



Lehrstuhl für Industrielogistik

Masterarbeit

Möglichkeiten zum Management von
Fehlteilen am Beispiel eines
Schienenfahrzeugherstellers

Luca Stöllner, BSc

Oktober 2024



MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

www.unileoben.ac.at

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, den Einsatz von generativen Methoden und Modellen der künstlichen Intelligenz vollständig und wahrheitsgetreu ausgewiesen habe, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich den Satzungsteil „Gute wissenschaftliche Praxis“ der Montanuniversität Leoben gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 15.10.2024

Unterschrift Verfasser/in
Luca Stöllner

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich auf unterschiedlichste Art und Weise beim Entstehungsprozess dieser Masterarbeit unterstützt und zu deren Gelingen maßgeblich beigetragen haben.

Zuallererst gilt mein Dank meinem Betreuer Herrn Priv.-Doz. Dr. Manuel Woschank vom Lehrstuhl für Industrielogistik, der mich mit seinen hilfreichen Anregungen und seiner fachlichen Expertise bestens unterstützt hat. Vielen Dank an dieser Stelle für die konstruktive Zusammenarbeit.

Ein außerordentliches Dankeschön gilt ebenfalls meinem firmeninternen Betreuer Herrn Ing. Michael Rene Niederl. Dank seiner Expertise konnte ich in zahlreichen Diskussionen viel lernen. Die gewonnenen Erkenntnisse trugen nicht nur zur Zielerreichung dieser Arbeit bei, sondern gingen darüber weit hinaus.

Weiters gilt mein Dank der Siemens Mobility Austria GmbH für die Möglichkeit, das Thema praxisbezogen in einem konstruktiven Umfeld schreiben zu dürfen.

Kurzfassung

Produzierende Unternehmen stehen auf Grund kürzerer Produktentwicklungszyklen, einer steigenden Komplexität der Produkte und einer höheren Variantenvielfalt zunehmend vor immer größeren Herausforderungen, um sich am Markt behaupten zu können. Aus diesem Grund wird es für Unternehmen immer wichtiger kundenbegeisternde Produkte zu entwickeln, welche zugleich kosteneffizient produziert werden können. Um dies erreichen zu können, rückt eine kostengünstige Beschaffung von Komponenten und Teilen immer mehr in den Vordergrund. Aktuell zeigt sich mehr denn je, dass die Beschaffung von Zukaufteilen mit hohen Risiken verbunden ist (Lieferverzögerungen, Kommunikationsprobleme, Produktionsausfälle, usw.). Resultierend aus dieser Unsicherheit geht ein häufiges Auftreten von Fehlteilen einher, wobei eine Analyse nach dem warum sich oft als sehr schwierig erweist.

Aus dieser Problematik heraus wird im Rahmen dieser Arbeit gemeinsam mit der Kooperationspartnerin Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg ein digitaler Monitor entwickelt, mit dessen Hilfe die Auswertung vergangener Daten aus einem ERP-System erleichtert werden soll, um so mögliche Verbesserungen zu identifizieren und zukünftige Fehlteile zu minimieren. Die theoretischen Grundlagen liefern dabei sowohl eine explorative als auch eine systematische Literaturrecherche, welche in den ersten beiden Kapiteln dieser Arbeit vorgenommen wurden.

Erste Tests dieses Monitoring-Tools zur Identifizierung potenzieller Fehlteile waren sehr vielversprechend, sodass der Kooperationspartnerin nun ein weiteres Werkzeug zur Verfügung steht, mit dessen Hilfe von einem reaktiven zu einem proaktiven und präventiven Fehlteilemanagement übergegangen werden kann.

Abstract

Due to shorter product development cycles, increasing product complexity and a greater number of variants, manufacturing companies are facing ever greater challenges to maintain their position on the market. For this reason, it is becoming increasingly important for companies to develop products that delight customers and can also be produced cost-effectively. To achieve this, cost-effective procurement of components and parts is becoming increasingly important. Currently, it is becoming more apparent than ever that the procurement of purchased parts is associated with high risks (delivery delays, communication problems, production downtimes, etc.). As a result of this uncertainty, there is a frequent occurrence of faulty parts, whereby analysing why often proves to be very difficult.

Based on this problem, a digital monitoring tool is being developed as part of this project together with the cooperation partner Siemens Mobility Austria GmbH at the Graz Eggenberg site, with the help of which the evaluation of past data from an ERP system is to be facilitated to identify possible improvements and minimise future missing parts. The theoretical basis is provided by both an explorative and a systematic literature review, which were carried out in the first two chapters of this thesis.

Initial tests of this monitoring tool to identify potential missing parts were very promising, meaning that the cooperation partner now has another tool at its disposal that can be used to move from reactive to proactive and preventive missing parts management.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Danksagung	III
Kurzfassung	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	11
1.1 Motivation und Problemstellung.....	11
1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung	12
1.3 Aufbau der Arbeit.....	13
2 Theoretische Grundlagen	14
2.1 Fehlteile.....	14
2.1.1 Definition.....	14
2.1.2 Einführendes Beispiel	15
2.1.3 Fehlteilrate	16
2.1.4 Ursachen von Fehlteilen	17
2.1.5 Konsequenzen von Fehlteilen	18
2.1.6 Reaktive und Präventive Maßnahmen zur Bekämpfung von Fehlteilen ..20	
2.2 Konzepte zum Umgang mit Fehlteilen	24
2.2.1 Präventivmethode für WKFT (Wiederkehrende Fehlteile).....	24
2.2.2 Monetäre Quantifizierung von Risiken bei der Produktbeschaffung.....	27
2.2.3 Weitere Konzepte	30
3 Systematische Literaturrecherche	33
3.1 Durchführung der systematischen Literaturrecherche mit Hilfe der Datenbank „Scopus“	34

3.1.1	Auswahl eines passenden Suchstrings für die Datenbank „Scopus“	34
3.1.2	Bewertung der Literatur mit Hilfe der Inklusions- und Exklusionskriterien ...	37
3.2	Analyse der relevanten Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche ..	39
3.2.1	Deskriptive Analyse	39
3.2.2	Inhaltliche Analyse	41
3.3	Schlussfolgerung und Zusammenfassung der systematischen Literaturrecherche	51
4	Fallstudie: Fehlteilemanagement bei Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg	52
4.1	Ist-Situationsanalyse im Unternehmen	52
4.1.1	Unternehmensbeschreibung	52
4.1.2	Definition Fehlteile Siemens Mobility Rolling Stock	55
4.1.3	Eskalationsstufen bei Siemens Mobility Rolling Stock	56
4.1.4	Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg	58
4.1.5	Aktueller Umgang mit Fehlteilen am Standort Graz Eggenberg	60
4.2	Fehlteile-Monitoring-Tool für den operative Einkauf	61
4.2.1	Softwareauswahl für das Monitoring-Tool	61
4.2.2	Erstellung des Monitoring-Tools	62
4.2.3	Erste Ergebnisse der Toolanwendung	69
4.2.4	Verbesserungsvorschläge	71
	Conclusio	73
	Literaturverzeichnis	75
	Anhang	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wahrscheinlichkeitsentwicklung	15
Abbildung 2: Kategorisierung der Ansätze / Maßnahmen im Fehlteilemanagement	20
Abbildung 3: Präventivmethode von WKFT - fünfstufige Vorgehensweise	27
Abbildung 4: Q-Risk-Gesamtkonzept	29
Abbildung 5: Anzahl der Studien pro Jahr für den finalen Suchstring	35
Abbildung 6: Anzahl der Studien pro Dokumententyp für den finalen Suchstring	36
Abbildung 7: Anzahl der Studien nach geographischer Lage für den finalen Suchstring	36
Abbildung 8: PRISMA-Flowchart	39
Abbildung 9: Anzahl der Studien pro Jahr nach der Ergebnisanalyse	40
Abbildung 10: Anzahl der Studien pro Dokumententyp nach der Ergebnisanalyse	40
Abbildung 11: Anzahl der Studien nach geographischer Lage nach der Ergebnisanalyse	41
Abbildung 12: Geschäftsbereiche und Services der Siemens AG	52
Abbildung 13: Produktions- und Bürostandorte Österreich	53
Abbildung 14: Organization Chart Siemens Mobility Graz Eggenberg	54
Abbildung 15: Organization Chart MF-GRZ LOG	54
Abbildung 16: Wertschöpfungskette Siemens Werk Graz	55
Abbildung 17: Eskalationsstufen und Auslöser bei Siemens Mobility Rolling Stock	57
Abbildung 18: Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg	59
Abbildung 19: Prozentuelle Verteilung der Ursachen von Fehlteilen am Standort Graz Eggenberg	59
Abbildung 20: Prozessablauf Fehlteile aktuell	60
Abbildung 21: Eskalationsmatrix am Standort Graz Eggenberg in Anlehnung an die werksübergreifende Eskalationsmatrix der Siemens Mobility Rolling Stock	60
Abbildung 22: Auflistung aller Ausnahmemeldungen	64
Abbildung 23: Auszug aus Excel-Liste - Ausnahmemeldungen (/SIE/TS_PP006 - Transaktion)	65
Abbildung 24: Auszug aus Excel-Liste - Lieferant*innenaufteilung	65

Abbildung 25: Auszug aus Excel-Liste - Dispogruppe - Bereich.....	66
Abbildung 26: Auszug aus Excel-Liste - Materialstammauswertung	66
Abbildung 27: Aufbau Monitoring-Tool	67
Abbildung 28: Potenzielle Fehlteile - Monitor	68
Abbildung 29: Potenzielle Fehlteile - Überblick.....	68
Abbildung 30: Potenzielle Fehlteile - Trendprognose	69
Abbildung 31: Auszug aus MD04 von A2V00002113871	70
Abbildung 32: Auszug aus Monitoring-Tool von A2V00002113871	70
Abbildung 33: Auszug aus MD04 von A2V00002915996	71
Abbildung 34: 96er Ausnahmemeldung bei A2V00002669370	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Suchstring für die SLR	35
Tabelle 2: Inklusions- und Exklusionskriterien der fachlichen Literatur (Teil I)	37
Tabelle 3: Inklusions- und Exklusionskriterien der fachlichen Literatur (Teil II)	38
Tabelle 4: SAP-Transaktionen zur Identifizierung von Fehlteilen (Teil I)	62
Tabelle 5: SAP-Transaktionen zur Identifizierung von Fehlteilen (Teil II)	63
Tabelle 6: SAP-Transaktion Ausnahmemeldungen.....	64
Tabelle 7: Anhang: PRISMA Checkliste.....	80

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Produzierende Unternehmen stehen auf Grund kürzerer Produktentwicklungszyklen, einer steigenden Komplexität der Produkte und einer höheren Variantenvielfalt zunehmend vor immer größeren Herausforderungen, um sich am Markt behaupten zu können. Aus diesem Grund wird es für Unternehmen immer wichtiger kundenbegeisternde Produkte zu entwickeln, welche zugleich kosteneffizient produziert werden können. Um dies erreichen zu können, rückt eine kostengünstige Beschaffung von Komponenten und Teilen immer mehr in den Vordergrund. Grund dafür ist der hohe Anteil an Beschaffungskosten an den Gesamtkosten, welcher im Durchschnitt bei über 60% liegt und sogar auf mehr als 80% ansteigen kann. Aktuell zeigt sich mehr denn je, dass die Beschaffung von Zukaufteilen mit hohen Risiken verbunden ist (Lieferverzögerungen, Kommunikationsprobleme, Produktionsausfälle, ...).¹ Resultierend aus dieser Unsicherheit geht ein häufiges Auftreten von Fehlteilen einher, wobei eine Analyse nach dem warum sich oft als sehr schwierig erweist. Diese Störanfälligkeit ist auf die verstärkte Fokussierung auf Kosteneffizienz und auf den Ansatz der Lean-Production zurückzuführen. Durch die Reduktion von Beständen entstehen schlanke Wertschöpfungsnetze, die dadurch jedoch auch störanfälliger werden und so zum Auftreten von Fehlteilen führen:²

„The leaner and more integrated supply chains get, the more likely uncertainties, dynamics and accidents in one link affect the other links in the chain.“³

Die aufgezeigte Problematik macht ein effektives Managen von Fehlteilen unverzichtbar, gerade durch ein proaktives und präventives Fehlteilmanagement lässt sich die Fehlteilrate drastisch senken und der für das Unternehmen potenzielle Schaden mildern.⁴

¹ Vgl. Cube et al. (2014), S. 10 ff.

² Vgl. Strohhecker (2009).

³ Strohhecker (2009), S. 168 f.

⁴ Vgl. Strohhecker (2009), S. 167 ff.

1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung

Das Fehlteilmanagement ist in vielen Bereichen der industriellen Fertigung bereits gängige Praxis, in der Wissenschaft hat dieses Thema jedoch lediglich am Rande eine theoretische Betrachtung erfahren. Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein Bewusstsein für das Thema Fehlteilemanagement in der Materiallogistik mit besonderem Fokus auf die Beschaffungslogistik zu schaffen. Des Weiteren soll für die Firma Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg ein digitaler Monitor zum Tracken von potenziellen Fehlteilen geschaffen werden. Dies soll die Auswertung vergangener Daten erleichtern, um so mögliche Verbesserungen zu identifizieren und zukünftige Fehlteile zu minimieren. Ziel ist es zudem bei Siemens am Standort Graz Eggenberg von einem reaktiven zu einem proaktiven und präventiven Fehlteilemanagement überzugehen.

Insofern ergeben sich die folgenden Fragestellungen:

- Gibt es aktuelle Konzepte für ein Fehlteilemanagement für die Praxis?
- Wo steht die Wissenschaft beim Thema Fehlteilemanagement?
- Wie muss ein Fehlteile-Monitoring-Tool aussehen, damit es in der Praxis wirtschaftlich umgesetzt werden kann?

1.3 Aufbau der Arbeit

Aus den im Kapitel 1.2 definierten Forschungsfragen und Zielsetzungen ergibt sich der strukturelle Aufbau dieser Masterarbeit.

Das Kapitel 2 soll die wissenschaftlichen Grundlagen liefern und als Basis für weitere Untersuchungen in den darauffolgenden Kapiteln dienen. Als Forschungsmethodik wurde hierfür die explorative Literaturrecherche gewählt. Das Kapitel „Theoretische Grundlagen“ befasst sich im ersten Teil zunächst allgemein mit der Fehlteileproblematik. Begonnen wird mit einem Definitionsversuch gefolgt von einem einführenden Beispiel und der Vorstellung der Fehlteilerate. Anschließend werden die Ursachen und Konsequenzen von Fehlteilen besprochen und mit reaktiven und präventiven Maßnahmen zur Bekämpfung von Fehlteilen abgeschlossen. Im zweiten Teil des Kapitels werden verschiedene Konzepte zum Umgang mit Fehlteilen vorgestellt und kurz beschrieben.

Im Kapitel 3 wird mit Hilfe der Datenbank „Scopus“ eine systematische Literaturrecherche (SLR) nach der PRISMA-Methodik durchgeführt. Die Anwendung dieser Methode stützt sich auf die im vorherigen Kapitel geschaffene Wissensbasis. Die Ergebnisse der SLR werden im Anschluss sowohl einer deskriptiven als auch einer inhaltlichen Analyse unterzogen.

Im Kapitel 4 wird zunächst eine Ist-Situationsanalyse des Fehlteilemanagements bei Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg durchgeführt. Dabei wird im ersten Teil des Kapitels das Unternehmen allgemein vorgestellt, um im Anschluss genauer auf die Fehlteileproblematik im operativen Einkauf einzugehen. Hierzu wird zunächst definiert, was ein Fehlteil am Standort Graz Eggenberg eigentlich ist und wie damit aktuell umgegangen wird. Weiters werden die Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg aufgezeigt umso auf Basis dieser im zweiten Teil des Kapitels ein Tool zur präventiven Bekämpfung von Fehlteilen zu entwickeln. Dazu wird mit Hilfe eines ERP-Systems und Power BI ein Monitoring-Tool entwickelt, welches im operativen Einkauf Anwendung finden soll.

Die Conclusio fasst im letzten Kapitel noch mal die wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit zusammen und bildet damit den Abschluss der Masterarbeit.

2 Theoretische Grundlagen

Das folgende Kapitel gibt einen umfassenden Überblick über zentrale Begriffe, Definitionen und Ansätze im Bereich des Fehlteilmanagements. Diese Wissensgrundlage dient als Basis, um die in den nachfolgenden Kapiteln diskutierten Fragestellungen fundiert und präzise zu analysieren und zu beantworten.

2.1 Fehlteile

„**Fehlmenge**, jene Menge eines in der Verkaufsstätte oder in einem Lager nicht vorhandenen Produkts oder Teils, die ein Abnehmer erwerben oder entnehmen möchte. Die Fehlmenge kann als Resultat einer mangelhaften Bestellplanung interpretiert werden.“⁵

2.1.1 Definition

Ein Fehlteil in einer Zulieferer-Abnehmer-Beziehung liegt dann vor, wenn ein zu lieferndes Objekt (wie ein Einzelteil oder eine Baugruppe) entweder nicht zur richtigen Zeit oder nicht in der korrekten Menge am jeweiligen Einsatzort in der Produktion oder Montage verfügbar ist. Fehlteile können sowohl innerhalb eines Unternehmens (z.B. bei aufeinanderfolgenden Produktionsschritten) als auch unternehmensübergreifend (z.B. zwischen zwei Unternehmen in einer Lieferkette) auftreten. Darüber hinaus können Produkte, die nicht den Spezifikationen entsprechen (z.B. durch Nichteinhaltung von Toleranzgrenzen), ebenfalls zu Fehlteilen führen. Befindet sich das Lieferobjekt zwar physisch am richtigen Verbrauchsort zum richtigen Zeitpunkt, weist aber Qualitätsmängel auf, so kann es nicht verwendet werden und stellt somit ebenfalls ein Fehlteil dar. Aus Sicht der*des Endkund*in ist der Fehlteilbegriff nicht zweckmäßig, da diese*r lediglich an der qualitäts- und termingerechten Bereitstellung des funktionstüchtigen Gesamtproduktes interessiert ist. Fehlteile bedrohen somit den zugesagten Liefertermin, weshalb oft kostenintensive Korrekturmaßnahmen nötig sind.⁶

⁵ Klaus (2012), S. 181.

⁶ Vgl. Slamanig (2015), S. 1.

Man sieht anhand dieses Definitionsversuches, dass die Ursachen für ein Fehlteil vielseitig sein können.⁷

2.1.2 Einführendes Beispiel

Die Relevanz eines effektiven Fehlteilmanagements kann sehr anschaulich an einem einfachen Rechenbeispiel illustriert werden:

Angenommen, ein Produkt besteht aus zehn Komponenten, wobei jede dieser Komponenten mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zur Verfügung steht. Nehmen wir nun an, dass alle Komponente mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0,95$ zur Verfügung stehen, so ergibt sich, dass das Produkt mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 60% hergestellt werden kann. Im Umkehrschluss würde dies nun bedeuten, dass ein Produkt mit 40-prozentiger Wahrscheinlichkeit aufgrund von fehlenden Teilen / Komponenten nicht produziert werden kann.

$$p = 1 - (0,95)^{10} = 0,4 \quad (1)$$

Wenn man sich nun die umgekehrte Frage stellt, und wissen möchte, wie hoch die Wahrscheinlichkeit der Verfügbarkeit aller Komponenten sein muss, damit ein Produkt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% hergestellt werden kann, so ergibt sich unter der Verwendung der Formel $p = \sqrt[10]{0,95}$, dass $p = 0,9949$ sein müsste.⁸

Das exponentielle Verhalten wird in Abbildung 1 ersichtlich.

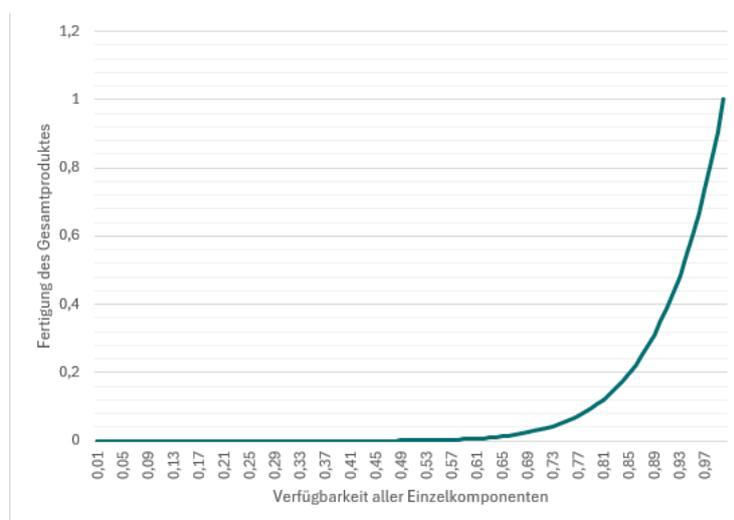


Abbildung 1: Wahrscheinlichkeitsentwicklung⁹

⁷ Vgl. Strohhecker (2009), S. 170.

⁸ Vgl. Hopp; Spearman (2000), S. 399 ff.

⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Hopp; Spearman (2000), S. 400.

Bei komplexeren Erzeugnissen wie beispielsweise bei der Herstellung von Drehgestellen müssen nicht zehn, sondern mehrere tausend Komponenten verbaut werden. Unter der Annahme, dass alle Bauteile wieder die gleiche Verfügbarkeit aufweisen, würde selbst bei einer Teileverfügbarkeit von 99,9% ein Produkt, das aus 10.000 Teile besteht, nur mit 36,78-prozentiger Wahrscheinlichkeit produziert werden können. Es wird somit deutlich, dass ein produzierendes Unternehmen ohne den Einsatz angemessener Kompensationsmöglichkeiten weder wirtschaftlich noch termingerecht fertigen könnte.¹⁰

2.1.3 Fehlteilrate

Die Fehlteilrate beschreibt den Anteil der Fehlteile an einer Lieferung. Sie wird in Prozent berechnet und bezieht sich auf ein beliebiges Lieferobjekt LO_j und eine gelieferte Bestellung B_k :

$$FR(LO_j, B_k) = \left(1 - \frac{LM_j}{BM_j}\right) * 100 \quad (2)$$

Die Berechnung erfolgt aus Sicht der Abnehmer*innen als Differenz von 1 und dem Quotienten aus der bestellten Menge BM_j zum Bedarfstermin und der tatsächlich gelieferten Menge LM_j , die den Qualitätsanforderungen entspricht.

Entscheidend ist, dass die Fehlteilrate für jede gelieferte Bestellung eines Lieferobjekts LO_j erfasst und laufend zu einer aktuellen, prozentualen Durchschnittsfehlteilrate FR_j über alle n Bestellungen aggregiert wird:

$$\overline{FR}_j = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n FR(LO_j, B_k) \quad (3)$$

Diese Kennzahl ermöglicht eine Echtzeitüberwachung der Liefertreue in einer Zulieferer-Abnehmer-Beziehung. Im Rahmen eines proaktiven Fehlteilmanagements sollten für jedes Lieferobjekt kritische Schwellenwerte für die Fehlteilrate festgelegt werden. Bei Überschreitung dieses Schwellenwerts muss zwingend in den laufenden Prozess eingegriffen werden. Zudem ist oft in Service-Level-Agreements (SLAs) die maximal tolerierte Fehlteilrate pro Bestellung festgelegt.

Ein weiterer zentraler Begriff in diesem Zusammenhang ist der des wiederkehrenden Fehlteils (WKFT). Diese sind Lieferobjekte, die innerhalb eines definierten

¹⁰ Vgl. Strohhecker (2009), S. 168.

Beobachtungszeitraums wiederholt die tolerierte Fehlteilrate überschreiten. Da WKFTs ein dauerhaftes Risiko darstellen und die termingerechte Auslieferung von Endprodukten gefährden, verdienen sie besondere Aufmerksamkeit im präventiven Fehlteilmanagement.¹¹

2.1.4 Ursachen von Fehlteilen

Das Auftreten von Fehlteilen kann auf eine Vielzahl von Ursachen zurückgeführt werden, wobei sich diese von dem Auftragsabwicklungsprozess über die Beauftragung bis hin zur physischen Bereitstellung des Lieferobjektes beim abnehmenden Unternehmen erstrecken kann.

Der Ursprung von Fehlteilen kann sowohl interne als auch externe Ursachen haben, da ein Fehlteil sowohl vom eigenen Betrieb als auch Lieferant*innen verursacht werden kann. Die Ursachen für Fehlteile sind in der Regel jedoch die gleichen, lediglich der Ort der Entstehung unterscheidet sich. So können beispielsweise Qualitätsprobleme, Fehlbestände oder Maschinenausfälle sowohl Lieferant*innen als auch im eigenen Unternehmen auftreten. Aus dem Ursprung ergeben sich dann allerdings verschiedene Konsequenzen.¹²

Nach dem Ort der Entstehung unterscheiden man in einer Zuliefer-Abnehmer-Beziehung zulieferseitige, abnehmerseitige und kollaborative Fehlerursachen:

- *Zulieferseitige Fehlerursachen* können bei allen, die an der Auftragsbearbeitung beteiligt Prozessbereiche, auftreten (z.B. maschinelle und personelle Kapazitätsengpässe, Maschinenausfälle, Qualitätsprobleme, usw.).
- *Abnehmerseitige Fehlerursachen* betreffen meist Aktivitäten zu Beginn und am Ende eines Auftragsabwicklungsprozesses (z.B. eine verspätete Beauftragung oder eine verspätete intralogistische Produktionsbereitstellung).
- *Kollaborative Fehlerursachen* entstehen durch eine unkoordinierte Steuerung, Planung und Durchführung der räumlichen Leistungsprozesse (z.B. unzureichend abgestimmte Transportvorgänge zwischen Unternehmen oder nicht synchronisierte Beauftragungs- und Planungsprozesse).¹³

¹¹ Vgl. Slamanig (2015), S. 57 f.

¹² Vgl. Strohhecker (2009), S. 171.

¹³ Vgl. Slamanig (2015), S. 58.

Weiters ist eine Unterscheidung in prozessabhängige und ortsabhängige Fehlteile zweckmäßig.

2.1.4.1 Prozessabhängige Ursachen für Fehlteile

- In der dem Produktionsprozess vorgelagerten Stufe wird zu wenig produziert.
- Maschinenausfälle bei vorgelagerter Produktionsstufe.
- Verschleiß der Maschine führt zu einer verringerten Produktionsmenge im vorgelagerten Prozess.
- Qualitätsabweichungen durch nicht eingehaltene Spezifikationen (z.B. Qualität des Rohmaterials, Toleranzabweichungen, usw.).
- Falsches Lieferobjekt wird angeliefert (z.B. Vertausch von linken und rechten bzw. geometrisch ähnlichen Teilen; fehlerhafte Behälter- oder Produktaufzeichnung).
- Falsche oder keine Bestellung wird aufgegeben (einfachster Fall).
- Nachfrageunsicherheit kann bei einem zu geringen Sicherheitsbestand ebenfalls zu Fehlteilen führen.

2.1.4.2 Ortsabhängige Ursachen für Fehlteile

- Beim Zulieferprozess via Straße kann es durch Staus, widrige Wetterverhältnisse oder Pannen zu Verzögerungen kommen.
- Beim Zulieferprozess via Schiff oder Flugzeug kann es ebenfalls aufgrund von schlechten Wetterverhältnissen (Eis, Sturm oder Nebel) bzw. durch Ausfälle zu Verzögerungen kommen.
- Während des Transportes kann es zu Beschädigungen am Lieferobjekt kommen, wodurch das Lieferobjekt unbrauchbar wird.¹⁴

2.1.5 Konsequenzen von Fehlteilen

Wenn es um die Konsequenzen von Fehlteilen geht, ist zweckmäßig zwischen Kann-Teile und Muss-Teile zu unterscheiden:

Bei *Kann-Teilen* kommt es nicht zu einem Montagestillstand, da eine Montage des fehlenden Teiles bis zu dessen Verfügbarkeit verzögert werden kann. Dabei kommt es zu einer nachträglichen Montage des fehlenden Teiles an das bereits komplettierte Produkt.

¹⁴ Vgl. Strohhecker (2009), S. 170 ff.

Bei *Muss-Teilen* ist eine nachträgliche Montage des Fehlteiles aufgrund der Produktkonfiguration bzw. der Ausgestaltung des Montageprozesses nicht möglich, wodurch es zu einem Produktionsstillstand kommt. Des Weiteren kann das Auftreten von Fehlteilen zu einer kostspieligen und zeitaufwändigen Nacharbeit führen. Ein Beispiel hierfür wäre, dass ein bereits montiertes Bauelement wieder demontiert werden muss, um eine nachträgliche Montage des fehlenden Bauteiles zu ermöglichen.¹⁵

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Beurteilung der Konsequenzen von Fehlteilen ist die Unterscheidung zwischen externen und internen Konsequenzen:

Interne Konsequenzen von Fehlteilen wirken sich im Gegensatz zu externen Konsequenzen lediglich innerhalb der Produktion aus, wodurch diese als nicht so schwerwiegend zu bezeichnen sind.

Externe Konsequenzen hingegen können nicht innerhalb des Unternehmens kompensiert werden, wodurch Kund*innen in Form von Produktionsstillständen und Wartezeiten betroffen sein können.¹⁶

Hier eine Auflistung der wichtigsten Konsequenzen beim Auftreten von Fehlteilen:

- Kostenintensive Korrekturmaßnahmen und eine daraus resultierende geringere Gewinnmarge
- Vertragsstrafen
- Negative Kund*innenzufriedenheit¹⁷

¹⁵ Vgl. Strohhecker (2009), S. 172.

¹⁶ Vgl. Feigenbaum (1991), S. 111.

¹⁷ Vgl. Slamanig (2015), S. 2.

2.1.6 Reaktive und Präventive Maßnahmen zur Bekämpfung von Fehlteilen

Im Kern besteht die Aufgabe des Fehlteilemanagements darin, Gegenmaßnahmen zur Risikostreuung einzuleiten, wobei sich dessen Ansätze in zwei Kategorien einteilen lassen: Solche, die die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Fehlteilen verringern und solche, die die Auswirkungen, welche durch das Auftreten von Fehlteilen entstehen, vermindern. Daraus abgeleitet ergeben sich reaktive und präventive Maßnahmen.¹⁸ *Präventive Maßnahmen* zielen darauf ab, das Auftreten von Fehlteilen bereits im Vorhinein zu verhindern bzw. die Eintrittswahrscheinlichkeit durch geeignete proaktive Maßnahmen zu verringern.¹⁹ *Reaktive Maßnahmen* hingegen setzen an den Konsequenzen eines Fehlteiles an und wirken dadurch den negativen Auswirkungen, welche ein Fehlteil verursacht, entgegen. Abbildung 2 soll alle möglichen Kombinationen zwischen präventiv/reaktiv und intern/extern visualisieren.

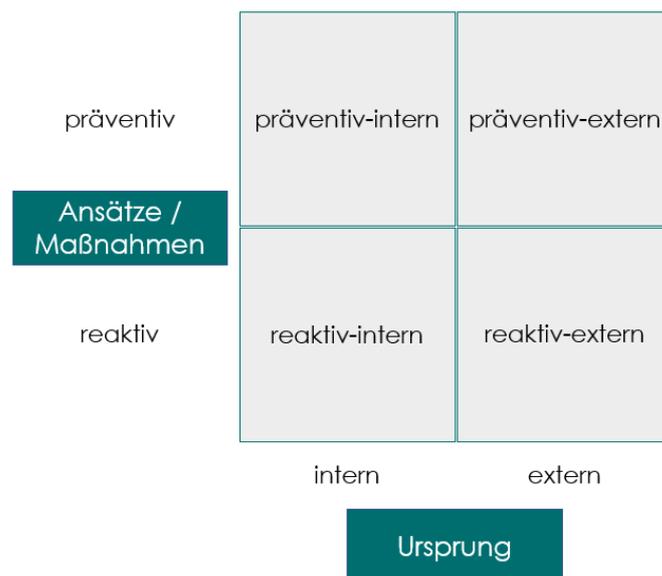


Abbildung 2: Kategorisierung der Ansätze / Maßnahmen im Fehlteilemanagement²⁰

2.1.6.1 Externe / Interne Präventive Ansätze

Das Ziel von präventiven Ansätzen ist es, mögliche „Phantomfehlteile“ zu identifizieren und diese durch geeignete Maßnahmen bestmöglich zu eliminieren.

¹⁸ Vgl. Kaiser et al. (2009), S. 90.

¹⁹ Vgl. Götze et al. (2001), S. 289.

²⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Strohhecker (2009), S. 173.

Eine Möglichkeit besteht darin, den Eintritt von Fehlteilrisiken weitgehendst zu umgehen. Dies kann beispielsweise durch:²¹

- die Konzentration auf Erzeugnisse mit einer konstanten Nachfrage,
- das Fernhalten von kritischen Absatzmärkten und Produktionsstätten und
- das räumliche Ausweichen von Gebieten mit häufigen Naturkatastrophen

erreicht werden.²²

Die soeben genannten Maßnahmen zur nahezu gänzlichen Risikovermeidung sind allerdings in den meisten Fällen nicht praktikabel bzw. möglich, wodurch andere Wege zu suchen sind, die das Risiko des Eintretens von Fehlteilen praktisch und ökonomisch sinnvoll minimieren. Folgende Maßnahmen erweisen sich hierfür als sinnvoll:

- Bei der Lieferant*innenauswahl auf Zuliefer*innen mit hoher Qualitätszertifizierung, Termintreue, Liquidität (finanzielle Stabilität) und geografischer Nähe setzen.
- Effektives Lieferant*innenmanagement zur Minimierung des Risikos bei der Beschaffung.
- Lieferant*innenentwicklung zur Absicherung der gestellten Anforderungen der Abnehmer*innen.
- Eine Verbesserung der Informationstransparenz durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) oder durch Tracking & Tracing.
- Einer Verbesserung des Informationsaustausches durch Kooperationen im Wertschöpfungsnetz (z.B. Vendor Managed Inventory)²³.

Die soeben genannten proaktiven Maßnahmen beziehen sich alle auf Fehlteile externen Ursprungs, es gibt aber auch Ansätze, die das Ziel verfolgen, innerhalb der eigenen Produktion die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlteilen zu senken:

- Fehlteile, die auf Maschinenausfälle zurückzuführen sind, können durch eine vorbeugende Instandhaltung vermieden werden, ein Ansatz hierfür wäre zum Beispiel das Total Productive Maintenance.²⁴

²¹ Vgl. Jüttner et al. (2003), S. 206.

²² Vgl. Siepermann et al. (2015), S. 74.

²³ Vgl. Strohhecker (2009), S. 174 f.

²⁴ Vgl. Al-Radhi et al. (1995), S. 13.

- Durch ein umfassendes Qualitätsmanagement kann ebenfalls die Fehlteilrate verringert werden; Ansätze hierfür liefert „Total Quality Management“, „Design for Manufacturing and Assembly“, „Six Sigma“ oder „Quality Function Deployment“.²⁵

2.1.6.2 Externe / Interne Reaktive Ansätze

Das Ziel von reaktiven Ansätzen ist es, zugrundeliegende Prozesse so zu gestalten, dass der Schaden, welcher durch ein Fehlteil entstanden ist, minimal bleibt (d.h. bei reaktiven Maßnahmen ist das Fehlteil physisch bereits aufgetreten). Es wird wiederum zwischen externen Maßnahmen und Maßnahmen, welche direkt bei Hersteller*innen in der eigenen Produktion ansetzen, unterschieden.²⁶

Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist der der *Elastizität*, womit die Fähigkeit beschrieben wird, nach dem Aufkommen eines Fehlteiles wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren oder einen adäquaten, neuen Zustand einzunehmen. Dies kann entweder durch die Generierung von Redundanzen oder durch eine Steigerung der Flexibilität erreicht werden.²⁷

Im Folgenden werden Maßnahmen betrachtet, welche sich auf Fehlteile externen Ursprungs beziehen.

Schaffen von Redundanzen durch:

- Einen Aufbau von Sicherheitsbeständen, um sich gegenüber möglichen Lieferproblemen seitens Lieferant*innen abzusichern.
- Eine Abkehr von Single Sourcing hin zu Dual bzw. Multiple Sourcing, wodurch das Beschaffungsrisiko diversifiziert werden kann.²⁸

Ein Nachteil bei dieser Methode ist allerdings, dass dies oftmals mit Effizienzeinbußen verbunden ist. Betrachtet man diese Effizienzverluste jedoch als Versicherungsprämie gegenüber dem Schaden, der durch Fehlteile verursacht wird, so können solche Maßnahmen wiederum als rational angesehen werden.²⁹

²⁵ Vgl. Strohhecker (2009), S. 175 f.

²⁶ Vgl. Siepermann et al. (2015), S. 70.

²⁷ Vgl. Christopher; Peck (2004), S. 2.

²⁸ Vgl. Strohhecker (2009), S. 176 f.

²⁹ Vgl. Sheffi (2001), S. 2.

Steigerung der Flexibilität durch:

- Die Einführung einer Postponement-Strategie, wodurch eine möglichst späte kund*innenindividuelle Differenzierung geschaffen wird und dadurch Nachfrageänderungen abgedeckt werden können.
- Den Gebrauch verschiedenartiger Transportmittel, sowie Alternativdienstleister*innen und Routen in der Logistik.
- Eine Konzentration auf lokale Zuliefer*innen und eine Abkehr vom Global Sourcing, wodurch schneller auf Fehlteile reagiert werden kann.³⁰
- Eine unternehmensübergreifende Kommunikation (gemeinsame Notfallpläne), wodurch ein adäquates Reagieren auf Fehlteilen möglich wird.
- Standardisierte Abläufe und Prozesse bei der Identifizierung eines Fehlteiles.
- Organisatorische Vollmacht der Mitarbeiter*innen, welche mit dem Fehlteilemanagement beauftragt sind, sowie deren Unterstützung durch das Management.

Bei Fehlteilen, welche direkt bei Hersteller*innen in der eigenen Produktion auftreten (Fehlteile internen Ursprungs), erweisen sich die Folgenden reaktiven Maßnahmen als besonders wirkungsvoll:

- Wenn es sich um ein „Kann“-Teil handelt (siehe Kapitel 2.1.5 Konsequenzen von Fehlteilen), kann auf das Fehlteil temporär verzichtet werden und mit der Montage fortgefahren werden, ohne dass die Produktion unterbrochen werden muss. Erst bei entsprechender Verfügbarkeit wird das Fehlteil in einem späteren Prozessschritt nachmontiert.
- Wenn es sich um ein „Muss“-Teil handelt (siehe Kapitel 2.1.5 Konsequenzen von Fehlteilen), kann die Produktionsreihenfolge, durch das Verzögern eines Auftrages geändert werden. Erst bei der Verfügbarkeit aller notwendigen Teile wird der Fertigungsauftrag wieder freigegeben und die Produktion kann weitergehen.
- Bei längerfristigen Fehlteilen kann es sinnvoll sein, das Produktionsprogramm zu ändern, sodass durch ein Fehlteil betroffene Fertigungsaufträge vollständig aus dem Produktionsprogramm entnommen werden und erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder eingelastet werden.

³⁰ Vgl. Jüttner et al. (2003), S. 207.

- Weiters kann, sofern möglich, auch eine höherwertige Option gewählt werden, d.h. es kommt zu einem Austausch des Fehlteiles durch ein qualitativ höherwertiges Teil, ohne dies Kund*innen in Rechnung zu stellen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine gleichzeitige Umsetzung aller reaktiven und präventiven Maßnahmen nicht zielführend ist. Stattdessen führt viel mehr eine Kombination einzelner ausgewählter Maßnahmen unter Beachtung von Nutzen- und Kostenaspekten zum Erfolg.³¹

2.2 Konzepte zum Umgang mit Fehlteilen

Dieses Kapitel zeigt einige erfolgversprechende Konzepte, mit deren Hilfe man die Auftrittswahrscheinlichkeit von Fehlteilen verringern kann. Speziell die ersten beiden Konzepte haben noch wenig Aufmerksamkeit erfahren, weshalb sie im Nachfolgenden genauer beschrieben werden. Das Kapitel 2.2.3 „Weitere Konzepte“ fasst bekannte Verfahren zusammen, welche ursprünglich nicht als Methodiken zum Abstellen von Fehlteilen entwickelt wurden, sich jedoch auch in dieser Anwendung als sehr wirkungsvoll erweisen.³²

2.2.1 Präventivmethode für WKFT (Wiederkehrende Fehlteile)

Diese Methode, welche von Accenture in Zusammenarbeit mit der europäischen Luftfahrtindustrie entwickelt wurde, dient zur Identifikation, Analyse und Prävention von Wiederkehrenden Fehlteilen. Das Ziel dieses Konzeptes ist es, von einem symptombezogenen, operativen „Fire-Fighting“ mit Fokus auf der schnellen Reduktion der Fehlteilrate hin zu einer dauerhaften Beseitigung von Fehlteilursachen zu kommen.

Die von Accenture entwickelte Methodik basiert auf zwei wesentlichen Dimensionen:

1. Prämissen und Rahmenwerk
2. Fünfstufige Vorgehensweise

Prämissen und Rahmenwerk:

Für die Analyse der Fehlteilsituation werden transaktionelle, historische Daten, vorzugsweise aus einem ERP-System, in Form von Plan-, Kund*innen, Versand- und

³¹ Vgl. Strohhecker (2009), S. 177 ff.

³² Vgl. Strohhecker (2009), S. 174 ff.

Fertigungsaufträgen benötigt. Accenture definiert zudem ein Fehlteil folgendermaßen:

„Aus Auftragssicht des Zulieferers stellen all jene Lieferobjekte Fehlteile dar, deren Bearbeitung an ein oder mehreren Stellen des Auftragsabwicklungsprozesses verzögert wurde, was zu einer verspäteten Bereitstellung der Lieferobjekte beim Abnehmer führte.“³³

In der Regel informiert die*der Abnehmer*in die*den Zuliefer*in über das Nichteinhalten des Bedarfs- / Planzeitpunkts eines zu liefernden Objektes, wodurch das Vorliegen eines Fehlteiles aufgezeigt wird.

Um nun WKFT zu identifizieren, müssen kritische Schwellenwerte für die Fehlteilrate (siehe Kapitel 2.1.3 Fehlteilrate) festgelegt werden. Zudem werden Messpunkte entlang des Auftragsabwicklungsprozesses eingerichtet, wodurch eine systematische Auswertung der Auftragsdaten von Wiederkehrenden Fehlteilen ermöglicht wird und damit die Symptome (= Abweichung vom Plan) im Prozess identifiziert werden können. Folgende Messpunkte sollten demnach für die Analyse herangezogen werden:

- Bedarfs- / Planzeitpunkt bzw. Kund*innenwunschtermin
- Erstellungs-, Freigabe-, Start- und Abschlusszeitpunkt des Produktionsauftrages
- Übergabezeitung des Lieferobjektes an Versand bzw. Versand an Transport
- Vereinnahmungszeitpunkt des Lieferobjektes bei Abnehmer*innen

Vorgehensweise (siehe Abbildung 3):

1. Ereignisanalyse:

Im ersten Schritt werden alle Lieferobjekte mit einer hohen Fehlteilquote erfasst und die zugrunde liegenden Symptome im Verlauf des Auftragsabwicklungsprozesses ermittelt. Dazu werden die Auftragsdaten jener Lieferobjekte, die verspätet geliefert wurden, gesammelt und anhand zuvor festgelegter Messpunkte mittels eines Soll-Ist-Vergleichs ausgewertet. Die häufigsten Ursachen für WKFT sind hierbei laut Accenture:

- Bestellauftrag wurde von Abnehmer*innen verspätet erteilt.
- Fertigungsaufträge wurden zu spät freigegeben / erstellt und/oder gestartet.
- Plan-Fertigungsdurchlaufzeit ist kürzer als Ist-Fertigungsdurchlaufzeit.

³³ Slamanig (2015), S. 1.

- Plan-Versandzeit ist kürzer als Ist-Versandzeit.
- Plan-Transportzeit ist kürzer als Ist-Transportzeit.

Werden nun bei mehreren Aufträgen eines bestimmten Lieferobjektes Verzögerungen/Abweichungen an den gleichen Messpunkten festgestellt so spricht man von wiederkehrenden Symptomen, welche im nächsten Schritt genauer analysiert werden.

2. Symptomanalyse:

Ziel der Symptomanalyse ist es, die zuvor identifizierten Symptome im Detail zu analysieren. Hierfür wird für das zu untersuchende Lieferobjekt jeder IT-systemseitig rückgemeldeter Arbeitsgang genauer überprüft, sodass Abweichungen (in Form von Liegezeiten oder Durchlaufzeiten) entlang des Auftragsabwicklungsprozesses sichtbar werden.

3. Ursachenanalyse:

Das Ziel des dritten Schrittes ist es, die Fehlerquellen/Hauptursachen der zuvor identifizierten Symptome zu finden. Accenture empfiehlt hierfür eine Vorgehensweise nach der Six-Sigma-Methode, wobei sich vor allem die "5-Why-Methode" und die "Root-Cause-Analyse" als besonders zweckmäßig erwiesen haben.

4. Maßnahmenfindung:

Auf Basis der Erkenntnisse der Ursachenanalyse werden im nächsten Schritt Maßnahmen und Lösungshypothesen zum Abstellen der Fehlerquellen bestimmt. Werden mehrere mögliche Abstellmaßnahmen identifiziert so müssen diese bezüglich der Komplexität ihrer Implementierung und ihres Nutzens bewertet werden.

5. Maßnahmenimplementierung:

Im letzten Schritt kommt es dann zur Implementierung der im vorherigen Schritt identifizierten Maßnahmen. Hierbei ist besonders auf ein konsequentes Portfolio- und Projektmanagement zu achten.³⁴

³⁴ Vgl. Slamanig (2015), S. 2 ff.

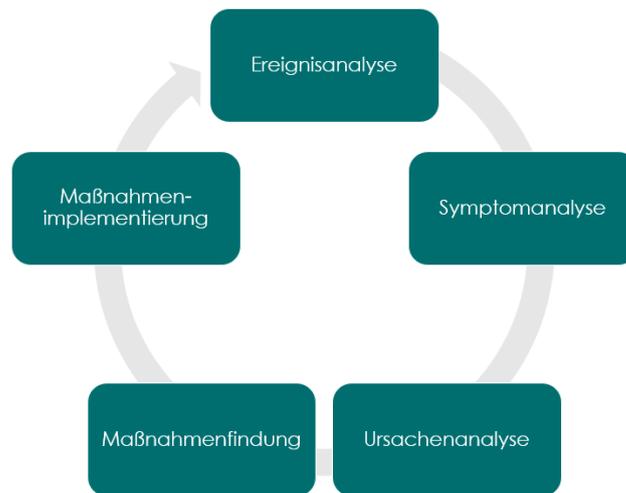


Abbildung 3: Präventivmethode von WKFT - fünfstufige Vorgehensweise³⁵

2.2.2 Monetäre Quantifizierung von Risiken bei der Produktbeschaffung

Das Q-Risk-Konzept wurde speziell für Klein- und Mittelunternehmen (kurz KMU) entwickelt und soll diese befähigen, die Risiken, welche während des Produktbeschaffungsprozesses auftreten effizient zu identifizieren und präzise zu bewerten. Gelingen soll dies durch eine monetäre Quantifizierung aller potenziellen Fehlleistungen, welche während der Beschaffung auftreten können. Diese sogenannten Nonkonformitätskosten (= Kosten, die nicht planbar sind) dienen als Basis zur Bestimmung des finanziellen Nutzens von risikobehandelnden Strategien. Das Q-Risk-Konzept verbessert damit die Fähigkeit der KMU im Bereich des Risiko- und Lieferant*innenmanagements bessere Entscheidungen auf Kostenbasis zu treffen.

Vorgehensweise (siehe Abbildung 4):

Um nun die potenziellen Kosten eines zuvor identifizierten Beschaffungsrisikos zu bestimmen und daraus abgeleitet wirtschaftlich angemessenen Abstellmaßnahmen treffen zu können, bedient sich das Q-Risk-Konzept sechs einzelner Module (siehe Abbildung 4):

³⁵ Eigene Darstellung in Anlehnung an Slamanić (2015), S. 2.

1. Q-Class-Risk:

Das erste Modul bietet die Möglichkeit die Beschaffungsrisiken zu klassifizieren. Hier werden zunächst praxisrelevante Risikoklassen bestimmt, welche alle möglichen Risiken der Beschaffung abbilden sollen. Dadurch kann bereits frühzeitig das Risiko charakterisiert und mögliche Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren abgeklärt werden.

2. Q-Standard-Risk:

Mit Hilfe des zweiten Modules soll es möglich sein, standardisierte Risikofolgen systematisch zu erarbeiten. Gemeinsam mit dem ersten Modul kann so zu jeder Risikoklasse ein prognostiziertes Schema an Risikofolgen abgeleitet werden. Verwirklicht wird dies durch modulare Bausteine, welche von Anwender*innen je nach Anwendungsfall beliebig zusammengestellt werden können. War zum Beispiel die Bestellmenge zu gering, so ergeben sich daraus die folgenden Aktionen: Lieferant*in kontaktieren, Expresslieferung organisieren und so weiter.

3. Total Cost of Risk (Q-TCR):

Den Kern des Q-Risk-Konzepts bildet die Kostenprognose der Risiken, welche im dritten Modul vorgenommen wird. Dazu werden jeder Risikofolge detaillierte Kostenklassen (z.B. eine Kostenklasse kann die Lieferant*innenkommunikation bei einer zu späten Lieferung sein, wobei folgende Kosten anfallen können: Forderungen, Reisekosten der Kund*innen, Telefonkosten, etc.) zugeordnet, wobei immer die maximalen und minimalen Kosten, und der Mittelwert für jede einzelne Risikoklasse bestimmt werden. Zusätzlich kommt es zu einer Verknüpfung zwischen diesen Kosten und der Auftrittswahrscheinlichkeit dieser. Statt einer einfachen Multiplikation der Kosten mit der Auftrittswahrscheinlichkeit kommt es bei dieser Methode zu einem Miteinbeziehen von diversen Verteilungen (z.B. Poisson, Gauß, ...) in die Berechnung, um somit eine wahrscheinliche Verteilung der Kosten noch genauer widerspiegeln zu können. Das Ergebnis dieses Modules ist dann eine exakte Analyse der durchschnittlich anfallenden Risikokosten.

4. Q-Task-Risk:

Im vierten Schritt werden die finanziell bewerteten Beschaffungsrisiken anhand ihrer Risikofolgekosten priorisiert und anschließend mögliche Strategien zur Risikobewältigung abgeleitet. Es werden hierbei vier Risikobehandlungsstrategien unterschieden: Risikoreduktion, Risikovermeidung, Risikoinkaufnahme und Risikoüberwälzung.

5. Q-Effect-Risk:

Im vorletzten Modul werden die Kosten der Risikofolgen vor der Umsetzung mit jenen nach der Strategieumsetzung verglichen und so der finanzielle Nutzen jeder Risikobehandlungsstrategie bestimmt.

6. Q-Compare-Risk:

Im letzten Schritt werden die Kosten der Strategieumsetzung mit dem finanziellen Nutzen jeder einzelnen Strategie verglichen. Die wirtschaftliche Angemessenheit einer Risikobehandlungsstrategie ist dann gegeben, wenn die Risikokosten höher sind als die Umsetzungskosten.

Das Modul Q-Feedback-Risk dient hierbei zur Überprüfung der Effektivität der getroffenen Maßnahmen zur Reduzierung des Beschaffungsrisikos und dessen negativen Folgen.³⁶

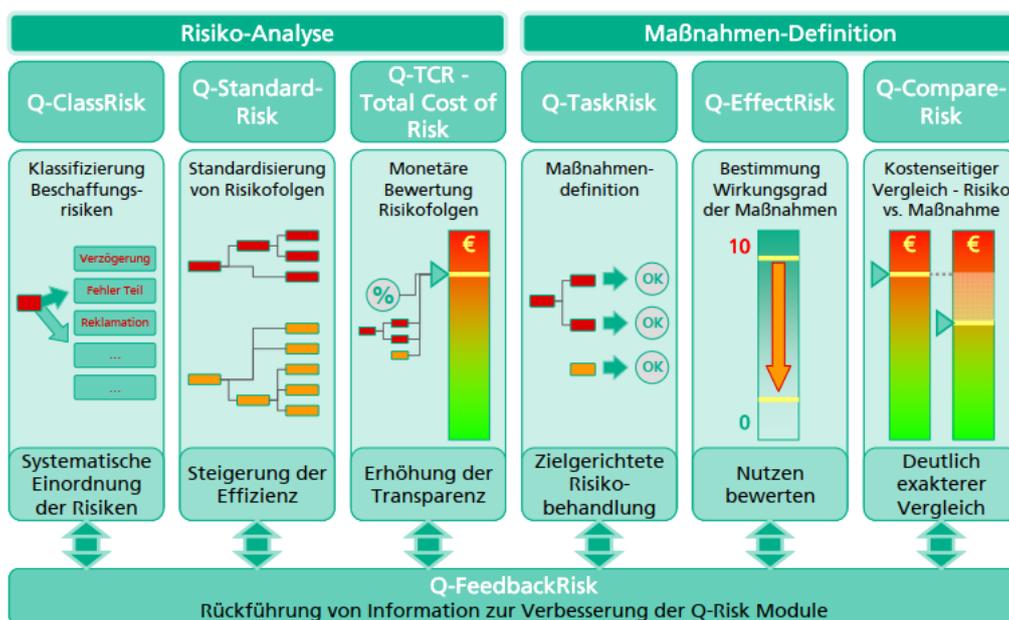


Abbildung 4: Q-Risk-Gesamtkonzept³⁷

³⁶ Vgl. Cube et al. (2014), S. 10 ff.

³⁷ Darstellung aus Cube et al. (2014), S. 12.

2.2.3 Weitere Konzepte

Die nachfolgenden Kapitel geben einen Einblick, wie Konzepte, welche primär für einen anderen Zweck entwickelt wurden, trotzdem bei der Abstellung von potenziellen Fehlteilen externen und internen Ursprungs helfen können.

2.2.3.1 Tracking & Tracing

Ein mögliches Konzept zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Fehlteilen ist das Tracking & Tracing. Dadurch können nicht nur Kund*innen ihre Lieferung verfolgen, sondern es unterstützt auch Unternehmen bei der Identifikation potenzieller Fehlteileursachen. Die erhöhte Informationstransparenz hilft dabei Fehlteile frühzeitig zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Ein weiterer positiver Effekt, welcher sich durch einen verbesserten Informationsaustausch ergibt, ist die Verringerung des „Bullwhip“-Effektes.³⁸

2.2.3.2 Vendor-Managed-Inventory-Konzept (VMI)

Ein weiteres erfolgversprechendes Kooperationskonzept, welches die Informationstransparenz erhöht, ist das Vendor-Managed-Inventory (kurz VMI). Es dient zur Performancesteigerung der Supply Chain, bei dem Lieferant*innen Zugang zu den Nachfrage- und Lagerbestandsdaten ihrer Abnehmer*innen haben und dadurch die Auftrittswahrscheinlichkeit von Fehlteilen gesenkt werden kann. Grund dafür ist, dass das Vendor-Managed-Inventory-Konzept zu einer Erhöhung der Bestände tendiert, was als eine Art erhöhter Sicherheitsbestand angesehen werden kann.³⁹

2.2.3.3 Total Productive Maintenance (TPM)

Das Total Productive Maintenance (kurz TPM) gehört zu den Konzepten, Fehlteile innerhalb des eigenen Unternehmens zu senken. Speziell in der Fertigung können Fehlteile, welche durch Maschinenausfälle verursacht werden mittels einer vorbeugenden Instandhaltung verhindert werden. Hier liefert das TPM durch seine ganzheitliche Herangehensweise ein passendes Werkzeug, um die Wahrscheinlichkeit von Maschinenausfällen zu reduzieren. Das Konzept unterscheidet dabei zwischen sechs Verlustquellen (technische Störungen, Rüsten und Einstellen, Leerlauf und kleine Stopps verringerte Geschwindigkeit, fehlerhafte Teile, Einschaltverluste), welche die Gesamtanlageneffektivität beeinflussen und somit ständig verbessert werden müssen.

³⁸ Vgl. Strohhecker (2009), S. 174.

³⁹ Vgl. Strohhecker (2009), S. 175.

Zudem stützt sich das TPM auf die folgenden fünf Säulen: präventive Instandhaltung, Instandhaltungsprävention, autonome Instandhaltung, Beseitigung und Identifikation von Schwerpunktproblemen sowie das Training von Mitarbeiter*innen.⁴⁰

2.2.3.4 Total Quality Management (TQM)

Das aus der japanischen Automobilindustrie stammende Total Quality Management (kurz TQM), kann ebenfalls dazu beitragen, die Auftrittswahrscheinlichkeit von Fehlteilen zu senken. Das umfassende Konzept zielt darauf ab, prozess- und produktseitige Fehler zu vermeiden. Die Grundpfeiler des TPM gliedern sich hierbei nach den drei Bestandteilen des Begriffes:

- **Total:**
Einbeziehen der Kund*innen, Mitarbeiter*innen und Lieferant*innen;
- **Quality:**
Qualität der Produkte und Wertschöpfung; Qualität und Fähigkeit der Prozesse und Anlagen; Qualität der Arbeit; Qualität des Unternehmens;
- **Management:**
Führungsqualität; Qualitäts- und Unternehmenspolitik, -ziele; Team- und Lernfähigkeit fördern; Beharrlichkeit und Verantwortlichkeit zeigen;

Die soeben angeführten Inhalte sollen laut der TQM-Philosophie ständige verbessert werden, umso langfristig Kund*innen zufriedenzustellen und damit den Geschäftserfolg zu sichern.⁴¹

2.2.3.5 Six Sigma

Die Managementmethode Six Sigma eignet sich ebenfalls zur Reduzierung von Fehlteilen. Das Hauptziel ist dabei die Erfüllung der Anforderungen von Kund*innen in Bezug auf Profitabilität und Vollständigkeit.⁴² Den wichtigsten Bestandteil dieser Methode stellt der sogenannte DMAIC-Zyklus (= Define, Measure, Analyze, Improve und Control) dar, welcher die Prozesserschaffung und -optimierung zur Aufgabe hat. Dadurch sollen gemachte Fehler nachhaltig abgestellt werden.⁴³

⁴⁰ Vgl. Oess (1991), S. 259 ff.

⁴¹ Vgl. Hummel (2011), S. 5 ff.

⁴² Vgl. Toutenburg et al. (2008), S. 7.

⁴³ Vgl. George et al. (2005), S. 1.

2.2.3.6 Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Beim Design for Manufacturing and Assembly sollen Prozesse und Produkte so gestaltet werden, dass Fehler bereits im Vorfeld vermieden werden können.⁴⁴

2.2.3.7 Quality Function Deployment (QFD)

Das Quality Function Deployment (QFD) zielt darauf ab, bei der Planung, Entwicklung und dem Verkauf von Dienstleistungen und Produkten vorrangig die Wünsche der Kund*innen zu berücksichtigen, um so die bestmögliche Qualität für sie zu gewährleisten.⁴⁵

⁴⁴ Vgl. Strohhecker (2009), S. 175.

⁴⁵ Vgl. Strohhecker (2009), S. 176.

3 Systematische Literaturrecherche

Um einen Überblick über den „State of the Art“ der Forschung im Bereich des Fehlteilmanagements in der Materiallogistik zu bekommen, wurde im folgenden Kapitel eine systematische Literaturrecherche (SLR) in der wissenschaftlichen Datenbank „Scopus“ vorgenommen. Die Vorgehensweise der SLR orientiert sich hierbei an der PRISMA-Methodik.

Die Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)-Methode dient dabei als standardisierter Leitfaden für systematische Übersichtsarbeiten und Meta-Analysen. Die im Jahr 2009 veröffentlichte Methodik soll einerseits sicherstellen, dass systematische Reviews nachvollziehbar und umfassend sind und andererseits die Reproduzierbarkeit und Transparenz in der wissenschaftlichen Forschung fördern. Aufgrund der Entwicklungen im letzten Jahrzehnt wurde die Version von 2009 durch die PRISMA 2020-Erklärung ersetzt.

Ergänzend zur PRISMA 2020-Erklärung beinhaltet die PRISMA-Methodik eine PRISMA-Checkliste sowie ein PRISMA-Flowchart als zentrale Werkzeuge, die Forscher*innen bei der Anwendung der PRISMA-Methode unterstützen sollen. Die Prisma-Checkliste gliedert sich dabei in 27 einzelne Punkte (siehe Anhang), wobei sich jeder dieser Punkte auf einen bestimmten Berichtsbereich der systematischen Übersichtsanalyse bzw. Meta-Analyse bezieht. Das PRISMA-Flowchart hingegen soll den Auswahlprozess der für den Forschungszweck in Frage kommenden Literatur transparenter und nachvollziehbarer gestalten.

Die nachfolgende systematische Literaturrecherche nimmt die PRISMA-Checkliste sowie das PRISMA-Flowchart als Leitfaden, mit dessen Hilfe der aktuelle Stand der Forschung im Bereich des Fehlteilmanagements aufgezeigt werden soll.⁴⁶

⁴⁶ Vgl. Page et al. (2021).

3.1 Durchführung der systematischen Literaturrecherche mit Hilfe der Datenbank „Scopus“

Dieses Kapitel stellt die Grundlage für die Literaturanalyse, welche im Kapitel 3.2 „Analyse der Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche“ erarbeitet wird, dar. Im ersten Schritt wurden auf Basis der im Kapitel 2 „Theoretische Grundlagen“ gewonnenen Erkenntnisse aus der explorativen Literaturrecherche ein Suchstring für die Datenbank „Scopus“ erarbeitet. Nachdem ein passender Suchstring gefunden wurde (siehe Tabelle 1), erfolgte eine Analyse der Abstracts und Titel der ersten Suchergebnisse anhand der zuvor definierten Exklusions- und Inklusionskriterien, welche in Tabelle 2 und 3 ersichtlich sind. Das Ergebnis dieser Analyse und die daraus abgeleiteten relevanten Artikel für das Forschungsthema stellen die Basis für die nachfolgenden Betrachtungen dar.

3.1.1 Auswahl eines passenden Suchstrings für die Datenbank „Scopus“

Bevor es zu einer Suche in der Datenbank „Scopus“ kam, wurden einige Filtervoreinstellungen fixiert:

- **Language:** English
- **Document Type:** Article; Conference paper
- **Subject area:** Engineering; Business, Management and Accounting

Nachdem die zuvor angeführten Filtereinstellungen festgelegt wurden, wurden die Schlagwörter für die SLR, basierend auf der im Kapitel 2 durchgeführten explorativen Literaturrecherche, bestimmt. Weiters ist noch zu erwähnen, dass die Schlüsselwörter auf englischer Sprache angegeben werden, da eine Suche in „Scopus“ vorwiegend englische Literatur hervorbringt und somit die Trefferrate deutlich ausgeweitet werden kann. Im Folgenden sind einige mögliche Schlüsselwörter aufgeführt, die für den Suchstring (siehe Tabelle 1) verwendet werden können:

- **Begriffe für Fehlteile:** Material Shortages; Shortage Management; Component Shortages; Missing Parts; Stock Out Management
- **Bereiche im Unternehmen mit hoher Relevanz für ein effektives Fehlteilmanagement:** Supply Chain Management; Production Planning; Production Control; Logistics; Stock Management; Inventory Management

Tabelle 1: Suchstring für die SLR

Suchstring	Ergebnisse
(TITLE-ABS-KEY ("Material Shortages" OR "Shortage Management" OR "Component Shortages" OR "Missing Parts" OR "Stock Out Management") AND TITLE-ABS-KEY ("Supply Chain Management" OR "Production Planning" OR "Production Control" OR "Logistics" OR "Stock Management" OR "Inventory Management")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	65

3.1.1.1 Erste Analyse der Ergebnisse des finalen Suchstrings

Die nachfolgenden Grafiken visualisieren die ersten Ergebnisse der „Scopus“-Recherche in Bezug auf die nachstehenden Aspekte:

- Anzahl der Studien pro Jahr
- Anzahl der Studien pro Dokumententyp
- Anzahl der Studien nach geographischer Lage

Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt die Anzahl der Dokumente pro Jahr in einem Zeitraum von 1974 bis 2024. Die Grafik verdeutlicht eine steigende Anzahl an Veröffentlichungen bzw. zunehmende Aktivität in den letzten Jahren.

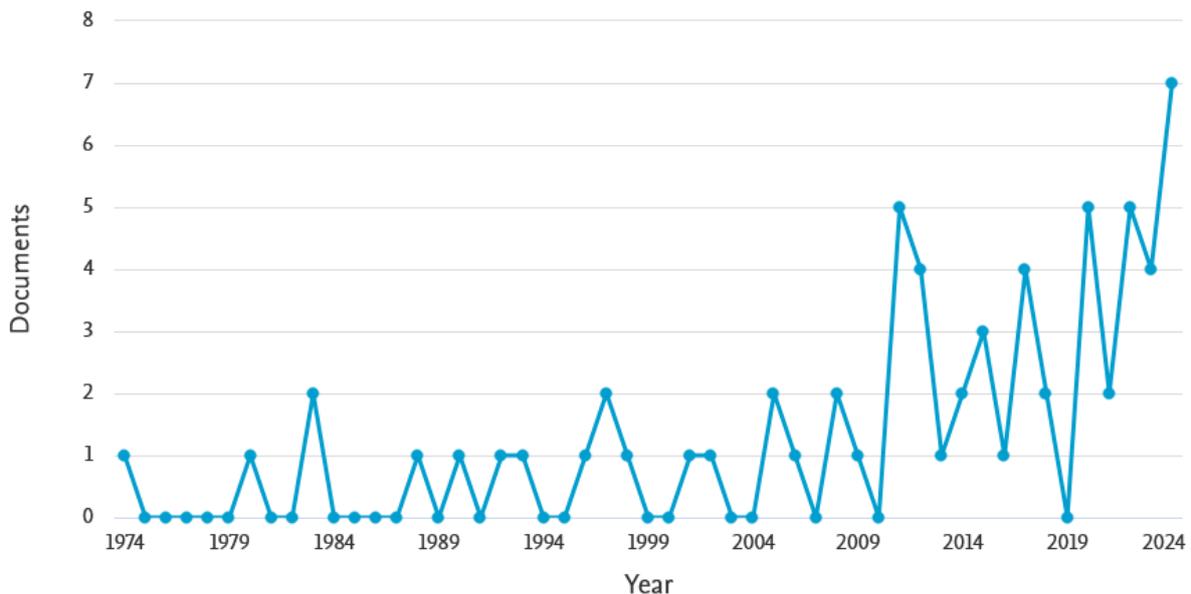


Abbildung 5: Anzahl der Studien pro Jahr für den finalen Suchstring⁴⁷

⁴⁷ Darstellung aus Elsevier (2024).

Das Diagramm (Abbildung 6) zeigt, dass etwas mehr als die Hälfte der untersuchten Dokumente Article sind, während etwas weniger als die Hälfte Conference Papers ausmacht.

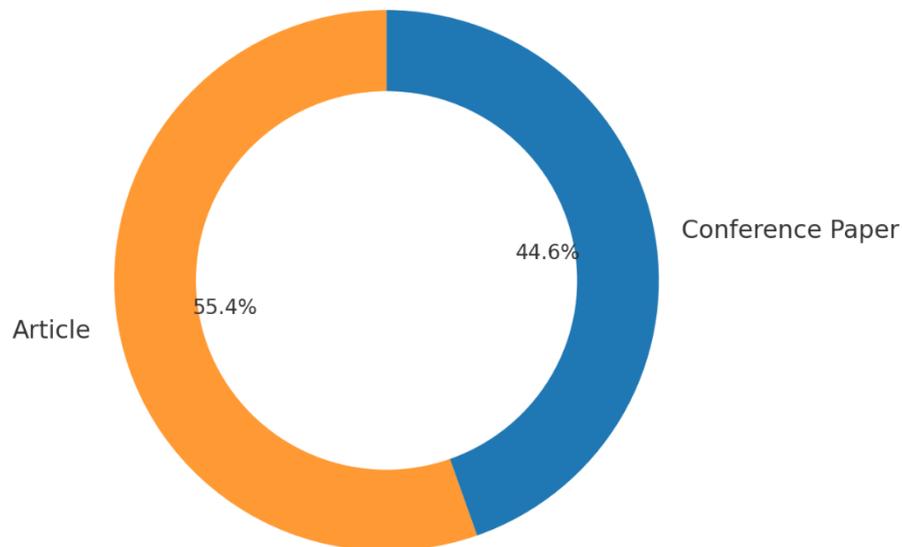


Abbildung 6: Anzahl der Studien pro Dokumententyp für den finalen Suchstring⁴⁸

Die Grafik (Abbildung 7) zeigt ein horizontales Balkendiagramm, das die Anzahl der Dokumente pro Land darstellt. Die USA haben in dieser Analyse die höchste Anzahl an Dokumenten, gefolgt von China und Deutschland.

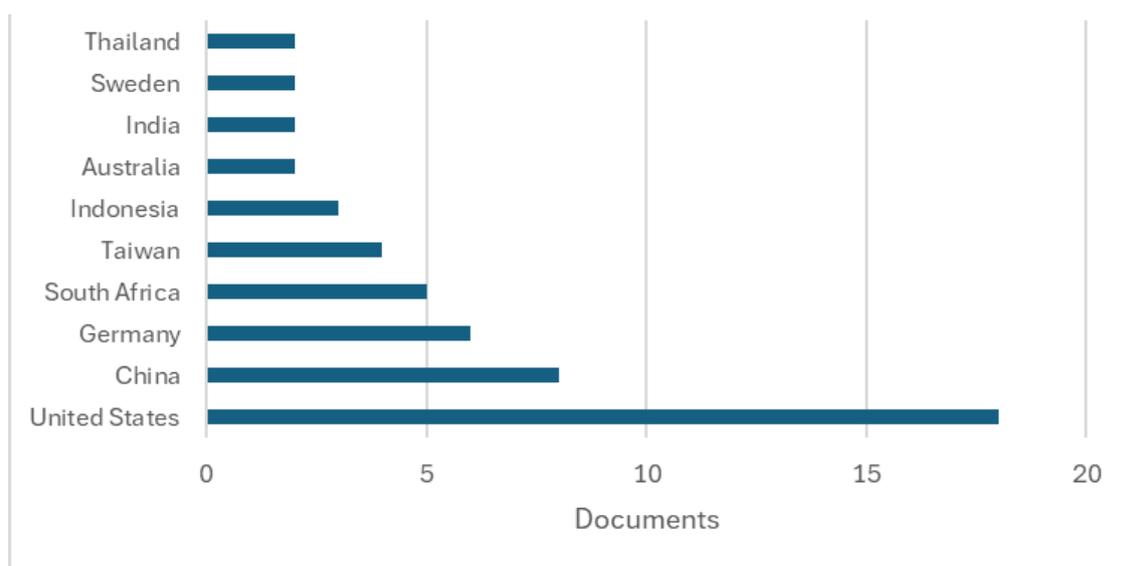


Abbildung 7: Anzahl der Studien nach geographischer Lage für den finalen Suchstring⁴⁹

⁴⁸ Eigene Darstellung; Daten aus Elsevier (2024).

⁴⁹ Eigene Darstellung; Daten aus Elsevier (2024).

3.1.2 Bewertung der Literatur mit Hilfe der Inklusions- und Exklusionskriterien

Wie im theoretischen Teil dieser Arbeit bereits aufgezeigt, können die Ursachen und die daraus abgeleiteten Abstellmaßnahmen für ein Fehlteil vielseitig sein. Aus diesem Grund werden nur all jene Publikationen mit einer hohen Relevanz für das Forschungsthema miteinbezogen, welche sich mit Abstellmaßnahmen für Fehlteile in der Materiallogistik (Bedarfslogistik und Produktionslogistik) beschäftigen, was in Tabelle 2 und 3 bei den Inklusions- und Exklusionskriterien ersichtlich wird. Diese Limitation folgt aus der Zielsetzung dieser Arbeit, welche im Kapitel 1.2 beschrieben wird.

Unter Verwendung des passenden Suchstrings konnten somit 65 fachliche Veröffentlichungen zum Thema Fehlteilemanagement gefunden werden. All diese Informationen aus der Datenbank „Scopus“ wurden als CSV-Datei exportiert und mit Hilfe von Microsoft Excel analysiert. Die gefundenen Publikationen wurden anhand des Abstracts und Titels in die Kategorien „nichtzutreffend“ und „zutreffend“ eingeteilt. Diese Bewertung erfolgte gemäß den Inklusions- und Exklusionskriterien aus Tabelle 2 und 3.

Tabelle 2: Inklusions- und Exklusionskriterien der fachlichen Literatur (Teil I)

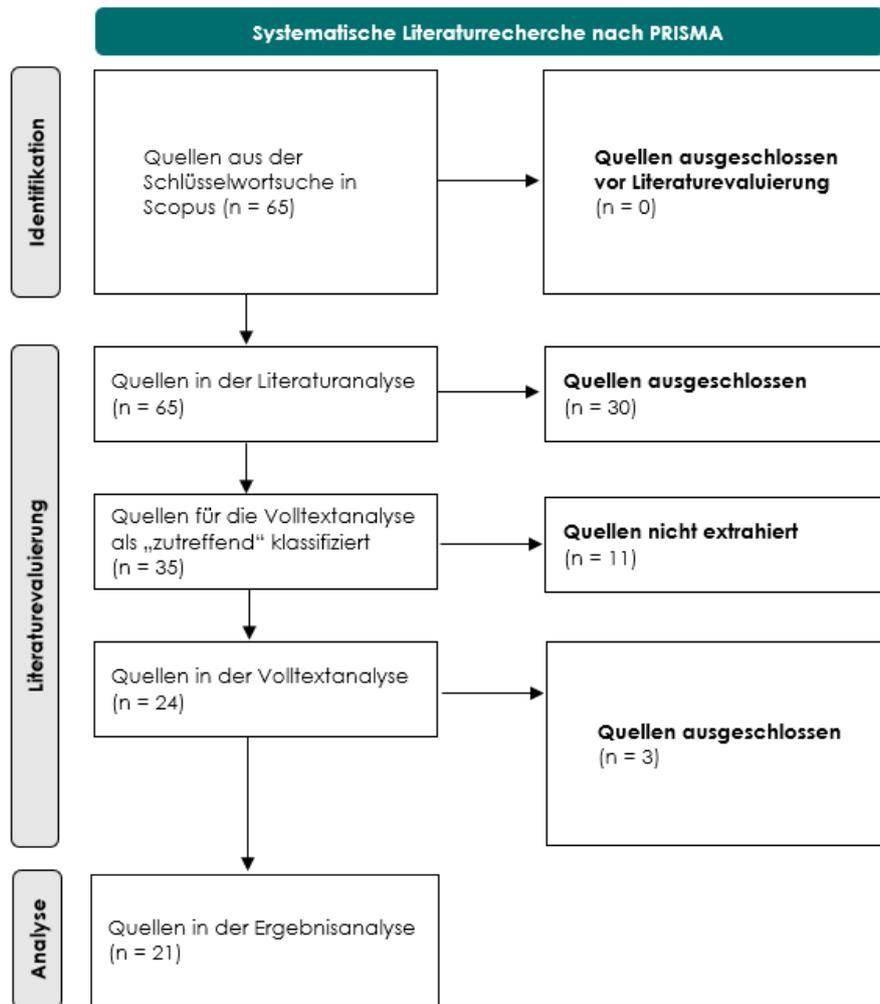
Inklusionskriterien	Exklusionskriterien
Konzepte zum Umgang mit Fehlteilen	Studien in Entwicklungsländern
Auswirkungen und Abstellmaßnahmen von Fehlteilen auf ein produzierendes Unternehmen	Vom und für medizinische, militärische, zum Bauwesen oder Energiesektor gehörende Bereiche durchgeführte Studien
Programme / Algorithmen / Modelle zum Umgang mit Fehlteilen	Studien, welche sich mit den Folgen von Covid-19 für Unternehmen beschäftigen
Verbesserungen im Bereich Supply-Chain-Management	Instandhaltung und die damit verbundene Lagerhaltung von Ersatzteilen

Tabelle 3: Inklusions- und Exklusionskriterien der fachlichen Literatur (Teil II)

Inklusionskriterien	Exklusionskriterien
Bestandsmanagement / Bestellmengenplanung	Studien die Fehlteile nur am Rande oder gar nicht behandeln
Lieferant*innenbewertung für den strategischen Einkauf	
Fertigungssteuerungsverfahren / Reihenfolgeplanung / Losgrößenbildung in der Produktion	

Nach einer ersten Untersuchung der Titel und Abstracts konnten 35 Artikel als „zutreffend“ kategorisiert werden. Im darauffolgenden Schritt wurden dann die als „zutreffend“ kategorisierten Publikationen einer Volltextanalyse unterzogen, wodurch nochmals 3 Publikationen ausgeschlossen werden konnten und somit 21 für die Ergebnisanalyse übrigblieben. Der Zugriff auf die wissenschaftlichen Publikationen erfolgte entweder durch eine Google-Suche oder über die Datenbank „Scopus“. Der Grund für die große Anzahl an nicht extrahierten Quellen war, dass viele Publikationen keinen freien Zugang hatten, wodurch auch keine Volltextanalyse durchgeführt werden konnte.

Abbildung 8 zeigt den PRISMA-Selektionsprozess der systematischen Literaturrecherche gemäß den Richtlinien der PRISMA-Erklärung in Form eines Flowcharts und veranschaulicht damit die finale Auswahl von 21 Literaturquellen für die nachfolgende Analyse.

Abbildung 8: PRISMA-Flowchart⁵⁰

3.2 Analyse der relevanten Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche

Nachfolgend wird auf Basis der im Kapitel 3.1 gewonnenen Erkenntnisse eine deskriptive sowie eine inhaltliche Analyse, der nach der Volltextanalyse für das Forschungsthema mit hoher Relevanz eingestuft 21 Publikationen, durchgeführt.

3.2.1 Deskriptive Analyse

Die nachfolgende Deskriptive Analyse soll die Ergebnisse aus der systematischen Literaturrecherche in Bezug auf die nachstehenden Aspekte untersuchen:

⁵⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Page et al. (2021).

- Anzahl der Studien pro Jahr
- Anzahl der Studien pro Dokumententyp
- Anzahl der Studien nach geographischer Lage

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt die Anzahl der Dokumente pro Jahr in einem Zeitraum von 1992 bis 2024.

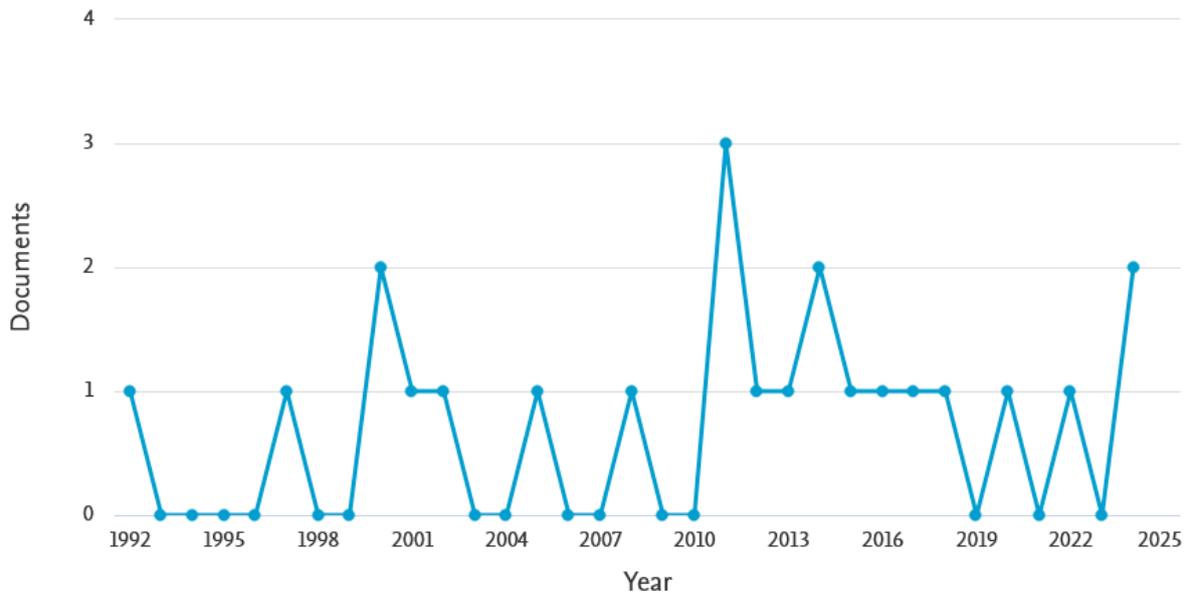


Abbildung 9: Anzahl der Studien pro Jahr nach der Ergebnisanalyse⁵¹

Das Diagramm (Abbildung 10) zeigt, dass der größte Anteil der betrachteten Dokumente Article sind, während ein geringerer, aber signifikanter Teil Conference Papers ausmacht.

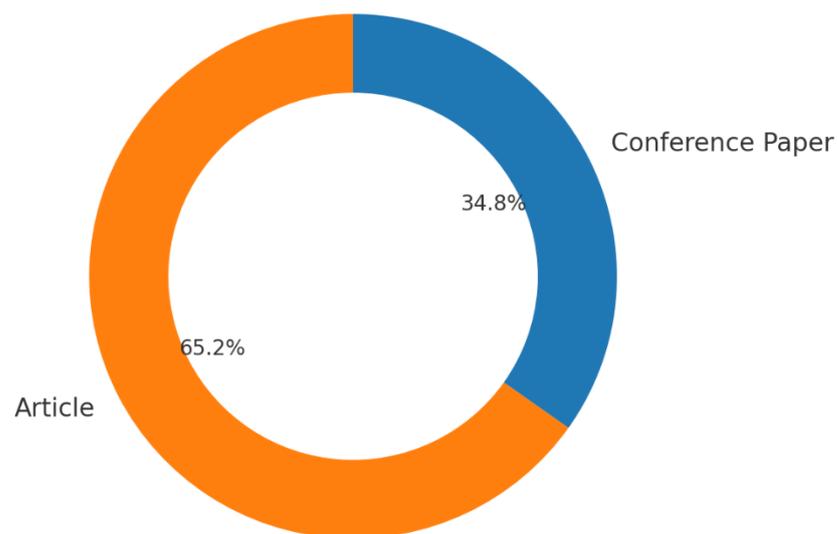


Abbildung 10: Anzahl der Studien pro Dokumententyp nach der Ergebnisanalyse⁵²

⁵¹ Darstellung aus Elsevier (2024).

⁵² Eigene Darstellung; Daten aus Elsevier (2024).

Die Grafik (Abbildung 11) zeigt ein horizontales Balkendiagramm, das die Anzahl der Dokumente pro Land darstellt. Die Grafik zeigt, dass die USA deutlich mehr Dokumente haben als die anderen Länder, während die restlichen Länder nur wenige Dokumente aufweisen.

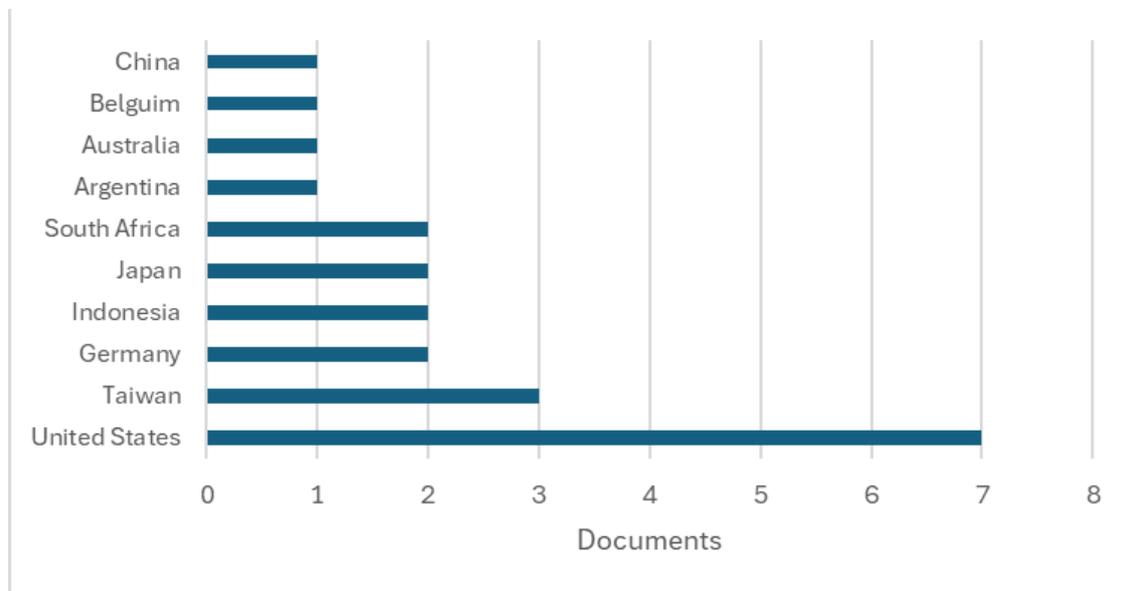


Abbildung 11: Anzahl der Studien nach geographischer Lage nach der Ergebnisanalyse ⁵³

3.2.2 Inhaltliche Analyse

Im folgenden Kapitel werden die Inhalte der wissenschaftlichen Publikationen diskutiert, die nach der abgeschlossenen Literaturanalyse als „zutreffend“ eingestuft wurden. Zur besseren Übersichtlichkeit der inhaltlichen Analyse werden thematische Schwerpunkte festgelegt, die in den nachfolgenden Kapiteln anhand der entsprechenden Publikationen untersucht werden.

Auf Grundlage des theoretischen Teiles dieser Arbeit entschied man sich, die wissenschaftlichen Publikationen im ersten Schritt in Publikationen, welche Reaktive-Ansätze verfolgen und Publikationen, welche Präventive-Ansätze verfolgen einzuteilen. Grob können all jene Publikationen, welche sich mit Themen aus der Bedarfslogistik beschäftigen zu den präventiven Methoden gezählt werden und all jene welche sich mit Themen aus der Produktionslogistik beschäftigen zu den reaktiven Methoden gezählt werden (siehe 2.1.6 „Reaktive und Präventive Maßnahmen zur Bekämpfung von Fehlteilen“). Weiters ergaben sich in den jeweiligen Kategorien folgende Themenschwerpunkte:

⁵³ Eigene Darstellung; Daten aus Elsevier (2024).

1. Präventive Ansätze:

- *Publikationen die sich mit dem Bestandsmanagement beschäftigen*
- *Publikationen die Konzepte zur Absicherung der Materialverfügbarkeit behandeln*
- *Publikationen die sich mit den Folgen von Fehlteilen auf die Produktion beschäftigen*

2. Reaktive Ansätze:

- *Publikationen die sich mit der Reihenfolgeplanung in der Produktion beschäftigen*
- *Publikationen die sich mit Production-Management-Systems beschäftigen*

3.2.2.1 Inhaltliche Analyse der Publikationen, welche Präventive Ansätze verfolgen

Das Ziel von präventiven Ansätzen ist es, mögliche „Phantomfehlteile“ zu identifizieren und diese durch geeignete Maßnahmen bestmöglich zu eliminieren. Nachfolgend werden einige Konzepte, die sich mit präventiven Maßnahmen in Bezug auf die Reduzierung von Fehlteilen beschäftigen, vorgestellt. Dabei wurde nochmals zwischen Studien die sich im Kern mit dem Bestandsmanagement, der Absicherung der Materialverfügbarkeit und Publikationen, die sich mit den Folgen von Fehlteilen auf die Produktion beschäftigen unterschieden.

3.2.2.1.1 Publikationen die sich mit dem Bestandsmanagement beschäftigen

In der Arbeit "**Dynamic clustering of inventory parts to enhance warehouse management**" wird eine Methode zur Verbesserung des Lagermanagements durch dynamische Gruppierung von Lagerteilen vorgeschlagen. Das Ziel ist es, Lagerteile auf der Grundlage von Attributen wie Abholhäufigkeit, Alter, Preis und Transportempfindlichkeit in Cluster einzuteilen. Diese Gruppierung hilft bei der Entscheidung, welche Teile im Lager verbleiben, welche in ein externes Lager verschoben oder verschrottet werden sollen. Dadurch sollen die Lagerbestände optimiert und die Transportkosten minimiert werden.

Die Methode erkennt, wann und wie viele Teile zwischen den Lagerstandorten bewegt werden müssen, um Engpässe (Fehlteile) zu vermeiden und gleichzeitig den Bestand effizient zu verwalten. Der Einsatz von Clusteranalysen ermöglicht es zudem, regelmäßig Berichte zu erstellen, die die Bestandsbewegungen und

Lageranforderungen überwachen, wodurch eine verbesserte Entscheidungsfindung möglich wird.⁵⁴

In der Arbeit „**Optimal Material Control in an Assembly System with Component Commonality**“ geht es um die optimale Steuerung von Materialbeständen in einem Montagesystem, das gemeinsame Komponenten verwendet. Untersucht wird, wie die Zuteilung von knappen Komponenten auf Produktbestellungen die Produktionskosten und die Serviceleistung beeinflusst, insbesondere wenn die Nachfrage nach Endprodukten unsicher ist und Komponenten für mehrere Produkte verwendet werden. Der Schwerpunkt liegt auf einem sogenannten „fair shares“ Zuteilungssystem, das in der Praxis oft verwendet wird. Dabei werden die verfügbaren Bestände basierend auf dem realisierten Bedarf der Produkte aufgeteilt.

Im Hinblick auf das Fehlteilemanagement wird analysiert, wie die ungleiche Verfügbarkeit von Komponenten zu Verzögerungen in der Fertigstellung von Produktaufträgen führt. Das Ziel ist es, sicherzustellen, dass die Bestellabwicklung trotz begrenzter Bestände reibungslos erfolgt und die gewünschten Serviceniveaus erreicht werden.⁵⁵

Die Arbeit „**Ordering quantity decisions considering uncertainty in supply-chain logistics operations**“ beschäftigt sich mit der Herausforderung, optimale Bestellmengen für Einzelhändler*innen in einer Lieferkette zu bestimmen, wenn Unsicherheiten durch logistische Probleme oder Störungen wie Transportschäden oder fehlende Teile bestehen. Es wird ein Modell entwickelt, das nicht nur die erwarteten Gewinne maximiert, sondern auch Risiken durch unwahrscheinliche, aber stark wirkende Ereignisse berücksichtigt.

Ein Punkt im Zusammenhang mit dem Fehlteilemanagement ist die Unsicherheit in der Anzahl der tatsächlich unbeschädigten Produkte, die die Distributionszentren und Läden erreichen. Dieser Unsicherheitsfaktor erschwert die Bestellmengenentscheidung erheblich. Die Arbeit schlägt zwei verbesserte Verfahren vor, die das Risiko durch seltene, aber signifikante Störungen minimieren. Es werden Optimierungsstrategien entwickelt, die es Einzelhändler*innen ermöglichen, auf

⁵⁴ Vgl. Aqlan (2017).

⁵⁵ Vgl. Agrawal; Cohen (2001).

Engpässe und Fehlteile vorbereitet zu sein, ohne unnötig hohe Lagerbestände zu führen.⁵⁶

Die Arbeit „**Replenishment policies considering trade credit and logistics risk**“ untersucht eine Bestandsmanagementstrategie unter Berücksichtigung von Handlungsschriften und logistischen Risiken. Ziel ist es, eine optimale Nachschubstrategie für Einzelhändler*innen zu entwickeln, die durch Unsicherheiten in der Lieferkette, wie z. B. Versandfehler, fehlende Teile oder Naturkatastrophen, beeinträchtigt wird.

Ein Aspekt dieser Studie ist das Fehlteilemanagement. Insbesondere wird analysiert, wie logistische Störungen zu beschädigten oder fehlenden Produkten führen, was zusätzliche Kosten verursacht, um diese Mängel durch andere Lieferquellen auszugleichen. Es werden zwei Lösungsansätze entwickelt: Ein risikoneutraler Ansatz, der den Bestellzyklus optimiert, um die Gesamtkosten zu minimieren, und ein risikobewusster Ansatz, der sicherstellt, dass die Anzahl der defekten Produkte unter einem festgelegten Höchstwert bleibt.⁵⁷

Die Publikation „**Designing Inventory Models to Minimize Total Inventory Costs by Using Mixed Integer Linear Programming (MILP) in the Warehouse of MRO Materials**“ beschreibt die Entwicklung eines Bestandsmodells zur Minimierung der Gesamtkosten für Lagerbestände. Die Herausforderung besteht darin, das optimale Bestellvolumen und den optimalen Bestellzeitpunkt zu bestimmen, um die Lagerkosten zu minimieren. Im Hinblick auf das Fehlteilemanagement betont die Arbeit, dass eine unzureichende Materialverfügbarkeit schwerwiegende Auswirkungen auf den Betrieb haben kann. Daher wird ein Sicherheitsbestand (Safety Stock) definiert, um Materialengpässe zu vermeiden. Das Modell berücksichtigt die Unsicherheit der Nachfrage und stellt sicher, dass kein Mangel an kritischen Materialien besteht, der zu Ausfällen oder Verzögerungen führen könnte.⁵⁸

3.2.2.1.2 Publikationen die Konzepte zur Absicherung der Materialverfügbarkeit behandeln

Die Arbeit „**Analysis of factors and solutions to poor supply chain quality in a manufacturing organisation**“ untersucht die Ursachen für eine schlechte Qualität in

⁵⁶ Vgl. Kim et al. (2011).

⁵⁷ Vgl. Tsao (2011).

⁵⁸ Vgl. Kusuma; Hakim (2020).

der Lieferkette von Hersteller*innen von Stahlprodukten und schlägt Lösungen zur Verbesserung vor. Die Studie identifiziert die Hauptfaktoren, die zu einer schlechten Qualität der Lieferkette beitragen, wie längere Lieferzeiten, ineffiziente Kommunikation, Bestandsengpässe, Prozessabweichungen, Lieferant*innenprobleme und ein unzuverlässiges ERP-System.

Es wird festgestellt, dass Bestandsengpässe (Stockouts) ein zentrales Problem darstellen, das durch Faktoren wie ungenaue Lagerbestandsdaten, fehlende Sicherheitsbestandsrichtlinien, Verzögerungen bei der Lieferung von Rohstoffen und menschliche Fehler verstärkt wird. Diese Engpässe führen dazu, dass die Produktion gestoppt oder verzögert wird, was die gesamte Lieferkette beeinträchtigt.⁵⁹

Die Arbeit „**Bridging human expertise and machine learning in production management: a case study on ML-based decision support systems to prevent missing parts at assembly**“ befasst sich mit der Integration von menschlichem Fachwissen und maschinellem Lernen (ML) zur Vermeidung von Fehlteilen in der Montage. Ziel der Studie ist es, ein Entscheidungsunterstützungssystem (DSS) zu entwickeln, das auf maschinellem Lernen basiert und Fehlteile frühzeitig vor dem Montagebeginn vorhersagt. Dabei wird auch der Produktionsleiter aktiv in den Entscheidungsprozess eingebunden.⁶⁰

Die Arbeit „**Configuration of supply chain integration and delivery performance: Unitary structure model and fuzzy approach**“ beschreibt ein Konzept zur Integration von Lieferkettenkomponenten zur Verbesserung der Lieferleistung unter dynamischen und unsicheren Bedingungen. Ziel ist es, ein Modell zu entwickeln, das die Leistung der Lieferkette in Echtzeit überwacht und bewertet. Dies geschieht durch die Verknüpfung von Materialflüssen, Ressourcen und Aktivitäten in einem einheitlichen Strukturmodell. Die Implementierung eines solchen Modells wird am Beispiel der Milchindustrie veranschaulicht.

Im Hinblick auf das Fehlteilemanagement spielt das Modell eine wesentliche Rolle bei der Überwachung von Bestandsengpässen und Rohstoffknappheiten. Insbesondere die Echtzeitüberwachung der Bestandsverfügbarkeit und die Vorhersage potenzieller Materialengpässe helfen, Fehlteile zu vermeiden und somit die Produktions- und Lieferfähigkeit aufrechtzuerhalten. Durch den Einsatz von Fuzzy-Logik werden

⁵⁹ Vgl. Selepe; Makinde (2024).

⁶⁰ Vgl. Sauer et al. (2024).

Unsicherheiten, die durch unvorhergesehene Ereignisse wie Transportausfälle oder Nachfrageschwankungen entstehen, in die Entscheidungsprozesse integriert. Dies ermöglicht es, auf Fehlteile oder Produktionsausfälle flexibel zu reagieren und die Lieferkettenleistung zu optimieren.⁶¹

Die Publikation „**Development of an integrated demand-supply balancing system for supply chain exception handling**“ beschreibt die Entwicklung eines integrierten Systems zur Balance zwischen Nachfrage und Angebot in einer Lieferkette, das speziell für den Umgang mit Ausnahmesituationen konzipiert ist. Das System wurde entwickelt, um Unternehmen in einem Multi-Site-Produktionsumfeld zu unterstützen, indem es eine bessere Transparenz zwischen Produktionsstandorten ermöglicht und das Management von Nachfrageschwankungen, Materialengpässen und anderen Störungen erleichtert. Ein zentrales Element des Systems ist die proaktive Überwachung von Störungen in der Lieferkette. Durch Echtzeitanalysen und die automatische Erkennung von Ausnahmeereignissen wie Lieferengpässen oder Nachfragespitzen kann das System frühzeitig eingreifen. Es bietet Entscheidungsträgern mögliche Lösungen zur Umverteilung von Bestellungen und Ressourcen zwischen Produktionsstätten.

Bezüglich des Fehlteilemanagements ist besonders hervorzuheben, dass das System Materialengpässe (Supply-Side-Exceptions) in Echtzeit erkennt und sofort Maßnahmen zur Umverteilung von Ressourcen vorschlägt, um Produktionsausfälle zu verhindern. Diese proaktive Das System bietet zudem Simulationsmöglichkeiten, um die Durchführbarkeit von Umverteilungsplänen zu testen, bevor sie umgesetzt werden, was das Risiko von Fehlteilen weiter minimiert.⁶²

Die Arbeit „**Improvement of material supply system through kitting concept and IT solutions**“ beschreibt ein Projekt, das in einem Automobilwerk von Daimler Buses in Mexiko durchgeführt wurde. Ziel des Projekts war es, das Materialversorgungssystem zu verbessern, indem das Kitting-Konzept und IT-Lösungen optimiert wurden. Die Studie wurde durchgeführt, um die Produktionskosten durch Nacharbeit zu reduzieren, die durch fehlende Teile in der Montage entstanden.⁶³

⁶¹ Vgl. Samaranayake; Laosirihongthong (2016).

⁶² Vgl. Ahmed et al. (2017).

⁶³ Vgl. Puentes et al. ().

3.2.2.1.3 Publikationen die sich mit den Folgen von Fehlteilen auf die Produktion beschäftigen

Die Arbeit „**The Effects of Disruption on Different Types of Tile Manufacturing Industry-layouts: An Empirical Investigation on Tile Manufacturing Industry**“ untersucht, wie sich Störungen auf verschiedene Layout-Typen in der Fliesenherstellung auswirken. Die Studie analysiert Störungen wie Maschinenausfälle, Materialengpässe, Stromausfälle und Mitarbeiter*innenausfälle. Es wird festgestellt, dass verschiedene Layouts unterschiedlich auf diese Störungen reagieren.

Ein wichtiger Punkt in Bezug auf das Fehlteilemanagement ist der Einfluss von Materialengpässen. Die Studie zeigt, dass Materialknappheit eine der Hauptursachen für Produktionsunterbrechungen ist, die zu erheblichen Verzögerungen und Effizienzverlusten führen können.⁶⁴

Die Arbeit „**Evaluation of Material Shortage Effect on Assembly Systems Considering Flexibility Levels**“ untersucht die Auswirkungen von Materialengpässen auf Montagesysteme in der Industrie, insbesondere in Bezug auf verschiedene Flexibilitätsstufen der Produktionssysteme. Die Studie zeigt, dass Materialknappheit auf verschiedenen Ebenen – Prozess-, System- und Unternehmensebene – die Effizienz und Leistung der Produktion erheblich beeinträchtigen kann.

Ein Punkt ist das Fehlteilemanagement, bei dem es darum geht, wie Produktionssysteme auf fehlende Materialien reagieren können. Flexible Montagesysteme ermöglichen es, dynamisch auf Materialengpässe zu reagieren, indem sie alternative Produktionswege und angepasste Abläufe nutzen. Dies wird durch ein hohes Maß an Flexibilität im Produktionssystem ermöglicht, wie z. B. die Fähigkeit, Prozesse in einer anderen Reihenfolge oder auf verschiedenen Maschinen durchzuführen, um die Auswirkungen von Fehlteilen zu minimieren.⁶⁵

3.2.2.2 Inhaltliche Analyse der Publikationen, welche Reaktive Ansätze verfolgen

Das Ziel von reaktiven Ansätzen ist es, zugrundeliegende Prozesse so zu gestalten, dass der Schaden, welcher durch ein Fehlteil entstanden ist, minimal bleibt (d.h. bei reaktiven Maßnahmen ist das Fehlteil physisch bereits aufgetreten). Nachfolgend

⁶⁴ Vgl. Ikome et al. (2015).

⁶⁵ Vgl. Melnychuk et al. (2022).

werden einige Konzepte, die sich mit reaktiven Maßnahmen in Bezug auf die Reduzierung von Fehlteilen beschäftigen, vorgestellt. Dabei wurde nochmals zwischen Studien, die sich im Kern mit der Reihenfolgeplanung in der Produktion und solchen die sich mit Production-Management-Systems beschäftigen unterschieden.

3.2.2.2.1 Publikationen die sich mit der Reihenfolgeplanung in der Produktion beschäftigen

Die Arbeit „**Coordination activities of human planners during rescheduling: case analysis and event handling procedure**“ analysiert die Koordinationsaktivitäten von menschlichen Planer*innen im Produktionsumfeld während der Neuterminierung von Fertigungsaufträgen. Sie untersucht, wie menschliche Planer*innen auf verschiedene Ereignisse wie Maschinenstörungen, Materialengpässe oder kurzfristige Auftragsänderungen reagieren.

Ein Punkt ist das Fehlteilemanagement. Materialknappheit, insbesondere Fehlteile, wird als kritisches Ereignis identifiziert, das eine schnelle Reaktion erfordert. Die Studie zeigt, dass Planer*innen intensiv kommunizieren und koordinieren müssen, um solche Engpässe zu bewältigen. Fehlende Teile führen häufig dazu, dass Pläne schnell angepasst oder komplett neu erstellt werden müssen. Hierbei spielt die Koordination zwischen verschiedenen Planer*innen und Produktionsbeteiligten eine entscheidende Rolle, um sicherzustellen, dass die Produktion trotz Fehlteilen nicht stillsteht.⁶⁶

Die Arbeit „**Distributed Production Scheduling in an Open Manufacturing Environment**“ befasst sich mit der Produktionsplanung in einem offenen Fertigungsumfeld, das durch globale Märkte und hohe Konkurrenz geprägt ist. Die Arbeit schlägt ein Multi-Agenten-System (MAS) vor, um in einem verteilten, dynamischen Fertigungsumfeld ohne zentrale Steuerung effektiv zu planen. Das Modell ermöglicht die Verteilung von Produktionsaufgaben auf verschiedene geografisch verteilte Ressourcen, um die Reaktionsgeschwindigkeit und die Flexibilität gegenüber Marktanforderungen zu verbessern.

Ein Aspekt der Arbeit ist der Umgang mit Störungen und Engpässen, wie z. B. Materialknappheit (Fehlteilemanagement). Traditionelle Planungsansätze, die eine zentrale Steuerung voraussetzen, sind in einem dynamischen Umfeld ineffektiv, insbesondere wenn unerwartete Ereignisse wie Materialmängel auftreten. Das Multi-

⁶⁶ Vgl. Snoo et al. (2011).

Agenten-System ermöglicht es, auf solche Engpässe flexibel zu reagieren, indem autonome Maschinen- und Aufgabenagenten Verhandlungen führen und Entscheidungen treffen, um Ressourcen umzuschichten oder die Produktionspläne dynamisch anzupassen.⁶⁷

Die Arbeit „**Flow Shop Rescheduling Problem under Rush Orders**“ befasst sich mit der Neuterminierung in einem Fließfertigungssystem, das von Störungen wie Eilaufträgen und Materialengpässen betroffen ist. In einem Umfeld, in dem kund*innenspezifische Fertigung zunehmend gefordert wird, treten häufig solche Störungen auf, was eine schnelle und effiziente Anpassung der Produktionspläne erfordert.

Ein Aspekt der Arbeit ist das Fehlteilemanagement. Materialknappheit wird als eine der Störungen betrachtet, die zu einer Neuterminierung führen müssen, um die Produktion aufrechtzuerhalten.⁶⁸

Die Arbeit „**Mixed-Model Assembly Line Scheduling Using the Lagrangian Relaxation Technique**“ behandelt die Herausforderung, verschiedene Produkte in einer Mischfertigung effizient zu planen. Dabei wird insbesondere das Problem der Komponentenversorgung und die Gefahr von Produktionsengpässen durch Fehlteile hervorgehoben. Um solche Engpässe zu vermeiden und die Montage nicht zu unterbrechen, wird eine Optimierungsmethode entwickelt, die sicherstellt, dass die Komponentenverfügbarkeit innerhalb eines bestimmten Zeitfensters berücksichtigt wird.⁶⁹

Die Arbeit „**Real-Time Scheduling Procedures Based on Autonomous Distributed Manufacturing System (ADiMS) Concept**“ beschreibt die Implementierung eines Autonomous Distributed Manufacturing System (ADiMS) zur Lösung von Planungsproblemen in Echtzeit. Das Hauptziel besteht darin, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in der Produktionsplanung zu ermöglichen, um auf unvorhersehbare Ereignisse wie Maschinenausfälle, Materialengpässe oder Abwesenheit von Personal schnell reagieren zu können.

Materialknappheit wird als ein häufiges Problem identifiziert, das den geplanten Produktionsablauf stören kann. Die ADiMS-Methodik bietet eine flexible Lösung, da jede Produktionsressource (Maschinen, Produkte, Koordinatoren) autonom

⁶⁷ Vgl. Lou et al. (2008).

⁶⁸ Vgl. Yan-hai et al. (2005).

⁶⁹ Vgl. Zhang et al. (1997).

Entscheidungen trifft, um die bestmögliche Nutzung der verfügbaren Materialien sicherzustellen. Das System passt den Produktionsplan in Echtzeit an, wenn Materialmangel auftritt, und stellt sicher, dass keine unnötigen Produktionsausfälle durch Fehlteile entstehen.⁷⁰

Die Arbeit „**The Impact of Sequence Changes on Product Lead Time**“ untersucht die Auswirkungen von Änderungen in der Produktionsreihenfolge auf die Durchlaufzeiten von Produkten. Die Arbeit analysiert, wie das Umschichten von Aufträgen, etwa aufgrund von Materialengpässen oder Eilaufträgen, die durchschnittliche Durchlaufzeit und deren Varianz beeinflusst. Dazu verwendet sie Simulationen mit verschiedenen Modellen.

Materialmangel ist einer der Hauptgründe für eine Neeterminierung von Aufträgen. Die Simulationen zeigen, dass Änderungen in der Auftragsreihenfolge die durchschnittliche Durchlaufzeit kaum beeinflussen, jedoch die Varianz der Durchlaufzeiten signifikant erhöhen. Dies kann die Liefertreue und damit die Kund*innenzufriedenheit negativ beeinflussen.⁷¹

3.2.2.2 Publikationen die sich mit Production-Management-Systems beschäftigen

Die Arbeit „**Agent-based Modeling and Simulation of an Autonomic Manufacturing Execution System**“ beschäftigt sich mit der Entwicklung eines autonom agierenden Autonomic Manufacturing Execution System, das mit unvorhersehbaren Störungen wie Eilaufträgen, Rohstoffknappheit oder Maschinenausfällen umgehen kann.

Ein zentraler Punkt in Bezug auf das Fehlteilemanagement ist die Fähigkeit des Systems, Materialengpässe frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Die Order Agents überwachen kontinuierlich die Verfügbarkeit von Ressourcen und passen die Produktionspläne an, sobald eine Materialknappheit festgestellt wird. Durch die dezentrale Entscheidungsfindung und die Interaktion zwischen den Agenten wird das Fehlteilemanagement optimiert, indem alternative Produktionsressourcen oder -wege in Echtzeit genutzt werden. Dies reduziert Ausfallzeiten und erhöht die Effizienz der Produktion, auch wenn es zu unvorhergesehenen Materialmängeln kommt.⁷²

⁷⁰ Vgl. Yatna et al. (2014).

⁷¹ Vgl. Dupon et al. (2002).

⁷² Vgl. Rolón; Martínez (2012).

3.3 Schlussfolgerung und Zusammenfassung der systematischen Literaturrecherche

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass das Thema Fehlteilemanagement in der Wissenschaft nur am Rande eine theoretische Betrachtung findet (siehe Anzahl an Treffern bei „Scopus“-Recherche). Ein möglicher Grund dafür ist, dass Fehlteile zwar grundsätzlich überall in der Wertschöpfungskette auftreten können, die Abstellmaßnahmen jedoch meistens primär auf ein anderes Problem abzielen und die Reduktion von Fehlteilen nur ein netter Nebeneffekt ist. Dies spiegelt auch die SLR wider, bei der man sehr schön sehen kann, dass fast alle Studien sich primär einem anderen Thema widmen (z.B. Reihenfolgeplanung, Losgrößenplanung, usw.) und Fehlteile nur am Rande eine Erwähnung finden.

Man sieht auch bei den Studien, dass die Beschaffungslogistik in Bezug auf das frühzeitige Erkennen und Abstellen von Fehlteilen einen viel größeren Hebel hat als die Produktionslogistik. In der Produktionslogistik führen Fehlteile oftmals zu massiven Problemen, speziell bei den Fertigungssteuerungsverfahren und bei der Reihenfolgeplanung, wodurch ein effektives Fehlteilemanagement in der Beschaffungslogistik umso wichtiger ist.

Abschließend kann gesagt werden, dass Fehlteile oftmals ein Auslöser für ein neues Forschungsfeld sind, jedoch die daraus folgenden Abstellmaßnahmen fast immer auf ein anderes Problem abzielen. Es gibt somit viele Möglichkeiten Fehlteile abzustellen, auch wenn diese nicht immer auf den ersten Blick ersichtlich sind.

4 Fallstudie: Fehlteilemanagement bei Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg

4.1 Ist-Situationsanalyse im Unternehmen

4.1.1 Unternehmensbeschreibung

Die Siemens AG ist ein deutscher Mischkonzern, welcher in die Geschäftsfelder Digital Industries, Smart Infrastructure, Mobility, Siemens Healthineers, Portfolio Companies und Siemens Advanta unterteilt ist. Zudem bietet die Siemens AG folgende Services: Siemens Financial Services, Siemens Real Estate sowie Global Business Services. Der Siemens-Konzern umfasst zahlreiche deutsche und internationale Tochtergesellschaften, wobei die Siemens AG als führendes Unternehmen den Kern bildet. Mit einer Präsenz in 190 Ländern hat das Unternehmen seinen Hauptsitz in Berlin und München. Mit einem Jahresumsatz von 77,8 Mrd. Euro (2023) und rund 320.000 (2023) Mitarbeiter*innen, gehört die Siemens AG zu den führenden Technologie-Unternehmen weltweit.⁷³



Abbildung 12: Geschäftsbereiche und Services der Siemens AG⁷⁴

⁷³ Vgl. Siemens Österreich (2024).

⁷⁴ SMO RS CP BG&P (2024), S. 2.

Die Siemens Mobility Austria GmbH mit Sitz in Wien ist ein wesentlicher Bestandteil des industriellen Geschäftsbereichs der Siemens AG. Diese gliedert sich wiederum in die fünf Geschäftsbereiche Rail Infrastructure, Software Solutions, Turnkey Projects, Rolling Stock und Customer Services. Der Geschäftsbereich Rolling Stock stellt Schienenfahrzeuge für den Nah-, Regional- und Fernverkehr her und bietet zudem Produkt- und Systemlösungen für den Personen- und Gütertransport an. Die Rolling Stock unterteilt sich in die Bereiche High Speed and Intercity, Commuter and Regional, Metros, Light Rail and VAL, Locomotives and Coaches sowie Components. Die Fraktion Components umfasst die Bereiche Stromabnehmer, Fahrwerke, HBU, Bahn- und Bremssteuerung, Umrichter, Getriebe, Bahnmotoren, Bremssysteme.⁷⁵



Abbildung 13: Produktions- und Bürostandorte Österreich⁷⁶

Das Siemens Werk am Standort Graz Eggenberg (intern: Manufacturing Graz, abgekürzt MF-GRZ) ist mit 1.524 Mitarbeiter*innen (GJ 2022/23), einem Einkaufsvolumen von 300 Mio. Euro (GJ 2022/23) und einer Fertigungsleistung von 2943 Fahrwerken, 5495 Radsätze und 1072 Stromabnehmer pro Jahr (GJ 2022/23) innerhalb der Siemens Mobility das Kompetenzzentrum für die Entwicklung und Fertigung von Drehgestellen und Pantographen.⁷⁷

⁷⁵ Vgl. SMO RS CP BG&P (2024), S. 4 ff.

⁷⁶ Siemens (2024), S. 45.

⁷⁷ Vgl. SMO RS CP BG&P (2024), S. 7.

Organisatorisch gliedert sich der Standort in Graz Eggenberg in acht sogenannte Functions, wobei eine dieser Functions das Werk MF-GRZ darstellt, wie in Abbildung 14 ersichtlich.

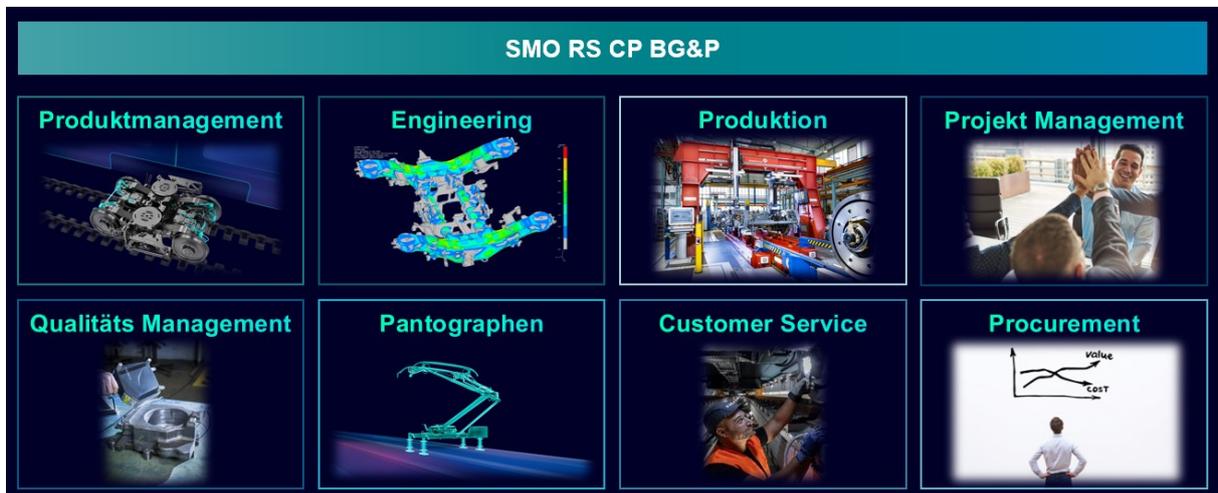


Abbildung 14: Organization Chart Siemens Mobility Graz Eggenberg⁷⁸

Zur Function Manufacturing Graz gehört die Werkslogistik (abgek. LOG). Diese gliedert sich in die Abteilungen Material Handling (MH), Material Disposition (MD) und Operational Purchasing (OP), dargestellt in Abbildung 15.⁷⁹



Abbildung 15: Organization Chart MF-GRZ LOG⁸⁰

Das Material Handling ist hierbei für den Wareneingang mit dem internen Transport, der Lagerhaltung und den Versand in die Fertigung zuständig. Die Disposition ist für die Bedarfserhebung bis zur Bestellanforderung und der operative Einkauf von der Bestellung bis zur Lieferung verantwortlich. Auf letzteren wird in dieser Arbeit besonders

⁷⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an SMO RS CP BG&P (2024), S. 7.

⁷⁹Vgl. SMO RS CP BG&P (2024), S. 7.

⁸⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an SMO RS CP BG&P (2024), S. 8.

eingegangen, da dieser Bereich den größten Hebel in Bezug auf Erkennung und Behebung von Fehlteilen ermöglicht.

Die Wertschöpfungskette startet bei der Intralogistik, welche für die termingerechte Versorgung der Produktion verantwortlich ist, und endet am Druckprüfstand, bei dem das Fahrwerk endabgenommen wird und damit der*dem Kund*in übergeben werden kann.



Abbildung 16: Wertschöpfungskette Siemens Werk Graz⁸¹

Fehlteile stellen in der Wertschöpfungskette eine ständige Bedrohung für eine termingerechte Auslieferung und damit für den Unternehmenserfolg dar. Eine Analyse nach dem warum stellt sich allerdings oft als sehr schwierig heraus.⁸²

4.1.2 Definition Fehlteile Siemens Mobility Rolling Stock

4.1.2.1 Potenzielle Fehlteile Definition

Potenzielle Fehlteile sind alle Materialien deren Bedarfstermin mehr als 10 Tage in der Zukunft liegt und die voraussichtlich nicht 10 Arbeitstage vor Bedarfstermin im Werk physisch und in einwandfreiem Zustand verfügbar sein werden.

Gründe hierfür sind:

⁸¹ SMO RS CP BG&P (2024), S. 17.

⁸² Vgl. Niederl (2024a).

- Material im Eskalationsprozess mit Bedarfstermin > 10 Tage in der Zukunft
- Material mit Q-Meldung (Lieferantenreklamation) mit Bedarfstermin > 10 Tage in der Zukunft
- Material mit Sonderfreigabe mit Bedarfstermin > 10 Tage in der Zukunft
- Material mit falscher Revision mit Bedarfstermin > 10 Tage in der Zukunft

4.1.2.2 Fehlteile Definition

Fehlteile sind alle Materialien, die nicht 10 Arbeitstage vor dem Bedarfstermin im Werk physisch und in einwandfreiem Zustand zur Verfügung stehen.

Gründe hierfür sind:

- Fehlendes Teil (physisch fehlendes Material)
- Material mit offenen Q-Meldung (Lieferantenreklamation)
- Material mit Sonderfreigabe
- Material mit falscher Revision⁸³

4.1.3 Eskalationsstufen bei Siemens Mobility Rolling Stock

Die nachstehende Abbildung 17 gibt einen Überblick der Charakteristika der einzelnen Eskalationsstufen und der Folgen, welche eine Eskalation an die nächste Stufe auslöst. Dabei werden die Eskalationsstufen entsprechend der kritisch werdenden Terminalschiene nacheinander durchlaufen. Um den Auslöser für die entsprechende Eskalationsstufe zu bestimmen, wird der von Lieferant*innen per Auftragsbestätigung (AB) bestätigte Termin ($LT_{\text{bestätigt}}$) mit den im SAP hinterlegten Lieferterminen (LT_{SAP}) und Bedarfsterminen (BT_{SAP}) sowie mit dem tatsächlichen Montagetermin (MT) laut Produktionsplan und den Auslieferterminen verglichen. Berücksichtigt wird auch die Warenvereinnahmungszeit (WVZ).

⁸³ Vgl. SMO RS CP BG&P MF-GRZ LOG OP (2024), S. 4 f.

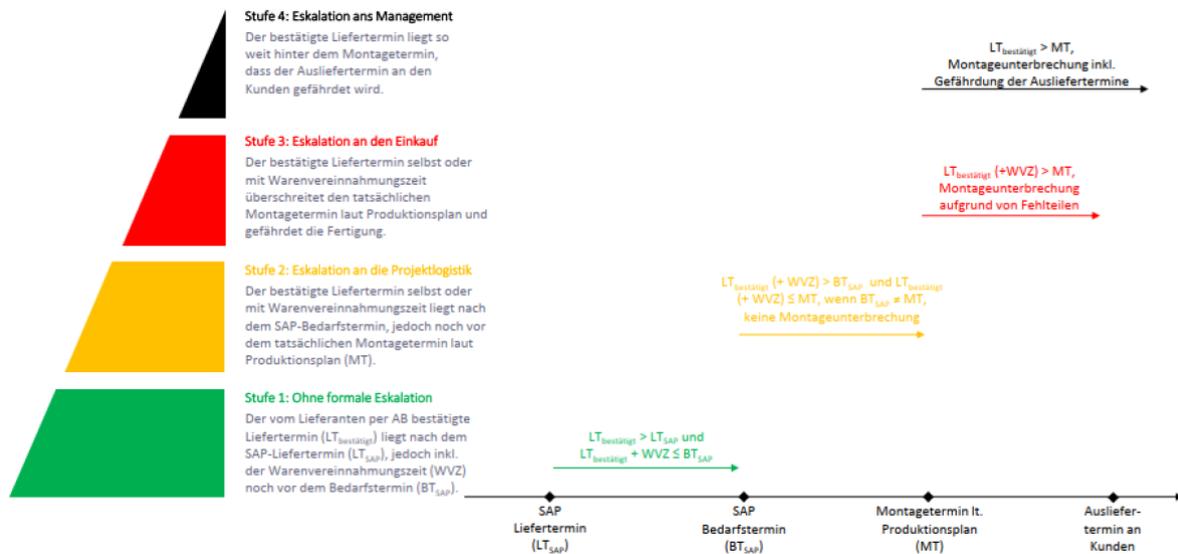


Abbildung 17: Eskalationsstufen und Auslöser bei Siemens Mobility Rolling Stock⁸⁴

Grundsätzlich werden die Eskalationsstufen nacheinander durchlaufen. Eine Ausnahme besteht dann, wenn ein*e Lieferant*in keine Auftragsbestätigung (AB) übermittelt.

4.1.3.1 Maßnahmen bei erfolglosem AB-Mahnprozess:

- Existiert ein Rahmenvertrag, erhält die*der Lieferant*in schriftlich die Information, dass sie*er durch Nicht-Bestätigung des Liefertermins diesen akzeptiert (länderspezifische Regularium).
- Existiert kein Rahmenvertrag, erhält die*der Lieferant*in eine letztmalige schriftliche Aufforderung zur Bestätigung, mit dem Hinweis, dass bei ausbleibender Reaktion dem von Siemens erwünschten Wunschtermin zugestimmt wird.

4.1.3.2 Maßnahmen in der Eskalationsstufe 1:

- Kommunikation mit Lieferant*innen zur Verbesserung des Liefertermins
- Verfügbarkeit innerhalb der Rolling Stock-Organisation prüfen
- ggf. Info an Wareneingang für priorisierte Warenvereinnahmung
- ggf. Eskalation innerhalb der Lieferant*innenorganisation
- ggf. frühzeitig Warnung an betroffene Schnittstellen

⁸⁴ Siemens Mobility Rolling Stock (2024), S. 2.

4.1.3.3 Maßnahmen in der Eskalationsstufe 2:

- Kommunikation mit Lieferant*innen zur Verbesserung des Liefertermins
- Absprache mit Fertigung und Abgleich des bestätigten Liefertermins und unter Berücksichtigung der Warenvereinnahmungszeit mit dem Montagetermin laut Produktionsplan
- ggf. Info an Wareneingang für priorisierte Warenvereinnahmung
- ggf. Eskalation innerhalb der Lieferant*innenorganisation
- ggf. frühzeitig Warnung an betroffene Schnittstellen

4.1.3.4 Maßnahmen in der Eskalationsstufe 3:

- enges Lieferant*innencontrolling auf Geschäftsführer*innen- oder Vertriebsleitungsebene
- lokale Lieferant*innenbesuche und regelmäßige (virtuelle) Meetings
- zeitgerechte Status- bzw. Terminrückmeldungen an Projektlogistik
- Statusbericht in Produktionsrunde bzw. an das Gesamtprojekt

4.1.3.5 Maßnahmen in der Eskalationsstufe 4:

Die SMO RS P Leitung tritt zusammen mit dem zuständigen Category Head an die Geschäftsleitung der*des Lieferant*in heran.⁸⁵

4.1.4 Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg

Gemeinsam mit Siemens Mobility wurde für den Standort Graz Eggenberg eine Analyse, was die häufigsten Fehlteilverursacher sind, durchgeführt (siehe Abbildung 18).

⁸⁵ Vgl. Siemens Mobility Rolling Stock (2024), S. 2 ff.

Ursache der Verzögerung	Gründe für Fehlteile	Verursacher
Verzögerung extern verursacht (Lieferant*in)	Bestellungen ohne Bestätigung	Lieferant*in
	Bestellung wird innerhalb der Wiederbeschaffungszeit ausgelöst. Der bestätigte Liefertermin liegt hinter dem Bedarfstermin	
	Lieferant hält seine Auftragsbestätigung nicht ein. Ware wird nicht geliefert	
	Q-Meldung - Qualität	
	Q-Meldung - Anlieferspezifikation nicht eingehalten	
Verzögerung intern verursacht (SMO)	Fehlende / Falsche Buchung	SMO – Mitarbeiter*innen
	Falsche Zuordnung von Material	
	Schwund durch Verlust / Diebstahl / Verschrottung	
	Interne Fertigungsverschiebung → Ausnahmekennzeichnung 10 15 20	
	First Article Inspection (FAI) zu spät	

Abbildung 18: Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg⁸⁶

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt nochmals auf der rechten Seite eine Auflistung der häufigsten Fehlteilursachen am Standort Graz Eggenberg. Auf der linken Seite kann man die Entwicklung der Anzahl an Fehlteilen über die Jahre monatsweise ablesen. Man kann hierbei erkennen, dass der Trend kontinuierlich sinkend ist.

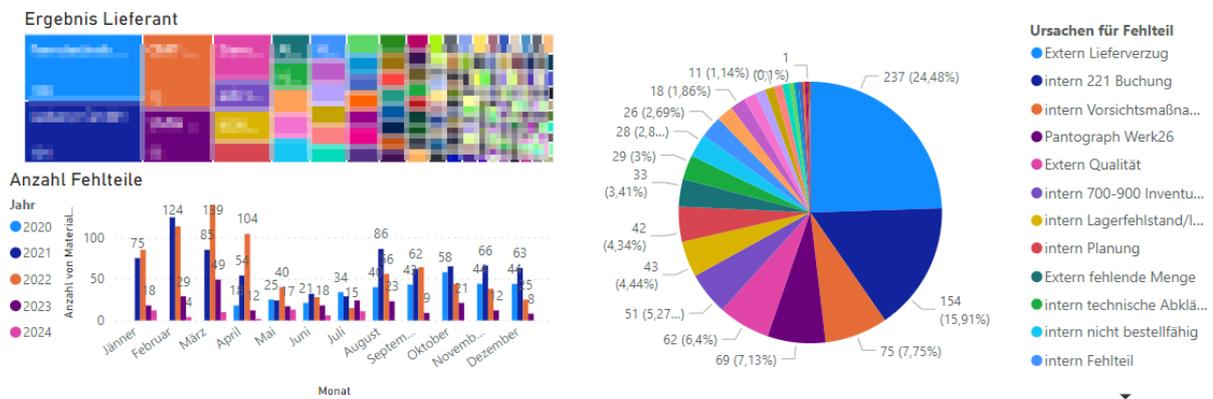


Abbildung 19: Prozentuelle Verteilung der Ursachen von Fehlteilen am Standort Graz Eggenberg⁸⁷

⁸⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Niederl (2024b).

⁸⁷ Darstellung von Niederl (2024b).

4.1.5 Aktueller Umgang mit Fehlteilen am Standort Graz Eggenberg

Entdeckt werden Fehlteile bei Siemens Mobility am Standort Graz Eggenberg direkt von operativen Einkäufer*innen, welche die nötigen Informationen (Materialnummer, Lieferant, usw.) per E-Mail oder mündlich an das Lieferantenmanagement weiterleiten. Dort erfolgt die Erfassung händisch in der Materialverfügbarkeitsliste (MVK-Liste), welche die Basis für die nächsten Schritte darstellt. In der Excel-Liste (MVK-Liste) kommt es zu einer Priorisierung nach: nicht geliefert bis Solltermin (gelb); nicht geliefert zum SAP- Einbautermin (rot) sowie keine Relevanz, nur zur Überprüfung auf der Liste (weiß). All jene Materialien, welche rot gekennzeichnet wurden, werden bei der 13:00-Uhr-Runde (einmal pro Woche) besprochen und eine weitere Vorgehensweise festgelegt. Zudem erfolgt eine schriftliche Festhaltung der Verantwortlichkeiten sowie eine Dokumentation mittels Microsoft Planner (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Prozessablauf Fehlteile aktuell⁸⁸

Je nach Dringlichkeit der fehlenden Teile sind unterschiedliche Abteilungen / Personen beteiligt bzw. werden unterschiedliche Maßnahmen gesetzt, was in Abbildung 21 ersichtlich ist.⁸⁹

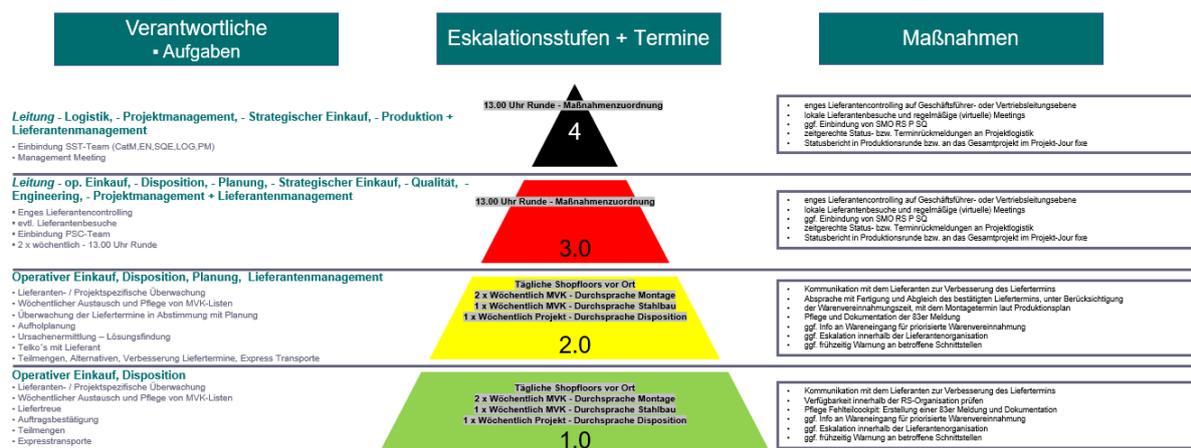


Abbildung 21: Eskalationsmatrix am Standort Graz Eggenberg in Anlehnung an die werksübergreifende Eskalationsmatrix der Siemens Mobility Rolling Stock⁹⁰

⁸⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Niederl (2024a).

⁸⁹ Vgl. Niederl (2024a).

⁹⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Siemens Mobility Rolling Stock (2024), S. 2.

4.2 Fehlteile-Monitoring-Tool für den operative Einkauf

Zu den Aufgaben einer*eines operativen Einkäufer*in gehört neben dem Abwickeln von Bestellungen auch das Thema Fehlteile. Die Problematik besteht nun darin, dass jede*r einzelne Einkäufer*in eine große Anzahl an Bestellungen jedes Jahr abwickeln muss, wodurch ein Überblick über potenzielle Fehlteile sich oftmals als sehr schwierig erweist. Verschärft wird die Situation zudem durch die immer größer werdende Anzahl an Bestellungen pro Jahr. Allein in den letzten drei Jahren kam es zu einem Zuwachs des Einkaufsvolumens um mehr als 20 Prozent und die Tendenz für die nächsten Jahre ist weiterhin stark steigend. Es wird mit einem jährlichen Wachstum des Einkaufsvolumens von circa 20 Prozent pro Jahr in den kommenden Jahren gerechnet. Die Konsequenz aus diesem Trend ist nun, dass in Zukunft noch effizienter gearbeitet werden muss, da eine Erhöhung der Mitarbeiter*innenzahl im gleichen Verhältnis nicht wirtschaftlich bzw. nicht möglich wäre. Ermöglichen soll dies ein weiteres Vorantreiben der Digitalisierung. Ein Baustein soll das in den nächsten Kapiteln beschriebene Fehlteile-Monitoring-Tool bilden, womit eine ganzheitliche Betrachtung der Fehlteileproblematik realisiert werden soll. Mit dessen Hilfe soll nicht nur die Produktivität gesichert werden, sondern auch Verbesserungen abgeleitet werden können. Ein weiteres Ziel, welches durch dieses Tool realisiert werden soll, ist die Schaffung einer Datenbasis, mit deren Hilfe sich in Zukunft strategisch noch besser aufgestellt werden kann.⁹¹

4.2.1 Softwareauswahl für das Monitoring-Tool

Ausgehend von den Anforderungen, das entwickelte Monitoring-Tool ohne spezielle Programmierkenntnisse warten und benutzen zu können, fiel die Wahl auf Microsoft Power BI. Zum einen, weil hierfür bereits eine Lizenz erworben wurde und zum anderen, weil dieses Tool Anwendung im operativen Einkauf findet und dadurch eine Einlernphase wegfällt. Power BI bietet zudem eine breite Auswahl an Funktionen, welche sich ideal für die Erstellung von interaktiven Dashboards eignen und sich so Informationen schnell und anschaulich visualisieren lassen. Mit Power BI ist es zudem möglich, eine Verbindung mit einer beliebigen Datenquelle herzustellen, die Daten zu

⁹¹ Vgl. Niederl (2024a).

bereinigen und zu modellieren, ohne dabei die zugrunde liegende Quelle zu beeinträchtigen.

4.2.2 Erstellung des Monitoring-Tools

Bevor mit der Erstellung des Tools begonnen werden kann, muss geklärt werden, welche Daten für die Auswertung herangezogen werden können und wie diese miteinander verknüpft werden können.

4.2.2.1 Datenbasis

Die Daten, welche für das Monitoring-Tool verwendet werden, gliedern sich grob in zwei Bereiche, zum einen die Daten, welche als Schlüssel fungieren und zum anderen die Daten, welche in regelmäßigen Abständen aus einem ERP-System gewonnen werden. Grundlage für die ausgewählten Transaktionen, welche im Folgenden genauer erläutert werden, bildet die in Kapitel 4.1.3 beschriebenen häufigsten Ursachen für das Auftreten von Fehlteilen.

Die ursprüngliche Idee bestand darin, mithilfe einer Vielzahl an Transaktionen aus SAP die potenziellen Fehlteile zu identifizieren. Hierfür wurden in Tabelle 4 und 5 folgende Transaktionen festgelegt:

Tabelle 4: SAP-Transaktionen zur Identifizierung von Fehlteilen (Teil I)⁹²

Transaktionscode	Bezeichnung	Beschreibung
MB52	Lagerbestände zum Material anzeigen	Mit Hilfe dieser Transaktion können die aktuellen Lagerbestände der einzelnen Materialien angezeigt werden. Weiters gibt diese Transaktion Auskunft darüber, ob es bei den einzelnen Materialien gesperrte bzw. Materialien in Qualitätsprüfung gibt.
MB51	Materialbelegliste	Mit Hilfe dieser Transaktion können die Wareneingänge bzw. Inventurbuchungen der einzelnen Materialien angezeigt werden.

⁹² In Anlehnung an Niederl (2024c).

Tabelle 5: SAP-Transaktionen zur Identifizierung von Fehlteilen (Teil II)

Transaktionscode	Bezeichnung	Beschreibung
MD06-ABGL	EINKAUF-Bestellauswertung allgemein	Mit Hilfe dieser Siemens internen Transaktion können sowohl die Bedarfe als auch die Zugänge pro Material abgefragt werden.
MAT-ALLG	Materialstammauswertung Allgemein	Mit Hilfe dieser Siemens internen Transaktion können materialspezifische Daten abgefragt werden, wie z.B. das Gewicht, die Bestellmengeneinheit, die Materialart, usw.

Die Idee war nun durch eine Kombination dieser Transaktion potenzielle Fehlteile zu identifizieren. Man wählt hierfür einen gewissen Zeitraum (z.B. heute bis in zwei Wochen) innerhalb dem man zum aktuellen Lagerbestand (aus MB52) alle Wareneingänge und positiven Inventurbuchungen (aus MB51) hinzuaddiert und alle Bedarfe (aus MD06-ABGL), gesperrte Materialien, Materialien in Qualitätsprüfung (aus MB52) sowie negativen Inventurbuchungen (aus MB51) abzieht. Das Resultat ist dann entweder ein positiver oder negativer Lagerbestand bezogen auf ein Material. Ist der Lagerbestand negativ bedeutet dies, dass es innerhalb des gewählten Zeitraumes zu einer Unterdeckung kommt und somit das betrachtete Material ein potenzielles Fehlteil darstellt. Weiters ist noch zu klären, ob der Sicherheitsbestand mit eingerechnet werden darf, oder ob dieser ebenfalls abgezogen werden muss. Noch zu erwähnen ist hierbei, dass die Transaktion MD04 ebenfalls eine sehr anschauliche Sicht auf die Bestands- und Bedarfssituation einzelner Materialien liefert.⁹³

Die soeben beschriebene Logik wird bei Siemens in SAP bereits durch eine Ausnahmemeldung geregelt. Dabei wird in SAP automatisch eine 10er-Ausnahmemeldung generiert, wenn es bei einem Material zu einer Unterdeckung, aufgrund der zuvor beschriebenen Logik kommt. Es gibt hierfür wiederum eine Siemens interne Transaktion (/SIE/TS_PP006) um die Ausnahmemeldungen abzugreifen, was in Tabelle 6 ersichtlich ist.

⁹³ Vgl. Slamanig (2015), S. 2 ff.

Tabelle 6: SAP-Transaktion Ausnahmemeldungen⁹⁴

Transaktionscode	Bezeichnung	Beschreibung
/SIE/TS_PP006	Auswertung dispositiver Ausnahmemeldungen	Mit Hilfe dieser <i>Siemens internen</i> Transaktion können Ausnahmemeldungen zu den einzelnen Materialien abgefragt werden. Man unterscheidet hierbei eine Vielzahl an Ausnahmemeldungen, wobei die 10er-Ausnahmemeldung für unsere Zwecke am wichtigsten ist.

Abbildung 22 zeigt eine Liste von allen Ausnahmemeldungen, welche bei Siemens definiert sind.

Ausnahmemeldung 1 36 Einträge

Ausn	Ausnahmemeldung
01	Neu eingeplant
02	NEU/Eröffnungstermin in Vergangenh.
03	NEU/Starttermin in Vergangenheit
04	NEU/Endtermin in Vergangenheit
05	Eröffnungstermin in Vergangenheit
06	Starttermin in Vergangenheit
07	Endtermin in Vergangenheit
10	Vorgang vorziehen
15	Vorgang verschieben
20	Vorgang stornieren
25	Bestandsüberdeckung
26	Überdeckung im Einzelabschnitt
30	Vorgang termingerecht einplanen
40	Keine Deckung durch Produktionsplan
42	Bestellvorschlag geändert
44	Bestellvorschlag neu aufgelöst
46	Bestellvorschlag manuell geändert
50	Keine Stückliste vorhanden
52	Keine Stückliste ausgewählt
53	Keine SL-Auflösung wg. fehlender Konfig.
54	Kein gültiger Serienauftrag
55	Dummybaugruppe wurde nicht aufgelöst
56	Unterdeckung im Fixierungshorizont
57	Teilumleitung aufgrund Auslaufsteuerung
58	Ungedeckter Bedarf jenseits Auslaufdatum
59	Zugang nach Auslaufdatum
61	Terminierung: Customizing inkonsistent
62	Terminierung: Stammdaten inkonsistent
63	Produktionsstart vor Eckstarttermin
64	Produktionsendtermin nach Eckendtermin
69	Rekursive Komponenten möglich
70	Max. Abrufmenge Quote überschritten
80	Bezug zu Handelsaktion

Abbildung 22: Auflistung aller Ausnahmemeldungen⁹⁵

Diese Transaktion kann nun verwendet werden, um alle aktuellen 10er-Ausnahmemeldungen anzuzeigen; die daraus gewonnene Excel-Liste (siehe Abbildung 23) stellt die Basis für das Fehlteile-Monitoring-Tool in Power BI dar (siehe 4.2.2.2 Gestaltung des Monitoring-Tools in Power BI).

⁹⁴ In Anlehnung an Niederl (2024c).

⁹⁵ Siemens AG (2024).

Fallstudie: Fehlteilmanagement bei Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg

Wert	Ausnahmemeldung	Differenztag	Kreditor	Lieferant	Material	Materialkürzel	Beschaffungsart	Materialart	Dispensiert	Einkäufergruppe	Disposition	Daten zum Dispolement	Dispositionaldatum	Lieferfälligkeitstermin	Unternehmensdatum	Zugriff/Betrag
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2018045200030	26.06.2024	31.12.2021		8.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022548900010	26.06.2024	19.12.2013		5.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022548900010	26.06.2024	19.12.2013		1.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022539800010	26.06.2024	19.12.2013		1.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022539800010	26.06.2024	19.12.2013		5.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022539800010	26.06.2024	19.12.2013		5.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022539800010	26.06.2024	19.12.2013		6.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022539800010	26.06.2024	19.12.2013		6.000
*0021	20	0	50463				F	RCH	GBC	GBC	BS-AV	2022389000010	26.06.2024	22.10.2024		200.000
*0021	20	0	51975				F	RCH	GBC	GBC	BS-AV	202274610000669	03.08.2024	27.06.2027		100.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022886400010	05.09.2024	08.01.2028		20.000
*0021	20	0	51975				F	RCH	GEB	GEB	BS-EIN	20227548900010	01.07.2024	31.07.2028		14.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	202267579000390	11.09.2024	31.07.2028		24.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	202267579000390	11.09.2024	31.07.2028		35.000
*0021	76	1618	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223289700620	31.07.2024	31.07.2028	20.12.2024	2.000
*0021	76	1628	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223289700620	28.08.2024	31.07.2028	09.09.2025	2.000
*0021	76	1593	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223289700620	28.08.2024	31.07.2028	21.08.2024	2.000
*0021	76	1593	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223289700620	28.08.2024	31.07.2028	21.08.2024	2.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223289700620	28.08.2024	31.07.2028		1.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GEB	GEB	BS-EIN	202288189000000	24.08.2024	24.08.2028		5.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	202288189000000	24.08.2024	24.08.2028		8.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	202288189000000	24.08.2024	24.08.2028		24.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GEB	GEB	BS-EIN	202288189000000	06.07.2024	26.06.2028		35.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GEB	GEB	BS-EIN	202288189000000	19.06.2024	02.09.2028		1.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022702501840	17.08.2024	07.06.2020		8.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GFB	GFB	BS-EIN	202202047000100	20.07.2024	15.08.2020		8.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GFB	GFB	BS-EIN	202202047000100	20.07.2024	15.08.2020		4.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	2022178900020	25.07.2024	07.10.2020		1.000
*0021	76	5	50463				F	FERT	GBC	GBC	BS-EIN	2022102200010	26.06.2024	14.10.2021		2.000
*0021	20	0	51975				F	UNEW	GEB	GEB	BS-EIN	20223100200770	17.08.2024	22.12.2021		8.000
*0021	20	0	50463				F	FERT	GJO	GBC	BS-EIN	20225760400010	11.09.2024	31.12.2021		50.000
*0021	20	0	51975				F	FERT	GGB	GGB	BS-EIN	20225491800010	09.09.2024	24.02.2022		4.000
*0021	20	0	20253				F	RCH	GFS	GEB	BS-EIN	202263666000390	24.06.2024	16.03.2022		2.000
*0021	20	0	20253				F	RCH	GEB	GEB	BS-EIN	202263666000390	24.06.2024	16.03.2022		2.000
*0021	20	0	50463				F	RCH	GPI	GPI	BS-AV	202267781000000	13.06.2024	07.04.2022		3.000
*0021	76	5	51747				F	FERT	GFB	GFB	BS-EIN	202202047000100	26.09.2024	15.06.2022	03.06.2022	6.000

Abbildung 23: Auszug aus Excel-Liste - Ausnahmemeldungen (/SIE/TS_PP006 - Transaktion)

Des Weiteren werden für die Schlüssel Listen die Excel-Liste Lieferant*innenaufteilung verwendet, welche die Zuordnung zwischen Lieferant*in und persönlicher Einkäufer*innengruppe darstellt (Abbildung 24).

Einkäufergruppe	T024_EKNAM	Lieferant name	Lieferant	Kreditor
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000571200	571200
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000571216	571216
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000572154	572154
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000587487	587487
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000588379	588379
G38 MG	Werk Gieben	Werk Gieben	0000588904	588904
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000503864	503864
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000527770	527770
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000553025	553025
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000559467	559467
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000571286	571286
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000585691	585691
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000585931	585931
GA1 GK	Werk Gieben	Werk Gieben	0000585982	585982

Abbildung 24: Auszug aus Excel-Liste - Lieferant*innenaufteilung

Die Excel-Liste Dispogruppe Bereich ordnet die übergeordnete Einkäufer*innengruppe einem Bereich zu (Abbildung 25).

übergeordnete Einkäufergruppe	Tätigkeitsfeld	Bereich
G01	Stahlbau	Stahlbau
GB1	Montage	Montage
GB2	Montage	Montage
GBB	Montage	Montage
GBC	Montage	Montage
GBG	Montage	Montage
GBR	Montage	Montage
GCZ	Montage	Montage
GDA	Montage	Montage
GE1	Montage	Montage
GEK	Montage	Montage
GET	Montage	Montage
GF0	Stahlbau	Stahlbau
GF1	Stahlbau	Stahlbau

Abbildung 25: Auszug aus Excel-Liste - Dispogruppe - Bereich

Zudem wird die Materialstammauswertung, welche die Zuordnung zwischen Material und Bestellmengeneinheit zeigt, verwendet (Abbildung 26), die mittels der Transaktion MAT-ALLG gewonnen werden kann.

Werk	Material	Materialkurztext	MArt	DGr	EKG	BeschArt	Größe/Abmessung	Nettogewicht	Eh	Bruttogewicht	Eh_1	PZt	GWZt	LÖrt	FLÖrt	QM	MindLosgröße	Bestellmengeneinheit		
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65				0	ST	
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST
21	A1111111111	Material	GROB	RS60	G01	E		9,99	KG	9,99	KG	0	0	65					0	ST

Abbildung 26: Auszug aus Excel-Liste - Materialstammauswertung

4.2.2.2 Gestaltung des Monitoring-Tools in Power BI

Das Monitoring-Tool für potenzielle Fehlteile kann zum einen zur Ermittlung potenzieller Fehlteile, welche in naher Zukunft auftreten, herangezogen werden und zum anderen bietet das Tool die Möglichkeit Trendprognosen zu erstellen. Hierfür werden die Daten (aus der Transaktion /SIE/TS_PP006 - Auswertung dispositiver Ausnahmemeldungen) einmal pro Woche zu einem vorher festgelegten Wochentag (bei Siemens Mobility am Standort Graz Eggenberg entschied man sich für Freitag, da an diesem Tag die aktuellen Fehlteile an die Führungsebene berichtet werden müssen) in einem Order abgelegt. Power BI entnimmt aus diesem Ordner für die Auswertung potenzieller Fehlteile immer den aktuellen Auszug und für die Trendprognose alle 10er-Ausnahmemeldungen, rückwirkend bis Jänner 2021 (siehe Abbildung 27).

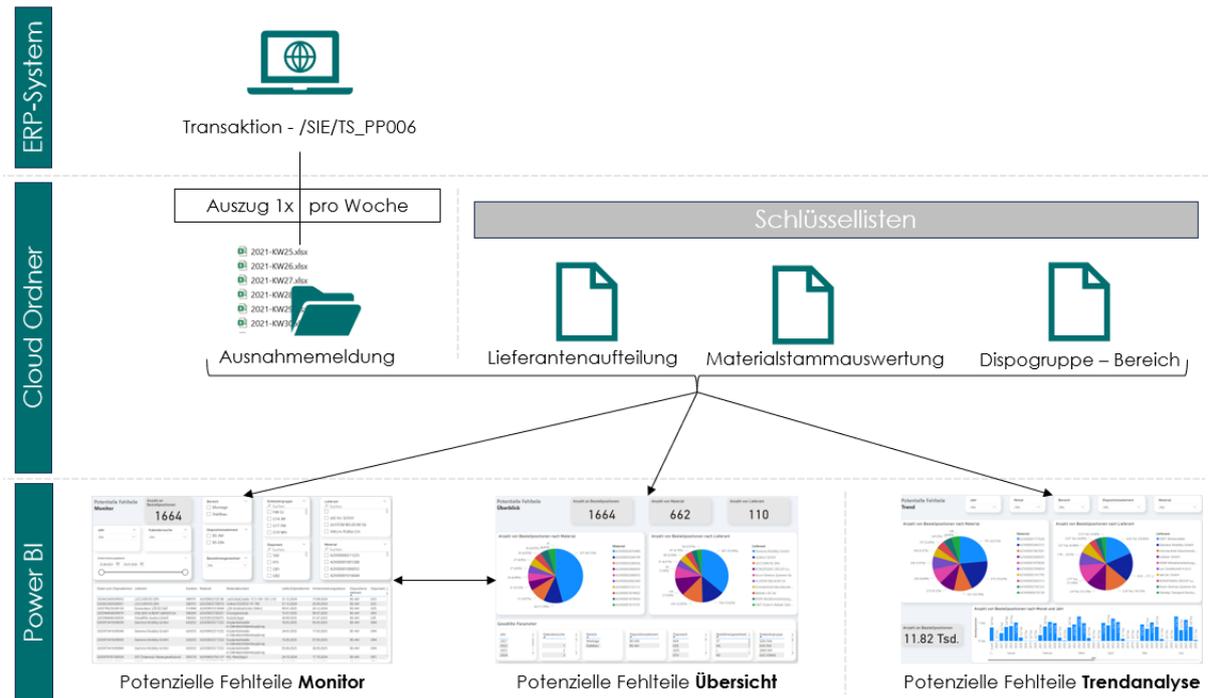


Abbildung 27: Aufbau Monitoring-Tool

Das Tool bietet zudem eine Vielzahl an Filtermöglichkeiten, womit benutzer*innen individuell genau die Informationen gefiltert werden können, welche gerade benötigt werden. So gibt es zum Beispiel die Möglichkeit, gezielt nach einer gewissen Einkäufer*innengruppe (= einer*einem Einkäufer*in), einer*einem Lieferant*in oder einem Material zu filtern. Der Filter Dispositionselement bietet zudem die Möglichkeit nach BS-EIN (Bestellt aber Liefertermin von Lieferant*in nicht bestätigt) und BS-AVI (Bestellt und Liefertermin von Lieferant*in bestätigt) zu filtern. Die Zeitfilter beziehen sich hierbei auf das Umterminierungsdatum, welches von SAP automatisch für jedes Material berechnet wird. Dabei handelt es sich um den neuen Liefertermin, welcher gewählt werden muss, um keine Unterdeckung im Bestand zu riskieren. Der Grund für diese Entscheidung ist, dass der Lagerbestand ab dem Umterminierungsdatum negativ wird. Das bedeutet, dass die benötigten Mengen den vorhandenen Lagerbestand übersteigen und das Material ab diesem Zeitpunkt zu einem Fehlteil wird.

Die nachfolgenden Abbildungen 28 bis 30 zeigen den Aufbau des Monitoring-Tools in Power BI, wobei Abbildung 28 und 29 zur Auswertung potenzieller Fehlteile dienen und Abbildung 30 zur Erstellung von Trendprognosen.

Tool zur Auswertung potenzieller Fehlteile (Monitor):

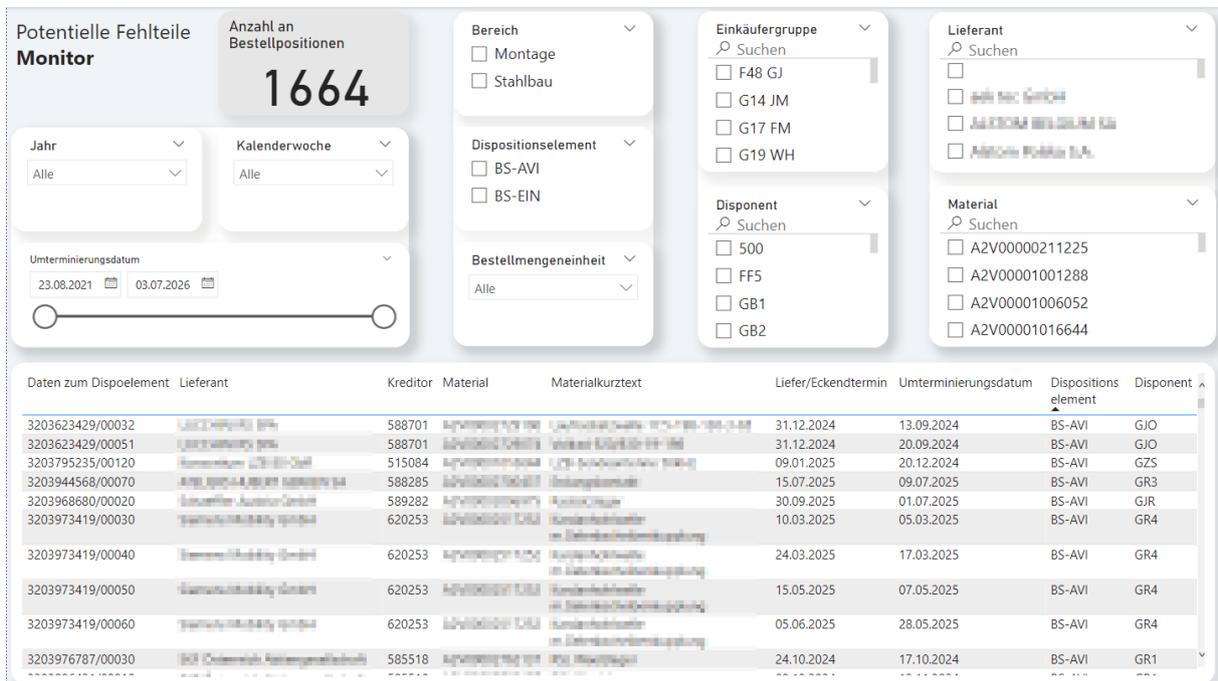


Abbildung 28: Potenzielle Fehlteile - Monitor

Tool zur Auswertung potenzieller Fehlteile (Überblick):

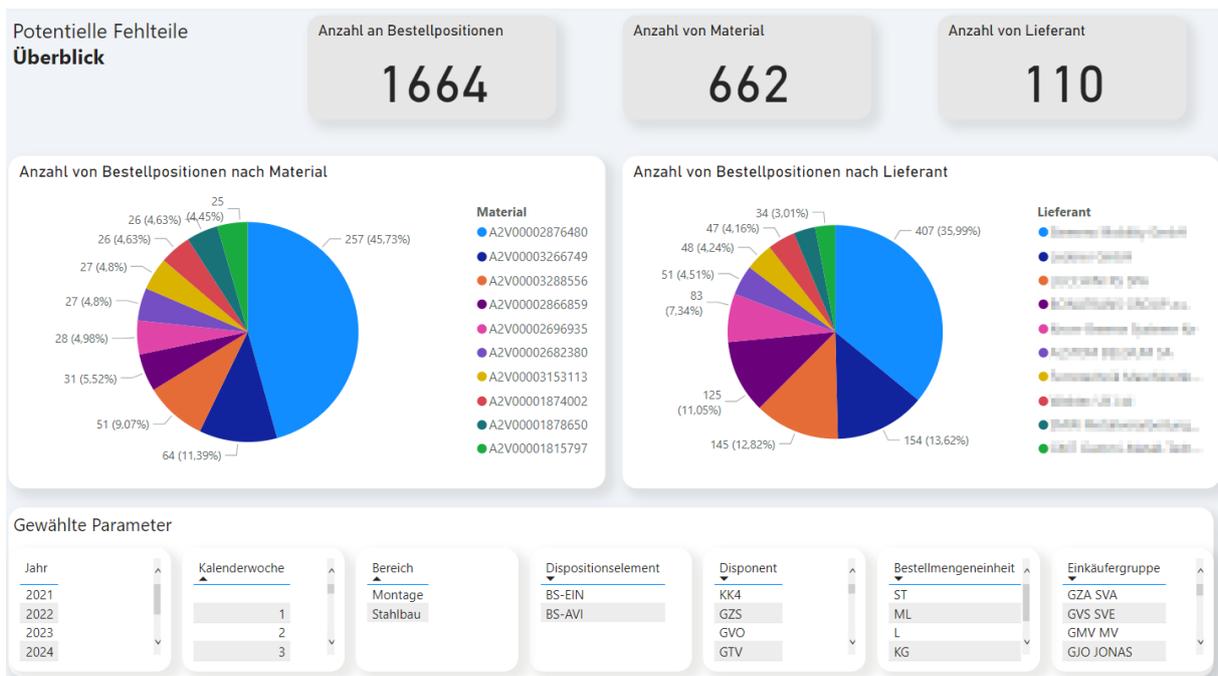


Abbildung 29: Potenzielle Fehlteile - Überblick

Tool für Trendprognosen:

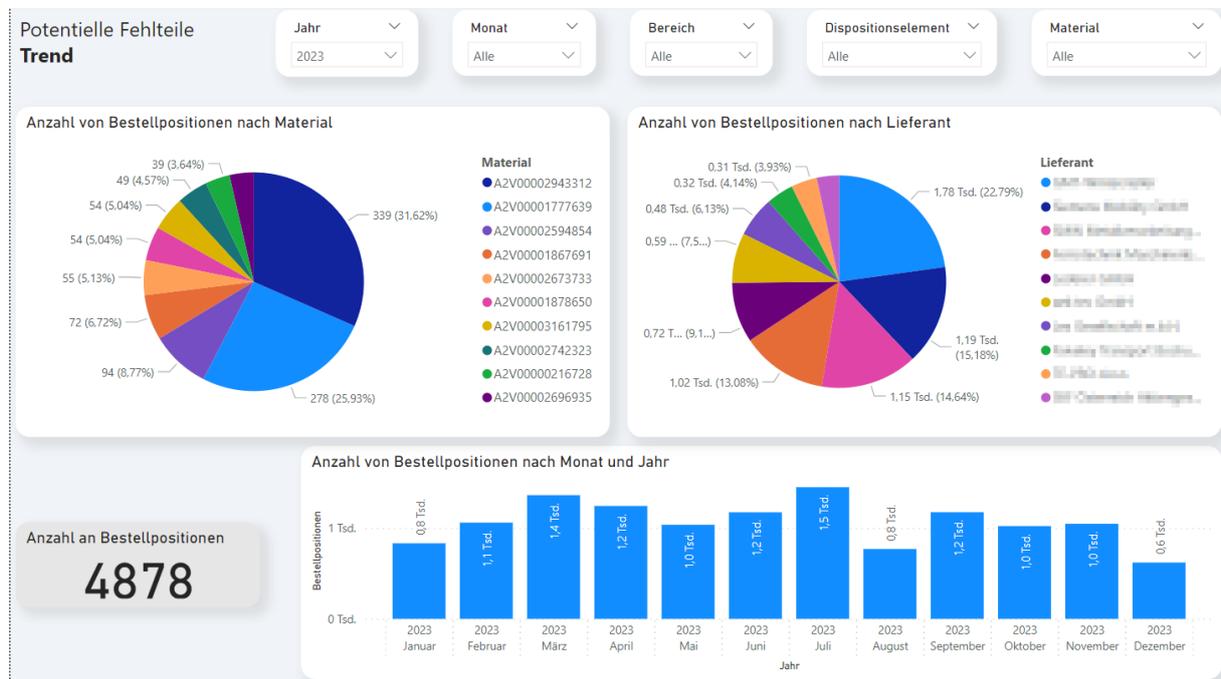


Abbildung 30: Potenzielle Fehlteile - Trendprognose

4.2.3 Erste Ergebnisse der Toolanwendung

Das Monitoring-Tool funktioniert einwandfrei bei der Erkennung von potenziellen Fehlteilen. Aus Abbildung 31 ist ersichtlich, dass es bei dem Material mit der Materialnummer A2V00002113871 zu einer Unterdeckung am 07.11.2024 kommen würde, wenn der Liefertermin nicht nach vorne geschoben werden kann und dieses somit ein potenzielles Fehlteil darstellt.

Bedarfs-/Bestandsliste von 09:34 Uhr

Materialbaum ein Priorität/FELIOS-Entnahmetermin Werksrevision/Equipment Dispo-Notiz

Material: A2V00002113871
 Dispo-Bereich: 0021 Siemens AG Werk 21
 Werk: 0021 Dispo-Merkmal: PD Materialart: ROH Einheit: ST
 Anzeigefilter: SAP: Alles anzeigen Einleseregul

Z...	Datum	Dispoel...	Daten zum Dispoelem.	A... Zugang/Bedarf	Verfügbare Me...	Lag...	Start-/Freigabet...	Eröffnungstermin	Umterm. Datum	Seriennu...	R
	30.10.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	2,00-0062					2050-330	D
	30.10.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	6,00-0062					2050-330	D
	04.11.2024	BS-AVI	3204110569/00050	16,00	10,00	0020					D
	04.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	6,00	0062				2050-331	D
	04.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	2,00	0062				2050-331	D
	07.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	2,00-0062					2050-332	D
	07.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	6,00-0062					2050-332	D
	08.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	10,00-0062					2050-333	D
	08.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	14,00-0062					2050-333	D
	12.11.2024	BS-AVI	3204110569/00060	16,00	2,00	0020			07.11.2024		D
	15.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	2,00-0062					2050-334	D
	15.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	6,00-0062					2050-334	D
	22.11.2024	BS-AVI	3204123129/00010	16,00	10,00	0020			15.11.2024		D
	22.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	6,00	0062				2050-335	D
	22.11.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	2,00	0062				2050-335	D
	09.12.2024	BS-AVI	3204123129/00020	11,00	13,00	0020					D
	09.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	9,00	0062				2050-336	D
	09.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	5,00	0062				2050-336	D
	13.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	1,00	0062				2050-337	D
	13.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	3,00-0062					2050-337	D
	16.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	7,00-0062					2050-338	D
	16.12.2024	SK-BED	A2V00002674334	4,00-	11,00-0062					2050-338	D
	18.12.2024	BS-AVI	3204125865/00010	16,00	5,00	0020			13.12.2024		D

Abbildung 31: Auszug aus MD04 von A2V00002113871⁹⁶

Gleiches kann auch am Monitoring-Tool abgelesen werden (siehe Abbildung 32).

Potentielle Fehlteile Monitor

Anzahl an Bestellpositionen: **7**

Jahr: Alle Kalenderwoche: Alle

Umrminierungsdatum: 23.08.2021 - 03.07.2026

Bereich: Montage Stahlbau

Dispositionselement: BS-AVI

Bestellmengeneinheit: Alle

Einkäufergruppe: G28 PM GAL PI

Disponent: GRS

Lieferant: HOFERWAG GROUP UCCHEM RO SPA

Material: A2V00002113871 A2V00002113871

Daten zum Dispoelement	Lieferant	Kreditor	Material	Materialkürztext	Liefer/Eckendtermin	Umrminierungsdatum	Dispositionselement	Disponent
3204110569/00060	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	12.11.2024	07.11.2024	BS-AVI	GRS
3204123129/00010	HOFERWAG GROUP	588701	A2V00002113871	ROH	22.11.2024	15.11.2024	BS-AVI	GRS
3204125865/00010	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	18.12.2024	13.12.2024	BS-AVI	GRS
3204125865/00020	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	07.01.2025	20.12.2024	BS-AVI	GRS
3204148102/00010	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	14.01.2025	09.01.2025	BS-AVI	GRS
3204148102/00020	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	21.01.2025	16.01.2025	BS-AVI	GRS
3204231848/00070	HOFERWAG GROUP	589581	A2V00002113871	ROH	25.07.2025	03.07.2025	BS-AVI	GRS

Abbildung 32: Auszug aus Monitoring-Tool von A2V00002113871

⁹⁶ Siemens AG (2024).

Bei Lieferungen, die in der Vergangenheit liegen und noch nicht geliefert wurden stoßt das Tool allerdings an seine Grenzen (siehe Abbildung 33). Das Problem ist hierbei, dass SAP diese Lieferungen trotzdem in den Bestand mit einrechnet, obwohl sie physisch nicht greifbar sind. Das System rechnet somit mit verfälschten Werten weiter und es kommt zu keiner Unterdeckung und somit auch zu keiner 10er Ausnahmemeldung. Dies ist aber für die zugrunde liegende Überlegung, ein Tool zu entwickeln mit dem man proaktiv potenzielle Fehlteile in der Zukunft eliminieren kann, nicht relevant.

Z...	Datum	Dispoel...	Daten zum Dispoel...	A... zugang/bedarf	Verfügbare Me...	Lag...	Start-/Freigabet...	Eröffnungstermin	Umterm. Datum	Seriennu...	R
	03.09.2024	W-BEST	3204273527/00040	07	35,00	35,00	0016				B
	20.09.2024	AR-RES	A2V00002835633		1,00	34,00	0016	17.09.2024		4205-002	B
	25.09.2024	AR-RES	A2V00002835628		1,00	33,00	0016	18.09.2024		4205-003	B
	02.10.2024	AR-RES	A2V00002835633		1,00	32,00	0016	25.09.2024		4205-003	B
	04.10.2024	SK-BED	A2V00002835628		1,00	31,00	0016	27.09.2024		4205-004	B
	08.10.2024	AR-RES	A2V00002835628		1,00	30,00	0016	01.10.2024		4220-021	B
	09.10.2024	SK-BED	A2V00002835633		1,00	29,00	0016	02.10.2024		4205-004	B
	15.10.2024	AR-RES	A2V00002835633		1,00	28,00	0016	08.10.2024		4220-021	B

Abbildung 33: Auszug aus MD04 von A2V00002915996⁹⁷

Ein Abgleich zwischen der Materialverfügbarkeitsliste (MVK-Liste) und dem in Power BI erstellten Monitoring-Tool zeigt zudem, dass alle jene Fehlteile, welche durch eine*n operative*n Einkäufer*in erkannt wurden und somit in die MVK-Liste mit aufgenommen wurden auch im Tool ersichtlich sind. Es wurden zudem auch potenzielle Fehlteile entdeckt, welche noch nicht in die MVK-Liste aufgenommen wurden. Damit liefert das Tool valide Daten.

Die Trendprognosen helfen zudem bei strategischen Überlegungen im Hinblick auf Lieferant*innen und Materialien aufgrund einer transparenten und auf Daten basierenden Grundlage bessere Entscheidungen zu treffen.

4.2.4 Verbesserungsvorschläge

Der erste Verbesserungsvorschlag bezieht sich auf die in Kapitel 4.2.3 Erste Ergebnisse der Toolanwendung beschriebene Problematik, dass Lieferungen, welche in der Vergangenheit liegen vom Monitoring-Tool nicht als Fehlteil erkannt werden. Abhilfe

⁹⁷ Siemens AG (2024).

schafft hierbei die 07er Ausnahmemeldung, mit dessen Hilfe verspätete Lieferungen in der Vergangenheit ebenfalls abgegriffen werden können.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag, was zu noch genaueren Ergebnissen führt ist das Mitberücksichtigen des Sicherheitsbestandes. Aktuell wird von SAP der Sicherheitsabstand vom Lagerbestand abgezogen. Dies verfälscht allerdings das Ergebnis, da ja noch Material physisch verfügbar wäre und es somit zu keinem Fehlteil kommen würde. Abhilfe schafft wiederum eine Ausnahmemeldung. Mithilfe der 96er Ausnahmemeldung (siehe Abbildung 34) kann der Sicherheitsbestand abgefragt, und somit bei den Berechnungen berücksichtigt werden.

Bedarfs-/Bestandsliste von 10:26 Uhr

Materialbaum ein Priorität/FELIOS-Entnahmetermin Werksrevision/Equipment Dispo-Notiz

Material

Dispobereich Siemens AG Werk 21

Werk Dispomerkmal Materialart Einheit

Anzeigefilter

Z...	Datum	Dispoel...	Daten zum Dispoelem.	A... Zugang/Bedarf	Verfügbare Me...	Lag...	Start-/Freigabet...	Eröffnungstermin	Umterm. Datum
	17.09.2024	W-BEST		<u>96</u>	3.204,000				
	17.09.2024	ShBest	Sicherheitsbestand	12.000,000-	8.796,000-				
	18.09.2024	QM-Los	000012200084	4.032,000	4.764,000-0001		16.09.2024		
	31.12.2024	BS-AVI	3204152508/00010	10	25.200,000	20.436,000 0001			17.09.2024
	02.01.2025	BS-ANF	3035931117/00010 *	20	106.040,000	126.476,000 0001	16.09.2024		

Abbildung 34: 96er Ausnahmemeldung bei A2V00002669370⁹⁸

Eine weitere Verbesserung ist, die Daten aus der Transaktion /SIE/TS_PP006 nicht mehr wöchentlich in einem Order abzulegen, sondern diese direkt aus der SAP HANA-Datenbank zu sammeln. Somit kann man die Unschärfe, welche sich durch den Abstand zwischen zwei Auszügen ergibt, umgehen und immer tagesaktuell auf die Informationen zugreifen. Dies war aber unter den aktuellen Bedingungen noch nicht möglich, weshalb man sich für die erste Variante mittels Excellisten entschied.

⁹⁸ Siemens AG (2024).

Conclusio

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, das Bewusstsein für das Fehlteilemanagement in der Materiallogistik zu stärken, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf die Beschaffungslogistik gelegt wurde. Zudem sollte für die Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz Eggenberg ein digitales Monitoring-Tool entwickelt werden, das die Erfassung potenzieller Fehlteile erleichtert.

Zur Erreichung der genannten Ziele werden im ersten Kapitel die wissenschaftlichen Grundlagen und Konzepte des Fehlteilemanagements erläutert. Anschließend liefert eine systematische Literaturrecherche (SLR) nach der PRISMA-Methode einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand. Daraufhin folgt eine Fallstudie bei Siemens Mobility, die eine Ist-Analyse sowie die Entwicklung eines Monitoring-Tools umfasst.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das Fehlteilemanagement von entscheidender Bedeutung für den Erfolg eines Unternehmens ist, da es die Verfügbarkeit von Materialien sicherstellt und Produktionsunterbrechungen verhindert.

Ein proaktives Fehlteilemanagement hat bedeutende Auswirkungen auf ein Unternehmen. Es führt zu geringeren Kosten durch reduzierte Korrekturmaßnahmen, verhindert Produktionsausfälle und steigert die Zufriedenheit der Kund*innen durch termingerechte Lieferungen.

Zweitens konnte durch die systematische Literaturrecherche festgestellt werden, dass die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Fehlteilemanagement noch in den Anfängen steckt. Viele Studien beschäftigen sich indirekt mit diesem Thema, z.B. im Kontext von Produktionsplanung oder Reihenfolgeoptimierung, doch wird das Fehlteilemanagement oft nur am Rande thematisiert. Die Ergebnisse zeigen, dass besonders die präventiven Methoden im Bereich der Bestandslogistik vielversprechende Ansätze bieten, um Fehlteile zu reduzieren.

Drittens wurde im Rahmen einer Fallstudie der Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Graz, Eggenberg ein Monitoring-Tool entwickelt, das mithilfe von ERP-Systemen und Power BI potenzielle Fehlteile identifiziert. Die ersten Anwendungsergebnisse zeigten, dass das Tool valide Daten liefert und potenzielle Fehlteile frühzeitig erkennt. Dies erlaubt es dem operativen Einkauf, rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen, um Lieferengpässe zu verhindern. Generell stellt das

Monitoring-Tool eine gute Ausgangsbasis dar und liefert das Potential für weitere Verbesserungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Einführung eines digitalen Monitoring-Tools in der Beschaffungslogistik der Übergang von einem reaktiven zu einem proaktiven Fehlteilmanagement möglich wird. Dies hat nicht nur das Potenzial, Fehlteile und deren negative Auswirkungen auf die Produktion zu reduzieren, sondern führt auch zu einer Optimierung der gesamten Supply Chain.

Literaturverzeichnis

Agrawal, Narendra; Cohen, Morris A. (2001): Optimal material control in an assembly system with component commonality, in: Naval Research Logistics (NRL), Jg. 48, Nr. 5, S. 409–429. 10.1002/nav.1026.

Ahmed, Imtiaz; Sultana, Ineen; Azeem, Abdullahil (2017): Development of an inventory model for two suppliers with random capacity considering supply disruption, in: International Journal of Logistics Systems and Management, Jg. 26, Nr. 1, S. 57. 10.1504/IJLSM.2017.080630.

Al-Radhi, Mehdi; Radhi, Mehdi al; Heuer, Jörg (1995): Total productive maintenance: Konzept, Umsetzung, Erfahrung, Hanser. ISBN 3446182322.

Aqlan, Faisal (2017): Dynamic clustering of inventory parts to enhance warehouse management, in: European J. of Industrial Engineering, Jg. 11, Nr. 4, S. 469. 10.1504/EJIE.2017.086184.

Christopher, Martin; Peck, Helen (2004): Building the Resilient Supply Chain, in: The International Journal of Logistics Management, Jg. 15, Nr. 2, S. 1–14. 10.1108/09574090410700275.

Cube, Philipp von; Addams, Bahoz; Schnitt, Robert; Vossen, Rene (2014): Monetäre Quantifizierung von Risiken bei der Produktbeschaffung. Fraunhofer IPT. 69 S.

Dupon, A.; van Nieuwenhuysse, I.; Vandaele, N. (2002): The impact of sequence changes on product lead time, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Jg. 18, 3-4, S. 327–333. 10.1016/S0736-5845(02)00025-X.

Elsevier (2024): Scopus,

<https://www.scopus.com/search/form.uri?zone=TopNavBar&origin=&display=basic#basic>, abgerufen am: 07.10.2024.

(2024): Fahrwerke Weltkompetenzzentrum SMO RS CP BG&P: Fahrwerke & Pantographen aus Graz. Gester, Heute, Morgen - Tradition verpflichtet.

Feigenbaum, Armand V. (1991): Total quality control, McGraw-Hill. ISBN 0070203547.

George, Michael L.; Rowlands, David; Price, Mark; Maxey, John (2005): The lean six sigma pocket toolbox: A quick reference guide to nearly 100 tools for improving process quality, speed, and complexity, McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-150573-4., <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9780071441193/?ar>.

- Götze, Uwe; Henselmann, Klaus; Mikus, Barbara (2001): Risikomanagement, Springer-Verlag. ISBN 9783642575877.
- Hopp, Wallace J.; Spearman, Mark L. (2000): Factory physics: Foundations of manufacturing management, Irwin/McGraw-Hill. ISBN 0-256-24795-1., <http://www.loc.gov/catdir/description/mh023/99086385.html>.
- Hummel, Thomas (2011): Total Quality Management: Tipps für die Einführung, Hanser Verlag. ISBN 9783446428133., <http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446428133>.
- Ikome, John; Ayodeji, Sesan Peter; Kanakana, Grace (2015): The effects of disruption on different types of tile manufacturing Industry-layouts: An empirical investigation on tile manufacturing industry: 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), IEEE, S. 1929–1936.
- Jüttner, Uta; Peck, Helen; Christopher, Martin (2003): Supply chain risk management: outlining an agenda for future research, in: International Journal of Logistics Research and Applications, Jg. 6, Nr. 4, S. 197–210. 10.1080/13675560310001627016.
- Kaiser, Thomas; Auer, Michael; Böing, Christian (2009): Wettbewerbsvorteil Risikomanagement: Erfolgreiche Steuerung der Strategie-, Reputations- und operationellen Risiken, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. ISBN 9783503112753., <https://www.ESV-Campus.de/978-3-503-11275-3>.
- Kim, Hyoungtae; Lu, Jye-Chyi; Kvam, Paul H.; Tsao, Yu-Chung (2011): Ordering quantity decisions considering uncertainty in supply-chain logistics operations, in: International Journal of Production Economics, Jg. 134, Nr. 1, S. 16–27. 10.1016/j.ijpe.2011.02.017.
- Klaus, Peter (2012): Gabler Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse, Springer Gabler. ISBN 978-3-8349-3371-3.
- Kusuma, R. I.; Hakim, I. M. (2020): Designing Inventory Models to Minimize Total Inventory Costs by Using Mixed Integer Linear Programming (MILP) in the Warehouse of MRO Materials, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Jg. 1003, Nr. 1, S. 12100. 10.1088/1757-899X/1003/1/012100.
- Lou, Ping; Liu, Quan; Zhou, Zude; Quan, ShuHai (2008): Distributed production scheduling in an open manufacturing environment: 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, IEEE, S. 1610–1613.

- Melnychuk, Oleksandr; Rachner, Jonas; Kaven, Lea; Göppert, Amon; Schmitt, Robert H.; Tolio, Tullio (2022): Evaluation of Material Shortage Effect on Assembly Systems Considering Flexibility Levels, in: *Procedia CIRP*, Jg. 107, S. 966–971. 10.1016/j.procir.2022.05.093.
- (2024): Missing parts @ SMO Graz: Root cause & Next steps.
- Niederl, Michael Rene: Fehlteilemanagement bei Siemens Mobility am Standort Graz Eggenberg. Niederl, Michael Rene. – Graz, Eggenberg (2024a).
- Niederl, Michael Rene: Ursachen für Fehlteile am Standort Graz Eggenberg. Niederl, Michael Rene. – Graz, Eggenberg (2024b).
- Niederl, Michael Rene: Anforderungen an das Monitoring-Tool. Niederl, Michael Rene. – Graz, Eggenberg (2024c).
- Oess, Attila (1991): *Total Quality Management: Die Ganzheitliche Qualitätsstrategie*, Springer Gabler. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN 9783322837455., <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6584159>.
- Page, Matthew J.; McKenzie, Joanne E.; Bossuyt, Patrick M.; Boutron, Isabelle; Hoffmann, Tammy C.; Mulrow, Cynthia D.; Shamseer, Larissa; Tetzlaff, Jennifer M.; Akl, Elie A.; Brennan, Sue E.; Chou, Roger; Glanville, Julie; Grimshaw, Jeremy M.; Hróbjartsson, Asbjørn; Lalu, Manoj M.; Li, Tianjing; Loder, Elizabeth W.; Mayo-Wilson, Evan; McDonald, Steve; McGuinness, Luke A.; Stewart, Lesley A.; Thomas, James; Tricco, Andrea C.; Welch, Vivian A.; Whiting, Penny; Moher, David (2021): The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, in: *BMJ (Clinical research ed.)*, Jg. 372, n71. 10.1136/bmj.n71.
- Puentes, Vera Paola; Grandara, Martinez Astrid; Diaz Ramirez Jenny: Improvement of material supply system through kitting concept and IT solutions: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, S. 695–704.
- Rolón, Milagros; Martínez, Ernesto (2012): Agent-based modeling and simulation of an autonomic manufacturing execution system, in: *Computers in Industry*, Jg. 63, Nr. 1, S. 53–78. 10.1016/j.compind.2011.10.005.
- Samaranayake, Premaratne; Laosirihongthong, Tritos (2016): Configuration of supply chain integration and delivery performance, in: *Journal of Modelling in Management*, Jg. 11, Nr. 1, S. 43–74. 10.1108/JM2-01-2014-0005.

Sauer, Carl René; Burggräf, Peter; Steinberg, Fabian (2024): Bridging human expertise and machine learning in production management: a case study on ML-based decision support systems to prevent missing parts at assembly, in: Production Engineering. 10.1007/s11740-024-01306-x.

Selepe, Refentse L.; Makinde, Olasumbo A. (2024): Analysis of factors and solutions to poor supply chain quality in a manufacturing organisation, in: Journal of Transport and Supply Chain Management, Jg. 18. 10.4102/jtscm.v18i0.989.

Sheffi, Yossi (2001): Supply Chain Management under the Threat of International Terrorism, in: The International Journal of Logistics Management, Jg. 12, Nr. 2, S. 1–11. 10.1108/09574090110806262.

Siemens AG (2024): SAP, SAP SE.

(2024): Siemens Mobility Austria GmbH: Unternehmenspräsentation.

Siemens Österreich (2024): Siemens Österreich, <https://www.siemens.com/at/de.html>, abgerufen am: 19.09.2024.

Siepermann, Christoph; Vahrenkamp, Richard; Siepermann, Markus (2015): Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. ISBN 9783503158195., <https://www.ESV-Campus.de/978-3-503-15819-5>.

Slamanig, Michael (2015): Methodengestütztes Fehlteilmanagement in Zuliefer-Abnehmer-Beziehungen.: Erfahrungen aus der europäischen Luftfahrtindustrie, in: Research Gate.

(2024): SMO RS Anweisung: Werks- und standortübergreifender Eskalationsprozess zur Sicherstellung der Materialverfügbarkeit.

Snoo, C. de; van Wezel, W.; Wortmann, J. C.; Gaalman, G.J.C. (2011): Coordination activities of human planners during rescheduling: case analysis and event handling procedure, in: International Journal of Production Research, Jg. 49, Nr. 7, S. 2101–2122. 10.1080/00207541003639626.

Strohhecker, Jürgen (2009): Strategisches und operatives Produktionsmanagement Empirie und Simulation, Gabler. ISBN 978-3-8349-1766-9.

Toutenburg, Helge; Kreuzmair, Ingrid; Knöfel, Philipp; Schomaker, Michael; Williams-Boeker, Dietmar (2008): Six Sigma: Methoden und Statistik für die Praxis, Springer Berlin

Heidelberg. ISBN 978-3-540-85137-0., <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1540829>.

Tsao, Y.-C. (2011): Replenishment policies considering trade credit and logistics risk, in: *Scientia Iranica*, Jg. 18, Nr. 3, S. 753–758. 10.1016/j.scient.2011.05.022.

Yan-hai, Hu; Jun-qi, Yan; Fei-fan, Ye; Jun-he, Yu (2005): Flow shop rescheduling problem under rush orders, in: *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, Jg. 6, Nr. 10, S. 1040–1046. 10.1631/jzus.2005.A1040.

Yatna, Yuwana M.; Raharno, Sri; Ruriardi, Rifki (2014): Real-Time Scheduling Procedures Based on Autonomous Distributed Manufacturing System (ADiMS) Concept, in: *Applied Mechanics and Materials*, Jg. 660, S. 1010–1014. 10.4028/www.scientific.net/AMM.660.1010.

Zhang, Yuanhui; Luh, P. B.; Yoneda, K.; Kano, T.; Kyoya, Y. (1997): Mixed-model assembly line scheduling using the Lagrangian relaxation technique: Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Control Applications, IEEE, S. 429–434.

Anhang

A. PRISMA-Checkliste (2020)

Tabelle 7: Anhang: PRISMA Checkliste⁹⁹

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	

⁹⁹ Page et al. (2021).

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
DISCUSSION			

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	