857442857   | 0,028232714                   | 0,785714286                        | 0,785714286                        | 0,857442857 |
|                     |              | 56              | 48              | 58,43478261  | 0,857442857   | 0,019077901                   | 0,571428571                        | 0,571428571                        | 0,648648649 |
|                     |              | 80              | 68              | 82,7826087   | 0,85  | 0,027027027                   | 0,80952381                         | 0,80952381                         | 0,916318919 |
|                     |              | 80              | 52              | 63,30434783  | 0,838709677   | 0,020667727                   | 0,619047619                        | 0,619047619                        | 0,702702703 |
| 62                  |              | 58              | 70,6066565      | 0,878787879  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,69047619                         | 0,783783784                        |             |
| Patientenversorgung | 70           | 58              | 70,6066565      | 0,828571429  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,783783784                        | 0,783783784                        |             |
|                     | 70           | 66              | 80,34782609     | 0,942857143  | 0,028232714   | 0,785714286                   | 0,857442857                        | 0,857442857                        |             |
|                     | 54           | 44              | 53,56521739     | 0,814814815  | 0,0148076   | 0,523809524                   | 0,523809524                        | 0,594594595                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 58           | 54              | 65,73913043     | 0,931034483  | 0,021462639   | 0,642857143                   | 0,642857143                        | 0,72972973                         |             |
|                     | 40           | 30              | 36,52773913     | 0,75   | 0,019236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 54           | 48              | 58,43478261     | 0,888888889  | 0,019077901   | 0,571428571                   | 0,571428571                        | 0,648648649                        |             |
|                     | 73           | 50              | 60,86958522     | 0,684931507  | 0,019872914   | 0,595238095                   | 0,595238095                        | 0,675675678                        |             |
|                     | 84           | 65              | 79,13043478     | 0,773809524  | 0,025834658   | 0,773809524                   | 0,773809524                        | 0,878378378                        |             |
| Patientenversorgung | 72           | 58              | 70,6066565      | 0,805555556  | 0,023052464   | 0,69047619                    | 0,783783784                        | 0,783783784                        |             |
|                     | 72           | 52              | 63,30434783     | 0,722222222  | 0,020667727   | 0,619047619                   | 0,619047619                        | 0,702702703                        |             |
|                     | 80           | 66              | 80,34782609     | 0,825  | 0,028232714   | 0,785714286                   | 0,857442857                        | 0,857442857                        |             |
|                     | 74           | 60              | 73,04347826     | 0,810810811  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 68           | 56              | 68,17391304     | 0,823529412  | 0,02257952  | 0,666666667                   | 0,666666667                        | 0,756756757                        |             |
|                     | 60           | 52              | 63,30434783     | 0,866666667  | 0,020667727   | 0,619047619                   | 0,619047619                        | 0,702702703                        |             |
|                     | 60           | 56              | 68,17391304     | 0,825  | 0,02257952  | 0,666666667                   | 0,666666667                        | 0,756756757                        |             |
|                     | 48           | 30              | 36,52773913     | 0,625  | 0,018236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 50           | 36              | 43,82808696     | 0,72   | 0,014308426   | 0,428571429                   | 0,428571429                        | 0,486486486                        |             |
|                     | 42           | 34              | 41,39130435     | 0,80952381   | 0,019513514   | 0,404761905                   | 0,404761905                        | 0,459459459                        |             |
| Mitarbeiter         | 54           | 42              | 51,13043478     | 0,777777778  | 0,016683164   | 0,5                           | 0,567567568                        | 0,567567568                        |             |
|                     | 48           | 30              | 36,52773913     | 0,625  | 0,019236888   | 0,357142857                   | 0,357142857                        | 0,405405405                        |             |
|                     | 54           | 34              | 41,39130435     | 0,62962963   | 0,019513514   | 0,404761905                   | 0,404761905                        | 0,459459459                        |             |
|                     | 44           | 40              | 48,8565217      | 0,909090909  | 0,015898251   | 0,476190476                   | 0,476190476                        | 0,540540541                        |             |
|                     | 48           | 40              | 48,8565217      | 0,833333333  | 0,015898251   | 0,476190476                   | 0,476190476                        | 0,540540541                        |             |
|                     | 54           | 42              | 51,13043478     | 0,777777778  | 0,016683164   | 0,5                           | 0,567567568                        | 0,567567568                        |             |
|                     | 54           | 44              | 53,56521739     | 0,814814815  | 0,017468076   | 0,523809524                   | 0,523809524                        | 0,594594595                        |             |
|                     | 68           | 60              | 73,04347826     | 0,862352941  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 76           | 60              | 73,04347826     | 0,862352941  | 0,023847377   | 0,714285714                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |
|                     | 46           | 46              | 56              | 789473684  | 0,789473684   | 0,023847377                   | 0,714285714                        | 0,810810811                        |             |

2516



## Bewertung der Erfolgsfaktoren zur Anlagenauswahl der biologischen Produktion – Teil 2

| Technische Plätze      | Stabilität |                    |                      | Qualität (SCRAP) |               | Mitarbeiter                  |               | Kosten        |   | Umwelt & Sicherheit |        | Patientenversorgung |      | Methode 1     |                     |                |           |                        |                        |          | Methode 2     |                     |                |           |                        |                        |                    |                    |
|------------------------|------------|--------------------|----------------------|------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------|---|---------------------|--------|---------------------|------|---------------|---------------------|----------------|-----------|------------------------|------------------------|----------|---------------|---------------------|----------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
|                        | Redundanz  | Produktionsplanung | Auslastung/Beplanung | Abweichung       | Durchlaufzeit | ausfall resultierender SCRAP | Umplanbarkeit | Zufriedenheit | Ausfallkosten (Überstunden & Reparatur) | Mensch              | Umwelt | CSL                 | CSL  | MI-Stabilität | MI-Qualität (SCRAP) | MI-Mitarbeiter | MI-Kosten | MI-Umwelt & Sicherheit | MI-Patientenversorgung | MI-Summe | MI-Stabilität | MI-Qualität (SCRAP) | MI-Mitarbeiter | MI-Kosten | MI-Umwelt & Sicherheit | MI-Patientenversorgung | M2-Summe B-Anlagen | M2-Summe C-Anlagen |
| Biologische Produktion | 1          | 1                  | 2                    | 2                | 2             | 1                            | 2             | 2             | 2                                       | 1                   | 1      | 1                   | 1    | 0,294853      | 0,199115            | 0,176991       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,4424779              | 1,3327   | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | 2          | 2                  | 2                    | 2                | 1             | 1                            | 2             | 1             | 1                                       | 2                   | 1      | 2                   | 2    | 0,4424779     | 0,199115            | 0,221239       | 0,0519    | 0,1428571              | 0,8849558              | 1,95259  | WAHR          | FALSCH              | WAHR           | WAHR      | WAHR                   | FALSCH                 | WAHR               | FALSCH             |
| Biologische Produktion | 1          | 2                  | 3                    | 2                | 1             | 1                            | 2             | 3             | 2                                       | 1                   | 1      | 1                   | 1    | 0,4424779     | 0,199115            | 0,221239       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,4424779              | 1,52444  | WAHR          | FALSCH              | WAHR           | WAHR      | WAHR                   | FALSCH                 | WAHR               | FALSCH             |
| Biologische Produktion | 2          | 2                  | 3                    | 3                | 2             | 2                            | 2             | 3             | 2                                       | 1                   | 1      | 2                   | 2    | 0,5162242     | 0,331858            | 0,221239       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,17941  | WAHR          | WAHR                | WAHR           | WAHR      | WAHR                   | FALSCH                 | WAHR               | WAHR               |
| Biologische Produktion | 2          | 2                  | 3                    | 2                | 2             | 2                            | 2             | 2             | 2                                       | 1                   | 1      | 2                   | 2    | 0,5162242     | 0,265487            | 0,176991       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,06279  | WAHR          | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | WAHR               | FALSCH             |
| Biologische Produktion | 1          | 2                  | 2                    | 2                | 2             | 2                            | 1             | 2             | 2                                       | 1                   | 1      | 2                   | 2    | 0,3687316     | 0,265487            | 0,132743       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,8849558              | 1,87105  | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |
| Biologische Produktion | n.z.       | n.z.               | n.z.                 | n.z.             | n.z.          | n.z.                         | n.z.          | n.z.          | n.z.                                    | n.z.                | n.z.   | n.z.                | n.z. | 0             | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         | FALSCH    | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |





## Bewertung der Erfolgsfaktoren zur Anlagenauswahl der biologischen Produktion – Teil 5

| Technische<br>Bereich-Linze | Stabilität |                         |                          | Qualität (SCRAP) |   | Mitarbeiter         |                    | Kosten  |        | Umwelt & Sicherheit |     | Patienten-<br>versorgung |                            | Methode 1               |               |                              |                                      |         |                   |                            | Methode 2               |                                    |                                    |                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |
|-----------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|------------------|---|---------------------|--------------------|---|--------|---------------------|-----|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|------------------------------|--------------------------------------|---------|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|                             | Redundanz  | Produktions-<br>planung | Auslastung/<br>Beplanung | Ab-<br>wechslung | Durch<br>ausfall<br>resultierender<br>SCRAP | Ums-<br>planbarkeit | Zufrieden-<br>heit | Ausfallkosten<br>(Überstunden<br>& Reparatur) | Mensch | Umwelt              | CSL | M1-<br>Stabilität        | M1-<br>Qualität<br>(SCRAP) | M1-<br>Mit-<br>arbeiter | M1-<br>Kosten | M1-<br>Umwelt/<br>Sicherheit | M1-<br>Patienten-<br>ver-<br>sorgung | M1-Sum  | M2-<br>Stabilität | M2-<br>Qualität<br>(SCRAP) | M2-<br>Mit-<br>arbeiter | M2-<br>Kosten<br>& Sicher-<br>heit | M2-<br>Umwelt<br>& Sicher-<br>heit | M2-<br>Patienten-<br>ver-<br>sorgung | M2-Sum | M2-Sum | M2-Sum | M2-Sum | M2-Sum | M2-Sum | M2-Sum |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 1                       | 2                        | 2                | 1   | 1                   | 1                  | 1   | 1      | 1                   | 1   | 0,294953                 | 0,199115                   | 0,088496                | 0,0619        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,1226  | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |        |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 1                       | 2                        | 2                | 1   | 1                   | 1                  | 1   | 1      | 1                   | 1   | 0,294953                 | 0,199115                   | 0,088496                | 0,0619        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,1226  | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |        |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 1                        | 2                | 1   | 1                   | 3                  | 1   | 1      | 1                   | 3   | 0,516242                 | 0,199115                   | 0,176991                | 0,0619        | 0,0952381                    | 1,3274936                            | 2,37695 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |        |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 2          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 2                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,5899705                | 0,39823                    | 0,221239                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,42309 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 2          | 3                       | 2                        | 1                | 3   | 2                   | 3                  | 3   | 1      | 1                   | 2   | 0,516242                 | 0,265487                   | 0,221239                | 0,1658        | 0,0952381                    | 0,8849558                            | 2,16898 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |        |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 2                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,6637168                | 0,39823                    | 0,221239                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,49684 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 2                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,6637168                | 0,39823                    | 0,221239                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,49684 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 2                       | 2                        | 2                | 1   | 1                   | 1                  | 2   | 1      | 1                   | 1   | 0,3487316                | 0,199115                   | 0,088496                | 0,1339        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,31795 | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 2                       | 2                        | 2                | 1   | 1                   | 1                  | 2   | 1      | 1                   | 1   | 0,3487316                | 0,199115                   | 0,088496                | 0,1339        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,31795 | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |        |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 2                       | 1                        | 2                | 1   | 1                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,424779                 | 0,199115                   | 0,176991                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,03224 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 1                       | 1                        | 2                | 1   | 1                   | 1                  | 1   | 1      | 1                   | 1   | 0,2212389                | 0,199115                   | 0,088496                | 0,0619        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,10851 | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 3                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,6637168                | 0,39823                    | 0,265487                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,54109 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 3                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,6637168                | 0,39823                    | 0,265487                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,54109 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |      |
| Biologische<br>Produktion   | 2          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 1                   | 3                  | 3   | 1      | 2                   | 2   | 0,5899705                | 0,39823                    | 0,176991                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,37885 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |      |
| Biologische<br>Produktion   | 2          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 1                   | 3                  | 3   | 1      | 2                   | 2   | 0,5899705                | 0,39823                    | 0,176991                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,37885 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   |      |
| Biologische<br>Produktion   | 1          | 1                       | 2                        | 1                | 1   | 1                   | 1                  | 2   | 1      | 1                   | 1   | 0,294953                 | 0,132745                   | 0,132745                | 0,1339        | 0,0952381                    | 0,424779                             | 1,2208  | FALSCH            | FALSCH                     | FALSCH                  | FALSCH                             | FALSCH                             | FALSCH                               | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH | FALSCH |      |
| Biologische<br>Produktion   | 3          | 3                       | 3                        | 3                | 3   | 2                   | 3                  | 3   | 2      | 1                   | 2   | 0,6637168                | 0,39823                    | 0,221239                | 0,1658        | 0,1438571                    | 0,8849558                            | 2,49684 | WAHR              | WAHR                       | WAHR                    | WAHR                               | WAHR                               | WAHR                                 | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR   | WAHR |



## Bewertung der Erfolgsfaktoren zur Anlagenauswahl der biologischen Produktion – Teil 6

| Technische Plätze      | Redundanz | Stabilität         |                      | Qualität (SCRAP) |               | Mitarbeiter            |               | Kosten                                  |        | Umwelt & Sicherheit |     | Patientenversorgung |                     | Methode 1      |           |                        |                        |          |               |                     |                |           |                        | Methode 2              |                    |                    |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|---------------|------------------------|---------------|---|--------|---------------------|-----|---------------------|---------------------|----------------|-----------|------------------------|------------------------|----------|---------------|---------------------|----------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|
|                        |           | Produktionsplanung | Auslastung/Beplanung | Abweichung       | Durchlaufzeit | Produktionsplanbarkeit | Zufriedenheit | Ausfallkosten (Überstunden & Reparatur) | Mensch | Umwelt              | CSL | M1-Stabilität       | M1-Qualität (SCRAP) | M1-Mitarbeiter | M1-Kosten | M1-Umwelt & Sicherheit | M1-Patientenversorgung | M1-Summe | M2-Stabilität | M2-Qualität (SCRAP) | M2-Mitarbeiter | M2-Kosten | M2-Umwelt & Sicherheit | M2-Patientenversorgung | M2-Summe B-Anlagen | M2-Summe C-Anlagen |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 3                | 3             | 2                      | 3             | 3                                       | 2      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,39823             | 0,221239       | 0,1358    | 0,142857               | 0,8849558              | 2,49664  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 3                | 3             | 2                      | 3             | 3                                       | 2      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,39823             | 0,221239       | 0,1358    | 0,142857               | 0,8849558              | 2,49664  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 3                | 3             | 2                      | 3             | 3                                       | 2      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,39823             | 0,221239       | 0,1358    | 0,142857               | 0,8849558              | 2,49664  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 3                | 3             | 2                      | 3             | 3                                       | 2      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,331858            | 0,221239       | 0,1358    | 0,142857               | 0,8849558              | 2,49047  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 3                | 3             | 3                      | 3             | 2                                       | 1      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,39823             | 0,265487       | 0,1239    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,43152  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 2                  | 1                    | 2                | 2             | 2                      | 2             | 3                                       | 1      | 1                   | 2   | 0,4424779           | 0,265487            | 0,178991       | 0,1858    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,05099  | WAHR          | FALSCH              | FALSCH         |           | FALSCH                 | FALSCH                 | WAHR               | FALSCH             |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 2                  | 3                    | 2                | 2             | 2                      | 2             | 3                                       | 1      | 1                   | 2   | 0,589705            | 0,265487            | 0,178991       | 0,1858    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,19848  | WAHR          | FALSCH              | FALSCH         |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | FALSCH             |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 3         | 3                  | 3                    | 2                | 2             | 2                      | 3             | 3                                       | 1      | 1                   | 2   | 0,663768            | 0,265487            | 0,221239       | 0,1858    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,31648  | WAHR          | FALSCH              | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | FALSCH             |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion |           |                    |                      |                  |               |                        |               |   |        |                     |     | 0                   | 0                   | 0              | 0         | 0                      | 0                      | 0        | FALSCH        | FALSCH              | FALSCH         |           | FALSCH                 | FALSCH                 | FALSCH             | FALSCH             |  |  |  |  |  |  |  |
| Biologische Produktion | 2         | 2                  | 2                    | 2                | 3             | 2                      | 3             | 3                                       | 1      | 1                   | 2   | 0,4424779           | 0,331858            | 0,221239       | 0,1858    | 0,0952381              | 0,8849558              | 2,18161  | WAHR          | WAHR                | WAHR           |           | FALSCH                 | WAHR                   | WAHR               | WAHR               |  |  |  |  |  |  |  |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Flexibilität**

|  |   | Flexibilität         |                    |      |               |     |
|--|---|----------------------|--------------------|------|---------------|-----|
|  |   | Fremdleistungsanteil | Materialreichweite | MTTR | Durchlaufzeit | CSL |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |                      |                    |      |               |     |
| Auslastung   | <50%  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 5   |
|  | 50-70%  | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | 70-90%  | 3                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | 90-99%  | 5                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
|  | 100%  | 5                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 5   |
|  | lose  | 1                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 5   |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 5   |
| Komplexität  | gering  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | mittel  | 1                    | 1                  | 3    | 3             | 1   |
|  | hoch  | 3                    | 1                  | 5    | 5             | 1   |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 5                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | Mittel- thw. Automatisierung                          | 3                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
|  | gesetzl & unternehmensspez. Anforderungen             | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                    | 1                  | 3    | 1             | 1   |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 3                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 3                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 5                    | 1                  | 1    | 3             | 5   |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | gesetzl & unternehmensspez. Anforderungen             | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 3                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                    | 1                  | 1    | 1             | 1   |
|  | 5-20 Jahre  | 1                    | 1                  | 1    | 3             | 1   |
|  | >20 Jahre   | 1                    | 1                  | 1    | 5             | 1   |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
|  | bekannt   | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Dokumentiert  | 3                    | 3                  | 5    | 5             | 1   |
| Redundanz  | Keine   | 3                    | 1                  | 5    | 5             | 5   |
|  | anlagenbezogen/thw. Vorhanden                         | 1                    | 3                  | 3    | 3             | 3   |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                    | 5                  | 1    | 1             | 1   |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 1                    | 3                  | 3    | 5             | 1   |
|  | Insselfertigung                                       | 1                    | 3                  | 3    | 5             | 1   |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Linienfertigung                                       | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |
|  | Fließbandfertigung                                    | 1                    | 5                  | 5    | 5             | 1   |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Flexibilität**

|                                     |                                 | Flexibilität         |                    |        |               |        |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|--------|---------------|--------|
|                                     |                                 | Fremdleistungsanteil | Materialreichweite | MTTR   | Durchlaufzeit | CSL    |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                      |                    |        |               |        |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 5                    | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Großserienfertigung             | 5                    | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Sortenfertigung                 | 5                    | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                    | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Wiederholfertigung              | 5                    | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Chargenfertigung                | 5                    | 5                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Einzelfertigung                 | 5                    | 3                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | Ortgebunden                     | 5                    | 3                  | 5      | 3             | 1      |
|                                     | Ortsungebunden                  | 5                    | 1                  | 3      | 5             | 1      |
|                                     | Lagerfertigung                  | 3                    | 3                  | 3      | 5             | 5      |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                    | 5                  | 5      | 5             | 5      |
|                                     | Programmfertigung               | 3                    | 3                  | 5      | 5             | 5      |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb           | 1                    | 3                  | 5      | 5             | 5      |
|                                     | Wochenendbetrieb                | 1                    | 1                  | 3      | 3             | 5      |
|                                     | 1-schicht                       | 1                    | 1                  | 5      | 5             | 5      |
|                                     | 2-Schicht                       | 1                    | 3                  | 3      | 3             | 5      |
|                                     | 3-Schicht                       | 3                    | 5                  | 3      | 3             | 5      |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 5                    | 1                  | 5      | 5             | 1      |
|                                     | durchwachsen                    | 3                    | 1                  | 3      | 3             | 1      |
|                                     | einheitlich gut                 | 1                    | 1                  | 1      | 1             | 1      |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                    | 5                  | 1      | 1             | 1      |
|                                     | schlecht                        | 1                    | 5                  | 1      | 1             | 1      |
|                                     | Punkteanzahl                    | 42                   | 44                 | 60     | 60            | 46     |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 56,76%               | 59,46%             | 81,08% | 81,08%        | 62,16% |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 43                   | 45                 | 61     | 61            | 66     |
|                                     |                                 | 47,5%                | 49,7%              | 67,8%  | 67,8%         | 73,4%  |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie GSU**

|  |   | GSU        |   |   |                            |                                   |                     |               |                                |
|--|---|------------|---|---|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|--------------------------------|
|  |   | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktionsbereich | Abfall-<br>aufkommen/<br>Produktionsbereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energie-<br>verbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF & SIF) | Emissionsgrad | Lost<br>Time<br>Injury<br>Rate |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     |            |   |   |                            |                                   |                     |               |                                |
| Auslastung   | <50%  | 3          | 1   | 1   | 5                          | 1                                 | 5                   | 1             | 5                              |
|  | 50-70%  | 3          | 3   | 3   | 5                          | 3                                 | 5                   | 3             | 5                              |
|  | 70-90%  | 3          | 3   | 3   | 5                          | 3                                 | 5                   | 3             | 5                              |
|  | 90-99%  | 5          | 5   | 5   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 5                              |
|  | 100%  | 5          | 5   | 5   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 5                              |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1          | 3   | 5   | 1                          | 3                                 | 1                   | 3             | 1                              |
|  | lose  | 1          | 3   | 5   | 1                          | 3                                 | 1                   | 3             | 1                              |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1          | 3   | 5   | 1                          | 3                                 | 3                   | 3             | 1                              |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 5                   | 5             | 1                              |
| Komplexität  | gering  | 1          | 1   | 1   | 1                          | 1                                 | 1                   | 1             | 1                              |
|  | mittel  | 1          | 1   | 1   | 1                          | 1                                 | 1                   | 1             | 1                              |
|  | hoch  | 3          | 3   | 1   | 3                          | 3                                 | 3                   | 1             | 3                              |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 1          | 3   | 1   | 5                          | 3                                 | 5                   | 1             | 5                              |
|  | Mittel - tw. Automatisierung                          | 1          | 3   | 1   | 3                          | 3                                 | 3                   | 1             | 3                              |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1          | 5   | 1   | 1                          | 5                                 | 1                   | 1             | 3                              |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 3          | 5   | 3   | 5                          | 5                                 | 5                   | 1             | 5                              |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 3          | 5   | 3   | 5                          | 5                                 | 5                   | 1             | 5                              |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 5          | 5   | 3   | 5                          | 5                                 | 5                   | 1             | 5                              |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 3             | 1                              |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 3             | 1                              |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 3             | 1                              |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 5                   | 3             | 1                              |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 5                   | 5             | 1                              |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 5                   | 5             | 1                              |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 1                   | 5             | 1                              |
|  | 5-20 Jahre  | 1          | 3   | 3   | 3                          | 3                                 | 3                   | 3             | 1                              |
|  | >20 Jahre   | 1          | 5   | 5   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 3                              |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 1                   | 5             | 1                              |
|  | bekannt   | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 1                   | 5             | 1                              |
|  | Dokumentiert  | 1          | 5   | 5   | 1                          | 5                                 | 1                   | 5             | 1                              |
| Redundanz  | Keine   | 1          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 1             | 1                              |
|  | anlagenbezogen/tw. Vorhanden                          | 1          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 1             | 1                              |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1          | 3   | 3   | 1                          | 3                                 | 1                   | 1             | 1                              |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 5          | 5   | 3   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 5                              |
|  | Inselfertigung  | 5          | 5   | 3   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 5                              |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 5          | 5   | 5   | 5                          | 5                                 | 5                   | 5             | 5                              |

Anhang D: Anwendungsfall 2 + 3 – Pharmazeutisches Unternehmen

|                |                    | GSU        |  |  |                            |                                   |                        |               |                                |
|----------------|--------------------|------------|--|--|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
|                |                    | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktions-<br>bereich | Abfall-<br>aufkommen/<br>Produktions-<br>bereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energie-<br>verbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF &<br>SIF) | Emissionsgrad | Lost<br>Time<br>Injury<br>Rate |
| Charakteristik | Ausprägungsstufen  |            |  |  |                            |                                   |                        |               |                                |
|                | Linienfertigung    | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                | Fließbandfertigung | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |

Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie GSU

|                                      |                                  | GSU        |  |  |                            |                                   |                        |               |                                |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------|--|--|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
|                                      |                                  | Sauberkeit | Ressourcen-<br>verbrauch<br>/Produktions-<br>bereich | Abfall-<br>aufkommen/<br>Produktions-<br>bereich | Sicherheit<br>(pSIF & SIF) | Energie-<br>verbrauch<br>/Produkt | Umwelt (pSIF &<br>SIF) | Emissionsgrad | Lost<br>Time<br>Injury<br>Rate |
| Charakteristik                       | Ausprägungsstufen                |            |  |  |                            |                                   |                        |               |                                |
| Fertigungsart                        | Massenfertigung                  | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Großserienfertigung              | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Sortenfertigung                  | 5          | 5  | 3  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Einzel-<br>/Kleinserienfertigung | 5          | 5  | 1  | 5                          | 1                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|                                      | Wiederholfertigung               | 5          | 5  | 3  | 5                          | 3                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|                                      | Chargenfertigung                 | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Einzelfertigung                  | 5          | 5  | 3  | 5                          | 3                                 | 3                      | 5             | 5                              |
|                                      | Ortgebunden                      | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Ortsungebunden                   | 5          | 5  | 3  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Lagerfertigung                   | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Auftragsfertigung                | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | Programmfertigung                | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
| Schichtmodell                        | Kein<br>Wochenendbetrieb         | 1          | 1  | 1  | 1                          | 1                                 | 1                      | 1             | 1                              |
|                                      | Wochenendbetrieb                 | 5          | 5  | 5  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | 1-schicht                        | 5          | 5  | 1  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | 2-Schicht                        | 5          | 5  | 3  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
|                                      | 3-Schicht                        | 5          | 5  | 3  | 5                          | 5                                 | 5                      | 5             | 5                              |
| Qualifizierungs-level noch aufnehmen | nicht bekannt                    | 1          | 5  | 5  | 5                          | 1                                 | 5                      | 1             | 3                              |
|                                      | durchwachsen                     | 1          | 3  | 3  | 3                          | 1                                 | 3                      | 1             | 3                              |
|                                      | einheitlich gut                  | 3          | 1  | 1  | 1                          | 1                                 | 1                      | 1             | 1                              |
| Zeitbezogene r Erhaltungszustand     | gut                              | 3          | 3  | 1  | 1                          | 1                                 | 1                      | 3             | 1                              |
|                                      | schlecht                         | 1          | 5  | 1  | 5                          | 5                                 | 3                      | 5             | 1                              |
|                                      | Punkteanzahl                     | 50         | 70   | 58   | 52                         | 66                                | 60                     | 56            | 52                             |
|                                      | Wichtigkeit der Punkteanzahl     | 67,57%     | 94,59%   | 78,38%   | 70,27%                     | 89,19%                            | 81,08%                 | 75,68%        | 70,27%                         |
|                                      | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF  | 58,2%      | 81,4%  | 67,5%  | 60,5%                      | 76,8%                             | 69,8%                  | 65,1%         | 60,5%                          |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Kosten**

|  |  | Kosten             |                       |                           |               |
|--|--|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|
|  |  | IH-Kosteneffizienz | Budgetabweichungsgrad | Überstunden pro Abteilung | IH-Intensität |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                    |                    |                       |                           |               |
| Auslastung   | <50%   | 5                  | 5                     | 1                         | 3             |
|  | 50-70%   | 5                  | 5                     | 1                         | 3             |
|  | 70-90%   | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | 90-99%   | 5                  | 5                     | 3                         | 5             |
|  | 100%   | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
| Verkettungsgrad  | Keine  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | lose   | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | gering ohne Taktzwang                                | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Starr mit Taktzwang                                  | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
| Komplexität  | gering   | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | mittel   | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | hoch   | 5                  | 3                     | 3                         | 3             |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                    | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | Mittel - tlw. Automatisierung                        | 5                  | 3                     | 1                         | 3             |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                      | 5                  | 1                     | 1                         | 3             |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                     | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen           | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                  | 3                  | 1                     | 3                         | 1             |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse            | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                     | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                     | 3                  | 3                     | 1                         | 1             |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                     | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen           | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung   | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre   | 5                  | 3                     | 1                         | 5             |
|  | 5-20 Jahre   | 5                  | 1                     | 1                         | 3             |
|  | >20 Jahre  | 5                  | 3                     | 1                         | 5             |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt  | 5                  | 3                     | 5                         | 5             |
|  | bekannt  | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
|  | Dokumentiert   | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
| Redundanz  | Keine  | 5                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | anlagenbezogen/tlw. Vorhanden                        | 5                  | 3                     | 1                         | 1             |
|  | Sehr anpassungsfähig/Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 5                  | 5                     | 1                         | 1             |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Insselfertigung                                      | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Fließreihenfertigung                                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Linienfertigung                                      | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|  | Fließbandfertigung                                   | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Kosten**

|                                     |                                 | Kosten             |                       |                           |               |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|
|                                     |                                 | IH-Kosteneffizienz | Budgetabweichungsgrad | Überstunden pro Abteilung | IH-Intensität |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                    |                       |                           |               |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Großserienfertigung             | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Sortenfertigung                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Wiederholfertigung              | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Chargenfertigung                | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Einzelfertigung                 | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Ortgebunden                     | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Ortsungebunden                  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Lagerfertigung                  | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                  | 5                     | 5                         | 5             |
|                                     | Programmfertigung               | 3                  | 3                     | 3                         | 3             |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb           | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | Wochenendbetrieb                | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 1-schicht                       | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 2-Schicht                       | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
|                                     | 3-Schicht                       | 1                  | 1                     | 5                         | 1             |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 5                  | 3                     | 5                         | 3             |
|                                     | durchwachsen                    | 5                  | 1                     | 3                         | 3             |
|                                     | einheitlich gut                 | 3                  | 1                     | 1                         | 1             |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                  | 1                     | 1                         | 1             |
|                                     | schlecht                        | 3                  | 5                     | 3                         | 3             |
|                                     | Punkteanzahl                    | 56                 | 30                    | 36                        | 34            |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 75,68%             | 40,54%                | 48,65%                    | 45,95%        |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 59                 | 32                    | 38                        | 36            |
|                                     |                                 | 65,8%              | 35,2%                 | 42,3%                     | 39,9%         |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Mitarbeiter**

| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     | Mitarbeiter                      |                |                              |                          |                         |
|--|---|----------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|  |   | Qualifizierung (Ausbildungsgrad) | Schulungsquote | Mitarbeiterflexibilitätsgrad | Mitarbeiterzufriedenheit | Personalauslastungsgrad |
| Auslastung   | <50%  | 1                                | 1              | 5                            | 5                        | 1                       |
|  | 50-70%  | 1                                | 1              | 5                            | 5                        | 1                       |
|  | 70-90%  | 3                                | 1              | 3                            | 5                        | 3                       |
|  | 90-99%  | 5                                | 3              | 1                            | 5                        | 3                       |
|  | 100%  | 5                                | 3              | 1                            | 5                        | 5                       |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | lose  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Komplexität  | gering  | 1                                | 1              | 5                            | 1                        | 1                       |
|  | mittel  | 3                                | 3              | 3                            | 1                        | 3                       |
|  | hoch  | 5                                | 5              | 1                            | 1                        | 5                       |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 5                                | 5              | 5                            | 3                        | 5                       |
|  | Mittel- tlw. Automatisierung                          | 5                                | 3              | 3                            | 3                        | 3                       |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 5                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                                | 1              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen            | 1                                | 3              | 1                            | 3                        | 1                       |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1                                | 3              | 1                            | 5                        | 1                       |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                                | 3              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | 5-20 Jahre  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | >20 Jahre   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
|  | bekannt   | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
|  | Dokumentiert  | 3                                | 1              | 5                            | 1                        | 5                       |
| Redundanz  | Keine   | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | anlagenbezogen/tlw. Vorhanden                         | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Insselfertigung                                       | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Linienfertigung                                       | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |
|  | Fließbandfertigung                                    | 1                                | 1              | 1                            | 1                        | 1                       |



### Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Mitarbeiter

|                                     |                                 | Mitarbeiter                         |                |                              |                               |                              |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                                     |                                 | Qualifizierung<br>(Ausbildungsgrad) | Schulungsquote | Mitarbeiterflexibilitätsgrad | Mitarbeiter-<br>zufriedenheit | Personal-<br>auslastungsgrad |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                                     |                |                              |                               |                              |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Großserienfertigung             | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Sortenfertigung                 | 3                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                                   | 3              | 3                            | 1                             | 3                            |
|                                     | Wiederholfertigung              | 3                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Chargenfertigung                | 3                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Einzelfertigung                 | 5                                   | 3              | 5                            | 1                             | 3                            |
|                                     | Ortgebunden                     | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Ortsungebunden                  | 1                                   | 3              | 3                            | 1                             | 5                            |
|                                     | Lagerfertigung                  | 3                                   | 1              | 1                            | 1                             | 1                            |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                                   | 1              | 3                            | 3                             | 3                            |
|                                     | Programmfertigung               | 3                                   | 1              | 3                            | 1                             | 3                            |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb           | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 1                            |
|                                     | Wochenendbetrieb                | 5                                   | 1              | 5                            | 3                             | 1                            |
|                                     | 1-Schicht                       | 5                                   | 1              | 1                            | 1                             | 1                            |
|                                     | 2-Schicht                       | 5                                   | 1              | 3                            | 1                             | 1                            |
|                                     | 3-Schicht                       | 5                                   | 1              | 5                            | 1                             | 1                            |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 5                                   | 5              | 5                            | 5                             | 5                            |
|                                     | durchwachsen                    | 5                                   | 3              | 5                            | 5                             | 5                            |
|                                     | einheitlich gut                 | 1                                   | 1              | 5                            | 5                             | 5                            |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 1                            |
|                                     | schlecht                        | 1                                   | 1              | 1                            | 1                             | 1                            |
|                                     | Punkteanzahl                    | 42                                  | 30             | 34                           | 40                            | 40                           |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 56,76%                              | 40,54%         | 45,95%                       | 54,05%                        | 54,05%                       |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 46                                  | 33             | 37                           | 44                            | 44                           |
|                                     |                                 | 50,7%                               | 36,2%          | 41,1%                        | 48,3%                         | 48,3%                        |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Qualität**

| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                     | Qualität             |                       |                                  |                   |                                    |  |
|--|---|----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
|  |   | Nachbearbeitungszeit | Nachbearbeitungsquote | Ausschussrate (batches rejected) | Reklamationsquote | Qualitätsabweichungen (deviations) | Produktqualität (batches right first time) |
| Auslastung   | <50%  | 1                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 5  |
|  | 50-70%  | 3                    | 5                     | 5                                | 3                 | 3                                  | 5  |
|  | 70-90%  | 3                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|  | 90-99%  | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|  | 100%  | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
| Verkettungsgrad  | Keine   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | lose  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gering ohne Taktzwang                                 | 3                    | 3                     | 3                                | 1                 | 3                                  | 3  |
|  | Starr mit Taktzwang                                   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 3  |
| Komplexität  | gering  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | mittel  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | hoch  | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                     | 3                    | 3                     | 1                                | 1                 | 5                                  | 3  |
|  | Mittel - tlw. Automatisierung                         | 3                    | 1                     | 1                                | 1                 | 3                                  | 1  |
|  | hoch-weitgehend Automatisierung                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 5                                  | 1  |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gesetzl. unternehmensspez. Anforderungen              | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse             | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                      | 3                    | 3                     | 3                                | 3                 | 3                                  | 3  |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                      | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | gesetzl. unternehmensspez. Anforderungen              | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung    | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | 5-20 Jahre  | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|  | >20 Jahre   | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 3                                  | 1  |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 5  |
|  | bekannt   | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 5  |
|  | Dokumentiert  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 5  |
| Redundanz  | Keine   | 1                    | 1                     | 1                                | 5                 | 1                                  | 1  |
|  | anlagenbezogen/tlw. Vorhanden                         | 1                    | 1                     | 1                                | 3                 | 1                                  | 1  |
|  | Sehr anpassungsfähig/ Ausweichmöglichkeiten vorhanden | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Fertigungsprinzip  | Werkstättenfertigung                                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Inselfertigung  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Fließreihenfertigung                                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Linienfertigung                                       | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|  | Fließbandfertigung                                    | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Qualität**

|                                     |                                 | Qualität             |                       |                                  |                   |                                    |  |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
|                                     |                                 | Nachbearbeitungszeit | Nachbearbeitungsquote | Ausschussrate (batches rejected) | Reklamationsquote | Qualitätsabweichungen (deviations) | Produktqualität (batches right first time) |
| Charakteristik                      | Ausprägungsstufen               |                      |                       |                                  |                   |                                    |  |
| Fertigungsart                       | Massenfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Großserienfertigung             | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Sortenfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Einzel-/Kleinserienfertigung    | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Wiederholfertigung              | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Chargenfertigung                | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Einzelfertigung                 | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Ortgebunden                     | 5                    | 5                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Ortsungebunden                  | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Lagerfertigung                  | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 3                                  | 5  |
|                                     | Auftragsfertigung               | 5                    | 5                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|                                     | Programmfertigung               | 3                    | 3                     | 3                                | 3                 | 5                                  | 5  |
| Schichtmodell                       | Kein Wochenendbetrieb           | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | Wochenendbetrieb                | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 1-schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 2-Schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | 3-Schicht                       | 1                    | 1                     | 1                                | 1                 | 1                                  | 1  |
| Qualifizierungslevel noch aufnehmen | nicht bekannt                   | 1                    | 1                     | 5                                | 5                 | 5                                  | 5  |
|                                     | durchwachsen                    | 3                    | 3                     | 5                                | 3                 | 5                                  | 3  |
|                                     | einheitlich gut                 | 5                    | 5                     | 5                                | 1                 | 3                                  | 3  |
| Zeitbezogener Erhaltungszustand     | gut                             | 1                    | 1                     | 3                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | schlecht                        | 1                    | 1                     | 5                                | 1                 | 1                                  | 1  |
|                                     | Punkteanzahl                    | 44                   | 48                    | 54                               | 30                | 48                                 | 48   |
|                                     | Wichtigkeit der Punkteanzahl    | 59,46%               | 64,86%                | 72,97%                           | 40,54%            | 64,86%                             | 64,86%                                     |
|                                     | Wichtigkeit inkl. Gewichtung EF | 50                   | 54                    | 61                               | 34                | 54                                 | 54   |
|                                     |                                 | 55,1%                | 60,1%                 | 67,6%                            | 37,5%             | 60,1%                              | 60,1%                                      |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Stabilität**

|  |  | Stabilität            |                                    |              |                 |       |                  |             |                   |                          |                               |                  |        |
|--|--|-----------------------|------------------------------------|--------------|-----------------|-------|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|--------|
|  |  | Anlagen-verfügbarkeit | Leistungs-grad / P-Geschwindigkeit | Ausfall-zeit | Stör-häufigkeit | MTB F | Wartungs-aufwand | Liefertreue | Vor-beugungs-grad | Ersatzteil-Verfügbarkeit | Planungs-erfüllung Produktion | Planungs-grad IH | Output |
| Charakteristik   | Ausprägungsstufen                                  |                       |                                    |              |                 |       |                  |             |                   |                          |                               |                  |        |
| Auslastung   | <50%   | 1                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 5                             | 1                | 5      |
|  | 50-70%   | 3                     | 3                                  | 3            | 3               | 3     | 3                | 3           | 3                 | 3                        | 5                             | 3                | 5      |
|  | 70-90%   | 3                     | 3                                  | 3            | 3               | 3     | 3                | 3           | 3                 | 3                        | 5                             | 3                | 5      |
|  | 90-99%   | 5                     | 3                                  | 5            | 5               | 5     | 5                | 5           | 5                 | 5                        | 5                             | 5                | 5      |
|  | 100%   | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 5                | 5           | 5                 | 5                        | 5                             | 5                | 5      |
| Verkettungs-grad   | Keine  | 3                     | 3                                  | 5            | 5               | 1     | 1                | 1           | 3                 | 3                        | 1                             | 3                | 5      |
|  | lose   | 3                     | 3                                  | 5            | 5               | 1     | 3                | 1           | 3                 | 3                        | 3                             | 3                | 5      |
|  | gering ohne Taktzwang                              | 3                     | 5                                  | 5            | 5               | 3     | 3                | 3           | 5                 | 5                        | 3                             | 5                | 5      |
|  | Starr mit Taktzwang                                | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 5                | 5           | 5                 | 5                        | 5                             | 5                | 5      |
| Komplexität  | gering   | 1                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 3                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | mittel   | 1                     | 1                                  | 3            | 3               | 1     | 3                | 1           | 3                 | 3                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | hoch   | 1                     | 1                                  | 5            | 5               | 1     | 5                | 1           | 5                 | 5                        | 1                             | 5                | 1      |
| Automatisierungsgrad                                       | Keine bis geringe Automatisierung                  | 1                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 3                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | Mittel - tlw. Automatisierung                      | 3                     | 3                                  | 3            | 3               | 3     | 3                | 1           | 3                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | hochweitgehend Automatisierung                     | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 5                | 1           | 5                 | 1                        | 3                             | 5                | 1      |
| Anforderungen an Arbeits- und Gesundheitsschutz            | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                   | 3                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen         | 3                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | Laufende Evaluierung & Verbesserung                | 3                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 3                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
| Anforderungen an Arbeitsproduktivität / Wirtschaftlichkeit | Ist/Soll Betrachtung, keine Detailanalyse          | 1                     | 1                                  | 3            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | Teilweise Analyse von Kennzahlen                   | 3                     | 3                                  | 3            | 3               | 3     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | Laufende Analyse und Optimierung                   | 5                     | 3                                  | 5            | 5               | 5     | 1                | 1           | 3                 | 1                        | 3                             | 3                | 3      |
| Anforderungen an Umwelt                                    | gesetzl. Anforderungen umgesetzt                   | 3                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | gesetzl. & unternehmensspez. Anforderungen         | 3                     | 1                                  | 1            | 1               | 1     | 1                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
|  | Laufende Optimierung hinsichtl. Ressourcenschonung | 5                     | 3                                  | 3            | 3               | 1     | 3                | 1           | 1                 | 1                        | 1                             | 3                | 1      |
| Alter der Anlage   | <5 Jahre   | 5                     | 5                                  | 1            | 5               | 5     | 5                | 1           | 5                 | 1                        | 1                             | 5                | 3      |
|  | 5-20 Jahre   | 3                     | 5                                  | 3            | 5               | 3     | 3                | 1           | 3                 | 1                        | 1                             | 5                | 3      |
|  | >20 Jahre  | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 5                | 3           | 5                 | 5                        | 3                             | 5                | 5      |
| Ausfallkosten  | nicht bekannt                                      | 1                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                        | 1                             | 5                | 5      |
|  | bekannt  | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                        | 1                             | 5                | 5      |
|  | Dokumentiert                                       | 5                     | 5                                  | 5            | 5               | 5     | 1                | 5           | 5                 | 5                        | 1                             | 5                | 5      |

**Kriterienübersicht biologische Produktion Kategorie Stabilität**

|  |  | Stabilität                    |   |                        |                          |            |                      |             |                           |                                   |                                      |                         |             |
|--|--|-------------------------------|---|------------------------|--------------------------|------------|----------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|
|  |  | Anlage-<br>verfüg-<br>barkeit | Leistung<br>s-grad /<br>P-Ge-<br>schwind-<br>igkeit | Aus-<br>fall-<br>-zeit | Stör-<br>häufig-<br>keit | MTB<br>F   | Wartungs-<br>aufwand | Liefertreue | Vor-<br>beugungs-<br>grad | Ersatzteil-<br>Verfügbar-<br>keit | Planungs-<br>erfüllung<br>Produktion | Planung<br>s-grad<br>IH | Out-<br>put |
| Charakteristi-<br>k                                  | Ausprägung<br>s-stufen   |                               |   |                        |                          |            |                      |             |                           |                                   |                                      |                         |             |
| Redundanz  | Keine  | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 1          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 5                       | 5           |
|  | Anlagen-<br>bezogen/tiw.<br>Vorhanden                                    | 3                             | 3   | 3                      | 3                        | 1          | 3                    | 3           | 3                         | 3                                 | 3                                    | 3                       | 3           |
|  | Sehr<br>anpassungs-<br>fähig/<br>Ausweich-<br>möglichkeiten<br>vorhanden | 1                             | 1   | 1                      | 1                        | 1          | 1                    | 1           | 1                         | 1                                 | 1                                    | 1                       | 3           |
| Fertigungs-<br>prinzip                               | Werkstätten-<br>fertigung  | 3                             | 5   | 5                      | 1                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 3                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Inselfertigung   | 3                             | 5   | 5                      | 1                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 3                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Fließreihen-<br>fertigung  | 5                             | 5   | 5                      | 3                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Linien-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Fließband-<br>fertigung  | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
| Fertigungsar-<br>t                                   | Massen-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 1                        | 3          | 3                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 3           |
|  | Großserien-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 1                        | 3          | 3                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 3           |
|  | Sorten-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 3                        | 5          | 3                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 3           |
|  | Einzel-<br>/Kleinserien-<br>fertigung                                    | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Wiederhol-<br>fertigung  | 5                             | 5   | 5                      | 3                        | 3          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 3           |
|  | Chargen-<br>fertigung  | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Einzel-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Ortgebunden  | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Orts-<br>ungebunden  | 3                             | 5   | 3                      | 1                        | 3          | 1                    | 5           | 5                         | 3                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | Lagerfertigung   | 3                             | 5   | 3                      | 1                        | 3          | 3                    | 1           | 5                         | 3                                 | 5                                    | 1                       | 3           |
|  | Auftrags-<br>fertigung   | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 5                                 | 5                                    | 3                       | 5           |
| Programmfertigung                                    | 3  | 5                             | 3   | 3                      | 3                        | 3          | 3                    | 5           | 3                         | 5                                 | 3                                    | 5                       |             |
| Schichtmode-<br>ll                                   | Kein<br>Wochenend-<br>betrieb  | 5                             | 5   | 5                      | 1                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 1                                 | 5                                    | 5                       | 5           |
|  | Wochenend-<br>betrieb  | 5                             | 5   | 3                      | 1                        | 3          | 5                    | 3           | 3                         | 1                                 | 3                                    | 5                       | 5           |
|  | 1-schicht  | 5                             | 5   | 5                      | 1                        | 5          | 5                    | 5           | 5                         | 1                                 | 5                                    | 5                       | 5           |
|  | 2-Schicht  | 5                             | 5   | 3                      | 1                        | 3          | 5                    | 5           | 3                         | 1                                 | 3                                    | 5                       | 5           |
|  | 3-Schicht  | 5                             | 5   | 3                      | 1                        | 3          | 5                    | 3           | 3                         | 1                                 | 3                                    | 5                       | 5           |
| Qualifi-<br>zierungs-<br>niveau<br>noch<br>aufnehmen | nicht<br>bekannt   | 1                             | 1   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 1                                 | 5                                    | 1                       | 5           |
|  | durchwachse-<br>n  | 3                             | 1   | 5                      | 3                        | 3          | 3                    | 1           | 3                         | 1                                 | 3                                    | 1                       | 5           |
|  | einheitlich<br>gut   | 5                             | 1   | 5                      | 1                        | 1          | 1                    | 1           | 1                         | 1                                 | 1                                    | 1                       | 5           |
| Zeitbezogen-<br>er<br>Erhaltung-<br>zustand          | gut  | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 3                    | 1           | 3                         | 5                                 | 1                                    | 1                       | 1           |
|  | schlecht   | 5                             | 5   | 5                      | 5                        | 5          | 5                    | 1           | 5                         | 5                                 | 1                                    | 5                       | 3           |
|  | Punkteanzahl   | 70                            | 70  | 74                     | 68                       | 62         | 66                   | 48          | 68                        | 52                                | 58                                   | 58                      | 66          |
|  | Wichtigkeit<br>der<br>Punkteanzahl                                       | 94,59%                        | 94,59%  | 100,0<br>%             | 91,89%                   | 83,78<br>% | 89,19%               | 64,86%      | 91,89%                    | 70,27%                            | 78,38%                               | 78,38%                  | 89,19<br>%  |
|  | Wichtigkeit<br>inkl.<br>Gewichtung<br>EF                                 | 85                            | 85  | 90                     | 83                       | 76         | 81                   | 59          | 83                        | 63                                | 71                                   | 71                      | 81          |
|  |  | 94,6%                         | 94,6%   | 100,0<br>%             | 91,9%                    | 83,8<br>%  | 89,2%                | 64,9%       | 91,9%                     | 70,3%                             | 78,4%                                | 78,4%                   | 89,2<br>%   |