

Magisterarbeit

Analyse und Beurteilung von Engpässen in der industriellen Produktion am Beispiel der Engpasssituation eines Papier erzeugenden Unternehmens

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industrielogistik

Vorgelegt von:

Nina STROHHÄUSSL
0235101

Betreuer/Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. mont. Corinna Engelhardt-Nowitzki

Leoben, 16.10.2007

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, die vorliegende Diplomarbeit ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den verwendeten Quellen entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht zu haben.

Leoben, 16.10.2007

Nina Strohhäussl

Danksagung

Herzlicher Dank gilt Frau Professor Corinna Engelhardt-Nowitzki für die fachliche Betreuung der Diplomarbeit. Des Weiteren danke ich der Firma Brigl&Bergmeister für die Möglichkeit, die Diplomarbeit in ihrem Unternehmen anzusiedeln und allen beteiligten Mitarbeitern für ihre Hilfsbereitschaft.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die durch ihre Unterstützung einen wesentlichen Beitrag zum Entstehen dieser Arbeit geleistet hat.

Kurzfassung

Die Betrachtung und Handhabung von Engpässen stellt wohl eines der relevantesten Aufgabenfelder der Produktionslogistik dar. Faktoren wie gestiegene Marktdynamik, individuelle Kundenwünsche oder Globalisierung erfordern von den Unternehmen Reaktions- und Anpassungsfähigkeit und dies bei niedrigsten Kosten und hoher Produktqualität. Um dies zu erreichen ist es unabdingbar, dass Fertigungsstörungen so gering wie möglich gehalten werden. In diesem Sinne gilt es aus logistischer Sicht Engpässe zu identifizieren und sie bestmöglich zu handhaben.

Der theoretische Teil der vorliegenden Diplomarbeit erklärt eingangs welche Arten von Engpässen innerhalb einer industriellen Produktion auftreten können. Basierend auf einer eingehenden Betrachtung der einzelnen Produktionsfaktoren werden unterschiedliche Ursachen für das Auftreten von Engpässen in einer Fertigung analysiert. Des Weiteren werden verschiedene Modelle zur Engpassanalyse vorgestellt.

Im Rahmen des Praxisteils erfolgte eine Analyse der Engpasssituation des Papierherstellers Brigl&Bergmeister mittels einer Spreadsheet Simulation. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen dem Unternehmen als Grundlage für die Festlegung von Strategien für die Produktion im Bezug auf Engpassplanung und -steuerung, Produktionsprogramm und Produktionsprogrammplanung sowie mögliche Investitionen. Leser dieser Diplomarbeit können an Hand der gewonnenen Erkenntnisse verstehen, welche Punkte es im Rahmen der Identifikation und Analyse von Engpässen zu beachten gilt und an welchen Stellen etwaige Probleme auftreten können.

Abstract

The handling of bottlenecks is one of the most relevant fields of production logistics. Because of raised market dynamic, individual customer demands or globalisation companies are forced to flexibility and adaptability by low costs and high product quality. To reach these aims, it is necessary to keep disturbances in production as low as possible. Therefore, bottlenecks have to be identified and get controlled best possible.

The theoretical part of the diploma thesis by way of introduction describes which kinds of bottlenecks can appear in an industrial production. Based on a closer examination of single production factors, different causes for the appearance of production bottlenecks are analysed. Moreover models for the analysing of bottlenecks are presented.

Within the scope of the practical part the production of the paper producing company Brigl& Bergmeister has been analysed considering its bottlenecks by a Spreadsheet simulation.

The results serve the company as basis for production planning, handling of bottlenecks and possible investments. Readers of this diploma thesis are enabled to understand which points have to be regarded within the identification and analysis of bottlenecks and in which fields possible problems could appear.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung	III
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Ursachen von Produktionsengpässen	3
2.1 Der Produktionsfaktor Maschine.....	5
2.1.1 Maschinenkapazität	5
2.1.2 Overall Equipment Effectiveness	6
2.1.3 Ursachen für Maschinenengpässe	8
2.2 Der Produktionsfaktor Mensch	12
2.2.1 Dimensionierung des Personalpotentials	12
2.2.2 Ausstattung des Unternehmens mit Personalressourcen.....	14
2.2.3 Messung der menschlichen Arbeitsleistung	15
2.2.4 Ursachen für Personalengpässe	17
2.3 Der Produktionsfaktor Material	20
2.3.1 Bedarfsermittlung.....	20
2.3.2 Auftragsplanung.....	23
2.3.3 Materialbeschaffung	23
2.3.4 Ursachen für Materialengpässe.....	24
2.4 Der Produktionsfaktor Methode	27
2.4.1 Wissensmanagement	28
2.4.2 Informationsmanagement und Informationssysteme	29
2.4.3 Wissensbedarf	30
2.4.4 Ursachen für Methodenengpässe.....	31
2.5 Reflexion	33
3 Methoden zur Identifikation und Analyse von Engpässen	35
3.1 Das Trichtermodell.....	35
3.2 Das Durchlaufdiagramm	36
3.3 Betriebskennlinien	39
3.4 Warteschlangenmodelle	44

3.5	Simulationsmodelle.....	47
3.6	Auswahl der Analysemethode	49
4	Einführung in die Papierindustrie.....	55
4.1	Vorstellung des Unternehmens Brigl&Bergmeister	55
4.2	Der Papiererzeugungsprozess	56
4.2.1	Rohmaterialien.....	56
4.2.2	Zellstoffherstellung.....	56
4.2.3	Papierherstellung.....	57
4.2.4	Oberflächenveredelung	59
4.2.5	Ausrüstung.....	61
4.2.6	Verpackung und Lagerung	62
5	Engpassanalyse der Produktion B&B.....	64
5.1	Ausgangssituation	64
5.2	Beschreibung des Produktionsablaufes B&B	65
5.3	Rahmenbedingungen	68
5.4	Vorgehen	70
5.4.1	Modellaufbau	71
5.4.2	Berechnung der Arbeitsstationen	74
5.4.3	Beurteilung des Modells	76
5.5	Ergebnisse der Szenarioanalyse	77
5.5.1	Durchschnittsszenario	77
5.5.2	Szenario maximaler Formatanteil	81
5.5.3	Szenario maximaler Rollenanteil	84
5.5.4	Beurteilung der Ergebnisse und Beurteilung möglicher Verbesserungen	88
5.6	Reflexion des Projektes	94
6	Conclusio	96
A-1	Literaturverzeichnis.....	A-99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispiel für ein Produktionssystem und Darstellung einer Fertigungseinheit.....	4
Abbildung 2 Zusammensetzung des OEE	6
Abbildung 3 Ishikawa-Diagramm Maschinenengpässe.....	10
Abbildung 4 Determinanten der Personalpotentialdimensionierung nach Frese	12
Abbildung 5 Darstellung der Personaleffektivität analog dem OEE	16
Abbildung 6 Ishikawa-Diagramm Personalengpässe.....	18
Abbildung 7 Darstellung von Bestellpunkt und -rhythmusverfahren.....	21
Abbildung 8 Ishikawa-Diagramm Materialengpässe	25
Abbildung 9 Aufgaben des Wissensmanagements.....	29
Abbildung 10 Ishikawa-Diagramm Methodenengpässe	32
Abbildung 11 Das Trichtermodell	36
Abbildung 12 Durchlaufdiagramm	37
Abbildung 13 Darstellung von Fall 1 und 2.....	39
Abbildung 14 Beispiel für die Darstellung von Betriebs- und Bestandskennlinie	40
Abbildung 15 Darstellung der Positionierung des Betriebspunktes.....	41
Abbildung 16 Darstellung der Veränderung der Betriebspunkte nach Optimierungsmaßnahmen	43
Abbildung 17 Vereinfachte Darstellung des Stahlerzeugungsprozesses.....	51
Abbildung 18 Aufbau einer Papiermaschine	58
Abbildung 19 Vergleich der Oberflächenbeschichtungsverfahren	60
Abbildung 20 Darstellung des Produktionsablaufs.....	66
Abbildung 21 Darstellung des zu simulierenden Produktionssystems	69
Abbildung 22 Aufbau des Ausgangsblattes des Simulationsmodells.....	71
Abbildung 23 Beispiel für den Inhalt eines Tabellenblattes.....	72
Abbildung 24 Ishikawa-Diagramm Maschinenengpass.....	93
Abbildung 25 Ishikawa-Diagramm Personalengpass.....	93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Arten der Verfügbarkeit	7
Tabelle 2 Überblick über Eignung, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Analysemethoden	
Teil 1	53
Tabelle 3 Überblick über Eignung, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Analysemethoden	
Teil 2	54
Tabelle 4 Durchschnittliche monatliche Maschinen- bzw. Mitarbeiterstunden der Arbeitsstationen in der Produktion von B&B.....	73
Tabelle 5 Geschwindigkeiten der Rollenschneider	74
Tabelle 6 Geschwindigkeiten der Prägekalander	75
Tabelle 7 Parameter der Sortierquerschneider	75
Tabelle 8 Parameter der Handarbeitsplätze, des Planschneiders und des Formatpackers ..	76
Tabelle 9 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 1.....	78
Tabelle 10 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 2.....	79
Tabelle 11 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 3.....	80
Tabelle 12 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Formatpapieranteil Teil 1.....	81
Tabelle 13 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Formatpapieranteil Teil 2.....	82
Tabelle 14 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Formatpapieranteil Teil 3.....	83
Tabelle 15 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 1.....	85
Tabelle 16 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 2.....	86
Tabelle 17 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 3.....	87

Abkürzungsverzeichnis

B&B	Brigl& Bergmeister
cm.....	Zentimeter
d.h.	das heißt
etc.....	et cetera
FIFO	First in first out
FP	Formatpacker
g	Gramm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	Stunden
IH.....	Instandhaltung
IuK.....	Information und Kommunikation
kg.....	Kilogramm
LIFO	Last in first out
m	Meter
m/min.....	Meter pro Minute
MAStd.....	Mitarbeiterstunden
min.....	Minute
MStd.....	Maschinenstunden
OEE.....	Overall Equipment Effectiveness
OPT	Optimized Production Technology
PLS.....	Planschneider
RPM	Rollenpackmaschine
RSM	Rollenschneidmaschine
SQ	Sortierquerschneider
t	Tonnen
TOC.....	Theory of Constraints

u.a.unter anderem

VDIVerein Deutscher Ingenieure

z.B.zum Beispiel

1 Einleitung

Die Analyse und Handhabung von Engpässen stellt wohl eines der wichtigsten Aufgabenfelder der Produktionslogistik dar.

Steigender internationaler Wettbewerb macht die logistische Leistungsfähigkeit in allen Aufgabenfeldern für Unternehmen zu einem kritischen Erfolgsfaktor. Hinzu kommt, dass für die Kunden neben Preis und Produktqualität auch immer mehr Faktoren wie Liefertreue und kurze Lieferzeiten in den Vordergrund rücken und die Kundenwünsche ständig individueller werden. Unternehmen sind daher gefordert hohe Prozesssicherheit zu gewährleisten und Fertigungsstörungen auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, vor allem in der Produktion, werden daher zusehends mehr von Bedeutung. Dabei stehen die Betriebe einem enormen Kostendruck und Unsicherheiten über die kommende Nachfrage gegenüber.

Die Ursachen für etwaige Produktionsengpässe können vielseitig sein. Teilweise treten Engpässe auch nur kurzzeitig auf, andere halten sich konstant. Vor allem die externen Einflussfaktoren, z.B. unvorhergesehene Veränderungen der Nachfrage, machen die Handhabung von Engpässen für Unternehmen schwierig. So stellen diverse Maßnahmen zur Behandlung von Flaschenhälsen wie z.B. Investitionen in Kapazitätserhöhungen oder Outsourcing entscheidende Eingriffe in die zukünftige Entwicklung des Unternehmens dar. Aufgrund des in vielen Märkten herrschenden Kosten- und Konkurrenzdrucks ist insbesondere die Findung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, aufgrund logistischer Verbesserungen, d.h. ohne nennenswerte Investitionen oder Personalerweiterungen, von hoher Relevanz.

Diese Diplomarbeit verfolgt angesichts der aufgezeigten Situation folgende Ziele:

- Identifikation von möglichen Ursachen für Produktionsengpässe basierend auf einer eingehenden Betrachtung der Produktionsfaktoren
- Vorstellung von Methoden zur Identifikation und Analyse von Engpässen
- Aufzeigen von Wegen, wie sich ein Unternehmen angesichts der Vielfalt möglicher Engpassursachen sowie der hohen Anzahl unterschiedlicher verfügbarer Methoden ein situationsspezifisch wirksames, aber gleichzeitig zeit- und kosteneffizientes („schlankes“) Methodenbündel zur Identifikation und Analyse von Engpässen in der Produktion zusammenstellen kann
- Identifikation von Engpässen in der Produktion des Unternehmens Brigl & Bergmeister

- Bewertung möglicher Verbesserungsmaßnahmen in der Produktion von B&B

Dem Leser der vorliegenden Diplomarbeit soll verdeutlicht werden, dass Engpässe in der Produktion ihre Ursache sowohl innerhalb eines Produktionsfaktors als auch im Zusammenwirken der einzelnen Produktionsfaktoren haben können. Des Weiteren soll vermittelt werden, wie man bei der einer Engpassanalyse vorgeht, welche Möglichkeiten es dafür gibt, und wie die Analyseergebnisse zu bewerten sind.

Zum besseren Verständnis der Engpassthematik wird dem Leser im zweiten Kapitel ein einführender Überblick über die Produktionsfaktoren und deren Charakteristika gegeben, woraus weitergehend die Ursachen für das Entstehen von Engpässen in der Produktion abgeleitet werden. Im Anschluss werden ausgewählte Methoden für die Identifikation und Analyse von Engpässen vorgestellt und an Hand zweier fiktiver Beispiele und dem anschließenden Praxisprojekt gezeigt, wie die Methodenauswahl erfolgen kann. Im vierten Kapitel werden das Unternehmen B&B sowie der Papiererzeugungsprozess näher erläutert, um das Verständnis für die Problematik des Praxisprojektes zu unterstützen. Kapitel 5 stellt den praktischen Teil der vorliegenden Diplomarbeit dar. Hierbei werden Ausgangssituation, Vorgehen und Ergebnisse präsentiert. Abschließen wird ein Resümee über die vorliegende Diplomarbeit und die gewonnenen Erkenntnisse gezogen.

2 Grundlagen und Ursachen von Produktionsengpässen

Die Handhabung von Produktionsengpässen steht in der Regel in direktem Bezug zum Unternehmenserfolg. Auf Grund der in der Einleitung erläuterten Marktbedingungen sind Unternehmen gezwungen, rasche und kostengünstige Lösungen zu entwickeln. Damit dies möglich ist, ist es notwendig, die Parameter einer Fertigung zu kennen und ihr Zusammenwirken zu verstehen. Zu Beginn dieser Diplomarbeit wird daher erläutert, welche Produktionsfaktoren es gibt und wodurch sie zum Engpass werden können.

Der Begriff des Engpasses wurde vorab schon des Öfteren erwähnt. Bevor näher auf die Engpassthematik eingegangen werden kann, ist es an dieser Stelle notwendig einen Engpass zu definieren:

„Es wird dann von Engpässen gesprochen, wenn bestimmte Teilpotentiale in ihrer Dimension (Leistungsquerschnitt) die anderen Teilpotentiale einengen.“¹

Da sich die vorliegende Diplomarbeit mit Engpässen in der Produktion beschäftigt, ist es weiters erforderlich die Bestandteile einer Fertigung zu kennen. Betrachtet man ein Produktionssystem, so setzt es sich aus unterschiedlichen Fertigungspotentialen bzw. Kapazitäten zusammen. „Unter einem Fertigungspotential ist das technisch maximale Leistungsvermögen des Fertigungsbereichs einer industriellen Unternehmung zu verstehen.“²

Eine Fertigungseinheit setzt sich wiederum aus den vier Produktionsfaktoren Mensch, Maschine, Material und Methode zusammen.³

¹ Schweitzer (1994), S. 619

² Schweitzer (1994), S. 618

³ Vgl. Imai (1992)

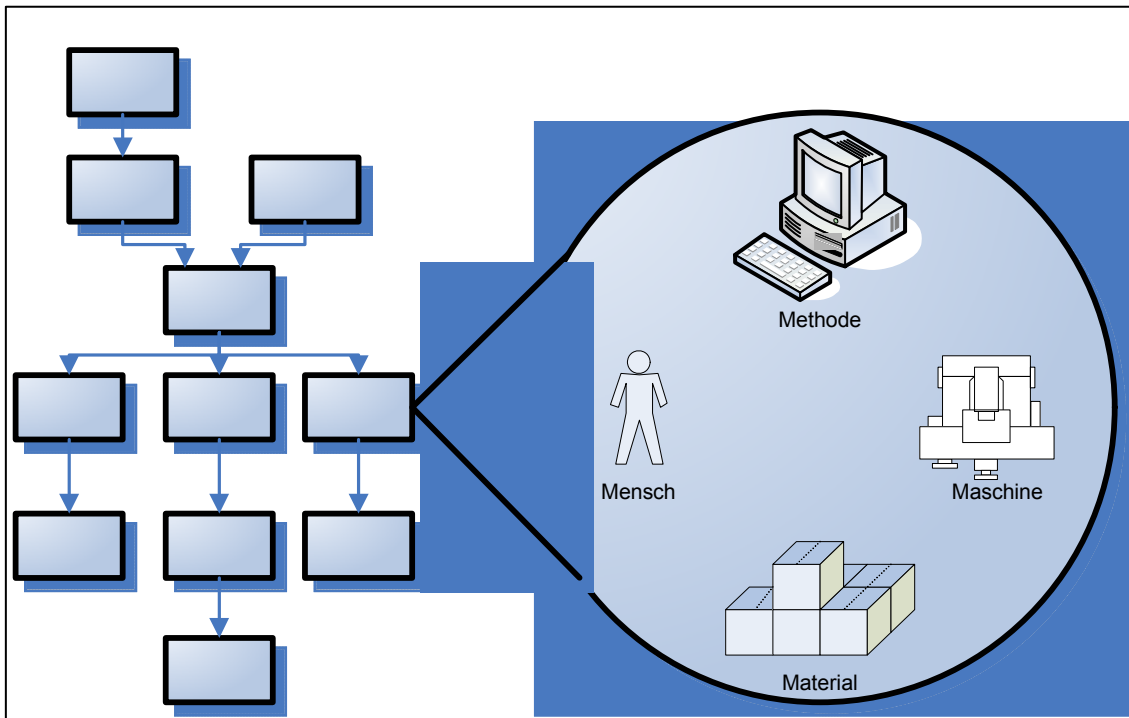


Abbildung 1 Beispiel für ein Produktionssystem und Darstellung einer Fertigungseinheit⁴

Demnach lässt sich das Fertigungspotential in folgende Teilpotentiale unterteilen:

- Anlagenpotential
- Personalpotential
- Materialversorgungspotential
- Methodenpotential

Eine industrielle Produktion besteht somit aus vier wesentlichen Teilen, die durch ihr Zusammenwirken das Leistungsvermögen der gesamten Produktion prägen. Man könnte vergleichsweise sagen: Eine Kette ist nur so stark, wie ihr schwächstes Glied. Um einen effizienten Fertigungsprozess zu ermöglichen, ist es somit notwendig, diese Teilpotentiale bestmöglich abzustimmen. In der Praxis gilt eine für alle vier Faktoren optimale Kombination allerdings als unrealistisch.

Für ein besseres Verständnis der Engpass-thematik sollen die einzelnen Produktionsfaktorpotentiale im Folgenden näher erläutert werden und im Anschluss daraus Ursachen für das Auftreten von Engpässen abgeleitet werden.

⁴ Quelle: Eigene Darstellung

2.1 Der Produktionsfaktor Maschine

Spricht man von Maschinen, so assoziiert man dies sofort mit der Kapazität eines Produktionssystems. Da der Kapazitätsbegriff ein umfassender ist und auch nicht immer in derselben Bedeutung verwendet wird, wird er nachstehend näher erläutert.

2.1.1 Maschinenkapazität

Die Maschinenkapazität kann definiert werden als Beschäftigungs- oder Leistungsvermögen einer Maschine innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes. Diese setzt sich wiederum aus der quantitativen und der qualitativen Kapazität zusammen.⁵ Die quantitative Kapazität kann in drei Dimensionen unterteilt werden: Den Leistungsquerschnitt, die mögliche Einsatzzeit und die mögliche Intensität. Die qualitative Kapazität setzt sich aus Anlageneigenschaften wie Maßgenauigkeit, Breite der Einsatzmöglichkeit, Effizienz, Wirtschaftlichkeit oder Kompatibilität zusammen.

Man unterscheidet allgemein zwischen Maximalkapazität, Normalkapazität, Optimalkapazität und Minimalkapazität. Jene Kapazitätsbegriffe beschreiben unterschiedliche Festlegungen der geplanten Kapazitätsauslastung und beschreiben somit die Beschäftigung einer Anlage⁶, die folgendermaßen definiert ist: „Unter Beschäftigung versteht man zeitlich genutzte Kapazität.“⁷

Die Maximalkapazität legt das theoretisch höchstmögliche Leistungsvermögen einer Anlage fest. Die tatsächliche Maximalkapazität einer Anlage berechnet sich allerdings an Hand der möglichen Dauerhöchstleistung, d.h. der ökonomisch und technisch sinnvollen Laufleistung der Maschine. Unter Normalauslastung versteht man die geplante normale Auslastung einer Maschine bzw. Anlage. Die Optimalauslastung beschreibt jene Auslastung, die je nach Zielsetzung (z.B. Kostenoptimierung, Gewinnmaximierung) anzustreben ist. Die Minimalkapazität ist jene Beschäftigung, welche mindestens aufrechterhalten werden muss, um eine Produktion überhaupt zu ermöglichen bzw. eine Beschädigung der Anlage zu verhindern.⁸

Unterschiedliche Maschinen besitzen verschiedene Maximal-, Optimal- und Minimalkapazitäten. Eine optimale Kapazitätsausnutzung aller Anlagen ist in der Praxis aus Gründen wie beispielsweise unterschiedlichen Maschinengeschwindigkeiten oder unwirtschaftlichen Fertigungslosen unmöglich. Es gilt daher innerhalb eines Produktionssystems einen Kompromiss zwischen Maschinenausnutzungsgraden zu finden,

⁵ Vgl. Seicht (1994), S. 332

⁶ Vgl. Seicht (1994), S. 333

⁷ Seicht (1994), S. 333

⁸ Vgl. Seicht (1994), S. 333

so dass die Ziele der Produktion wie Kosteneffizienz, Flexibilität, etc. bestmöglich erreicht werden.

In der Praxis liegt die Ausbringungsmenge einer Anlage in der Regel unter der Kapazität. Unterschiedliche Verluste führen dazu, dass sich theoretisch maximaler Output und praktisch maximaler Output nicht decken. Für die Messung der tatsächlichen Produktivzeit einer Anlage, eignet sich die Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität⁹.

2.1.2 Overall Equipment Effectiveness

Eine einfache Möglichkeit für die Analyse von Verlusten stellt der OEE (Overall Equipment Effectiveness) Wert dar, die Kennzahl der Anlageneffektivität. Die Anlageneffektivität setzt sich aus der Anlagenverfügbarkeit, der Anlageneffizienz und der Qualitätsrate zusammen und beschreibt somit die tatsächliche Ausbringungsmenge einer Anlage. Die nachstehende Grafik erläutert die Definition des OEE-Wertes näher:

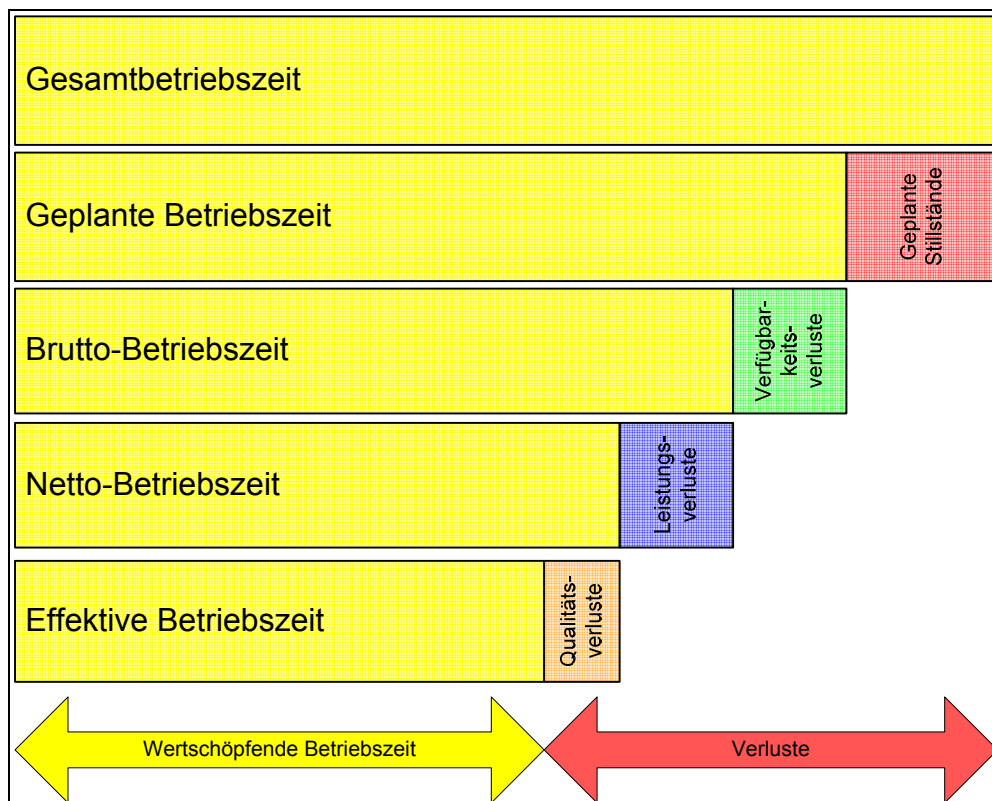


Abbildung 2 Zusammensetzung des OEE¹⁰

$$\text{Gesamtanlageneffektivität} = \text{Anlagenverfügbarkeit} * \text{Anlageneffizienz} * \text{Qualitätsrate}$$

⁹ Vgl. Griffel (2004), S. 526

¹⁰ Quelle: Zollondz (2001), S.1161

- Anlagenverfügbarkeit ¹¹

$$\text{Anlagenverfügbarkeit} = \frac{\text{Geplante Betriebszeit} - \text{Verfügbarkeitsverluste}}{\text{Geplante Betriebszeit}}$$

Die geplante Betriebszeit definiert jene Laufzeit der Maschine, die von der gesamten möglichen Betriebszeit durch geplante Stillstände reduziert wird. Unter geplanten Stillständen versteht man beispielsweise Feiertage, Betriebsferien, wirtschaftliche Stilllegung, geplante Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen etc.

In der VDI-Richtlinie 4004 wird Verfügbarkeit definiert als „[...]die Wahrscheinlichkeit, dass an einer Betrachtungseinheit zur Betrachtungszeit keine als maßgeblich geltenden Störungen vorliegen, die unter den vorauszusetzenden Bedingungen die Erfüllung einer Funktion verhindern.“

Unterschiedliche Ursachen können zu ungeplanten Maschinenausfällen führen, wodurch sich die Maschinenverfügbarkeit in 4 Stufen reduziert:

Technische Ausfälle und Instandsetzungsvorgänge	Theoretische Verfügbarkeit
Verschleißvorgänge und präventive IH-Maßnahmen	Technische Verfügbarkeit
Systembedingte Störungen und administrative, organisatorische und logistische Wartezeiten	Systembedingte Verfügbarkeit
Fremdbedingte Nichtverfügbarkeiten	Gesamte Verfügbarkeit

Tabelle 1 Arten der Verfügbarkeit

Die in Tabelle 1 dargestellten Verfügbarkeitsverluste, welche die geplante Betriebszeit auf die Brutto-Betriebszeit reduzieren, setzen sich aus den in der Tabelle beschriebenen Teilen zusammen.

- Anlageneffizienz¹²

Häufig spricht man im Rahmen des OEE-Wertes nicht nur von Anlageneffizienz, sondern auch von Leistungsrate oder Leistungsgrad.

$$\text{Anlageneffizienz} = \frac{\text{Brutto - Betriebszeit} - \text{Leistungsverlustzeiten}}{\text{Brutto - Betriebszeit}}$$

¹¹ Vgl. Griffel (2004), S. 523f.

¹² Vgl. Griffel (2004), S. 526

Die Anlageneffizienz ist jene Kennzahl, die das Verhältnis zwischen kapazitiv möglicher und tatsächlicher Ausbringungsmenge darstellt.

- Qualitätsrate¹³

$$\text{Qualitätsrate} = \frac{\text{Produzierte Teileanzahl} - \text{Verwürfe}}{\text{Produzierte Teileanzahl}}$$

Als Verwürfe werden hier Ausschuss-, aber auch Nacharbeitsteile bezeichnet. Die Qualitätsrate definiert demnach jenen Prozentsatz der Ausbringungsmenge, der direkt in das nächste Arbeitssystem einfließen kann.

Eine 100 %-ige Qualitätsrate kann als unrealistisch bezeichnet werden, da die Produktion von Ausschussteilen bis zu einem gewissen Grad für Unternehmen wirtschaftlicher ist als absolute Qualität. Qualitätsverluste können unterschiedliche Ursachen haben, die später näher eruiert werden sollen.

Ausgehend vom OEE-Wert wird das Leistungspotential einer Anlage demnach von folgenden Faktoren bestimmt:

- Verfügbarkeit der Anlage
- Leistung der Anlage
- Qualität der Ausbringungsmenge

Diese drei Punkte stellen somit Stellschrauben dar, um das Leistungsvermögen einer Maschine zu regulieren bzw. können in ihnen die Ursachen dafür liegen, dass das Maschinenpotential einen Produktionsengpass darstellt. Im nächsten Schritt wird ausgehend von den bisherigen Feststellungen versucht, mögliche Gründe für das Entstehen maschineller Engpässe aufzuzeigen.

2.1.3 Ursachen für Maschinenengpässe

Zu Beginn des Kapitels wurde festgestellt, dass die Maschinenkapazität das Leistungsvermögen innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit darstellt. Ist die Maschinenleistung nun nicht ausreichend, so kann ein möglicher Grund dafür sein, dass die Kapazität nicht auslangt. Des Weiteren wurde in Punkt 2.2.2. der OEE-Wert als Kennzahl für die Produktivität einer Anlage ausgemacht, der sich aus der Multiplikation von Anlagenverfügbarkeit, Anlageneffizienz und Qualitätsrate ergibt. Da diese Kennzahl Verluste der Produktivzeit berücksichtigt, können auch aus ihr Ursachen für das Entstehen von Maschinenengpässen abgeleitet werden.

¹³ Vgl. Griffel (2004), S. 526

Definiert man einen Maschinenengpass nun so, dass eine Anlage andere Fertigungseinheiten auf Grund ihres Leistungsquerschnitts, in diesem Fall der Ausbringungsmenge, einengt, kann man in der Regel davon ausgehen, dass eine der folgenden Ursachen vorliegt:

- Die Maschinenkapazität reicht nicht aus.
- Die Anlagenverfügbarkeit ist schlecht, d.h. häufige oder lange Stillstände.
- Die Qualitätsrate ist niedrig.
- Die Maschinenleistung (bzw. Anlageneffizienz) ist schlecht.

Basierend auf dieser Annahme sollen im Weiteren mit Hilfe eines Ishikawa-Diagramms¹⁴ mögliche Gründe für das Entstehen eines Maschinenengpasses aufgezeigt werden.

¹⁴ Vgl. Geiger, Kotte (2005), S.119

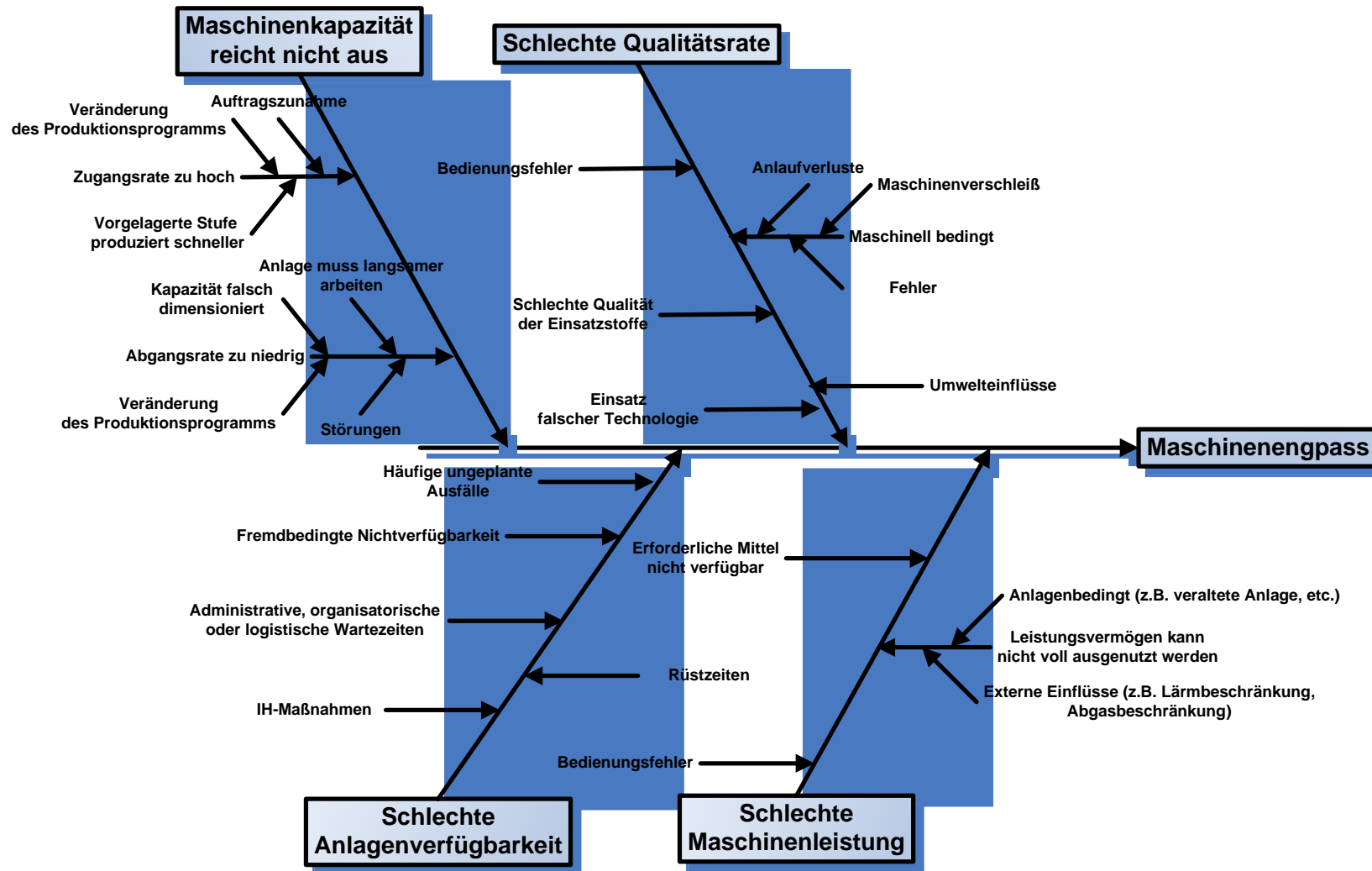


Abbildung 3 Ishikawa-Diagramm Maschinenengpässe

Quelle: Eigene Darstellung

Wie das Ursachen-Wirkungsdiagramm zeigt, können viele unterschiedliche Parameter zu einem Maschinenengpass beitragen. Im Fall einer nicht ausreichenden Kapazität der Maschine können die Ursachen für das Auftreten von Engpässen grundsätzlich in zwei Punkten liegen: der Zugangs- und der Abgangsrate der Anlage. Grund dafür ist, dass die Durchlaufzeit in direktem Verhältnis zu den Beständen steht, welche wiederum von Input bzw. Output abhängig sind.¹⁵ Eine steigende Zugangsrate bzw. eine niedrigere Abgangsrate können somit zur Bestandsbildung und in weiterer Folge zu einem Maschinenengpass führen. Die im Ishikawa-Diagramm abgebildeten sekundären Ursachen stellen eigene Überlegungen dar. Für die Zugangsrate ist zum Einen die Kundennachfrage entscheidend, welche sich in Produktionsprogramm und Auftragsmenge niederschlägt. Veränderungen in diesen beiden Punkten können somit die Zugangsrate erhöhen und dadurch einen Engpass bewirken. Ebenso entscheidend für die Zugangsrate ist die Arbeitsgeschwindigkeit des vorgelagerten Systems. Arbeitet diese Stufe schneller, so kann es an der betrachteten Maschine zur Bestandsbildung kommen.

Bei einer zu niedrigen Abgangsrate kann es der Fall sein, dass die Kapazität der Anlage generell zu gering dimensioniert wurde. Ebenso können Störungen oder ein notwendiges langsames Arbeiten der Maschine (z.B. Überhitzungsgefahr) dazu führen, dass die geplante Ausbringungsmenge nicht erbracht werden kann. Da sich das Produktionsprogramm auf die Bearbeitungsdauer auswirkt, kann eine Veränderung eine zu niedrige Abgangsrate bewirken.

Betreffend der Qualitätsrate können sowohl Fehler durch Maschine, Mensch, Material oder Methode als auch externe oder prozessbedingte Einflüsse reduzierend wirken.¹⁶ Maschinell bedingte Qualitätsverluste können beispielsweise aus Anlaufverlusten, Fehlern oder veralteten Anlagen resultieren.

Die Anlagenverfügbarkeit wird, wie in Punkt 2.1.2. erklärt, durch unterschiedliche Arten von Stillständen reduziert. Hier bieten bessere Planung und Koordination sowie Verkürzung der Stillstandszeiten Ansatzpunkte zu Verbesserungen.

Die Maschinenleistung wird wiederum von der Maschine selbst, als auch vom Bediener und von der Technologie geprägt. Kann die Leistung durch die Maschine nicht erbracht werden, so wurde überlegt, dass hier die Ursachen in der Anlage selbst oder in bestimmten Restriktionen liegen können.

¹⁵ Vgl. Corsten (2004), S. 573f.

¹⁶ Vgl. Corsten (2004), S. 192

Im abgebildeten Diagramm wird deutlich, dass ein Maschinenengpass nicht nur auf die Maschine, sondern auf das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren zurückzuführen ist. Ob und wie sich dieses Zusammenspiel auch auf das Personalpotential auswirkt, wird im folgenden Punkt näher untersucht.

2.2 Der Produktionsfaktor Mensch

In den letzten Jahren wurde Personal für Unternehmen immer mehr von ökonomischer Bedeutung. Flexibilisierung und Rationalisierung machen auch vor dem Faktor Mensch nicht halt. An dieser Stelle soll nun näher auf die Gestaltung der Personalkapazität und seine Einflussfaktoren eingegangen werden, um das Verständnis für das Auftreten von personellen Engpässen zu unterstützen. Dazu ist es notwendig zu erklären, wie die personellen Ressourcen einer Produktion kalkuliert werden bzw. welche Faktoren auf die Leistung dieses Produktionsfaktors wirken.

2.2.1 Dimensionierung des Personalpotentials

Das Personalpotential beschreibt das Leistungsvermögen von im Unternehmen vorhandenen Personalressourcen.

Frese hält, wie die nachstehende Abbildung zeigt, unterschiedliche Determinanten ausschlaggebend für die Dimensionierung des Personalpotentials:

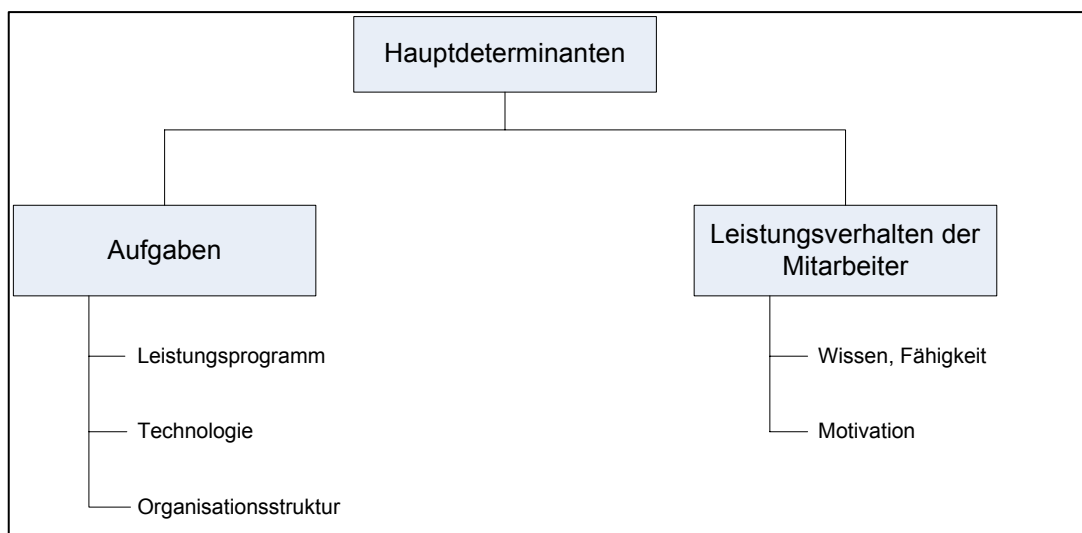


Abbildung 4 Determinanten der Personalpotentialdimensionierung nach Frese¹⁷

¹⁷ Quelle: Frese (1994), S. 266

Die zu berücksichtigenden Aspekte gliedern sich in zwei Gruppen:

- Aufgaben¹⁸

Die innerhalb einer Produktion zu erfüllenden Aufgaben sind ein grundlegender Entscheidungsfaktor für Art und Menge des Personalbedarfs. Geprägt werden die Tätigkeiten im Wesentlichen durch folgende drei Faktoren:

- Leistungsprogramm

Das Leistungsprogramm bezeichnet die Festlegung der in einem bestimmten Planungszeitraum zu erstellenden Güter und Dienstleistungen. Es stellt somit die Grundlage für die Ableitung der notwendigen Personalkapazitäten dar.

- Technologie

Der sich aus der eingesetzten Technologie ergebende Mechanisierungsgrad einer Produktion beeinflusst die Anzahl und Art der notwendigen Personalressourcen. Zunehmende Mechanisierung und Automatisierung drücken nicht unbedingt eine Personalreduzierung aus, sondern erfordern eine andere Art von Personalressource (z.B. Instandhaltung). Mitarbeiter müssen in diesem Fall dementsprechend z.B. angelehrt oder umgeschult werden, um ihre neuen Aufgaben bestmöglich bewältigen zu können.

- Organisationsstruktur

Das Organisationskonzept der Produktion steht in engem Verhältnis zum Personalbedarf. So stellen z.B. objektbezogene Aufgabenkomplexe andere Anforderungen an das Personalpotential als verrichtungsbezogene.

- Leistungsverhalten der Mitarbeiter

Das Leistungsverhalten der Mitarbeiter beruht zum Einen auf der Fähigkeit die erforderlichen Leistungen zu erbringen. Zum anderen wirkt die Motivation auf das Leistungsvermögen des Personals.

Der Zusammenhang dieser beiden Komponenten wird im so genannten Leistungsdeterminanten-Konzept verdeutlicht.¹⁹ Das Konzept geht davon aus, dass sowohl Determinanten des Wollens als auch Determinanten des Könnens zusammenwirken müssen, damit menschliche Arbeitsleistung erbracht wird. Faktoren des Wollens bestimmen die Bereitschaft des Mitarbeiters, sein mögliches Leistungspotential zu aktivieren. Dazu zählen beispielsweise Motive,

¹⁸ Vgl. Frese (1994), S. 266f.

¹⁹ Vgl. Berthel (1997), S. 37ff.

Einstellung, Erfahrungen, Selbstkonzept oder Persönlichkeitsfaktoren. Die Komponenten des Könnens können sowohl in der Person selbst, als auch in der Arbeitssituation liegen. Sie beeinflussen Qualität und Quantität des Leistungsverhaltens und der daraus resultierenden Ergebnisse. Könnensfaktoren umfassen etwa Arbeitskenntnis, Eignung oder Arbeitsbedingungen.

Bisher wurde in Kapitel 2.2. gezeigt, welche Umstände Einfluss auf die Dimensionierung des Personalpotentials haben. Im nächsten Schritt soll nun beschrieben werden, wie aus diesen grundlegenden Überlegungen der Personalbedarf abgeleitet werden kann.

2.2.2 Ausstattung des Unternehmens mit Personalressourcen

Für die Berechnung des Personalbedarfs gibt es unterschiedliche Methoden. Eine mathematische Möglichkeit zur Personalbedarfsbestimmung stellt das Modell von Klock dar, welches auf folgender Formel basiert:

$$B_j = f_j(d_j, b_j, x_j)x_j$$

B_j ...Arbeitskräftebedarf an der Stelle j

d_j ... Intensitätsgrad

b_j ... Technisierungsgrad

x_j ... Ausbringungsmenge

Geht man davon aus, dass Intensitätsgrad und Technisierungsgrad konstant sind, so leitet Frese daraus ab, dass der Personalbedarf allein von der Ausbringungsmenge abhängt.²⁰

Daraus lässt sich erahnen, welche Personalprobleme für Unternehmen aus schwankenden Ausbringungsmengen resultieren. Steigende Nachfrage bedeutet demnach zusätzlichen Personalbedarf, sinkende Absatzmengen sind mit einer Personalüberkapazität gleichzusetzen. Vor allem für Produktionen mit stark schwankenden Nachfragezyklen kann die Personalbereitstellung dadurch zu einem wichtigen Aspekt werden.

Da Personalressourcen stark an rechtliche Rahmenbedingungen gebunden sind, ist der Kapazitätsaufbau bzw. -abbau wesentlich schwieriger als bei Maschinen. Allerdings gibt es durchaus Flexibilisierungsmöglichkeiten wie spezielle Schichtmodelle, Überstunden oder kurzfristiges Subcontracting.

Die kurzfristige Planung des Netto-Personalbedarfs innerhalb einer bestimmten Periode ergibt sich wiederum durch den Abgleich mit dem Personalbestand unter Berücksichtigung von Ab- und Zugängen.²¹

²⁰ Vgl. Frese (1994), S. 273

Bruttopersonalbedarf	
-	Personalbestand im Zeitpunkt t_0
+	Abgänge
-	feststehende Zugänge
<hr/>	
=	Netto-Personalbedarf

Bei den Abgängen unterscheidet man zwischen sicheren Abgängen (z.B. Pensionierungen), statistisch zu ermittelnde Abgänge (z.B. Todesfälle, Kündigung durch Arbeitnehmer)

Feststehende Zugänge sind beispielsweise Versetzungen aus anderen Abteilungen, Rückkehr nach Beurlaubung oder Übernahmen aus dem Ausbildungsverhältnis.

Eine Berechnung zur langfristigen Planung kann nach folgendem Schema erfolgen²²:

Brutto-Personalbedarf	
+/-	Bedarfsveränderungen z.B. infolge von Erweiterungsinvestitionen, Änderungen der Organisationsstruktur, Rationalisierungsmaßnahmen
<hr/>	
=	Brutto-Personalbedarf im Zeitpunkt t_n
-	Personalbestand
+/-	Bestandsveränderungen
<hr/>	
=	Netto-Personalbedarf im Zeitpunkt t_n

Sowohl kurzfristig als auch langfristig wird bei Unterdeckung ein Ersatz- bzw. Neubedarf indiziert. Eine Überdeckung bedeutet Freistellungsbedarf.²³

2.2.3 Messung der menschlichen Arbeitsleistung

Die Erfassung der menschlichen Arbeitsleistung erweist sich als problematisch, da sie nicht immer direkt gemessen werden kann oder darf. Das bedeutet, dass sie über Ersatzgrößen wie Input oder Output indirekt erfasst werden muss.²⁴ Weiters gestaltet sich die Messung als problematisch, da die Thematik zum Einen in Abstimmung mit dem Betriebsrat gehandhabt werden muss und zum anderen ein starker Zusammenhang zwischen Leistungsmessung und Mitarbeitermotivation besteht.

²¹ Vgl. Berthel (1997), S. 161

²² Vgl. Berthel (1997), S. 162

²³ Vgl. Berthel (1997), S. 161f.

²⁴ Vgl. Corsten (2004), S. 265

Auch für den Faktor Mensch verhält sich die Effektivität der Ressourcennutzung, zumindest rein rechnerisch, ähnlich wie beim OEE. Es soll versucht werden die Personaleffektivität analog dem OEE-Wert darzustellen.

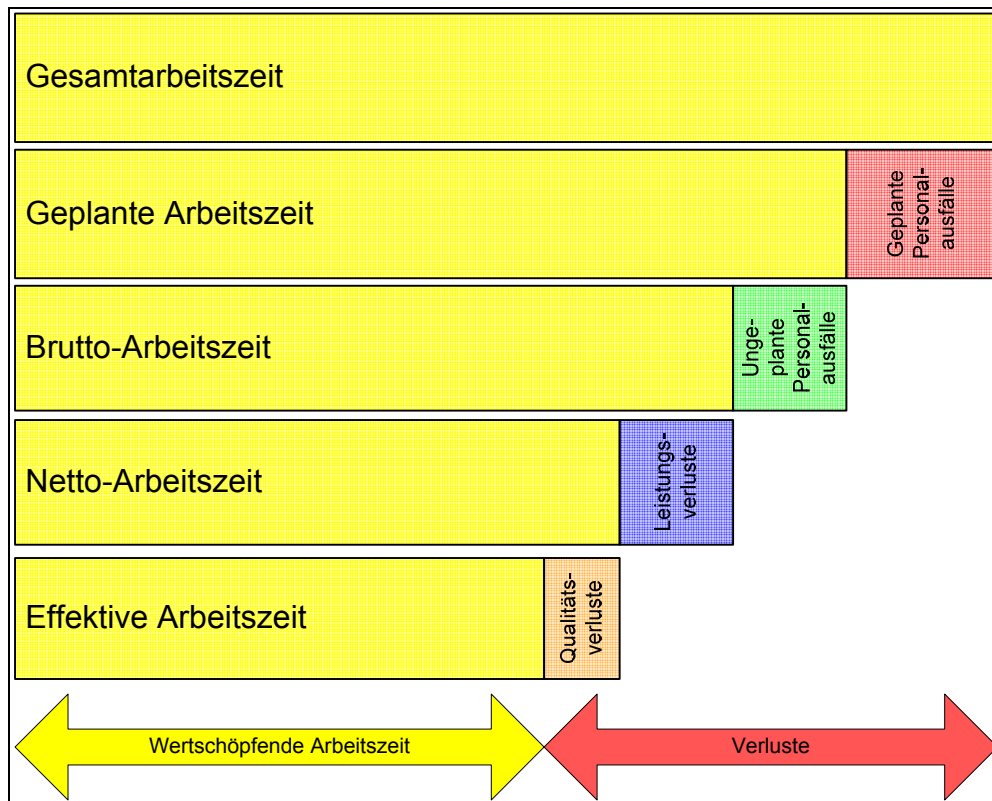


Abbildung 5 Darstellung der Personaleffektivität analog dem OEE²⁵

Als geplante Personalausfälle sollen Nichtverfügbarkeiten wie Urlaube, Werksferien, Feiertage oder geregelte Pausen zusammengefasst werden. Ungeplante Personalausfälle wären etwa Krankstände, ungeplante Pausen oder Nichtverfügbarkeit des Personals auf Grund anderer Tätigkeiten.

Während sich die Verluste in den ersten beiden Fällen leichter eruieren lassen, ist vor allem bei Leistungs- und Qualitätsverlusten die menschliche Komponente zu betrachten. Dabei gilt es zu beachten, dass Arbeitszeit in vielen Fällen ungleich Arbeitsleistung ist. So können auf die Arbeitsleistung Faktoren wie schlechte Ausbildung, Bedienungsfehler oder Arbeitsorganisation, aber auch schlechte Motivation, persönliche Probleme, Übermüdung, etc. wirken. Ebenso kann die menschliche Arbeitsleistung durch einen anderen Engpass, z.B. Material oder Maschine nicht verfügbar, eingeschränkt werden.

²⁵ Quelle: Eigene Darstellung

Eine genaue Planung der erforderlichen Personalressourcen ist für Unternehmen dringend notwendig, um dieses Potential angemessen zu dimensionieren. Erschwert wird dies durch folgende Faktoren:

- Die Anzahl der theoretisch notwendigen Mitarbeiter ist rechnerisch relativ einfach nach den vorgestellten Schemata zu ermitteln, allerdings entspricht die aus dieser Anzahl errechnete Arbeitsleistung nicht unbedingt der tatsächlichen, wie im Rahmen der Personaleffektivität erklärt wurde.
- Der Mitarbeiterbedarf ist, ebenso wie der Kapazitätsbedarf an Maschinen, stark von Produktionsprogramm und Auftragslage abhängig. Flexibilisierungsmaßnahmen sind allerdings, z.B. wie erwähnt aus rechtlichen Gründen, häufig für Personalressourcen schwieriger umzusetzen.

Durch die Individualität und psychologischen und physiologischen Komponenten ist die Leistung des Produktionsfaktors Mensch deutlich schwieriger und komplexer zu regulieren, als jene der Maschine. Deshalb ist es bei der Untersuchung von personellen Engpässen auch wichtig darauf zu achten, ob die Dimensionierung des Personalpotentials zu gering ist oder ob andere in diesem Kapitel beschriebene Einflüsse das menschliche Leistungspotential reduzieren.

2.2.4 Ursachen für Personalengpässe

Generell kann auch bei Personalengpässen als eine mögliche Ursache angenommen werden, dass die vorliegende Kapazität nicht ausreicht. Welche Umstände dazu führen können, wird im Anschluss näher erläutert.

Im vorliegenden Kapitel wurde weiters versucht, die effektive Personalleistung eines Unternehmens ähnlich der Anlageneffektivität darzustellen. Ausgehend von dieser Festlegung lassen sich personelle Engpässe in der Fertigung auf folgende Ursachen zurückführen:

- Schlechte Personalverfügbarkeit
- Zu geringe Arbeitsleistung
- Qualitätsverluste

Obwohl die hier angeführten Punkte auf den ersten Blick jenen Gründen für Maschinenengpässe gleichen, wird das nachstehende Ishikawa-Diagramm zeigen, dass die möglichen personellen Engpassursachen zwar zum Teil überlappen, aber auch deutlich anders liegen können.

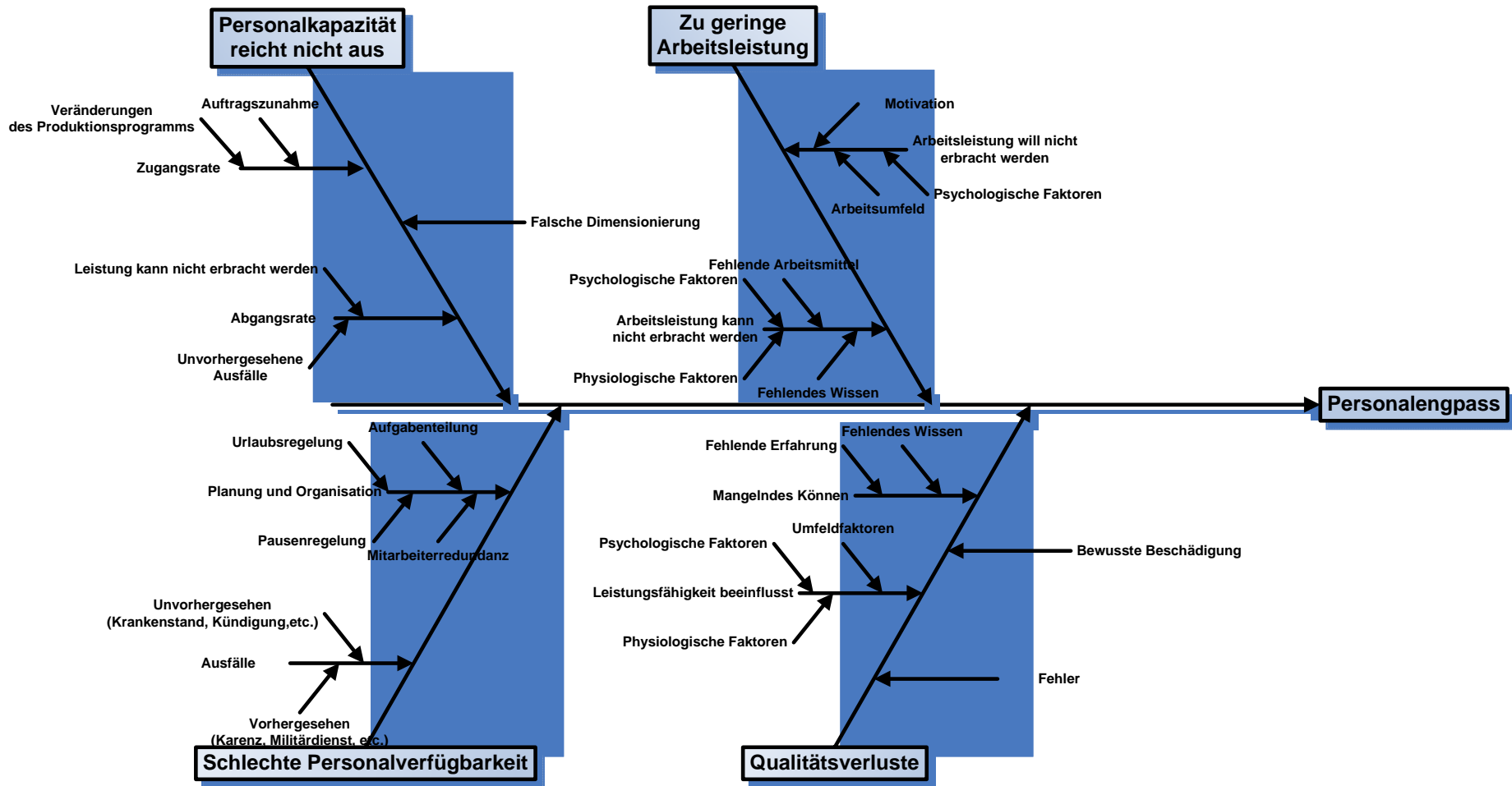


Abbildung 6 Ishikawa-Diagramm Personalengpässe

Quelle: Eigene Darstellung

Im Falle nicht ausreichender Personalkapazität kann die Ursache für einen Personalengpass, wie auch bei maschinellen Engpässen, in der Zu- und Abgangsrate gesucht werden. Auch in dieser Situation kann eine steigende Zugangs- bzw. abnehmende Abgangsrate zum Aufbau von Beständen führen, welche die Durchlaufzeit erhöhen und somit die Leistung schmälern.

Wesentliche Einflussfaktoren auf das Personalpotential sind die in Punkt 2.2.1. erläuterten Determinanten des Könnens und des Wollens. Da diese das Leistungsverhalten der Mitarbeiter prägen, wirken sie sich sowohl auf die Mitarbeiterleistung als auch auf die Qualitätsrate aus. So können bei vorliegender schlechter bzw. nicht ausreichender Mitarbeiterleistung die Gründe in einem der beiden Faktoren gesucht werden. Beispielsweise können etwa mangelnde Motivation, Arbeitsumfeld, psychologische oder physiologische Ursachen²⁶ zu einem personellen Engpass führen. Qualitätsverluste können sowohl durch mangelndes Können oder Beeinflussung der Leistungsfähigkeit als auch durch zufällig auftretende Fehler entstehen.²⁷ Ebenso kann eine bewusste Fehlleistung des Mitarbeiters vorliegen.

In der Darstellung der Personaleffektivität ähnlich dem OEE-Wert wurde die mögliche Produktivzeit durch geplante und ungeplante Personalausfälle reduziert. Die daraus resultierende Personalverfügbarkeit kann ebenso eine Engpassursache sein. Geplante Ausfälle sollten durch ausreichende Planung und Organisation in der Regel nicht zu Engpässen führen. Ungeplante Ausfälle wie Krankenstände oder Kündigungen können von Unternehmen nur durch ausgleichende Maßnahmen, z.B. Überstunden, gehandhabt werden.

Betrachtet man das dargestellte Diagramm, so werden auch hier die Wechselwirkungen zwischen Personal und den anderen drei Produktionsfaktoren deutlich. So können etwa das Fehlen von Maschinen, Material oder Methoden dazu führen, dass die menschliche Arbeitsleistung nicht ausreicht. Wesentlichen Einfluss haben auch die Komponenten Wollen und Können, d.h. will das Personal Leistung erbringen bzw. ist es dazu überhaupt in der Lage. Auch im Bezug auf Personalengpässe können externe Faktoren wie Nachfrageveränderungen oder Krankheiten Einfluss nehmen, die von Unternehmensseite nicht zu steuern sind. Unternehmen sollten somit die Personalplanung, Schulungs- und Fortbildungsmaßnahmen sowie die Gestaltung des Arbeitsumfeldes fokussieren um personelle Engpässe zu vermeiden.

²⁶ Vgl. Berthel (1997), S. 161f.

²⁷ Vgl. Corsten (2004), S. 192

2.3 Der Produktionsfaktor Material

Zunächst soll der Begriff Material definiert werden. Unter dem Terminus Material „[...]werden in der Regel alle Verbrauchsfaktoren, d.h. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe und bezogene Teile (Halb- und Fertigfabrikate) gezählt, die an einer beliebigen Stelle in den betrieblichen Produktionsprozess einfließen, wobei diese sowohl von außerhalb der Unternehmung beschafft werden, als auch aus einer vorgelagerten Produktionsstufe stammen können.“²⁸

Das Unternehmen hat demnach die Aufgabe, die Versorgungssicherheit mit externen als auch mit internen Materialien zu gewährleisten und dies am besten unter Berücksichtigung der „6 R der Logistik“, d.h.:

„Das *richtige* Material

Zur *richtigen* Zeit

Am *richtigen* Ort

In der *richtigen* Menge

In der *richtigen* Qualität

Zu den *richtigen* Kosten“²⁹

Die erste Frage für Unternehmen im Rahmen der Materialversorgung muss daher lauten: Wann wird welches Material in welcher Menge benötigt? Im ersten Schritt der Betrachtung des Produktionsfaktors Material wird daher mit einer näheren Erläuterung der Materialbedarfsermittlung begonnen.

Basierend auf dieser Festlegung kann weiterführend festgestellt werden, wie die Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann.

2.3.1 Bedarfsermittlung

Die Materialbedarfsermittlung hat die Aufgabe Art, Menge und Termin des für die Leistungserstellung notwendigen Materials zu bestimmen.³⁰

An dieser Stelle soll auf die Grundzüge der Festlegung der Art und des Bestellzeitpunktes sowie auf die grundlegenden Verfahren der Mengenplanung eingegangen werden.

Im Rahmen der Mengenplanung stellen sich unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit eingangs viele Fragen, um die Planungsmethode auszuwählen, wie etwa:

²⁸ Corsten (2004), S. 400

²⁹ Koether (2004), S. 21

³⁰ Vgl. Tempelmeier (2003), S. 11

- Schwankt der Materialbedarf und wenn ja, wie stark?
- Wie genau sind Schwankungen prognostizierbar?
- Wie viel Kapital wird durch die Bereitstellung gebunden?
- Wie groß ist das Absatzrisiko?
- Wie gut kann das Material gelagert werden?
- Welche Lagerkosten entstehen?
- Wie schnell kann der Bedarf gedeckt werden?
- Wie aufwendig ist die Bedarfsermittlung?³¹

Daraus ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten zur Bedarfsdisposition.

- Verbrauchsorientierte Bedarfsplanung

Die verbrauchs- oder bestandsorientierte Bedarfsplanung erfolgt an Hand des Bestandes. Man unterscheidet dabei zwischen Bestellpunkt- und Bestellrhythmusverfahren. Bestellpunktverfahren lösen eine Bestellung zu einem bestimmten Zeitpunkt aus, etwa bei Erreichen der Meldebestandsmenge.

Beim Bestellrhythmusverfahren erfolgt eine Bestellung immer in bestimmten Zyklen.

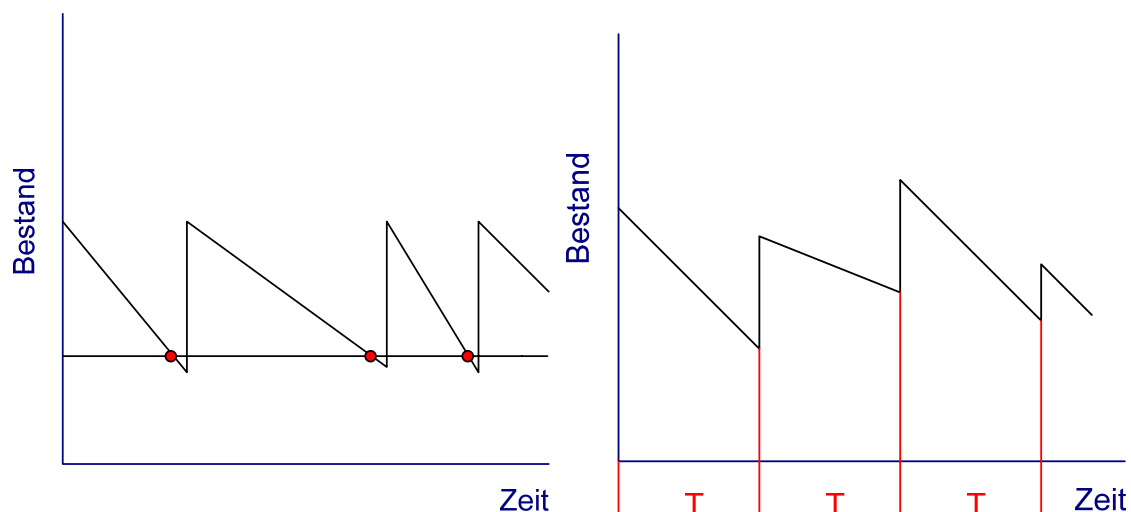


Abbildung 7 Darstellung von Bestellpunkt- und -rhythmusverfahren³²

Die Bestellmenge und der Bestellpunkt kann in beiden Fällen sowohl variieren als auch konstant sein.

³¹ Vgl. Koether (2004), S. 38

³² Quelle: Koether (2004), S.37

Verbrauchsorientierte Bedarfsplanung eignet sich für regelmäßige Bedarfe, wenige Varianten und Güte mit niedrigem Wert.³³

- Programmorientierte Bedarfsplanung

Die programm- oder auch bedarfsorientierte Bedarfsplanung basiert auf dem Hauptproduktionsprogramm einer Planungsperiode. Die Bedarfsmengen werden dabei aus den Aufträgen abgeleitet. Die Planung kann deterministisch, d.h. an Hand konkreter Kundenaufträge, oder stochastisch, d.h. aus dem Vertriebsplan, erfolgen.

- Deterministische Materialdisposition

Die deterministische Methode geht von konkreten Kunden- oder Vorratsaufträgen aus, d.h. der Primärbedarf ist somit bekannt. Es erfolgt ein Abgleich zwischen Bruttobedarf und Lagerbestand, woraus sich der Nettobedarf ergibt.

$$\text{Nettobedarf} = \text{Bruttobedarf} - \text{Lagerbestand}$$

Aus dem Nettobedarf lassen sich anschließend Sekundär- und Tertiärbedarf errechnen.

Die notwendigen Sekundär- und Tertiärbedarfe lassen sich an Hand der Stammdaten ermitteln. Ausgehend vom Endprodukt können die unterschiedlichen Bedarfe mittels verschiedener Möglichkeiten, z.B. mittels Stücklisten oder Gozintographen, aufgelöst werden.

Da die deterministische Materialdisposition auf vorhandenen Aufträgen basiert, sind die Kapitalbindung und das Absatzrisiko geringer als bei anderen Verfahren.

- Stochastische Materialdisposition

Die stochastische Materialdisposition beruht auf Verbrauchswerten der Vergangenheit. Mittels unterschiedlicher mathematischer Prognoseverfahren werden die Sekundärbedarfe berechnet. Beispielsweise bieten folgende Verfahren, je nach Bedarfsverlauf, Möglichkeit zur Berechnung: Einfacher Mittelwert, Gleitender Mittelwert, Gewogener gleitender Mittelwert und Exponentielle Glättung 1. Ordnung. Die angeführten Methoden sollen hier nicht näher erläutert werden.³⁴

³³ Vgl. Koether (2004), S.39 f.

³⁴ Vgl. Koether (2004), S. 39ff.

2.3.2 Auftragsplanung

Die im ersten Schritt ermittelten Bedarfe können entweder durch Eigenfertigung oder durch Fremdfertigung gedeckt werden.³⁵ Anhand der unternehmensinternen Produktionsauftragsplanung kann in weiterer Folge die Planung der extern zu beschaffenden Bedarfe erfolgen.

Die Auftragsplanung umfasst:

- Losgrößenbildung³⁶

Gründe für die Notwendigkeit zur Bildung von Losgrößen sind einerseits die Tatsache, dass auch bei vorliegenden Kundenaufträgen nicht alle Komponenten deterministisch ermittelt werden können, da die Lieferzeit dadurch zu groß werden würde, und andererseits, dass die Fertigung pro Kundenauftrag von einzelnen Komponenten zu unwirtschaftlich wäre.

Für die Bildung von wirtschaftlichen Losen können unterschiedliche Methoden angewendet werden, z.B. die Verwendung von festen Losgrößen oder die Andler'sche Losgrößenformel.

- Termin- und Kapazitätsplanung³⁷

Die Terminplanung basiert auf der Gesamtzeit eines Auftrags, welche an Hand der Ablaufstrukturen der Produktion ermittelt wird. Der Auftrag kann anschließend vorwärts, d.h. ausgehend von einem Starttermin, rückwärts, ausgehend vom Endtermin, oder in einer Mischform terminiert werden. Dabei bleiben vorhandene Kapazitäten meist noch unberücksichtigt.

Auf Basis der Durchlaufterminierung erfolgt im Anschluss die Terminierung der Kapazitäten. Mittels Belastungsrechnung wird das Belastungsprofil der einzelnen Kapazitäten erstellt, wodurch in weiterer Folge eine Kapazitätsabstimmung erfolgen kann.

2.3.3 Materialbeschaffung

„Allgemein lassen sich unter dem Begriff Beschaffung all jene Aktivitäten subsumieren, die darauf ausgerichtet sind, der Unternehmung die Produktionsfaktoren zur Verfügung zu stellen, die sie im Rahmen ihrer Sachzielerfüllung benötigt, die sie aber nicht selbst zu produzieren vermag.“³⁸

³⁵ Vgl. Corsten (2004), S. 445

³⁶ Vgl. Westkämper (2004), S. 92f.

³⁷ Vgl. Dangelmaier (2004), S. 133 f.

³⁸ Corsten (2004), S.399

Die Materialbeschaffung beschäftigt sich demnach mit dem Bezug von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, sowie Halb- und Fertigfabrikaten von außen. Das Aufgabenfeld der Materialbeschaffung lässt sich grob in folgende Punkte unterteilen:

- Ermittlung der optimalen Bestellmengen
- Lieferantenbezogene Aufgaben (z.B. Lieferantensuche, Lieferantenmanagement und Lieferantenbewertung)
- Beschaffungsorganisation³⁹

Weitere Themen im Bezug auf das Materialversorgungspotential sind etwa die Lagerhaltung, der innerbetriebliche Transport, Qualitäts- oder Abfallmanagement. Diese sollen hier nicht näher erläutert werden.

Bisher wurden nun Einflüsse beschrieben, die innerhalb einer Fertigung auf das Materialversorgungspotential wirken. Im Weiteren werden nun Ursachen für das Entstehen von materiellen Engpässen abgeleitet.

2.3.4 Ursachen für Materialengpässe

Basierend auf den grundlegenden Funktionen der Materialwirtschaft⁴⁰ einer Produktion, können Ursachen in folgenden Bereichen zum Entstehen von Materialengpässen führen:

- Materialbeschaffung
- Auftragsplanung
- Innerbetrieblicher Transport
- Lager
- Qualität

Innerhalb jener Aufgabenfelder können unterschiedliche, teilweise sich überschneidende, Gründe für einen Materialengpass verantwortlich sein. Diese sollen wiederum mit Hilfe eines Ishikawa-Diagramms präsentiert werden.

³⁹ Vgl. Grün (1994), S. 471 ff.

⁴⁰ Vgl. Grün (1994), S. 450

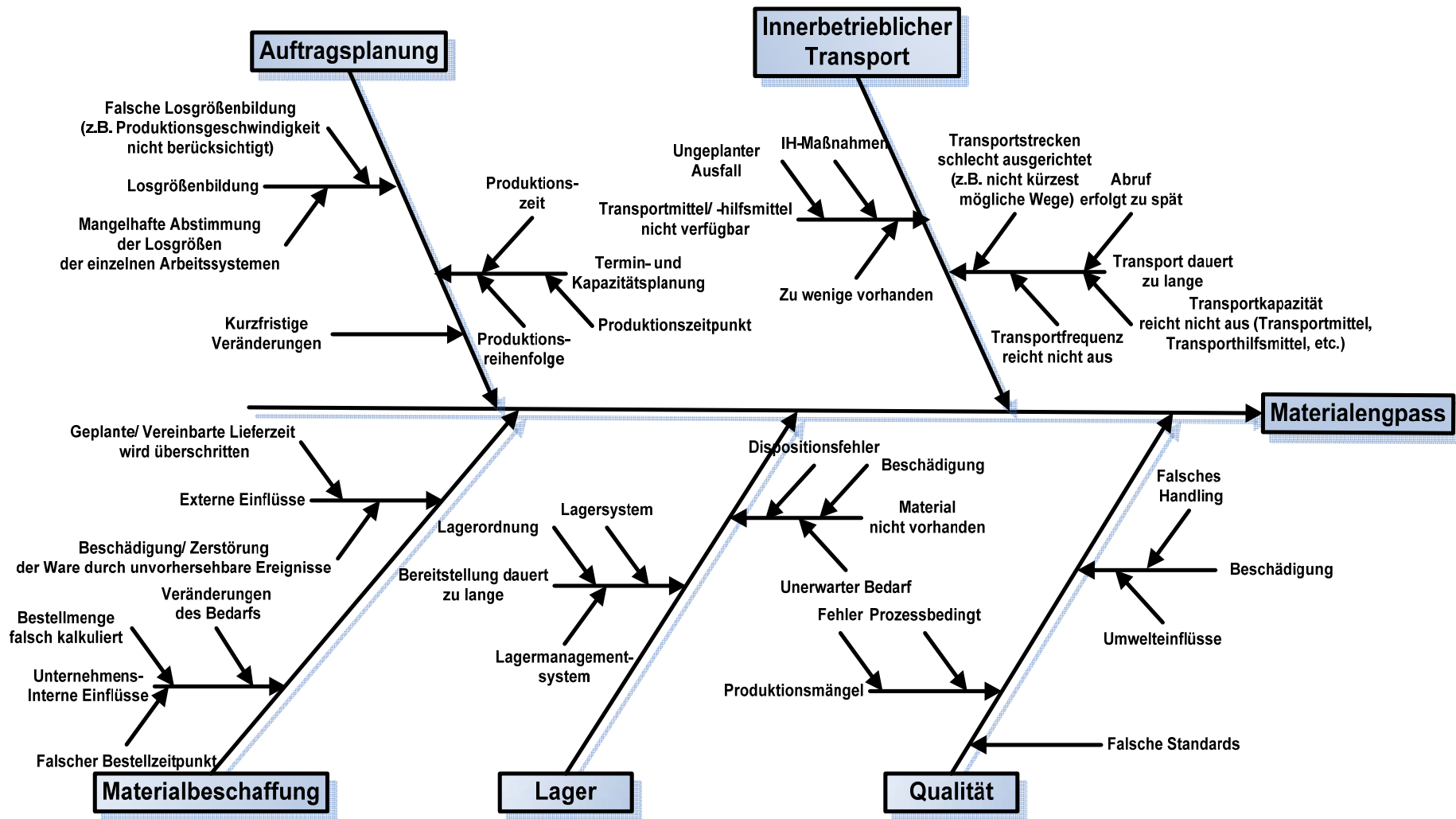


Abbildung 8 Ishikawa-Diagramm Materialengpässe

Quelle: Eigene Darstellung

In den fünf dargestellten Hauptgründen für Materialengpässe wirken wiederum verschiedene Faktoren zusammen, in denen die Ursache für einen materiellen Engpass liegen kann.

Die Auftragsplanung umfasst, wie in Kapitel 2.3.2. erläutert, die Losgrößenplanung sowie die Termin- und Kapazitätsplanung. Engpässe können innerhalb dieser Aufgabenfelder auf Planungsfehler zurückzuführen sein. Ebenso können kurzfristige Veränderungen der Planung, z.B. Eillose, zu Engpasssituationen führen.

Da die Materialbeschaffung die Aufgabe hat, die Produktion mit externen Einsatzstoffen zu versorgen, können die Gründe für einen materiellen Engpass in diesem Aufgabenfeld sowohl unternehmensintern als auch extern sein. Auf interner Seite können die Ursachen, abgeleitet aus den in 2.3.3. beschriebenen Aufgaben, in der Bestellmenge, dem Bestellzeitpunkt, dem Lieferantenmanagement oder der Organisation der Beschaffung liegen. Extern können beispielsweise Gründe auf Lieferantenseite oder Umwelteinflüsse vorliegen, die einen Materialengpass hervorrufen.

Die Lagerhaltung kann auf Grund von zwei wesentlichen Punkten zu einem Materialengpass führen: Entweder ist das Material nicht vorhanden oder es ist nicht verfügbar bzw. dauert die Bereitstellung zu lange. Wesentliche Komponenten der Lagerhaltung und somit auch mögliche Engpassursachen sind die Disposition, die Lagerordnung, das Lagermanagement oder das Lagersystem⁴¹.

Ein weiterer Faktor der Gewährleistung der Versorgungssicherheit einer industriellen Produktion ist der innerbetriebliche Transport. Engpässe können in diesem Aufgabenbereich durch zu späte Bereitstellung bzw. nicht erfolgte Bereitstellung entstehen. Die dargestellten sekundären Ursachen basieren auf eigenen Überlegungen, die aus der Zusammensetzung eines innerbetrieblichen Transportsystems abgeleitet wurden.

Wie im Fall von Maschinen- und Personalengpässen kann auch mangelnde Qualität zu Materialengpässen führen, da die Bedarfsmenge auf Grund einer hohen Ausschussrate nicht gedeckt werden kann. Ursachen können hier etwa in Produktionsmängeln, Beschädigungen oder generell falsch definierten Standards liegen.

Vor allem für Materialengpässe liegt die Ursache meist in einem der anderen Produktionsfaktoren eines vorgelagerten Systems. So arbeitet beispielsweise eine Maschine zu langsam oder es kommt zu Planungsfehlern durch den Menschen. Grund dafür ist, dass das Material an sich keine Leistung erbringt, sondern nur verfügbar sein muss. Ein Materialengpass wird daher entweder durch einen anderen Engpass, welcher auf den ersten Blick nicht unbedingt ersichtlich ist, oder durch Fehler verursacht. Daneben können aber auch externe Einflüsse, z.B. Rohstoffknappheit, zu materiellen Engpässen führen.

⁴¹ Vgl. Grün (1994), S. 511ff.

Um das Produktionssystem zu komplettieren, wird an dieser Stelle der Produktionsfaktor Methode eingehender betrachtet.

2.4 Der Produktionsfaktor Methode

„Im allgemeinsten Sinn ist eine Methode ein mehr oder weniger genau beschreibbarer Weg zur Realisierung eines bestimmten Zieles bzw. einer bestimmten Aufgabe. Weg ist dabei eine Folge von mehr oder weniger konkreten Handlungsanweisungen oder strategischen Maximen.“⁴²

Der Faktor Methode setzt sich aus zwei wesentlichen Dimensionen zusammen⁴³:

1. Werkzeuge, Maschinen, PC

Diese Aspekte lassen sich analog wie der Produktionsfaktor Maschine behandeln. An dieser Stelle soll daher nur auf die zweite Dimension näher eingegangen werden:

2. Wissen und Information

Betrachtet man die Methode unter dem Gesichtspunkt der im 2. Kapitel gegebenen Erklärung als Faktor in einem Produktionssystem, so ist sie, neben der zuvor beschriebenen Dimension, der Überbegriff für Prozessabläufe, eingesetzte Fertigungsverfahren, Arbeitsabfolgen und Arbeitsschritte, etc. Die Methode ist somit in anderen Worten das Wissen, wie etwas gemacht werden muss, und die damit verbundenen Informationen. Die Produkterstellung und die damit zusammenhängenden Prozesse werden stark durch Wissen geprägt. Die Verfügbarkeit von Wissen ist somit eine wesentliche Voraussetzung für die Leistungserbringung. Wildemann sieht in Wissen und Information sogar den entscheidenden Erfolgsfaktor. Während die anderen Produktionsfaktoren am Markt erworben werden können und für alle Mitbewerber die gleichen Kosten darstellen, wird Wissen zum Großteil über Erfahrung gewonnen.⁴⁴

Picot sieht die wachsende Bedeutung der Methode als Produktionsfaktor in den neuen Marktbedingungen, die er wie folgt definiert⁴⁵:

- Digitalisierung der Wertschöpfungskette
- Steigende Potentiale der IuK-Technologie
- Virtualisierung der Märkte

⁴² Kamitz (1980), S. 429

⁴³ Vgl. Engelhardt (2000)

⁴⁴ Vgl. Wildemann, S. 21

⁴⁵ Picot, Fiedler (2007), S. 3

- Entkopplung von Steuerungs- und Leistungsflüssen
- Verschmelzung materieller und immaterieller Leistung
- Ausweitung potentieller Anwendungsgebiete
- Entstehung neuer Märkte
- Steigende Einnahmen auf Grund von Netzeffekten

2.4.1 Wissensmanagement

Wissensmanagement stellt einen Teilbereich des Unternehmensmanagements dar. Es gibt keine eindeutige Definition für den Begriff. Faisst sieht die Aufgabe des Wissensmanagements darin, internes Wissen einer Organisation, z.B. technische Details oder „Lessons learned“, für die Zukunft explizit zu erschließen und verfügbar zu machen.⁴⁶ Diese Definition beschreibt lediglich einen Teil der Aufgaben des Wissensmanagements, da der Aspekt externes Wissen hier weitgehend ausgeklammert wird.

Willke charakterisiert Wissensmanagement wesentlich umfassender: „Wissensmanagement umfasst das Management der Daten-, Informations- und Wissensverarbeitung im Unternehmen. Wissen und Information werden dabei als grundsätzlich handhabbare Objekte angesehen, die direkt oder indirekt über Wissens- und Informationsträger in materieller (Daten-)Form vorliegen. Wissensmanagement beschränkt sich jedoch nicht nur auf den technischen Problemkreis, sondern es verwaltet auch insbesondere die personellen und institutionellen Wissenspotentiale und deren Verarbeitung.“⁴⁷

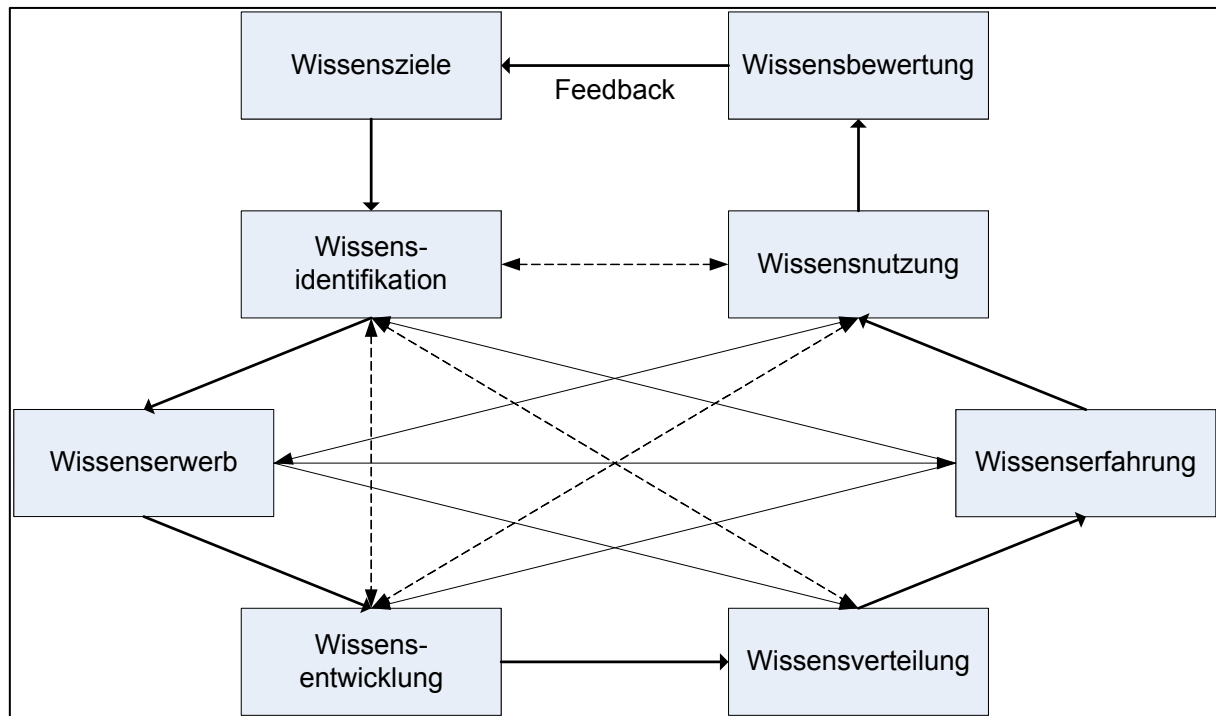
Für das Management von Wissen ist es im ersten Schritt notwendig zwischen explizitem und implizitem Wissen zu unterscheiden, um die einzelnen Wissensträger steuern und koordinieren zu können. Unter Wissensträgern werden Objekte, Personen oder Systeme zusammengefasst, welche in der Lage sind, Wissen zu speichern und zu repräsentieren. Es handelt sich dabei etwa um Dokumentationen, Daten-, Modell- und Methodendatenbanken oder Experten.⁴⁸

Die nachstehende Abbildung zeigt die Aufgaben, welche es im Rahmen des Wissensmanagements zu bewältigen gilt.

⁴⁶ Vgl. Faisst (2001), S. 510

⁴⁷ Willke (1998), S. 39

⁴⁸ Vgl. Rehäuser, Krcmar S. 16ff.

Abbildung 9 Aufgaben des Wissensmanagements⁴⁹

2.4.2 Informationsmanagement und Informationssysteme

Im Grunde genommen ähneln die Aufgaben des Informationsmanagements jenen des Wissensmanagements und gliedern sich in drei wesentliche Punkte:

- Informationsbedarfsplanung
- Aufbau und Pflege des Informationssystems
- Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit des Informationsmanagements⁵⁰

Zwischen Wissen und Informationen besteht folgender Zusammenhang: Informationen werden durch die Zuordnung einer Bedeutung zu Daten gewonnen, d.h. Daten werden assoziiert. Wissen entsteht schließlich durch die Verknüpfung von Informationen, d.h. Informationen werden durch die Kenntnis über deren Zusammenhang sinnvoll verknüpft.⁵¹

Unter dem Begriff Informationssysteme werden Systeme von der operativen Produktionssteuerung bis zur strategischen Managemententscheidung und ebenso Kommunikationssysteme zusammengefasst.⁵² Sie können in unterschiedlichen Ausprägungen, z.B. Datenbanken oder Computernetzwerke, auftreten, verfolgen aber alle samt dieselben Ziele:

⁴⁹ Quelle: Probst (1999), S.58

⁵⁰ Vgl. Biethahn, Muksch, Ruf, (2004), S. 11

⁵¹ Vgl. Bodendorf (2005), S.1f.

⁵² Vgl. Schwaninger (1994), S. 109

- Umfassende, wirtschaftlich vertretbare Aufzeichnung von potentiell relevanten Fakten
- Annäherung der Datenflüsse an die zu Grunde liegenden Realprozesse
- Organisationsübergreifende Verbindung im Hinblick auf erhöhte Effektivität und Effizienz
- Versorgung von Subsystemen mit Daten, welche für die Aufgabenbewältigung erforderlich sind
- Erleichterung der Transformation von Daten in Informationen
- Unterstützung der Führungssysteme
- Verbesserung der Entscheidungsgrundlage
- Unterstützung von wirksamer Kommunikation

Obwohl man meinen könnte, dass man gar nicht über genug Informationen verfügen kann, besteht die Gefahr sich in einem Überangebot an Informationen zu verlieren. Daher ist es Aufgabe des Wissensmanagements Mechanismen zu gestalten, welche die verfügbaren Informationen strukturieren und filtern.⁵³

2.4.3 Wissensbedarf

Der Wissensbedarf charakterisiert die Art, Menge und Beschaffenheit des für die Aufgabenerfüllung erforderlichen Wissens. Man unterscheidet dabei zwischen dem subjektiven Bedarf, welcher vom individuellen Aufgabenträger definiert wird, und dem objektiven Bedarf, welcher sich aus der Gestaltung und Struktur der Aufgabe selbst ergibt.⁵⁴ Der subjektive Wissensbedarf äußert sich meist in der Wissensnachfrage. Dem gegenüber steht ein gewisses Wissensangebot innerhalb des Unternehmens. Die Bewertung und Messung von Wissen innerhalb einer Unternehmung erweist sich u.a. auf Grund seiner Immaterialität als schwierig. Während die Leistung des Personals etwa über den Output erhoben werden kann, stellt sich die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Methoden und einer Bezugsgröße als eher abstrakt dar. Trotzdem gibt es einige Methoden zur Wissensmessung. Man unterscheidet dabei zwischen deduktiv/summarischen Ansätzen und induktiv/analytischen⁵⁵, auf welche hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

Ausgehend vom vorhandenen Wissensangebot gilt es, den Wissensbedarf über die Wissensnachfrage zu ermitteln.

⁵³ Vgl. Mandl, Reinmann-Rothmeier (2000), S. 21

⁵⁴ Vgl. Feldhoff (2005), S. 192

⁵⁵ Vgl. Picot, Fiedler, S. 8ff.

Die Wissensbedarfsermittlung stellt sich deutlich abstrakter dar, als eine herkömmliche Mengenbedarfsermittlung. Eine rechnerische Kalkulation, wie im Falle des Materials, ist hier nicht durchführbar. Eine Möglichkeit stellt das Wissensintensitätsportfolio⁵⁶ von Porter und Millar dar, wobei Unternehmen die Wissensintensität ihrer Produkte und Prozesse beurteilen und daraus die Art des Wissensbedarfs bzw. die Priorität von Wissen für die Leistungserstellung ableiten.

Wesentliche Schwierigkeiten der Wissensbedarfsermittlung und Wissensbedarfsdeckung liegen im impliziten Wissen. Dieses ist sowohl schwierig zu erheben als auch zu schaffen. Während der objektive implizite Wissensbedarf zum Großteil aus den Aufgaben abgeleitet werden kann, ist der subjektive Bedarf schwer zu ermitteln. Häufig wird Wissen für die Aufgabenerfüllung vorausgesetzt bzw. als nicht notwendig empfunden, obwohl dieses für den Mitarbeiter von Bedeutung wäre. Der Bedarf wird somit nicht erkannt. Des Weiteren entsteht Wissen, wie bereits erwähnt, durch die Verknüpfung von Informationen. Auch bei Bereitstellung von Informationen ist eine Umsetzung zu implizitem Wissen nicht gewährleistet, wodurch es dazu kommen kann, dass der Wissensbedarf nicht gedeckt wird.

Wie in Punkt 2.1. festgestellt wurde, stellen die Verfügbarkeit von Wissen und Informationen auf Grund der Marktbedingungen wesentliche Wettbewerbsfaktoren dar. Das bedeutet, dass das Fehlen dieser beiden Faktoren zu deutlichen Nachteilen, z.B. in Bezug auf Marktposition, Prozesseffizienz oder Kosten führen kann. Effektives Wissens- und Informationsmanagement ist daher für Unternehmen unabdingbar, um am Markt bestehen zu können. Auch wenn der Methodenbedarf dem Unternehmen bekannt ist, können auch hier wieder bestimmte Umstände zu Engpässen führen, auf welche nun weiter eingegangen werden soll.

2.4.4 Ursachen für Methodenengpässe

Wie eingangs erwähnt, setzt sich der Faktor Methode aus den beiden Dimensionen Werkzeug, Maschine, PC bzw. Wissen und Information zusammen. Auch an dieser Stelle soll der Fokus auf der zweiten Dimension liegen. Methodenengpässe können somit auf fehlendes Wissen bzw. auf fehlende Informationen zurückgeführt werden. Dabei kann das Wissen/ die Information im Unternehmen aus unterschiedlichen Gründen generell nicht vorhanden sein, oder bestimmte Umstände führen dazu, dass die Verfügbarkeit (vorübergehend) nicht gegeben ist. Ebenso können Nichtverfügbarkeiten bestimmter Infrastrukturen zu einem Methodenengpass führen. Nähere Ursachen werden wiederum mittels eines Ursachen-Wirkungsdiagramms erschlossen.

⁵⁶ Vgl. Rehäuser, Krcmar S. 34

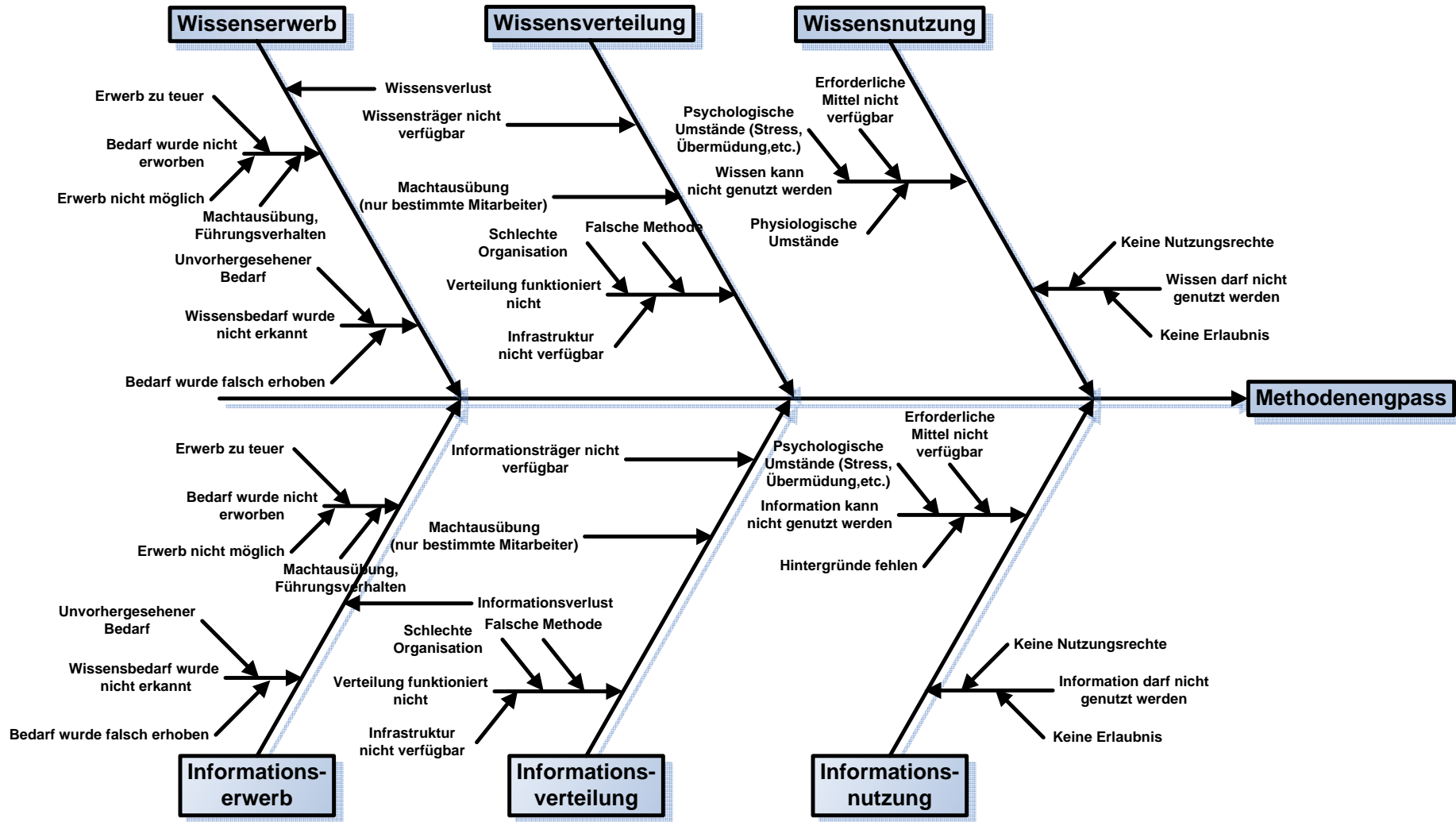


Abbildung 10 Ishikawa-Diagramm Methodenengpässe

Quelle: Eigene Darstellung

Abgeleitet aus den Aufgaben des Wissensmanagements, welche in Punkt 2.4.1. beschrieben wurden, können Methodenengpässe auf Ursachen in drei wesentlichen Bereichen zurückgeführt werden: Dem Erwerb, der Verteilung und der Nutzung von Wissen bzw. Informationen, da Wissen erst aus der Zusammensetzung von Informationen entsteht.

Der Erwerb von Wissen und Information ist die Grundvoraussetzung dafür, dass diese genutzt werden können. Kommt es zu einem Methodenengpass, so kann es der Fall sein, dass der Bedarf nicht erkannt wurde und die Methode daher nicht verfügbar ist. Ebenso ist es möglich, dass der Erwerb aus unterschiedlichen Gründen nicht erfolgt ist oder Wissen bzw. Informationen verloren wurden.

Wurden Wissen und Informationen erworben, so ist die nächste Aufgabe deren Verteilung. Kommt es hierbei zu Fehlern oder Nichtverfügbarkeiten, kann daraus ein Methodenengpass resultieren. An dieser Stelle werden auch Wechselwirkungen zu den anderen Produktionsfaktoren, wie die Nichtverfügbarkeit von Mensch oder Maschine als Wissens- bzw. Informationsträger, deutlich.

Der nächste Schritt nach der Bereitstellung von Wissen und Information wäre deren Nutzung. Eine mögliche Engpassursache kann hier darin liegen, dass die Methode, z.B. auf Grund von Nichtverfügbarkeiten anderer Produktionsfaktoren oder psychologischer und physiologischer Umstände, nicht genutzt werden kann. Ebenso kann es der Fall sein, dass Wissen bzw. Informationen nicht genutzt werden dürfen.⁵⁷

2.5 Reflexion

Das Gesamtpotential einer Produktion setzt sich, wie im vorliegenden Kapitel gezeigt wurde, aus den vier Teilpotentialen Maschine, Mensch, Material und Methode zusammen, deren Leistungsfähigkeit wiederum durch unterschiedliche Einflussparameter bestimmt wird. Das Leistungspotential eines Produktionssystems wird demnach vom Zusammenwirken der vier beschriebenen Produktionsfaktoren bestimmt. Aus der am Anfang des Kapitels beschriebenen Engpassdefinition geht hervor, dass dann von einem Engpass gesprochen wird, wenn ein Teilpotential die anderen in seiner Leistung einschränkt.

⁵⁷ Vgl. Schmidt (2002), S. 88

Basierend auf der dargestellten Zusammensetzung des Produktionssystems lassen sich somit vier Arten von Engpässen in der Produktion ableiten:

- Maschinenengpässe
- Personalengpässe
- Materialengpässe
- Methodenengpässe

Für das Entstehen von Produktionsengpässen können unterschiedliche Anlässe verantwortlich sein. Grund dafür ist, dass, wie gezeigt wurde, innerhalb eines Produktionsfaktors viele Parameter zusammenwirken. Zwar ist es relativ einfach die Art des Engpasses zu identifizieren, z.B. Maschinenengpass, die Ursachen dafür können aber vielfältig sein.

Generell können Engpässe durch zwei wesentliche Gründe entstehen:

- Ein Teilpotential ist allgemein zu gering dimensioniert. Dies bedeutet, dass das Potential eines Produktionsfaktors so ausgelegt ist, dass es selbst bei voller Verfügbarkeit und maximaler Leistung die anderen einschränkt.
- Bestimmte Umstände führen dazu, dass das Potential nicht ausreicht und andere einengt, d.h. unterschiedliche Einflussfaktoren führen zu Kapazitätsverlusten, wodurch die erforderliche Leistung nicht erbracht werden kann und andere Teilpotentiale somit eingeschränkt werden. Hierbei können Ursachen im Allgemeinen in zwei Punkten liegen:
 - Verfügbarkeit des Produktionsfaktors, d.h. der Produktionsfaktor stellt auf Grund seiner Nichtverfügbarkeit einen Engpass dar
 - Synchronisation der Produktionsfaktoren, d.h. es kommt durch das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren zu einem Engpass

Unternehmen stehen damit vor der Aufgabe ihre Engpässe zu identifizieren und analysieren, um Ursachen herauszufinden und gegebenenfalls zu beheben. Auf die dazu zur Verfügung stehenden Möglichkeiten soll im folgenden Kapitel weiter eingegangen werden.

3 Methoden zur Identifikation und Analyse von Engpässen

In Kapitel 2 wurden die Arten von Produktionsengpässen und deren Ursachen näher erläutert. Weiters soll nun darauf eingegangen werden, wie diese Engpässe und die Gründe dafür festgestellt werden können. Die Engpassidentifikation und Engpassanalyse kann mit Hilfe verschiedener Methoden und Werkzeuge vorgenommen werden, die sich für unterschiedliche Anwendungsgebiete bzw. Zielsetzungen eignen.

Aus der Vielfalt der Identifikations- und Analyseinstrumente werden in diesem Kapitel folgende ausgewählte Methoden, zur Behandlung der Engpassproblematik vorgestellt:

- Trichtermodell
- Durchlaufdiagramme
- Betriebskennlinien
- Warteschlangenmodelle
- Simulationsmodelle

Dem Leser dieser Diplomarbeit wird an dieser Stelle ein Spektrum möglicher Methoden zur Identifikation und Analyse vorgestellt, wodurch ein genereller Überblick über unterschiedliche Vorgehensweisen gegeben wird. Die hier getroffene Auswahl zeigt die Breite der Methoden und die Vielfältigkeit ihrer Anwendungen. Je nach Spezifikation der jeweiligen Problemstellung sind die unterschiedlichen Werkzeuge in ihrer Anwendung mehr oder weniger sinnvoll sind. Eine wesentliche Forschungsfrage dieser Diplomarbeit ist es daher festzulegen, wie situativ eine Entscheidung für eine geeignete Methode getroffen werden kann. An Hand zweier fiktiver Beispiele und dem anschließenden Praxisprojekt wird dem Leser verdeutlicht, welche Kriterien für die Methodenauswahl relevant sind und wann welche Methode Sinn macht.

3.1 Das Trichtermodell

Das Trichtermodell ist eine bewährte Darstellungsmethode eines Produktionssystems.

Bei diesem Modell wird jedes Arbeitssystem der Produktion als Trichter betrachtet. Die am Arbeitssystem ankommenden Lose bilden mit den bereits vorliegenden Losen den Bestand.

Diese fließen nach vollendeter Bearbeitung aus dem Trichter ab. Die Trichteröffnung stellt die Leistung des Arbeitssystems dar.⁵⁸

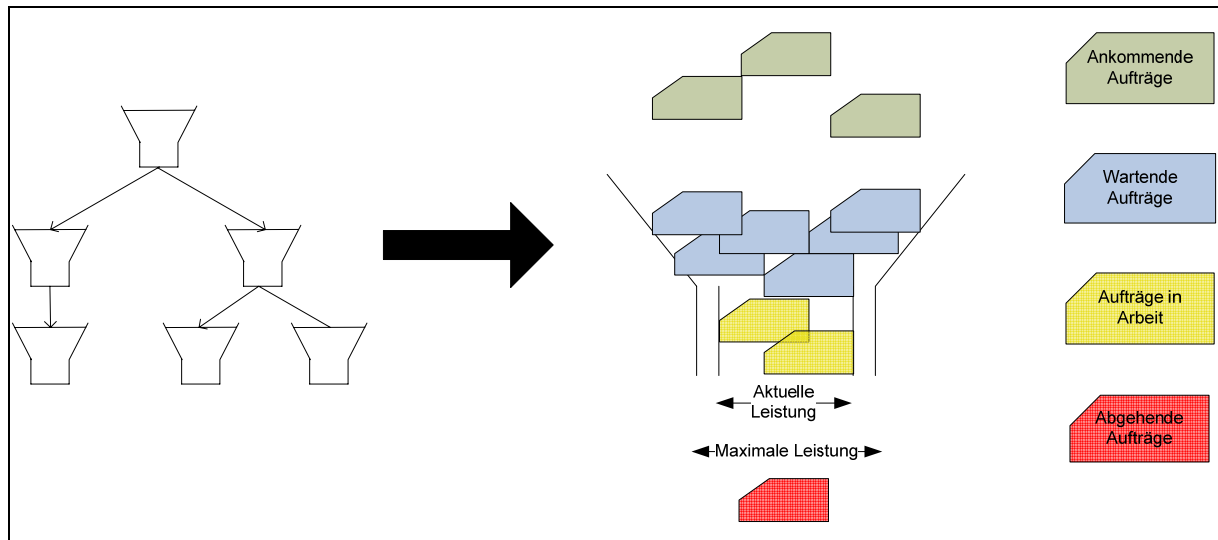


Abbildung 11 Das Trichtermodell⁵⁹

Das Trichtermodell stellt im Prinzip die Grundidee der Engpassidentifikation in einem Produktionssystem dar. Durch die Darstellung kann zwar ein Engpass erkannt werden, allerdings ist keine Aussage über das Zusammenwirken der Parameter möglich. Die Ergebnisse des Trichtermodells sind somit lediglich Ausgangspunkt für weitere Analysen.

3.2 Das Durchlaufdiagramm

Das Durchlaufdiagramm vergleicht Zu- und Abgänge eines Arbeitssystems und übernimmt die Ideen des Trichtermodells.

Dabei werden die fertigen Aufträge über dem Fertigstellungstermin kumulativ aufgetragen. Dies stellt die so genannte Abgangskurve dar. Ebenso werden die Zugänge abgebildet, indem die Aufträge über den Zugangstermin aufgetragen werden.⁶⁰

⁵⁸ Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 10

⁵⁹ Eigene Darstellung modifiziert nach Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 10

⁶⁰ Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 10

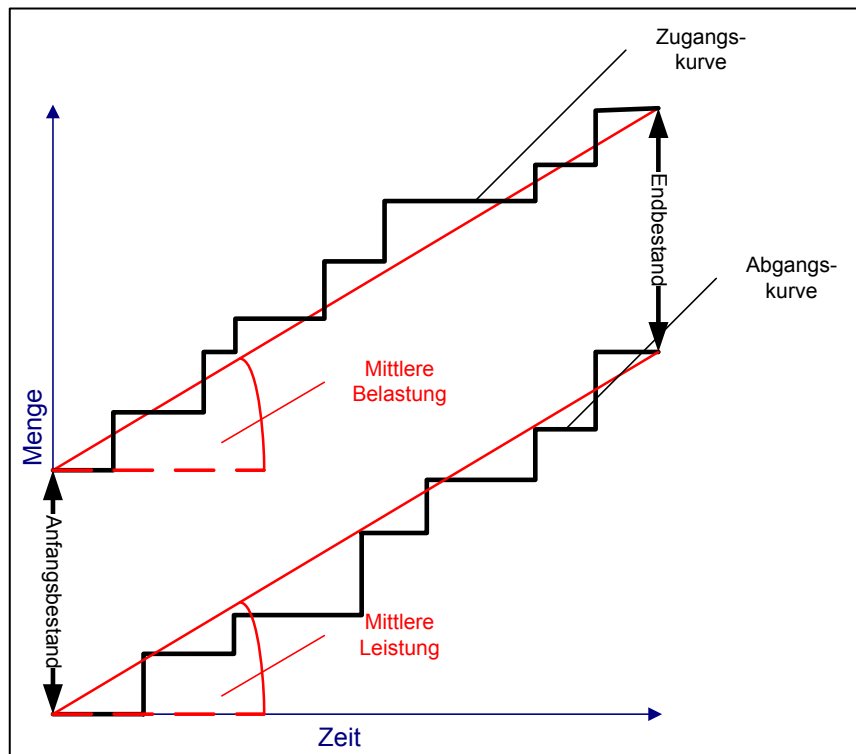


Abbildung 12 Durchlaufdiagramm⁶¹

Das Durchlauf Diagramm basiert somit auf der vergleichenden Betrachtung zwischen der mittleren Leistung bzw. der mittleren Belastung eines Arbeitssystems über einen festgelegten Zeitraum.

Des Weiteren können aus dem Durchlaufdiagramm folgende Kenngrößen abgelesen werden⁶² :

- Auslastung: Dem Abgangsverlauf des Systems kann der Kapazitätsverlauf gegenüber gestellt werden. Aus der Differenz zwischen Soll und Ist kann die Auslastung abgeleitet werden.
- Bestand: Der Bestand wird durch den vertikalen Abstand zwischen Zu- und Abgängen zu einem bestimmten Zeitpunkt beschrieben.
- Durchlaufzeit: Die horizontale Entfernung zwischen Zutritts- und Austrittspunkt eines Auftrages stellt die Durchlaufzeit dar.
- Terminabweichungen: Durch Abgleich zwischen dem aus dem Diagramm erkennbaren Abgangstermin und dem definierten Soll-Termin wird eine

⁶¹ Quelle: Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 10

⁶² Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 11

Terminabweichung erkenntlich. Abweichungsflächen nach links indizieren eine Verspätung, nach rechts eine frühzeitige Fertigstellung.

Idealerweise sollten die Linien der mittleren Belastung und Leistung, wie in der oben dargestellten Abbildung, parallel verlaufen. Das ist dann der Fall, wenn der Anfangsbestand dem Endbestand des Beobachtungszeitraumes entspricht. Linien, welche nicht parallel verlaufen, d.h. auseinander oder zusammen laufen, können Anzeichen eines Engpasses sein.

- Fall 1

Im ersten Fall ist die mittlere Belastung höher als die mittlere Leistung des Arbeitssystems, die beiden Linien laufen auseinander.

Das Resultat sind wachsende Bestände und in weiterer Folge eine Verlängerung der Durchlaufzeit mit möglichen Terminabweichungen. Das System ist im betrachteten Zeitraum überlastet.

- Fall 2

Die mittlere Leistung des Arbeitssystems ist höher als seine mittlere Belastung. Die beiden Linien laufen aufeinander zu. Das dem System vorgelagerte Work Center kann im dargestellten Zeithorizont die Nachfrage des Systems bei mittlerer Leistung nicht decken. In Folge kommt es zu einer schlechten Auslastung, das Arbeitssystem ist unterlastet und es können Stillstände resultieren.

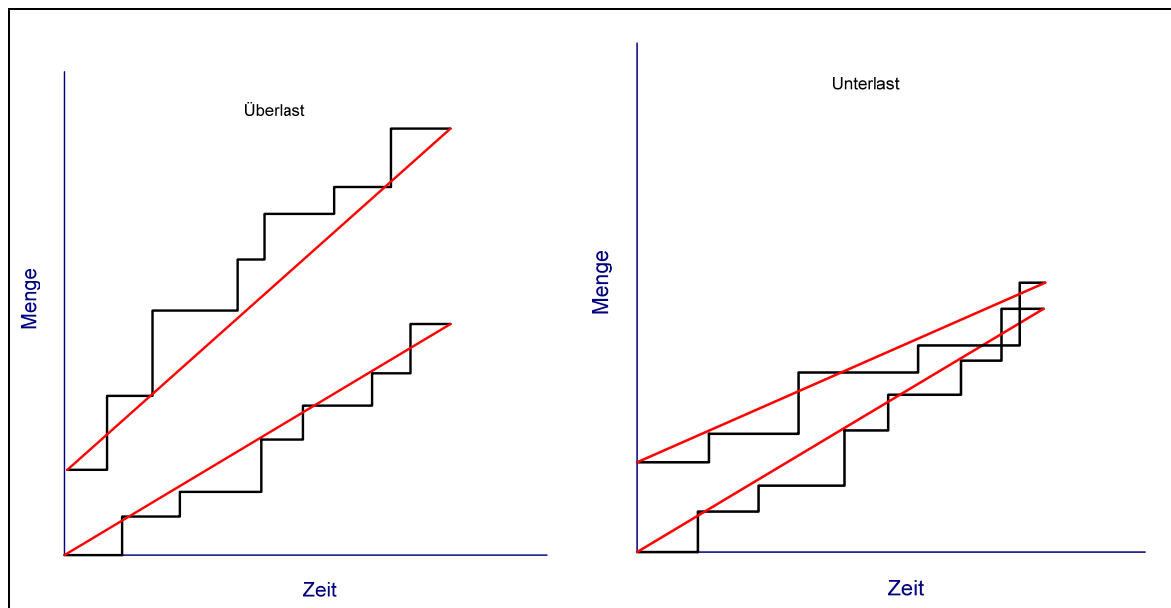


Abbildung 13 Darstellung von Fall 1 und 2⁶³

Sowohl Trichtermodell als auch Durchlaufdiagramm und die daraus resultierenden Kennzahlen beschreiben lediglich einen bestimmten stationären Zugang.⁶⁴

Diese Betrachtung mag für die Analyse von Produktionssystemen mit gleichmäßigem Produktionsprogramm ausreichend sein. Die Aussagekraft bei schwankenden Produktionszyklen oder variablem Produktmix ist allerdings beschränkt. Dazu sind Modelle erforderlich, die mehrere unterschiedliche Betriebszustände beschreiben bzw. diese berücksichtigen können. Die folgenden Methoden sind dazu im Stande.

3.3 Betriebskennlinien

Betriebskennlinien veranschaulichen die „Menge potentieller Produktionsmöglichkeiten“.⁶⁵ Betriebskennlinien untersuchen sowohl verschiedene Betriebszustände als auch die Zusammenhänge zwischen logistischen Zielgrößen.⁶⁶

In einem Diagramm werden die Kombination von Durchsatz und Durchlaufzeit (Betriebskennlinie) sowie jene von Durchsatz und Beständen (Bestandskennlinie) dargestellt.

⁶³ Quelle: Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 15

⁶⁴ Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S.15

⁶⁵ Engelhardt (2000), S. 40

⁶⁶ Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 15

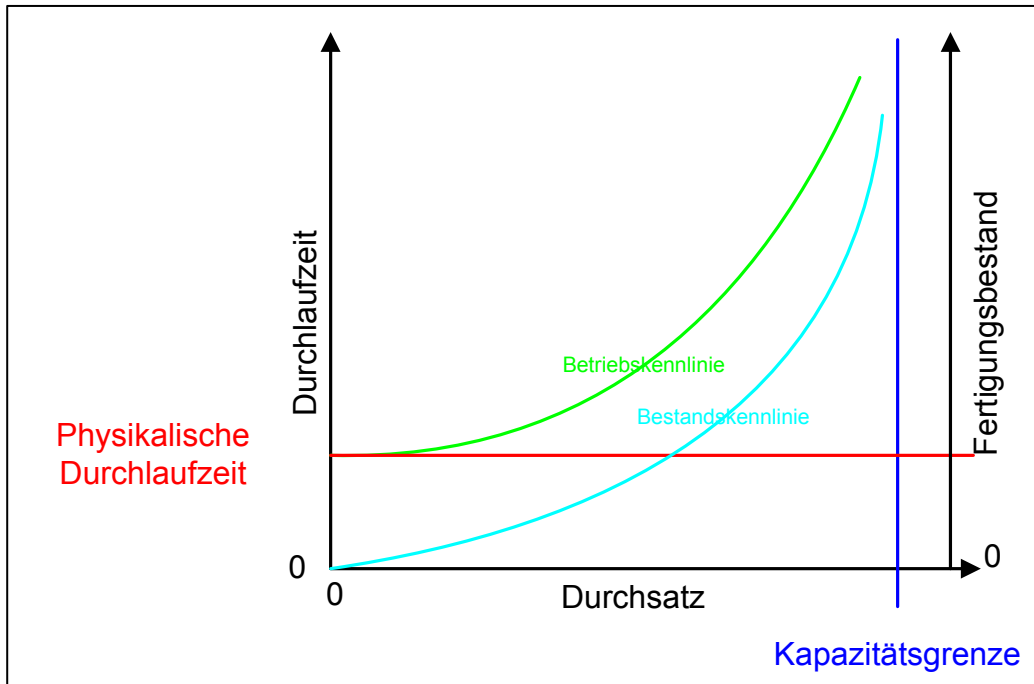


Abbildung 14 Beispiel für die Darstellung von Betriebs- und Bestandskennlinie⁶⁷

Die Kennlinien lassen sich mit Hilfe logistischer Kenngrößen berechnen und bieten die Möglichkeit, die Auswirkung von Optimierungsversuchen auf den Kurvenverlauf zu untersuchen.

Betriebskennlinien können mit Hilfe folgender Kennzahlen beschrieben werden⁶⁸:

- Flussfaktor

Der Flussfaktor beschreibt das Verhältnis der Durchlaufzeit zur physikalischen Durchlaufzeit.

$$\text{Flussfaktor} = \frac{\text{Durchlaufzeit}}{\text{Physikalische Durchlaufzeit}}$$

Als physikalische Durchlaufzeit bezeichnet man jene Zeit, die für die reine Bearbeitung benötigt wird.

Der logistische Idealfall wäre demnach ein Flussfaktor = 1, d.h. die reine Bearbeitung ohne Warte-, Liege- oder Transportzeiten.

⁶⁷ Quelle: Engelhardt (2000), S. 41

⁶⁸ Vgl. Engelhardt (2000), S. 45ff.

- Auslastung

Die Auslastung eines Arbeitssystems wird definiert durch das Verhältnis von Durchsatz pro Zeiteinheit zur Kapazität.

$$\text{Auslastung} = \frac{\text{Durchsatz pro Zeiteinheit}}{\text{Kapazität}}$$

- Work in Progress

Work in Progress bezeichnet die aktuellen Fertigungsbestände in einem Arbeitssystem. Diese berechnen sich durch Multiplikation von Durchlaufzeit und dem Durchsatz pro Zeiteinheit.

$$\text{Work In Progress} = \text{Durchlaufzeit} * \text{Durchsatz Pro Zeiteinheit}$$

Der momentane Zustand eines Systems wird mit dem so genannten Betriebs- oder Fertigungspunkt beschrieben. Das ist jener Punkt auf der Betriebskennlinie, der den betrachteten Betriebszustand, d.h. Durchlaufzeit, Bestand und Kapazität, beschreibt.⁶⁹

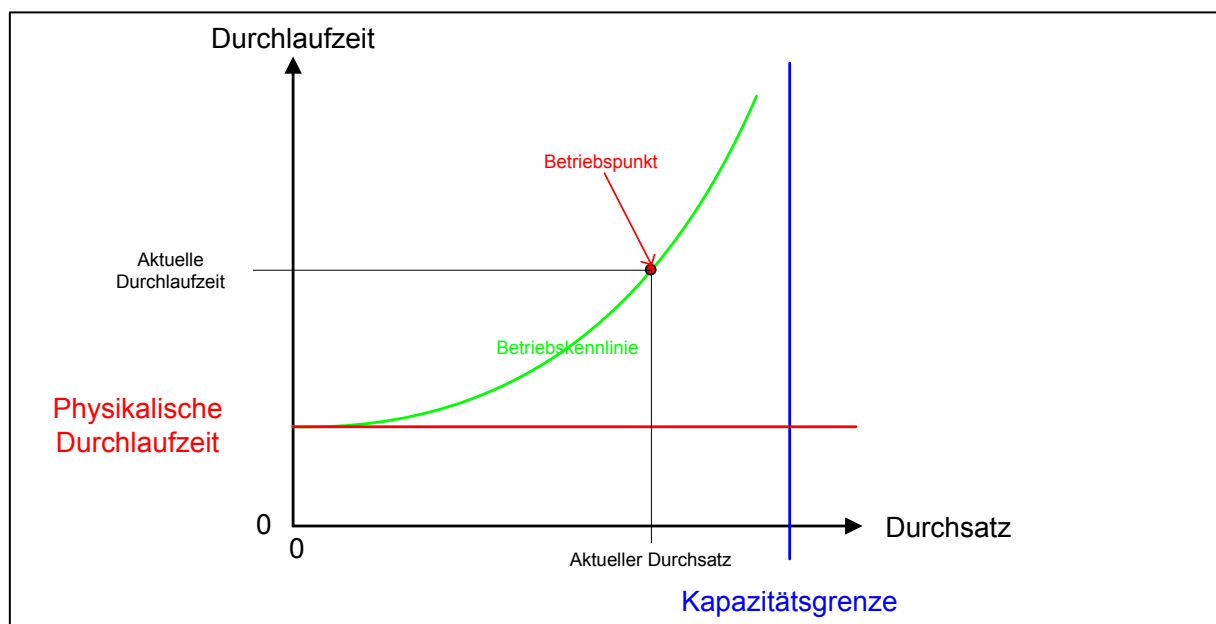


Abbildung 15 Darstellung der Positionierung des Betriebspunktes⁷⁰

Ein optimaler Fertigungspunkt kann auf diesen Linien nicht generell definiert werden, da es sich bei den Kenngrößen um konkurrierende Ziele handelt. Jedes Unternehmen muss die Fertigung anhand seiner definierten Zielsetzung logistisch auf der Kennlinie positionieren.

⁶⁹ Vgl. Nyhuis, Wiendahl(2003), S.37

⁷⁰ Quelle: Vgl. Engelhardt (2000), S. 45

Ausschlaggebende Kriterien für diese Positionierung stellen beispielsweise die aktuelle Marktlage, geforderte Lieferzeiten, Kostenposition oder Kapital- und Personalintensität dar.⁷¹

Im Rahmen der Engpassbetrachtung mittels Betriebskennlinien gibt es zwei wesentliche Ansatzpunkte für Verbesserungen:

1. Neupositionierung des Betriebspunktes

Die logistische Positionierung ist keine Optimierung im eigentlichen Sinn. Es handelt sich dabei um die Festlegung des Betriebspunktes in Abhängigkeit von Auftragszeit- und Kapazitätsstruktur sowie Lieferzeit, Kapazitätsbedarf und Kosten.⁷² Das bedeutet, dass weder Kapazität noch die Variationseinflüsse im Arbeitssystem verändert werden.

2. Optimierungsmaßnahmen

Im Gegensatz zur Positionierung würde eine Optimierung den Verlauf der Kennlinie verändern. Folgende Maßnahmen stellen Hebel zur Optimierung dar⁷³:

- Steigerung der Verfügbarkeiten
- Reduktion der Schwankungen der Verfügbarkeiten
- Steigerung der Synchronisation der Partner

Durch die Erhöhung der Kapazität verschiebt sich die Betriebskennlinie nach rechts. Durch die Reduktion der Variationseinflüsse wird die Kennlinie nach unten verschoben. In beiden Fällen ergeben sich zwei neue mögliche Betriebspunkte:

1. bei gleicher Durchlaufzeit wird der Durchsatz erhöht
2. bei gleichem Durchsatz wird die Durchlaufzeit verringert

⁷¹ Vgl. Engelhardt (2000), S. 42f.

⁷² Vgl. Wiendahl, Nyhuis (1998), S. 18

⁷³ Vgl. Engelhardt (2000), S. 72

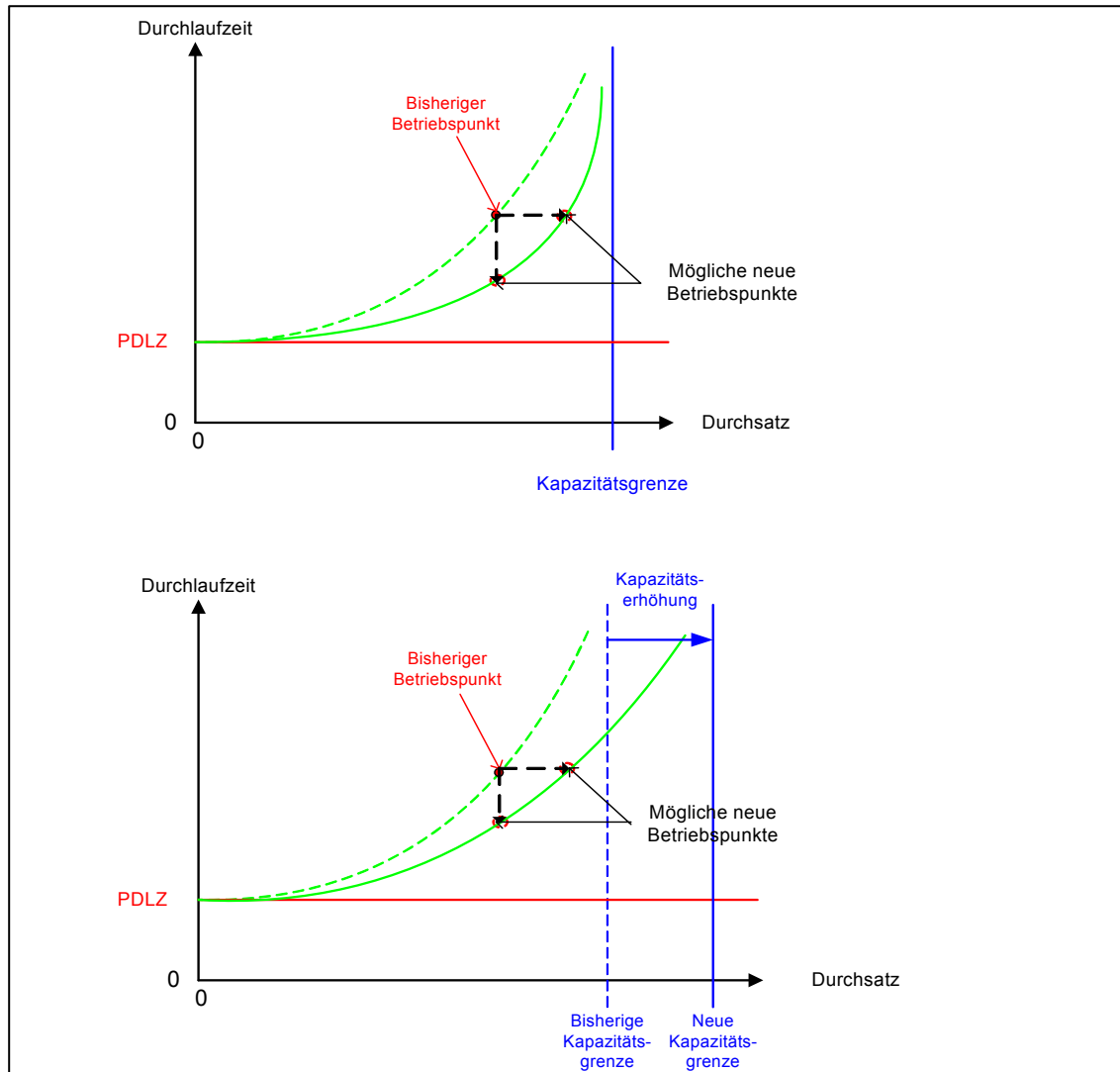


Abbildung 16 Darstellung der Veränderung der Betriebspunkte nach Optimierungsmaßnahmen⁷⁴

Je nach Zielsetzung der Produktion können an Hand der Betriebskennlinie Entscheidungen über die zukünftige Produktionsgestaltung getroffen werden. Kommt es beispielsweise zu Lieferverzögerungen, so kann es sinnvoll sein den Betriebspunkt so zu wählen, dass bei gleichem Durchsatz die Durchlaufzeit reduziert wird.

Betriebskennlinien eignen sich beispielsweise für eine vertiefende Analyse von Durchlaufdiagrammen. Die dort gewonnen Erkenntnisse können in Form von Betriebspunkten in die Betriebskennlinie übernommen werden und zeigen somit die stationären Betriebszustände bezogen auf die möglichen Produktionszustände.

Generell kann die Methode der Betriebskennlinien dazu genutzt werden, verkettete Fertigungssysteme zu analysieren, um die leistungsbestimmenden Größen so abzustimmen, dass die geplante Kapazität erreicht wird.

⁷⁴ Quelle: Engelhardt (2000), S. 73f.

3.4 Warteschlangenmodelle

Ein Warteschlangensystem kann vereinfacht als Input-Output-System beschrieben werden.

Input der Systeme sind Aufträge, welche bearbeitet werden sollen. Die Abfertigung erfolgt in der Bedienstation. Output sind jene Aufträge, welche die Bedienstation verlassen.⁷⁵

Folgende Parameter stellen Grundbegriffe der Warteschlangentheorie dar⁷⁶:

- Ankunftsrate λ

Die Ankunftsrate λ beschreibt den durchschnittlichen Input in ein Warteschlangensystem pro Zeiteinheit.

- Bedienrate μ

Die Bedienrate μ gibt Auskunft über die durchschnittlich ausgehenden Elemente eines Systems pro Zeiteinheit.

- Offene und geschlossene Warteschlangenmodelle

Nach ihrer Beziehung zur Umwelt unterscheidet man zwischen offenen und geschlossenen Warteschlangensystemen. Offene Systeme haben mindestens einen Input- und Output-Kanal nach außen, d.h. Elemente betreten und verlassen das System. Geschlossene Warteschlangenmodelle liegen dann vor, wenn weder Input noch Output von außerhalb des Systems kommen.

- Ein- und Mehrkanal-System

Nach Anzahl der Bedienstationen unterscheidet man zwischen Ein- und Mehrkanalsystemen. Im Einkanalmodell erfolgt die Abfertigung an nur einer Bedienstation, beim Mehrkanalmodell stehen mehrere zur Verfügung. Die Kanäle können dabei seriell oder parallel angeordnet sein.

- Schlangendisziplin

Die Schlangendisziplin bezeichnet die Prioritätsregel nach der die Elemente in den Kanal/ die Kanäle eingeschleust werden, z.B. FIFO oder LIFO.

⁷⁵ Vgl. Domschke, Drexl (2005), S. 210

⁷⁶ Vgl. Domschke, Drexl (2005), S. 217ff.

Folgende Kenngrößen sind bei der Betrachtung von Warteschlangenmodellen interessant:

- Auslastungsgrad ρ ⁷⁷

$$\text{Auslastungsgrad} = \frac{\text{Ankunftsrate}}{\text{Bedienrate}}$$

- Durchschnittliche Systemlänge (Anzahl der wartenden Elemente und Elemente in der Abfertigung)⁷⁸

$$\text{Durchschnittliche Systemlänge} = \frac{\text{Servicegrad}}{1 - \text{Servicegrad}}$$

- Durchschnittliche Länge der Warteschlange⁷⁹

$$\text{Durchschnittliche Schlangenlänge} = \frac{\sum \text{Wartezeiten}}{\text{Gesamtsystemzeit}}$$

- Durchschnittliche Verweilzeit im System⁸⁰

$$\text{Durchschnittliche Verweilzeit} = \frac{\text{Durchschnittliche Systemlänge}}{\text{Bedienrate}}$$

- Durchschnittliche Wartezeit⁸¹

$$\text{Durchschnittliche Wartezeit} = \frac{\sum \text{Wartezeiten}}{\text{Anzahl der Elemente}}$$

Die Beschreibung von Warteschlangensystemen erfolgt mittels mathematischer Modelle. Häufig werden für die Beschreibung folgende Verteilungen verwendet⁸²:

- Binomialverteilung

Die Binomialverteilung gibt an, wie häufig bei n Wiederholungen eines bestimmten Vorgangs ein bestimmtes Ereignis eintritt.

Die Binomialverteilung ist eine Möglichkeit zur Beschreibung von Ankunfts- und Abfertigungsprozessen. Allerdings ist die Berechnung ihrer Wahrscheinlichkeitsfunktion relativ aufwendig.

⁷⁷ Steinhausen (2007)

⁷⁸ Domschke, Drexl (2005), S. 220

⁷⁹ Steinhausen (2007)

⁸⁰ Domschke, Drexl (2005), S. 220

⁸¹ Steinhausen (2007)

⁸² Vgl. Domschke, Drexl (2005), S. 212ff.

- Poisson-Verteilung

Die Poisson-Verteilung ist eine Approximation der Binomialverteilung. Sie wird verwendet, um zu untersuchen, wie oft ein bei einmaliger Durchführung sehr unwahrscheinliches Ereignis bei vielen Wiederholungen auftritt. Sie wird daher auch Verteilung der seltenen Ereignisse genannt.

Die Poisson-Verteilung wird üblicherweise dann verwendet, wenn die Anzahl n der Wiederholungen ≥ 50 , die Eintrittswahrscheinlichkeit $p \leq 0,1$ und $n \cdot p \leq 10$ ist.

Ebenso wie die Binomialverteilung eignet sie sich zur Beschreibung des Ankunfts- und Abfertungsverhaltens in einem System.

- Exponentialverteilung

Mit Hilfe der Dichtefunktion der Exponentialverteilung kann die Wahrscheinlichkeit dafür berechnet werden, dass die Zeit zwischen dem Eintreffen zweier Ereignisse im Intervall $[a, b]$ liegt.

Die Exponentialverteilung findet Verwendung in der Beschreibung von Zwischenankunftszeiten in einem Wartesystem.

Warteschlangenmodelle folgen aber nicht immer nur diesen Verteilungen. Eine weitere Möglichkeit sind die so genannten Markov-Ketten. Diese dienen der Beschreibung von stochastischen Prozessen mit der Eigenschaft, dass „[...] der Übergang von einem Zustand i im Zeitpunkt t_h zum Zustand j im Zeitpunkt t_{h+1} unabhängig von den Zuständen der Vergangenheit[...] ist.“⁸³

Die verschiedenen Eigenschaften eines Warteschlangensystems machen es notwendig, dieses zu klassifizieren. Dazu dient ein Klassifizierungscode in der Form $a/b/c/d/e$, welcher die Ausprägungen des Modells beschreibt.

a: Wahrscheinlichkeitsverteilung des Ankunftsprozesses

Für die einzelnen Verteilungen werden wiederum unterschiedliche Kürzel verwendet (M = Poisson-verteilt, C = beliebig konstant verteilt, G = beliebig verteilt, E = gleich verteilt, D = fest vorgegeben).

b: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bedienzeit

c: Anzahl der parallelen Kanäle (z.B. 1)

⁸³ Domschke, Drexel (2005), S. 216

d: Größe des Warteraums (z.B. ∞)

e. Schlangendisziplin (z.B. FIFO)⁸⁴

Mit Hilfe von Warteschlangenmodellen können sowohl Engpässe als auch Überkapazitäten identifiziert werden. Ein Vorteil der Warteschlangenmodelle ist die Berücksichtigung stochastischer Ereignisse. Dadurch bilden sie die Realität genauer ab. Auf Grund der aus Warteschlangenmodellen zu gewinnenden Erkenntnisse eignet sich diese Methode für die Ablaufplanung. Neben dem Einsatz für die industrielle Produktion können Warteschlangenmodelle auf Grund ihrer Methodik auch für die Engpassanalyse im Dienstleistungssektor eingesetzt werden.

3.5 Simulationsmodelle

„Simulation ist die Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“⁸⁵

Hoher Kapitaleinsatz für Anlagen, steigende Variantenzahl und sich häufig ändernde Absatzentwicklungen steigern die Bedeutung der Simulation für die Unterstützung des Produktionsprozesses. Die Simulation ermöglicht eine Produktionsoptimierung in Richtung unterschiedlicher Zielszenarien, abhängig von den definierten Modellparametern. Der Aufwand ist, gemessen an den sonst entstehenden Zusatzkosten, vergleichsweise gering.⁸⁶

Der Einsatz von Simulation kann vor allem in folgenden Fällen sinnvoll und vorteilhaft sein⁸⁷:

- Ein vollständiges mathematisches Optimierungsmodell ist nicht verfügbar bzw. entwickelbar (Kosten, Aufwand, fehlende Daten, etc.)
- Verfügbare analytische Methoden verfälschen das Problem auf Grund der notwendigen (z.B. wegen Modellierungsaufwand, Rechenzeit in der Anwendung, etc.) Vereinfachungen
- Verfügbare analytische Methoden sind zu kompliziert und zu aufwendig
- Experimente am realen System sind zu kostspielig
- Experimente am realen System sind zu gefährlich, zu zeitaufwendig, führen zu irreversiblen Konsequenzen oder sind auf Grund anderer Faktoren nicht durchführbar

⁸⁴ Vgl. Steinhausen (2007)

⁸⁵ VDI, Richtlinie 3633

⁸⁶ Vgl. Fraunhofer Gesellschaft (2006)

⁸⁷ Vgl. Domschke, Drexl (2005), S. 223

Das Vorgehen bei der Anwendung von Simulationen kann grob in folgende vier Phasen gegliedert werden⁸⁸:

- Phase 1: Zieldefinition

Im ersten Schritt ist es erforderlich, die Ziele der Simulation und den Rahmen des Experiments festzulegen. Daraus ergeben sich der zeitliche Rahmen sowie der Detaillierungsgrad, in dem das System untersucht werden soll.

- Phase 2: Datenerhebung

Ausgehend von den festgesetzten Zielen gilt es, das System auf die relevanten Parameter zu analysieren. Die erforderlichen Einflussgrößen werden daraufhin erhoben.

- Phase 3: Modellbau

Im Anschluss an die Datenerhebung wird ein Grundmodell des zu betrachtenden Systems erstellt. Dabei ist zu beachten, dass das Modell so einfach wie möglich und so genau wie nötig aufgebaut wird. Die Abbildung unnötiger Details kann das Erkennen von Zusammenhängen deutlich erschweren. Nach Fertigstellung des Grundmodells wird dieses mittels geeigneten Simulationswerkzeugs in ein rechnergestütztes Modell umgewandelt. Dieses Modell muss in weiterer Folge validiert und verifiziert werden. Die Validierung bezeichnet die Feststellung, ob ein Modell den Anforderung entspricht, d.h. ob das richtige Modell entwickelt wurde. Die Verifizierung befasst sich mit Konsistenz und Korrektheit eines Modells, d.h. wurde das Modell richtig entwickelt.⁸⁹

Die Überprüfung des Modells kann beispielsweise über den Vergleich von Ergebnissen eines Simulationsexperiments basierend auf einem Ist-Modell und Beobachtungen aus der Realität erfolgen. Die verglichenen Werte können z.B. mittlere Durchlaufzeiten oder mittlere Kapazitätsauslastungen sein.⁹⁰

- Phase 4: Durchführung der Simulationsexperimente

Die Simulation wird mehrmals, mit Variation der Parameter, durchlaufen. Bei den einzelnen Läufen wird auf die angestrebte Optimierung hingearbeitet.

Die für das Simulationsmodell getroffenen Annahmen sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Gründe dafür sind z. B. Wechselwirkungen mit anderen Faktoren oder die beschränkte Genauigkeit der Beschreibung des betrachtenden

⁸⁸ Vgl. Wiendahl (2002), S. 73 ff.

⁸⁹ Vgl. Hering, Gutekunst, Dyllong (2000), S. 520

⁹⁰ Vgl. Gadatsch (2005), S. 188

Systems. Daher ist es notwendig, die Stabilität der erzielten Ergebnisse z. B. mittels Sensitivitätsanalyse zu überprüfen. Bei der Sensitivitätsanalyse wird getestet, wie sensibel das Ergebnis auf eine Veränderung einzelner Effekte reagiert. Das Resultat kann als stabil bezeichnet werden, wenn sich wesentliche Veränderungen erst bei größeren Variationen einstellen.⁹¹

Die gewonnenen Erkenntnisse werden interpretiert und dokumentiert und müssen abschließend in abgeleiteten Maßnahmen umgesetzt werden.

Simulationsmodelle bieten die Möglichkeit viele Einflussparameter zu berücksichtigen und die Auswirkungen ihrer Variation zu untersuchen. So kann die Effektivität von Optimierungsmaßnahmen relativ einfach untersucht werden. Voraussetzung dafür ist, dass das Simulationsmodell die Realität mit ausreichender Genauigkeit und richtig abbildet. Die Validierung und Verifizierung des Modells sind daher unbedingt erforderlich. Ebenso ist es bei der Engpassanalyse mittels Simulation notwendig, ihre Ziele zu fokussieren, da man auf Grund der vielfältigen Möglichkeiten leicht Gefahr läuft, sich im Detail zu verlieren.

Ein realitätsgetreues Simulationsmodell kann wegen der notwendigen Datenerhebung und Komplexität des zu modellierenden Systems aufwendig sein, stellt aber nach Erstellung ein umfangreiches Analyseinstrument dar.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden sind lediglich eine Auswahl von Möglichkeiten zur Identifikation und Analyse von Engpässen. Die logistischen Gesetzmäßigkeiten gelten zwar immer, aber nicht in jeder Umgebung und für jede Fragestellung macht jede Behandlungsweise Sinn. Die Entscheidung für eine Methode aus dem möglichen Spektrum hat situationsspezifisch zu erfolgen. Daher wird weiterführend versucht aufzuzeigen, an Hand welcher Kriterien eine solche Entscheidung getroffen wird. Hypothetische Beispiele untermauern die Vorgehensweise bei der Methodenauswahl.

3.6 Auswahl der Analysemethode

Für die Entscheidung für eine der vorgestellten Methoden müssen beispielsweise folgende Punkte in Betracht gezogen werden:

- Problemstellung und Zielsetzung der Analyse

Vor der Engpassidentifikation und -analyse ist es notwendig zu erheben, welche Probleme in der Fertigung vorliegen und welche Ziele die Analyse verfolgen soll.

⁹¹ Vgl. Becker, Luczak (2003), S.140

Durch das Problemverständnis kann der Logistiker erkennen, welche Kenngrößen ermittelt werden müssen bzw. wo Stellschrauben für etwaige Verbesserungsmaßnahmen liegen könnten.

- Charakteristika der Fertigung

Für den Logistiker ist es vor der Entscheidung für ein Identifikations- und Analysetool erforderlich, die Fertigungsabläufe zu kennen und zu verstehen. Als Charakteristika der Fertigung werden an dieser Stelle beispielsweise folgende Punkte verstanden:

- Art der Fertigung (Werkstattfertigung, Fließbandfertigung,...)
- Art und Struktur des Materialflusses (kontinuierlich, diskontinuierlich bzw. Hierarchie, Prioritätsregeln,...)
- Komplexität des zu analysierenden Systems, d.h. Anzahl der Elemente und Wechselwirkungen zwischen den Elementen

An Hand dieser Spezifika ist es möglich festzustellen, mit Hilfe welcher Methode die geforderten Analyseerkenntnisse ermittelt werden können.

- Betrachtungsrahmen der Analyse

Für die Auswahl einer Analysemethode ist der Betrachtungsrahmen mit ausschlaggebend. Es besteht ein Unterschied, ob die Untersuchung eine ganze Produktion oder lediglich ein Teilsystem umfasst. Die Wechselwirkungen in einer gesamten Produktion werden vermutlich größer sein, als in einem Teilsystem. Des Weiteren wird die Anzahl der Einflussparameter größer und ihre Art vielfältiger sein. Außerdem können in einem Teilsystem andere organisatorische Rahmenbedingungen als in der gesamten Produktion vorliegen, die den Einsatz eines anderen Modells notwendig machen.

Häufig kann an Hand von Vorgesprächen bzw. der Prozesserfassung bereits vermutet werden, um welche Art von Engpass es sich handelt.

Anhand von zwei unterschiedlichen fiktiven Beispielen soll an dieser Stelle gezeigt werden wie unterschiedlich gelagert Praxissituationen sein können und wie stark sich das Methodenspektrum und die Vorgehensweise bei der Identifikation und Analyse von Engpässen auf Grund dieser Ungleichheiten unterscheiden.

1. Engpassanalyse in der Stahlerzeugung

Als erstes Beispiel soll eine Engpassanalyse des Stahlerzeugungsprozesses von den Rohmaterialien der Roheisenerzeugung bis hin zur fertigen Bramme dargestellt werden. Das

hier zu analysierende fiktive Unternehmen verfügt über keine eigene Kokerei. Der Prozess beginnt somit an der Sinteranlage. Bei der Produktion von Stahl werden fünf wesentliche Aggregate durchlaufen.



Abbildung 17 Vereinfachte Darstellung des Stahlerzeugungsprozesses

Der Stahlerzeugungsprozess erfolgt streng hierarchisch, d.h. jede der fünf Arbeitsstationen muss in der oben dargestellten Reihenfolge durchlaufen werden. Es handelt sich um eine diskontinuierliche Chargenfertigung, wobei bei der Analyse unterschiedliche Losgrößen, an den einzelnen Anlagen, die aus den Gefäßgrößen resultieren, sowie die bis zu einem gewissen Grad prozessbedingte Durchlaufzeit zu beachten sind. Hinzu kommt die Verkettung der einzelnen Prozessschritte auf Grund physikalischer und chemischer Gegebenheiten, z.B. Temperatur.

Die Prozesskette der Stahlerzeugung zeichnet sich durch die räumliche/ zeitliche Entkopplung der Anlagen und die quantitative Inflexibilität der Aggregate wie Hochofen oder Konverter aus. Im vorliegenden Fallbeispiel kann als Grund für Produktionsengpässe die unzureichende Synchronisation, z.B. schlecht koordinierte Reinigungs- und Wartungsstillstände, vermutet werden.

Zur Engpassidentifikation und -analyse des hier dargestellten Systems bietet sich die Methode der Betriebskennlinien an. Durchsatz, Durchlaufzeit und Fertigungsbestand der einzelnen Arbeitsstationen können mit Hilfe dieser Methode gegenübergestellt werden. Nach der Ermittlung der jeweiligen Kennlinien und der Bestimmung des Betriebspunktes müssen diese über den Materialfluss miteinander in Beziehung gebracht werden. Dies kann mit Hilfe des Trichtermodells erfolgen. Nach Zusammensetzung des Systems kann überprüft werden, ob die vom vorgelagerten Aggregat produzierten Mengen vom nachfolgenden zeitgerecht abgefertigt werden können oder ob es zur Bestandsbildung kommt, wodurch eine Engpassidentifikation ermöglicht wird. Für eine Ursachenanalyse eignen sich beispielsweise die in Kapitel 2 angewendeten Ishikawa-Diagramme. Die Betriebspunkte der Anlagen sind nun so aufeinander abzustimmen, dass ein reibungsloser Materialfluss ermöglicht wird.

2. Engpassanalyse eines Automobilherstellers

Im zweiten fiktiven Szenario liegt eine völlig andere Situation vor:

Bei einem Automobilhersteller kommt es immer wieder zu Lieferverzögerungen. Das Unternehmen möchte diese reduzieren und möchte daher eine Engpassanalyse durchführen.

Bei der Automobilfertigung handelt es sich, im Gegensatz zur Stahlerzeugung, um eine getaktete Fließbandfertigung. Das bedeutet, dass die Arbeitsstationen optimal aufeinander abgestimmt sind. Die Methoden der Betriebskennlinien oder Durchlaufdiagramme sind zwar zutreffend, würden aber in diesem Fall keine Erkenntnisse liefern, weil auf Grund der Taktung die Ursache nicht in den Variationen zu suchen sind. Da die Lieferverzögerungen nicht aus dem Produktionsablauf resultieren und Maschine, Mensch und Methode vollständig synchronisiert und verfügbar sind, können Maschinen-, Personal- und Methodenengpässe im System ausgeschlossen werden.

Die Schwierigkeiten ergeben sich folglich aus Materialengpässen, die aus der Nichtverfügbarkeit resultieren. Die Automobilindustrie erhält viele Teile durch JIT- bzw. JIS-Anlieferungen. Hinzu kommen die Variantenvielfalt der Teile und die individuelle Kundenkonfiguration der Fahrzeuge. Daher kommen beispielsweise folgende Ursachen in Frage:

- Die Information vom Händler über die Kundenbestellung dauert zu lange
- Die Meldung an den Lieferanten erfolgt zu spät
- Die Produktion beim Lieferanten dauert zu lange
- Die Lieferung der Teile in Unternehmen dauert zu lange
- Die Anlieferung an die Linie dauert zu lange

Der Engpass in diesem Fallbeispiel ist somit identifiziert. Für die Analyse dieses Fallbeispiels würde sich eine Simulation des Material- und Informationsflusses bei der Beschaffung anbieten. Dabei könnten die zeitlichen Parameter berücksichtigt und durch ihre Variation Optimierungspotentiale offen gelegt werden.

Die beiden dargestellten fiktiven Fallbeispiele verdeutlichen, dass verschiedene Szenarien ein unterschiedliches Vorgehen bei der Identifikation, Analyse und Behebung von Engpässen erfordern. Die beiden Beispiele decken bei weitem nicht das Spektrum möglicher Anwendungsszenarien ab. Sie zeigen jedoch anschaulich, wie unterschiedlich zunächst ähnlich anmutende Fragestellungen methodisch behandelt werden müssen. Die

nachstehenden Tabellen geben einen Überblick für welche Situationen sich die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden eignen, sowie welche Vor- und Nachteile sie haben.

Methode	Anwendungsszenarien	Vorteile	Nachteile
Trichtermodell	Erste Analyse eines Produktionssystems und Engpassidentifikation	<ul style="list-style-type: none"> • Simple, leicht verständlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemdiagnose, aber keine Ursachen erkennbar
Durchlaufdiagramm	Ungetaktete Produktionssysteme mit unterschiedlichen Kapazitäten, Losgrößen, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Leicht erkennbarer Zusammenhang zwischen Zu- und Abgangsrate bzw. Fluktuationen in Zu- und Abgang 	<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung eines stationären Zustandes • Problemdiagnose und -lokalisierung, aber keine Ursache erkennbar
Betriebskennlinie	Ungetaktete Produktionssysteme mit unterschiedlichen Kapazitäten, Losgrößen, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkung möglicher Produktionszustände auf logistischen Zielgrößen lokalisierbar und quantifizierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsweise der Betriebskennlinien für Fachkundige teilweise schwer zu verstehen
Warteschlangenmodelle	Engpassanalyse mit Fokus auf Ablaufplanung und Kapazitätsdimensionierung Dienstleistungsbetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung stochastischer Ereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuell aufwendige Erhebung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen • Einschränkungen des gewählten Warteschlangenmodells

Tabelle 2 Überblick über Eignung, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Analysemethoden Teil 1

Simulationsmodelle	Komplexe Produktionssysteme mit vielen leistungsbestimmenden Einflussparametern	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zum relativ einfachen Test unterschiedlicher Szenarien 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwendige Datenerhebung und Datenaufbereitung • Modellierungsaufwand • Keine Optimierungsrechnung, heuristischer Ansatz • eventuell Probleme bei der Validierung/ Verifizierung
--------------------	---	--	---

Tabelle 3 Überblick über Eignung, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Analysemethoden Teil 2

Das im Gegensatz zu den beiden fiktiven Beispielszenarien auch empirisch umgesetzte Praxisprojekt bei Brigl&Bergmeister stellt sich vergleichbar dar: Kapitel 4 und 5 werden im Detail zeigen, wie sich die eingehende Zielsetzung der Engpassanalyse in diesem Projekt methodisch und im Ergebnis entwickelt hat.

4 Einführung in die Papierindustrie

Zum besseren Verständnis der Aufgabenstellung des Praxisprojektes dieser Diplomarbeit wird in diesem Kapitel dem Leser ein Einblick in die Papierherstellung gegeben.

Nach einer einleitenden Vorstellung des Unternehmens Brigl&Bergmeister, dessen Produktion am Standort Niklasdorf im praktischen Teil dieser Diplomarbeit analysiert wurde, werden der Papiererzeugungsprozess sowie seine logistischen Herausforderungen näher erläutert.

4.1 Vorstellung des Unternehmens Brigl&Bergmeister

Die Geschichte des Unternehmens Brigl&Bergmeister GmbH., mit Sitz in Niklasdorf, geht auf das Jahr 1890 zurück, als Leonhard Brigl und Julius Bergmeister mit der Produktion von Papier und Zellstoff begannen. Seit dem Jahre 1984 ist das Unternehmen Teil der W. Hamburger Gruppe, einem der führenden mitteleuropäischen Hersteller von braunen, weiß gedeckten und gestrichenen festen Papieren.

Seit 2003 konzentriert sich das Unternehmen auf die Produktion von nassfesten Etikettenpapieren. B&B beschäftigt am Standort Niklasdorf derzeit 284 Mitarbeiter. Mit einer Kapazität von 68.000 Jahrestonnen beliefert das Unternehmen Kunden weltweit.

Die Produktpalette von B&B umfasst Etikettenpapiere, flexible Verpackungspapiere und graphische Papiere.

Die Sparte Etikettenpapiere lässt sich wiederum in vier unterschiedliche Gruppen unterteilen:

- nass- und laugenfeste Etikettenpapiere, einseitig gestrichen holzfrei
- nassfeste Etikettenpapiere, ungestrichen holzfrei
- nicht nass- und laugenfeste Etikettenpapiere, einseitig gestrichen holzfrei
- metallisierte Etikettenpapiere

Am Unternehmenssitz Niklasdorf werden einseitig gestrichene, nass- und nicht nassfeste Papiere sowie metallisierte Papiere erzeugt.

Die Produktion der übrigen Produktpalette erfolgt im Tochterwerk von B&B in Papirnica Vevče in Slowenien nahe Laibach, mit 330 Beschäftigten und eine Jahreskapazität von 100.000 Tonnen.⁹²

⁹² Vgl. www.brigl-bergmeister.com

4.2 Der Papiererzeugungsprozess

4.2.1 Rohmaterialien⁹³

Neben Wasser zählen die so genannten Faserstoffe zu den wesentlichen Rohmaterialien der Papierindustrie.

Holz stellt als Basisprodukt zur Holz- und Zellstoffherzeugung, den Primärfaserstoffen, den wichtigsten Rohstoff für die Papierherzeugung dar. Trotz des Wiedereinsatzes von Altpapier, Sekundärfaserstoffen, ist der Zusatz von Primärfasern erforderlich, um die Qualitätsansprüche zu erfüllen.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der eingesetzten Holzarten ist die Faserlänge, wodurch deutliche Unterschiede in der Verwendbarkeit für die Papierherstellung resultieren. Grundsätzlich gilt: Je länger und stärker die Faser, desto besser die Papierqualität. Nadelhölzer weisen längere Fasern auf als Laubhölzer, wodurch sich auf der Papiermaschine ein festeres Faserfließ und somit festeres Papier bildet. Von den Nadelhölzern werden am häufigsten Fichte, Tanne und Kiefer, von den Laubhölzern Buche, Birke und Eukalyptus verwendet.

Für die Papierherzeugung kann lediglich der Stamm ohne Rinde verwendet werden. Die entrindeten Stämme werden entweder zu Fasern geschliffen oder zu Hackschnitzeln für den chemischen Aufschluss verarbeitet.

Neben Hölzern finden auch Stroh-, Bambus- oder Zuckerrohrfasern Anwendung in der Papierherstellung.

Der Einsatz von Sekundärfaserstoffen, d.h. Altpapier, ist wie angedeutet auf Grund der verminderten Qualität der Fasern nur eingeschränkt möglich. Die Qualität dieser Fasern ist zum Einen von den Faserstoffen abhängig, aus denen das Papier ursprünglich hergestellt wurde. Zum anderen beeinflusst die Sortenreinheit die Eigenschaft des Recyclingpapiers: Sortenrein gesammeltes Altpapier liefert hochwertigeres Recyclingpapier.

4.2.2 Zellstoffherstellung⁹⁴

Vor der Papierherstellung muss das Holz zuerst durch Aufschließen der Holzfasern zu einem Faserbrei verarbeitet werden. Holz kann auf zwei Arten erschlossen werden: mechanisch oder chemisch.

Bei der mechanischen Erschließung wird Holz mittels zwei möglicher Verfahren in Faserform gebracht:

⁹³ Vgl. Koffler (1991), S. 34 ff.

⁹⁴ Vgl. Koffler (1991), S. 40ff.

- Holzschliff-Verfahren

Bei dieser Methode werden entrindete Holzstücke zu einem Faserbrei zerrieben, mit Wasser verdünnt und über mehrere Sortieranlagen befördert. Dadurch sollen Splitter aus den verarbeitungsfähigen Fasern aussortiert werden. Dieser Splitterstoff wird erneut gemahlen und vor der Sortierung wieder eingesetzt.

- Thermomechanische Verfahren

Im ersten Schritt wird das Holz zu Hackschnitzeln zerkleinert. Die thermomechanische Methode tritt in unterschiedlichen Varianten auf: Das „reine“ Thermomechanische Verfahren erlaubt die Bearbeitung von Laub- und Nadelhölzern. Hierbei werden die Hackschnitzel vor dem Mahlen vorgedämpft. Für Laubhölzer wird auch das chemisch-thermomechanische Verfahren eingesetzt, bei welchem die Hackschnitzel vor dem Vordämpfen und Mahlen auch chemisch behandelt werden. Eine weitere Variante stellt die chemische Vorbehandlung der Hackschnitzel mit anschließendem Bleichen dar.

Bei der Herstellung von chemisch erschlossenem oder holzfreiem Zellstoff muss die reine Faser aus dem Holz freigesetzt und das Lignin herausgelöst werden. Man unterscheidet Sulfat- und Sulfitverfahren, die dem Zellstoff jeweils unterschiedliche Eigenschaften verleihen: Beim Sulfatverfahren wird das Holz mit einer alkalischen Kochlösung gemischt. In einem Zellstoffkocher werden die Hackschnitzel unter hohem Druck bei ca. 160°C etwa drei Stunden in der Kochlösung aufgeschlossen. Der Gehalt an Restlignin ist abhängig von der Kochdauer. Die zentralen Schritte des Sulfitverfahrens sind ähnlich dem Sulfatverfahren. Anstatt einer alkalischen Kochlösung wird bei dieser Methode jedoch eine saure Lösung verwendet.

Für weiße Papiere muss der Zellstoff, der ursprünglich bräunlich ist, gebleicht werden. Dabei werden das Restlignin und dunkle Schmutzpartikel entfernt. Das Bleichen kann mittels Chlor/Chlorverbindungen, Ozon/ Sauerstoff oder Wasserstoffperoxid erfolgen.

4.2.3 Papierherstellung

Die erste Aufbereitungsstation ist der Refiner, ein Mahlaggregat mit rotierenden Metallscheiben, in welchem der Papierbrei gemahlen wird um die Fasern zu fibrilieren, d.h. die Faserenden werden fein ausgefranst, was zu einer dichteren Verbindung der Fasern führt. Die Mahlung im Refiner prägt wesentlich die späteren Eigenschaften des Papiers.⁹⁵

Anschließend werden dem Papier unterschiedliche Hilfsstoffe zugeführt. Zu den Hilfsstoffen gehören Wasser, Füllstoffe, Leime, Farb- und Zusatzstoffe. Füllstoffe erhöhen die

⁹⁵ Vgl. Baumann, Herberg-Lietke (1994), S. 25

Lichtundurchlässigkeit von Papier. Dazu werden beispielsweise Kalk oder Titanweiß verwendet. Die Beimischung von Leimen bewirkt eine Verbesserung der Oberflächeneigenschaften wie Glanz oder Glätte.⁹⁶

In der Stoffzentrale werden Wasser, Halb- und Füllstoffe zusammen gebracht. Der so genannte Konstantteil, der ein konstantes Stoffniveau gewährleistet, verbindet die Stoffaufbereitung mit dem Stoffauflauf der Papiermaschine.⁹⁷

Die Papiermaschine besteht aus mehreren Teilaggregaten. Die nachstehende Abbildung soll den Aufbau der Maschine verdeutlichen:

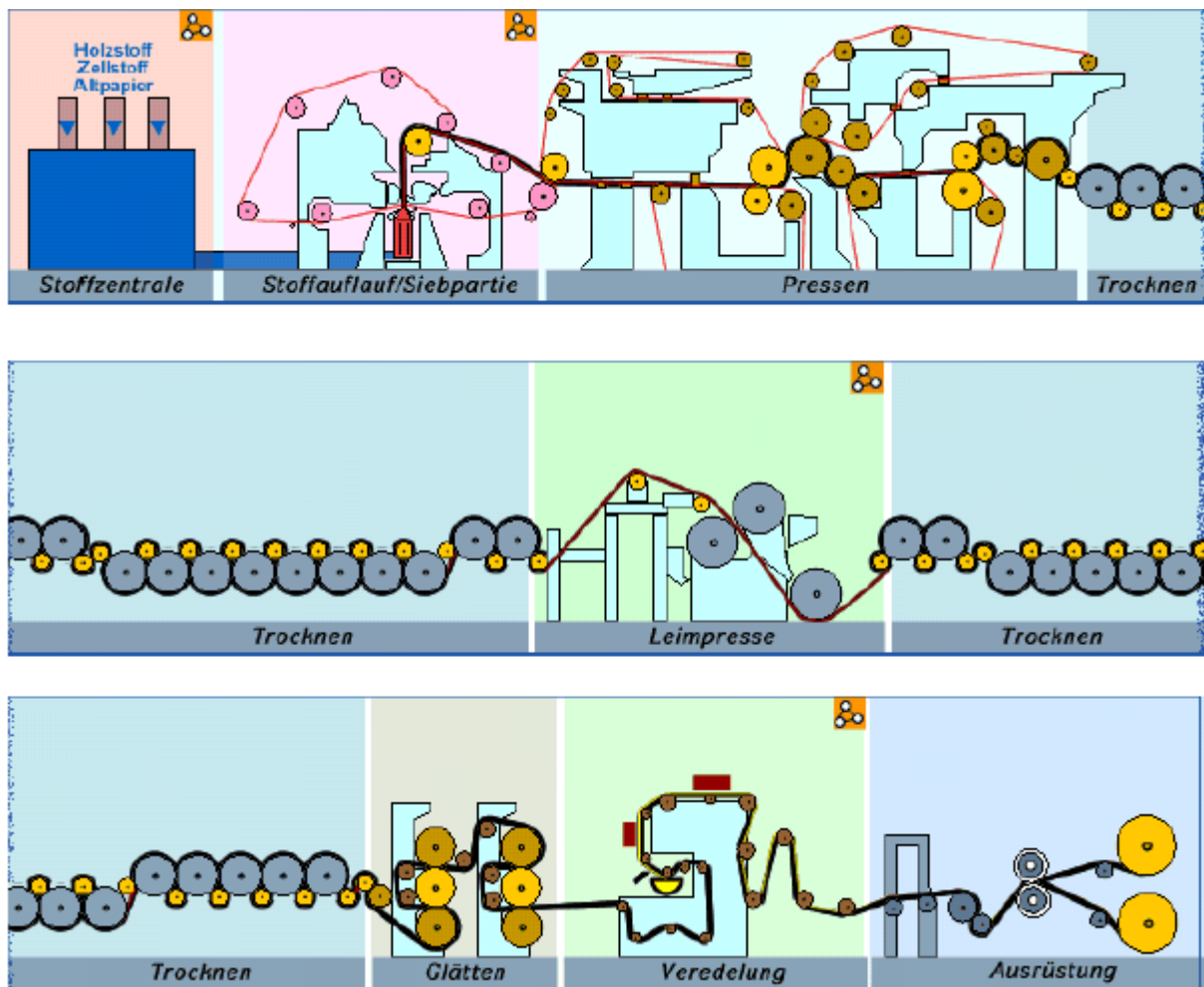


Abbildung 18 Aufbau einer Papiermaschine⁹⁸

- Die Siebpartie

Die Faserstoff-Wassersuspension wird vom Stoffauflauf gleichmäßig auf das Sieb aufgetragen. Das Sieb ist ein Netzgewebe, durch welches das Wasser ablaufen kann.

⁹⁶ Vgl. Baumann, Herberg-Lietke (1994), S. 55ff.

⁹⁷ Vgl. Koffler (1991), S. 59f.

⁹⁸ Quelle: www.ndt.net/article/dgzfp04/papers/v57/fig1.gif

Sobald die Suspension mit dem Sieb in Berührung kommt, beginnt die Blattbildung durch Filtration, d.h. durch die Trennung von Wasser und Feststoffen. Durch eine leichte Schüttelbewegung des Siebs werden die Fasern parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtet, wodurch sich Laufrichtung des Papiers ergibt.⁹⁹

- Die Pressenpartie

Die Pressenpartie führt zur weiteren Entwässerung und Verdichtung des Papiers. Sie besteht aus großen Walzen, die das Wasser aus dem Papier herauspressen. Der Trockengehalt wird durch den mechanischen Druck von oben weiter erhöht. Das aus dem Papier gedrückte Wasser wird durch Filze aufgenommen und abtransportiert.

Nach der Pressenpartie liegt der Trockengehalt des Papiers bei etwa 50 %.¹⁰⁰

- Die Trockenpartie

In diesem Produktionsschritt wird das verbliebene Wasser durch Verdampfen aus dem Papier entfernt. Die Trockenpartie besteht aus Trockenzylindern, über welche die Papierbahn wechselseitig einmal mit der Ober-, einmal mit der Unterseite, gebracht wird und so einer schonenden Trocknung unterzogen wird. Die Trocknung prägt das Dehnungsverhalten und die Festigkeit des Papiers.¹⁰¹

- Die Endgruppe

Nach der Trocknung wird das Papier einer Glättung unterzogen. Die Papierbahn wird dabei im ersten Schritt über wassergekühlte Zylinder gezogen, wodurch es zur Kondensation kommt, die eine Glättung bewirkt. Im Anschluss durchläuft die Endlosbahn ein Walzenglättwerk und wird abschließend am Rollapparat auf so genannte Tamboure, Stahlkerne, gewickelt.¹⁰²

Während dem Durchlauf durch die Papiermaschine wird das Papier einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle unterzogen. Dabei werden Parameter wie das Flächengewicht, Feuchte- und Aschegehalt, Weiße oder Opazität gemessen.

4.2.4 Oberflächenveredelung

Bei der Oberflächenveredelung kommen drei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung: Die Leimpresse, die Filmpresse und das Streichen von Papier.

⁹⁹ Vgl. Kipphan (2000), S. 124

¹⁰⁰ Vgl. Baumann, Herberg-Lietke (1994), S. 56

¹⁰¹ Vgl. Kipphan (2000), S. 124

¹⁰² Vgl. Koffler (1991), S. 63

- Leimpresse

In der Leimpresse wird ein- oder beidseitig eine stärke- oder kunststoffhaltige Lösung auf die Papierbahn aufgetragen. Dies dient der Verbesserung der Oberflächenstabilität und der Widerstandsfähigkeit sowie der Verringerung der Saugfähigkeit und Staubtendenz. Staub kann beispielsweise zur Verunreinigung von Druckern, Kopiergeräten und Druckmaschinen führen und somit das Laufverhalten und die Druckqualität beeinträchtigen.

Die Leimpresse besteht aus einem Walzenpaar, meist Gummiwalzen, zwischen denen das Papier geführt wird. Der Spalt zwischen den Walzen, der so genannte Walzennip, dosiert die Leimmenge und trägt diese auf die Papierbahn auf.¹⁰³

- Filmpresse

Die Filmpresse stellt, ebenso wie die Leimpresse, ein Verfahren der Oberflächenleimung dar.

Bei dieser Methode wird mittels Rollkrakeln ein dünner Film Stärke auf die Pressrollen aufgetragen. Die Papierbahn wird durch den Walzenspalt gezogen, wobei der Stärkefilm gleichzeitig auf die Papierober- und -unterseite aufgetragen wird.¹⁰⁴

Die nachstehende Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen den beiden Verfahren.

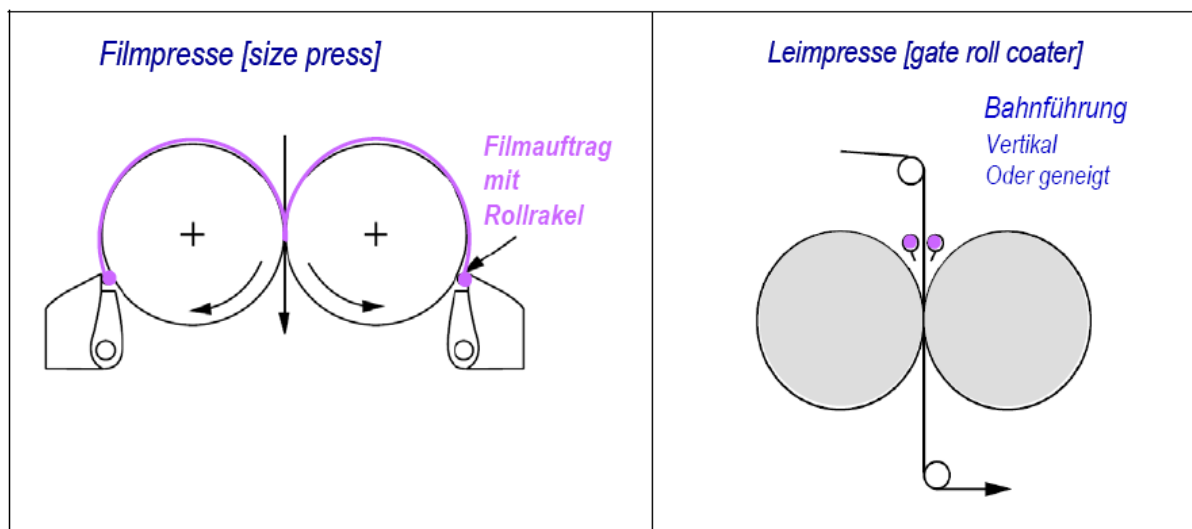


Abbildung 19 Vergleich der Oberflächenbeschichtungsverfahren¹⁰⁵

- Streichen

Beim Streichen werden auf das Rohpapier schichtweise Pigmente, Bindemittel und Hilfsstoffe aufgebracht. Der Papierstrich beeinflusst die Papieroberfläche hinsichtlich

¹⁰³ Vgl. Baumann, Herberg-Lietke (1994), S. 56

¹⁰⁴ Vgl. Gruber (2006), S. 15f.

¹⁰⁵ Quelle: Gruber (2006), S. 2

Helligkeit, Farbe und Struktur. Die Strichrezeptur und Auftragsstärke sind abhängig von der Papiersorte.

Strich besteht hauptsächlich aus Pigmenten, welche mit Bindemittel untereinander und auf das Papier gebunden werden müssen. Bindemittel können auf natürlicher, z.B. Casein oder Stärke, oder auf synthetischer Basis, z.B. Kunststoffdispersionen, aufgebaut sein. Hilfsstoffe geben der Farbe zusätzliche Eigenschaften wie etwa eine höhere Weiße.

Zum Aufbringen des Striches werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Die häufigsten sind Raketstrich, Walzenstrich, und Gussstrich.¹⁰⁶

4.2.5 Ausrüstung

Unter dem Begriff Ausrüstung werden mehrere Aggregate der Papierproduktion zusammengefasst, die im Folgenden näher beschrieben werden:

- Kalanders

Der Kalanders schafft die endgültige Oberflächenbeschaffenheit des Papiers, das Papier wird „satiniert“. Durch Druck und Temperatur beim Durchlauf zwischen Walzen unterschiedlicher Härten werden die Glätte und der Glanz des Papiers festgelegt.¹⁰⁷

Man unterscheidet zwei Arten von Kalandern, Super- und Softkalanders, welche in der Streichmaschine integriert oder separate Anlagen sein können¹⁰⁸: Beim Superkalanders wird das Papier nach dem Aufwickeln abwechselnd durch harte und weiche Glättwerke geführt, wodurch das Papier poliert wird und Glätte und Glanz erhält. Im Softkalanders werden zum Einen matte oder seidenmatte Papieroberflächen erzeugt. Dazu wird das Papier durch zwei weiche Walzen oder eine harte Stahlwalze und eine weiche Walze durchgeführt.

Zum anderen können Hochglanzoberflächen angefertigt werden, wobei das Papier zwischen einer erhitzten Stahlwalze und einer weichen Glättwalze hindurch läuft.

Da das Papier im Softkalanders geringeren Druck ausgesetzt wird, ist das Papiervolumen in der Regel höher als beim Superkalanders.

- Umrollmaschine

Am Umroller werden die Papierrollen von einem Tambour auf einen anderen umgewickelt. Dadurch kann der Bahnlauf verändert werden, die Außenseiten kommen nach innen, die Bahnkanten können beschnitten und Papierfehler entfernt werden.¹⁰⁹

¹⁰⁶ Vgl. Kipphan (2000), S. 127f.

¹⁰⁷ Vgl. Baumann, Herberg-Lietke (1994), S. 56

¹⁰⁸ Vgl. M-Real Digital Imaging (2006), S. 10

¹⁰⁹ Erklärungen spezifischer Begriffe der Papiererzeugung stammen aus der Tätigkeit im Rahmen des Praxisprojektes bei Brigl & Bergmeister. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden betreffende Stellen im Folgenden nicht mehr explizit durch Fußnoten gekennzeichnet.

- Rollenschneidmaschine

Das auf Tambouren aufgewickelte Papier wird am Rollenschneider von Kreismessern zu schmaleren Rollen geschnitten. Das Papier ist anschließend fertig für den Kunden oder wird am Querschneider zu Format geschnitten.

- Sortierquerschneider

Die vom Rollenschneider auf Bahnbreite vorbereiteten Rollen, werden in der Querschneidemaschine zu Bogen geschnitten. Im Querschneider können mehrere Rollen gleichzeitig eingehängt werden, wobei die Rollenanzahl von der Konstruktion des Querschneiders und vom Schnittgewicht abhängig ist. Die einlaufenden Papierbahnen werden an den Kanten besäumt und wenn notwendig noch einmal mit einem Kreismesser in Längsrichtung getrennt. Die eingezogenen Bahnen werden dann von einem Quermesser zum gewünschten Format abgeschlagen.

Bahneinzug und Quermesserantrieb können mit Hilfe unterschiedlicher Technologien erfolgen.

Der Schneidprozess muss unbedingt synchron ablaufen, um exakte Formate und Winkel zu erhalten. Nach dem Quermesser wird das Bogenpaket von einer Bänderpartie während des Schneidens festgehalten und zu einer zweiten Bänderpartie transportiert. Diese beschleunigt die Pakete zu einer Fangpartie, in welcher die Pakete für die Auslage auf den Stapel überlappt gelegt werden.

Moderne Querschneider haben zusätzliche Funktionen wie z.B. Qualitätsprüfung der Papieroberfläche, Aussortieren fehlerhafter Bögen, elektronische Zählung der Bögen, automatisches Einschießen von Zählstreifen und fliegender Palettenwechsel ohne Anhalten des Querschneiders.

- Planschneider

Für das Schneiden kleiner Mengen zu Spezialformaten wird ein Planschneider benötigt. Das Umrüsten einer Querschneiders wäre für geringe Mengen zu unrentabel. Außerdem wird der Planschneider für das Nachschneiden etwaiger Qualitätsmängel verwendet.

4.2.6 Verpackung und Lagerung

Die richtige Verpackung des Papiers ist wichtig um Transportschäden zu vermeiden und Schutz vor Feuchtigkeit zu bieten. Die Wahl des Verpackungsmittels ist daher meist von Transportmethode und –weg abhängig.

Rollenpackmaschinen arbeiten weitgehend automatisiert und enthalten folgende Arbeitsschritte: Identifizierung, Lesen des Barcodes, Weitergabe an den Rechner,

Plausibilitätskontrollen, Zentrierung und Positionierung, Anbringen der Stirnscheiben, Ummantelung mit Packpapier mit Vorwahl des Packpapiers, der Anzahl der Wicklungen, Art der Verklebung, Einlegen der Stirndeckel und Verpressen, Wiegen, Anbringung von Etiketten und zuletzt Ausstoß zum Abtransport.

Formatpapier kann in Packungen mit unterschiedlicher Bogenanzahl oder als „abgeteilte“ Ware nur mit Palettenverpackung geliefert werden.¹¹⁰

Wie Punkt 4.2. zeigt, setzt sich die Papierproduktion aus vielen aufeinander folgenden Arbeitsstationen zusammen, wobei hauptsächlich maschinelle Arbeit verrichtet wird. Für die Produktionslogistik bedeutet dies unterschiedliche Kapazitäten, welche im Rahmen der Produktionsplanung bestmöglich koordiniert werden müssen. Die kapitalintensivste Anlage des Herstellungsprozesses stellt die Papiermaschine dar, weshalb ihr Stillstand auf Grund von Produktionsengpässen unbedingt vermieden werden sollte.

Die Auslastung der einzelnen Arbeitscenter ist zudem teilweise stark vom Produktionsprogramm abhängig, z.B. werden verschiedene Papiersorten unterschiedlich oft gestrichen oder nur Formataufträge laufen über die Querschneider. Dies mag für Papiererzeugungen mit wenigen oder ähnlichen Sorten unproblematisch sein, kann aber bei einem umfangreichen Produktmix zu deutlichen Auslastungsschwankungen führen. Es gilt daher in diesem Fall das Produktionsprogramm so zu gestalten, dass die Anlagen bestmöglich ausgelastet sind bzw. Schwankungen in der Auslastung, die aus dem Produktionsprogramm resultieren, durch Flexibilität auszugleichen.

¹¹⁰ Vgl. Sappi (2006) S. 14

5 Engpassanalyse der Produktion B&B

In diesem Kapitel wird das Praxisprojekt der Diplomarbeit präsentiert. Nach der Erläuterung der Ausgangssituation und des Vorgehens, werden die Ergebnisse gezeigt und mögliche Maßnahmen abgeleitet.

5.1 Ausgangssituation

Das Unternehmen B&B produziert Rollen- und Formatpapiere für den Etikettendruck. Lag der monatliche Rollenanteil im Jahr 2003 durchschnittlich bei 18,7 %, so ist er in den letzten Jahren auf 39,4 % angestiegen. Ein Rückgang ist nicht abzusehen. Diese Nachfrageänderung resultiert aus Veränderungen in der Drucktechnik sowie durch steigende Nachfrage aus Australien und Südafrika, wobei von den dortigen Etikettenherstellern vorwiegend Rollenpapier eingesetzt wird. Durch den Zusammenhang zwischen Jahreszeit und Etikettenbedarf (z.B. heißer Sommer → mehr Mineralwasserverbrauch) und der Verschiebung der Jahreszeiten auf Nord- und Südhalbkugel kommt es übers Jahr zu einem stark schwankenden Verhältnis zwischen Rollen- und Formatpapieranteil.

Der steigende bzw. schwankende Rollenpapieranteil ist für die Produktion insofern problematisch, als dass die Maschinenleistung der Rollenschneider dadurch reduziert bzw. die Auslastung nachfolgender Maschinen dadurch verschlechtert wird. In der nachstehenden Erläuterung des Produktionsablaufes werden die Zusammenhänge und Auswirkungen genauer erklärt werden.

Des Weiteren kann eine generell steigende Nachfrage an Etikettenpapieren festgestellt werden, wobei bereits Aufträge abgelehnt werden mussten. Es wurde daher von Unternehmensseite auch überlegt in eine Kapazitätserhöhung der Papiermaschine zu investieren. Dies wäre allerdings nur dann sinnvoll, wenn die nachfolgenden Maschinen bzw. Arbeitssysteme die größeren Produktionsmengen verarbeiten können.

Diese Veränderungen und Überlegungen machten es im Rahmen der Diplomarbeit erforderlich folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Welche Engpässe treten in der Produktion auf?
- Wie wirken sich unterschiedlicher Rollen- und Formatpapieranteil auf die Engpasssituation aus?
- Welche Verbesserungen könnten durch im Unternehmen überlegte Maßnahmen erzielt werden?
- Gibt es weitere Ansätze für eine Verbesserung der Engpasssituation?

5.2 Beschreibung des Produktionsablaufes B&B

Die Fertigung von B&B umfasst eine Papiermaschine mit einer Verarbeitungsbreite von 286 cm sowie einer 2-Coater-Strechanlage. Hier werden ausschließlich Etikettenpapiere erzeugt.

Für die Weiterverarbeitung und Veredelung stehen zwei Superkalander, zwei Rollenschneider und drei Sortierquerschneider zur Verfügung. Die Möglichkeit zur weiteren Veredelung bieten zwei Prägekalander mit verschiedenen Prägedesigns.

Des Weiteren gibt es je eine Packlinie für Rollen- und Formatpapiere. Die Gesamtfertigungskapazität der Niklasdorfer Papierfabrik beträgt 70.000 Jahrestonnen.

Die Papiermaschine bestimmt, welche Mengen durch das System geschleust werden müssen. Da diese die kapitalintensivste Anlage darstellt, darf ihre Produktion nicht durch die folgenden Aggregate eingeschränkt werden.

Das nachstehende Flussdiagramm soll einen beschreibenden Einblick in den komplexen Produktionsablauf geben.

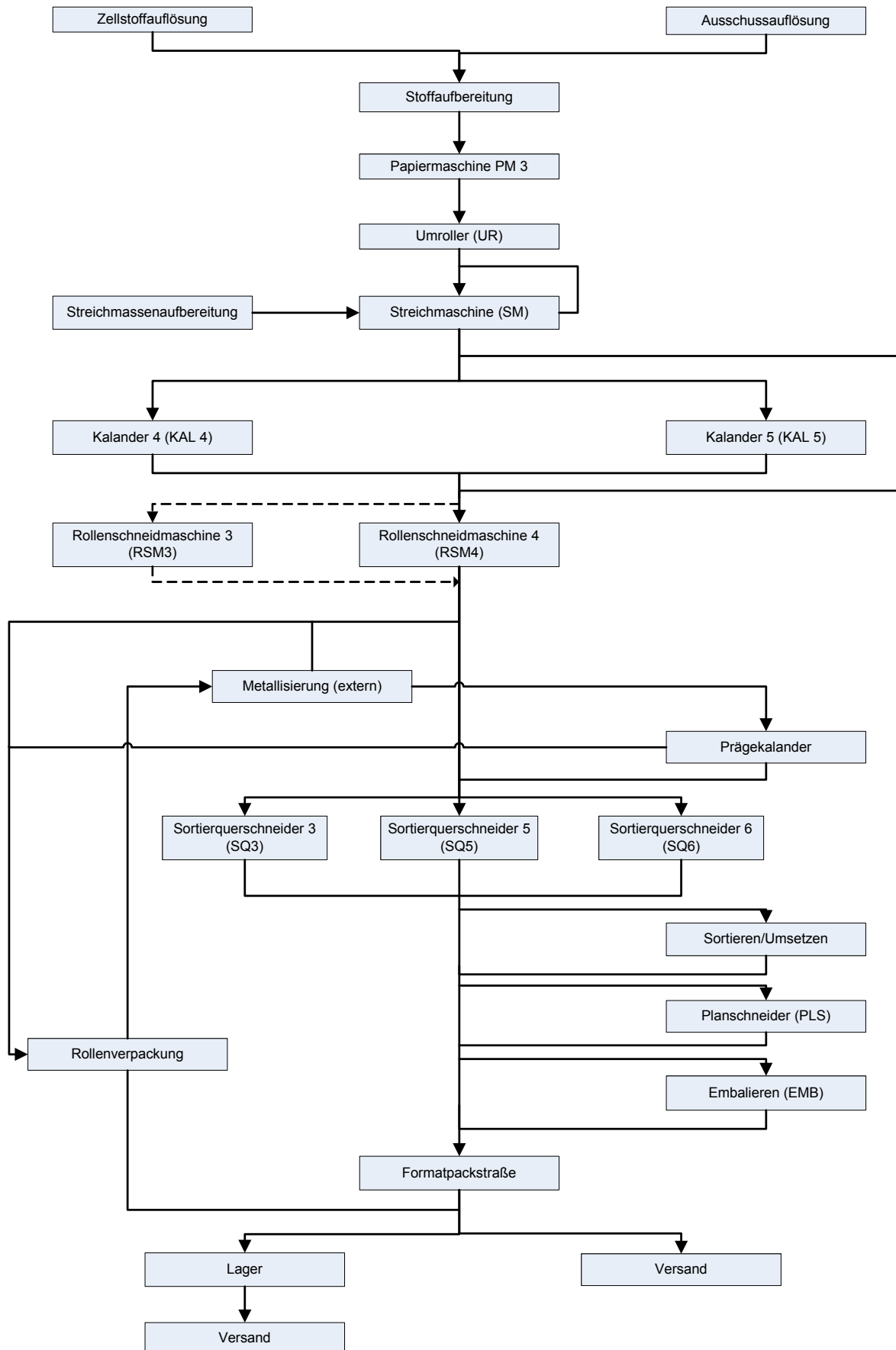


Abbildung 20 Darstellung des Produktionsablaufs¹¹¹

¹¹¹ Quelle: Eigene Darstellung an Hand von Firmenunterlagen von B&B
Nina Strohhäussli

Der Umroller und die Streichmaschine können mit der Papiermaschine zu einer Blackbox zusammengefasst werden. Ihre maximalen Geschwindigkeiten liegen über jener der Papiermaschine, wodurch deren Leistung nicht eingeschränkt wird. Das bedeutet, dass sie für eine Ist-Analyse der Engpässe vernachlässigbar sind und daher im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.

Die Papiermengen laufen weiter über einen der beiden Kalander, welche Zwillingsmaschinen sind. Auch sie können die derzeit von der Papiermaschine produzierten Mengen bewältigen.

Die Erzeugungsmengen laufen anschließend über die Rollenschneidmaschine. In der Niklasdorfer Produktion von B&B stehen zwei dieser Anlagen zur Verfügung, wobei eine Produktionsprogramm- und Personalplanung nur für die RSM 4 erfolgt. Die RSM 3 ist eine alte Maschine, welche nur in Betrieb genommen wird, um die Auftragsmenge bewältigen zu können. Ihre Geschwindigkeit liegt etwa bei der Hälfte der neuen Anlage. An den Rollenschneidern gilt es zu beachten, dass die maximale Geschwindigkeit bei Formatpapieren deutlich über jener von Rollen liegt. Das bedeutet, dass durch den vorhin erwähnten steigenden Rollenpapieranteil der stündliche Durchsatz reduziert wird.

Für Rollenpapiere, ausgenommen geprägte Rollen, endet der Produktionsdurchlauf an den Rollenschneidern und sie kommen an die Rollenpacklinie, wo ihr Produktionsdurchlauf endet. Ein höherer Anteil an Rollen bedeutet demnach bei gleicher Produktionsmenge der Papiermaschine eine schlechtere Auslastung all jener Arbeitstationen, die nur von Formatpapieren durchlaufen werden, vor allem am Sortierquerschneider und der Formatpacklinie.

Das Basispapier der Sorte Alukett kommt ebenso an den Rollenpacker und wird nach der Verpackung an einen externen Metallisierer versandt. Nach ca. 3 Wochen kommt die metallisierte Ware retour und durchläuft je nach Auftrag, d.h. Rolle oder Format, geprägt oder ungeprägt, den weiteren Produktionsablauf. Zu prägende Format- und Rollenpapiere laufen weiter an die Prägekalander. Die übrigen Formatpapiere gehen direkt an die Sortierquerschneider. Der SQ 3 bietet einen maximalen Rolleneinhang von drei Rollen, SQ 5 und SQ 6 haben jeweils die Möglichkeit für sechs Rollen. Generell sind die beiden Maschinen ident, wobei Doppelbahnen vorwiegend am SQ 5 geschnitten werden. Die Geschwindigkeit des Rollenschneiders ist bei Rollenpapieren niedriger als bei Formatpapieren, wodurch in weiterer Folge auch der stündliche Durchsatz geringer ist.

Auf die Sortierquerschneider folgen die so genannten Handarbeitsplätze. Hier werden Paletten umgesetzt oder auf Kundenwunsch doppelt aufgesetzt, Restpaletten zusammengefasst sowie Fehler aussortiert. Jene Aufträge, auf welche einer der obigen Punkte zutrifft, durchlaufen diese Station, die übrigen setzen den Produktionsdurchlauf fort.

Ein weiteres Work Center stellt der Planschneider dar. Über den Planschneider laufen folgende Paletten: Aufträge, welche am SQ nicht auf Auftragsformat geschnitten werden können, Aufträge, welche auf Kundenwunsch plan geschnitten werden, oder Paletten die auf Grund von Qualitätsmängeln nachgeschnitten werden müssen. Die unterschiedlichen Flüsse der Formatpapiere münden schließlich an der Formatpacklinie.

5.3 Rahmenbedingungen

Auf Grund der Charakteristika der Produktion und der Aufgabenstellung des Praxisprojektes wurde eine Simulation als das am besten geeignete Analyseinstrument identifiziert. Dies bietet die Möglichkeit die unterschiedlichen Produktionsparameter, vor allem im Bezug auf Rollen- und Formatpapiere, zu berücksichtigen. Ebenso kann das Zusammenwirken zwischen Produktionsprogramm und Maschinenauslastung in einer Simulation abgebildet und der Materialfluss in der Simulation berücksichtigt werden. Eine Betrachtung mit Durchlaufdiagrammen wäre in diesem Fall zu stationär. Bei einer Analyse mit Hilfe von Betriebskennlinien könnten die Einflussparameter nicht ausreichend berücksichtigt werden. Beide Analysemethoden würden außerdem den Materialfluss nicht genug mit einbeziehen. Zudem bietet die Simulation die Möglichkeit, die überlegten Verbesserungsmaßnahmen mit relativ geringem Aufwand zu testen.

Für die Engpassanalyse wurden auf Grund der Fragestellungen folgende Untersuchungsobjekte festgelegt: ein durchschnittliches Produktionsszenario, ein Szenario mit maximalem Formatpapier- und eines mit maximalem Rollenpapieranteil. Dazu wurden für das Durchschnittsszenario das Produktionsprogramm September 2006, für maximale Formatszenario der August 2006 und für das maximale Rollenszenario der November 2006 als Ausgangsbasis herangezogen. Das Produktionsprogramm mit durchschnittlichem Verhältnis zwischen Rollen- und Formatpapieranteil wurde ausgewählt, um zu überprüfen welche Engpässe generell in der Produktion auftreten. Durch die Untersuchung der beiden maximalen Produktionsprogramme sollte festgestellt werden, wie sich Rollen- und Formatanteil auf die Engpasssituation auswirken.

Es wurde vereinbart, dass eine Analyse erst ab dem Rollenschneider erfolgen muss, da die vorgelagerten Maschinen erfahrungsgemäß keine Engpässe darstellen. Diese wurden somit als Blackbox zusammengefasst und liefern den Systeminput. Des Weiteren wurden folgende Einschränkungen festgelegt:

- Die Arbeitsstation „Emballierung“ kann, auf Grund der minimalen Auftragsanzahl, in der Analyse unbetrachtet bleiben.
- Da sich die Erhebung der Aufträge, welche über die Handarbeitsplätze bzw. den Planschneider laufen als überaus aufwendig herausstellte, werden die

Handarbeitsplätze lediglich im Durchschnittsszenario bzw. der Planschneider nur im Durchschnitts- und maximalen Formatszenario betrachtet.

- Die Simulation basiert auf einem kontinuierlichen Produktionsfluss. Maschinenstillstände auf Grund von Papiermangel werden lediglich in den verfügbaren Maschinenstunden berücksichtigt, können aber keinem bestimmten Auftrag zugeordnet werden. Es soll festgestellt werden, ob ein monatliches Produktionsprogramm durch die monatlich zur Verfügung stehenden Kapazitäten abgedeckt werden kann oder ob Restbestände zurückbleiben.
- Als Warteschlangen vor den Maschinen werden die Bestände an einem Montagmorgen erhoben und als Durchschnittswerte in der Simulation verwendet.

Die nachfolgende Darstellung zeigt das in der Simulation betrachtete System.

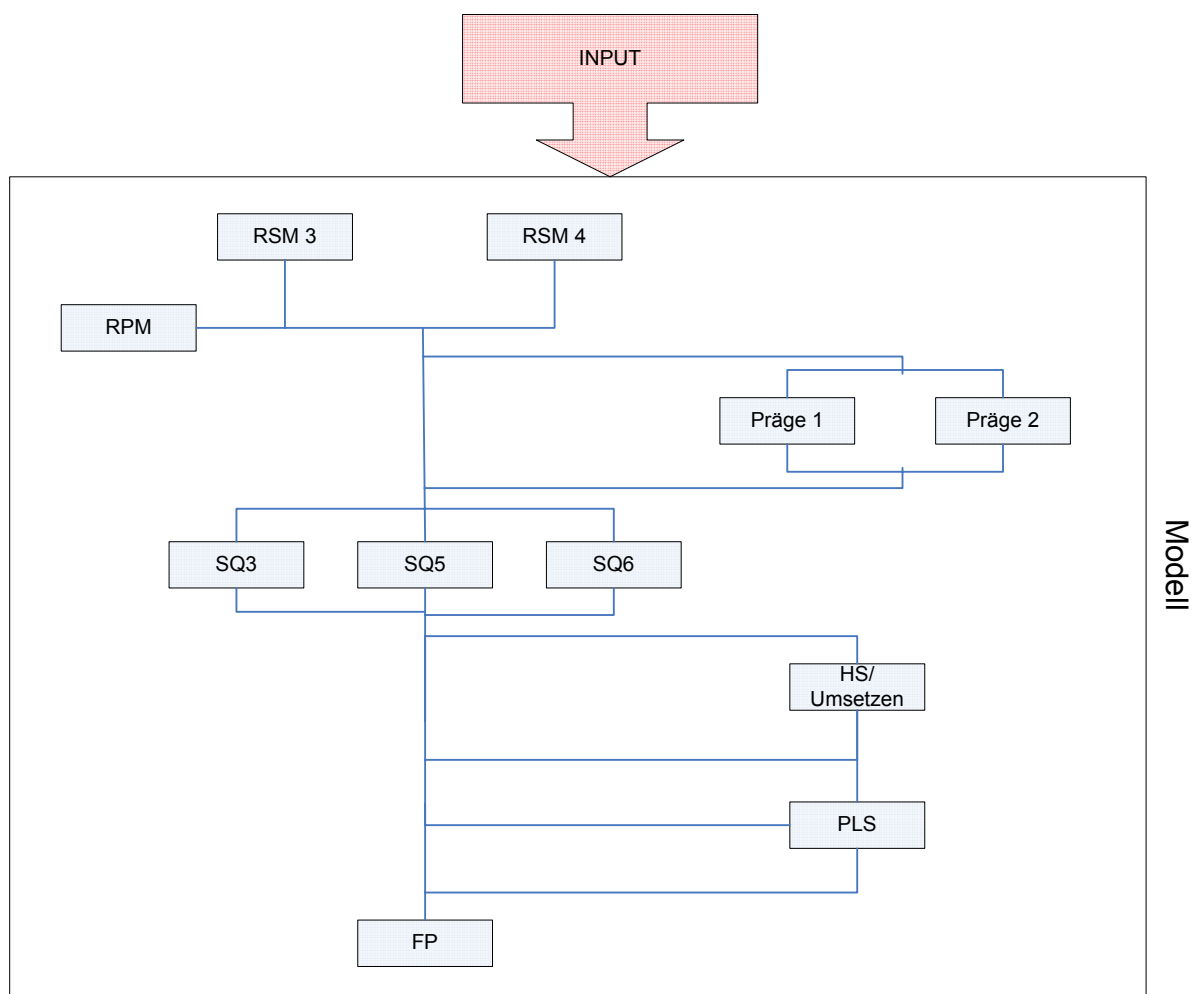


Abbildung 21 Darstellung des zu simulierenden Produktionssystems¹¹²

¹¹² Quelle: Eigene Darstellung an Hand von Firmenunterlagen von B&B
Nina Strohäussli

5.4 Vorgehen

In Kapitel 4.5. wurde die Vorgehensweise bei der Analyse mittels Simulationsmodell näher ausgeführt. Das Praxisprojekt folgt derselben.

Der erste Schritt, die Zieldefinition und die Festlegung des Betrachtungsrahmens, wurden in den Punkten 5.1. und 5.3. bereits erläutert.

Der nächste Schritt ist nun die Datenerhebung. Die Inputdaten, d.h. Produktionsprogramme, waren in Listenform erhältlich, da diese Realdaten aus dem Vorjahr sind. Allerdings handelt es sich bei diesen Daten lediglich um das Schnittprogramm für den Rollenschneider, d.h. dass der genaue weitere Produktionsdurchlauf nur beschränkt ersichtlich war. Dies wird bei der Beschreibung des Modells verdeutlicht. Da aus dem Produktionsprogramm nicht hervorgeht, welche Paletten an den Handarbeitsplätzen bearbeitet werden müssen (dies erfolgt nur auf Kundenwunsch bzw. auf Grund von Qualitätsmängeln), wurden für die Betrachtung Aufzeichnungen über die monatlichen Mengen herangezogen. Dabei wurde ein Durchschnittswert ermittelt und die Palettenanzahl auf einzelne Aufträge aufgeteilt.

Für die Ermittlung der relevanten Maschinenparameter sowie der Alukettaufträge, die nach dem Metallisieren wieder in das System einfließen, wurde auf die Schichtaufzeichnungen aus 2006 zurückgegriffen.

Für die Simulation wurde eine Excel Spreadsheet Simulation gewählt, da dazu zum Einen keine Kenntnisse spezieller Simulationssoftware bzw. Programmierkenntnisse erforderlich sind und das Unternehmen das erstellte Modell auch weiterhin verwenden kann. Des Weiteren stellt diese Form der Simulation eine relativ einfache Möglichkeit dar, die zahlreichen Parameter der Fertigung für eine erste Analyse zu erfassen und zu verknüpfen. Eine Spreadsheet Simulation besteht aus mehreren Tabellenblättern, zwischen denen Beziehungen hergestellt werden. Die Berechnung und Verknüpfung der einzelnen Tabellenblätter erfolgt über die so genannten Zellbezüge. D.h. ein Auftrag wird beispielsweise an einer Maschine (=Tabelleblatt) bearbeitet, die nachfolgende Maschine (=Tabelleblatt) übernimmt ihn und seine Daten vom Vorgänger.

Seila definiert die Spreadsheet Simulation folgendermaßen: „ ‚Spreadsheet Simulation‘ refers to the use of a spreadsheet as a platform for representing simulation models and performing simulation experiments. [...] Following is a list of capabilities that must be available:

1. A way to represent mathematical and logical relationships between variables in the form of computations and assignment of values, and algorithms that describe how to do a series of computations.
2. A way to generate uniformly distributed pseudorandom numbers and use them to sample observations from various distributions.

3. A means to repeat the computations of the model, thus implementing replications.”¹¹³

Der Aufbau der Spreadsheet Simulation ermöglicht es, die Systemvariablen wie Maschinengeschwindigkeit zu beachten und die Auswirkungen ihrer Variation auf relativ simple Weise zu untersuchen. Ihre Werte, die für die Berechnung herangezogen werden, müssen nur verändert werden und die Ergebnisse werden dementsprechend korrigiert. Der Input in das Gesamtsystem kann, sofern der Aufbau der Inputliste des Modells entspricht, leicht geändert werden. Dies ist an dieser Stelle von Vorteil, da im Praxisprojekt drei unterschiedliche Szenarien untersucht werden.

5.4.1 Modellaufbau

Jedes der drei Szenarien wurde innerhalb einer Exceldatei nachgebildet. Das Ausgangsblatt dient der Einstellung der Maschinenparameter und zeigt die Ergebnisse des Simulationslaufes.

Durchschnittsszenario							
zu verändernde Parameter		konstante Werte					
Ergebnisse des Simulationslaufs							
RSM 4		RSM 3		Prägekalender 1		Prägekalender 2	
Maschinenparameter		Maschinenparameter		Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit Rolle	1.243	Geschwindigkeit Rolle	639	Geschwindigkeit weißes Papier	536	Geschwindigkeit weißes Papier	541
Geschwindigkeit Fomat	1.368	Geschwindigkeit Fomat	717	Maschinenstunden	446	Geschwindigkeit Alukett	318
Geschwindigkeit Rolle/Fomat	1.296	Geschwindigkeit Rolle/Fomat	660			Maschinenstunden	394
Maschinenstunden	429	Maschinenstunden	165				
Anfangsbestand	366,3	Anfangsbestand	136,8	Anfangsbestand	49,9	Anfangsbestand	29,2
Endbestand	0,0	Endbestand	0,0	Endbestand	0,0	Endbestand	19,4
Produktionsmenge	5309,1	Produktionsmenge	371,2	Produktionsmenge	680,1	Produktionsmenge	479,9
Maschinenstunden	421,6	Maschinenstunden	66,1	Maschinenstunden	444,9	Maschinenstunden	386,7
Reststunden	6,4	Reststunden	98,9	Reststunden	1,1	Reststunden	7,3
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	20,3
Produktion/h	12,6	Produktion/h	5,6	Produktion/h	1,5	Produktion/h	1,2

Abbildung 22 Aufbau des Ausgangsblattes des Simulationsmodells¹¹⁴

Jedes Work Center stellt ein eigenes Arbeitsblatt dar. Dieses Arbeitsblatt enthält die Liste der zu erledigenden Aufträge mit sämtlichen auftragspezifischen Informationen und nimmt an Hand der eingegebenen Parameter die Berechnung der gesuchten Werte vor.

¹¹³ Seila(2005), S.33f.

¹¹⁴ Quelle: Eigene Darstellung

S-K Nr.	S-Netto	Erz. Nr.	Grammatnr	Sorte	RS NU	RSM Breite	Beschnittbreite	Wurf	Lfm. Wurf	Laufmeter	RL	TB-Anzahl	TB-Bedarf	TB-Rest	TB-Wechsel	Kommissionsnumm.
1	A	5 8520-00	70	350	1	138	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	189E
2	A	15 8520-00	70	350	1	138	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	189E
3	A	15 8520-00	70	350	1	138	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	189E
4	A	15 8520-00	70	350	1	138	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	190E
5	A	10,3 8520-00	70	350	1	138	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
6	A	2,5 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	189E
7	A	4,9 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
8	A	5 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
9	A	7,2 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
10	A	7,5 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	189E
11	A	9,2 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
12	A	11,1 8520-00	70	350	1	144	282	24	21500	516000	F	10,75	10,75	0,25	11	191E
13	B	4,9 8520-00	70	350	1	139	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	1914
14	B	5 8520-00	70	350	1	139	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	190E
15	B	15 8520-00	70	350	1	139	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	189E
16	B	0,2 8520-00	70	350	1	139	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	189E
17	B	7,7 8520-00	70	350	1	143	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	189E
18	B	18 8520-00	70	350	1	143	282	11	25900	284900	F	5,935416667	5,685416667	0,314583333	6	191E
19	C	1,4 8520-00	70	350	2	106	282	2	12200	24400	F	0,508333333	0,19375	0,80625	1	1914
20	C	1,8 8520-00	70	350	2	106	282	2	12200	24400	F	0,508333333	0,19375	0,80625	1	190E
21	C	1,2 8520-00	70	350	1	70	282	2	12200	24400	R	0,508333333	0,19375	0,80625	1	191E
22	D	3,2 8520-00	70	350	2	106	282	5	16600	83000	F	1,729166667	0,922916667	0,077083333	1	190E
23	D	5 8520-00	70	350	2	106	282	5	16600	83000	F	1,729166667	0,922916667	0,077083333	1	190E
24	D	3,1 8520-00	70	350	2	106	282	5	16600	83000	F	1,729166667	0,922916667	0,077083333	1	191E
25	D	3,7 8520-00	70	350	1	70	282	5	16600	83000	F	1,729166667	0,922916667	0,077083333	1	191E
26	E	13,7 8520-00	70	350	1	139	281	6	25900	155400	F	3,2375	3,160416667	0,839583333	4	189E
27	E	12 8520-00	70	350	1	142	281	6	25900	155400	F	3,2375	3,160416667	0,839583333	4	191E
28	F	4 8520-00	70	350	1	134	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	191E
29	F	4,3 8520-00	70	350	1	134	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	191E
30	F	5 8520-00	70	350	1	134	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	191E
31	F	10 8520-00	70	350	1	134	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	190E
32	F	9,8 8520-00	70	350	1	134	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	189E
33	F	8,9 8520-00	70	350	1	146	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	191E
34	F	20 8520-00	70	350	1	146	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	189E
35	F	7,5 8520-00	70	350	1	146	280	15	25900	388500	F	8,09375	7,254166667	0,745833333	8	189E
36	H	2,3 8520-00	70	350	1	74,5	276,5	4	12200	48800	F	1,016666667	0,270833333	0,729166667	1	1914
37	H	2,4 8520-00	70	350	1	106	276,5	4	12200	48800	F	1,016666667	0,270833333	0,729166667	1	191E

Abbildung 23 Beispiel für den Inhalt eines Tabellenblattes¹¹⁵

Durch die erwähnten eingeschränkten Informationen über den genauen Produktionsdurchlauf eines einzelnen Auftrages, ergibt sich die Belegung der einzelnen Arbeitsstationen in der Simulation wie folgt:

- Alle Papiere müssen die Arbeitsstation Rollenschneider durchlaufen, in der Produktion wird lediglich die RSM 4 verplant. Das bedeutet, dass es keine konkreten Aufträge gibt, die an der RSM 3 geschnitten werden. In den Simulationen werden, sowie dies auch in der Produktion der Fall ist, die RSM 3 jene Aufträge zugewiesen, die an der RSM 4 aus Kapazitätsmangel nicht geschnitten werden können und deren Parameter ein Schneiden an der RSM 3 ermöglichen.
- Zu prägende Papiere sind im Schnittprogramm gekennzeichnet. Die Zuweisung der Aufträge zu Prägekalender 1 oder 2 ist nur für metallisierte Papiere vorgegeben, da diese am Prägekalender 2 geschnitten werden. Die übrigen Aufträge werden der jeweils freien Maschine zugeteilt.
- Rollenpapiere kommen nach ihrer Fertigstellung am Rollenschneider bzw. am Prägekalender an die Rollenpacklinie und werden nach dem FIFO-Prinzip verpackt.
- Die Zuteilung der Aufträge zu den Sortierquerschneidern ist aus dem Produktionsprogramm nicht eindeutig. Für die Zuweisung der Aufträge wurden folgende Regeln, wie sie in der Produktion gelten, angewandt:

¹¹⁵ Quelle: Eigene Darstellung
Nina Strohhäussli

- Am SQ 3 werden nur spezielle Sorten bzw. kleine Rollenanzahlen geschnitten.
- Am SQ 5 kommen vorwiegend Aufträge, die in Doppelbahnen geschnitten werden.
- Alle übrigen Aufträge werden am SQ 6 geschnitten.
- Da Aufträge nur auf Grund von Qualitätsmängeln bzw. auf Kundenwunsch an den Handarbeitsplätzen bearbeitet werden und dies aus den Inputdaten nicht erkennbar ist, wurden aus Unternehmensaufzeichnungen Durchschnittswerte ermittelt und diese zufällig auf die vorliegenden Aufträge verteilt.
- Dem Planschneider wurden alle Formatpapiere zugewiesen, die am Sortierquerschneider nicht auf Auftragsformat geschnitten werden können.
- Alle Formatpapiere kommen aus den unterschiedlichen Arbeitstationen an der Formatpacklinie zusammen und werden dort nach dem FIFO-Prinzip verpackt.

Basis für die Analyse der Engpasssituation sind die durchschnittlichen monatlichen verfügbaren Maschinen- bzw. Mitarbeiterstunden an den einzelnen Arbeitsstationen. Dazu wurden folgende Durchschnittswerte aus dem Jahr 2006 herangezogen:

Arbeitsstation	Monatliche Maschinen- [MStd.] bzw. Mitarbeiterstunden [MAStd.]
Rollenschneider 3	165 [MStd.]
Rollenschneider 4	428 [MStd.]
Prägekalander 1	446 [MStd.]
Prägekalander 2	394 [MStd.]
Rollenpackanlage	720 [MStd.]
Sortierquerschneider 3	411 [MStd.]
Sortierquerschneider 5	422 [MStd.]
Sortierquerschneider 6	441 [MStd.]
Umsetzen	936 [MAStd.]
Planschneider	493 [MAStd.]
Formatpacker	2665 [MAStd.]

Tabelle 4 Durchschnittliche monatliche Maschinen- bzw. Mitarbeiterstunden der Arbeitsstationen in der Produktion von B&B

In der Simulation wird nun überprüft, ob die monatlichen Stunden ausreichen, um das geplante Produktionsprogramm zu erfüllen. Anzeichen für einen Produktionsengpass sind

entstehende Restbestände an den unterschiedlichen Arbeitsstationen, auf deren Berechnung nun weiter eingegangen wird.

5.4.2 Berechnung der Arbeitsstationen

Der Simulation der einzelnen Arbeitsstationen liegen unterschiedliche Einflussparameter zu Grunde, die im Folgenden erklärt werden:

- Rollenschneider

Die Berechnung der Maschinenstunden pro Auftrag erfolgt über folgende Formel:

$$\text{Dauer[h]} = \frac{\text{Gewicht[kg]} * 1000}{\text{Geschwindigkeit[m/min]} * \text{Grammatur[g]} * \text{Breite[m]} * 60}$$

Das Gewicht der Aufträge, sowie deren Breite und Grammatur, wird in der Simulation den jeweiligen Produktionsprogrammen entnommen. Bei der Geschwindigkeit wurde unterschieden zwischen dem Schneiden von Rollenpapieren, Formatpapieren und gemischtem Schneiden, d.h. aus einer Rolle werden sowohl Rollen- als auch Formatpapiere geschnitten. Aus den Schichtaufzeichnungen 2006 wurden die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten ermittelt und als Berechnungsgrundlage herbeigezogen:

Schnittprogramm	Geschwindigkeit RSM 3 [m/min]	Geschwindigkeit RSM 4 [m/min]
Rolle	639	1243
Format	717	1368
Rolle und Format	1296	660

Tabelle 5 Geschwindigkeiten der Rollenschneider

Zusätzlich werden An- und Abfahrverluste, welche sich beim Rollen- bzw. Tambourwechsel ergeben, berücksichtigt. Bei der RSM 3 sind dies fünf Minuten, an der RSM 4 zwei Minuten.

- Prägekalander

Zur Berechnung der Prägekalander werden die Durchschnittsgeschwindigkeiten für weißes Papier bzw. für die Sorte Alukett herangezogen, die wiederum aus den Aufzeichnungen des Unternehmens aus dem Jahr 2006 ermittelt wurden. Da Alukett nur am Prägekalander 2 produziert wird, ist diese durchschnittliche Geschwindigkeit nur für jenen Prägekalander relevant.

Sorte	Geschwindigkeit Prägekalander 1 [m/min]	Geschwindigkeit Prägekalander 2 [m/min]
Alukett	-	318
Weißes Papier	536	541

Tabelle 6 Geschwindigkeiten der Prägekalander

Die Auftragsdauer wird basierend auf der Formel der Rollenschneider berechnet. Gewicht, Grammat und Breite werden wiederum der Auftragsliste entnommen.

- Rollenpackmaschine

Da die Rollenpackmaschine größtenteils voll automatisiert arbeitet, gibt es im Unternehmen keine leistungsrelevanten Aufzeichnungen. Das durchschnittliche Rollengewicht 2006 betrug 897 kg. Nach Schätzung des Unternehmens können im Mittel pro Stunde ca. 15 Rollen verpackt werden, wodurch sich eine Verpackungsgeschwindigkeit von 13,5 t/ MStd. ergibt. Die Verpackungsdauer pro Kundenauftrag ergibt sich daher aus der Division des Auftragsgewichtes durch die Geschwindigkeit.

- Sortierquerschneider

Für die Sortierquerschneider sind folgende Einflussgrößen relevant: die Geschwindigkeit, die Anzahl eingehängter Rollen pro Maschinenlauf, das Flächengewicht und die Rollenbreite. Die Formel zur Berechnung der Maschinenstundendauer pro Auftrag ist ähnlich jener des Rollenschneiders:

$$\text{Dauer[h]} = \frac{\text{Gewicht[kg]} \cdot 1000}{\text{Rollenanzahl} \cdot \text{Flächengewicht[g]} \cdot \text{Geschwindigkeit[m/min]} \cdot \text{Rollenbreite[m]} \cdot 60}$$

Das Gewicht ist auftragspezifisch und die Simulation greift auf die Inputliste zurück. Für Rollenanzahl, Flächengewicht, Geschwindigkeit und Rollenbreite verwendet die Simulation die jeweiligen Durchschnittswerte aus 2006.

Parameter	SQ 3	SQ 5	SQ 6
Geschwindigkeit [m/min]	122	179	193
Durchschnittliche Rollenanzahl	2	5	5
Durchschnittliches Flächengewicht [g]	73	73	72
Durchschnittliche Breite [m]	63	134	71,3

Tabelle 7 Parameter der Sortierquerschneider

- Handarbeitsplätze, Planschneider und Formatpacklinie

Die entscheidenden Einflussgrößen an diesen drei Work Centern sind die Mitarbeiterleistung pro Stunde und die Anzahl der Mitarbeiter. Die Auftragsdauer berechnet sich aus der Division von Auftragsgewicht, welches sich aus dem Produktionsprogramm ergibt, durch die Mitarbeiterleistung, für die die durchschnittlichen Werte des Unternehmens aus 2006 verwendet werden.

Parameter	Handarbeitsplätze	Planschneider	Formatpacker
Mitarbeiteranzahl	6	1	4
Mitarbeiterleistung [t/MAStd.]	0,44	0,83	1,44

Tabelle 8 Parameter der Handarbeitsplätze, des Planschneiders und des Formatpackers

5.4.3 Beurteilung des Modells

Die Validierung und Verifizierung des Simulationsmodells erfolgte gemeinsam mit Mitarbeitern des Unternehmens. Im ersten Schritt wurde dabei kontrolliert, ob das Modell die Ergebnisse liefert, die für das Unternehmen notwendig sind, d.h. es wurden folgende Fragen betrachtet:

- Werden Engpässe im Modell ersichtlich?
- Berücksichtigt das Modell die Unterschiede zwischen Rollen- und Formatpapier bzw. zwischen den Sorten?
- Stimmt die Zuordnung der Aufträge zu den Maschinen?
- Können überlegte Verbesserungsmaßnahmen mit Hilfe des Modells getestet werden?

Das Grundmodell, das auf dem Szenario mit durchschnittlichem Formatanteil basiert, wurde mit Originalkennzahlen, z.B. der Produktion/h, des Unternehmens verglichen. Ebenso wurde überprüft, ob die von der Simulation berechnete Dauer pro Auftrag mit der Realität übereinstimmt.

Generell muss gesagt werden, dass die Excel Spreadsheet Simulation in ihrer Anwendung relativ eingeschränkt ist. So erweist sie sich häufig für diskrete Simulationen, für die Listen mit Warteschlangen erforderlich sind, als ineffizient.¹¹⁶ Im vorliegenden Praxisprojekt war diese Tatsache insofern problematisch, als dass die Auftragslisten „händisch“ an die Nachfolgemaschine nach den zuvor erläuterten Regeln übergeben wurde. Dies ist einer der Gründe, weshalb das Modell keine Zu- und Abgangszeiten berücksichtigt, sondern lediglich auf Aufträgen basiert, welche innerhalb eines Monats über eine bestimmte Maschine laufen

¹¹⁶ Vgl. Seila(2005), S.39
Nina Strohhäussl

müssen. Daher können keine Aussagen über eventuelle Engpässe aufgrund unterschiedlicher Einlastung, d.h. auf Grund der Auftragsreihenfolge, getroffen werden. Es kann über die Simulation nur festgestellt werden, ob die monatlich verfügbare Kapazität an Maschinen- bzw. Mitarbeiterstunden ausreicht, um die Aufträge zu erfüllen, oder ob und in welchem Ausmaß es zur Bestandsbildung kommt. Durch entstehende Restbestände kann eine Aussage über vorliegende Engpässe getroffen werden.

Die Simulation führt eine statische Berechnung bei Eingabe eines Parameters durch und berücksichtigt keine Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Maschinen. Somit kann in der Simulation nicht festgestellt werden, in wie weit sich die untersuchten Verbesserungen an einzelnen Stationen auf deren Nachfolger auswirken. Den Mitarbeitern des Unternehmens ist es auf Grund ihrer Erfahrung jedoch möglich, die berechneten Veränderungen durch Verbesserungsmaßnahmen zu beurteilen.

Das Modell bietet dem Unternehmen zusätzlich die Möglichkeit, für zukünftige Produktionsprogramme festzustellen, welche Kapazitäten erforderlich wären, um die Aufträge abzudecken bzw. ob diese überhaupt abgedeckt werden können.

5.5 Ergebnisse der Szenarioanalyse

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Simulationsläufe. Die identifizierten Engpässe sind rot eingekreist.

5.5.1 Durchschnittsszenario

Der Simulation des Durchschnittsszenarios liegt das Produktionsprogramm aus September 2006 zu Grunde, wobei das Verhältnis zwischen Rollen- und Formatpapieranteil bei 39,2 % zu 60,8 % lag. Das System erhielt einen Gesamtinput von 5177,2 t, was im Vergleich zu den beiden folgenden Szenarien relativ gering ist. Die nachstehenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Berechnungen:

Durchschnittsszenario			
zu verändernde Parameter			
konstante Werte			
Ergebnisse des Simulationslaufs			
RSM 4		RSM 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit Rolle	1.243	Geschwindigkeit Rolle	639
Geschwindigkeit Format	1.368	Geschwindigkeit Format	717
Geschwindigkeit Rolle/Format	1.296	Geschwindigkeit Rolle/Format	660
Maschinenstunden	428	Maschinenstunden	165
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
	366,3		136,8
Endbestand	0,0	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	5309,1	Produktionsmenge	371,2
Maschinenstunden	421,6	Maschinenstunden	66,1
Reststunden	6,4	Reststunden	98,9
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0
Produktion/h	12,6	Produktion/h	5,6
Prägekalender 1		Prägekalender 2	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit weißes Papier	536	Geschwindigkeit weißes Papier	541
Maschinenstunden	446	Geschwindigkeit Alukett	318
		Maschinenstunden	394
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
	49,9		29,2
Endbestand	0,0	Endbestand	19,4
Produktionsmenge	680,1	Produktionsmenge	479,9
Maschinenstunden	444,9	Maschinenstunden	386,7
Reststunden	1,1	Reststunden	7,3
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	20,3
Produktion/h	1,5	Produktion/h	1,2

Tabelle 9 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 1

RPM		SQ 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	13,5	Geschwindigkeit	122
		Durchschnittliche Rollenanzahl	2
		Durchschnittliches FLG	73
		Durchschnittliche Breite	63
		Maschinenstunden	411
Anfangsbestand	0,0	Anfangsbestand	15,3
Produktionsmenge	2129,7	Endbestand	19,4
Maschinenstunden	157,8	Produktionsmenge	303,9
		Maschinenstunden	399,0
		Reststunden	12,0
		Fehlstunden	25,5
		Produktion/h	0,8
SQ 5		SQ 6	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	179	Geschwindigkeit	193
Durchschnittliche Rollenanzahl	5	Durchschnittliche Rollenanzahl	5
Durchschnittliches FLG	73	Durchschnittliches FLG	72
Durchschnittliche Breite	134	Durchschnittliche Breite	71,3
Maschinenstunden	422	Maschinenstunden	441
Anfangsbestand	36,9	Anfangsbestand	49,1
Endbestand	189,0	Endbestand	45,8
Produktionsmenge	2015,8	Produktionsmenge	1348,4
Maschinenstunden	413,7	Maschinenstunden	438,8
Reststunden	8,3	Reststunden	2,2
Fehlstunden	48,9	Fehlstunden	14,9
Produktion/h	4,9	Produktion/h	3,1
Umsetzen		PLS	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	0,44	Geschwindigkeit	0,83
Mitarbeiteranzahl	6	Mitarbeiteranzahl	1
Arbeitsstunden/MA	156	MA-Leistungstunden	493
Anfangsbestand	0,0	Anfangsbestand	0,0
Endbestand	58,6	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	408,6	Produktionsmenge	324,9
Mitarbeiterstunden	928,5	Mitarbeiterstunden	375,1
Reststunden	7,5	Reststunden	117,9
Fehlstunden	133,1	Fehlstunden	0,0

Tabelle 10 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 2

Formatpacker	
Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	1,44
Mitarbeiteranzahl	4
Arbeitsstunden	2.665
Anfangsbestand	122,4
Endbestand	194,4
Produktionsmenge	3339,7
Mitarbeiterstunden	2649,6
Reststunden	15,4
Fehlstunden	158,0

Tabelle 11 Ergebnisse des Simulationslaufs im Durchschnittsszenario Teil 3

Der Simulationslauf hat an folgenden Arbeitsstationen Restbestände ergeben, die kritisch zu betrachten sind:

- SQ 5

Am Sortierquerschneider 5 bleibt in der Simulation ein Restbestand von 189,0 t. Bei einem Anfangsbestand von 36,9 t bedeutet dies einen Zuwachs von über 150 t. Die Leistung des Sortierquerschneiders liegt bei 4,9 t/h, d.h. es würde 31 Arbeitsstunden dauern, den aufgebauten Bestand wieder abzubauen, bzw. 39 Stunden um die gesamte Warteschlange abzubauen.

- Umsetzen

Aus dem Systeminput, dem Produktionsprogramm September 2006, ergeben sich 457,2 t Papier, welche umgesetzt werden müssen. Bei einer vorhandenen Mitarbeiterstundenanzahl von 156 h/MA und 6 Mitarbeitern können aber lediglich 408,6 t umgesetzt werden. Es bleibt ein Endbestand von 58,6 t, für dessen Abbau 133 MASTd. erforderlich wären. Dies entspricht beinahe einem zusätzlichen Mitarbeiter.

- Formatpacker

Am Formatpacker ergibt die Simulation eine Erhöhung der Warteschlange um 72 t. Für den Abbau des Restbestandes von insgesamt 194,4 t wären 158 MA Std. notwendig, was wiederum den monatlichen Arbeitsstunden eines Mitarbeiters entspricht.

An den anderen Arbeitsstationen sind in diesem Szenario keine Anzeichen eines Engpasses erkennbar, da der vorliegende Anfangsbestand entweder konstant blieb bzw. an einigen Maschinen sogar abgebaut werden konnte. Wie vermutet, musste an den Rollenschneidern ein Teil der Produktionsmenge, genau 371,2 t, an der RSM 3 produziert werden. Diese Menge kann jedoch von der Maschine bei der vorhandenen durchschnittlichen Maschinenstundenanzahl abgefertigt werden.

Jene drei Arbeitsstationen, die Anzeichen für einen Engpass aufweisen, werden in den beiden folgenden Szenarien mit besonderem Augenmerk betrachtet.

5.5.2 Szenario maximaler Formatanteil

Der Anteil an Formatpapier lag bei einer Gesamtmenge von 6186,2 t, was über 1000 t über der im Durchschnittsszenario geplanten Menge liegt, bei 71 %. Basis für diese Analyse war das Produktionsprogramm August 2006 des Unternehmens. Die Anfangsbestände vor den einzelnen Produktionsschritten entsprechen jenen des Durchschnittsszenarios, da dies in den Rahmenbedingungen des Projektes so vereinbart wurde.

Die genauen Ergebnisse dieses Simulationslaufes werden in den folgenden Tabellen präsentiert:




Szenario maximaler Formatpapieranteil			
zu verändernde Parameter			
konstante Werte			
Ergebnisse des Simulationslaufs			
RSM 4		RSM 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit Rolle	1.243	Geschwindigkeit Rolle	639
Geschwindigkeit Format	1.368	Geschwindigkeit Format	717
Geschwindigkeit Rolle/Format	1.296	Geschwindigkeit Rolle/Format	660
Maschinenstunden	428	Maschinenstunden	165
Anfangsbestand	516,2	Anfangsbestand	30,2
Endbestand	0,0	Endbestand	363,7
Produktionsmenge	5511,6	Produktionsmenge	857,3
Maschinenstunden	424,9	Maschinenstunden	164,5
Reststunden	3,1	Reststunden	0,5
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	70,2
Produktion/h	13,0	Produktion/h	5,2

Tabelle 12 Ergebnisse des Simulationslaufes bei maximalem Formatpapieranteil Teil 1

Prägekalender 1		Prägekalender 2	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit weißes Papier	536	Geschwindigkeit weißes Papier	541
Maschinenstunden	446	Geschwindigkeit Alukett	318
		Maschinenstunden	394
Anfangsbestand	49,9	Anfangsbestand	29,2
Endbestand	0,0	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	527,5	Produktionsmenge	429,9
Maschinenstunden	326,8	Maschinenstunden	355,4
Reststunden	119,2	Reststunden	38,6
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0
Produktion/h	1,6	Produktion/h	1,2
RPM		SQ 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	13,5	Geschwindigkeit	122
		Durchschnittliche Rollenanzahl	2
		Durchschnittliches FLG	73
		Durchschnittliche Breite	63
		Maschinenstunden	411
Anfangsbestand	0,0	Anfangsbestand	15,3
Produktionsmenge	2175,8	Endbestand	57,5
Maschinenstunden	161,2	Produktionsmenge	306,1
		Maschinenstunden	402,0
		Reststunden	9,0
		Fehlstunden	75,5
		Produktion/h	0,8

Tabelle 13 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Formatpapieranteil Teil 2

SQ 5		SQ 6	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	179	Geschwindigkeit	193
Durchschnittliche Rollenanzahl	5	Durchschnittliche Rollenanzahl	5
Durchschnittliches FLG	73	Durchschnittliches FLG	72
Durchschnittliche Breite	134	Durchschnittliche Breite	75
Maschinenstunden	422	Maschinenstunden	441
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
	36,9		49,1
Endbestand	811,1	Endbestand	87,1
Produktionsmenge	2156,5	Produktionsmenge	1446,7
Maschinenstunden	419,3	Maschinenstunden	435,0
Reststunden	2,7	Reststunden	6,0
Fehlstunden	157,7	Fehlstunden	26,2
Produktion/h	5,1	Produktion/h	3,3
PLS		Formatpacker	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	0,83	Geschwindigkeit	1,44
Mitarbeiteranzahl	1	Mitarbeiteranzahl	4
MA-Leistungsstunden	493	Arbeitsstunden	2.665
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
	0,0		122,4
Endbestand	98,9	Endbestand	1185,3
Produktionsmenge	405,1	Produktionsmenge	3834,5
Mitarbeiterstunden	488,0	Mitarbeiterstunden	2662,9
Reststunden	5,0	Reststunden	2,1
Fehlstunden	119,2	Fehlstunden	823,1

Tabelle 14 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Formatpapieranteil Teil 3

Im Vergleich zum ersten Szenario, können in diesem Szenario wesentlich mehr Arbeitscenter die geplanten Aufträge nicht abfertigen. Es handelt sich hierbei um folgende:

- Rollenschneider

An den Rollenschneidern liegt in der Simulation bereits ein Anfangsbestand von insgesamt 546,4 t vor. Der Restbestand am Ende des Simulationslaufes liegt bei 363,7 t an der RSM 3, die aber auch der RSM 4 zugeordnet werden könnten. Insgesamt wurden an den Rollenschneidern 6368,9 t Papier geschnitten. Obwohl Bestände abgebaut wurden, muss die Arbeitsstation als potentieller Engpass betrachtet werden. Die Ergebnisse des folgenden Szenarios mit maximalem Rollenpapieranteil, bei dem wie erwähnt eine niedrigere durchschnittliche

Maschinengeschwindigkeit vorliegt, sind daher für weitere Schlussfolgerungen relevant.

- Sortierquerschneider

An allen drei Sortierquerschneidern werden bei der Simulation des maximalen Formatsszenarios Bestände aufgebaut. Die Bestände nach dem Simulationsdurchlauf eines Monats betragen am SQ 3 57,5 t, am SQ 6 87,1 t und am SQ 5 811,1 t, diese Menge zum Teil auch dem SQ 6 zugewiesen werden könnte. Bei einer durchschnittlichen Produktion von 5,1 t/h am SQ 5 würde die Abfertigung des Restbestandes 159 MStd. in Anspruch nehmen, was 37 % der durchschnittlichen monatlichen Maschinenstunden entspricht.

- Planschneider

Am Planschneider ergibt sich am Monatsende ein Bestand von 98,9 t. Insgesamt sollten in diesem Monat 504 t plan geschnitten werden, im zuvor berechneten Durchschnittsszenario waren es lediglich 324,9 t. Die größere Produktionsmenge sowie der Bestandsaufbau sind Resultat des höheren Formatanteils in diese Szenariobetrachtung.

- Formatpacker

Wie bereits im zuvor berechneten Szenario, bleibt auch bei dieser Simulation ein Restbestand. Da der Formatanteil in diesem Produktionsprogramm maximal ist, ist auch die Warteschlange vor dem Arbeitssystem entsprechend höher. Bei 2.665 MASTd. bleibt hier ein Restbestand von 1185,3 t. In etwa ein Drittel der monatlichen MASTd. wäre erforderlich, um diese Restmenge zu verpacken.

Lediglich die beiden Prägekalander sowie die Rollenpackanlage konnten in diesem Szenario die geplanten Mengen produzieren. Daher muss auch in Betracht gezogen werden, dass die Produktionsplanung im August 2006 zu hoch angesetzt war.

Für eine weitere Beurteilung der Engpasssituation wird nun das Produktionsprogramm mit maximalem Rollenpapieranteil betrachtet.

5.5.3 Szenario maximaler Rollenanteil

Im November 2006, Basismonat dieses Szenarios, lag der Rollenpapieranteil bei 51,1 % bei einem Systeminput von 5631,8 t.

Nachstehende Tabellen zeigen die Ergebnisse dieses Simulationsszenarios:




Szenario maximaler Rollenpapieranteil			
zu verändernde Parameter			
konstante Werte			
Ergebnisse des Simulationslaufs			
RSM 4		RSM 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit Rolle	1.243	Geschwindigkeit Rolle	639
Geschwindigkeit Format	1.368	Geschwindigkeit Format	717
Geschwindigkeit Rolle/Format	1.296	Geschwindigkeit Rolle/Format	660
Maschinenstunden	428	Maschinenstunden	165
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
Endbestand	260,0	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	5092,3	Produktionsmenge	825,9
Maschinenstunden	406,9	Maschinenstunden	142,9
Reststunden	21,1	Reststunden	22,1
Fehlstunden	22,7	Fehlstunden	0,0
Produktion/h	12,5	Produktion/h	5,8
Prägekalender 1		Prägekalender 2	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit weißes Papier	536	Geschwindigkeit weißes Papier	541
Maschinenstunden	446	Geschwindigkeit Alukett	318
Anfangsbestand		Anfangsbestand	
Endbestand	0,0	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	385,5	Produktionsmenge	322,2
Maschinenstunden	238,0	Maschinenstunden	273,3
Reststunden	208,0	Reststunden	120,7
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0
Produktion/h	1,6	Produktion/h	1,2

Tabelle 15 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 1

RPM		SQ 3	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	13,5	Geschwindigkeit	122
		Durchschnittliche Rollenanzahl	2
		Durchschnittliches FLG	73
		Durchschnittliche Breite	63
		Maschinenstunden	411
Anfangsbestand	0,0	Anfangsbestand	15,3
Produktionsmenge	3359,1	Endbestand	0,0
Maschinenstunden	248,8	Produktionsmenge	235,8
		Maschinenstunden	304,4
		Reststunden	106,6
		Fehlstunden	0,0
		Produktion/h	0,8
SQ 5		SQ 6	
Maschinenparameter		Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	179	Geschwindigkeit	193
Durchschnittliche Rollenanzahl	5	Durchschnittliche Rollenanzahl	5
Durchschnittliches FLG	73	Durchschnittliches FLG	72
Durchschnittliche Breite	134	Durchschnittliche Breite	75
Maschinenstunden	422	Maschinenstunden	441
Anfangsbestand	36,9	Anfangsbestand	49,1
Endbestand	0,0	Endbestand	0,0
Produktionsmenge	1716,4	Produktionsmenge	1253,5
Maschinenstunden	333,9	Maschinenstunden	376,9
Reststunden	88,1	Reststunden	64,1
Fehlstunden	0,0	Fehlstunden	0,0
Produktion/h	5,1	Produktion/h	3,3

Tabelle 16 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 2

Formatpacker	
Maschinenparameter	
Geschwindigkeit	1,44
Mitarbeiteranzahl	4
Arbeitsstunden	2.665
Anfangsbestand	122,4
Endbestand	0,0
Produktionsmenge	3328,1
Mitarbeiterstunden	2311,2
Reststunden	353,8
Fehlstunden	0,0

Tabelle 17 Ergebnisse des Simulationslaufs bei maximalem Rollenpapieranteil Teil 3

Im dritten betrachteten Szenario bleibt lediglich an den Rollenschneidern ein Restbestand zurück. Die Produktionsmenge an der RSM 4 liegt mit 5092 t deutlich unter jener der beiden vorhergehenden Szenarien. Dies ist das Resultat der langsameren Geschwindigkeit bei Rollenpapieren. An der RSM 3 ist die Produktivität in diesem Szenario jedoch am höchsten. Grund dafür ist, dass an dieser Maschine nur ein bestimmter Anteil der Aufträge geschnitten werden kann. Auch wenn der prozentuelle Anteil an Rollenpapier, bezogen auf den Gesamtinput des Systems hier am höchsten ist, so bedeutet das nicht, dass auch an der RSM 3 mehr Rollenpapiere produziert werden. Wie erwähnt hat die Belegung der RSM 4 Priorität und dadurch kann es in der Produktion vorkommen, so wie es auch in diesem Szenario der Fall ist, dass trotz hohem Rollenpapieranteil an der RSM 3 vorwiegend Formatpapiere geschnitten werden.

Erwähnt werden muss an dieser Stelle auch, dass in der Betrachtung des maximalen Rollenanteils die gesamte Produktionsmenge um ca. 500 t geringer ist als im Szenario mit maximalem Formatanteil. Das bedeutet, würde man dem System dieselbe Gesamtinputmenge zuführen wie im zuvor betrachteten Szenario, so würde der Restbestand an den Rollenschneidern statt 260 t ca. 800 t betragen.

Deutlich wird in diesem Szenario auch die Auswirkung des höheren Rollenpapieranteils auf die Sortierquerschneider bzw. die Formatpacklinie. Während in den beiden anderen Szenarien an diesen Arbeitssystemen Restbestände gebildet werden, können die Aufträge bei vorliegendem betrachtetem Produktionsprogramm erfüllt werden bzw. bleibt sogar noch Kapazität ungenutzt. Basierend auf den monatlichen Maschinenstunden ergeben sich hier an den Sortierquerschneidern folgende Auslastungen:

SQ 3: 74,1 %

SQ 5: 79,1 %

SQ 6: 85,5 %

5.5.4 Beurteilung der Ergebnisse und Beurteilung möglicher Verbesserungen

Die an den einzelnen Arbeitsstationen gewonnen Erkenntnisse werden im Folgenden näher betrachtet. Weiters wurden von Unternehmensseite teilweise Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen, die mit Hilfe des Simulationsmodells getestet wurden.

- Rollenschneider

Wie bereits erwähnt ist die RSM 3 eine alte Maschine, welche für die Produktion nicht mehr verplant wird. Wie die Szenarienanalyse gezeigt hat, werden in den beiden Szenarien maximaler Format- und Rollenpapieranteil über 850 t Papier an der RSM 3 erzeugt. Die Menge im Durchschnittsszenario liegt lediglich weit darunter, da der allgemeine Systeminput geringer als in den beiden anderen Szenarien war. Bei maximalem Formatanteil bleibt sogar ein Restbestand von 363 t, wobei dieser auch der RSM 4 zugeordnet werden kann, da dieser ebenso keine verfügbaren Maschinenstunden mehr aufweist. Bei maximalem Rollenpapieranteil bleibt an der RSM 4 ein Restbestand von 260 t, wobei allerdings 516,2 t Anfangsbestand vorhanden waren.

Ein Test am Szenario mit maximalem Rollenpapieranteil hat gezeigt, dass bei einer Maschinenstundenverfügbarkeit von 428 h (wie RSM 4) eine Menge von 2465 t über die RSM 3 gefahren werden könnte. Allerdings können von den Aufträgen, so wie sie im derzeitigen Produktionsprogramm geplant sind, nur maximal 1250 t über die RSM 3 laufen. Entscheidend dabei sind Rollenbreite, Rollendurchmesser aber auch nicht beeinflussbare Parameter wie Sorte oder Beschnittbreite. Rollenbreite und -durchmesser können zwar für die RSM 3 geeignet geplant werden, dies hätte allerdings folgende Konsequenz: Während die durchschnittliche Rollenbreite an der RSM 4 bei 273 cm liegt (Maximum: 282 cm), beträgt sie an der RSM 3 nur 250 cm im Durchschnitt (Maximum: 276 cm). Dies würde einen Verschnitt von 23 cm bedeuten. Bevor eine eigene Planung für die RSM 3 vorgenommen wird, gilt es für das Unternehmen zu prüfen, wie sich eine solche Veränderung auf den Deckungsbeitrag auswirkt und ab welchem Grad die wirtschaftlichen Nachteile zu groß wären.

Zu empfehlen ist allerdings, dass die RSM 3 zumindest in der Personalplanung berücksichtigt wird. Da in der derzeitigen Situation bereits alle aus dem Produktionsprogramm möglichen Aufträge auf dieser Maschine laufen, kann der

Personalbedarf bereits kalkuliert werden und es kommt nicht zu Engpässen auf Grund von Personalmangel.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass an den Rollenschneidern eine Kapazitätserhöhung erforderlich ist, auch in Anbetracht einer Erhöhung der Produktionsmenge. Ob diese in Form von Personal für die RSM 3, einer Geschwindigkeitserhöhung, sofern möglich, oder im Ankauf einer neuen Maschine besteht muss vom Unternehmen geprüft werden.

- Prägekalander

Bei der Analyse der Prägekalander haben sich lediglich im Durchschnittsszenario am Prägekalander 2 Restbestände ergeben. Da sich herausgestellt hat, dass der Prägepapieranteil in den gewählten Szenarien relativ gering war und im heurigen Jahr zusätzlich angestiegen ist, wurden auch an den Prägekalandern Test an den Szenarien durchgeführt. So würde eine Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit auf 600 m/min für weißes Papier zwar nur eine geringfügige Verbesserung der Produktion/Stunde von 1,6 t/h auf 1,7 t/h am Präge 1 bzw. von 1,2 t/h auf 1,3 t/h am Präge 2 bewirken, eine Erhöhung auf 700 m/min würde die Leistung jedoch deutlich steigern: anstatt der derzeitigen Werte könnten am Prägekalander 1 2,0 t bzw. am Prägekalander 2 1,5 t pro Stunde erreicht werden. Dies würde bei gleich bleibenden Maschinenstunden eine monatliche Papiermenge von 892 t bzw. 591 t bedeuten.

Zurzeit liegt die theoretische Maximalgeschwindigkeit bereits bei 600 m/min. Diese kann allerdings nicht erreicht werden, da es zu Walzenvibrationen kommt, deren Ursache im Moment noch unbekannt ist. Vermutet werden eventuelle Frequenzüberlagerungen welche ihren Ursprung in diversen Parametern haben können. Durch die Vibrationen kommt es zu einer leichten Markierung des Papiers, welche entweder in der Bahnmitte oder am Rand stärker ausgeprägt ist, wodurch die Qualität nicht mehr den Anforderungen entspricht.

Bevor über eine Erhöhung auf eine Geschwindigkeit auf 700 m/min nachgedacht werden kann, müssen diese Probleme bewältigt werden. Sollte die Entscheidung für eine solche Geschwindigkeitserhöhung getroffen werden, wäre eine Investition in den Maschinenantrieb erforderlich, welche erst kalkuliert werden müsste. Mit dem derzeitigen Motor würde bei kleineren Formaten die maximale Drehzahl überschritten. Das Fahren mit unterschiedlichen Maschinengeschwindigkeiten ist nicht möglich, da sich dadurch keine konstante Qualität ergeben würde.

Des Weiteren wurde getestet, wie die Leistung des Prägekalanders 2 bei reiner Alukett-Produktion aussehen würde, da es von der Firmenleitung Überlegungen in diese Richtung gibt. Monatlich könnten derzeit nur 293 t Alukett-Papier gefertigt werden. Von einer derartigen Veränderung ist daher bei der momentanen Maschinenleistung abzuraten. Sollte

es gelingen die Geschwindigkeit zu erhöhen, könnten Umgestaltungen ins Auge gefasst werden.

Am Prägekalander gilt es allerdings zu beachten, dass nicht alle Papiere, sondern hauptsächlich die Sorten Fashion und Alukett, geprägt werden. Somit könnte auch die Einlastung für aktuell bestehende Engpässe verantwortlich sein. Dazu müsste die derzeitige Produktionssituation mit aktuellen Produktionsprogrammen analysiert werden.

- Rollenpackmaschine

Für die Rollenpackmaschine konnten lediglich die monatlichen Produktionsmengen berechnet werden. Der Rollenpacker hat im Unternehmen bisher keinerlei Anzeichen von Engpässen gezeigt, was vielleicht einer der Gründe ist, weshalb keine Aufzeichnungen über etwaige Leistungskennzahlen geführt werden. Die Packlinie wird von den Mitarbeitern der Rollenschneider mitbetrieben und die Verpackung erfolgt größtenteils voll automatisiert.

Als einzige Beschränkung konnte davon ausgegangen werden, dass ein Monat 720 Stunden entspricht und diese nicht überschritten werden dürfen. Ein Engpass konnte an dieser Maschine somit nicht identifiziert werden.

- Sortierquerschneider

Die Sortierquerschneider erweisen sich sowohl im Durchschnitts- als auch im maximalen Formatszenario als Engpass. Um die Leistung an den Sortierquerschneidern zu erhöhen, sind die einzigen Drehschrauben die Geschwindigkeit oder die Anzahl eingehängter Rollen. Eine Erhöhung der Anzahl eingehängter Rollen würde folgendes bedeuten: Die Rollenanzahl müsste am Rollenschneider idealer Weise ein Vielfaches von 6 (zumindest aber von 5) betragen, da 6 die Anzahl maximal einzuhängender Rollen darstellt. Dies würde zusätzlich zu einer geringeren Laufmeteranzahl pro Rolle führen und dadurch die Leistung der Querschneider erhöhen. Diese Maßnahmen führen allerdings zu einer Reduzierung der Rollenschneiderleistung, da es zu häufigeren Rollenwechseln (=Stillstand) und An- und Abfahrtsverlusten kommt. Da der Rollenschneider ohnehin schon einen Engpass darstellt, kann diese Variante nicht in Betracht gezogen werden.

Bleibt damit nur eine Erhöhung der Geschwindigkeit. Getestet wurden die Auswirkungen einer Geschwindigkeitserhöhung am maximalen Formatszenario. Angenommen wurde eine maximale Geschwindigkeit von 235 m/min, welche allerdings erst ab einer Haulänge, jener Länge in der die Papierbahnen geschnitten werden, von 800 mm erreicht werden kann. Darunter liegen die maximalen Geschwindigkeiten bei:

Haulänge	Maximale Geschwindigkeit
< 600 mm	190 m/min
> 600 und < 650 mm	200 m/min
> 650 und < 800 mm	220 m/min

Dieser Testlauf hat folgende Ergebnisse geliefert: Die Leistung des SQ 5 könnte auf 6,2 t/h, jene des SQ 6 auf 4,2 t/h gesteigert werden, was bei gleich bleibenden Maschinenstunden eine monatliche Produktionsmenge von 2616 bzw. 1886 t bedeuten würde. Im Falle des maximalen Formatanteilszenarios würde damit am SQ 6 kein Restbestand entstehen und zusätzlich würden 114 Maschinenstunden zur Verfügung stehen. Am SQ 5 beträgt der Endbestand lediglich 375 t und diese Menge könnte größtenteils vom SQ 6 abgebaut werden.

Das Unternehmen sollte auf Grund der Ergebnisse eine solche Erhöhung unbedingt in Betracht ziehen.

- Umsetzen, Planschneider, Formatpacker

Die Berechnung der Formatpacker erfolgt über die durchschnittlichen monatlichen Mitarbeiterstunden. Dazu muss erwähnt werden, dass das Unternehmen die Aufzeichnungen über die Arbeitsstunden gerade überarbeitet, da Unsicherheiten bezüglich deren Korrektheit bestehen.

Mit den derzeitigen Werten würden an allen drei Stationen in unterschiedlichen Szenarien Engpässe entstehen. Da B&B versucht seine Mitarbeiter möglichst vielseitig an unterschiedlichen Work Centern einzusetzen, könnten die Fehlstunden beim Umsetzen und am Planschneider durch den Einsatz von Arbeitern anderer Arbeitsplätze, so fern diese dort entbehrlich sind, abgedeckt werden.

Herausstechend ist allerdings die Situation am Formatpacker im Szenario maximaler Formatanteil: Bei durchschnittlicher Mitarbeiterstundenanzahl ergibt sich ein Restbestand von über 1100 t, was einer Fehlstundenanzahl von 823 Stunden entspricht. Auch bei Erheben des Anfangsbestandes ergaben sich 122,4 t, was 75 Arbeitsstunden bedeuten würde, die sich bei Durchlaufen des Durchschnittsszenarios um ca. 70 t aufbauten. Am Formatpacker konnte damit ein klarer Engpass erkannt werden.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass das Unternehmen über die Einstellung von zumindest einem Mitarbeiter nachdenken sollte. Dieser könnte, wie dies auch mit anderen Mitarbeitern bereits der Fall ist, flexibel auch an den Handarbeitsplätzen und dem Planschneider eingesetzt werden.

Neben der untersuchten Geschwindigkeitserhöhung an den Maschinen muss zusätzlich eine Erhöhung der Maschinenstunden ins Auge gefasst werden. Viele Stillstände in der Papiererzeugung sind technisch bedingt und somit unabdingbar. Allerdings wurde im Rahmen der Modellerstellung festgestellt, dass in den Stillstandsaufzeichnungen an Prägekalandern und Sortierquerschneidern auch „sonstige Stillstände“ angeführt werden. Rechnet man die durchschnittlichen monatlichen Stillstände auf ein Jahr hoch, so ergibt sich folgender Anteil von „Sonstigen Stillständen“:

Prägekalander 1	41,9 %
Prägekalander 2	50 %
SQ 3	9,5 %
SQ 5	30 %
SQ 6	28,3 %

In den Bereich „Sonstige Stillstände“ fällt unter anderem auch Personalmangel. Da sich die Auswertung der Aufzeichnungen, um welche Art genau von Stillstand es sich handelt als sehr arbeitsintensiv gestalten würde bzw. die Aufzeichnungen nicht alle vollständig sind, wird empfohlen die sonstigen Stillstände genau zu dokumentieren und anschließend zu analysieren. Eventuell lassen sich hier vorhandene Personalengpässe feststellen oder Stillstandsursachen eliminieren, so dass die monatliche Maschinenstundenanzahl erhöht werden könnte.

Zusammengefasst konnten im Rahmen der Untersuchung der Engpasssituation zwei wesentliche Engpassstationen identifiziert werden: die Rollen- und die Sortierquerschneider. Dies ist insofern problematisch, als dass sich viele Optimierungsansätze an der einen Arbeitsstation negativ auf die andere auswirken. So wäre die Leistung an den Sortierquerschneidern beispielsweise dadurch zu erhöhen, dass die maximale Rollenanzahl eingehängt wird. Das würde allerdings mehr Rollenwechsel an den Rollenschneidern bedeuten und dies würde deren Leistung wiederum schmälern. Das Unternehmen muss sich daher entscheiden, welche Maschine der Engpass sein soll bzw. nach Alternativen suchen, die zu einer akzeptablen Lösung für beide Arbeitsstationen führen. Ansatzpunkte dafür liegen mit Sicherheit in der Gestaltung des Produktionsprogramms, da dieses sowohl die Leistung, als auch die Auslastung der Maschinen stark beeinflusst.

Im theoretischen Teil wurden Ursachen für Produktionsengpässe mit Hilfe des Ishikawa-Diagramms untersucht. Im Fall von B&B konnten Maschinen- und Personalengpässe identifiziert werden, deren Ursachen, betrachtet mit Hilfe der erstellten Ishikawa-Diagramme, in folgenden Punkten liegen, die rot eingekreist sind:

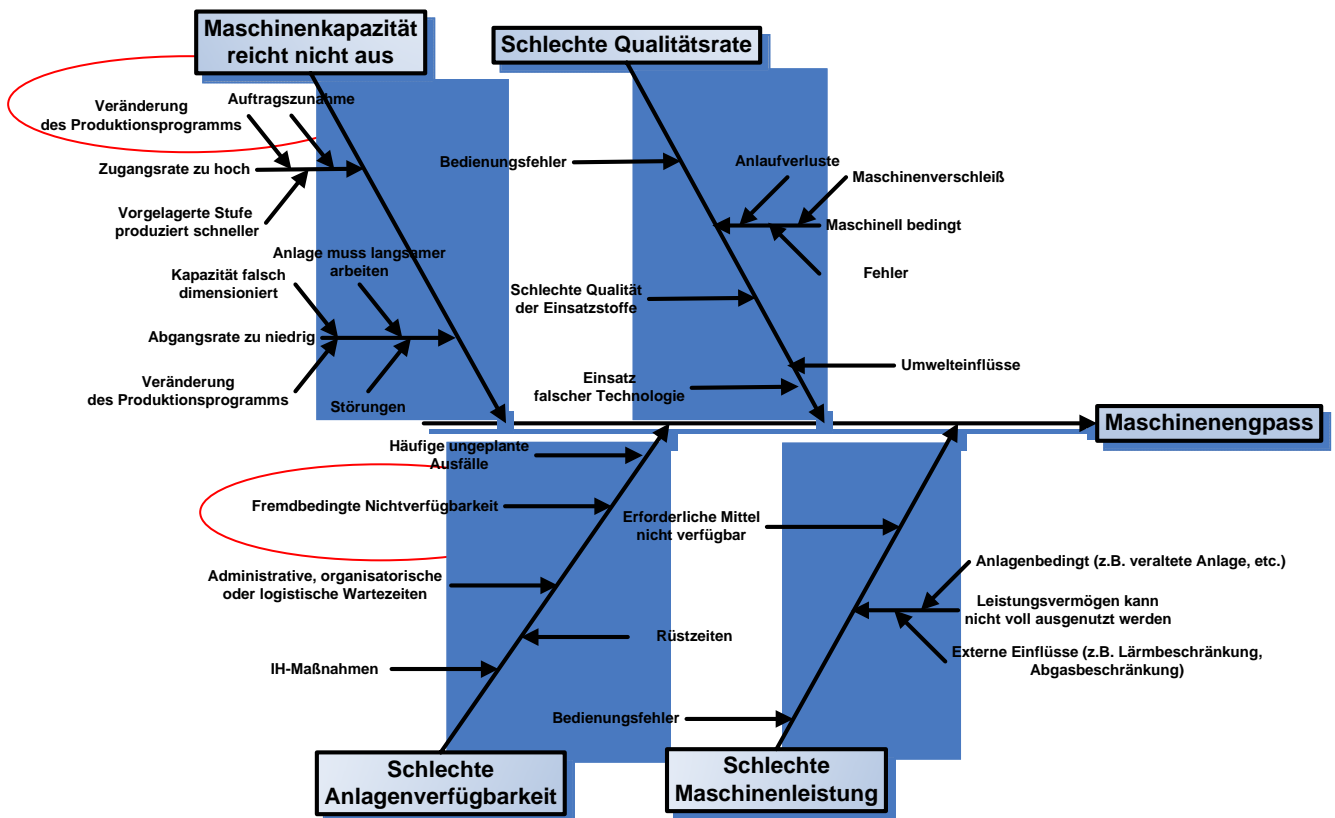


Abbildung 24 Ishikawa-Diagramm Maschinenengpass¹¹⁷

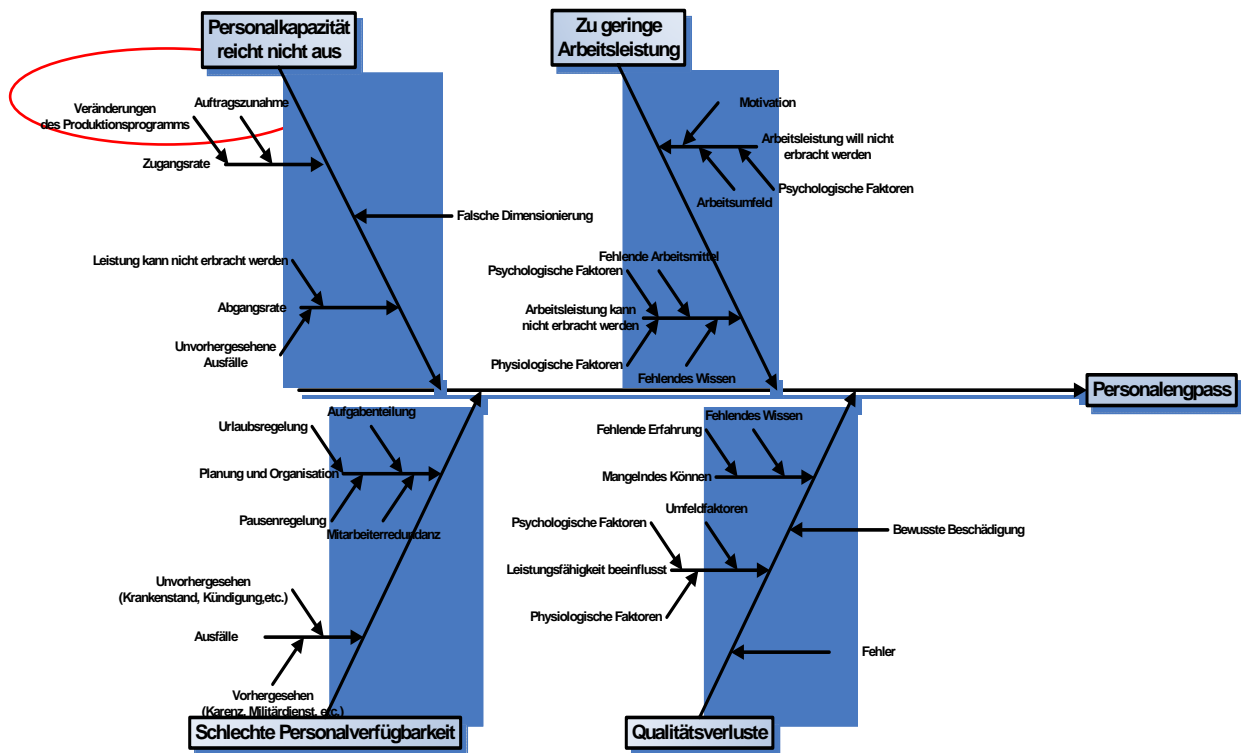


Abbildung 25 Ishikawa-Diagramm Personalengpass¹¹⁸

¹¹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

¹¹⁸ Quelle: Eigene Darstellung

Maschinelle als auch personelle Engpässe können sowohl auf die Auftragszunahme, als auch auf die Nachfrageveränderung bezüglich Rollen- und Formatpapier zurückgeführt werden. Hinzu kommen Maschinenengpässe auf Grund nicht verfügbarer, notwendiger Ressourcen, wie an der RSM 3 auf Grund von Personalmangel. Dieser Personalengpass resultiert wiederum aus der „schlechten Personalplanung“, in diesem Fall der nicht vorhandenen Personalplanung. Hierbei besteht wieder ein Zusammenhang mit der falschen Kalkulation bzw. der auf Grund der Veränderungen nicht mehr richtigen Kalkulation des Personalbedarfs. Wie bei der Beurteilung der Ergebnisse des Rollenschneiders bereits erwähnt, sollte das Unternehmen eine Personalplanung für die RSM 3 durchführen.

Sollte sich das Unternehmen für Veränderungen an den Rollenschneidern bzw. an den Sortierquerschneidern, vor allem in Bezug auf das Produktionsprogramm entscheiden, ist auch der Personalbedarf an der Formatpacklinie zu untersuchen. Diese erwies sich im Rahmen der Kalkulation ebenfalls als Engpass. Maßnahmen sollten allerdings erst ergriffen werden, wenn Optimierungen für die beiden anderen Arbeitsstationen geplant werden, da diese Einfluss auf die Auslastung des Formatpackers haben können.

Die Ergebnisse der Engpassanalyse zeigen dem Unternehmen auf, welche Arbeitstationen im Fokus von Optimierungsüberlegungen stehen müssen bzw. in welche Richtung diese gehen können.

5.6 Reflexion des Projektes

Wie bereits in 3.6. angedeutet, sind Praxisprojekte in der Definitionsphase häufig durch unklare Zielformulierungen und zunächst anders lautenden methodischen Ansätzen charakterisiert, als dann im späteren Projektverlauf tatsächlich realisiert. Dies war auch bei Brigl & Bergmeister der Fall: Schienen nach ersten Vorgesprächen Durchlaufdiagramm- und Betriebskennlinienanalysen methodisch adäquat für die Analyse, so ergaben weitere Detailgespräche im zweiten Schritt, dass eine Spreadsheetsimulation im gegebenen Kontext Ziel führend war. Generell kann als Erkenntnis aus dieser Arbeit jedem Unternehmen empfohlen werden, auf diese erste Projektphase viel Sorgfalt zu verwenden: Erfolgt die Definition von Zielen und Vorgehensweise vorschnell oder wird sie auf eine veränderte Erkenntnislage nicht adäquat angepasst, so steht im folgenden Projekt Blindleistung zu befürchten. Andererseits ist eine Situation von „ending targets“ zu vermeiden, die mangels Festlegung über die Phase der Zielfindung nie hinaus kommt.

Nachdem die Zielsetzungen des Projektes definiert waren, stellte die Aufbereitung der Daten eine wesentliche Aufgabe dar. Für die Simulation notwendige Daten, welche nur als Ausdrucke verfügbar waren, oder Excel Dateien, aus welchen Daten einzelner Aufträge zusammen getragen werden mussten, erhöhten den Aufwand ungemein. Auch in Gesprächen mit dem Unternehmen wurde festgestellt, dass viele Daten in der jetzigen

Aufbereitung für eine Ausarbeitung, vor allem im Unternehmen selbst, ungeeignet sind. Dies ist auch der Grund, warum etwa die Analyse des „Umsetzens“ lediglich im Durchschnittsszenario durchgeführt wurde.

Während der Modellierung wurde festgestellt, dass die Excel Spreadsheet Simulation an sich in ihrer Dynamik relativ eingeschränkt ist. Das Fehlen von IF-Bedingungen zur automatischen Zuweisung von Aufträgen zu Maschinen und die händische Erstellung von Warteschlangen, welche nach Veränderung eines Parameters wieder geändert werden mussten, bereiteten bereits einige Schwierigkeiten.

Trotz aller Einschränkungen des Modells konnten die wesentlichen Ziele des Unternehmens erreicht werden: Engpässe, welche häufig etwa durch Überstunden oder Personalumschichtungen verdeckt werden und in ihrem Ausmaß nicht wirklich bekannt sind, wurden aufgezeigt. Hinzu kommt die Möglichkeit, im Modell durch Variation der Parameter Tests für etwaige Verbesserungen an den einzelnen Stationen durchzuführen. Die getesteten Veränderungen wurden bereits überlegt, ihre Auswirkungen auf die einzelne Maschine waren aber bisher unbekannt. Somit können im Modell zwar nicht die Wechselwirkung auf andere Maschinen, aber zumindest die Effektivität der Maßnahmen an einer analysiert werden.

Die Papierproduktion mag auf den ersten Blick simpel wirken, die Tücke liegt jedoch in den auftragspezifischen Parametern, die die Leistung der gesamten Produktion stark beeinflussen. Mit dem flexiblen Einsatz von Mitarbeitern an verschiedenen Maschinen macht das Unternehmen eindeutig einen Schritt in die richtige Richtung. Unterschiedliche Auslastungen der einzelnen Maschinen in Abhängigkeit vom Produktionsprogramm machen es erforderlich, dass Arbeiter so vielseitig wie möglich eingesetzt werden können. Dabei darf nicht vergessen werden, dass in der Papierproduktion die Leistung der Mitarbeiter viel mit ihrer Erfahrung zu tun hat. Dies ist auch der Grund, warum von Leasingpersonallösungen für Spitzenzeiten, z.B. bei maximalem Formatanteil, abzuraten ist.

Welchen Einfluss die Ergebnisse auf etwaige Entscheidungen im Unternehmen haben werden bleibt abzuwarten, sie geben jedoch einen Anstoß zu Diskussion und vertiefenden Analysen.

6 Conclusio

Die Handhabung von Engpässen in der industriellen Produktion stellt ohne Zweifel eines der herausforderndsten und zugleich interessantesten Aufgabenfelder der Logistik dar. Die unzähligen Parameter innerhalb einer Produktion, die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Produktionsfaktoren, sowie die Komplexität und Eigenheiten unterschiedlicher Produktionen machen es unmöglich, eine allgemein gültige Lösung für Produktionsengpässe zu finden. Die bestehenden Abhängigkeiten bewirken, dass die Elimination eines Bottlenecks häufig zum nächsten führt, was einer der Gründe dafür ist, dass die Handhabung von Engpässen eine fortwährende Aufgabe innerhalb der Produktion darstellt. Kosten- und Konkurrenzdruck zwingen Unternehmen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung aufgrund logistischer Verbesserungen, d.h. ohne nennenswerte Investitionen oder Personalerweiterungen, zu finden.

Unter diesem Gesichtspunkt versucht die vorliegende Diplomarbeit aufzuzeigen, dass es neben nicht ausreichender Kapazität, deren Erweiterung möglicher Investitionen bedarf, eine Vielzahl weiterer Ursachen gibt, warum Engpässe innerhalb einer Produktion entstehen können, über welche im Rahmen des theoretischen Teils ein Überblick gegeben werden sollte. Wie gezeigt wurde, ist es im Rahmen der Engpassbetrachtung wichtig, Produktionssysteme ganzheitlich zu betrachten, d.h. alle relevanten Einflussparameter zu berücksichtigen. Engpässe können nicht nur aus einem Produktionsfaktor heraus entstehen, sondern auch durch deren Zusammenwirken. So mag die erste Reaktion auf einen Maschinenengpass sein, dessen Kapazität zu erhöhen. Die eigentliche Ursache dafür kann aber auch sein, dass beispielsweise Bedienungsfehler vorliegen oder die Maschine unnötige Stillstandzeiten aufweist. Daher ist es nach der Identifikation eines Engpasses erforderlich, diesen zu analysieren. Dabei sind folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Welche Einflussparameter gibt es?
- Wie wirken sie zusammen?
- Welche der Einflussfaktoren können verändert werden?

Empfehlenswert für die Engpassanalyse ist die Zuhilfenahme von Ishikawa-Diagrammen, welche auch in der vorliegenden Diplomarbeit herangezogen wurden. Dieses Instrument ermöglicht es, alle denkbaren Engpassursachen zu erfassen und davon ausgehend mit der Behebung zu beginnen. Die in Kapitel 2 dargestellten Diagramme geben einen Überblick über häufige Ursachen und können somit als Ausgangsbasis für eine Analyse herangezogen werden und spezifisch an das vorliegende Anwendungsszenario angepasst werden.

Für den Logistiker ist es wichtig die Besonderheiten jeder Fertigung im Rahmen der Engpassanalyse zu berücksichtigen. Beispiele für Methoden zur Engpassidentifikation und Engpassanalyse wurden in Kapitel 3 vorgestellt. Welches Modell sich für eine Untersuchung am besten eignet, ist situationsspezifisch und muss an Hand der vorliegenden Problemstellung identifiziert werden. Bei der Auswahl ist zu berücksichtigen, dass die Methode adäquat ist und möglichst schnell durchgeführt werden kann. Neben der Festlegung, welche Modelle geeignet sind, ist ebenso zu berücksichtigen, welche überhaupt verfügbar sind bzw. auch weiter von Nutzen sein können. Für die in dieser Diplomarbeit vorgestellten Methoden wurde eine Tabelle erstellt, die mögliche Anwendungsszenarien sowie die Vor- und Nachteile der Analyseinstrumente zeigt. Dem Leser wird somit ein Anhaltspunkt für die Methodenauswahl gegeben. Des Weiteren zeigen zwei theoretische Beispiele sowie das Praxisprojekt, an Hand welcher Kriterien diese Entscheidung getroffen werden kann.

Bei letzterem fiel die Auswahl auf eine Simulation des Produktionssystems. Diese bietet die Möglichkeit, die an die Analyse gestellten Anforderungen vollständig abzudecken:

- Welche Engpässe treten in der Produktion auf?
- Wie wirken sich unterschiedlicher Rollen- und Formatpapieranteil auf die Engpasssituation aus?
- Welche Verbesserungen könnten durch im Unternehmen überlegte Maßnahmen erzielt werden?
- Gibt es weitere Ansätze für eine Verbesserung der Engpasssituation?

Auf die vorliegenden Fragestellungen konnten für das Unternehmen B&B folgende Antworten gefunden werden:

- Die wesentlichen Engpassstationen der Produktion sind der Rollenschneider, der Sortierquerschneider sowie die Formatpacklinie.
- Unterschiedlicher Rollen- und Formatpapieranteil wirken sich am extremsten an den Sortierquerschneidern und an der Formatpacklinie aus. Während die beiden Systeme bei maximalem Rollenanteil nicht ausgelastet sind, stellen sie bei maximalem Formatanteil einen deutlichen Engpass dar. Der Engpass an den Rollenschneidern liegt sowohl bei maximalem Format- als auch bei maximalem Rollenpapieranteil vor, wird aber durch die im zweiten Szenario vorhandene niedrigere Geschwindigkeit weiter verstärkt.
- Die genauen Ergebnisse der getesteten Verbesserungsvorschläge sind in Punkt 5.5. dargestellt. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die untersuchten

Verbesserungsmaßnahmen vor allem an den Prägekalandern und an den Sortierquerschneidern zu einer wesentlichen Leistungssteigerung beitragen könnten.

- Ein weiterer Ansatz für eine Optimierung könnte in einer Analyse der Stillstandszeiten liegen.

Im vorliegenden Praxisprojekt ergaben sich Produktionsengpässe auf Grund von Nachfrageveränderungen bzw. einer Auftragszunahme. Daraus resultierten Maschinen- und Personalengpässe, welche dem Unternehmen durch die Analyse verdeutlicht wurden und nun behandelt werden können.

Wie im Theorieteil gezeigt wurde, ist der praktische Teil dieser Diplomarbeit aber lediglich ein mögliches Beispiel, welche Engpässe in einer industriellen Produktion auftreten können und welche Ursachen es dafür geben kann. So könnte der Fall bereits in einem anderen, ebenfalls Papier erzeugenden Unternehmen, ganz anders liegen. Dem Leser dieser Diplomarbeit wurde im Rahmen des Praxisprojektes jedoch das Vorgehen bei einer Engpassanalyse, im speziellen mit Hilfe von Simulation, verdeutlicht. Obwohl jede Engpassbetrachtung situationsspezifisch zu erfolgen hat, sind die Grundzüge immer dieselben: Nach Erhebung der Ausgangssituation und Festlegung der Ziele hat die Methodenauswahl zu erfolgen. Die Analyse wird durchgeführt und die gewonnenen Erkenntnisse sind im Bezug auf ihre Gültigkeit und Wirksamkeit zu beurteilen.

Durch das Aufzeigen von Ursachen für Produktionsengpässe, Methoden zu deren Analyse und dem Praxisteil sollten dem Leser die Engpassthematik verdeutlicht und das Verständnis gefördert werden.

A-1 Literaturverzeichnis

BAUMANN, Werner, HERBERG-LIETKE, Bettina: Papierchemikalien, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 1994. ISBN: 3-540-57593-6

BECKER, Jörg, LUCZAK, Wolfgang: Workflowmanagement in der Produktionsplanung und -steuerung, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2003. ISBN: 3-540-00577-3

BERTHEL, Jürgen: Personalmanagement, 5. Auflage, Stuttgart, Schäffer-Poeschel Verlag, 1997. ISBN 3-7910-1234-7

BIETHAHN, Jörg, MUKSCH, Harry, RUF, Walter: Ganzheitliches Informationsmanagement, 6. Auflage, München, Oldenbourg, 2004. ISBN: 3-486-20020-8

BODENDORF, Freimut: Daten- und Wissensmanagement, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2005. ISBN 3-540-28743-4

BRIGL& BERGMEISTER: B&B Gruppe. Online im Internet: < www.brigl-bergmeister.com>, Stand 2006, Abfrage: 24.10.2006, MEZ: 18:19 Uhr

CORSTEN, Hans: Produktionswirtschaft, 10. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH., 2004. ISBN 3-486-27474-0.

DANGELMAIER, Wilhelm: Terminplanung mit Vorwärts- und Rückwärtsterminierung. In: Taschenbuch der Logistik, hrsg. von Reinhard Koether, München, Carl Hanser Verlag, 2004. ISBN 3-446-22247-2, S. 133 – 142.

DOMSCHKE, Wolfgang, DREXL, Andreas: Einführung in Operations Research, 6. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005. ISBN 3-540-23431-4

ENGELHARDT, Corinna: Betriebskennlinien, 1. Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2000. ISBN 3-446-21417-8

FAISST, Wolfgang: Wissensmanagement. In: Lexikon der Wirtschaftsinformatik, 4. Auflage, hrsg. von Peter Mertens, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2001. ISBN: 3-540-42339-7

FELDHOFF, Ellen: Strategisches Management humaner Wissensressourcen, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag, 2005. ISBN: 3-8244-0843-0

FRAUNHOFER GESELLSCHAFT: Fabrikplanung und Produktionsmanagement. Online im Internet: < <http://www.ipa.fhg.de/Arbeitsgebiete/fabrik-produktionsmanagement/meth/sim.php>> Stand: 2006; Abruf: 10.02.2007, MEZ: 18:20 Uhr.

FRESE, Erich: Industrielle Personalwirtschaft. In: Industriebetriebslehre, 2. Auflage, hrsg. von Marcell Schweitzer, München, Vahlen, 1994. ISBN 3-8006-1755-2, S. 223 – 325

GADATSCH, Andreas: Grundkurs Geschäftsprozess-Management, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg Verlag, 2005. ISBN: 3-8348-0039-2

GEIGER, Walter, KOTTE, Willi: Handbuch Qualität, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg& Sohn Verlag, 2005. ISBN: 3-528-33357-X

GRIFFEL, Nils: Logistik und Anlagenverfügbarkeit. In: Taschenbuch der Logistik, hrsg. von Reinhard Koether, München, Carl Hanser Verlag, 2004. ISBN 3-446-22247-2, S. 523 - 538.

GRUBER, E.: Papierchemie. Online im Internet: < [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Papierchemie\(BA\)/T_exte/15Streichen1.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Papierchemie(BA)/T_exte/15Streichen1.pdf)> Abfrage: 19.12.2006, MEZ: 14:40 Uhr

GRÜN, Oskar: Industrielle Materialwirtschaft. In: Industriebetriebslehre, 2. Auflage, hrsg. von Marcell Schweitzer, München, Vahlen, 1994. ISBN 3-8006-1755-2, S. 447 – 566

HERING, Eckbert, DYLLONG, Ulrich, GUTEKUNST, Jürgen: Handbuch der praktischen und technischen Informatik, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2000. ISBN: 3-540-67626-0

IMAI, M.: Kaizen, 2. Auflage, München, Langen-Müller Herbig, 1992. ISBN: 3-7844-7287-7

KAMITZ, Reinhard: Methode/Methodologie. In: Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe, 2. Bd., 1. Auflage, hrsg. von Josef Speck, Göttingen, Vandenhoeck& Ruprecht, 1980. ISBN 978-3-8252-0967-4, S. 429-433.

KIPPHAN, Helmut: Handbuch der Printmedien, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2000. ISBN: 3-540-66941-8

KOETHER, Reinhard: Logistikaufgaben. In: Taschenbuch der Logistik, hrsg. von Reinhard Koether, München, Carl Hanser Verlag, 2004. ISBN 3-446-22247-2, S. 37 - 54.

KOFFLER, Dieter: Papier, 1. Auflage, Wien, hpt Verlagsgesellschaft mbH, 1991. ISBN: 3-85128-065-2

MANDL, Heinz, REINMANN-ROTHMEIER, Gabi: Wissensmanagement, 1. Auflage, München, Wien, Oldenbourg, 2000. ISBN: 3-48625-386-7

M-REAL DIGITAL IMAGING: Basiswissen Papier: Papierschule. Online im Internet:< http://www.silverpapers.de/download/Papierschule_final.pdf> Abfrage: 10.12.2006, MEZ: 21:31 Uhr.

NYHUIS, Peter, WIENDAHL, Hans-Peter: Logistische Kennlinien, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2003. ISBN: 3-540-43700-23

PICOT, Arnold, FIEDLER, Marina: Der ökonomische Wert des Wissens. Online im Internet:<
<http://www.iuk.bwl.uni-muenchen.de/forschung/veroeffentlichungen/picot/wissen.pdf>>

Abfrage: 01.03.2007, MEZ: 13:54 Uhr.

PROBST, Gilbert, RAUB, Steffen, ROMHARDT, Kai: Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollsten Ressourcen optimal nutzen, Gabler, 1999. ISBN 3-409-39317-X

REHÄUSER, Jakob, KRUMHARDT, Helmut: Wissensmanagement im Unternehmen. Online im Internet:<
[http://www.winfobase.de/lehrstuhl/publikat.nsf/intern01/FC0F0EC41403EF3D412566500029C4A5/\\$FILE/96-14.pdf](http://www.winfobase.de/lehrstuhl/publikat.nsf/intern01/FC0F0EC41403EF3D412566500029C4A5/$FILE/96-14.pdf)> Abfrage: 27.02.200, MEZ: 10:38 Uhr.

SAPPI: Die Herstellung von Papier. Online im Internet:<
<http://www.sappi.com/NR/rdonlyres/42B0F886-47D4-4585-B4F6-F593F9DD7B5E/0/ThePaperMakingProcessGerman.pdf>> Abfrage: 10.12.2006, MEZ: 21:19 Uhr

SCHMIDT, Götz: Einführung in die Organisation, 2. Auflage, Wiesbaden, Gabler, 2002. ISBN: 3-40921-504-2

SCHWANINGER, Markus: Managementsysteme, Frankfurt, New York, Campus Verlag, 1994. ISBN 3-593-35068-8.

SCHWEITZER, Marcell: Industrielle Fertigungswirtschaft. In: Industriebetriebslehre, 2. Auflage, hrsg. von Marcell Schweitzer, München, Vahlen, 1994. ISBN 3-8006-1755-2, S. 573 – 746

SEICHT, Gerhard: Industrielle Anlagenwirtschaft. In: Industriebetriebslehre, 2. Auflage, hrsg. von Marcell Schweitzer, München, Vahlen, 1994. ISBN 3-8006-1755-2, S. 327 – 445

SEILA, Andrew F.: Spreadsheet Simulation. Online im Internet:<
<http://www.informs-sim.org/wsc05papers/005.pdf>>, Stand: 2005; Abfrage: 20.05.2007, MEZ: 22:34 Uhr.

STEINHAUSEN, Detlef: Simulationstechniken – Das Buch. Online im Internet:<
<http://www2.fh-muenster.de/fb9/person/steinha/buch/>> Abruf: 11.01.2007, MEZ: 19:12 Uhr

TEMPELMEIER, Horst: Material-Logistik, 5. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2003. ISBN: 3-540-28425-7

VDI: Richtlinie 3633

WESTKÄMPER, Engelbert; MUSSBACH-WINTER Ute; WIEHENDAHL, Hans-Hermann: Material Requirements Planning (MRP). In: Taschenbuch der Logistik, hrsg. von Reinhard Koether, München, Carl Hanser Verlag, 2004. ISBN 3-446-22247-2, S. 87 - 97.

WIENDAHL, Hans-Peter, NYHUIS, Peter: Engpaßorientierte Logistikanalyse: Methoden zur kurzfristigen Leistungssteigerung in Produktionsprozessen, München, Transfer-Centrum GmbH, 1998. ISBN 3-931511-56-1

WIENDAHL, Hans-Peter: Erfolgsfaktor Logistikqualität: Vorgehen, Werkzeuge und Methoden zur Verbesserung der Logistikleistung, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer, 2002. ISBN: 3-540-42362-1

WILDEMANN, Horst: Wissensmanagement und Unternehmenserfolg: Erfolgspotentiale, Einführungsstrategien und Organisation des Wissensmanagements. In: Wissensmanagement in Produktion und Umweltschutz, hrsg. von Hans-Dietrich Haasis und Thorsten Kriwald, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2001, S.21 – 44. ISBN: 3-540-67483-7

WILLKE, Helmut: Systemisches Wissensmanagement, 1. Auflage, Stuttgart, UTB, 1998. ISBN:3-825-22047-8

www.ndt.net/article/dgzfp04/papers/v57/fig1.gif

ZÄPFEL, Günther: Taktisches Produktionsmanagement, 2. Auflage, München, Wien, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH., 2000. ISBN 3-486-25464-2

ZOLLONDZ, Hans-Dieter: Lexikon Qualitätsmanagement, 1. Auflage, München, Wien, Oldenbourg, 2001. ISBN: 3-486-24316-0