

Juliane Gottmann

**Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in
Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen**

Fraunhofer Austria Research GmbH

Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in
Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen

von Juliane Gottmann

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer Austria Research GmbH
Theresianumgasse 27
A-1040 Wien
Telefon +43 1 504 69 06
Fax +43 1 504 69 10 90
E-Mail office@fraunhofer.at
www.fraunhofer.at

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN (Print): 978-3-8396-0642-1

Zugl.: Wien, TU, Diss., 2013

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Fax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DISSERTATION

Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ.-Prof. Prof. eh. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dipl. Wirtsch.-Ing. Wilfried Sihm
E330 Institut für Managementwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Dipl.Wi-Ing. Juliane Gottmann
Matrikelnummer: 0928607
Bachweg 32, 82041 Oberhaching, Deutschland

Wien, am 08.03.2013

Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Professor Wilfried Sihm danke ich für Betreuung der Arbeit.
Herrn Professor Hubert Biedermann von der Montanuniversität Leoben danke ich für die Übernahme des Mitberichtes und die eingehende Durchsicht der Arbeit.

Auch Herrn Professor Kurt Matyas möchte ich an dieser Stelle für seine sowohl inhaltliche, als auch organisatorische Unterstützung danken!

Durch die letzten Jahre haben mich mehrere Menschen begleitet, die an dieser Stelle unbedingt erwähnt werden müssen:

Klaus-Peter Zeh; danke, dass Du mich aufgenommen hast, meine Stärken gesehen hast und die Fabrikplanung für mich zu einem spannenden Thema hast werden lassen!

Matthias Pfeffer; Du bist mir Förderer, Freund und Challenger. Diese Zeit wäre ohne Dich viel zu fad und auch viel zu erfolglos gewesen. Dankeschön!

Marcus Sauer und Markus Weskamp; Ihr habt nicht nur tapfer meine Arbeit gelesen, sondern Ihr habt die Zeit bei Fraunhofer für mich zu einer großartigen Zeit gemacht und seid mir echte Freunde geworden - jetzt ist es offiziell!

Cosima Hagen, ohne Dich wäre ich eine Andere! Danke für Deine Korrekturen, aber vor allem Danke für Deine Freundschaft!

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner ganzen Familie - Ihr seid mein Daheim und Ihr nehmt mich so, wie ich bin; egal mit welchem Titel.

Ines & Theo - meine Manager; Danke für soviel Fröhlichkeit und Zuneigung!

Mum'nDad, ich weiß, für Euch hätte ich diese Arbeit nicht schreiben müssen - das ist für mich nach wie vor das Wichtigste! Euch widme ich diese Arbeit!

Kurzzusammenfassung

Die Orientierung am Wertstrom stellt eine geeignete Grundlage für die Abbildung der Zusammenhänge im Produktionsablauf dar und strebt eine ganzheitliche Sichtweise anstelle von lokalen Optimierungsmaßnahmen an. Dabei wird es zunehmend notwendig, die Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen auf den Wertstrom abschätzbar zu machen. Vor allem die monetäre Entwicklung bei Veränderungen im Wertstrom wird in bestehenden Ansätzen nur unzureichend behandelt. Diese betrachten entweder lediglich einzelne Produktionsprozesse und lassen dabei die Wechselwirkungen zwischen den Prozessen im Wertstrom außer Acht, oder sie konzentrieren sich nicht auf die Kostenentstehung in Abhängigkeit des zugehörigen Produktionsprogramms und den damit verbundenen Auswirkungen bei Veränderungen.

Um Wertströme allerdings hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen bewerten zu können, müssen sowohl die rechnerischen Zusammenhänge und Wechselwirkungen aller Prozesse und Puffer im Produktionsablauf ermittelt, als auch Engpässe und mögliche Verschiebungen dieser berücksichtigt werden. Dafür müssen die Wertstrombetrachtungen um diejenigen monetären Zusammenhänge und Abhängigkeiten erweitert werden, die bei einer Veränderung der Eingangsgrößen die Veränderung der zugehörigen Gesamtkosten widerspiegeln können. Dadurch wird sichergestellt, dass bei der Betrachtung zukünftiger Entwicklungen Kosteneffekte abgebildet und Fehleinschätzungen vermieden werden können.

Das vorgestellte Modell hat demnach zum Ziel, Wertströme hinsichtlich ihrer Kostenentwicklung bei möglichen zukünftigen Eingangsgrößen bewertbar zu machen, indem die Entstehung der Kosten durch die Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Wertstrom rechnerisch abgebildet wird. Dadurch werden Kosteneffekte und daraus ableitbare Potenziale sichtbar gemacht. Die Veränderung der Kosten soll dabei nicht zeitlich, sondern monetär in Abhängigkeit der Eingangsgrößen gemessen werden.

Die Veränderungen der Eingangsgrößen beinhalten sowohl die produzierten Mengen (Stückzahlen), sowie die Veränderung der Variantenzahl. Die Flexibilitätskennzahl Every Part Every Interval (EPEI) ist das wesentliche Verbindungselement zwischen Produktionsprogramm und Kosten im Wertstrom. Durch die Eingabe veränderter Szenarien kann die monetäre Entwicklung der Kosten abgebildet werden.

Die Gesamtbetrachtung des Wertstroms ermöglicht dabei nicht nur eine verursachungsgerechte Zuordnung der Prozesse, sondern kann auch die Stellhebel für Kostensenkungsmaßnahmen entlang des Wertstroms genau zuordnen und deren Auswirkungen auf die Entwicklung der Gesamtkosten bewerten.

Ziel der Arbeit ist die Analyse bestehender Ansätze, die Beschreibung der daraus resultierenden Anforderungen an das Modell und darauf aufbauend die Entwicklung eines Modells zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei verändertem Produktionsprogramm. Der Anwender erhält ein Analyse- und Bewertungsmodell zur Absicherung strategischer Planungsprozesse, mit dem er den Wertstrom hinsichtlich zukünftiger Szenarien monetär bewerten und die daraus entstehenden Kostenentwicklungen abbilden kann.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	2
1.2	Problemstellung	4
1.3	Schlussfolgerung und Zielsetzung der Arbeit	7
1.4	Aufbau der Arbeit	8
2	Begriffserklärungen und Abgrenzung der Arbeit	9
2.1	Begriffe zur Wertstromorientierung	9
2.1.1	Wertschöpfung und Verschwendung	9
2.1.2	Produktionsstruktur und Wertstrom	11
2.1.3	Engpass	15
2.2	Begriffe zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung	16
2.2.1	Wirtschaftlichkeit	16
2.2.2	Kosten	18
2.2.3	Investition	19
2.3	Begriffe zur Kostenentwicklung	20
2.3.1	Produktionsprogramm	20
2.3.2	Flexibilität	21
2.3.3	Veränderungen und Anpassungen	24
2.4	Begriffsabgrenzung	25
2.5	Abgrenzung der Arbeit	29
3	Stand der Wissenschaft	31
3.1	Ansätze zur Bewertung von Wertströmen	32
3.2	Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung	38
3.2.1	Kostenrechnungsverfahren	38
3.2.2	Prozessorientierte Kostenrechnungssysteme	42
3.2.3	Investitionsrechenverfahren	44
3.3	Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung	49
4	Anforderungen an das Modell	57
4.1	Allgemeine Anforderungen	57
4.2	Anforderungen an ein Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen	58
4.2.1	Berücksichtigung des Wertstroms	58
4.2.2	Berücksichtigung der Kostenentstehung im Wertstrom	59
4.2.3	Abbildung der Kostenentwicklung	60
4.3	Abgleich bestehender Ansätze mit den Anforderungen	60
5	Logische Zusammenhänge im Modell	63
5.1	Wertstromorientierung	63
5.1.1	Prämissen	63

5.1.2	Engpassentstehung im Wertstrom	65
5.1.3	Zusammenhänge im Wertstrom über den EPEI	69
5.2	Kosten im Wertstrom	83
5.2.1	Einflussfaktoren und Kostentreiber	85
5.2.2	Kosten im Produktionsprozess	88
5.2.3	Kosten in Puffer und Lager	91
5.2.4	Kosten in Supportbereichen und Administration	94
5.3	Kostenentwicklung im Wertstrom bei verändertem Produktionsprogramm	96
5.3.1	Auswirkungen von Stückzahlschwankungen auf die Wertstromkosten	98
5.3.2	Auswirkungen von Variantensteigerung auf die Wertstromkosten	99
6	Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen	101
6.1	Modellschritte	101
6.2	Datenermittlung für die Wertstromabbildung	103
6.2.1	Daten im Wertstrom	103
6.2.2	Vermögenswerte und Kosten in Prozessen, Puffern und Lagern	104
6.2.3	Ermittlung relevanter Tätigkeiten in Support-Bereichen	106
6.2.4	Kapazitätsabgleich und Anpassungsbedarf	108
6.2.5	Engpassermittlung durch den EPEI und Losgrößenbestimmung	109
6.3	Ermittlung der Kosten im Wertstrom	112
6.3.1	Kosten im Produktionsprozess	112
6.3.2	Kosten in Puffer und Lager	123
6.3.3	Kosten in Supportbereichen	131
6.3.4	Gesamtkosten im Wertstrom	134
6.4	Abbildung der Kostenentwicklung im Wertstrom	135
6.4.1	Abbildung verschiedener Szenarien im Wertstrom	136
6.4.2	Auswirkungen des EPEI auf die Kosten im Wertstrom	140
6.4.3	Interpretation der Ergebnisse	143
6.5	Modelleinsatz	144
7	Modelleinsatz anhand eines Fallbeispiels	146
7.1	Beschreibung des Fallbeispiels	146
7.2	Wertstromaufnahme und Datenerfassung	147
7.3	Kostenermittlung	150
7.4	Abbildung der Kostenentwicklung bei variablem Produktionsprogramm	152
7.4.1	Ermittlung relevanter Szenarien	152
7.4.2	Bewertung der Szenarien	152
7.4.3	Interpretation von EPEI-Anpassungen und Investition	155
8	Zusammenfassung und Ausblick	158
	Abbildungsverzeichnis	160
	Tabellenverzeichnis	161

1 Einleitung

Produzierende Unternehmen sehen sich zunehmend mit einem turbulenten Umfeld konfrontiert¹, welches durch Produktvielfalt, Dynamik und Unsicherheit geprägt wird. Daraus resultiert eine Diversifizierung, die bei gleichbleibender, möglichst steigender Ressourceneffizienz von den Betrieben gewährleistet werden muss². Unternehmen reagieren auf die zunehmend individualisierte Kundennachfrage und steigende Schwankungen des Absatzes mit einer Erhöhung des Variantenspektrums bei sinkenden Lebenszyklen und erhöhtem Flexibilitätsbedarf, was zu einer ständigen Integration der Varianten in bestehende Fertigungsprozesse führt. Wird der Bedarf an Flexibilität allerdings dauerhaft im Unternehmen vorgehalten, werden dadurch Ressourcen gebunden und erfordern Investitionen in die Produktion, deren effizienter Betrieb möglicherweise noch nicht gesichert ist³.

Die Wirtschaftskrise ab 2008 hat gezeigt, dass Unternehmen, die flexibel auf die Nachfrageschwankungen bei steigender Diversifizierung der Produkte reagieren können, einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil generieren. Diese Fähigkeit ermöglicht es einerseits, Kostenkämpfen bestmöglich zu entgehen und bei Wirtschaftswachstum schnell Marktanteile zu gewinnen. Nach einer Erhebung des Fraunhofer ISI zu Flexibilitäts- und Stabilitätsstrategien in der deutschen Industrie setzt beinahe ein Drittel aller Betriebe seinen Fokus auf die Variantenflexibilität; die Kapitalintensität dieser Betriebe ist - um die Fixkosten der Produktion gering zu halten - in der Regel niedrig, da sie keine hohe Auslastung kapitalintensiver Anlagen garantieren können; diese Unternehmen machen durch interne Flexibilität Abstriche hinsichtlich ihrer Prozesseffizienz und generieren dabei durchschnittlich 96.000 Euro Wertschöpfung je Mitarbeiter, während Betriebe, die ihren Fokus besonders auf Stabilität, Auslastung und Kosteneffizienz konzentrieren bis zu 123.000 Euro Wertschöpfung je Mitarbeiter erarbeiten; diese Unternehmen stellen häufig größere Betriebe dar⁴. Mit zunehmendem Kostendruck steigt auch für flexibilitätsorientierte Unternehmen der Druck, die Wirtschaftlichkeit der Produktion zu steigern; ebenso steigt für effizienzorientierte Unternehmen die Forderungen nach einer zunehmenden Individualisierung der Produkte. Auch dann müssen sie in der Lage sein die kosteneffiziente und schnelle Produktion beizubehalten⁵. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass zusätzliche Varianten die Kosten der Produktion erhöhen⁶. Das Erwirtschaften von Economies of Scale (Skaleneffekte) wird in Hochlohnländern zunehmend durch das Erwirtschaften von Economies of Scope (Diversifikationsvorteile) ersetzt. Dabei müssen individualisierte Produkte wirtschaftlich hergestellt werden, um konkurrenzfähige Preise zu ermöglichen - dafür wiederum müssen sowohl das Produkt, als auch dessen Auswirkungen auf die Struktur möglichst effizient auf die Produktion abgestimmt und sowohl die Kunden-, als auch die Produktionssicht eingenommen werden⁷.

¹ vgl. SIHN UND MATYAS 2011, S.38ff.

² vgl. TÜCKS UND EILERS 2011, S.4

³ vgl. NYHUIS 2010, S.3ff.

⁴ vgl. KINKEL UND MALOCA 2010, S.2ff.

⁵ vgl. PUJAWAN 2004, S.80

⁶ vgl. ADAM 2004, S.201

⁷ vgl. TÜCKS UND EILERS 2011, S.5ff.

1.1 Ausgangssituation

Steigende Variantenvielfalt und unsichere zukünftige Entwicklungen zwingen Unternehmen zunehmend, die Gesamtheit der Prozesse entlang des Produktionsflusses zu optimieren und so genanntes Abteilungsdenken oder Insellösungen durch prozessorientierte Ansätze zu ersetzen. Die Wertstrommethode ist ein hilfreicher Ansatz für die Analyse und Visualisierung der Produktionsabläufe hinsichtlich deren Durchlaufzeit. Eine monetäre Analyse und die Abbildung von möglichen Kostenabweichungen bei veränderten Eingangsgrößen bleibt dabei bisher weitestgehend unberücksichtigt. Der operative Einsatz der Methode zur Analyse und Optimierung des Wertstroms hinsichtlich der Zielgröße Durchlaufzeit ist in der industriellen Praxis bereits verbreitet, eine strategische Ausrichtung nach monetären Gesichtspunkten ist dabei nicht vorgesehen.

Ein wichtiger Aspekt der Lean Production ist die Kundenorientierung, welche eine schnelle Anpassung der Produktion erfordert. Dafür werden flexible Prozesse benötigt, welche schnell auf neue Produkte umgestellt werden können. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die wissenschaftliche Literatur auf die Gestaltung von Produktionssystemen, die sich - unter Einwirken von internen und externen Turbulenzen, wie beispielsweise veränderte Produktionslebenszyklen, zunehmende Ressourcenknappheit, individualisierte Kundenwünsche und geändertes Nachfrageverhalten - schnell und effizient an die geforderte strukturelle Veränderung anpassen können. Die Identifizierung von Forschungsbereichen im Rahmen der BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)-Vorstudie „Wandlungsfähige Produktionssysteme“ ergab, dass „die Wandlungsfähigkeit und insbesondere ihr Nutzen bisher kaum monetär bewertbar sind. (...) Hier fehlen den Unternehmen passende betriebswirtschaftliche Bewertungsansätze.“⁸ Dadurch ergibt sich der Bedarf an Methoden und Instrumenten zur Ermittlung von Kosten- Nutzen Beziehungen wandlungsfähiger Lösungen⁹.

Im Rahmen der Lean Production werden Zielsetzungen verfolgt, die sich nicht direkt auf die Optimierung der Wirtschaftlichkeit konzentrieren, sondern vielmehr auf die Verbesserung des gesamten Produktionsablaufes hinsichtlich Flexibilität und Reduzierung der Durchlaufzeit. Das kann zu Zielkonflikten zwischen den Prinzipien der Lean Production und der klassischen Wirtschaftlichkeitsrechnung führen, wie beispielsweise das Vorhalten von Kapazitäten für flexible Prozesse und die Auslastungsoptimierung zur Steigerung von Skaleneffekten.

Die große Herausforderung an das Produktionsmanagement liegt darin begründet, dass Maßnahmen zur Verbesserung einer Zielgröße oft zur Verschlechterung des Zielerreichungsgrades bei anderen Größen führen können. Diese Konkurrenz zwischen Zielgrößen ist in der Fachliteratur als „Dilemma“¹⁰ oder auch als „Zielkonflikte der Produktionslogistik“¹¹ bekannt. Dieses Dilemma wurde schon in den 80er Jahren von GOLDRATT¹² beschrieben, was entsprechende Bemühungen hinsichtlich einer Aufarbeitung in entsprechenden Kostenrechnungssystemen nach sich zog. Eine gemeinsame Betrachtung von Wirtschaftlichkeit und Zielen der Lean Production muss dabei die gesamte Produktionsstruktur betrachten, um die Auswirkungen schlanker und flexibler Produktionsprinzipien auf Kostenentwicklungen abbilden zu können. Gemäß der Produktionstheorie von WEBER und KABST führt ein gegebener Faktoreinsatz

⁸ vgl. NYHUIS ET AL. 2009, S.205

⁹ vgl. NYHUIS ET AL. 2009, S.205ff.

¹⁰ vgl. GUTENBERG 1983, S.216

¹¹ vgl. WIENDAHL 2005, S.249ff.

¹² vgl. GOLDRATT UND COX 1998, S.47ff.

und eine gegebene Produktionsfunktion zu einem gegebenen Faktorertrag, welcher durch eine Kostenfunktion in einen Kostenverlauf überführt werden kann¹³. Die Produktionsstruktur hat dabei einen erheblichen Einfluss auf die Kostenfunktion. Beispielsweise können schlanke Prozesse und geringe Losgrößen am Ende der Prozesskette zu geringeren Kapitalbindungskosten im Umlaufvermögen in der Produktion führen. Durch unterschiedliche Produktionsstrukturen können also bei gleichen Eingangswerten hinsichtlich Inputfaktoren und Produktionsfunktion unterschiedliche Kostenverläufe entstehen.

Um strategische Entscheidungen über bestehende Produktionsstrukturen, Investitionen oder hinsichtlich zusätzlicher Varianten abzusichern, können heute Methoden der Investitionsrechnung und Bewertung angewendet werden, die zukünftigen Aufwänden Erträge, beziehungsweise zukünftigen Auszahlungen Einzahlungen gegenrechnen. Dabei wird ein zukünftiges Produktionsprogramm unterstellt und als Grundlage für die Berechnung herangezogen. Tritt dieses Produktionsprogramm nicht ein, können die berechneten Werte nicht realisiert werden. Teilt man die ermittelten Kosten in fixe und variable Bestandteile, kann eine Stückzahlabhängigkeit hinterlegt werden und der so genannte Break-Even Punkt oder die Gewinnschwelle berechnet werden. Dieser Punkt besagt, ab welcher Stückzahluntergrenze kein Gewinn mehr erzielt werden kann und der Deckungsbeitrag den Fixkosten entspricht. Unterhalb dieser Grenze erwirtschaftet der Betrieb mit diesem Produkt keinen Gewinn mehr. Die Differenz zwischen der bestehenden Stückzahl bzw. der bestehenden Prognose und dem Break-Even Punkt sagt aus, um wie viel Prozent die Stückzahl nach unten schwanken darf, so dass das Unternehmen mit dem Produkt noch Gewinn erzielt¹⁴.

Kapitalintensive Anlagen und Maschinen erfordern also eine hohe Auslastung während des Betriebes, um die Kosten für das einzelne produzierte Stück möglichst gering zu halten und sich so weit wie möglich oberhalb der Gewinnschwelle zu bewegen. Durch die steigende Variantenvielfalt innerhalb des Produktspektrums, werden allerdings häufig Prozesse und Strukturen benötigt, die für die Produktion einen gewissen Flexibilitätsspielraum schaffen¹⁵. Das Erreichen einer durchgängig hohen Auslastung bei gleichzeitig ausreichendem Spielraum für schwankende Nachfragemengen ist nicht immer vereinbar¹⁶.

Eine gezielte Produktionsstrategie sollte demnach unter anderem neben den Auswirkungen auf den Produktionsprozess auch die Integration in den gesamten Produktionsfluss (Wertstrom) betrachten, um die Effizienz und Effektivität des Gesamtsystems zu erhöhen und lokale Optima möglichst zu vermeiden. Denn kann ein bestehender Engpass durch eine Maßnahme oder Investition behoben werden, können an anderen Stellen im Wertstrom Prozesse an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen, die zuvor nicht als potenzielle Engpässe identifiziert wurden. Darüber hinaus können zusätzliche Aufwände an anderen Prozessen im Wertstrom entstehen, die möglicherweise unberücksichtigt bleiben. Ebenso werden Synergien von Prozessen entlang des Produktionsflusses übersehen, die durch Ersparnisse die Kosten beeinflussen können. Werden diese Zusammenhänge außer Acht gelassen, können die tatsächlichen Potenziale einer Investition oder auch einer bestehenden Produktionsstruktur falsch eingeschätzt und der gewünschte Output oder die gewünschte Leistungsfähigkeit des Wertstroms gegebenenfalls nicht erreicht werden. DETTMER fasst diese Zusammenhänge in zwei zentralen Fragen zusammen:

¹³ vgl. WEBER UND KABST 2011, S.103ff.

¹⁴ vgl. TIKART 1994, S.685ff.

¹⁵ vgl. WIENDAHL 2009, S.32ff.

¹⁶ vgl. HALLER 1999, S.15ff.

-
- "How do we know whether our constraint breaking has had a positive effect on our overall system?"
 - "How do we measure the effects of local decisions on the global system?"¹⁷

Unternehmen sollten demnach sicherstellen, dass die Auflösung eines Engpasses einen positiven Effekt auf das Gesamtsystem hat und sich dieser Effekt auch messen lässt.

1.2 Problemstellung

Die Produktionstheorie baut auf dem Prinzip der Maximierung der Wirtschaftlichkeit auf. Bei der Bewertung langfristiger Maßnahmen und Investitionen liegt der Fokus bestehender Bewertungsmethoden demnach auf einem positiven Kapitalwert, der anhand von prognostizierten Zahlungsströmen (Ein- und Auszahlungen) abgeleitet wird¹⁸.

Die Produktionstheorie als Theorie der Wertschöpfung¹⁹ ist ebenfalls Grundlage der Prinzipien der Lean Production, welche sämtliche Produktionsprozesse in wertschöpfend und verschwendend unterteilt. Die dafür am häufigsten eingesetzte Methode ist die Wertstromanalyse, welche Prozesse nach ihrer Produktionsreihenfolge visualisiert und die Durchlaufzeit der einzelnen Produkte entlang dieses Wertschöpfungsprozesses misst. Oberstes Ziel dabei ist die Reduktion der Durchlaufzeit und des damit verbundenen Bestands²⁰. Die Orientierung am Wertstrom ermöglicht es dem Betrachter zwar, komplexe Abläufe innerhalb der Produktion auf das Wesentliche zu reduzieren und den Materialfluss in den Vordergrund zu stellen. Kosten werden dabei allerdings nur indirekt berücksichtigt; Verschwendung durch Überproduktion, Wartezeiten und Transporte werden zur Reduzierung der Durchlaufzeit vermieden, was eine Senkung des dafür notwendigen Ressourcenverbrauchs zur Folge hat und damit eine Kostensenkung nach sich zieht. Die Effizienz von Material und Maschinen wird in der Wertstrombetrachtung vernachlässigt. Bestehende Ansätze zur Bewertung von Produktionsprozessen und auch Produktionsabläufen konzentrieren sich meist entweder auf die wirtschaftlichen Aspekte oder auf Prinzipien der Lean Production. Findet dabei eine Bewertung beider Sichtweisen statt, steht die Entstehung der Kosten, deren Abhängigkeiten vom Produktionsprogramm und damit deren Veränderung bei verändertem Produktionsprogramm meist nicht im Fokus²¹. Das kann eine Fehleinschätzung von Kostenpotenzialen und Kostenentwicklungen und damit strategische Fehlentscheidungen zur Folge haben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt von Lean Production und Wertstromorientierung ist der Fokus auf den Kunden, was eine schnelle Produktionsanpassung an dessen Wünsche erfordert. Dafür werden flexible Prozesse benötigt, die schnell auf neue Produkte umgestellt werden können ohne durch viele und hohe Zwischenpuffer eine ständige Versorgung sicherstellen zu müssen. Der EPEI (Every Part Every Interval)- Wert²² ist in der Wertstrombetrachtung eine

¹⁷ vgl. DETTMER 1997, S.15

¹⁸ vgl. Kapitel 3.2

¹⁹ vgl. DYCKHOFF 2006, S.9ff.

²⁰ vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.3ff.

²¹ vgl. Kapitel 3.1

²² vgl. ERLACH 2010, S.206ff.; Der EPEI ist das Verhältnis von benötigten Rüstzeiten aller Varianten und der nach Bearbeitung aller nachgefragten Teile verbleibenden, verfügbaren Arbeitszeit und beschreibt diejenige Zeit, die benötigt wird, um alle Varianten produzieren zu können und dabei den vom Kundenbedarf ständig zu decken. Eine detaillierte Beschreibung der Kennzahlen findet sich in Kapitel 5.1.3.1.

geeignete Flexibilitätskennzahl, die die Umrüstkfähigkeit der Prozesse in Abhängigkeit des Produktionsprogramms mit den damit verbundenen Losgrößen, Beständen und folglich auch der Durchlaufzeit in Verbindung setzt und die wesentliche Grundlage des hier vorgestellten Ansatzes darstellt.

Flexibilität ist dabei häufig mit dem Vorhalten zusätzlicher Kapazitäten für mögliche zukünftige Bedarfe verbunden²³. Daraus entstehen Widersprüche²⁴ zu den Zielsetzungen klassischer Bewertungsmethoden der Wirtschaftlichkeit von Handlungsalternativen. Bei der Bewertung langfristiger Maßnahmen und Investitionen liegt der Fokus bestehender Bewertungsmethoden auf der Wirtschaftlichkeit von Handlungsalternativen und einer hohen Produktivität der einzelnen Prozesse²⁵. In der Lean Production wird hingegen neben der Flexibilität die Schlankheit der Prozesse angestrebt, was durch den Einsatz einfacher, möglichst manueller Prozesse unterstützt wird²⁶. Die zugehörigen Maßnahmen der Lean Production widersprechen in der Folge dem Fokus zahlreicher bestehender Bewertungsansätze, da eine Verringerung von Losgrößen zur Reduzierung von Durchlaufzeit und Beständen einer Auslastungsmaximierung und den dafür benötigten, großen Losgrößen entgegensteht. Um mögliche negative Auswirkungen entsprechender Optimierungsmaßnahmen identifizieren und bewerten zu können, muss der gesamte Wertstrom in die Betrachtung aufgenommen werden.

Eine fehlende Einbindung des gesamten Wertstroms in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen kann dann zu Fehleinschätzungen führen, wenn die Optimierung einzelner Prozesse eine Verschlechterung des gesamten Produktionsflusses nach sich zieht. Logistische und organisatorische Verknüpfungen zwischen den einzelnen Prozessen können dabei ebenfalls Engpässe darstellen, die durch die isolierte Optimierung einzelner Prozesse den Output des Produktionsablaufes gefährden können. Einzelne Prozesse werden dann hinsichtlich ihrer eigenen Eigenschaften und Möglichkeiten hin bewertet, ohne mögliche Kapazitätsengpässe bei der Ver- und Entsorgung sämtlicher Produktionsprozesse zu betrachten. Nehmen außerdem steuerungs- und planungsaufwendige Varianten im Verhältnis zu aufwandsarmen Varianten zu, erhöht sich der Gesamtaufwand in den leistungsrelevanten²⁷ administrativen Bereichen, ohne dass die zugehörige Ursache unmittelbar erkannt werden kann.

Einige bestehende Bewertungsansätze legen ihren Bewertungen Flexibilitätsbedarfe zugrunde, die aus Zukunftsprognosen generiert werden müssen. Eine Veränderung dieser Bedarfe kann dann häufig nur anhand linearer Abhängigkeiten von Kosten zu produzierten Stückzahlen abgebildet werden, allerdings sind lineare Abhängigkeiten aufgrund von wechselnden Produktvarianten und damit verbundene Auswirkungen auf Kosten meist nicht gegeben. Es ändern sich die Erlöse aus dem Produktionsprogramm, aber auch die zugehörigen Kosten - sowohl in ihrer Gesamtheit, als auch für die einzelnen Produktvarianten, durch zusätzliche Rüst- und Handlingaufwände, zusätzliche Aufwände in Steuerung und Support, sowie veränderte Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens. Diese ergeben sich aus der erreichbaren Auslastung der betroffenen Prozesse innerhalb des Wertstroms und den darin produzierten Fertigungslosen. Die Losgrößen sind einerseits abhängig von produktspezifischen Eigenschaften (wie bspw. geforderte Trockenzeiten), andererseits kann deren minimal mögliche Größe auch durch die Auslastung begrenzt werden, da nur eine bestimmte Zeit für Rüstaufwände

²³ vgl. HALLER 1999, S.15ff.

²⁴ vgl. GOLDRATT UND COX 1998, S.47ff.

²⁵ vgl. Kapitel 3.2

²⁶ vgl. LIKER 2004, S.159ff.

²⁷ vgl. SEETHAMRAJU 2012, S.532

zur Verfügung steht. Sind ausreichend Kapazitäten vorhanden, kann aus Gründen der Durchlaufzeitreduzierung die Losgröße nach unten angepasst werden. Dadurch können die Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens sinken; aufgrund der dadurch allerdings erhöhten Anzahl an Losen, steigen die zugehörigen Rüst- und Handlingaufwände. Diese Zusammenhänge der Kostenentstehung werden in den bestehenden Ansätzen nicht berücksichtigt.

Kann die zugrundegelegte Zukunftsprognose als sicher angenommen werden, ist die einmalige Berechnung der Kosten ausreichend; sollen mehrere mögliche Zukunftsszenarien zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Handlungsalternativen herangezogen werden, wird die dafür notwendige Abschätzung der zugehörigen Kostenentwicklung zunehmend schwieriger. Die genannten Wechselwirkungen erschweren es dem Entscheider, seine Prognosen durch realistische Abschätzungen der Gesamtkostenentwicklung des Wertstroms zu stützen und eine nachhaltige Entscheidung zu treffen.

Er steht vor dem Dilemma, dass eine kapitalintensive Anlage eine hohe Auslastung erfordert, um die stückfixen Kosten zu minimieren. Dadurch wird die Anlage hinsichtlich ihrer zu produzierenden Stückzahlen unflexibel, es werden große Losgrößen gefahren und somit eine hohe Durchlaufzeit in der Produktion in Kauf genommen. Werden zusätzliche Varianten in das Produktionsprogramm aufgenommen, verstärkt sich dieser Effekt durch zusätzlich notwendige Rüstvorgänge. Flexibilität bedeutet dabei nicht nur, auf diese Veränderungen schnell reagieren zu können, sondern auch, diese Reaktion ohne großen monetären Zusatzaufwand durchzuführen²⁸. Auch bei der Bewertung bestehender Produktionsstrukturen sind diese Erkenntnisse von Bedeutung, wenn Auswirkungen zukünftiger Szenarien ermittelt und mögliche Potenziale zur Kostenreduktion abgeleitet werden sollen.

Die beschriebenen Widersprüche führen dazu, dass bei bevorstehenden Entscheidungen innerhalb einer Produktion keine Gewissheit darüber besteht, ob die angestrebten Maßnahmen tatsächlich einen Mehrwert für den Betrieb generieren, ob bestehende Bewertungsmethoden die Maßnahmen trotz Vorteilhaftigkeit negativ bewerten²⁹, oder ob klassische Optimierungsansätze³⁰ möglicherweise zu negativen Auswirkungen auf die Produktionsabläufe (Wertstrom) und die nachfolgenden Prozesse führen könnten.

Dieser Ungewissheit erfordert die Erhöhung von Transparenz über

- das Verhalten sämtlicher Kapazitäten im **Wertstrom** zur Identifizierung von Engpässen und Investitionsbedarfen,
- die Auswirkungen auf die damit verbundenen **Kosten im Wertstrom (Kostenentstehung)** und
- das **Verhalten der Kosten (Kostenentwicklung)** bei Veränderung von Varianten- und Stückzahlen.

²⁸ vgl. MÖLLER 2008, S.15

²⁹ vgl. BURCHER UND LEE 2000, S.340ff.

³⁰ Ohne zusätzliche Spezifizierung bezieht sich der Begriff "Optimierung" auf die Verbesserung von Abläufen oder Strukturen; vgl. MATYAS 2001, S.9

1.3 Schlussfolgerung und Zielsetzung der Arbeit

Die Orientierung am Wertstrom stellt eine geeignete Grundlage für die Abbildung der Zusammenhänge im Produktionsablauf dar und strebt eine ganzheitliche Sichtweise anstelle von lokalen Optimierungsmaßnahmen an. Die Fähigkeit, zukünftige Auswirkungen von Veränderungen auf Produktionsstruktur und -kosten abschätzen zu können, wird für Betriebe in einem turbulenten Umfeld zunehmend unerlässlich. Dafür müssen die Wertstrombetrachtungen monetäre Zusammenhänge und Abhängigkeiten berücksichtigen, die bei einer Veränderung der Eingangsgrößen³¹ die Veränderung der zugehörigen Gesamtkosten widerspiegeln können. Produktions- und Kostenentwicklungen müssen dafür angepasst und entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses integriert werden, um den Prinzipien der 'Schlanken Produktion' gerecht zu werden³². Existierende Analyse- und Bewertungsverfahren aus Produktionstheorie und Betriebswirtschaftslehre verfolgen entsprechende Ansätze nur unzureichend³³ hinsichtlich der Berücksichtigung aller relevanten Zusammenhänge, worauf in Kapitel 3 näher eingegangen wird. Um eine rechnerische Bewertung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Wertstrom anhand von Kostenverläufen zu generieren, ist deshalb ein neuer Ansatz erforderlich, der diese Zusammenhänge von Produktionsstrukturen und Kostenentwicklung abbildet. Benötigt wird ein Modell zur Bewertung von Wertströmen hinsichtlich ihrer Kostenentwicklung bei Veränderung von Eingangsgrößen, das dem Entscheider die Abbildung von Veränderungen im prognostizierten Produktionsprogramm ermöglicht. Diese Veränderungen beinhalten sowohl die produzierten Mengen (Stückzahlen), sowie die Veränderung der Variantenzahl und den damit verbundenen Zeiten im Produktionsablauf. Demnach müssen die Kosten in Abhängigkeit zu Stückzahlen und Varianten gesetzt werden. Die Flexibilitätskennzahl EPEI ermöglicht die Verknüpfung von Produktionsprogramm und bestehenden Kapazitäten in der Produktion und ermöglicht die Ermittlung einer vom EPEI induzierten, minimalen Losgröße. Dadurch kann eine Abhängigkeit zwischen Produktionsprogramm und zugehörigen Kosten, sowohl in den Produktionsprozessen, als auch in den vor- und nachgelagerten Puffern durch losabhängige Rüst- und Handlingaufwände hergestellt werden kann.

Die gesamte Wertstrombetrachtung ermöglicht dabei nicht nur eine verursachungsgerechte Zuordnung der Prozesse, sondern auch die Zuordnung der Stellhebel für Kostensenkungsmaßnahmen entlang des Wertstroms und die Bewertung deren Auswirkungen auf die Entwicklung der Gesamtkosten. Werden alle Kosten betrachtet und deren Abhängigkeiten zu Stückzahlen und Varianten aufgezeigt, kann die ursprüngliche Berechnung durch Auswirkungen möglicher Zukunftsszenarien ergänzt werden und somit wertstromrelevante Entscheidungen maßgeblich unterstützen.

Ziel der Arbeit ist die Bestätigung der in Kapitel 1.2 beschriebenen Problemstellung durch die Analyse bestehender Ansätze, die Beschreibung der daraus resultierenden Anforderungen an das Modell und darauf aufbauend die Entwicklung eines Modells zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen. Dadurch wird es dem Anwender ermöglicht, zukünftige Stückzahl- und Variantenentwicklungen im Gesamtkostenverlauf abzubilden und so Entscheidungen über zukünftige Entwicklungen zu unterstützen.

³¹ Eingangsgrößen stellen in diesem Ansatz die Veränderung des benötigten Produktionsoutputs bzw. Produktionsprogramms anhand von Stück- und Variantenzahlen und den damit verbundenen variantenabhängigen Rüst-, Bearbeitungs- und Handlingzeiten dar.

³² vgl. LIKER 2004, S.71ff.

³³ vgl. NYHUIS ET AL. 2009, S.205ff.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Begriffe, die zum Verständnis der Aufgabenstellung und der Lösungsidee beitragen, werden in **Kapitel 2** beschrieben, daraus lässt sich die Abgrenzung der Arbeit ableiten. In **Kapitel 3** werden relevante Ansätze aus dem Stand der Wissenschaft beschrieben. Daraus lassen sich in **Kapitel 4** die Anforderungen an ein neues Modell ableiten. **Kapitel 5** erläutert die logischen Zusammenhänge, die dem Modell zugrunde gelegt werden. Dieses wird in **Kapitel 6** in seine einzelnen Schritte zerlegt und in **Kapitel 7** anhand eines Fallbeispiels angewandt. **Kapitel 8** fasst die gesamte Arbeit abschließend zusammen und ermöglicht einen Ausblick auf zukünftige Forschungsansätze und Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Abbildung 1.1 zeigt dieses Vorgehen im Überblick.

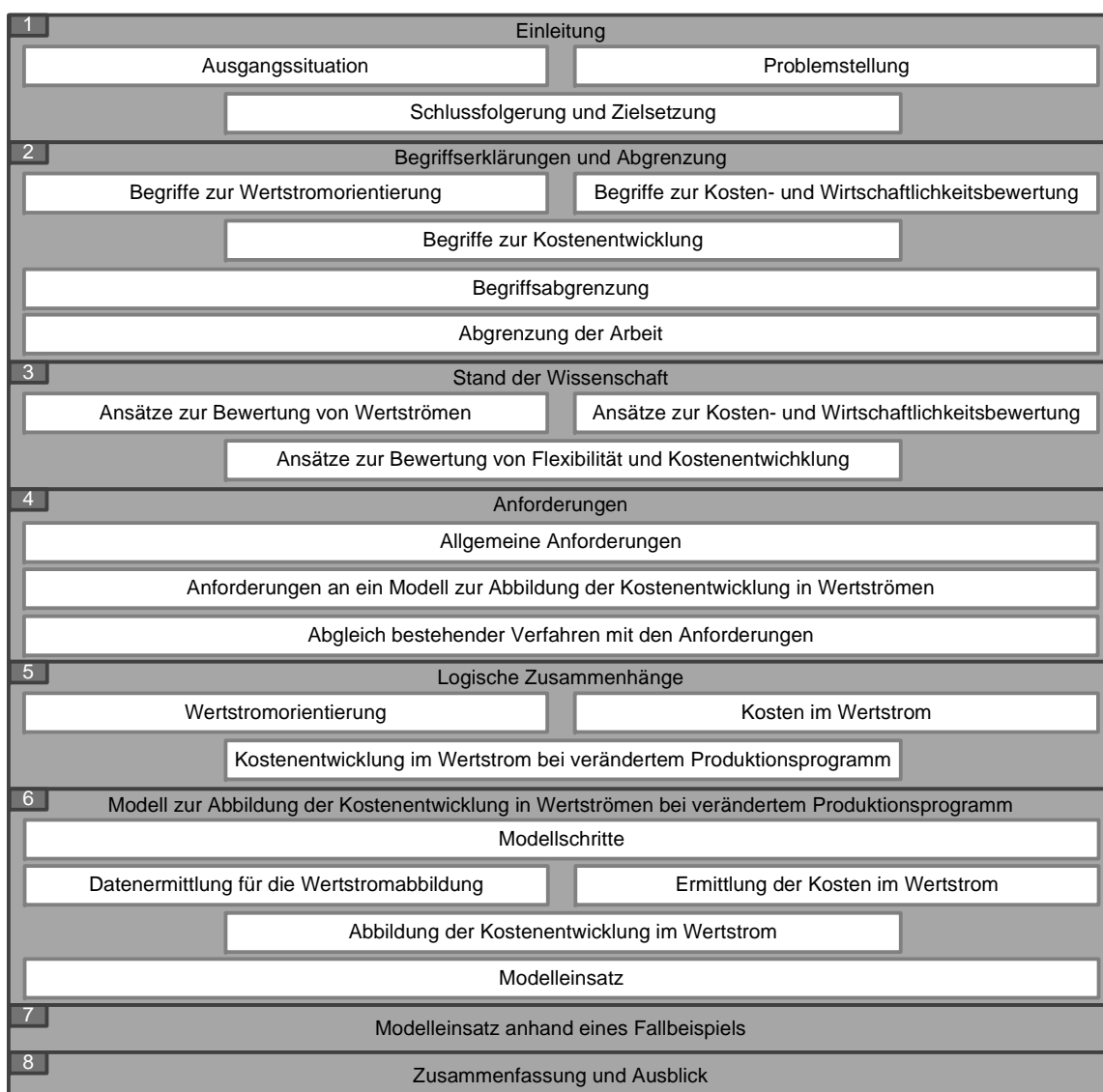


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

2 Begriffserklärungen und Abgrenzung der Arbeit

Um den angestrebten Ansatz beschreiben zu können, werden folgende Begriffe näher erläutert, deren Verständnis für die Aufgabenstellung maßgeblich ist:

- Begriffe zur Wertstromorientierung
 - Wertschöpfung und Verschwendung
 - Produktionsstruktur und Wertstrom
 - Engpass
- Begriffe zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung
 - Wirtschaftlichkeit
 - Kosten
 - Investition
- Begriffe zur Kostenentwicklung
 - Produktionsprogramm
 - Flexibilität
 - Veränderungen und Anpassungen

Die Abgrenzung der Begriffe und der Arbeit erfolgt anschließend in den Kapiteln 2.4 und 2.5.

2.1 Begriffe zur Wertstromorientierung

2.1.1 Wertschöpfung und Verschwendung

Die allgemeine Produktionstheorie ist eines der Hauptgebiete der Produktionswirtschaftslehre und wird von DYCKHOFF auch als „transformationsbezogene Theorie betrieblicher Wertschöpfung“ bezeichnet. Wertschöpfung kommt dabei „durch mittels Transformationen erbrachte Leistung“ zustande. Die Transformationen stehen im Mittelpunkt der Produktionswirtschaftslehre und sind durch qualitative, quantitative, räumliche oder zeitliche Veränderung von Objekten gekennzeichnet³⁴. Ermittelt werden kann die Wertschöpfung auf 2 Arten: indirekt und direkt. Bei der indirekten Ermittlung entspricht die Wertschöpfung dem Einkommen der Unternehmung und wird aus der Differenz aus Gesamtleistungen und Vorleistungen (in Geldeinheiten) ermittelt. Bei der direkten Ermittlung stellt die Wertschöpfung die Summe aller Einkommensteile dar, die an Arbeitnehmer, Kapitalgeber, Staat und Unternehmen fließen³⁵. Dadurch können abgeschlossene Zeitspannen hinsichtlich ihrer Wertschöpfung

³⁴ vgl. DYCKHOFF 2006, S.9ff.

³⁵ vgl. DYCKHOFF 2006, S.191

bewertet werden, eine Aussage über zukünftige Wertschöpfungspotenziale wird dabei nicht getroffen.

Wertschöpfung ist die Grundlage der Prinzipien der Lean Production, die die Prozesse innerhalb des Leistungserstellungsprozesses in wertschöpfend und verschwendend unterteilt. Die wichtigste Methode stellt dabei die Wertstrommethode dar, die die Prozesse in ihrer Ablauffolgenfolge betrachtet und die Reduzierung der Durchlaufzeit eines Produktes durch diese Prozesse als oberstes Ziel verfolgt³⁶. Die Wertstromorientierung ermöglicht die komplexen Sachverhalte einer Produktion auf den Material- und Informationsfluss einzugrenzen. Dabei werden flussbezogene Verluste fokussiert - Kosten werden bei der Betrachtung vorerst vernachlässigt.

Verschwendung ist die sichtbare Entstehung von Verlusten im Unternehmen, welche durch gründliche Beseitigung zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit innerhalb der Produktion führen³⁷. Dabei geht es um eine intelligente Handhabung von Tätigkeiten in der Produktion, bei der durch das kritische Hinterfragen von Prozessen durch die Mitarbeiter Verschwendung identifiziert wird, die erst dann eliminiert werden kann³⁸. Verschwendung umfasst dabei alles, was keinen Mehrwert des Produktes für den Kunden erzeugt und dessen Kosten demnach keinem zusätzlichen Erlös gegenüberstehen³⁹. Verschwendung kann dabei nie vollkommen beseitigt werden, demnach besteht innerhalb eines Unternehmens immer der Bedarf, Verschwendung zu reduzieren.

Als Auslöser der Lean Production Philosophie hat der Hersteller Toyota sieben grundlegende Verschwendungsarten ermittelt^{40,41}:

1. Überproduktion: Verstopfung der Produktion, Lagerhaltung und Transportkosten aufgrund übermäßiger Bestände durch produzierte Teile, ohne zugehörigen Auftrag
2. Warten: Warten auf automatische Bearbeitungsvorgänge, auf Nachfolgeprozesse, Werkzeuge, Instandhaltung etc, aufgrund von Leerläufen, Kapazitätsengpässen o.Ä.
3. Unnötiger Transport: Der Transport von Teilen und Beständen über lange Wege oder unnötige Ein- und Auslagerungsprozesse oder lange Wege zwischen Prozessen
4. Falsche und ineffiziente Prozesse: Unnötige Schritte zur Verarbeitung, Ineffizienzen aufgrund von Produktdesign; höhere Qualität, als vom Kunden gefordert
5. Hohe Bestände: Übermaß an Rohmaterialien, Bestand zwischen den Prozessen, Transport von Beständen, Überdeckung von Problemen wie unsynchronisierte Prozesse, Lieferverzögerungen, Fehlern, Anlaufverzögerungen, etc.
6. Unnötige Bewegungen: Bewegungen von Mitarbeitern durch Suchvorgänge, Auslagerungsprozesse von Teilen, Werkzeugen etc.
7. Fehler: Produktion fehlerhafter Teilen, Nacharbeit, Entsorgung, Handling, etc.

Viele Betriebe konzentrieren sich zur Generierung von Wertschöpfung nicht auf die Abbildung der gesamten Wertschöpfungskette im Lebenszyklus des Produktes, sondern auf bestimm-

³⁶ vgl. Kapitel 2.1.2

³⁷ vgl. OHNO 2009, S.15ff.

³⁸ vgl. SYSKA 2006, S.167ff.

³⁹ vgl. GIENKE UND KÄMPF 2007, S.100

⁴⁰ vgl. LIKER 2004, S.28ff.

⁴¹ vgl. SIHN UND MATYAS 2011, S.59ff.

te Bereiche entlang der Wertschöpfungskette und kooperieren in Netzwerken mit anderen Unternehmen und Werken durch Fremdvergabe⁴². Wertschöpfung entsteht dabei im zeitlichen Verlauf der Produktionsprozesse. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der zugehörigen Durchlaufzeit, die angibt, wie lange ein einzelnes Produkt vom Wareneingang bis zur Auslieferung an den Kunden durch die Produktion benötigt⁴³. Da Inputfaktoren wie Rohstoffe häufig nicht selbst erzeugt werden, ist der Input einfach durch Marktpreise monetär bewertbar. Die dadurch generierten Produkte erzielen Erlöse, die ebenfalls eine monetäre Bewertung ermöglichen. Dementsprechend kann Wertschöpfung bewertet werden und "hat also unmittelbar mit der Schaffung monetärer Werte zu tun"⁴⁴.

2.1.2 Produktionsstruktur und Wertstrom

Als Produktionsstruktur wird die Untergliederung der Produktion in einzelne Bereiche und Segmente verstanden. Dabei können unterschiedliche Strukturierungsansätze gewählt werden⁴⁵, einer dieser Ansätze wird durch die Abbildung des Wertschöpfungsprozesses von Produkten vom Warenein- bis zum Warenausgang veranschaulicht. Dazu zählen neben den darin enthaltenen Technologien und deren Ausprägungen, die Verbindungen zwischen einzelnen Prozessschritten durch logistische Vorgänge und Losgrößen. Ebenso der Einsatz, die Nutzung und möglicherweise die Erweiterung von Ressourcen und Mitarbeitern bei entsprechendem Kapazitätsbedarf (wie beispielsweise durch Vorgabe eines Schichtmodells) sind Teil des hier verwendeten Produktionsstrukturbegriffs.

Der Wertstrom bezeichnet diejenigen Prozessschritte und Lagerstufen, die entlang des Wertschöpfungsprozesses durchlaufen werden. Die für diese Betrachtungsweise entwickelte Methode ist die Wertstrommethode⁴⁶. Die Herstellung von Produkten ist mit Wertschöpfung, als Grundlage ökonomischen Handelns, verbunden. Wesentliche Merkmale der Produktion bestehen dabei in der Bewegung und qualitativen Veränderung der Produkte⁴⁷. Die bestehende Layoutstruktur des Betriebs wird dabei unberücksichtigt gelassen und die Prozesse in der Reihenfolge aufgezeigt, in der das zu fertigende Produkt die Produktion durchläuft (vgl. Abbildung 2.1).

Die Prozessschritte⁴⁸ werden dabei als Rechteck dargestellt und enthalten Informationen über technische Verfügbarkeiten, Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Anzahl Mitarbeiter, Schichtmodelle und mögliche benötigte Losgrößen. Die Puffer und Lager sind als Dreiecke dargestellt und enthalten die darin befindliche Anzahl an Teilen bzw. Produkten.

Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, werden diejenigen Prozesse und Aktivitäten als wertschöpfend verstanden, die dem Produkt einen zusätzlichen Wert verschaffen durch bspw. Urformung, Umformung, Fügen, Montage oder Veredelung.

Im Gegensatz zur Wertschöpfung stehen die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten oder Vorgänge, die auch als Verschwendung bezeichnet werden. Wird ein Produkt beispielsweise transpor-

⁴² vgl. WESTKÄMPER 2006, S.33ff.

⁴³ vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.21

⁴⁴ vgl. WESTKÄMPER 2006, S.34

⁴⁵ vgl. ERLACH 2010, S.126ff.

⁴⁶ vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.3ff.

⁴⁷ vgl. ERLACH 2010, S.8ff.

⁴⁸ im Folgenden auch als *Prozesse* bezeichnet

eine Übertragung der Erkenntnisse auf die restlichen Varianten aufwandsarm ermöglicht⁵⁰. Der Wertstrom ist am Kundentakt ausgerichtet. Der Kundentakt gibt an, in welchem zeitlichen Abstand der Kunde ein Produkt nachfragt. Dadurch wird die Frequenz angegeben, in der die Produktion ein Produkt fertigstellen muss und der Takt ermittelt, in dem jeder Prozess bestenfalls produziert. Kann der Takt von einem Prozess nicht eingehalten werden, müssen Maßnahmen ergriffen werden, entweder zur Kapazitätserhöhung oder zur Prozessoptimierung, ansonsten kann der Kundenbedarf nicht gedeckt werden. Eine ausführliche Beschreibung dieser Thematik findet sich in Kapitel 5.1.2.

Das Hauptaugenmerk des Wertstroms liegt auf der Durchlaufzeit des einzelnen Produktes. Diese enthält sowohl die Bearbeitungs- und Zykluszeiten innerhalb der Prozesse, sowie deren Wartezeiten durch Rüstvorgänge. Dazu zählen außerdem die Liegezeiten des Produktes in vor- und nachgelagerten Puffern und in sämtlichen Lagern der Produktion. Stellt man die Durchlaufzeit den tatsächlichen Bearbeitungszeiten für die Produktfamilie gegenüber, erhält man den so genannten Flussgrad.

Wertströme sind eine Folge von Geschäftsprozessen, die zur Erfüllung ökonomischer Zielsetzungen von Unternehmen dienen. Sie verknüpfen die Organisations- und Ablaufstruktur und ermöglichen die Darstellung von Zusammenhängen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Funktionen⁵¹. Die Senkung der Durchlaufzeit ist eines der wichtigsten Ziele der Prinzipien der Lean Production. Sie steht für die möglichst verschwendungsfreie Produktion und erhöht die Flexibilität der Produktion durch schnelle Bearbeitung des gesamten Produktes. Mit einer geringen Durchlaufzeit wird eine schnellere Umstellung der Produktion auf andere Varianten ermöglicht, ohne diese durch große Losgrößen lange für eine Variante zu blockieren. Kundenaufträge können demnach schneller und effizienter abgearbeitet werden, ohne dabei unvorhersehbare Turbulenzen im Produktionsablauf hervorzurufen. Die Dimension Zeit ist auch deshalb in die Betrachtung zu integrieren, da ein Wertstrom und damit der Materialfluss auch einen Kapitalfluss im Unternehmen darstellt⁵². Die Produktion dient der Werterhöhung der Produkte, was bei produktiven Tätigkeiten unmittelbar erfolgt. Nicht wertschöpfende Tätigkeiten erhöhen zwar die Kosten der Produktion und damit indirekt den Wert des Produktes aus Sicht des Unternehmens, allerdings nicht aus Sicht des Kunden, welcher für interne logistische Prozesse nur bedingt bereit wäre höhere Preise in Kauf zu nehmen, wenn er Kenntnis über die Kostenzusammensetzung hätte⁵³. Demnach kann die Reduzierung dieser Verschwendung eine wesentliche Kostenreduzierung ermöglichen und Wettbewerbsvorteile generieren (siehe Abbildung 2.2). Sogenannte unterstützende Prozesse, welche zwar keine Wertschöpfung darstellen, allerdings unverzichtbar für die Produktion sind, wie notwendige Transporte, können tatsächlich Wert für den Kunden generieren und dadurch zumindest mittelbar zur Wertschöpfung beitragen. Unterstützende Tätigkeiten finden sich häufig in Kostenstellen wieder, deren Aufwendungen in der Regel als Gemeinkosten über Zuschlagssätze auf die Produkte verteilt werden.

Produktive Tätigkeiten verursachen Lohn- und Lohnnebenkosten für Personal, Materialkosten, Kapitalkosten, Abschreibungen sowie laufende Kosten⁵⁴. Um wirtschaftlich produzieren

⁵⁰ vgl. ERLACH 2010, S.38ff.

⁵¹ vgl. WENZEL 2001, S.28

⁵² vgl. WENZEL 2001, S.24ff.

⁵³ vgl. WILDEMANN 2004, S.11

⁵⁴ vgl. Kapitel 5.2

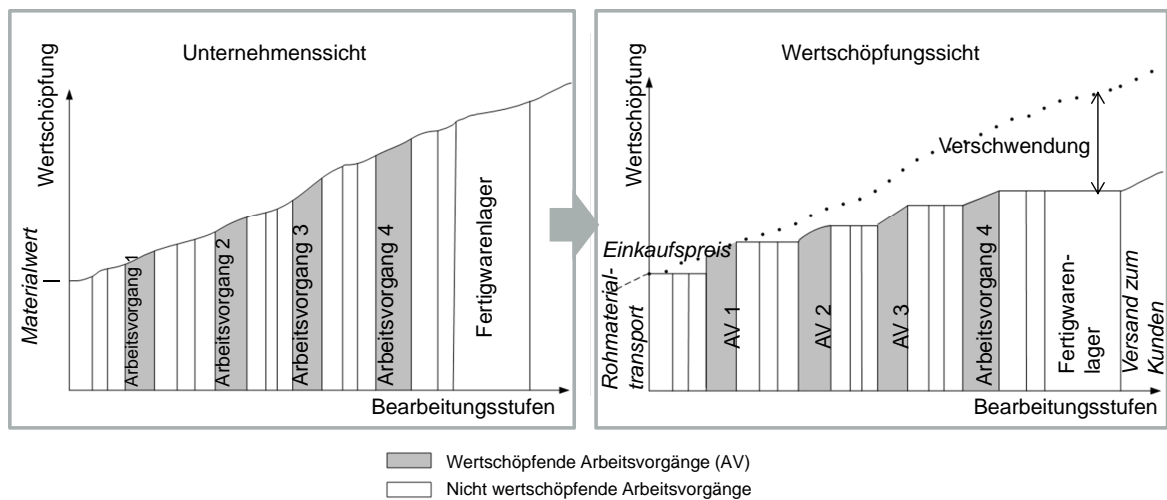


Abbildung 2.2: Wertschöpfung aus Sicht des Unternehmens⁵⁵ und des Kunden

zu können, müssen die Erlöse die Kosten des Betriebs übersteigen, dementsprechend sind auch unproduktive Tätigkeiten für diese Betrachtung relevant, da sie konsequenterweise zu Überlegungen führen, die die Kostensenkung und Potenzialidentifizierung innerhalb der Produktion zum Ziel haben⁵⁶.

Zusammenfassend können nach LIKER folgende Zielsetzungen für den Wertstrom ausgegeben werden⁵⁷:

- Generierung flexibler Prozesse, um schnell auf veränderte Kundenanforderungen reagieren zu können, vor allem auf steigende Variantenvielfalt.
- Geringe Durchlaufzeit vom Kundenauftrag bis zu Fertigstellung und Versand des Produktes.
- Verknüpfung von Prozessen mit kontinuierlichem Materialfluss.
- Anlegen separater Betrachtungsschleifen innerhalb des Wertstroms, wenn dazwischen kein Fluss möglich ist.
- Vereinfachen des Informationsflusses vom Nachfolge zum Vorgängerprozess.
- Schaffen eines Bewusstseins für Kundenanforderungen.
- Identifizierung des Schrittmacherprozesses (der Prozess, an dem die Kundenaufträge eingesteuert werden), der den Takt für alle anderen Prozesse vorgibt.

Die Betrachtung und Optimierung von Maschinen und Anlagen steht in der klassischen Wertstromsichtweise nicht im Vordergrund, muss in eine Betrachtung der Kosten des Wertstroms allerdings unbedingt einfließen.

⁵⁵ in Anlehnung an WENZEL 2001, S.25

⁵⁶ vgl. WENZEL 2001, S.24ff.

⁵⁷ vgl. LIKER UND MEIER 2006, S.43

Sowohl die Verwendung des Begriffs Produktionsstruktur, als auch des Begriffs Wertstrom beinhaltet in dieser Arbeit die Gestaltung der betrachteten Produktion hinsichtlich ihrer Prozessverknüpfungen, Technologien, Steuerungspunkte, Losgrößen und damit verbundenem Bestandsverhalten und werden synonym verwendet.

In dieser Arbeit werden ausschließlich Wertströme betrachtet, welche die Produktion eines Stückgutes abbilden. Administrative Wertströme oder Wertströme der Prozessindustrie weisen unterschiedliche Merkmale auf und benötigen deshalb eine eigene Herangehensweise.

2.1.3 Engpass

Sind die vorhandenen Produktionspotenziale in Form von Maschinen, Anlagen und Menschen ausgelastet und müssen Fertigungsaufträge zeitlich verschoben werden, besteht eine Engpass-situation im Unternehmen⁵⁸. Goldratts Theory of Constraints⁵⁹ (TOC) geht davon aus, dass Systeme in Ketten oder Netzwerken von Ketten funktionieren. Diese Ketten sind genauso stark, wie deren schwächstes Glied⁶⁰. Dabei gibt es mehrere Übertragungsmöglichkeiten auf die Betrachtung des Wertstroms. Das schwächste Glied kann demnach so interpretiert werden, dass derjenige Prozess, der unter Belastung am schnellsten nachgibt, den Engpass darstellt. Allerdings ist dafür eine Differenzierung der auftretenden Belastung notwendig. Diese Belastung kann, bezogen auf die Produktion eines Betriebes, vor allem folgende Ausprägungen haben:

- Zeitliche Belastung: Die Durchlaufzeit ist länger als die geforderte Lieferzeit, deshalb kann nicht erst bei Bestellung mit der Produktion begonnen werden. Dafür können sowohl Produktions-, als auch Transport-, Handling- oder Montageprozesse verantwortlich sein.
- Quantitative Belastung: Der Kapazitätsbedarf durch das Produktionsprogramm übersteigt das Kapazitätsangebot eines oder mehrerer Produktions-, Transports-, Handling- oder Montageprozesses.
- Belastung der Flexibilität der Produktion: Durch zusätzliche Produktvarianten entstehen zusätzliche Rüst-, Transport- und Handlingaufwände, die dazu führen, dass das Kapazitätsangebot der Prozesse (oder zumindest eines Prozessschritts) nicht ausreicht.

Nach Goldratt stellt lediglich ein Glied der Kette einen Engpass dar. Wird dieser durch Verbesserungen oder Optimierungen aufgelöst, entsteht ein neuer Engpass⁶¹. Für den Fall, dass an mehreren Prozessschritten die Kapazitätsnachfrage das Kapazitätsangebot übersteigt, muss also derjenige Prozess mit der größten Differenz herangezogen werden. Im Rahmen des Wertstromdesign ist von einem Schrittmacherprozess die Rede, der den Takt für die übrigen Prozesse einer Prozesskette angibt. Dieser Schrittmacherprozess wird von den Kundenaufträgen angesteuert; sämtliche Prozesse flussaufwärts, also Vorgänger des Schrittmacherprozesses, sind von diesem abhängig und werden von diesem angesteuert, danach darf kein Abbruch des Materialflusses mehr erfolgen⁶². Im Idealfall stellt dieser Schrittmacherprozess

⁵⁸ vgl. ZAHN UND SCHMID 1996, S.404

⁵⁹ vgl. GOLDRATT UND COX 1998, S.7ff.

⁶⁰ vgl. DETTMER 1997, S.7ff.

⁶¹ vgl. DETTMER 1997, S.8

⁶² vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.72ff.

auch den Engpass eines Wertstroms dar; liegt der Engpass nach dem Schrittmacherprozess (beispielsweise durch eine weitere Produktfamilie im Wertstrom) muss eine Überproduktion vermieden werden und der Schrittmacherprozess darf nur so viele Aufträge freigeben, wie der Engpass auch verarbeiten kann. Ein Engpass vor dem Schrittmacherprozess sollte vermieden werden, da er einen erneuten Abbruch des Materialflusses zur Folge hätte⁶³. Im Rahmen des Wertstromdesigns sollen dann mehrere Schrittmacherprozesse definiert werden, wenn durch technologische Gegebenheiten oder mehrere Varianten oder Produktfamilien mehrere Entkopplungspunkte im Wertstrom benötigt werden. Dann wird der Wertstrom in so genannte Wertstromschleifen eingeteilt, die in einem Kunden- Lieferanten Verhältnis zu den vorhergehenden und nachfolgenden Wertstromschleifen stehen⁶⁴. Diese Wertstromschleifen sind durch logistische Vorgänge entkoppelt und können demnach vorerst unabhängig voneinander betrachtet werden. In diesem Fall können mehrere Schrittmacher und dementsprechend mehrere Engpässe innerhalb eines Wertstroms auftreten.

Wird ein Engpass behoben, verschiebt sich der Engpass innerhalb des Wertstroms und damit die Randbedingungen für die Produktion. Kann ein Engpass nicht behoben werden, so stellt er eine absolute Grenze für den Output der Produktion dar. Für diese Arbeit ist dabei relevant, ob ein Engpass behoben werden kann und was die Kapazitätserhöhung an Kosten verursacht. In welcher Art und Weise der Engpass letztendlich behoben wird und ob das auf realistischen Annahmen beruht, wird in diesem Ansatz nicht überprüft. Engpässe innerhalb von Wertströmen sind beispielsweise:

- Produktionskapazitäten von Maschinen und Anlagen
- Produktionskapazität des Personals
- Fläche
- Rohmaterial
- Halbfertigprodukte

2.2 Begriffe zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung

2.2.1 Wirtschaftlichkeit

Alle Entscheidungen eines Betriebes liegen laut Produktionstheorie der Maximierung der Wirtschaftlichkeit zugrunde und müssen in der Art und Weise getroffen werden, in der vorhandene Kapazitäten eine optimale Ausprägung der gesetzten Ziele erreichen können⁶⁵. Der Begriff Wirtschaftlichkeit kann dabei nur in Abhängigkeit zu einem Bewertungsobjekt betrachtet werden, da das Bewertungsobjekt mit den zugehörigen Bewertungsgrößen Grundlage verschiedener vorhandener Definitionen der Wirtschaftlichkeit darstellt⁶⁶. Bewertungsobjekte können beispielsweise Investitionen oder Bereiche darstellen, während Bewertungsgrößen die zugehörigen Kosten und Leistungserträge, bzw. Ein- und Auszahlungen oder Aufwendungen

⁶³ vgl. ERLACH 2010, S.221

⁶⁴ vgl. LIKER UND MEIER 2006, S.47

⁶⁵ vgl. SYSKA 2006, S.23ff.

⁶⁶ vgl. WÖHE UND DÖRING 2008, S.524ff.

und Erträge beschreiben. Die Bewertungsregel nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip als Quotient aus monetärem Ergebnis zu monetärem Mitteleinsatz haben die Definitionen allerdings gemeinsam. Dabei kann die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit sowohl mengenmäßig durch

$$(\text{Ertrags-})\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$$

als auch wertmäßig durch

$$(\text{Kosten-})\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Leistungserträge}}{\text{Kosten}}$$

beschrieben werden⁶⁷. Je höher der jeweilige Quotient, desto höher die Wirtschaftlichkeit. Da keine Aussage über die Güte des Verhältnisses zwischen Ertrag und Aufwand bzw. Leistung und Kosten getroffen werden kann, also die Wirtschaftlichkeit keine absolut bewertbare Größe darstellt, sondern erst relativ im Vergleich zum Wettbewerb oder zu vergangenen Perioden aussagekräftig wird, müssen Ziel- bzw. Vergleichswerte geschaffen werden. Demnach arbeitet ein Unternehmen oder eine Produktion laut WÖLTJE dann wirtschaftlich, wenn sie vorgegebene Ziele erreicht. Das ist dann der Fall, wenn

$$\text{Istkosten} < \text{Sollkosten}$$

oder

$$\frac{\text{Istkosten}}{\text{Sollkosten}} < 1$$

Übersteigen die Istkosten die Sollkosten, arbeitet das Unternehmen nach dieser Betrachtung unwirtschaftlich, unabhängig davon ob ein Gewinn erzielt wird oder nicht⁶⁸. Diese starre Wirtschaftlichkeitsbewertung sagt nichts über die Angemessenheit der Kosten und deren Bestimmung aus, sondern unterstellt die Wirtschaftlichkeit der Sollkosten.

Die Wirtschaftlichkeit liegt dem ökonomischen Prinzip zugrunde, welches sich in zwei Ausprägungen unterscheiden lässt. Das Maximalprinzip strebt einen maximalen Output bei gegebenen Inputfaktoren an, während das Minimalprinzip bei gegebenem Output die Inputfaktoren zu minimieren versucht^{69,70}.

Um die Aussagefähigkeit des Wirtschaftlichkeitsprinzips zu unterstützen, fügt FANDEL zwei weitere Grundtatbestände an, welche für Unternehmen charakteristisch sind. Der erste Grundtatbestand ist dabei die Kombination von Produktionsmitteln, die dem Zweck der Leistungserstellung dienen⁷¹. Darunter fällt die Beschaffung und Kombination von Produktionsfaktoren, die für die Herstellung erforderlich sind. Da diese keinen Selbstzweck darstellen, sondern von der Nachfrage der Kunden abhängig sind, bedeutet Wirtschaften "unter Verwendung der vorhandenen und knappen Ressourcen und mit den daraus erzeugten Gütern die menschlichen Bedürfnisse soweit wie möglich zu befriedigen"⁷². Nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip

⁶⁷ vgl. DAUM ET AL. 2007, S.33ff.

⁶⁸ vgl. WÖLTJE 2009, S.33

⁶⁹ vgl. GUTENBERG 1990, S.31ff.

⁷⁰ vgl. WENZEL 2001, S.18

⁷¹ vgl. FANDEL 2005, S.6ff.

⁷² vgl. FANDEL 2005, S.7

ist der dritte Grundtatbestand nach FANDEL die Aufrechterhaltung des finanziellen Gleichgewichts einer Unternehmung, da in der Regel der langfristige Betrieb des Unternehmens angestrebt wird, anstatt den Betrieb nach kurzer Zeit wieder einzustellen. Dementsprechend muss dafür Sorge getragen werden, "dass jederzeit die vorhandenen und zusätzlich kurzfristig beschaffbaren finanziellen Mittel ausreichen, um die fälligen Verbindlichkeiten abzudecken"⁷³.

2.2.2 Kosten

Unternehmerische Zahlungs- und Leistungsvorgänge werden durch unterschiedliche Begriffe beschrieben:

- Kosten und Leistungserträge
- Auszahlungen und Einzahlungen
- Ausgaben und Einnahmen
- Aufwände und Erträge

Die Herstellung von Produkten ist mit ständigen Zu- und Abgängen von Gütern und Mitteln verbunden, wobei für die Herstellung verschiedene Faktoren (Produktionsmittel, Rohstoffe, etc.) beschafft werden müssen, und nach Fertigstellung Faktoren durch Verkauf in das Unternehmen zurückfließen. Diese Strömungsvorgänge werden in unterschiedlichen Ebenen des Rechnungswesens abgebildet und wirken auf unterschiedliche Bestandsgrößen. Auf nicht-betriebsbedingte Vorgänge im Unternehmen wird hierbei nicht näher eingegangen.

Die Strömungsgrößen Ein- und Auszahlungen stellen pagatorische Zahlungsströme des Unternehmens dar, nehmen direkten Einfluss auf die liquiden Mittel und sind Teil des Umlaufvermögens. Da Zahlungsströme zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und damit die Liquidität des Unternehmens beeinflussen, sind sie wichtige Elemente zahlreicher Bewertungsansätze. Ein- und Auszahlungen sind dabei für die Finanzbuchhaltung relevant, ebenso wie die Ein- und Ausgaben, welche die Bestandsgröße Geldvermögen beeinflussen. Dabei werden Forderungen und Verbindlichkeiten mit in die Betrachtung aufgenommen. Diese finanzwirtschaftlichen Vorgänge des Unternehmens sind für diesen Ansatz nur bedingt relevant, da Kosten u.a. die Bestandsgröße des betriebsnotwendigen Vermögens adressieren und kalkulatorische Kosten und Opportunitätskosten (entgangene Erlöse durch unterlassene Nutzung von Möglichkeiten) mit berücksichtigen und dementsprechend die Grundlage des vorgestellten Ansatzes darstellen. Der Aufwand als Begriff des Gesamtvermögens hat eine große Schnittmenge mit den betrachteten Kosten. In dieser Arbeit wird dann vor allem von zeitlichen Aufwänden gesprochen, wenn noch keine direkte Auswirkung auf Kosten unterstellt werden kann.

Kosten stellen die monetäre Bewertung von Produktionsfaktoren, die notwendig sind um die Produktion zu ermöglichen, dar und bewerten diesen Verbrauch in Geldeinheiten⁷⁴. Während der Leistungserstellung findet ein Werteverzehr statt, der durch Kosten bewertet wird. Kosten werden in der Regel nach fixen und variablen Kosten unterteilt, wobei fixe Kosten

⁷³ vgl. FANDEL 2005, S.7

⁷⁴ vgl. HEINEN 1974, S.55ff.

zeitabhängig und variable Kosten meist mengenabhängig sind; das bedeutet, dass fixe Kosten über einen bestimmten Zeitraum bestehen, unabhängig davon wie viele Teile in der Produktion hergestellt werden, variable Kosten dagegen von dieser Anzahl abhängig sind, also mit steigenden Mengen steigen und mit sinkenden Mengen sinken. Im Vergleich zu Auszahlungen werden Kosten auch für kalkulatorische Zwecke angeführt. Darunter fallen unter anderem Abschreibungen, kalkulatorische Zinsen und Unternehmerlöhne.

Leistungen wie Produkte und Dienstleistungen verursachen Kosten und werden als Kostenträger bezeichnet; Leistungen werden in Absatzleistungen, Lagerleistungen und Eigenleistungen unterschieden⁷⁵.

Folgende Merkmale kennzeichnen nach MÜLLER den Kostenbegriff:

- (Dienstleistungs-) Güterverzehr im Rahmen der Leistungserstellung
- leistungsbezogener Verzehr
- in Geldeinheiten bewertbar

Dementsprechend ist eine Leistung dann gegeben, wenn sie

- betriebsbedingt,
- periodenzugehörig und
- im Rahmen der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit erfolgt⁷⁶.

Einzahlungen und Auszahlungen gehen immer mit einer Erhöhung bzw. Verringerung des Bestandes an liquiden Mitteln einher⁷⁷, stellen also reale Zahlungsströme dar. Werden dem Bestand an liquiden Mitteln Forderungen und Verbindlichkeiten zugerechnet entsteht Geldvermögen. Einnahmen und Ausgaben führen durch den Abgang bzw. Zukauf von Gütern und Dienstleistungen zur Erhöhung bzw. Reduzierung des Geldvermögens. Das Nettovermögen besteht aus Geldvermögen und Sachvermögen; Erhöhungen und Reduzierung des Nettovermögens erfolgt durch Erträge und Aufwendungen⁷⁸. Einzahlungen, Auszahlungen, Erträge und Aufwendungen finden keine explizite Berücksichtigung in dem vorgestellten Ansatz.

Da eine möglichst verursachungsgerechte Kostenverteilung angestrebt wird, werden Gemeinkosten möglichst weit aufgebrochen, allerdings bleiben schwer zuordenbare Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten als Gemeinkostensätze bestehen. Die Aufteilung der Kosten entlang eines Wertstroms in die unterschiedlichen Kostenarten ist in Kapitel 5.2 beschrieben.

2.2.3 Investition

Investitionen, die von Varianten- und Stückzahlanpassungen ausgelöst werden, verursachen Kosten, die in diesem Ansatz abgebildet werden müssen.

Investitionen werden unterschieden in⁷⁹:

- Sachinvestitionen, wie Maschinen, Anlagen, Gebäude, Werkstoffe etc.

⁷⁵ vgl. DAUM ET AL. 2007, S.188ff.

⁷⁶ vgl. MÜLLER 2006, S.120ff.

⁷⁷ vgl. MÜLLER 2006, S.119ff.

⁷⁸ vgl. MÜLLER 2006, S.119ff.

⁷⁹ vgl. WÖLTJE 2009, S.308ff.

-
- Immaterielle Investitionen, wie Investitionen in Forschung und Entwicklung, Werbung, Lizenzen, etc.
 - Finanzinvestitionen, wie Wertpapiere, Forderungen, Beteiligungen, etc.

Im Rahmen des vorgestellten Ansatzes sind lediglich Investitionen in materielle Realgüter, also Sachinvestitionen relevant, da sie den wesentlichen Bestandteil des Wertstromes ausmachen. Diese können wiederum in unterschiedliche Investitionsarten unterteilt werden⁸⁰, wobei lediglich diejenigen Investitionsarten, die von Stückzahl- oder Variantenveränderungen betroffen sind, für diese Arbeit relevant sind. Ersatzinvestition ziehen keine oder nur eine geringe Kapazitätsveränderung nach sich und werden in dieser Arbeit nicht explizit betrachtet. Eine Investition stellt einen Vermögenswert dar, der in Form von Anlagevermögen auf der Aktivseite der Bilanz angesetzt wird und eine Mittelverwendung repräsentiert. Die Finanzierung dieser Investition in Form von Eigen- oder Fremdkapital wird auf der Passivseite der Bilanz angegeben und beschreibt die Mittelherkunft der Investition⁸¹. Die Investition verkörpert einen Zahlungsstrom oder eine Zahlungsreihe und beginnt mit einer Auszahlung⁸². Bei Fortsetzung der Zahlungsreihe werden durch die Investition entweder eine Reduzierung der Auszahlungen (durch eine investitionsbedingte Kostensenkung) erwartet, oder zusätzliche Erlöse und Einzahlungen, die durch zusätzliche Kapazitäten oder zusätzliche Diversifikationsmöglichkeiten und eine dafür vorhandene Nachfrage generiert werden. Darin liegt auch der Unterschied zu einer Finanzierung, die mit einer Einzahlung beginnt, der mehrere Auszahlungen folgen⁸³. Eine Investition wird als längerfristige Kapitalbindung über mehrere Jahre interpretiert, deshalb stellen Materialvorräte in der Regel keine Investition dar⁸⁴, sondern Umlaufvermögen.

2.3 Begriffe zur Kostenentwicklung

2.3.1 Produktionsprogramm

Die Kostenentwicklung beschreibt das Verhalten der Kosten bei veränderten Eingangsgrößen. Eingangsgrößen sind dabei Stückzahlen und Varianten des nachgefragten Produktionsprogramms; das Produktionsprogramm repräsentiert im Wertstrom die Nachfrage des Kunden an unterschiedlichen Produktvarianten und den dazugehörigen nachgefragten Mengen. Eine Produktvariante oder Variante ist dadurch gekennzeichnet, dass sie andere Eigenschaften und Ausprägungen als andere Varianten besitzt. Relevant sind diese Ausprägungen nur dann, wenn sie sich auf Bearbeitungszeiten, Rüst- oder Handlingaufwände bzw. unterstützende Prozesse niederschlagen. Nachgefragte Stückzahlen können dabei als Jahresbedarf ermittelt und auf Tagesbedarfe heruntergerechnet werden. Diese Anzahl muss täglich für den Bedarf des Kunden von der Produktion zur Verfügung gestellt werden. Das Produktionsprogramm und

⁸⁰ vgl. DAUM ET AL. 2007, S.47

⁸¹ vgl. DAUM ET AL. 2007, S.47ff.

⁸² vgl. MÜLLER 2006, S.215

⁸³ vgl. BRUGGER 2009, S.139ff.

⁸⁴ vgl. BECKER 2009, S.37

die darin enthaltenen nachgefragten Mengen müssen um diejenige Stückzahl erweitert werden, die durch Ausschuss oder Qualitätsprüfungen nicht zur Deckung des Kundenbedarfs verwendet werden können, allerdings für die Belegung von Kapazitäten mit berücksichtigt werden müssen. Die Befriedigung der Kundennachfrage ist eine wesentliche Zielsetzung von Betrieben, allerdings unterliegt die Kundennachfrage starken Schwankungen. Die Bewertung der kostenmäßigen Auswirkungen dieser Schwankungen ist für die Unternehmen von großer Bedeutung, da die Erhaltung einer wirtschaftlichen Produktion auch bei veränderten Randbedingungen gewährleistet werden muss, um die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens langfristig zu sichern.

Im Rahmen des betrachteten Ansatzes wird das Produktionsprogramm als Kombination von Stückzahlen und Varianten bezeichnet und auf die Betrachtung eines Wertstroms und damit einer Produktfamilie⁸⁵ beschränkt. Demnach werden nur diejenigen unterschiedlichen Varianten betrachtet, die einer gemeinsamen Produktfamilie zugeordnet werden können und durch die Nutzung gemeinsamer Ressourcen miteinander verbunden sind.

2.3.2 Flexibilität

Sich ständig verändernde Umweltbedingungen, steigende Variantenzahlen bei sinkenden Auftragsgrößen und damit steigender Umstellungsbedarf auf neue Produkte innerhalb der Produktion führen zu einer immer größeren Forderung nach flexiblen Produktionssystemen^{86,87}. Flexibilität ist dabei die Anpassungsfähigkeit eines Systems, schnell und ohne großen monetären Zusatzaufwand auf Veränderungen reagieren zu können^{88,89}. Dabei ergibt sich der Flexibilitätsgrad aus den Systemzuständen, die bei Veränderungen eingenommen werden, und deren Übergangszeiten⁹⁰ und misst dadurch die Leistungsfähigkeit der Produktion⁹¹. Die Flexibilität lässt sich in folgende drei Komponenten unterteilen^{92,93,94}:

- Handlungsspielraum - ist die wirtschaftlich vertretbare Veränderbarkeit des jeweils betrachteten Systems bzgl. problemrelevanter Kriterien (kann ein- oder mehrkriterieller Ausprägung sein und jeweils quantitativ, qualitativ, örtlich und/ oder zeitlich flexibilisierend wirken).
- Handlungsschnelligkeit - ist der Reziprokwert der Zeitspanne (d.h. die Geschwindigkeit) zur Überführung eines bestehenden Systemzustandes in einen geforderten Zustand, wobei dieser der Einstellung des benötigten Handlungsspielraumes entspricht.
- Handlungsbereitschaft (zusammengesetzt aus Beobachtungszeit, Aktionszeit, Wirkzeit) - ist die Bereitschaft, vorhandene Handlungsspielräume mit gegebener Handlungsschnelligkeit zu nutzen

⁸⁵ vgl. Kapitel 2.1.2

⁸⁶ vgl. DICKMANN 2009, S.21

⁸⁷ vgl. SINHA UND WEI 1992, S.183

⁸⁸ vgl. MÖLLER 2008, S.15

⁸⁹ vgl. SON UND PARK 1987, S.193

⁹⁰ vgl. NAGEL UND BÜSCHKEN 2003, S.12

⁹¹ vgl. SON UND PARK 1987, S.196

⁹² vgl. NAGEL UND BÜSCHKEN 2003, S.12ff.

⁹³ vgl. KOBYLKA 2000, S.9

⁹⁴ vgl. PAULI 1986

Dabei stellt der Handlungsspielraum diejenige Veränderungsfähigkeit des betrachteten Objekts oder Systems dar, die ohne wesentliche monetäre Belastungen quantitativ, qualitativ, örtlich oder zeitlich auf das System wirkt. Die Handlungsschnelligkeit ist die Geschwindigkeit, in der die Veränderung durchgeführt werden kann und die Handlungsbereitschaft setzt Handlungsspielräume mit der vorhandenen Handlungsschnelligkeit um und kann in Beobachtungszeit, Aktionszeit und Wirkzeit unterteilt werden⁹⁵.

Flexibilität lässt sich in unterschiedliche Gestaltungsebenen unterteilen⁹⁶: strategisch, taktisch und operativ. Strategisch ist eine Produktion dann, wenn sie in angemessener Zeit auf Veränderungen reagieren kann⁹⁷. Taktische Flexibilität stellt diejenige Fähigkeit eines Systems dar, ein marginal verändertes Produktionsprogramm noch bearbeiten zu können, während operative Flexibilität beispielsweise schnelle Rüstvorgänge bezeichnet und demnach eine schnelle Reaktion auf Veränderungen beschreibt⁹⁸. Flexibilität unterstützt die Produktion demnach sowohl kurzfristig und stellt dafür langfristig Fähigkeiten bereit, die zu einem zukünftigen Zeitpunkt genutzt werden können. Das erfordert häufig eine technische Überkapazität⁹⁹.

Flexibilität kann darüber hinaus in unterschiedliche Flexibilitätsarten, wie Produkt-, Leistungs- und Versorgungsflexibilität unterteilt¹⁰⁰ und unterschiedlichen Flexibilitätsobjekten zugeordnet werden. Flexibilitätsobjekte können sich zum einen auf Planungsaufgaben der Produktion beziehen, wie Prozess-, Produkt-, Volumen-, Erweiterungs- und Produktionsflexibilität¹⁰¹, zum anderen auf tatsächliche Objekte innerhalb der Produktion wie Equipment, Produkt, Prozess und Nachfrage¹⁰². Die Anpassungsfähigkeit dieser Objekte kann wiederum die Ausprägungen technologischer, zeitlicher und kapazitiver, struktureller, produktionsstrukturbedingter und mengenmäßiger Flexibilität annehmen^{103,104}.

Die vielen unterschiedlichen Ausprägungen von Flexibilität in unterschiedlicher Literatur führen HOCKE und HEINZL auf vier elementare Definitionen zusammen¹⁰⁵;

- die Eigenschaften und Fähigkeiten des Betrachtungsgegenstandes,
- die Bewältigung von Veränderungen,
- das Vorhandensein von Handlungsspielräumen und
- die Ausrichtung der Flexibilität an einem Ziel.

Besonders hinsichtlich der Zielsetzungen von Flexibilität gibt die Wertstrombetrachtung klare Richtlinien vor. Dabei wird eine flexible Produktion durch eine möglichst kurze Durchlaufzeit beschrieben¹⁰⁶. Eine geringe Durchlaufzeit ermöglicht es der Produktion, durch schnelles Umschalten auf verschiedene Produktvarianten, auf veränderte Kundenanforderungen zu

⁹⁵ vgl. KOBYLKA 2000, S.9

⁹⁶ vgl. KERN ET AL. 1996, S.489ff.

⁹⁷ vgl. HALLER 1999, S.15ff.

⁹⁸ vgl. KERN ET AL. 1996, S.490

⁹⁹ vgl. HALLER 1999, S.15ff.

¹⁰⁰ vgl. KOBYLKA 2000, S.10

¹⁰¹ vgl. BROWN ET AL. 1984, S.114ff.

¹⁰² vgl. SON UND PARK 1987, S.197

¹⁰³ vgl. KOBYLKA 2000, S.11

¹⁰⁴ vgl. HALLER 1999, S.15

¹⁰⁵ vgl. HOCKE UND HEINZL 2006, S.5

¹⁰⁶ vgl. DICKMANN 2009, S.21

reagieren. Ist die Durchlaufzeit einzelner Produkte durch die Produktion sehr hoch, werden Prozesse und Kapazitäten lange Zeit von diesem Produkt beansprucht, auch wenn es vom Kunde entweder nicht mehr nachgefragt wird, oder sich seine Anforderungen hinsichtlich Lieferzeit, Menge und Qualität geändert haben. Entweder wird die Produktion der laufenden Produkte abgebrochen und dadurch zusätzliche Kapitalbindung oder möglicherweise auch Ausschuss erzeugt, oder sie werden fertig produziert und binden dadurch notwendige Kapazitäten. Dementsprechend stellt die Durchlaufzeit einen essentiellen Parameter der logistischen Leistungsfähigkeit dar und sollte den Fokus bei der Flexibilisierung der Produktion einnehmen¹⁰⁷. Grundvoraussetzung dafür ist eine starke Kundenorientierung¹⁰⁸. Das Hauptaugenmerk dieser Betrachtungsweise liegt auf dem Umlaufvermögen - nicht auf dem Anlagevermögen. Die Interpretation entspricht dem Prinzip der Synchronisation der Absatzmenge, im Gegensatz zum Prinzip der Emanzipation, bei dem die Produktionsmenge unabhängig von der tatsächlichen Nachfrage durch Lagerhaltung konstant gehalten wird, um eine kontinuierliche Kapazitätsauslastung zu ermöglichen¹⁰⁹. Der hier vorgestellte Ansatz ordnet sich zwar dem Prinzip der Synchronisation unter, ermöglicht aber durch die mittelfristige Fixierung des Produktionsprogramms innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums die Konstanz der Produktionsmenge innerhalb dieses Betrachtungszeitraums.

Das Flexibilitätspotenzial ist die mögliche, aktivierbare Flexibilität, deren tatsächlicher Einsatz allerdings noch nicht erfolgt ist und deren Realisierung über Flexibilisierungsmaßnahmen erfolgt¹¹⁰. Dieses Flexibilitätspotenzial ist nur dann aussagefähig, wenn ihm ein Flexibilitätsbedarf gegenübergestellt wird^{111,112}. Dabei werden Kapazitätsbedarfsverläufe vom Produktionsprogramm vorgegeben und charakterisieren dadurch den Flexibilitätsbedarf. KOBYLKA unterteilt Kapazitätsbedarfsverläufe in ihre Ausprägungen hinsichtlich Konstanz, Verlaufsform der Änderung und Schwankungshäufigkeit und -art. Konstanz unterscheidet sich in konstante und veränderliche Verläufe - konstante Verläufe sind für die Betrachtung flexibler Produktionssysteme irrelevant. Die Verlaufsform kann punktuell oder kontinuierlich abgebildet sein und die Art der Schwankung kann einmalig, mehrmalig, steigend, fallend, hoch- oder niederfrequent sein. Darüber hinaus können Kapazitätsbedarfsverläufe in deterministisch, stochastisch und ungewiss unterteilt werden¹¹³.

Die Ursache für Kapazitätsbedarfsverläufe lassen sich aus Wertstromsicht auf zwei Ebenen des Produktionsprogramms reduzieren; Stückzahlen und Variantenzahlen. Sie sind für die Kapazitätsbedarfe der unterschiedlichen Produktvarianten und deren Ausprägungen verantwortlich. Um die Bedürfnisse der Kunden hinsichtlich Stückzahlschwankungen (quantitativ) und Steigerung von Produktvarianten (qualitativ) gerecht zu werden, spielen in erster Linie diejenigen Flexibilitäten des Wertstroms eine Rolle, die für die Abbildung veränderter Produktionsprogramme verantwortlich sind und quantitative und qualitative Handlungsspielräume beschreiben.

TEMPELMEIER und KUHN definieren die Produktmengenänderungsfähigkeit als Fähigkeit, bei unterschiedlichem Output wirtschaftlich zu produzieren, während die Produktmix-

¹⁰⁷vgl. PAWELLEK 2007, S.33ff.

¹⁰⁸vgl. Kapitel 5.1

¹⁰⁹vgl. ZÄPFEL 2001, S.114

¹¹⁰vgl. KOBYLKA 2000, S.16

¹¹¹vgl. HOCKE UND HEINZL 2006, S.9

¹¹²vgl. NAGEL UND BÜSCHKEN 2003, S.14

¹¹³vgl. KOBYLKA 2000, S.18

änderungsflexibilität die Fähigkeit eines unveränderten Systems beschreibt, Produktvarianten unter Einbeziehung des benötigten Rüstaufwandes zu verändern¹¹⁴. Zur Vorhaltung der beschriebenen Flexibilitätsarten werden häufig Überkapazitäten benötigt. Stückzahl-, Kapazitäts-, Volumen- oder quantitative Flexibilität ist die Anpassungsfähigkeit der Produktion, das Produktionsvolumen auf Änderungen der Nachfragemenge anzugleichen. Erst wenn diese Anpassungen wirtschaftlich möglich sind, ist eine Produktion hinsichtlich ihrer Stückzahlen flexibel¹¹⁵. Dabei gilt es bei einer Erhöhung der Nachfragemenge weiterhin eine hohe Liefertreue zu gewährleisten, während bei Rückgang der Nachfrage eine wirtschaftliche Produktion sichergestellt werden muss¹¹⁶.

2.3.3 Veränderungen und Anpassungen

Die Flexibilität eines Wertstroms ist nur dann erstrebenswert, wenn die Wirtschaftlichkeit der Produktion bei Veränderungen gewährleistet werden kann¹¹⁷. Sinken die nachgefragten Stückzahlen, können Aufwände innerhalb der Produktion nur bedingt dem veränderten Produktionsprogramm angepasst werden, da meist ein großer Anteil aller Produktionskosten nicht oder nur langfristig reduziert werden kann. Dementsprechend sinken die Kosten weniger schnell, als die Erlöse in diesem Fall; dadurch besteht die Gefahr, dass durch das betrachtete Produktionsprogramm kein Gewinn mehr erwirtschaftet werden kann und sogar, dass durch das Produktionsprogramm kein Beitrag zur Deckung der bestehenden Fixkosten geleistet werden kann. Können fixe Kosten dennoch abgebaut werden, verschiebt sich die Gewinnschwelle des Produktionsprogramms und es können auch geringere Mengen noch wirtschaftlich produziert werden. Demnach kann es durchaus sinnvoll sein, beispielsweise in mehrere kleinere Anlagen zu investieren, welche womöglich eine höhere Investitionssumme erfordern, dafür bei einem Nachfragerückgang schneller freigesetzt werden können¹¹⁸ und somit die Kostenremanenz zu verringern.

Sollen anstatt *absoluten* Mengenänderungen des Outputs bezüglich absoluter Mengenänderungen des Inputs *relative* Mengenänderungen betrachtet werden, werden Elastizitäten herangezogen, die die relativen Mengenänderungen zweier Variablen ins Verhältnis setzen (siehe Gleichung 2.1¹¹⁹).

$$\text{Elastizität} = \frac{\text{relative (prozentuale) Veränderung der abhängigen Größe}}{\text{relative (prozentuale) Veränderung der unabhängigen Größe}} \quad (2.1)$$

Die Produktionselastizität drückt aus, "um wie viel Prozent sich die Outputmenge ändert, wenn die Einsatzmenge um einen bestimmten marginalen Prozentsatz variiert wird"¹²⁰. Die Summe aller Produktionselastizitäten (aller Produktionsfaktoren) ist die Skalenelastizität und gibt an, wie sich die Produktion bei einer geringfügigen Veränderung aller Produktionsfaktoren verändert¹²¹. Der Umkehrschluss der Produktionselastizität kann also aussagen, wie

¹¹⁴vgl. TEMPELMEIER UND KUHN 1993, S.21

¹¹⁵vgl. TEMPELMEIER UND KUHN 1993, S.21

¹¹⁶vgl. ROGALSKI 2009, S.62

¹¹⁷vgl. NYHUIS 2008, S.24

¹¹⁸vgl. REICHMANN 1997, S.169 ff.

¹¹⁹vgl. FRANTZKE 2004, S.81

¹²⁰vgl. FANDEL 2005, S.59

¹²¹vgl. FANDEL 2005, S.59

sich die Produktion an einen veränderten Output in Form einer veränderten Kundennachfrage anpassen muss.

Die Kostenelastizität besagt demnach, dass je geringer die Anpassung der abhängigen Kosten bei Veränderung des unabhängigen Produktionsprogramms desto flexibler das System¹²². Das trifft allerdings nur bei Erhöhung der Stück- und Variantenzahlen zu - ein Rückgang der Nachfrage sollte in einem flexiblen Wertstrom einen möglichst hohen Kostenrückgang nach sich ziehen.

Als Reaktion auf die Veränderung im Produktionsprogramm kann der Betrieb durch zeitliche, intensitätsmäßige und quantitative Anpassungen reagieren, was unterschiedliche Kostenveränderungen zur Folge haben kann. Eine zeitliche Anpassung bezieht sich auf die Anpassung der Arbeitszeit durch beispielsweise Kurzarbeit oder Überstunden¹²³ und wirkt sich demnach auf die variablen Kosten aus. Eine intensitätsmäßige Anpassung geht im Gegensatz dazu von gleichbleibenden Kapazitäten und Arbeitszeiten aus, während beispielsweise die Produktionsgeschwindigkeit angepasst wird¹²⁴, was zu erhöhten Energiekosten führen kann. Quantitative Anpassungen beinhalten die Veränderung der Kapazitäten¹²⁵ und sind möglicherweise mit Sachinvestitionen und daraus entstehenden Kosten verbunden. In diesem Ansatz werden quantitative Anpassungen als wesentliche Option behandelt, um die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Produktionsprogramm szenarien aufrecht zu erhalten. Zeitliche Anpassungen in Form von Überstunden fließen außerdem in die Betrachtung ein. Sonstige zeitliche und intensitätsmäßige Anpassungen können jederzeit durch die Veränderung der Eingabedaten¹²⁶ als eigene Szenarien in die Betrachtung aufgenommen werden und entweder quantitativen Anpassungen gegenübergestellt werden oder eigene Kostenverläufe über veränderte Produktionsprogramme abbilden.

Eine Veränderung des Produktionsprogramms innerhalb eines bestehenden Wertstroms kann folgende Veränderung der Kosten nach sich ziehen:

- Veränderung von Stückkosten einzelner Varianten durch die Kostenumverteilung nach Art der gewählten Kostenzurechnung (bei Veränderung der Varianten oder intensitätsmäßiger Anpassung)
- Veränderung der Gesamtkosten durch die Steigung der variablen Kosten (bei Veränderung der Stückzahlen)
- Veränderung der Gesamtkosten durch sprungfixe Kosten (bei Investitionsbedarf)
- Veränderung der Lagerhaltungs- (aus Lagerkosten und Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens), Rüst- und Handlingkosten durch veränderte Losanzahl (bei Anpassungsbedarf der Losgrößen)

2.4 Begriffsabgrenzung

Gemäß der in diesem Kapitel beschriebenen Begrifflichkeiten gestaltet sich die Abgrenzung der Arbeit folgendermaßen; die Theorie der **Wertschöpfung und Verschwendung** teilt

¹²²vgl. SCHNEEWEIß 1996, S.491

¹²³vgl. KÜPPER 1992, S.45ff.

¹²⁴vgl. KÜPPER 1992, S.46

¹²⁵vgl. KÜPPER 1992, S.46

¹²⁶vgl. Kapitel 6.2

sich in qualitative und quantitative Aspekte. Die Wertschöpfung kann dabei als quantitative Größe betrachtet werden, während die Verschwendung auch qualitativ anhand von Potenzialen für die Verschlankung der Produktion erfasst werden kann. In dieser Arbeit sollen diese Stellhebel quantifiziert und monetär bewertbar gemacht werden. Eine qualitative Betrachtung von Verschwendungen in der Produktion, um daraus Verbesserungspotenziale abzuleiten, steht dabei nicht im Vordergrund. Werden Verbesserungspotenziale anhand von monetären Indikationen erkannt, kann deren Umsetzung mit in die Bewertung aufgenommen werden, wenn die zugehörigen Kosten abschätzbar sind.

Der **Wertstrom** ist wesentlicher Bestandteil der **Produktionsstruktur** und dient als wichtiges Instrumentarium der Wertschöpfungsaufgabe. Dabei kann in die Visualisierung der Produktionsabläufe in Form eines Wertstroms, die Analyse des Wertstroms, die Ableitung von Potenzialen aus der Analyse und schließlich in die Optimierung des Wertstroms durch das Wertstromdesign unterschieden werden. Durch die Analyse des Wertstroms und die darin enthaltene Datenaufnahme hinsichtlich Kapazitäten, zeitlichen Aufwänden, Losgrößen etc., welche in dieser Arbeit die Ermittlung der zu bewertenden Situation darstellt, werden Potenziale unvermeidlich sichtbar und dementsprechend als Teil der Analyse aufgenommen. Eine Überführung der Potenziale in einen möglichen Sollzustand steht in dieser Arbeit nicht im Vordergrund. Der Wertstrom stellt die Grundlage für das vorgestellte Modell dar und grenzt die Betrachtung der Produktion eines Unternehmens dahingehend ein, dass jeweils eine Produktfamilie anhand ihrer Produktionsabfolgen zur Betrachtung herangezogen wird. Die Visualisierung der Produktfamilie anhand des Wertstroms ermöglicht eine systematische Datenerhebung und die Darstellung von Zusammenhängen und möglichen Wechselwirkungen.

Engpässe werden in diesem Zusammenhang kapazitätsrelevant betrachtet. Dabei können Produktionsprozesse und Personal zeitlich begrenzte Kapazitäten aufweisen, Puffer und Lager flächenmäßig begrenzte Kapazitäten, und es kann eine gesamte zeitliche Begrenzung für die Produktion festgelegt sein. Es kann auch eine Gesamtbegrenzung für die Fläche der Produktion bestehen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Prioritäten auf den Produktionsprozessen liegen und im Zweifelsfall die Puffer- und Lagerflächen zugunsten von Produktionsflächen begrenzt werden. Die Beschaffungsseite wird von der Betrachtung ausgeschlossen, da eine Begrenzung von Rohstoffen unabhängig von Produktionsstruktur oder Produktionsprogramm verläuft und damit das Angebot generell einschränkt. Ist das der Fall wird die maximal produzierbare Menge als notwendiger Output und als gegebenes Produktionsprogramm eingesetzt. Die Betrachtung von Nachfrageänderungen würde dadurch allerdings an Gewicht verlieren.

Die Betrachtung der **Wirtschaftlichkeit** stellt eine wichtige Anforderung an das Vorgehen dar. Dabei ist die Gegenüberstellung von Input und Output wesentlich. Da in einer kundenorientierten Betrachtung der Produktion ausschließlich der Markt das Produktionsprogramm mit zugehörigen Mengen und Varianten limitiert, kann dafür das Maximalprinzip nur dann angewendet werden, wenn die Nachfrage die Kapazitäten der Produktion übersteigt und jedes zusätzlich produzierte Produkt am Markt abgesetzt werden kann. Der vorgestellte Ansatz geht davon aus, dass das Unternehmen die Befriedigung der Nachfrage anstrebt und dafür Kapazitäten zur Verfügung stellt. Das Minimalprinzip, bei dem ein festgelegter Output mit einem minimal möglichen Input angestrebt wird, findet in diesem Ansatz Anwendung. Da das Produktionsprogramm allerdings für die Betrachtung von Zukunftsszenarien verändert wird, wird auch das Maximalprinzip in diesem Ansatz zeitweise berücksichtigt. Dabei werden

die für die jeweiligen Varianten am Markt erzielbaren Preise als gegeben angesehen; die zugehörigen Erlösfunktionen zu den betrachteten Produktionsprogrammen sind demnach für die Betrachtung festgelegt. Die Finanzierungsmöglichkeiten des Unternehmens werden in diesem Ansatz nicht betrachtet; Kosten für Kapital müssen vorgegeben werden.

Die **Kosten** des Betriebs sind maßgeblich für die Betrachtung, da sie auf Ebene der Kostenrechnung bestehen und die Bestandsgröße des betriebsnotwendigen Vermögens adressieren. Auszahlungen beschreiben lediglich die pagatorischen Zahlungsströme des Unternehmens. Kalkulatorische Kosten und Opportunitätskosten werden für diesen Ansatz allerdings benötigt, um Kosten für Abschreibungen, Zinsen und Kapitalbindung betrachten zu können. Ausgaben beschreiben das gesamte Geldvermögen und ziehen damit die Veränderungen von Forderungen und Verbindlichkeiten mit in ihre Betrachtung ein. Finanzwirtschaftliche Vorgänge des Unternehmens sind für den hier vorgestellten Ansatz jedoch nicht relevant.

Aus diesem Grund können lediglich **Sachinvestitionen** für diesen Ansatz relevant sein. Investitionen verursachen die Bindung von Kapital, welches über mehrere Perioden abgeschrieben wird. Die Zinsen, die für das Kapital anfallen, müssen den relevanten Kosten hinzugerechnet werden.

Das Hauptaugenmerk des Modells liegt auf der Veränderung von Kosten bei der Anpassung des **Produktionsprogramms** und der Produktionsstrukturen (Wertströmen). Das Produktionsprogramm besteht dabei aus unterschiedlichen Varianten und den zugehörigen Stückzahlen. Unterschiedliche Varianten beanspruchen unterschiedliche Bearbeitungszeiten, Rüst-, Handlingzeiten oder produzierte Losgrößen.

Die **Flexibilität** der Produktion wird durch die Anpassungsfähigkeit der gegebenen Kapazitäten und gegebenen Erweiterungsoptionen auf die Veränderungen im Produktionsprogramm und die Veränderung der zugehörigen Kosten bestimmt. Dabei sind die Kostenänderungen bei veränderten Eingangsgrößen von Relevanz. Die Erweiterungsoptionen, also der Handlungsspielraum, wird dabei hinsichtlich der zugehörigen Kostenverläufe bewertet. Dadurch werden auch Kapazitätsanpassungen bei veränderter Kapazitätsnachfrage betrachtet und auf ihre Auswirkungen auf die Nachfrage überprüft. Die Erweiterungsoptionen werden dabei nicht näher spezifiziert, lediglich die Merkmale hinsichtlich Kapazitäten und Zeiten sind relevant. Die Flexibilität der Mitarbeiter hinsichtlich ihrer Arbeitszeiten fließt zwar indirekt in die Kapazitäten des Personals mit ein, spielt aber keine entscheidende Rolle innerhalb des Vorgehens. Kurzfristige Schwankungen innerhalb der Produktion, die eine hohe Mitarbeiterflexibilität voraussetzen, fließen durch die mittelfristige Betrachtung und der Jahresproduktionsmenge, die auf einzelne Tage durchschnittlich verteilt wird, nicht in die Bewertung ein. Die Qualifikation der Mitarbeiter spielt nur dann eine Rolle, wenn Mitarbeiter beliebig innerhalb einer Schicht auf mehrere Prozesse und Tätigkeiten verteilt werden können, so dass Kapazitätsverschiebungen abgefangen werden. Die Schnelligkeit, mit der neue Kapazitäten beschafft oder freigesetzt werden können, ist dahingehend relevant, ob zusätzliche Kosten für das gesamte Jahr berücksichtigt werden können oder müssen, oder ob sie lediglich anteilig berechnet werden; die Handlungsschnelligkeit als Bewertungsgröße für die Flexibilität ist nicht vorgesehen. Das gleiche gilt für die Handlungsbereitschaft.

Die **Veränderungen und Anpassungen** beschreiben in diesem Ansatz die mengenmäßige Veränderung der Kosten bei verändertem Produktionsprogramm (Kostenelastizität). Die Elastizität der Produktion wird dabei indirekt berücksichtigt, indem mögliche notwendige Kapazitätsanpassungen in die Bewertung einfließen und wiederum Auswirkungen auf die zugehörigen Kosten haben. Anpassungen erfolgen in erster Linie quantitativ und zeitlich durch

mögliche Überstunden; sonstige zeitliche und intensitätsmäßige Anpassungen können durch veränderte Eingabewerte abgebildet werden.

Den Begriffen **Wertstrom**, **Kosten** und **Kostenentwicklung** kommt in dieser Arbeit eine besondere Bedeutung zu, da sie die Grundlage des Modells bilden. Dafür müssen zusätzliche Abgrenzungen vorgenommen werden, die den Betrachtungsraum eingrenzen und eine gezielte Anwendung des Vorgehens ermöglichen.

Der vorgestellte Ansatz bezieht sich auf den Material- und Informationsfluss von Wertströmen; administrative Wertströme und Wertströme der Prozessindustrie unterliegen anderen Rahmenbedingungen und benötigen dementsprechend unterschiedliche Vorgehensweisen. Einzelkosten werden vollständig betrachtet, während Gemeinkosten lediglich dann verursachungsgerecht berechnet werden, wenn das in einem angemessenen Aufwand möglich ist. Die restlichen Gemeinkosten werden aufgrund der gemäß der Zuschlagskalkulation anteilmäßig über die Produkte verteilt. Die Kostenentwicklung beschreibt sowohl die Veränderung der Gesamtkosten, als auch der Stückkosten einzelner Varianten. Dabei kann nicht auf Vergangenheitswerte zurückgegriffen werden. Dementsprechend wird die Kostenentwicklung auf Plankostenebene abgebildet.

Tabelle 2.1 veranschaulicht zusammenfassend die in diesem Ansatz betrachteten, teilweise betrachteten oder nicht betrachteten Aspekte anhand der beschriebenen Begrifflichkeiten.

Begriffe	Ausprägungen				
Wertschöpfung & Verschwendung	Qualitativ			Quantitativ	
Produktionsstruktur & Wertstrom	Visualisierung	Analyse	Potenziale	Optimierung/ Design	
Engpass	Kapazitäten Produktion	Fläche	Material	Zeit	
Wirtschaftlichkeit	Maximalprinzip	Minimalprinzip	Kosten	Erlöse	
Zahlungsvorgänge	Auszahlung	Ausgabe	Aufwand	Kosten	
Investition	Sachinvestitionen		Immaterielle Investitionen	Finanzinvestition	
Produktionsprogramm	Stückzahlen	Produktvarianten	gesamtes Unternehmen	Produktfamilie	
Flexibilität	Handlungsspielraum		Handlungsschnelligkeit	Handlungsbereitschaft	
Veränderungen & Anpassungen	absolute Veränderung	relative Veränderung	zeitliche Anpassungen	intensitätsm. Anpassungen	Quantitative Anpassungen
Wertstrom	Material- und Informationsfluss			Administrative Wertströme	
Kosten	fixe Kosten	variable Kosten	Einzelkosten	Gemeinkosten	
Kostenentwicklung	Gesamtkosten	Stückkosten	Istkosten	Plankosten	Sollkosten

betrachtet
 teilweise betrachtet
 nicht betrachtet

Tabelle 2.1: Abgrenzung der beschriebenen Begrifflichkeiten

2.5 Abgrenzung der Arbeit

Die Arbeit lässt sich der strategischen Handlungsebene zuordnen und von den weiteren Handlungsebenen (normativ und operativ)^{127,128} abgrenzen, da es sich nicht auf eine bestimmte zeitliche Entwicklung in der Produktion bezieht, sondern vielmehr die monetäre Entwicklung bei bestimmten Szenarien in den Vordergrund stellt, unabhängig von deren Eintrittszeitpunkt. Auf dieser Basis können grundlegende Entscheidungen auf die Produktionsausrichtung nach wirtschaftlichen und flexiblen Gesichtspunkten unterstützt werden und betreffen die unternehmerischen Erfolgspotenziale durch den Einsatz von Ressourcen^{129,130}. Diese Entscheidungen haben eine mittel- bis langfristige Ausrichtung und sind an den Erfordernissen des Marktes orientiert¹³¹. Im Vergleich zum operativen Management bleibt das Tagesgeschäft¹³² unberücksichtigt, dementsprechend handelt es sich um keine kontinuierliche Methode, sondern ist für den diskreten Einsatz geeignet. Die normative Handlungsebene beinhaltet die grundlegenden Ziele des Unternehmens, die Prinzipien- und Normenbildung¹³³, und ist dementsprechend nicht Fokus des Ansatzes.

Zielsetzung des Modells ist die Analyse und monetäre Bewertung eines Wertstromes hinsichtlich möglicher zukünftiger Szenarien. Dabei wird keine Optimierung angestrebt, das heißt keine Zielfunktionen hinterlegt. Die Interpretation der Ergebnisse und die Ableitung von Handlungsalternativen ist Teil der zugehörigen Vorgehensweise, beinhaltet allerdings keine Vorgaben und Richtlinien. Eine Wertung der Ergebnisse findet ebenfalls nicht statt. Ob die ermittelten Kosten der unterschiedlichen Szenarien absolut gesehen angemessen sind oder nicht, oder ob der betrachtete Wertstrom hinsichtlich der Wertstromprinzipien verbessert werden sollte, muss im Rahmen von zusätzlichen Planungsprojekten betrachtet werden; der hier vorgestellte Ansatz beschränkt sich auf die Berechnung dieser Kosten und deren relative Abbildung zu unterschiedlichen Szenarien.

Die Entwicklung der Kosten bezieht sich auf die monetäre Veränderung der Kosten bei Veränderung der Eingabewerte. Die Länge der Zeitspanne, in der die Kosten aufgenommen werden, spielt demnach eine untergeordnete Rolle, da nicht die Höhe der Gesamtkosten als Ergebnis relevant ist, sondern vielmehr das Verhältnis dieser Kosten im Vergleich zu den Kosten unterschiedlicher Szenarien. In diesem Ansatz wird als Basis die Zeitspanne von einem Jahr angesetzt, um Berechnungen für Zinsen und Abschreibungen zu vereinfachen. Eine geringere Zeitspanne ist allerdings durchaus möglich, wenn die Schwankungen im Unternehmen nicht über ein Jahr ausreichend gering sind.

Angesprochen wird durch das Modell ein Produktionsbereich, der anhand des Wertstroms abgebildet wird. Dabei wird eine Produktgruppe in Form der zugehörigen Produktfamilie betrachtet, wobei die darin enthaltenen Einzelprodukte durch deren produktionsrelevanten

¹²⁷vgl. SCHUH UND KAMPKER 2011, S.6ff.

¹²⁸vgl. ZAHN UND SCHMID 1996, S.144ff.

¹²⁹vgl. SCHUH UND KAMPKER 2011, S.8

¹³⁰vgl. ZAHN UND SCHMID 1996, S.144ff.

¹³¹vgl. KOCH 2011, S.21

¹³²vgl. SCHUH UND KAMPKER 2011, S.6

¹³³vgl. ZAHN UND SCHMID 1996, S.144

Ausprägungen wie Bearbeitungs-, Rüstzeiten und Losgrößen in das Modell einfließen. Das Modell ist dabei besonders für Wertströme innerhalb von Kleinserien- und Sortenfertigern geeignet, da der Betrachtung von Varianten und zugehörigen Rüst- und Handlingaufwänden eine besondere Bedeutung zukommt und ein Flexibilitätsbedarf und der damit verbundene Bedarf an geringen Losgrößen unterstellt wird. Dementsprechend ist der Modelleinsatz für Stückgutfertiger vorgesehen.

Abbildung 2.2 zeigt die Einordnung der Arbeit.

Einordnung	Betrachtungsraum					
	Handlungsebenen	normativ		strategisch		operativ
Zielsetzung	Analyse		Bewertung		Optimierung	
Einsatz	diskret			kontinuierlich		
Entwicklungsebene	zeitlich			monetär		
Produktebene	Produktportfolio	Produktgruppe	Einzelprodukt	Teilegruppe	Einzelteil	Teilelement
Fertigungstyp	Einzelfertigung	Sortenfertigung	Kleinserienfertigung	Großserienfertigung	Massenfertigung	
Branchen	Prozessindustrie			Stückgutfertiger		

betrachtet
 teilweise betrachtet
 nicht betrachtet

Tabelle 2.2: Abgrenzung der Arbeit

Betrachtet werden kann dabei der Wertstrom innerhalb eines Betriebs anhand einer abgrenzbaren Produktfamilie, die die benötigten Kapazitäten hauptsächlich an dafür reservierten Ressourcen nutzt. Dementsprechend wäre der Einsatz des beschriebenen Modells für klassische Werkstattfertiger mit einem hohen Aufwand verbunden und daher eher ungeeignet.

Der Einsatz des Modells eignet sich für die Untersuchung eines abgeschlossenen Wertstroms auf zukünftige Entwicklungen hinsichtlich der damit verbundenen Kosten. Dabei sollte über die Berechnungsbasis (z.B. ein Jahr) eine großteils gleichmäßig verteilte Nachfrage vorausgesetzt werden können. Vor allem bei hochwertigen Materialien und damit hoher Kapitalbindung, hohen Rüst- und Handlingaufwände lohnt sich der Aufwand des vorgestellten Modells, da die Kostenentwicklungen von diesen Größen maßgeblich beeinflusst werden.

Die benötigten Zeiten für Bearbeitung, Rüsten und Handling können für die unterschiedlichen Varianten variieren; innerhalb einer Variante werden diese Zeiten als Durchschnittszeiten vorausgesetzt. Das Modell unterstellt außerdem die Gleich- und Regelmäßigkeit der Abrufe durch den Kunden, wobei in erster Linie von Einzelproduktbestellungen ausgegangen wird. Werden bereits Losgrößen vom Kunden nachgefragt, muss die Berechnung der Losgrößen diese Menge berücksichtigen und dementsprechend nur Vielfache der Bestellosgröße als Produktionslosgröße zulassen.

Betrachtet werden die Gesamtkosten des Wertstroms - eine Stückkostenermittlung findet parallel statt, eine darauf aufbauende Preisermittlung ist nicht Inhalt des Ansatzes.

3 Stand der Wissenschaft

Die Verbesserung und Standardisierung von Lean Ansätzen und deren Auswirkung auf das Unternehmen ist Bestandteil zahlreicher wissenschaftlicher Ansätze¹³⁴. Dabei wird nach neuen Optimierungs- und Bewertungsmethoden¹³⁵, neuen Anwendungsfeldern¹³⁶ und verbesserten Anwendungen¹³⁷ geforscht.

Viele Unternehmen nutzen Standardkostenrechnungsverfahren¹³⁸, trotz der zahlreichen veränderten Anforderungen¹³⁹. Dennoch hat die Bewertung von Leistung und Produktivität an Bedeutung zugenommen¹⁴⁰, da Produktionsstrategien und damit verbundene Verbesserungen (wie beispielsweise Durchlaufzeitreduzierung) nicht direkt mit finanziellen Bewertungsmaßstäben verbunden werden können¹⁴¹. Während die Betrachtung von Lebenszyklen von der Beschaffung bis zur Entsorgung von Investitionen schon einen hohen Stellenwert einnimmt¹⁴², wird die Betrachtung von Gesamtsystemen vernachlässigt¹⁴³.

Flexibilität und Agilität werden wissenschaftlich eingehend betrachtet, dabei wird der direkte Zusammenhang zur zeitbasierten Wettbewerbsfähigkeit hergestellt¹⁴⁴. Dabei steht die Implementierung flexibler Strukturen im Fokus der Betrachtungen¹⁴⁵ und deren Ausweitung auf die gesamte Supply Chain¹⁴⁶. Dabei werden die qualitativen Auswirkungen auf die Leistung des Unternehmens¹⁴⁷ vor allem anhand von best-practice Lösungen ermittelt¹⁴⁸.

Bestehende Ansätze, die in Bezug auf die beschriebene Problemstellung relevant erscheinen, lassen sich in 3 Kategorien unterscheiden. Zuerst werden mögliche Ansätze, die sich zur Bewertung von Wertströmen herangezogen werden können, erläutert. Um den gesamten Produktionsverlauf abzubilden, haben sich Ansätze entwickelt, die die Verknüpfung einzelner Prozesse betrachten. Zielkriterien wie Flexibilität und Zeit werden zu diesen Bewertungsansätzen herangezogen ohne dabei notwendigerweise eine monetäre Bewertung anzustreben.

Darüber hinaus werden Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung beschrieben, die die monetäre Bewertung von gegebenen Bewertungsobjekten abbilden und auf dem Prinzip der Wirtschaftlichkeit aufgebaut sind¹⁴⁹. Investitionen in einen potenziellen Engpass im Wertstrom verändern die Kapazitäten im Wertstrom und wirken sich auf die Fixkosten des

¹³⁴vgl. KUHLANG ET AL. 2013, S.2ff.

¹³⁵vgl. bspw. KARIM UND ARIF-UZ-ZAMAN 2012, S.1ff. und BASNET 2012, S.1ff.

¹³⁶vgl. bspw. XIE UND PENG 2012, S.585ff. und HINES ET AL. 1999, S.60ff.

¹³⁷vgl. bspw. SERRANO LASA ET AL. 2008, S.39ff., CHAUHAN UND SINGH 2012, S.57ff. und MOYANO FUENTES UND SCRISTÁN DÍAZ 2012, S.551ff.

¹³⁸vgl. ZOYSA UND KANTHI HERATH 2007, S.271ff.

¹³⁹vgl. VAMOSI 2003, S.194ff.

¹⁴⁰vgl. bspw. GUPTA UND GUNASEKARAN 2005, S.337ff. und GOSSELIN 2005, S.419ff.

¹⁴¹vgl. TANGEN 2004, S.726ff.

¹⁴²vgl. bspw. ELLRAM 1995, S.4ff.

¹⁴³vgl. TANGEN 2004, S.727

¹⁴⁴vgl. bspw. KUMAR UND MOTWANI 1995, S.36

¹⁴⁵vgl. bspw. ENGELHARDT-NOWITZKI 2012, S.318ff., PUTNIK UND PUTNIK 2012, S.248ff. und SANTOS BERNARDES UND HANNA 2009, S.30ff.

¹⁴⁶vgl. bspw. YI 2011, S.271ff. und CORONADO UND ANDREW 2007, S.572ff.

¹⁴⁷vgl. bspw. CAMISÓN UND VILLAR LÓPEZ 2010, S.853ff. und NISHAT FAISAL ET AL. 2006, S.878ff.

¹⁴⁸vgl. bspw. PETRONI UND BEVILACQUA 2002, S.929ff. und BOYLE UND SCHERRER-RATHJE 2009, S.348ff.

¹⁴⁹vgl. Kapitel 2.2.1

Betriebs aus. Dementsprechend werden auch Investitionsrechenverfahren betrachtet. Die beschriebenen Verfahren zur Bewertung haben meist ein bestimmtes Bewertungsobjekt innerhalb der gesamten Prozesskette und berechnen die Wirtschaftlichkeit des Objektes hinsichtlich eines bestimmten Szenarios.

Außerdem haben sich Ansätze entwickelt, die sich in erster Linie mit der Bewertung von Flexibilität beschäftigen und im Folgenden auf ihre Eignung zur Abbildung der Kostenentwicklung untersucht werden. Sie beziehen sich dabei häufig auf Fertigungssysteme und konzentrieren sich vor allem auf die Flexibilität von Prozessen, unterschiedliche Produkte in unterschiedlichen Mengen zu produzieren.

Im Folgenden werden demnach ausgewählte relevante Ansätze der unterschiedlichen Kategorien beschrieben:

- Ansätze zur Bewertung von Wertströmen
- Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung
- Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung

Tabelle 3.1 zeigt die betrachteten Ansätze innerhalb der beschriebenen Kategorien.

Ansätze zur Bewertung von Wertströmen	Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung
Aldinger	Kostenrechnungsverfahren	Opitz
Kaumanns		Möller
Guo	Prozessorientierte Kostenrechnungssysteme	Rogalski
Tillmann		Reuter
Kramer		Böttcher
Kerner		Kobylka
Weber	statische Investitionsrechnung	Sesterhenn
Haage	dynamische Investitionsrechnung	Lanza
Cisek		Heger
Osten-Sacken	Verfahren unter Unsicherheit	Schauerhuber
Briel		Damisch
		Liedtke
		Müller

Tabelle 3.1: Betrachtete Ansätze

3.1 Ansätze zur Bewertung von Wertströmen

ALDINGER beschreibt ein Verfahren zur Ermöglichung einer szenariobasierten Prognose von Veränderungen der Produktionsleistung in einem langfristig-strategischen Zeithorizont¹⁵⁰. Er bezieht die Leistungsstruktur der produktionsnahen indirekten Bereiche in seine Betrachtung

¹⁵⁰vgl. ALDINGER 2009, S.5

mit ein und stellt sie der Forderung der Produktionsleistung gegenüber¹⁵¹. Leistung versteht er dabei als Arbeitseinsatz in einem bestimmten Zeitraum, ergänzt das um eine ergebnis- und wertmäßige Betrachtung und stellt die Leistung den entstandenen Kosten gegenüber¹⁵². Die Fabrikleistungsplanung wird dahingehend von der Fabrikplanung abgegrenzt, als dass sie sich auf einen wesentlich engeren Rahmen bezieht als die Fabrikplanung, die sämtliche Aktivitäten innerhalb eines Unternehmens umfassen kann, und kann mit einer kontinuierlichen Planung von Strukturen eingesetzter Technologien und Betriebsmitteln, zugehöriger Kapazitäten und den für die Produktion benötigten Stundenaufwands gleichgesetzt werden¹⁵³. ALDINGER fokussiert dabei auf automatisierte Montage- und Fertigungsbereiche über einen langfristigen Zeitraum von 10 Jahren. Die benötigte Flexibilität hält er dabei konstant¹⁵⁴, das bedeutet, sie muss vom Unternehmen oder vom Planer festgelegt werden. In dem beschriebenen Vorgehen werden die unterschiedlichen Prozessschritte berücksichtigt, die zugehörigen Bestandsverhalten sind allerdings kein Betrachtungsgegenstand. Der hohe Bedarf an Daten für den Ist- und Soll-Zustand beinhaltet die benötigte Kostenstruktur.

Die Ermittlung der Kosten und deren Veränderlichkeit anhand konkreter Variablen erfolgt nicht, auch wenn die Kostenverläufe abgebildet werden. Ein Resümee der betrachteten Planungsfälle fällt bereits nach der Betrachtung der zugehörigen Fixkosten¹⁵⁵ und vernachlässigt demnach mögliche notwendige Anpassungen variabler Kostenaspekte.

KAUMANNNS konfiguriert ein Prozesskennzahlensystem für den mittelständischen Maschinenbau ausgehend von 5 bestehenden Problemstellungen¹⁵⁶:

1. Mangelnde Verknüpfung strategischer Führungsgrößen mit der Geschäftsprozessebene.
2. Gestaltung der operativen Prozessebene nicht bezüglich langfristiger unternehmerischer Erfordernisse.
3. Aufwendige Implementierung bestehender Systeme; fehlende übertragbare bewährte Ansätze.
4. Fehlende Vorgehensweisen, um Kennzahlensysteme flexibel an Veränderungen des Unternehmens anzupassen.

Dabei bildet er die ermittelten Prozessekennzahlen ab und stellt deren qualitativen Zusammenhänge her, leitet diese allerdings nicht mathematisch ab.

Die Betrachtung von Geschäftsprozessen ermöglicht eine umfassende Abbildung der Unternehmensvorgänge; der Produktionsablauf, dessen Verknüpfungen, zugehörige Bestandsverläufe und die Abhängigkeit der zugehörigen Kosten stehen dabei nicht im Fokus. Veränderungen des Produktionsprogramms oder der Produktionsstruktur können demnach nicht in Kennzahlenverläufen abgebildet werden.

Die Optimierung von Wertschöpfungsprozessen und deren Abbildung in einem Kennzahlensystem ist Ziel des Ansatzes von GUO, die unternehmerische Abläufe und Prozesse effektiv

¹⁵¹vgl. ALDINGER 2009, S.26

¹⁵²vgl. ALDINGER 2009, S.27

¹⁵³vgl. ALDINGER 2009, S.33

¹⁵⁴vgl. ALDINGER 2009, S.95

¹⁵⁵vgl. ALDINGER 2009, S.119ff.

¹⁵⁶vgl. KAUMANNNS 2004, S.19ff.

zu modellieren versucht, um sie anschließend zielgerichtet verbessern zu können. Sie bildet die für die Unterstützung der Definition und Beurteilung von Prozessen notwendigen Prozesskennzahlen und entwickelt darauf aufbauend verschiedene Ansätze zur Optimierung der Prozesse¹⁵⁷.

Die Veränderlichkeit der Prozesskennzahlen durch Anpassungen in Produktionsprogramm und -struktur ist dabei nicht Teil des Ansatzes.

TILLMANN verfolgt die innovative Prozesskettenbewertung anhand der methodischen, innovationsorientierten Gestaltung von Fertigungsprozessketten hinsichtlich Qualität, Zeit und Kosten mit dem effizienten Einsatz der verfügbaren Ressourcen¹⁵⁸. Er orientiert sich dabei am erfassten und bewerteten Ausgangszustand und dem leistungsbeschränkten Engpass der Prozesskette. Dem Anwender werden dafür verschiedene QM(Qualitätsmanagement)-Werkzeuge wie TRIZ (Theorie zur erfinderischen Problemlösung), Six Sigma etc. zur Verfügung gestellt. Die Bewertung findet dabei vor allem qualitativ und nicht quantitativ statt und der Fokus liegt auf der Optimierung anhand von innovativen Lösungen. Die Bewertung von Veränderungen der Ausgangssituation ist nicht Zielsetzungen des Ansatzes.

Im Gegensatz dazu sieht KRAMER die Notwendigkeit von Beschaffung und Produktion zunehmend flexibel auf Schwankungen im Bedarf zu reagieren. Er entwickelt eine Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette im Mittelstand und geht dabei auf den gesteigerten Koordinationsbedarf zwischen den in der Wertschöpfungskette vorgelagerten Aktivitäten und dem Absatz ein, mit einer zielorientierten und unternehmensindividuellen Vorgehensweise zur Gesamtoptimierung der Wertschöpfungskette bei gleichzeitiger Unterstützung der Unternehmensführungscoordination. Anhand von Kennzahlen wird der Ausgangszustand abgebildet und aus Benchmarks ein Sollzustand abgeleitet¹⁵⁹. Die Bewertung erfolgt dabei anhand einer monatlichen Überprüfung jährlicher Sollwerte¹⁶⁰.

Die Zusammenhänge der Produktionsobjekte und deren Auswirkungen auf die Kosten des Wertstroms sind nicht Ziel des Vorgehens.

KERNER entwickelt ausgehend von der These, dass Investitionsalternativen aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht beurteilt und dafür die Wirkzusammenhänge zwischen den beiden Sichten aufgezeigt werden müssen, eine Methode, die innerhalb der Planungsphase für Prozessketten die aus einer bestimmten Prozessstruktur abgeleiteten Kosten der maximal erreichbaren Prozessleistung gegenüberstellt. Die Kosten werden dabei sowohl als verursachungsgerechte Zuordnung von Kostenarten der direkten Einzelkosten der Wertschöpfung aus Kostenstellen zu einzelnen Objekten erfasst, als auch durch traditionelle Gemeinkostenrechnung hinsichtlich Kosten der Produktionsleistung verteilt¹⁶¹. Dabei wird zunächst auf Basis der Logistikprozesse Produzieren, Transportieren und Lagern ein Grundmodell gebildet. Anschließend werden Kenngrößen festgelegt, um die Leistungsfähigkeit der Logistik beschreiben zu können. Grundlage sind Logistik- und Kostenwirkmodelle der einzelnen Prozesselemente der Prozesskette, welche Wirkzusammenhänge aufzeigen und eine transparente

¹⁵⁷vgl. GUO 2008, S.74ff.

¹⁵⁸vgl. TILLMANN 2009, S.4ff.

¹⁵⁹vgl. KRAMER 2002, S.4ff.

¹⁶⁰vgl. KRAMER 2002, S.136

¹⁶¹vgl. KERNER 2002, S.49

Entscheidungsunterstützung ermöglichen. Gleichzeitig wurde ein Modell entworfen, mit dem die anfallenden Bestands- und Prozesskosten abgebildet werden können. Durch Zusammenführung der Kosten- und der Logistikkennlinien können anschließend Prozess- und Bestandskosten in Abhängigkeit des Bestandes dargestellt werden. In dem von KERNER entwickelten Verfahren kann der gesamte Wertstrom und die zugehörigen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wertstromobjekten abgebildet werden, was teilweise auf den hier zu entwickelnden Ansatz übertragen werden kann. Verändert sich die Produktionsstruktur kann demnach die induzierte Veränderung der Kostenstruktur ermittelt werden.

Eine zusätzliche Veränderung des Produktionsprogramms und die dadurch veränderten Anforderungen an die Wertstromressourcen werden nicht fokussiert, da die Kosten zwar in Abhängigkeit der Produktionsstruktur gesetzt werden, allerdings nicht in Abhängigkeit des Produktionsprogramms.

WEBER misst die Effizienz der Logistik durch ein ganzheitliches Kennzahlensystem für die Logistik und verweist auf die Effizienzbetrachtung durch in der Logistik verursachte Kosten. Neben kundenorientierten Werten betrachtet er Produktions- und Logistikkennzahlen. Das Kennzahlensystem umfasst leistungs-, service- und durchlaufzeitbezogene Teilwerte und einen Logistikkostenwert¹⁶². Diese werden durch eine Nutzwertanalyse zu einem Logistikeffizienzwert aggregiert.

Die mathematische Abhängigkeit der Kennzahlen zu unterschiedlichen Produktionsprogrammen und -strukturen ist nicht Kern der Betrachtung.

Fokus der Methode von HAAGE zum Time Based Performance Measurement in der Logistik ist die Ermittlung von Zeitverbrauchstreibern von Wertschöpfungsprozessen. Die Methode beinhaltet die Betrachtung der Prozessoptimierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette durch Prozessinput, Prozessthroughput und Prozessoutput als ökonomische Werte und der Zeit als Kriterium einer neuen Bewertungssicht¹⁶³.

Der mathematische Zusammenhang der ökonomischen Werte steht dabei nicht im Mittelpunkt, ebenso wenig wie die Auswirkungen von Produktionsprogramm- und -strukturen auf die ermittelten Kosten.

CISEKs Methode zur Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen unterstützt die Identifikation von Verbesserungspotenzialen innerhalb einer Produktionsstruktur und berücksichtigt bei der Optimierung mögliche Produktionsprogrammentwicklungen. Der Nutzen des Anwenders liegt in der Unterstützung bei der computergestützten Layoutplanung unter Berücksichtigung der Korrelation von Produktionssteuerung und Fabrikplanung und von Kapazitätsschwankungen¹⁶⁴. Die Methodik besteht dabei aus drei Modulen¹⁶⁵:

- Monitoring
- Planung
- Bewertung

¹⁶²vgl. WEBER 2002, S.231ff.

¹⁶³vgl. HAAGE 2003, S.111ff.

¹⁶⁴vgl. CISEK 2005, S.9

¹⁶⁵vgl. CISEK 2005, S.56ff.

Das Monitoringmodul ermittelt den Optimierungsbedarf und den Zusammenhang zwischen Produktionsprogramm und Produktionseffizienz durch die gleichzeitige Bewertung von Produktionseffizienz durch Kennzahlen und stetiger Überwachung des Fertigungsprogramms. Das Planungsmodul entwirft eine verbesserte Produktionsstruktur und deren Umsetzung, wobei zunächst der Ressourcenbedarf in Relation zum Produktionsprogramm gesetzt wird und durch Rechnerunterstützung unterschiedliche Layoutvarianten hinsichtlich der Kapazitätsanpassung erstellt werden. Unter Beachtung gegebener räumlicher und kapazitiver Restriktionen wird das Layout in die Sollstruktur integriert, welche vom Bewertungsmodul durch die Darstellung von Kostenveränderungen unter Beachtung der genannten Restriktionen bei verschiedenen Kapazitätsstrukturen ermittelt wird¹⁶⁶. Ziel ist es demnach, das Kapazitätsangebot in Abhängigkeit der Produktionsprogrammplanung und damit die Fixkostenstruktur der Produktion zu optimieren. Es wird in leistungs- und kostenorientierte Kennzahlen unterschieden. Optimierungsmaßnahmen können anhand der Kapitalwertmethode durch resultierende Einsparungen und Auszahlungen bewertet werden.

Die Abhängigkeiten der Kosten vom zugehörigen Produktionsprogramm werden nicht eingehender beschrieben, obwohl durch Korrelationsanalysen der Effizienzabweichungen zu Stückzahlentwicklungen marktbedingte Trends von kurzfristigen Leistungsschwankungen unterschieden werden können¹⁶⁷.

Das lebenslaforientierte Verfahren von VON DER OSTEN-SACKEN strebt die ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen an. Dafür wird eine Lebenslaufferfolgsrechnung unter Berücksichtigung technischer und organisatorischer Parameter entwickelt¹⁶⁸ und anschließend die Wertveränderung sowie sämtliche Aufwendungen und Erträge der einzelnen Lebenslaufphasen ermittelt¹⁶⁹. Dafür werden maschinenabhängige und -unabhängige Kennziffern zur Erfassung und Verrechnung von Aufwendungen und Erträgen beschrieben und daraus ein Vorgehen zur Zuordnung und Verrechnung von Aufwendungen und Erträgen entlang des Lebenslaufs abgeleitet. Abschließend wird die Lebenslaufferfolgsrechnung in finanzwirtschaftliche Prozesse integriert¹⁷⁰.

Die Betrachtung von Flexibilität in Form von veränderten Produktionsprogrammen oder -strukturen spielt dabei keine wesentliche Rolle, dafür gibt VON DER OSTEN-SACKEN einen umfassenden Überblick über sämtliche im Lebenszyklus anfallenden Kosten, die für die vollständige Ermittlung von Kosten entlang des Wertstroms herangezogen werden sollten.

Das skalierbare Bewertungsmodell von VON BRIEL ermittelt die Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in ergebnisverantwortlichen Fertigungssystemen. Sie unterstützt die Wirtschaftlichkeitsbewertung für Produktionssysteme unter Einbeziehung periodischer Zielvorgaben¹⁷¹. Das Verfahren besteht aus drei Einzelmodellen¹⁷²:

- Grundmodell
- Phasenspezifisches Modell

¹⁶⁶vgl. CISEK 2005, S.56ff.

¹⁶⁷vgl. CISEK 2005, S.131

¹⁶⁸vgl. OSTEN-SACKEN 1999, S.20

¹⁶⁹vgl. OSTEN-SACKEN 1999, S.99

¹⁷⁰vgl. OSTEN-SACKEN 1999, S.21

¹⁷¹vgl. BRIEL 2002, S.172

¹⁷²vgl. BRIEL 2002, S.70

-
- Bewertungsrahmen

Das Grundmodell bildet das ökonomische Leistungspotenzial des Produktionssystems ab und stellt die von Investitionen hervorgerufenen Veränderungen der Leistungsfähigkeit durch Prozesskennzahlen dar. Das phasenspezifische Modell erfasst einmalige, die Leistungsfähigkeit beeinflussende Effekte über den gesamten Lebenszyklus aufbauend auf dem Grundmodell. Die ökonomischen Vorteile der betrachteten Anpassungsinvestition werden vom Bewertungsrahmen abgeleitet und als Entscheidungsgrundlage verwendet¹⁷³. VON BRIEL betrachtet Investitionen und Investitionsalternativen einzelner Fabrikobjekte in erster Linie durch die Gegenüberstellung des Return on Investment anhand absoluter Aufwendungen.

Kapazitätsschwankungen werden im Rahmen des phasenspezifischen Modells berücksichtigt, der Zusammenhang der Kosten zum Produktionsprogramm (Stückzahlen und Varianten) und zur Produktionsstruktur wird dabei nicht angestrebt.

PFEFFER stellt in seinem Ansatz zur Bewertung von Wertströmen unterschiedliche Soll-Wertströme gegenüber und bewertet diese sowohl anhand von wirtschaftlichen Faktoren, als auch anhand deren Nutzen aus Sicht der Lean-Prinzipien¹⁷⁴. Dabei stellt er eine Verknüpfung zwischen den Prozessen in der Produktion und den zugehörigen Supportprozessen in den administrativen Bereichen her¹⁷⁵ und ermöglicht somit eine ganzheitliche Bewertung des Wertstromes und dessen Wechselwirkungen. Diese Vorgehensweise wird in dem hier vorgestellten Ansatz für die Betrachtung der Supportkosten berücksichtigt.

PFEFFER geht bei seiner Bewertung von einem gegebenen Produktionsprogramm aus und betrachtet demnach keine Veränderung der Kosten bei verändertem Produktionsprogramm.

Die Ansätze zur Bewertung von Wertströmen bilden einzelne Prozesse und Prozessketten ab. Entweder werden dabei die mathematischen Zusammenhänge von Veränderungen auf die Kosten vernachlässigt, oder eine Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Produktionsprozessen und deren Veränderlichkeit ist nicht vorgesehen (siehe Tabelle 3.2). Wie in Kapitel 1 beschrieben, wird ein Modell benötigt, welches

- das Verhalten sämtlicher Kapazitäten im **Wertstrom** zur Identifizierung von Engpässen und Investitionsbedarfen,
- die Auswirkungen auf die damit verbundenen **Kosten im Wertstrom (Kostenentstehung)** und
- das **Verhalten der Kosten (Kostenentwicklung)** bei Veränderung von Varianten und Stückzahlen

berücksichtigt. Werden diese Kriterien rechnerisch erfüllt, gelten die beschriebenen Verfahren als geeignet, dieses Kriterium ausreichend abzubilden. Betrachten sie das Kriterium, werden die rechnerischen Zusammenhänge allerdings nicht beschrieben, gelten sie als nur teilweise geeignet. Wird das Kriterium nur unzureichend in den Vordergrund gestellt, gilt das jeweilige Verfahren als nicht geeignet.

¹⁷³vgl. BRIEL 2002, S.70ff.

¹⁷⁴vgl. PFEFFER 2012, S.6ff.

¹⁷⁵vgl. PFEFFER 2012, S.55

Eignung	Berücksichtigung Wertstrom	Berücksichtigung Kostenentstehung	Abbildung Kostenentwicklung
Aldinger	●	◐	◐
Kaumanns	◐	◐	○
Guo	●	○	○
Tillmann	●	◐	○
Kramer	●	◐	○
Kerner	●	◐	○
Weber	●	◐	○
Haage	●	◐	○
Cisek	◐	◐	◐
Osten-Sacken	○	●	◐
Briel	○	●	◐
Pfeffer	●	●	○

● geeignet
◐ teilweise geeignet
○ nicht geeignet

Tabelle 3.2: Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Bewertung von Wertströmen

3.2 Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung

Innerhalb des Financial Management beinhaltet Controlling die Aufgabenbereiche Planung, Berichterstattung und Interpretation, Bewertung und Beratung, Steuerangelegenheiten, Berichterstattung an staatlichen Stellen, Sicherung des Vermögens und volkswirtschaftliche Untersuchungen¹⁷⁶. Der zu ermittelnde Ansatz ist in den Bereich der Bewertung und Beratung einzuordnen, dementsprechend werden diejenigen relevanten Verfahren beschrieben, die den Entscheidungsträgern Informationen über die Entstehung und mögliche Beeinflussung der Kosten liefern.

Die relevanten Verfahren und Aufgabengebiete teilen sich auf in:

- Kostenrechnungsverfahren
- Prozessorientierte Kostenrechnungssysteme
- Investitionsrechnung

3.2.1 Kostenrechnungsverfahren

Die Kostenrechnung beschreibt die Erfassung, Verteilung und Zurechnung von Kosten, die die betriebliche Leistungserstellung bewertbar machen. Die verursachten Kosten werden dabei den Erlösen bzw. Leistungserträgen gegenübergestellt und das Betriebsergebnis ermittelt. Der

¹⁷⁶vgl. WEBER 2002, S.7

Zusammenhang zwischen Kosten- und Leistungsträger wird über verschiedene Leistungsarten, Umsatz und Bestandsänderungen hergestellt¹⁷⁷. Zur Abschätzung zukünftiger Entwicklungen werden Kosten und Leistungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen und Kostentreiber gesetzt, um Entscheidungen über die zukünftige Entwicklung des Betriebes zu treffen¹⁷⁸.

Die Kostenrechnung besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen¹⁷⁹:

- Kostenartenrechnung
- Kostenstellenrechnung
- Kostenträgerrechnung

Die Erfassung aller Kosten und deren Systematisierung sind die Aufgaben der Kostenartenrechnung. Eine detaillierte Erfassung der Kosten stellt sicher, dass eine Aufgliederung der Kosten nach verschiedenen Kostenarten die richtige Zuordnung dieser Kosten zu Kostenstellen und Kostenträgern ermöglicht. Kennt man die Höhe der Kosten für die einzelnen Kostenarten, kann eine Kostenkontrolle zur Ermittlung unwirtschaftlicher Prozesse durchgeführt werden¹⁸⁰.

Typische Kostenarten sind:

- Materialkosten
- Personal- und Personalnebenkosten
- Abschreibungen und Zinsen (Kapitalkosten)
- Kosten für Fremdleistungen, Abgaben, etc.

Die Kostenarten werden Kostenstellen zugeordnet, wobei mehrere Kostenarten innerhalb einer oder mehreren Kostenstellen auftreten können. Im Gegensatz zur Kostenartenrechnung betrachtet die Kostenstellenrechnung nicht die Art, sondern den Entstehungsort der Kosten. Die Kostenstellenrechnung betrachtet verschiedene Bereiche des Betriebs, stellt deren Kostenbeträge unterschiedlichen Zeiträumen gegenüber und dient somit der Wirtschaftlichkeitskontrolle und als Grundlage für die Kostenträgerrechnung¹⁸¹.

Gemeinkosten entstehen dann, wenn Kosten für mehrere Kostenstellen oder innerhalb einer Kostenstelle anfallen, ohne einer Bezugsgröße exakt zugerechnet und damit verursachungsgerecht zugeordnet werden zu können. Die Umlage der Kosten der Kostenstellen auf die zugehörigen Kostenträger erfolgt in der Höhe, in der die Kostenstelle vom jeweiligen Kostenträger beansprucht wird. Der Zusammenhang zwischen Kostenarten, -stellen und -trägerrechnung wird in Abbildung 3.1 dargestellt.

Kostenträger sind dabei die Produkte (oder Dienstleistungen) eines Betriebs, die durch ihren Verkauf Erlöse erzielen und geben an, wofür Kosten angefallen sind. Die Kostenträger Stückrechnung ermittelt die Selbstkosten der einzelnen Produkte und dient beispielsweise der Kalkulation der Bewertung von Lagerbeständen oder der Entscheidungen über die Aufnahme neuer Produkte im Sortiment.

¹⁷⁷vgl. WÖLTJE 2009, S.10

¹⁷⁸vgl. MÜLLER 2006, S.143ff.

¹⁷⁹vgl. WÖLTJE 2009, S.9ff.

¹⁸⁰vgl. WEBER UND KABST 2009, S.343ff.

¹⁸¹vgl. WEBER UND KABST 2009, S.344

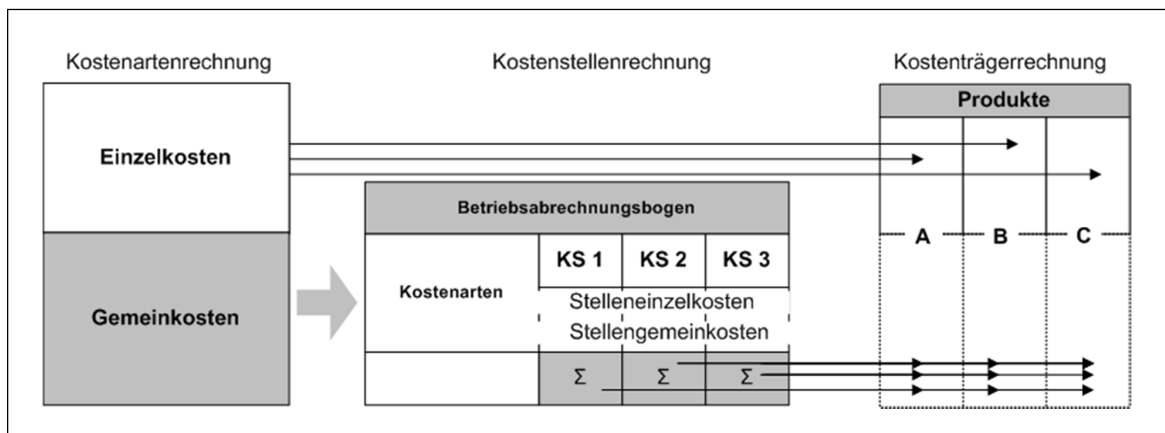


Abbildung 3.1: Kostenarten-, Kostenstellen-, Kostenträgerrechnung¹⁸²

Die Selbstkosten setzen sich dabei aus Fertigungseinzel- und Fertigungsgemeinkosten, Material- und Materialgemeinkosten, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten zusammen¹⁸³; die Gemeinkostensätze können durch Zuschlagskalkulation ermittelt werden (siehe Abbildung 3.2). Fertigungseinzelkosten stellen dabei die tatsächlichen Fertigungskosten durch Fertigungslöhne dar. Fertigungseinzel-, -gemein-, Materialeinzel- und -gemeinkosten bilden die Herstellkosten. Je nach Ausprägung der unterschiedlichen Produktvarianten beanspruchen diese die Fertigungsressourcen (Personal, Anlagen, etc.) unterschiedlich und verursachen dadurch unterschiedliche Kosten.

Fertigungsmaterial	
+	Materialgemeinkosten (prozentual zu Fertigungsmaterial)
+	Fertigungslöhne
+	Fertigungsgemeinkosten (prozentual zu Fertigungslöhnen)
= Herstellkosten	
+	Verwaltungsgemeinkosten (prozentual zu Herstellkosten)
+	Vertriebsgemeinkosten (prozentual zu Herstellkosten)
= Selbstkosten	€/Stück

Abbildung 3.2: Zuschlagskalkulation¹⁸⁴

Es existieren unterschiedliche Kostenrechenverfahren, die sich in den betrachteten Ausprägung der Kosten unterscheiden. Für die *Istkostenrechnung* werden Vergangenheitswerte her-

¹⁸²in Anlehnung an SEILER 1998, S.36ff.

¹⁸³vgl. WEBER UND KABST 2009, S.344ff.

¹⁸⁴in Anlehnung an WEBER UND KABST 2009, S.346

angezogen, um die tatsächlich verursachten Kosten einer Periode zu ermitteln. Bildet man Durchschnittswerte der Istkosten vergangener Perioden, um Zufallsschwankungen auszugleichen, erhält man eine *Normalkostenrechnung*. Wird mit geplanten Kosten in Abhängigkeit von Zeit und Mengen gerechnet, entsteht eine zukunftsorientierte *Plankostenrechnung*¹⁸⁵. Die *Flexible Plankostenrechnung zu Vollkosten* wird in fixe und variable Kosten unterteilt¹⁸⁶, damit die Herstellungskosten in ihrer Gesamtheit erfasst werden können. Dementsprechend werden Kalkulationssätze zu Vollkosten erfasst und die Sollkosten ergeben sich aus der Summe der fixen und variablen Kosten¹⁸⁷. Die *Flexible Plankostenrechnung zu Teilkosten* wird auch als *Grenzplankostenrechnung* bezeichnet und zieht bei der Kalkulation lediglich die variablen Kosten in Betracht¹⁸⁸. Dementsprechend treten keine Skaleneffekte bei steigenden Stückzahlen auf und sie dient dazu, Entscheidungen über zusätzliche Produktvarianten zu treffen, die möglicherweise einen Beitrag zur Deckung der Fixkosten beitragen können, ohne diese vollständig decken zu müssen.

Um eine Abhängigkeit der Kosten und des Gewinns messbar machen zu können, wird die *Deckungsbeitragsrechnung* angewendet. Die Deckungsbeitragsrechnung ist eine Teilkostenrechnung, das bedeutet, dass nur variable Kosten auf die Kostenträger verrechnet werden. Die Aussage, wieviel ein Kostenträger zur Deckung des Fixkostenanteils beiträgt, ist dann sinnvoll, wenn beispielsweise über die Produktion zusätzlicher Produkte auf bestehenden, freien Kapazitäten entschieden werden soll. Dann können Produkte, die den Fixkostenanteil zwar nicht vollständig, allerdings mehr als den variablen Anteil decken, zu einer zusätzlichen Fixkostendeckung beitragen und damit für das Unternehmen wirtschaftlich sein. Der Deckungsbeitrag ergibt sich demnach aus dem erwarteten Umsatz abzüglich der variablen Kosten und sollte für den beschriebenen Fall einen Wert größer null annehmen¹⁸⁹. Die Deckungsbeitragsrechnung wird bei kurzfristigen Entscheidungen eingesetzt, da für langfristige Entscheidungen sämtliche Kosten berücksichtigt werden müssen, um langfristig sowohl die variablen, als auch die fixen Kostenanteile vollständig decken zu können. Bei freien Kapazitäten kann eine Entscheidung für die zusätzliche Produktvariante durchaus sinnvoll sein, selbst wenn nicht die gesamten Kosten durch die Variante gedeckt werden können. Die *Stufenweisen Fixkostendeckungsrechnung* beschreibt diesen Effekt, indem der Deckungsbeitrag aus Erlös abzüglich der variablen Kosten ermittelt wird¹⁹⁰.

Eine Sonderstellung nimmt die *Prozesskostenrechnung* ein. Es handelt sich dabei um eine Vollkostenrechnung und dient der Bewertung interner Produktions- und Dienstleistungsprozesse. Dabei kann der gesamte Produktionsprozess abgebildet werden. Ziel ist es, die Zuschläge von Gemeinkosten zu minimieren¹⁹¹.

Die Kostenrechnung basiert auf der korrekten Datenermittlung und -aufbereitung und dient dementsprechend als wesentliche Grundlage für den vorgestellten Ansatz. Eine Planung zukünftiger Kosten bei unterschiedlichen Szenarien ist dabei durchaus möglich. Lediglich die rechnerischen Abhängigkeiten der Kosten untereinander und deren Abhängigkeiten zu logistikrelevanten Kennzahlen stehen im Rahmen der Kostenrechnungssysteme nicht im Vor-

¹⁸⁵vgl. MÜLLER 2006, S.144

¹⁸⁶vgl. Kapitel 2.2.2

¹⁸⁷vgl. STIBBE 2009, S.175

¹⁸⁸vgl. KILGER ET AL. 2002, S.101ff.

¹⁸⁹vgl. WÖLTJE 2009, S.33ff.

¹⁹⁰vgl. STIBBE 2009, S.184ff.

¹⁹¹vgl. Kapitel 3.2.2

dergrund, die Steuerungsgrößen des Lean Production haben dabei keine Priorität. Die Kostenarten werden dabei nicht durchgehend rechnerisch miteinander verknüpft, was in diesem Ansatz durch die Verknüpfung der Kosten über die Kennzahl EPEI¹⁹² gelöst werden soll. Die Vorgehensweise bei der Verteilung von Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten wird für den hier vorgestellten Ansatz übernommen, da eine verursachungsgerechte Zuordnung dieser Kosten den Analyseaufwand der Kostenstrukturen eines Unternehmens erhöht und den Nutzen einer verursachungsgerechten Verteilung übersteigt. Die Betrachtung der Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten dient in diesem Ansatz lediglich der Vollständigkeit, eine Veränderung der Kosten in Abhängigkeit des Produktionsprogramms wird dabei nicht angenommen.

3.2.2 Prozessorientierte Kostenrechnungssysteme

Sowohl die deutsche Prozesskostenrechnung, als auch das amerikanische Activity Based Costing sind Kalkulationssysteme, die durch die Forderung nach mehr Transparenz der indirekten Kosten entstanden sind. Indirekte Kosten (Gemeinkosten) sollen dabei verursachungsgerecht auf die Kostenträger verteilt und den zugehörigen Geschäftsprozessen zugeordnet werden. Weitere Entwicklungen dieser Kostenrechnungssysteme stellen das Time-Driven Activity Based Costing, das Throughput Accounting und das Value Stream Costing oder Lean Accounting dar¹⁹³.

Das *Activity Based Costing (ABC)* entfernt sich von wertmäßigen Bezugsgrößen, um leistungswirtschaftliche Beziehungen zwischen Ressourcen, Aktivitäten und Produkten aufzudecken¹⁹⁴. Die Zuordnung von einzelnen Aktivitäten zu Kostentreibern ist die Grundlage für das ABC, welches sich allerdings nicht unbedingt als unabhängiges Kostenrechnungssystem eignet. Es ist eher als Ergänzung zu bestehenden Kostenarten- und Kostenstellenrechnungen zu sehen, da Aktivitäten mit zeitlich geringem Arbeitsinhalt zur Reduzierung der Komplexität vernachlässigt werden können. Kostentreiber lassen sich dabei in Transaktionstreiber (bspw. die Anzahl der Rüstvorgänge), Zeittreiber (wenn ein großer zeitlicher Unterschied zwischen gleichen Tätigkeiten besteht, bspw. unterschiedlich lange Rüstvorgänge) und Intensitätstreiber (bspw. komplexe Produkte), welche meist durch Indizes gewichtet werden, unterscheiden. Das ABC nimmt keine Teilung in fixe und variable Kosten vor und gleicht dadurch einer starren Plankostenrechnung oder einer Maschinenstundensatzrechnung auf Vollkostenebene¹⁹⁵.

Die *Maschinenstundensatzrechnung* teilt Fertigungsgemeinkosten in maschinenabhängige und maschinenunabhängige Kosten und ermittelt den Maschinenstundensatz durch die Kosten pro Stunde der maschinenabhängigen Kosten anhand der Maschinenlaufzeit. Die maschinenunabhängigen Kosten werden als Restfertigungsgemeinkosten auf die Fertigungseinzelkosten zugeschlagen¹⁹⁶. Die Maschinenstundensatzrechnung geht von einer vollständigen Nutzung der verfügbaren Maschinenlaufzeit aus, deswegen beinhaltet diese auch nur diejenigen Produktionsstunden, in denen tatsächlich produziert wird. Zur Ermittlung dieser Maschinenlaufzeit

¹⁹²vgl. Kapitel 5.1.3.1

¹⁹³vgl. WEBER 2002, S.163ff.

¹⁹⁴vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.32

¹⁹⁵vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.33ff.

¹⁹⁶vgl. WÖLTJE 2009, S.23ff.

ist die Kenntnis oder die Prognose der zu produzierenden Mengen und Varianten notwendig, die in diesem Ansatz allerdings als variabel angenommen werden sollen.

Die Entstehung von Kosten anhand von Produktionsstruktur oder Produktionsprogramm wird nicht betrachtet, deshalb ist eine Anpassung der Kosten bei Veränderungen nicht dynamisch möglich. Auslastungen von Ressourcen und damit verbundene Kapazitätsgrenzen werden nicht berücksichtigt.

Das *Time- Driven Activity Based Costing* ermöglicht es, unterschiedliche Zeiten einer Aktivität abzubilden und befasst sich ausschließlich mit der Verrechnung der Kosten tatsächlich genutzter Kapazität, wobei die maximal möglichen Stückzahlen nicht bekannt sind. Ändert sich dementsprechend der Kapazitätsbedarf von Ressourcen und Zeit, kann keine automatische Anpassung der Kosten erfolgen, sondern es müssen möglicherweise Aktivitäten neu bzw. detaillierter aufgenommen werden¹⁹⁷ und können nicht dynamisch mit in die Betrachtung einfließen. Die Auswirkungen von Kostensätzen aufeinander werden nicht berücksichtigt.

Aus der in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Engpasstheorie hat sich das *Throughput Accounting* entwickelt, welches kein vollständiges Kostensystem darstellt. Die Logik des Throughput Accounting besteht dabei aus drei wesentlichen Komponenten¹⁹⁸:

- Throughput als Definition für den Deckungsbeitrag aus Umsatz abzüglich variabler Kosten.
- Inventory als Aktiva abzüglich der Bestände an fertigen und unfertigen Produkten.
- Operating Expense als Aufwendungen, die durch die Umwandlung von Inventory in Throughput entstehen.

Ausgehend vom ermittelten Wert und dem unternehmerischen Gewinnplan werden im *Lean Accounting* Zielkosten (Target Costs) bestimmt. Im Lean Accounting werden alle Aufwendungen eines Wertstroms als Gesamtheit erfasst, unabhängig davon, welche Aufgabe sie im Wertstrom erfüllen; dafür ist eine bestmögliche Aufteilung der Produktion in Wertströme Voraussetzung, ebenso wie die Verknüpfung der Prozesse im One-Piece Flow und ein dementsprechendes Bestellverhalten im Just-in-Time Prinzip¹⁹⁹.

Eine Auslastung der Wertstromobjekte ist dabei nicht Inhalt der Betrachtung, ebensowenig ermöglicht die gesamte Erfassung sämtlicher Kosten eine Herstellung von Abhängigkeiten der Kosten zu Produktionsprogramm und -struktur - es wird ohnehin von einer bereits optimierten schlanken Produktionsstruktur ausgegangen.

Die *Prozesskostenrechnung* unterscheidet sich geringfügig vom Activity Based Costing. Die Prozesskostenrechnung konzentriert sich auf die Zurechnung von Prozesskosten in den indirekten Bereichen²⁰⁰, da die direkten Bereiche bereits durch andere Kostenrechnungsvorgehen abgedeckt werden. Die Betrachtung der direkten Bereiche wird im vorliegenden Ansatz benötigt, um die Abhängigkeiten unterschiedlicher Kostenarten von Produktionsstruktur und Produktionsprogramm abbilden zu können. Darüber hinaus werden nicht alle Kosten als

¹⁹⁷vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.44ff.

¹⁹⁸vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.66ff.

¹⁹⁹vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.84ff.

²⁰⁰vgl. SIHN UND AUPPERLE 1995, S.116ff.

variabel angesehen, sondern in leistungsmengenneutral und leistungsmengeninduziert unterteilt²⁰¹.

Die *Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung* fokussiert diejenigen Kostenstellen, in denen variantenabhängige Ressourcenverbräuche zu erwarten sind und ermittelt die dafür zugehörigen Kosten, deren Hauptkostentreiber werden ermittelt und funktionale Zusammenhänge identifiziert²⁰². Durch die monetäre Bewertung des jeweiligen Ressourcenverbrauchs können die Variantenkosten entlang der Wertschöpfungskette ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis von Höhe und Ausprägung der zugehörigen Kostentreiber. Verändert sich das zugrunde gelegte Produktionsprogramm oder die Verknüpfungen der einzelnen Prozesse (Produktionsstruktur), so kann sich die Zugehörigkeit der Tätigkeiten zu bisherigen Kostentreibern verschieben.

Dadurch wird eine neue bzw. detailliertere Tätigkeitsanalyse notwendig, da diese Veränderungen nicht Betrachtungsgegenstand prozessorientierter Kostenrechnungssysteme sind. Die Überschreitung von Kapazitätsgrenzen wird ebenfalls nicht berücksichtigt, was dazu führt, dass Planungen zukünftiger Szenarien ohne den Abgleich von Kapazitätsbedarf und -angebot mögliche Investitionsbedarfe und daraus entstehende Kosten nicht mit berücksichtigen.

3.2.3 Investitionsrechenverfahren

Unterschiedliche Arten von Entscheidungen erfordern unterschiedliche Vorgehensweisen, die durch Bewertungsinstrumente in Form von Investitionsrechenverfahren beschrieben werden können. Für die Bewertung von Investitionen muss in der Regel eine Prognose vorliegen, die die zukünftigen Entwicklungen hinsichtlich der Nutzung der Investition abbildet, um daraus Handlungsalternativen zu generieren und auszuwählen²⁰³. Dabei können sowohl absolute (ein Investitionsobjekt ist vorteilhaft), als auch relative Vorteilhaftigkeiten (ein Investitionsobjekt ist vorteilhaft gegenüber einem Anderen) berechnet werden.

Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, sind im Rahmen dieser Arbeit lediglich Sachinvestitionen von Interesse, deren Bewertung in statische und dynamische Verfahren unterteilt wird²⁰⁴. Dabei benötigen die Verfahren eindeutige Prognosen bezüglich zukünftiger Erlöse und Kosten bzw. Zahlungsströmen, die in die Berechnung eingegeben werden müssen; statische Verfahren nutzen Erlöse und Kosten einer Durchschnittsperiode, dynamische Verfahren zinsen zukünftige Zahlungszeitpunkte mit zugehörigen Zinseszinsseffekten von Einzahlungen und Auszahlungen auf den Bewertungszeitpunkt ab und beziehen damit die gesamte Nutzungsdauer der Investition in die Betrachtung mit ein²⁰⁵. Letztere sind allerdings nur dahingehend dynamisch, dass sie die unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte betrachten, während die Höhe der Zahlungen eine Eingangsgröße darstellt. Diese werden anhand einer einmaligen Prognose abgeschätzt ohne rechnerisch bei veränderten Eingangswerten unterschiedliche Zahlungsgrößen zu erhalten. Die Prognose der Zahlungsreihen für die betrachtete Investition entscheidet über die Aussagekraft der Investitionsrechnung.

²⁰¹vgl. SCHUNTER UND ZIRKLER 2007, S.42ff.

²⁰²vgl. BULLINGER 2003, S.839

²⁰³vgl. WEBER 2002, S.305 ff.

²⁰⁴vgl. WÖLTJE 2009, S.308 ff.

²⁰⁵vgl. WÖHE UND DÖRING 2008, S.530ff.

Auszahlungen entstehen dabei für²⁰⁶:

- Anschaffungen
- Reparaturen und vorbeugende Instandhaltung
- Versicherungen
- Umweltschutz
- Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie für andere Teile und Lagerhaltung
- Personal
- etc.

Statische und dynamische Investitionsrechenverfahren gehen von einer prognostizierbaren Entwicklung zukünftiger Nachfrage- und Erlösmengen aus, entweder durchschnittlich über alle Perioden oder anhand konkreter Zahlungszeitpunkte. Kann diese Voraussetzung nicht erfüllt werden, werden Verfahren unter Unsicherheit eingesetzt.

3.2.3.1 Statische Verfahren

Statische Verfahren verwenden Erfolgsgrößen der Kosten- und Leistungsrechnung²⁰⁷ und grenzen sich von den dynamischen Verfahren durch die Vernachlässigung der Ein- und Auszahlungszeitpunkte der Investition ab²⁰⁸. Sie sind demnach durch ihre einfache Anwendbarkeit gekennzeichnet²⁰⁹. Die *Kostenvergleichsrechnung* bewertet alle Kosten, die von der Investition betroffen sind. Dementsprechend ist die Grundausrichtung der Kostenvergleichsrechnung die Kostenminimierung. Verglichen werden können sowohl alternative Investitionen, als auch Investitionen mit dem Ausgangszustand. Kostenvergleichsrechnungen können dann angewendet werden, wenn sich die Unterschiede der Alternativen ausschließlich und direkt auf die Kosten auswirken und die benötigten Informationen einer gewissen Sicherheit unterliegen²¹⁰. Haben die zu bewertenden Alternativen außerdem Auswirkungen auf die zu erwartenden Erlöse, muss anstatt einer Kostenvergleichs- eine *Gewinnvergleichsrechnung* angewendet werden. Diese Rechenarten sind nur dann sinnvoll anwendbar, wenn eine gleiche Laufzeit der Alternativen unterstellt, Zinswirkungen vernachlässigt und eine Sicherheit der unterstellten Parameter gewährleistet werden kann²¹¹.

Die *statische Amortisationsrechnung* wird auch als Payoff- oder Kapitalrückflussrechnung bezeichnet und ermittelt, wann die Anfangsauszahlung einer Investition durch die erzielbaren Einzahlungsüberschüsse gedeckt ist. Je geringer der zu erwartende Zeitraum, desto geringer ist das Risiko von Investitionen einzustufen; Zahlungsströme die nach dem ermittelten Zeitpunkt entstehen, werden nicht weiter berücksichtigt²¹², ebenso wenig die Zeitpunkte der Ein-

²⁰⁶vgl. WÖLTJE 2009, S.322

²⁰⁷vgl. OBERMEIER UND GASPER 2008, S.19

²⁰⁸vgl. WEBER 2002, S.317ff.

²⁰⁹vgl. IRNIGER 2009, S.31

²¹⁰vgl. WEBER 2002, S.317ff.

²¹¹vgl. WEBER 2002, S.317ff.

²¹²vgl. GROB 2006, S.36ff.

und Auszahlungen und damit deren Zinswirkungen²¹³.

Eine zusätzliche Betrachtung des Kapitaleinsatzes wird von der *Rentabilitätsrechnung* vorgenommen, in dem der durchschnittliche Gewinn mit dem durchschnittlich gebundenen Kapital in Verbindung gesetzt wird. Dabei wird die absolute Vorteilhaftigkeit einer Investition ermittelt und keine Alternative für die Bewertung benötigt, da die Erreichung der geforderten Mindestverzinsung der Investition ermittelt wird²¹⁴. Die Rentabilität beschreibt dabei den Zinssatz, mit dem sich durchschnittlich pro Jahr der Einsatz des Kapitals verzinst. Dabei können unterschiedliche Rentabilitäten betrachtet werden, z.B. die Kapitalrentabilität, die Umsatzrentabilität und der Kapitalumschlag²¹⁵.

Statische Verfahren zur Investitionsrechnung sind für die Berechnung von Kosten und deren Vergleich bei unterschiedlichen Alternativen ausreichend, allerdings betrachten sie die Entstehung der Kosten und deren Abhängigkeiten vom bestehenden und möglichem zukünftigen Produktionsprogramm nur unzureichend.

3.2.3.2 Dynamische Verfahren

Dynamische Investitionsrechenverfahren berücksichtigen unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte und -höhen, indem sie diese auf den Bewertungszeitpunkt abzinsen. Die *Kapitalwertmethode* ermöglicht dem Anwender den Barwert aller Zahlungen, die mit einer Investition verbunden sind, zu bewerten und unter dem Aspekt der Gewinnmaximierung alle mit der Investition verbundenen Zahlungen zu deren unterschiedlichen Zahlungszeitpunkten zu betrachten²¹⁶. Voraussetzung dafür ist die Abschätzbarkeit und Zurechenbarkeit der zukünftigen Zahlungsströme. Es wird davon ausgegangen, dass zukünftige Zahlungsüberschüsse zum betrachteten Kalkulationszinssatz wieder angelegt werden können und die Sicherheit der Parameter gewährleistet ist. Der *interne Zinsfuß* beschreibt den Kalkulationszinssatz, an dem der beschriebene Kapitalwert den Wert Null annimmt und gibt damit nicht den Wert der Investition an, sondern die Verzinsung des dafür eingesetzten Kapitals und ist mit der Kapitalwertmethode vergleichbar²¹⁷. Der Kapitalwert wird in der *Annuitätenmethode* periodisiert und zeigt an, welcher Betrag durchschnittlich je Periode nach Zinsen und Tilgung zur Verfügung steht²¹⁸. Die Annuität entspricht dem Soll-Zahlungsstrom (Cash Flow), der mit dem Ist-Cash Flow verglichen wird. Die *dynamische Amortisationsrechnung* berechnet wie die statische Amortisationsrechnung den Zeitpunkt der Deckung der Anfangszahlung mit den zukünftigen Einzahlungsüberschüssen, allerdings berücksichtigt sie dabei die Entstehung der Zahlungsströme; Voraussetzung ist demnach wiederum die Kenntnis der Zahlungszeitpunkte und deren Höhe²¹⁹. Das Investitionsobjekt wird dann als vorteilhaft gewertet, wenn die Amortisationszeit geringer ist als eine vorgegebene Zeit bzw. als ein anderes ausgewähltes Investitionsobjekt²²⁰.

²¹³vgl. WEBER 2002, S.319ff.

²¹⁴vgl. WÖLTJE 2009, S.318ff.

²¹⁵vgl. OBERMEIER UND GASPER 2008, S.27ff.

²¹⁶vgl. WEBER 2002, S.321ff.

²¹⁷vgl. WEBER 2002, S.323ff.

²¹⁸vgl. WÖLTJE 2009, S.318ff.

²¹⁹vgl. WEBER 2002, S.326ff.

²²⁰vgl. GÖTZE 2008, S.108

Die dynamischen Verfahren dienen der Berechnung von Kosten und deren Vergleichbarkeit. Die Kostenentstehung und deren rechnerischen Abhängigkeiten vom bestehenden oder zukünftigen Produktionsprogramm steht nicht im Fokus der dynamischen Investitionsrechenverfahren.

3.2.3.3 Verfahren unter Unsicherheit

Unabhängig davon, ob statische oder dynamische Verfahren zur Entscheidung zwischen Investitionsalternativen herangezogen werden, wird von einer sicheren Prognose zukünftiger Zahlungsströme ausgegangen²²¹. Das ist in den meisten realen Anwendungsfällen nicht gegeben, da durch veränderte Kundenanforderungen, kürzere Produktlebenszyklen und unsichere Marktentwicklungen langfristige Prognosen nur bedingt möglich sind. Dafür wurden Investitionsrechnungen unter Unsicherheit entwickelt, die den Unsicherheiten bezüglich der Höhe der Zahlungsströme und der Zahlungszeitpunkte gerecht werden sollen²²². Diese beschäftigen sich mit Unsicherheiten zukünftiger Preisbildung und Umweltfaktoren, die in dieser Arbeit keine Betrachtung finden sollen. Eine rechnerische Verknüpfung von Zahlungsströmen zu Produktionsstruktur und Programm wird dabei nicht angestrebt, auch wenn unterschiedliche Zahlungsströme für unterschiedliche Szenarien eingegeben werden können, wie beispielsweise in der *Sensitivitätsanalyse*. Dadurch werden die Auswirkungen unterschiedlicher Eingaben in das Verfahren abgebildet, die Eingaben selbst stehen dabei nicht im Betrachtungsfokus. Die *Risikoplananalyse* baut dabei auf Wahrscheinlichkeitseinschätzungen auf, mit dem Ziel, "aus den (unterstellten) Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Basis- bzw. Inputgröße einer Investition (Zahlungsströme und Zeitpunkte) die einer bestimmten Investitionsalternative entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ergebnisse (genauer: die Verteilung des Kapitalwerts) zu ermitteln"²²³.

Dadurch wird das Problem der Schätzung der Zahlungsströme auf die der Wahrscheinlichkeitsverteilungen umgelegt - die Abhängigkeiten der Zahlungsströme von den unsicheren Randbedingungen allerdings nicht aufgezeigt.

Unternehmen und Investoren haben Handlungsoptionen, die eine bestimmte Flexibilität für eine Entscheidung darstellen²²⁴. Dabei kann eine Parallele zu Aktienoptionen gezogen werden; dementsprechend stellt eine Investitionsmöglichkeit das Recht dar, durch Investition generierbare Zahlungsströme durch die Auszahlung der Investition selbst zu erwerben, wobei die Investitionsauszahlung als Basispreis interpretiert werden kann²²⁵. Sind die zukünftigen Entwicklungen mit einer gewissen Unsicherheit belastet, kann es darüber hinaus durchaus sinnvoll sein, die Investitionsentscheidung um einen bestimmten Zeitraum zu verschieben, um die Unsicherheiten zukünftiger Entwicklungen abzuwarten. Diese Flexibilität sollte in der Investitionsbewertung berücksichtigt werden²²⁶.

²²¹vgl. NÖLL UND WIEDEMANN 2008, S.51ff.

²²²vgl. WEBER 2002, S.328

²²³vgl. WEBER 2002, S.328

²²⁴vgl. RICHTER 2004, S.397ff.

²²⁵vgl. CRASSELLT 1997, S.9ff

²²⁶vgl. CRASSELLT 1997, S.9ff

Eine *Realoption* ist das Recht, aber nicht die Pflicht eine Entscheidung über eine Investition zu einem festgelegten Zeitpunkt (Anm.: europäische Option, im Vergleich zur amerikanischen Option: innerhalb eines festgelegten Zeitraumes) und Preis zu treffen²²⁷, welches über die Länge eines bestimmten Zeitraumraums besteht und einen Preis (der Basispreis der Option) hat. Würde die Investition für unsichere zukünftige Entwicklungen zu diesem Zeitpunkt getätigt, würde sich die Flexibilität des Unternehmens erhöhen und gleichzeitig das Risiko, diese Flexibilität nicht einsetzen zu müssen. Diese Flexibilität ist schwer bewertbar und wird in dynamischen Investitionsrechenmethoden wie der Kapitalwertmethode nicht berücksichtigt, was zu einer systematischen Unterbewertung von Projekten führen kann^{228,229}. Realoptionen sind von mehreren Variablen abhängig²³⁰:

- Der Wert der betrachteten risikobehafteten Anlage.
- Der Basispreis der Option.
- Der Zeitpunkt des Verfalls der Option.
- Die Standardabweichung des Wertes der risikobehafteten Anlage.
- Der risikolose Zinssatz über die Lebensdauer der Option.
- Die Dividenden aus der zugrunde liegenden Anlage: die Cash Flows entlang dessen Lebenszyklus.

Verfahren unter Unsicherheit ermöglichen es dadurch dem Anwender, Flexibilitäten der Entscheidungsfindung mit in die Bewertung mit einzubeziehen, allerdings nicht die Flexibilität der Anlage selbst und die damit verbundenen Kosten. Die Betrachtung des gesamten Produktionsablaufes (Wertstroms) spielt im Realoptionsansatz keine Rolle.

Die in Kapitel 3.2 beschriebenen Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung konzentrieren sich auf die Betrachtung und Bewertung gezielter Bewertungsobjekte und den damit verbundenen Kosten. Die Zusammenhänge zwischen mehreren Objekten und deren gegenseitige Beeinflussung kann dabei nicht abgedeckt werden. Die Abweichungen von vorausgesetzten zukünftigen Entwicklungen führen nicht zu einer rechnerischen Anpassung der damit verbundenen Kosten. Dementsprechend ergeben sich für die beschriebenen Verfahren zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung die in Tabelle 3.3 abgebildeten Eignungen²³¹.

²²⁷vgl. KURR 2003, S.102ff.

²²⁸vgl. COPELAND UND ANTIKAROV 2001, S.5ff.

²²⁹vgl. KURR 2003, S.102ff.

²³⁰vgl. COPELAND UND ANTIKAROV 2001, S.5ff.

²³¹siehe dazu die Beschreibung Kapitel 3.1

Eignung	Berücksichtigung Wertstrom	Berücksichtigung Kostenentstehung	Abbildung Kostenentwicklung
Istkostenrechnung	○	●	○
Normalkostenrechnung	○	◐	○
Plankostenrechnung	○	●	○
Flexible Plankostenrechnung zu Vollkosten	○	●	◐
Flexible Plankostenrechnung zu Teilkosten (Grenzplankostenr.)	○	◐	○
Deckungsbeitragsrechnung	○	◐	○
Stufenweise Fixkostendeckungsrechnung	○	●	◐
Activity Based Costing	◐	●	◐
Time-Driven ABC	◐	●	○
Throughput Accounting	◐	●	◐
Lean Accounting	◐	○	○
Maschinenstundensatzrechnung	◐	●	◐
Prozesskostenrechnung	◐	●	◐
Ressourcenorientierte PKR	◐	●	◐
statische Investitionsrechnung	○	◐	◐
dynamische Investitionsrechnung	○	◐	○
Verfahren unter Unsicherheit	○	◐	○

● geeignet
◐ teilweise geeignet
○ nicht geeignet

Tabelle 3.3: Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertung

3.3 Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung

Im Folgenden wird die Eignung von Ansätzen untersucht, die die Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklungen anstreben.

OPITZ entwickelt eine Methode zur Planung ganzheitlich prozesseffizienter Fertigungssysteme. Er beschränkt sich dabei auf die variantenreiche Serienfertigung und die darin geforderte kostenoptimale quantitative und qualitative Flexibilität. Ziel ist es, ein Fertigungssystem zu ermitteln, welches bei unterschiedlichen Varianten und schwankenden Stückzahlen die minimalen Fertigungskosten verursacht²³². Dafür bestimmt er die Kosten der quantitativen Kapazität, die Kosten der qualitativen Kapazität und die quantitative und qualitative Auslastung.

Dabei konzentriert er sich auf ein abgeschlossenes Fertigungssystem, Wechselwirkungen zwischen Prozessen und Verknüpfungen im Wertstroms werden dabei nicht betrachtet.

²³²vgl. OPITZ 2009, S.38ff.

MÖLLER beschreibt eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsbestimmung wandlungsfähiger Produktionssysteme, welche geeignete Bewertungsverfahren ökonomisch vorteilhafter, wandlungsfähiger Systeme ermittelt. Zielsetzung ist es, durch die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit und des Wandlungsfähigkeitsgrades einen Beitrag beim Einsatz wandlungsfähiger Produktionssysteme zu leisten²³³. Dabei können durch Ableitung der Zahlungsflüsse und Werte verschiedener Entscheidungsalternativen Anpassungsentscheidungen der jeweiligen Systemkonfigurationen unterstützt werden.

Die Zusammensetzung der Zahlungsströme und deren Abhängigkeit vom Produktionsprogramm steht in der von MÖLLER entwickelten Methodik zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme nicht im Fokus. Sie sieht keine explizite Flexibilitätsbewertung vor; es besteht die Möglichkeit die Wirtschaftlichkeit bereits ausgeplanter Produktionssystemalternativen mit gegebener Flexibilität zu bewerten. Für die verschiedenen Entscheidungsalternativen können mögliche vordefinierte Anpassungsmaßnahmen bzw. Investitionen generiert und bewertet werden. Eine dynamische Betrachtung des Produktionsprogramms ist mit diesem Verfahren nicht möglich, es besteht jedoch die Möglichkeit, für verschiedene Produktionsprogramm szenarien eine Bewertung durchführen zu lassen.

Eine Methode zur Flexibilitätsbewertung wird von ROGALSKI beschrieben, indem er die unterschiedlichen Flexibilitätsarten zuerst identifiziert, diese dann durch Kennzahlen beschreibt und letztendlich die Kosten für die Bewertung ermittelt. Dabei konzentriert er sich auf die Bewertung unterschiedlicher Unternehmen, wofür er Verhältniskennzahlen aufstellt, die auf Basis durchschnittlicher Gewinnabweichungen berechnet werden. Er betrachtet dabei drei Flexibilitätsarten (siehe Abbildung 3.4).

Flexibilitätsart	Art der Anpassung	Beschreibung
Mengenflexibilität	kurzfristige Kapazitäts- und Produktionsmengenanpassung	Break-Even Point Wirtschaftliche Maximalkapazität
Mixflexibilität	Produktionsanpassungen an unterschiedliche Produkte	Systemoptimaler Produktionsgewinn Produktspezifische Gewinnabweichung
Erweiterungsflexibilität	Kapazitätsanpassungen aufgrund von Veränderungen der Elementenmenge oder -Struktur	alternativenspezifischer Break-Even Punkt Zielkapazität

Tabelle 3.4: Flexibilitätsarten nach ROGALSKI²³⁴

Die Mengenflexibilität wird dabei durch die Gewinnschwelle (Break-Even Point) und die wirtschaftliche Maximalkapazität beschrieben, die Mixflexibilität durch den systemoptimalen Produktionsgewinn und die produktspezifische Gewinnabweichung, sowie die Erweiterungsflexibilität durch die Zielkapazität und die alternativenspezifische Gewinnschwelle.

ROGALSKI beschreibt Flexibilität und deren Ausprägungen in Unternehmen umfassend²³⁵ und konzentriert sich dabei auf bestehende Produktionen ohne die Veränderungen in Pro-

²³³vgl. MÖLLER 2008, S.87ff.

²³⁴In Anlehnung an ROGALSKI 2009, S.70

²³⁵vgl. ROGALSKI 2009, S.31ff.

duktionsstrukturen und damit verbundene Kostenverläufe eingehender zu berücksichtigen. Er geht von einem bestehenden Produktionsprogramm aus und zieht gegebene Kosten für seine Bewertung heran, ohne deren Entstehung und Abhängigkeiten weiter zu verfolgen.

REUTER widmet sich der Logistik im Rahmen eines Just-in-Time Produktionssystems; dazu bildet er die Materialflüsse eines mechanisierten Lagers ab und führt Grenzwertbetrachtungen hinsichtlich der Aufwandsentwicklung bei Reduzierung der Losgrößen durch, um Kosten- und Nutzeneffekte zu ermitteln²³⁶. Er konzentriert sich dabei auf den Teilbereich des Materialflusses in einem mechanisierten Lager und bestimmt die Gesamtkosten des Lagers hinsichtlich der Veränderung der Losgrößen, um ein Optimum hinsichtlich zusätzlicher Aufwendungen und Einsparungsmöglichkeiten zu ermitteln²³⁷.

Er befindet sich dabei in einem kurz- bis mittelfristigen Planungshorizont. Die Methodik ermöglicht es dem Anwender, die Wirkung verringerter Losgrößen bei gleichbleibendem Produktionsprogramm und gleichbleibender Produktionsstruktur abzubilden, eine Veränderung der Kosten bei Abweichungen wird allerdings nicht betrachtet.

Eine Systematik zur Planung stückzahlflexibler Fertigungssysteme erarbeitet BÖTTCHER und zeigt dadurch Möglichkeiten für Unternehmen mit mechanischer Bearbeitung zur variantenreichen Serien- und Massenfertigung auf, schwankenden Kundennachfragen zu begegnen²³⁸. Aufbauend auf Datenaufbereitung und Zielfestlegung wird für das Produktionssystem ein fertigungsmittelneutrales Modell gebildet, in dem anschließend mensch- und maschinenbezogene Teilsysteme geplant werden können. Gleichzeitig untersucht er durch eine Planungsunterstützung Abhängigkeiten des Produktes mit den jeweiligen Fertigungsmitteln. Die Fertigungselemente werden aufgeteilt und systematisch zusammengefasst, um eine Optimierung der Faktoren Mensch, Technik und Flexibilität zu ermöglichen²³⁹.

Durch Merkmals-Prozess-Matrizen kann ein nach individuell festgelegten Kriterien optimal gestaltetes Produktionsprogramm generiert werden, dessen Abweichungen jedoch nicht bewertet werden. Allerdings besteht die Möglichkeit einer Einflussnahme auf die Stückzahlflexibilität. Dabei werden einzelnen Fertigungssysteme betrachtet, deren Verknüpfungen entlang des Wertstroms und demnach auch deren Veränderungen nicht Zielsetzungen des Verfahrens sind.

Die von KOBYLKA entwickelte Methode zur Dimensionierung von Produktionssystemen gibt ein definiertes Potenzial an Leistungsfähigkeit vor und ermöglicht eine softwaregestützte Planung von Produktionssystemen bei stark schwankenden Kapazitätsbedarfen. Dadurch wird dem Anwender ein Verfahren zur Gestaltung von Produktionssystemen zur Verfügung gestellt. Das Verfahren besteht dabei aus drei Schritten:

1. Modellierung eines Simulation-Basismodells.
2. Dynamische Dimensionierung für unterschiedliche Produktionsszenarien.
3. Ableitung der zugehörigen Planungslösung.

²³⁶Vgl. REUTER 2009, S.19

²³⁷Vgl. REUTER 2009, S.72ff.

²³⁸Vgl. BÖTTCHER 2008, S.7

²³⁹Vgl. BÖTTCHER 2008, S.114

Das Verfahren konzentriert sich dabei auf abgeschlossene Fertigungssysteme und bezieht den gesamten Wertstrom inklusive zugehöriger Wechselwirkungen sowie mögliche Veränderungen nicht mit in die Bewertung ein. Allerdings besteht die Möglichkeit Bearbeitungsfolgen und -zeiten in der Simulation zu berücksichtigen. Durch die Simulation werden die Wechselwirkungen zwischen Kosten, Produktionsprogramm und Produktionsstruktur nicht explizit sichtbar.

Die Nutzenbewertung einer gegebenen Systemflexibilität in der Automobilindustrie ist Ziel des Ansatzes von ROSCHER, wobei es Unternehmen ermöglicht werden soll, für eine bestimmte Ausprägung der Flexibilität die zugehörigen Montagebetriebskosten zu ermitteln²⁴⁰. Dafür generiert er drei Modelle:

- Montagemodell
- Lernkurvenmodell
- Optimierungsmodell

Das Montagemodell errechnet die jeweiligen Kosten bei gegebenen Eingangsgrößen und Alternativen im Produktionssystem. Im Lernkurvenmodell können Lernkurveneffekte beispielsweise auf Taktzeiten berücksichtigt werden und im Rahmen des Optimierungsmodells wird das Entscheidungsverhalten anhand von Entscheidungsvariablen, die verschiedene Aspekte wie Taktzeit, Produktionsprogramm, Schichtmodell etc. beinhalten, abgeschätzt werden²⁴¹. Das Produktionsprogramm wird statisch über standort- und produktbezogene Inputdaten aufgenommen und ermöglicht die Abbildung unterschiedlicher Szenarien, im Rahmen des Lernkurvenmodells wird darüber hinaus eine Optimierung des Produktionsprogramms im Rahmen des Produktionslebenszyklus angestrebt.

Eine Abhängigkeit der Kosten vom jeweiligen Produktionsprogramm und die sich daraus ergebenden Kostenverläufe wird nicht hergestellt, deshalb können auch Veränderungen der Produktionsstruktur nicht abgebildet werden²⁴².

SESTERHENN entwickelt ein Bewertungsverfahren zur Gestaltung von Produktionssystemen durch eine Systematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Er konzentriert sich dabei auf Serienfertiger, die bei Verkürzung des zeitlichen Planungsaufwands durch lebenszyklusorientierte Kostenszenarien und eine differenzierte Kostenbetrachtung unterstützt werden²⁴³. Dabei beurteilt er verschiedene Gestaltungskonzepte durch Ergebnisvariablen und stellt das Kostenverhalten des Produktionssystems in Abhängigkeit der betrachteten Anpassungsentscheidung dar, wobei dem Anwender mehrere Anpassungsmaßnahmen für die Systemkonfiguration zur Verfügung stehen²⁴⁴.

Eine Abhängigkeit der Kosten zu Produktionsprogramm und -strukturen ist nicht Inhalt des Verfahrens, ebenso wie die Abhängigkeiten entlang des Wertstroms. Eine dynamische Betrachtung erfolgt anhand des zeitlichen Verlaufs der Kennzahlen, allerdings nicht anhand des monetären Verlaufs.

²⁴⁰vgl. ROSCHER 2008, S.17

²⁴¹vgl. ROSCHER 2008, S.148ff.

²⁴²vgl. ROSCHER 2008, S.149

²⁴³vgl. SESTERHENN 2003, S.4

²⁴⁴vgl. SESTERHENN 2003, S.143

LANZA ET AL. verfolgen das Ziel, Produktionskosten so früh wie möglich abzuschätzen und entwickeln dafür eine Methode, die die Produktvarianten und Stückzahlschwankungen berücksichtigt und gleichzeitig deren monetären Risiken bewertet. Dadurch können unterschiedliche Systemalternativen und unterschiedliche Szenarien bereits in einer frühen Produktentwicklungsphase abgebildet und verglichen werden. Es handelt sich dabei um eine Simulationsmethode, dessen Algorithmus sowohl die Kapazitätsnutzung als auch die Gesamtanlageneffektivität berücksichtigt. Die Kosten, die durch die Produktion zusätzlicher Varianten entstehen, werden anhand von empirisch ermittelten Kostenverläufen abgeschätzt und letztendlich eine Kostenbewertung in Abhängigkeit von Stückzahlen und Variantenzahlen durchgeführt²⁴⁵.

Die Betrachtung der wertstromabhängigen Wechselwirkungen wird dabei nicht angestrebt, ebenso wie die tatsächlichen Abhängigkeiten zwischen Produktionsprogramm und -struktur und den Kostenverläufen - durch die Anwendung der Simulation wird auf diese Abhängigkeiten und die nachträgliche Interpretationsmöglichkeit, warum an welcher Stelle die Kosten in welchem Maße steigen, verzichtet. Zwar werden stückzahlabhängige Kosten verursachungsgerecht erfasst und die unterschiedliche Variantenanzahl berücksichtigt, allerdings werden die Kosten zusätzlicher Varianten und Gesamtbestände einmalig vorgegeben und dadurch die Abhängigkeit zur Produktionsstruktur (Wertstrom) und deren möglichen Veränderungen nicht ausreichend abgebildet.

ZÄH und MÜLLER wählen ebenfalls einen Modellierungsansatz zur Bewertung von Kapazitätsflexibilitäten in unsicheren Märkten. Dabei interpretieren sie Kapazitätsflexibilität als die Möglichkeit des Unternehmens, seine Produktionskapazitäten mit geringem Aufwand an die Veränderung der Kundennachfrage anzupassen. Sie berücksichtigen dabei die veränderten Kapazitätsbedarfe und bewerten diese anhand von Kosten²⁴⁶.

Dabei findet keine Verknüpfung der Prozesse dahingehend statt, dass unterschiedliche Produktionsstrukturen zu unterschiedlichen Kostenverläufe durch Bestandsverläufe und veränderte Losgrößen führen. Die Steigerung der Variantenanzahl und die damit verbundenen Auswirkungen werden in der Betrachtung vernachlässigt, ebenso wie die Zusammensetzung der Kosten in Abhängigkeit der Produktionsstruktur.

Die Quantifizierung und Operationalisierung ist Ziel des Ansatzes von HEGER zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten, um den Wert für bestehende und geforderte Wandlungsfähigkeit ermittelbar zu machen und dadurch Investitionsentscheidungen zu unterstützen, die durch bisherige Bewertungsverfahren trotz positiver Auswirkungen möglicherweise negativ beurteilt werden²⁴⁷. Er ermittelt den Bedarf, die Wandlungsbausteine Wandlungsbereitschaft, -kompetenz und -befugnis in die Bewertung der Wandlungsfähigkeit einzubinden und verbindet nicht-monetäre Wandlungsprozessmerkmale mit monetären Bestandteilen des Merkmals Auszahlungs-Nutzen-Verhältnis und erarbeitet in einer Wandlungsnutzwert-Analyse die Bewertung nicht-monetärer Nutzenpotenziale²⁴⁸.

Es besteht dabei die Möglichkeit, mehrere Objekte in die Betrachtung einzubeziehen, deren Wechselwirkungen stehen dabei nicht im Vordergrund. Da von einem gegebenen Bedarf

²⁴⁵vgl. LANZA ET AL. 2010, S.280ff.

²⁴⁶vgl. ZÄH UND MÜLLER 2007, S.151ff.

²⁴⁷vgl. HEGER 2007, S.3ff.

²⁴⁸vgl. HEGER 2007, S.67ff.

an Wandlungsfähigkeit ausgegangen wird, werden Abhängigkeiten zu Produktionsprogramm und -struktur im Ansatz von HEGER nicht benötigt.

SCHAUERHUBER beschäftigt sich mit der produktionswirtschaftlichen Flexibilität mit dem Ziel, den Wert von flexiblen Produktionsanlagen bzw. Fertigungssystemen zu beschreiben und zu quantifizieren. Dabei baut er seine Problemstellung auf der These auf, dass man bei Negierung des Optionswerts als Wert einer Entscheidung, diese durch Zusatzinformationen ändern zu können, möglicherweise Spezialanlagen gegenüber flexiblen Produktionsanlagen bevorzugt werden, was eine strategische Fehlentscheidung sein könnte²⁴⁹. Er konzentriert sich auf die Outputflexibilität, die Inputflexibilität und die Routenflexibilität²⁵⁰.

Durch die Betrachtung von Anlagen und Fertigungssystemen wird auf die Zusammenhänge entlang des Wertstroms nicht eingegangen, dementsprechend sind die Abhängigkeiten von Produktionsstruktur, Produktionsprogramm und die sich daraus ergebenden Kostenverläufe nicht Inhalt des Ansatzes.

Ziel des Ansatzes von DAMISCH ist die Erweiterung der Anwendbarkeit des grundlegenden Konzepts des wertorientierten Controllings und die Behandlung der Frage nach der Integrationsmöglichkeit unternehmerischer Handlungsflexibilität "in ein am Prinzip des Shareholder Value ausgerichtetes Management"²⁵¹. Dafür verbindet er den Realloptionsansatz mit dem Konzept des wertorientierten Controllings.

Wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, werden Zahlungsreihen anhand eines bestimmten Zukunftsszenarios abgeschätzt, wobei eine Veränderung der Zahlungsreihen durch Veränderungen des Produktionsprogramms und der Produktionsstruktur entlang des Wertstromes nicht Zielsetzung des Realloptionsansatzes ist.

Eine Systematik zur Bewertung der Produktionsleistung ist Inhalt der Arbeit von LIEDTKE. Dafür erarbeitet er ein Kennzahlensystem, welches auf Basis von Kennzahlen, Indikatoren und Merkmalen Defizite hinsichtlich der Produktionsleistung von Unternehmen ermittelt. Aufgrund des geringen Aufwands der Methode ist sie für mittelständische Unternehmen geeignet. Sie ermöglicht die Analyse von Stärken und Schwächen unter Berücksichtigung strategischer Ziele und die darauf folgende Empfehlung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen²⁵². Grundlage ist die Weiterentwicklung bestehender Benchmarkingansätze, deren Herausforderung in der Auswahl geeigneter Vergleichsunternehmen zur Erreichung einer möglichst hohen Vergleichbarkeit liegt. Dabei werden folgende Ziele verfolgt²⁵³:

- Geringer Zeitaufwand (1 Tag) durch unterstützte Nutzung von Datenbanken.
- Weiterentwicklung des Interdependenzbenchmarking durch Merkmalsystem innerhalb der Datenbank.
- Abbildung der strategischen Produktionsziele durch das Kennzahlensystem.
- Ursachenanalyse durch Vorauswahl möglicher Ursachen.

²⁴⁹vgl. SCHAUERHUBER 1998, S.26

²⁵⁰vgl. SCHAUERHUBER 1998, S.178ff.

²⁵¹vgl. DAMISCH 2002, S.3

²⁵²vgl. LIEDTKE 2007, S.2

²⁵³vgl. LIEDTKE 2007, S.26ff.

- Vorbeugen negativer Eingriffe in das System bei Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen durch Signalisierung von Wechselwirkungen der Kennzahlen.
- Unterstützung von Dokumentation, Maßnahmenableitung und Datenumgang durch Prototypensystem.

Die Abhängigkeiten zwischen Merkmalen und Kennzahlen werden durch lineare Regression ermittelt und über Indikatoren miteinander verbunden. Die Flexibilitätsbewertung erfolgt anhand verschiedener Kennzahlen, die in der Indikatorgruppe Ressourcenflexibilität zusammengefasst sind²⁵⁴.

Es handelt sich dabei um ein statisches Vorgehen; dementsprechend stehen Veränderungen in Produktionsprogramm und -struktur und deren Auswirkungen auf die Kostenverläufe nicht im Vordergrund.

MÜLLER entwickelt eine Methodik für die Bewertung von Produktionsalternativen, um eine Generierung und Identifikation von Produktionsabläufen frühzeitig zu ermöglichen und die dabei erwarteten Kosten abzubilden²⁵⁵. Er berücksichtigt dabei den Kapazitätsbedarf einzelner Varianten und berechnet die daraus entstehenden Kosten.

Die Grenzen der Kapazitäten hinsichtlich notwendiger Anpassungsmaßnahmen und Engpassentstehung stehen dabei nicht im Vordergrund. Die Kosten werden deshalb nicht in Abhängigkeit eines variablen Produktionsprogramms gesetzt und die Entwicklung der Kosten bei verändertem Produktionsprogramm nicht abgebildet.

Weitere Methoden zur Bewertung von unterschiedlichen Varianten werden im Rahmen des Variantenmanagement bereitgestellt, dabei wird davon ausgegangen, dass eine Verdopplung der Variantenanzahl einen Stückzahlanstieg von 20-35% nach sich zieht²⁵⁶. Grundlage dieser Methoden ist die prozessorientierte Kostenrechnung²⁵⁷. BAYER entwickelt diese weiter für die Variantenkostenrechnung auf Basis einer Analyse unternehmensspezifischer Komplexitätsfaktoren²⁵⁸, da er die Einflussgrößen der Komplexitätskosten von den bestehenden Verfahren zur Variantenkostenbewertung für nicht ausreichend abgedeckt ansieht²⁵⁹.

Zielsetzung ist dabei die Abbildung der generellen Kostenentwicklung bei zunehmender Variantenvielfalt im gesamten Unternehmen, die Verknüpfung von Produktionsprozessen und die damit verbundenen Auswirkungen auf den gesamten Wertstrom stehen dabei nicht im Fokus der Arbeit. Dementsprechend werden die mathematischen Zusammenhänge der einzelnen Kostenarten und deren Abhängigkeit zum Produktionsprogramm nicht näher betrachtet.

Die Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung ermöglichen die Betrachtung zukünftiger Ereignisse und deren Auswirkungen auf die betrachteten Bewertungsobjekte. Die Zusammenhänge zwischen mehreren Objekten und deren gegenseitige Beeinflussung werden meist vernachlässigt. Die Abweichungen von vorausgesetzten zukünftigen Entwicklungen führen auch dabei nicht zu einer Anpassung der damit verbundenen Kosten entlang

²⁵⁴vgl. LIEDTKE 2007, S.116

²⁵⁵vgl. MÜLLER 2008, S.10ff.

²⁵⁶vgl. WILDEMAN 1990, S.70

²⁵⁷vgl. Kapitel 3.2.2

²⁵⁸vgl. BAYER 2010, S.9

²⁵⁹vgl. BAYER 2010, S.102ff.

des Wertstroms. Dementsprechend ergeben sich für die beschriebenen Verfahren zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung die in Tabelle 3.5 abgebildeten Eignungen²⁶⁰.

Eignung	Berücksichtigung Wertstrom	Berücksichtigung Kostenentstehung	Abbildung Kostenentwicklung
Opitz	○	◐	●
Möller	◐	◐	◐
Rogalski	◐	○	○
Reuter	◐	●	○
Böttcher	○	○	○
Kobyłka	○	○	◐
Sesterhenn	○	○	○
Lanza	◐	○	●
Zäh & Müller	◐	◐	◐
Heger	◐	○	◐
Schauerhuber	○	○	○
Damisch	○	○	○
Liedtke	◐	◐	○
Müller	◐	◐	◐
Bayer	○	◐	◐

- geeignet
- ◐ teilweise geeignet
- nicht geeignet

Tabelle 3.5: Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung

²⁶⁰ siehe dazu die Beschreibung in Kapitel 3.1

4 Anforderungen an das Modell

Die Anforderungen an ein Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen unterteilen sich in allgemeine Anforderungen an ein Modell und spezifische Anforderungen an die Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen. Dabei wird ein Modell als Abbildung der Realität verstanden, wobei sich das Verständnis des Modellbegriff erweitert hat und neben der Anschaulichkeit auch weitere Anforderungen stellt²⁶¹:

- Verständnis der Ist-Situation und zugehöriger Probleme und Erscheinungsformen.
- Identifizierung von Ursache-Wirkbeziehungen.
- Mögliche Ableitung von Maßnahmen.
- Unterstützung der Systemgestaltung.
- Abbildung des statischen und dynamischen Verhaltens des Systems.

Diese Anforderungen bilden die Aufgabenstellung und Zielsetzung des Modells ab und können daher als Grundlage übernommen werden.

4.1 Allgemeine Anforderungen

Gemäß der Ausprägungen des Modellbegriffs muss eine **Angemessenheit von Aufwand und Nutzen bzw. Güte** gewährleistet sein, um den Einsatz in der Praxis zu ermöglichen und zu etablieren²⁶². Aus dem Zusammenhang von Modellaufwand und Modellgüte lassen sich die genannten Anforderungen weiter detaillieren^{263,264}:

Aufwand:

- Anschaulichkeit
- Überschaubarkeit
- Leistungsfähigkeit

Güte:

- Richtigkeit
- Eindeutigkeit/ Genauigkeit
- Vollständigkeit

²⁶¹Vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.6ff.

²⁶²Vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.7ff.

²⁶³Vgl. BRIEL 2002, S.38ff.

²⁶⁴Vgl. PFEFFER 2012, S.26ff.

Ergänzt werden diese Anforderungen um ein Kriterium, das für sämtliche Anforderungen Gültigkeit besitzt. Die **Datengüte** ist in großem Ausmaß für das Ergebnis der Anwendung verantwortlich und nimmt daher einen hohen Stellenwert ein²⁶⁵. Dabei ist zu beachten, dass auch der Datenerfassungsaufwand immer in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen stehen sollte^{266,267}.

Anschaulichkeit bezeichnet den erreichten Abstraktionsgrad, der ohne signifikanten Datenverlust erreicht werden kann. Eine ausreichende **Überschaubarkeit** ist dann gegeben, wenn die Anzahl der Elemente auf ein handhabbares Maß für den Anwender reduziert, bzw. eine große Anzahl an Elementen dahingehend klassifiziert werden kann, dass die Klassenanzahl ein überschaubares Maß annimmt. **Leistungsfähigkeit** beschreibt die Größe des Einsatzgebietes der Vorgehensweise und wird in diesem Fall in erster Linie auf die Art und Ausprägung der betrachtbaren Wertströme bezogen. Damit keine wesentliche Verfälschung der Realität verursacht wird, muss die **Richtigkeit** des Modells gewährleistet werden. Ziel der **Eindeutigkeit** ist es, nur diejenigen Daten zu betrachten, die in Ausprägung und Auswirkung tatsächlich relevant für das Modell sind²⁶⁸. Die einzelnen Elemente müssen soweit voneinander abgrenzbar sein, dass der Interpretationsspielraum minimiert wird und dem Anwender durch Reproduzierbarkeit und Transparenz die Sinnhaftigkeit und der Nutzen des Vorgehens durchgängig ersichtlich ist²⁶⁹. Die **Vollständigkeit** sagt aus, ob alle geforderten Elemente zur Zielerreichung des Modells beschrieben werden können. Dabei muss für das vorgestellte Modell der gesamte Wertstrom, sowie mögliche Veränderungen der Struktur und der zugehörigen Kostenverläufe abgebildet werden. Die Kapazität der zugehörigen Ressourcen darf dabei nicht vernachlässigt werden.

4.2 Anforderungen an ein Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen

Die relevanten Anforderungen, die sich aus der Problemstellung in Kapitel 1.2 ergeben, stellen die Grundlage für das vorgestellte Modell dar und dienen der Gegenüberstellung des vorgestellten Ansatzes mit Bestehenden:

- Berücksichtigung des gesamten Wertstroms.
- Berücksichtigung der Kostenentstehung entlang des Wertstroms.
- Abbildung der Kostenentwicklung.

4.2.1 Berücksichtigung des Wertstroms

Die Betrachtung von Prozessabläufen entlang eines Wertstroms innerhalb der Produktion stellt sicher, dass sämtliche **Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Produktionsprozessen** entlang dieses Wertstroms mit in die Bewertung einfließen. Dabei werden sowohl die vor- und nachgelagerten **Bestandsentwicklungen** der einzelnen Prozesse

²⁶⁵vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.7

²⁶⁶vgl. SESTERHENN 2003, S.36ff.

²⁶⁷vgl. SCHUH ET AL. 2004, S.117

²⁶⁸vgl. PFEFFER 2012, S.28

²⁶⁹vgl. SESTERHENN 2003, S.36ff.

betrachtet, als auch deren Verlauf entlang des Wertstroms. Bestände, die am Ende einer Wertschöpfungskette anfallen, binden höheres Kapital, als am Anfang der Kette, da im Produktionsverlauf dem Produkt Wert in Form von qualitativer, quantitativer, räumlicher oder zeitlicher Veränderung hinzugefügt wurde und dementsprechend mehr Ressourcen wie beispielsweise Maschinen- und Personalkapazitäten oder Material beansprucht wurden. Darüber hinaus können dem Wertstrom auch Prozesse aus unterschiedlichen **produktionsnahen Bereichen** zugeordnet werden, die in Abhängigkeit zu den Produktionsprozessen stehen. Diese Bereiche sind für die Unterstützung der Produktion zuständig, tragen allerdings nur mittelbar zur Wertsteigerung bei. Diese Bereiche verursachen Kosten, da sie direkt oder indirekt von den produzierten Produkten beansprucht werden. Die verursachungsgerechte Zuordnung dieser Kosten kann durch die prozessorientierte Betrachtung des Wertstroms gewährleistet werden. Die Berücksichtigung des Wertstroms wird demnach durch die Berücksichtigung folgender Aspekte widergespiegelt:

- Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Produktionsprozessen
- Bestandsentwicklungen
- Abhängigkeiten produktionsnaher Bereiche

4.2.2 Berücksichtigung der Kostenentstehung im Wertstrom

Mit der Wertstromorientierung geht unmittelbar die Forderung nach der Produktionsstruktur- und Engpassbetrachtung einher. Die Abhängigkeit der Kosten von diesen Strukturen ist für diesen Ansatz eine wesentliche Voraussetzung. Wird innerhalb des betrachteten Wertstroms die **Kapazität** eines Prozessschritts (dem Engpass) durch das betrachtete Produktionsprogramm erreicht oder überschritten, hat das eine Anpassung der Produktionsstruktur zur Folge. Diese Anpassung erfolgt dabei entweder durch die **Investition in zusätzliche Kapazitäten** (Maschinen, Anlagen, Personalaufstockung, etc.) oder durch Anpassung der Kapazitätsbelegung. Bei einem gegebenen Produktionsprogramm ist das möglicherweise durch die **Anpassung der Losgrößen** und zugehörigen Reichweiten erreichbar. Dadurch können losabhängige Rüst- und Handlingaufwände reduziert und die dafür benötigte Kapazität reduziert werden, was möglicherweise eine Kostenreduktion nach sich zieht. Durch die Anpassung der Produktionsstruktur ist es jedoch möglich, dass ein neuer Engpass entsteht. Darüber hinaus müssen auch diejenigen **Kapazitätsgrenzen** betrachtet werden, die nicht ohne weiteres aufgelöst werden können, beispielsweise Flächenbegrenzungen, welche eine Erhöhung des Bestandes über die vorhandene Fläche hinaus nicht ermöglichen. Diese Beziehungen und Wechselwirkungen müssen in die Betrachtung mit einfließen, um die Kosten, die sich aus diesen Veränderungen ergeben (Investitionen in Maschinen und Anlagen, Lohnkosten für Bearbeitung, Rüsten oder Handling, Kapitalbindungskosten durch Bestandserhöhungen) mit berücksichtigen zu können.

Die Forderung nach der Berücksichtigung der Kostenentstehung im Wertstrom wird durch folgende Betrachtungsobjekte gewährleistet:

- Kapazität
- Investition in zusätzliche Kapazität

-
- Anpassung der Losgrößen
 - Kapazitätsgrenzen

4.2.3 Abbildung der Kostenentwicklung

Die entstandenen Kosten müssen in rechnerischer Abhängigkeit zu denjenigen Größen gesetzt werden, die durch Veränderung eine Kostenanpassung herbeiführen. Die Beanspruchung der Kapazitäten ist davon abhängig, wieviele **Stückzahlen** an den jeweiligen Ressourcen produziert werden und welche Ausprägungen die unterschiedlichen **Varianten** aufweisen. Dabei können unterschiedliche **Bearbeitungszeiten** der jeweiligen Varianten anfallen, unterschiedliche **Rüstzeiten**, **Handlingaufwände**, **Produktionsabfolgen** und es können unterschiedliche **Mindestlosgrößen** durch technologische Produkteigenschaften vorgegeben werden. Diese Merkmale führen zu verschiedenen Kapazitätsbeanspruchungen durch die unterschiedlichen Varianten. Verändern sich die Stückzahlen der einzelnen Varianten oder kommen neue Varianten zum Produktionsprogramm dazu, verschieben sich die Bedarfe an den unterschiedlichen Kapazitäten, dementsprechend nehmen sie entscheidend Einfluss auf die Produktionsstruktur und den zugehörigen Engpass.

Um die Kostenentwicklung abbildbar zu machen, müssen dementsprechend folgende Daten spezifiziert werden und in rechnerische Abhängigkeit zu den Kosten gesetzt werden:

- Stückzahlen
- Varianten
- Bearbeitungszeiten
- Rüstzeiten
- Handlingaufwände
- Produktionsabfolgen
- Mindestlosgrößen

Die beschriebenen Merkmalsausprägungen haben sowohl Auswirkungen auf die Verteilung der fixen Kosten auf die jeweiligen Varianten, als auch auf die Gesamtkostenentwicklung durch mögliche Investitionen in Maschinen und Anlagen durch Kapazitätsüberschreitungen, Lohnkostenerhöhung durch zusätzlichen Bearbeitungs-, Rüst- oder Handlingaufwand oder durch Erhöhung der Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens bei erhöhten Losgrößen. Veränderte Produktionsprogramme wirken sich demnach auch auf die Produktionsstrukturen durch Engpassverschiebung und Losgrößenveränderung aus.

Die Anforderung der Abhängigkeitsermittlung von Kostenverläufen zu Produktionsprogramm und Produktionsstruktur stellt folglich die konsequente Abbildung und Weiterführung der beschriebenen Ausprägungen dar.

4.3 Abgleich bestehender Ansätze mit den Anforderungen

Bestehende Ansätze zur Bewertung von Wertströmen legen den Fokus nicht auf die Ermittlung und Entstehung von Kosten entlang des Wertstroms, sondern meist auf die qualitative

und quantitative Einordnung bestehender und zukünftiger Wertströme in die Betriebsstrategie. Dabei können Abhängigkeiten von Kosten zu Produktionsprogramm und -struktur und dementsprechend die Kosten bei veränderten Szenarien nicht umfassend abgebildet werden. Methoden der Kostenrechnung können dabei allerdings unterstützen.

Grundlage sämtlicher Kostenrechnungsverfahren sind die Kostenarten und Kostenstellen, die auf die Kostenträger umgelegt werden. Das kann sowohl durch Zuschlagssätze geschehen, als auch verursachungsgerecht durch Prozesskostenrechnungsverfahren. Die dafür notwendigen Kostentreiber werden einmalig ermittelt und für ein gegebenes Produktionsprogramm angewendet. Verändern sich die Mengen oder auch die Zusammensetzung des Produktionsprogramms durch zusätzliche Varianten wird sich auch das zugehörige Kostengefüge verändern. Diese Veränderungen im Produktionsprogramm können in bestehenden Kostenrechnungsverfahren nur schwer rechnerisch abgebildet werden²⁷⁰. Ändert sich die Zusammenstellung des Produktionsprogramms ohne dass Kostenarten angepasst werden, kann das zu ungenauen Plankosten führen²⁷¹.

Werden innerhalb der Kostenrechnung Gemeinkostensätze gebildet, werden die Zuschlagssätze häufig durch eine Funktion gebildet, die nicht zwingend der Realität entspricht. So sind z.B. Materialgemeinkosten keine Funktion des Einkaufspreises, sondern vielmehr eine Funktion aus bestellten Mengen, Variantenzahlen und Bestellhäufigkeiten. Die Fertigungsgemeinkosten sind in den meisten Fällen eher eine Funktion der Produktkomplexität und der Losgrößen, als eine Funktion der Bearbeitungszeiten.

Prozessorientierte Kostenrechnungssysteme werden der Forderung nach der Betrachtung von Abfolgen innerhalb eines Unternehmens gerecht. Die verursachungsgerechte Zuordnung von Kosten auf die Kostenträger und deren Abhängigkeit von den jeweiligen Produktvarianten dient als geeignete Grundlage für den in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz. Die Betrachtung von Ressourcen und zugehörigen Kapazitäten und deren möglichen Anpassungen werden allerdings nicht ausreichend berücksichtigt, da eine Veränderung der Produktionsstruktur auch eine Veränderung der Kostenstrukturen zur Folge hat und diese rechnerischen Zusammenhänge nicht im Fokus dieser Systeme stehen. Für die Veränderung der Supportkosten bei Veränderung der Variantenstruktur kann der prozessorientierte Ansatz weitgehend angewendet werden.

Betrachtungsobjekte der Investitionsrechenverfahren sind Maschinen und Anlagen, deren technologische Ausprägungen und Abhängigkeiten entlang des Wertstroms im Rahmen der Investitionsrechnung keine ausreichende Betrachtung finden. Somit werden mögliche Kapazitätsengpässe vorhergehender bzw. nachfolgender Prozesse nicht berücksichtigt und somit möglicherweise falsche Annahmen bezüglich produzierter Mengen und Kapazitätsausnutzung getroffen. Eine Veränderung des Produktionsprogramms und damit verbundener dynamischer Kostenverläufe und Zahlungsströme kann innerhalb der Investitionsrechnung rechnerisch nicht ausreichend abgebildet werden. Zahlungsreihen werden anhand eines bestimmten Zukunftsszenarios abgeschätzt und eventuell mit Faktoren zur Bewertung von Unsicherheiten versehen. Die mathematische Abbildung von Veränderungen der Zahlungsreihen durch unterschiedliche Szenarios aufgrund von zusätzlichen Variantenzahlen oder veränderter Produktionsstruktur ist nicht Hauptziel von Investitionsrechenverfahren.

²⁷⁰vgl. BULLINGER 2003, S.839

²⁷¹vgl. ZINGEL 2004, S.104

Neben betriebswirtschaftlichen Bewertungsansätzen existieren zahlreiche Ansätze zur Planung, Optimierung und Bewertung von Prozessketten und flexiblen Produktionssystemen. Eine Betrachtung des gesamten Wertstroms anhand der Verknüpfungen der Prozesse und den daraus resultierenden Kosten und die Einbeziehung eines veränderlichen Produktionsprogramms hinsichtlich Stückzahlen und Varianten und daraus resultierenden Kapazitätsverschiebungen werden von keinem Ansatz ausreichend abgedeckt.

Tabelle 4.1 zeigt die Abdeckung²⁷² der Ansätze aus Kapitel 3 hinsichtlich der beschriebenen Anforderungen an ein Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen und die darin betrachteten Bewertungsobjekte.

Anforderungen	Berücksichtigung Wertstrom durch			Berücksichtigung Kostenentstehung durch				Abbildung Kostenentwicklung durch						
	Wechselw. Produktionsprozesse	Bestandsentwicklungen	Abh. produktionsnaher Bereiche	Kapazität	Kapazitätsgrenzen	Invest in zusätzliche Kapazität	Anpassung der Losgrößen	Stückzahlen	Varianten	Mindestlosgrößen	Bearbeitungszeiten	Rüstzeiten	Handlingaufwände	Produktionsabfolgen
BESTEHENDE ANSÄTZE														
Wertstrombewertung		●				◐								◐
Kostenrechnung		○				●								◐
Prozessorientierte Kostenrechnung		◐				●								◐
Investitionsrechenverfahren		○				◐								◐
Flex.-Kostenentw.bewertung		◐				◐								◐

- geeignet
- ◐ teilweise geeignet
- nicht geeignet

Tabelle 4.1: Abdeckung der Anforderungen durch die unterschiedlichen Ansätze

²⁷² siehe dazu die Beschreibung in Kapitel 3.1

5 Logische Zusammenhänge im Modell

Bevor das Modell zur Abbildung von Kostenentwicklungen im Wertstroms beschrieben werden kann, werden vorab die Zusammenhänge und Prämissen erläutert, die für dessen Anwendung benötigt werden und diesen Ansatz verdeutlichen:

- Wertstromorientierung
 - Prämissen
 - Engpassentstehung im Wertstrom
 - Abhängigkeiten zwischen Stückzahlen und Varianten über den EPEI
- Kosten im Wertstrom
 - Einflussfaktoren und Kostentreiber
 - Kosten im Produktionsprozess
 - Kosten in Puffer und Lager
 - Kosten in Supportbereichen und Administration
- Kostenentwicklung im Wertstrom
 - Auswirkungen von Stückzahlschwankungen auf die Wertstromkosten
 - Auswirkungen von Variantensteigerungen auf die Wertstromkosten

5.1 Wertstromorientierung

Wertströme werden von Produktionsunternehmen sowohl zur strategischen, als auch operativen Planung herangezogen. Dabei wird die Produktion nicht in klassische Kostenstellen - welche sich häufig an Werkstattstrukturen orientieren - eingeteilt, um Insellösungen und eine dadurch mögliche Verschlechterung der Gesamtleistung des Wertstroms hinsichtlich Durchlaufzeit und Effizienz zu vermeiden. Eine Wertstromorientierung impliziert das Streben nach der Senkung der Durchlaufzeit durch Reduzierung von Losgrößen und Beständen und stellt eine Grundvoraussetzung für die in dieser Arbeit beschriebenen Bewertungen dar.

5.1.1 Prämissen

Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessen und Puffern ist eine wesentliche Anforderung des vorgestellten Ansatzes, da diese für die Ermittlung der Gesamtkosten (fixe und variable Kosten) wesentlich sind²⁷³. Dementsprechend werden die

²⁷³Vgl. SCHNEIDER 2004, S.3ff.

Zustände des Wertstroms im Gegensatz zur klassischen Wertstromanalyse²⁷⁴ nicht anhand einer Momentaufnahme ermittelt, sondern durch Berechnungsgrundlagen verknüpft. Dabei wird gemäß der Kundentaktlogik des Wertstroms²⁷⁵ von einer gleich- und regelmäßigen Nachfrage der Kunden über den betrachteten Zeitraum ausgegangen, so dass sich der Jahresbedarf gleichmäßig über die Produktionstage im Jahr verteilen lässt und Durchschnittswerte für Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Handlingaufwände je Produktvariante über diesen Betrachtungszeitraum hinweg angenommen werden können. Unterschiedliche Produktvarianten können unterschiedliche Bearbeitungs-, Rüst- und Handlingzeiten benötigen. Der Bedarf an einem Produktionstag (Tagesbedarf) ist die Berechnungsgrundlage für die durchschnittlich angegebene Reichweite des Bestandes²⁷⁶. Für diese Betrachtungsweise wird von gleich- und regelmäßigen Einzelabrufen (keine Losgrößenabrufe) durch den Kunden ausgegangen²⁷⁷. Ein wesentlicher Indikator für Engpässe im Wertstrom sind Bestände und die damit verbundene hohe Durchlaufzeit des einzelnen Produktes. Um die Durchlaufzeit zu reduzieren, müssen in erster Linie diese Warte- und Liegezeiten reduziert werden, da sie im Vergleich zu den tatsächlichen Prozesszeiten von Maschinen- und Anlagen meistens den wesentlich größeren Anteil darstellen. Aus dieser Annahme wiederum ergibt sich die Forderung nach möglichst geringen Losgrößen, die für die Reichweiten der Bestände verantwortlich sind. Die Losgrößenreduzierung wird demnach als ständige Zielsetzung für den betrachteten Wertstrom unterstellt.

Die Produktionsprozesse, die gemäß ihrer Ablaufreihenfolge abgebildet werden, sind dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den darin enthaltenen Bearbeitungsschritten der Materialfluss nicht unterbrochen wird. Ein Prozess kann sich folglich aus einem oder auch mehreren Arbeitssystemen zusammensetzen, solange keine Bestände zwischen den Arbeitsschritten gelagert werden. Jegliche Bestandsmengen, die vor oder zwischen den Produktionsprozessen auftreten, werden zwar durch ein für ein Lager stehendes Dreieckssymbol abgebildet, allerdings wird die gelagerte Menge an Rohmaterialien, halbfertigen Teilen oder Fertigwaren²⁷⁸ nicht manuell ergänzt, sondern durch die in Kapitel 6 beschriebenen mathematischen Zusammenhänge rechnerisch ermittelt. Neben Produktions- und Logistikprozessen werden auch Planungs-, Steuer- und Kontrollprozesse, die den Ablauf der Aktivitäten beeinflussen, durch die Aufnahme von Supportprozessen einbezogen²⁷⁹.

Um eine sinnvolle Strukturierung der Produktion in einzelne Wertströme zu ermöglichen, werden Produktfamilien gebildet, bevor mit der Wertstromaufnahme begonnen wird. Eine Produktfamilie zeichnet sich dadurch aus, dass die darin zusammengefassten, unterschiedlichen Varianten eines Produkts annähernd dieselben Produktionsprozesse durchlaufen und ähnliche Anforderungen an die Prozesse und die Mitarbeiter stellen²⁸⁰. Die derartige Kategorisierung des Produktsortiments kann durch die Bildung von Produktionsablaufschemata und abschließender Ableitung einheitlicher Anforderungen an die Betriebsmittel geschehen. Die Auswahl einer für die Methode geeigneten Produktfamilie kann nach unterschiedlichen

²⁷⁴vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.13ff

²⁷⁵vgl. ERLACH 2010, S.47ff.

²⁷⁶vgl. Kapitel 5.1.3.3

²⁷⁷vgl. Kapitel 2.5

²⁷⁸vgl. KLEVERS 2007, S.34ff.

²⁷⁹vgl. EYER UND SCHÜRFELD 2004, S.54ff.

²⁸⁰vgl. TAPPING ET AL. 2002, S.151

Gesichtspunkten, wie zum Beispiel dem Anteil am Gesamtumsatz, der Komplexität des Produktionsablaufs oder auch der Wichtigkeit des Endkunden geschehen und ist immer unternehmensspezifisch abzuwägen.

ROTHER und SHOOK empfehlen als Grundlage dieser Auswahl die Produktfamilien-Matrix, in der alle Produkte und deren durchlaufenen Prozessschritte erfasst werden^{281,282}. Produkte innerhalb einer Produktionsfamilie können durchaus unterschiedliche Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten beanspruchen, in diesem Fall wird ein Repräsentant der Produktfamilie ausgewählt, der die Anforderungen an die Produktion wiedergibt und eine Übertragung der Erkenntnisse auf die restlichen Varianten aufwandsarm ermöglicht. In dem hier vorgestellten Ansatz werden sämtliche Varianten einer Produktfamilie betrachtet - die Auswahl eines geeigneten Repräsentanten entfällt demnach. Eine ausführliche Beschreibung zur Bildung von Produktfamilien liefert ERLACH²⁸³.

Innerhalb des Produktionsablaufes der betrachteten Produktfamilie wird der Fokus auf den Hauptzweig der Schlüsselkomponente gesetzt, so dass abzweigende Prozesse in separaten Wertströmen erfasst werden können und die Komplexität des Betrachtungsraums reduziert werden kann.

5.1.2 Engpassentstehung im Wertstrom

Zusätzlich zu den im Wertstrom enthaltenen Kennzahlen werden für diesen Ansatz zusätzliche Werte benötigt. Folgende Kennwerte sind demnach für diesen Ansatz relevant, da sie die Produktionsprozesse und Puffer begrenzen und somit für den Output des Wertstromes verantwortlich sind.

- Produktionsprogramm und -menge
- verfügbare Arbeitszeit und OEE
- Tagesbedarf und Kundentakt
- Bearbeitungszeiten der Prozesse
- Rüstzeiten der Prozesse
- Flächen

Flächen spielen im Wertstromdesign²⁸⁴ vorerst keine Rolle, da sich die Darstellung und Optimierung des Wertstroms auf die Organisation der Abläufe konzentriert. Sollen allerdings sämtliche Aufwände im Wertstrom erfasst werden, müssen die benötigten Flächen und deren Abhängigkeiten von Produktionsprogramm und strukturellen Veränderungen beachtet werden, da auch sie einen Engpass in der Produktion darstellen können.

5.1.2.1 Produktionsprogramm und -menge

Für die Aufnahme des aktuellen Zustands des Wertstroms sind Vergangenheitswerte bzw. aktuelle Werte zunächst ausreichend. Sie bestehen aus den nachgefragten Varianten und den

²⁸¹vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.6

²⁸²vgl. STADLER 2010, S.60

²⁸³vgl. ERLACH 2010, S.38ff.

²⁸⁴vgl. Kapitel 2.1.2

zugehörigen Stückzahlen. Eine Variante ist dann gegeben, wenn unterschiedliche Bearbeitungszeiten, Bearbeitungsschritte, Geschäftsprozesse oder notwendige Rüstvorgänge anfallen. Als nachgefragte Stückzahlen wird dabei der Jahresbedarf bezeichnet. Für die Berechnung der Kennzahlen im Wertstrom wird aus diesem Jahresbedarf meistens der Tagesbedarf abgeleitet, also die Stückzahl, die pro Tag jeweils und über alle Varianten nachgefragt und dementsprechend produziert oder vorgehalten werden muss. Die von den Kunden tatsächlich nachgefragten Produkte müssen allerdings noch um einen Ausschussanteil erweitert werden. Das gleiche gilt für sonstige benötigte Produkte, beispielsweise für Ausstellungsstücke, Service oder Ähnliches. Die sich daraus ergebenden Stückzahlen stellen eine absolute Bedingung dar - die Befriedigung der Nachfrage muss in jedem Fall sichergestellt werden.

Für diese Arbeit sind die unterschiedlichen Werte der einzelnen Varianten für die Abbildung zukünftiger Entwicklungen entscheidend und werden deshalb gesondert aufgenommen.

5.1.2.2 Verfügbare Arbeitszeit und OEE

Kapazitätsgrenzen oder Engpässe in der Produktion führen zu einer Begrenzung der möglichen Produktionsmenge. Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, können Engpässe in Form von Personal auftreten, durch mangelnde Ressourcen wie Maschinen und Werkzeuge entstehen oder durch begrenzte Flächen in der Produktion existieren. Wird eine dieser Grenzen erreicht, d.h. wird mehr vom Kunden nachgefragt, als der Wertstrom innerhalb der bestehenden Kapazitätsgrenzen produzieren kann, kann entweder die Nachfrage langfristig nicht befriedigt werden oder es müssen Investitionen zur Behebung der Engpässe getätigt werden. Zur Bestimmung der Kapazitätsgrenzen der Maschinen und Mitarbeiter im Wertstrom muss diejenige Zeit ermittelt werden, die für die Produktion tatsächlich zur Verfügung steht und für den betrachteten Wertstrom verwendet werden kann. Theoretisch ist es möglich, 365 Tage im Jahr 24 Stunden lang zu produzieren. Dieser Fall tritt allerdings nur sehr vereinzelt auf, wie beispielsweise in der Stahlherstellung. In der Regel werden Anlagen und Maschinen, die den Einsatz von Mitarbeitern im Unternehmen erfordern, zu ähnlichen Schichtmodellen wie deren Mitarbeiter betrieben. Diese Schichtmodelle geben die Arbeitszeit pro Jahr und pro Tag an und können für jedes Unternehmen verschieden sein. Nach der Ermittlung der Schichtmodelle der einzelnen Prozesse und deren Mitarbeiter müssen weitere Zeitanteile von der daraus resultierenden Stundenanzahl abgezogen werden. Stillstände durch Pausen, Wartung und Instandhaltung oder ungeplante Stillstände verringern die tatsächlich für die Produktion zur Verfügung stehende Zeit. Overall Equipment Effectiveness (OEE) ist eine Kennzahl zur Messung der Effektivität einer Maschine oder Anlage und beschreibt deren Auslastungsverluste²⁸⁵. Dabei werden von der Gesamtbetriebszeit Zeit-, Leistungs- und Qualitätsverluste abgezogen, um die Nettoproduktivzeit für eine 0-Fehler Ausbringungsmenge zu ermitteln (siehe Abbildung 5.1). Die OEE gibt gute Anhaltspunkte, welche Zeitanteile berücksichtigt werden müssen, allerdings kann diese Herangehensweise in diesem Zusammenhang nur bedingt übernommen werden, da die OEE von einem festen Produktionsprogramm determiniert wird und dementsprechend alle Zeiten, wie beispielsweise Rüstzeiten, vor der Berechnung zugeordnet werden müssen. Das bedeutet, die Kennzahl OEE kann nur dann berechnet werden, wenn die gesamten Rüstaufwände und die gesamten Bearbeitungszeiten über alle zu produzierenden Produkte bereits bekannt sind. Da in diesem Zusammenhang von einem sich mittelfristig

²⁸⁵Vgl. NIEMANN UND WESTKÄMPER 2003, S.53ff.

verändernden Produktionsprogramm ausgegangen wird, wird eine verfügbare Arbeitszeit benötigt, die vorerst von den benötigten Rüst- und Bearbeitungsaufwänden unabhängig ist. Fehlerhafte Teile wurden möglicherweise schon in der Ermittlung der Produktionsmenge mit

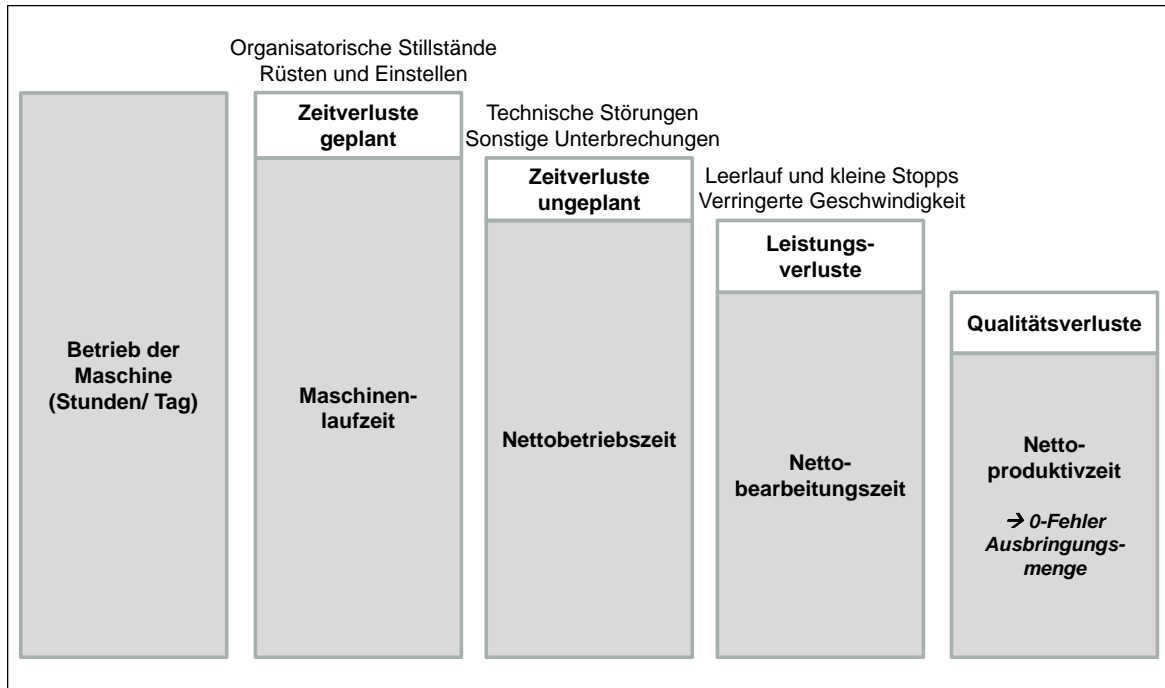


Abbildung 5.1: Ermittlung von Auslastungsverlusten²⁸⁶

berücksichtigt - dann sollte diese Zeit hier nicht zusätzlich abgezogen werden, da sonst eine geringere Arbeitszeit als tatsächlich vorhanden angenommen wird. Die Rüstaufwände stellen in der hier beschriebenen Vorgehensweise eine Variable dar, die sich mit der Veränderung des Produktionsprogrammes ändert. Deshalb wird die Zeit für Rüsten und Einstellen nicht von der verfügbaren Arbeitszeit abgezogen, sondern gesondert betrachtet.

Werden noch andere Produkte außerhalb des betrachteten Wertstroms auf der Maschine oder Anlage bearbeitet, verringert die dafür notwendige Zeit als feste Größe die Verfügbarkeit des Prozesses für den betrachteten Wertstrom. Die Verfügbarkeit beschreibt die Zeit, die für die Produktion zur Verfügung stehen würde, müsste man an der Kapazitätsgrenze des Produktionsprozesses produzieren, d.h. würde jedes produzierte Teil auch direkt abgesetzt werden können. Die Produktionszeit ist diejenige Zeit, in der tatsächlich produziert und gerüstet wird. Ist die Produktionszeit kleiner als die Verfügbarkeit, so steht die Maschine oder Anlage über die Zeit der Differenz still.

Wird in dieser Arbeit von verfügbarer Arbeitszeit oder Verfügbarkeit gesprochen, kann im Sinne der OEE entweder die Nettobearbeitungszeit angesetzt werden, bei der sowohl organisatorische Stillstände, technische Störungen und sonstige Unterbrechungen, als auch Stopps und Leerläufe von der Gesamtbetriebszeit abgezogen werden; Rüstzeiten und verringerte Geschwindigkeiten bleiben allerdings unberücksichtigt, da diese erst im Nachhinein durch

²⁸⁶In Anlehnung an MAY UND KOCH 2008, S.247 und PFEFFER 2012, S.65

veränderliche Rüstaufwände und benötigte Bearbeitungszeiten eingegeben werden. Müssen veränderte Geschwindigkeiten in Betracht gezogen werden, müssen in diesem Ansatz die Bearbeitungszeiten dementsprechend angepasst werden. Oder es wird die Nettoproduktivzeit angesetzt und fehlerhafte Teile damit aus der betrachteten Produktionsmenge ausgeschlossen, allerdings müssen auch hier die vom Produktionsprogramm abhängigen Zeiten separat betrachtet werden.

Teilt man die verfügbare Arbeitszeit oder Verfügbarkeit durch die Summe der Bearbeitungszeiten bekommt man die Stückzahl, die maximal in dieser Zeit an der Anlage produziert werden kann. Diese Stückzahl gibt die Kapazitätsobergrenze des Prozesses an. Werden mehrere parallele Anlagen betrachtet, kann die verfügbare Arbeitszeit des durchgeführten Prozessschritts für alle parallelen Anlagen durch Addition berechnet werden.

5.1.2.3 Tagesbedarf und Kundentakt

Der Kundentakt ergibt sich aus der verfügbaren Arbeitszeit und der nachgefragten Stückzahl. Die täglich verfügbare Arbeitszeit dividiert durch den Tagesbedarf gibt an, in welchem Abstand der Kunde das Produkt nachfragt. Der Tagesbedarf ist ein gemittelter Wert aus Stückzahlen pro Jahr über alle Varianten durch die Betriebstage im Jahr und setzt eine gleichmäßige Nachfrage über den Betrachtungszeitraum voraus.

Die nachgefragte Stückzahl begrenzt den Output der Produktion insofern, dass die Produktion nicht benötigter Einheiten über einen längeren Zeitraum Überproduktion und somit Verschwendung darstellt. Es kann in der Regel nicht davon ausgegangen werden, dass jede produzierte Einheit vom Markt abgenommen wird. Ist das der Fall liegt die oberste Priorität des Unternehmens auf der Generierung von Output und es müssen neue Strategien zur Kapazitätserweiterung entwickelt werden. Wie beschrieben ist die Erfüllung der Nachfrage Grundvoraussetzung für diesen Ansatz - sowohl Nichterfüllung, als auch Überproduktion sind dementsprechend von der Betrachtung ausgeschlossen.

5.1.2.4 Bearbeitungs- und Rüstzeiten

Werden die Bearbeitungszeiten mit den bestehenden oder prognostizierten Stückzahlen multipliziert, ergibt sich die Zeit, die jeden Tag für die tatsächliche Produktion zur Deckung des Tagesbedarfs aufgewendet werden muss. Wird diese Zeit von der verfügbaren Zeit abgezogen, erhält man die an einem Tag oder innerhalb eines betrachteten Zeitraumes noch für Rüstvorgänge zur Verfügung stehende Zeit. Für jeden Rüstvorgang wird eine bestimmte Rüstzeit benötigt. Jede Variante kann an jedem Prozess unterschiedliche Rüst- und Bearbeitungszeiten beanspruchen. Die Rüstzeiten können darüber hinaus auch dahingehend variieren, dass bei der Umstellung von einer Variante auf eine zweite andere Rüstzeiten entstehen, als auf eine beispielsweise dritte Variante. Dies führt in der Praxis meistens zur Optimierung der Produktionsreihenfolge, um die jeweiligen Rüstzeiten einer Variante möglichst gering zu halten. Bei bestehender Reihenfolge können die für diese Reihenfolge gültigen Rüstzeiten angenommen werden. Haben die unterschiedlichen Prozesse unterschiedliche favorisierte Reihenfolgen und werden diese auch beibehalten, können ebenfalls die jeweils minimalen Rüstzeiten angenommen werden, allerdings müssen dann die Werte für den Bestandsaufbau dahingehend

angepasst werden, dass keine synchrone Produktion und keine Variantenentnahme aus dem Puffer gemäß des First- In- First -Out Prinzips erfolgen kann. In dieser Arbeit wird von gleichbleibenden Rüstreihenfolgen entlang des Wertstroms ausgegangen, um die Komplexität des Ansatzes nicht zu erhöhen.

Die durch die Summe der verschiedenen Bearbeitungszeiten eines Prozesses ermittelbare Zeit für Rüstvorgänge wird in Verhältnis zur Summe der verschiedenen Rüstzeiten für jede Variante gesetzt. Daraus lässt sich ableiten, in welchem Zeitraum die Tagesbedarfe aller Varianten produziert und gerüstet werden können. Diesen Zusammenhang beschreibt die Kennzahl EPEI (Every Part Every Interval)²⁸⁷.

5.1.2.5 Flächen

Flächen nehmen in der Wertstrommethode eine Sonderstellung ein, da sie keine Beachtung in der klassischen Wertstromaufnahme erfahren. Im Rahmen dieser Arbeit spielen sie allerdings dann eine Rolle, wenn durch Veränderungen in der Produktionsstruktur durch Investitionen, Bestandsveränderungen oder zunehmendes Transportaufkommen entweder zusätzliche Flächen benötigt werden - die entweder an einer anderer Stelle freigesetzt werden können, oder nicht - oder durch zusätzlich benötigte Flächen zusätzliche Kosten durch Kapital, Zinsen und Transportaufwände entstehen. Dabei muss immer beachtet werden, ob Flächeneinsparungen auch tatsächlich freigesetzt werden können. Hinsichtlich der Fixkostenbelastung ist dies nur dann möglich, wenn eine komplette Halle geräumt, oder ein bestimmter Bereich aus Sicht der Kostenrechnung komplett einem anderen Bereich zugerechnet werden kann und soll. Aus fabrikplanerischer Sicht kann es allerdings trotzdem hilfreich sein, Flächen einzusparen und zu optimieren, um ein mögliches Wachstum weiterhin mit bestehenden Flächen abzudecken. Aber auch das ist meist nur dann der Fall, wenn sich die frei gewordene Fläche an der richtigen Stelle befindet, die notwendigen Voraussetzungen erfüllt und in ausreichender Größe zur Verfügung steht. Wird beispielsweise zusätzliche Fläche für eine neue Maschine benötigt, muss diese Fläche entweder in der Nähe der bisherigen Maschine liegen oder leicht durch Restrukturierung dorthin transferiert werden können. Außerdem muss die Fläche den benötigten Anforderungen der Maschine entsprechen, beispielsweise eine bestimmte Hallenhöhe aufweisen oder klimatische Bedingungen erfüllen. Für den Fall einer Investition in einen oder mehrere Prozesse im Wertstrom, sollte beachtet werden, dass dieser Wertstrom wenn möglich auch ins Layout übertragen werden sollte, um erstens einen optimalen Ablauf mit kurzen Wegen und aufwandsarmen Prozessverknüpfungen zu ermöglichen, als auch gewachsene Strukturen innerhalb der Produktion zu vermeiden. Die richtige bzw. optimale Ausrichtung der Wertstromobjekte wird in dieser Arbeit nicht überprüft. Lediglich durch die Aufnahme von Handlingprozessen, welche auch den Transportaufwand zwischen den Prozessen beinhalten, und dafür möglicherweise zusätzlich benötigte Geschäftsprozesse, wird eine indirekte Bewertung des zugehörigen Layouts vorgenommen.

5.1.3 Zusammenhänge im Wertstrom über den EPEI

Die in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Kennwerte sind Bestandteil der Flexibilitätskennzahl EPEI (Every Part Every Interval). Durch diese Kennzahl werden Mindestlosgrößen an den Prozes-

²⁸⁷vgl. Kapitel 5.1.3

sen induziert und können Bestände in den nachfolgenden Puffern abgeschätzt werden. Stückzahlen und Varianten beeinflussen sich gegenseitig, da sie um Kapazitäten "konkurrieren" und deshalb über den EPEI voneinander abhängig sind.

5.1.3.1 EPEI - Every Part Every Interval

Wird im betrachteten Wertstrom nicht nur eine Variante, sondern mehrere an den gleichen Wertstromressourcen gefertigt, werden im Regelfall Rüstvorgänge benötigt. Diese Rüstvorgänge müssen ebenfalls im Kundentakt vorgenommen werden können. Der EPEI ist die Flexibilitätsskennzahl innerhalb des Wertstroms und gibt an, in welchem Zeitraum ein Prozess in der Lage ist, alle Varianten zu produzieren und zu rüsten und dabei eine ständige Deckung des Bedarfes sicherzustellen. Im Idealfall kann im Kundentakt sowohl die Bearbeitungszeit, als auch die notwendige Rüstzeit erfolgen, so dass alle nachgefragten Produkte nacheinander produziert werden können, ohne Bestände aufzubauen und Lose zu bilden. Da Rüstzeiten allerdings häufig zeitintensiv sind, ist diese Annahme wenig realistisch. Um den Kundentakt dennoch sichern zu können, werden Lose gefertigt. Die Bildung von Loses verzögert die Produktion einzelner Varianten, da erst sämtliche Teile eines Loses den Prozess durchlaufen müssen, bevor eine neue Variante gefertigt werden kann. Dadurch wird möglicherweise der Tagesbedarf einzelner Varianten nicht im Kundentakt gedeckt, dafür stellen die Losgrößen einen Bestand zur ständigen Deckung des Tagesbedarfs sicher (siehe Abbildung 5.2).

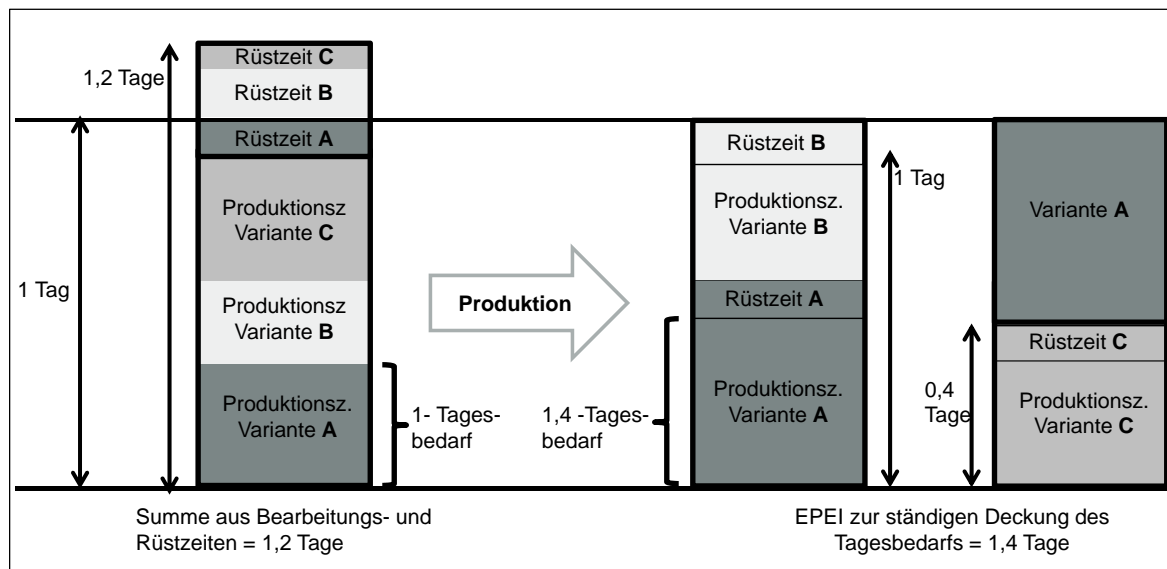


Abbildung 5.2: Einhaltung des Kundentakts durch Losgrößen

Es werden also möglicherweise nicht alle Varianten an einem Tag gefertigt, dafür in höheren Mengen als der Tagesbedarf, um diejenigen Tage überbrücken zu können, an denen die Variante nicht gefertigt wird. Der EPEI gibt an, wie lange es dauert, bis alle Varianten in den entsprechenden Losgrößen gefertigt werden können. Er betrachtet dabei sowohl den Tagesbedarf, welcher gedeckt werden muss, um die Kundennachfrage zu befriedigen, als auch die

benötigten Rüstzeiten, die für die einzelnen Varianten anfallen (siehe Abbildung 5.3).

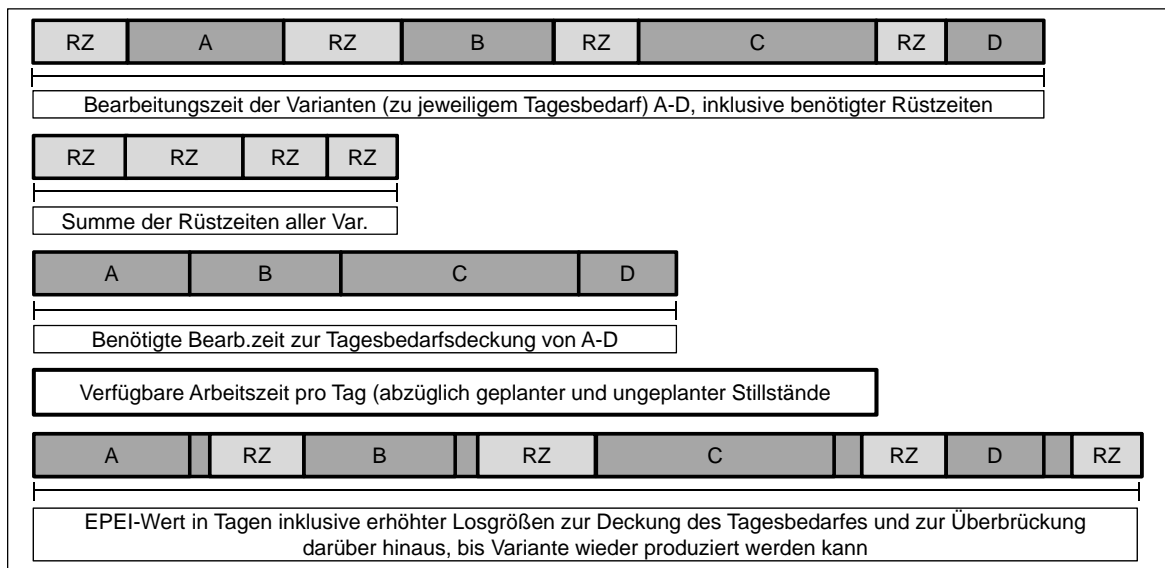


Abbildung 5.3: Bestandteile des EPEI²⁸⁸

Gleichung 5.1 gibt denjenigen EPEI Wert an, der für die gegebenen Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten und die verfügbare Arbeitszeit²⁸⁹ bei einer Ressource minimal ist²⁹⁰.

$$EPEI_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n RZ_i}{V_t - \sum_{i=1}^n (BZ_i \times TB_i)} \quad (5.1)$$

mit

$EPEI_{min}$ = minimal möglicher EPEI [Tage]

RZ_i = Rüstzeit der Variante i [min]

BZ_i = Bearbeitungszeit der Variante i [min]

V_t = verfügbare Arbeitszeit pro Tag [min]

TB_i = Tagesbedarf (Stückzahlen pro Tag) der Variante i

Die Gleichung gibt das Verhältnis von benötigter Rüstzeit für alle Varianten zu der fürs Rüsten verfügbaren Arbeitszeit an. Diese ergibt sich wiederum aus verfügbarer Arbeitszeit für die Produktion pro Tag weniger der Zeit, die für die Produktion des Tagesbedarfes benötigt wird. Der EPEI sagt also aus, dass alle Varianten nur innerhalb eines bestimmten Zeitraumes

²⁸⁸in Anlehnung an PFEFFER 2012, S.64

²⁸⁹vgl. Kapitel 5.1.2.2

²⁹⁰vgl. GOTTMANN ET AL. 2012, S.187ff.

produziert werden können. Ist dieser Zeitraum größer, als die Summe aller Rüst- und Bearbeitungszeiten (durch Bearbeitung und Rüsten jeweils eines Produktes) müssen Losgrößen gebildet werden, die die Bevorratung zur Deckung der Nachfrage pro Variante sicher stellen. Ein EPEI kleiner einem Tag lässt sich dabei auf gleiche Weise interpretieren - die zugehörigen Losgrößen haben dementsprechend eine Reichweite kleiner einem Tag.

Bei bereits festgelegten und vorgegebenen Losgrößen lässt sich ein EPEI Wert für den momentanen Zustand ermitteln (siehe Gleichung 5.2^{291,292}). Dieser ist für einen gegebenen Zustand immer mindestens so groß wie der minimale EPEI. Geringere Losgrößen vorauszusetzen, als durch den minimalen EPEI errechnet wurden, macht nur dann Sinn, wenn Maßnahmen zur Reduktion von Rüst- und/oder Bearbeitungszeiten vorgenommen wurden oder das Produktionsprogramm angepasst werden kann.

$$EPEI_{ist} = \frac{\sum_{i=1}^n RZ_i + \sum_{i=1}^n (BZ_i \times LG_i)}{V_t} \quad (5.2)$$

mit

$EPEI_{ist}$ = bestehender EPEI [Tage]

RZ_i = Rüstzeit der Variante i [min]

BZ_i = Bearbeitungszeit der Variante i [min]

V_t = verfügbare Arbeitszeit pro Tag [min]

LG_i = Losgröße der Variante i

Der EPEI wird beeinflusst von den Rüstzeiten der verschiedenen Varianten, der verfügbaren Arbeitszeit, den Bearbeitungszeiten und des nachgefragten Bedarfs. Die Gesamtbearbeitungszeit für den gesamten nachgefragten Bedarf begrenzt die von der verfügbaren Arbeitszeit übrig bleibende Zeit, die für Rüstvorgänge eingesetzt werden kann. Unter der Annahme, dass diese Zeit vollständig genutzt wird, um möglichst viele Rüstvorgänge zu ermöglichen und dadurch die Losgrößen so gering wie möglich zu halten, ergibt sich durch die einzelnen Rüstzeiten der Varianten die Anzahl an Rüstvorgängen, die in der verfügbaren Arbeitszeit noch durchführbar sind. Daraus lassen sich die notwendigen, durch den EPEI induzierten Mindestlosgrößen und der durchschnittliche Bestand nach der betrachteten Anlage ableiten (siehe Abbildung 5.4).

Im Falle einer Maschinenbedienung durch einen Mitarbeiter müssen auch die Vorgabezeiten des Mitarbeiters mit in die Betrachtung einfließen. Braucht dieser eine längere Bearbeitungszeit als die Maschine, die in dieser Zeit auf den Mitarbeiter wartet, so begrenzt er den maximal möglichen Output in diesem Prozess und erhöht den EPEI.

²⁹¹vgl. ERLACH 2010, S.208ff.

²⁹²vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.54

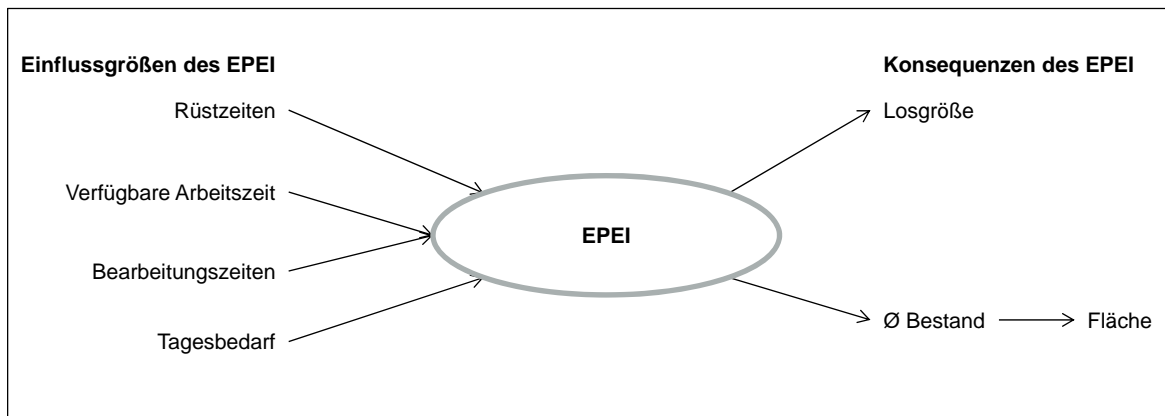


Abbildung 5.4: Einflussgrößen des EPEI

5.1.3.2 Losgrößen

Können nicht alle, für die benötigten Varianten erforderlichen Rüstvorgänge in dieser Zeit durchgeführt werden, müssen Lose gebildet werden. Dann wird der gemittelte Tagesbedarf möglicherweise nur durch eine oder wenige Varianten gedeckt, welche allerdings in höheren Stückzahlen als dem Tagesbedarf pro Variante gefertigt werden, so dass ein Bestand aufgebaut wird. Durch zusätzliche Varianten erhöht sich der EPEI, die dadurch induzierte Losgröße und die dafür benötigten Bestände.

Die Mindestlosgröße an einer Ressource bei gegebenen Prozesskennzahlen ergibt sich für eine Variante i direkt aus dem EPEI (siehe Gleichung 5.3).

$$LG_{iEPEI} = EPEI \times TB_i \quad (5.3)$$

mit

LG_{iEPEI} = durch den EPEI induzierte Losgröße der Variante i

TB_i = Tagesbedarf (Stückzahlen pro Tag) der Variante i

Die durch den EPEI induzierte Mindestlosgröße beschreibt diejenige Losgröße, die benötigt wird, um den Tagesbedarf genau zu decken. Ist die vorgegebene Losgröße höher, dann erhöhen sich die Stillstandzeiten in der Produktion, da die Bearbeitungszeiten aller Teile und alle zugehörigen Rüstzeiten die technisch verfügbare Zeit nicht mehr ausnutzen. Die Mindestlosgröße ist also diejenige, bei der die gesamte Zeit, die zum Rüsten noch zur Verfügung steht (nach Abzug aller Bearbeitungszeiten), auch für Rüstvorgänge genutzt wird. Dies führt - unter der Annahme, dass keine Losgrößen vom Kunden nachgefragt werden - zu einer Minimierung des Bestandes. Werden größere Losgrößen eingesetzt, bleibt ein Teil der verfügbaren Arbeitszeit ungenutzt, oder es werden zusätzliche Produkte produziert, die vom Kunden allerdings nicht nachgefragt werden.

5.1.3.3 Bestände und Reichweiten

Wird der gemittelte Tagesbedarf möglicherweise nur durch eine oder wenige Varianten gedeckt, werden diese in höheren Stückzahlen als der Tagesbedarf pro Variante gefertigt, so dass ein Bestand entsteht, wenn die Kundenanfragen nicht selbst in Losgrößen erfolgen, wovon in diesem Ansatz nicht ausgegangen wird. Dieser Bestand hat minimal eine Reichweite in Höhe des EPEI und ermöglicht die Deckung des Tagesbedarfes pro Variante in den folgenden Tagen, an denen andere Varianten produziert werden. Der EPEI entspricht also derjenigen Reichweite, die der Bestand abdecken muss. Ändert sich der EPEI ändert sich in genau gleichem Maße die benötigte Reichweite - das gilt für den tatsächlich produzierten EPEI, unabhängig von einem möglichen minimalen EPEI. Wird die sich aus dem EPEI ergebende Mindestlosgröße gefertigt, ist die Reichweite gleich dem minimalen EPEI. Abbildung 5.5 veranschaulicht die Reichweite von Losgrößen und deren kontinuierlichen Abbau des entstandenen Bestandes entlang dieser Reichweite.

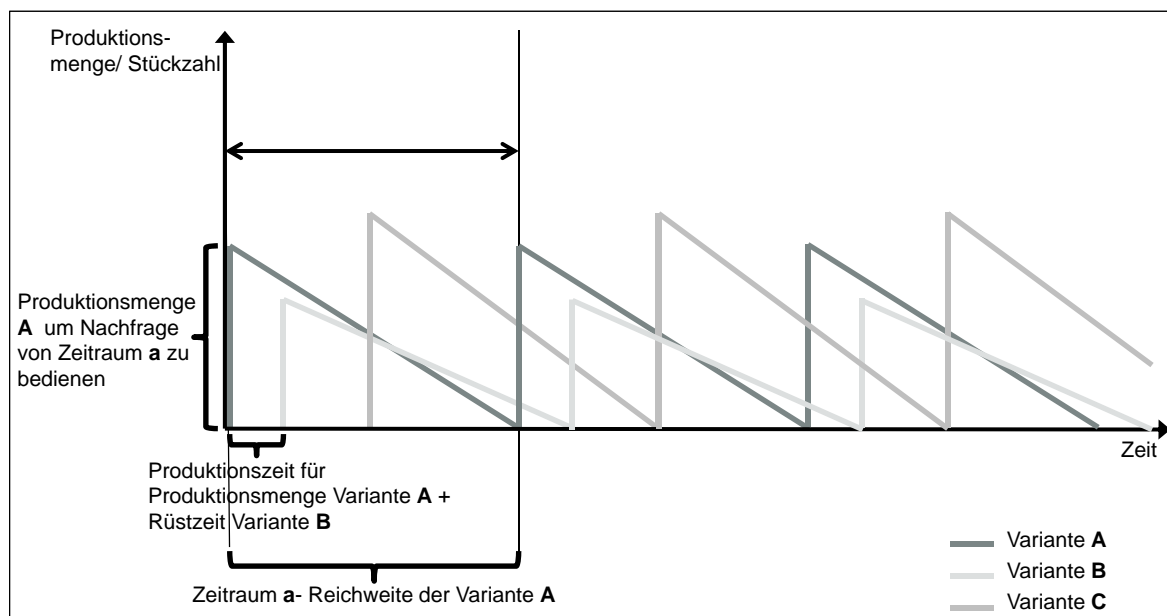


Abbildung 5.5: Losgrößen, Reichweiten und Bestandsabbau

Je größer der EPEI, umso länger muss der Bestand ausreichen, um den Tagesbedarf pro Variante decken zu können. Erhöhen sich die Varianten erhöht sich der EPEI aufgrund des erhöhten Rüstbedarfs und somit auch die Reichweite des Bestandes. Der Bestand im Wertstrom bezeichnet diejenigen Teile und Produkte, die sich in der Produktion zwischen zwei Prozessen, entweder in einem Puffer oder Lager befinden, oder direkt vor dem Prozess auf ihre Bearbeitung warten. Der Bestand wird dabei zwar in Anzahl Stück im Bestand aufgenommen, allerdings erfolgt dann die Umrechnung des Bestandes in Reichweite. Die Reichweite ist diejenige Zeit, die der Bestand - wenn der Vorgängerprozess nicht mehr weiter produzieren würde - für die Weiterverarbeitung im Folgeprozess ausreicht, bis die Folgemaschine angehalten werden müsste. Dementsprechend wird die Reichweite des Bestandes in Tagen angegeben. Die Reichweite bildet die Menge ab, die unmittelbar nach der Produktion des Loses in den

Puffer oder das Lager kommt. Der durchschnittliche Bestand gibt diejenige Menge an, die sich im Mittel tatsächlich im Puffer befindet. Der Bestand ist demnach von der Zu- und Abgangsgeschwindigkeit der Teile oder Produkte abhängig. Wird eine gleichmäßige Abgangsgeschwindigkeit angenommen, ist der mittlere Bestand gleich der Hälfte der Reichweite - die vom Vorgängerprozess in den Puffer produziert wurde und dem EPEI dieses Prozesses entspricht - mal dem Tagesbestand (siehe Gleichung 5.4).

$$Bestand_i = \frac{EPEI \times TB_i}{2} \quad (5.4)$$

mit

$Bestand_i$ = mittlerer Bestand der Variante i

TB_i = Tagesbedarf (Stückzahlen pro Tag) der Variante i

Von einer gleichmäßigen Abgangsgeschwindigkeit sollte nur dann ausgegangen werden, wenn keine detaillierteren Annahmen über den Bestandsabgang getroffen werden können. Beispielsweise, wenn an den aufeinanderfolgenden Prozessen vor und nach dem betrachteten Puffer die gleichen Losgrößen produziert werden, allerdings keine klar definierten Reihenfolgen zwischen den beiden zugehörigen Prozessen festgelegt werden und von einer gleichverteilten Verweildauer der einzelnen Lose ausgegangen wird. Auch wenn nach einer Losproduktion auf Losgröße 1 umgestellt wird und gemäß Kundenanfrage gleichverteilt die unterschiedlichen Varianten gefertigt werden, ist eine gleichmäßige Abgangsgeschwindigkeit realistisch.

Ist eine gleichmäßige Abgangsgeschwindigkeit für den betrachteten Puffer nicht realistisch, können Bestandsverläufe anhand der EPEI-Werte der zugehörigen Prozesse abgeschätzt werden, ohne die Komplexität des Modells durch Simulation der exakten Verläufe zu erhöhen. Gemäß der Beschreibung von Trichtermodell und Durchlaufdiagramm²⁹³ können die Zu- und Abgangskurven im Puffer durch den jeweiligen EPEI des vor- und des nachgelagerten Prozesses abgebildet werden (siehe Abbildung 5.6), wenn von einem gleichbleibenden Produktionsabstand und gleichbleibenden Reichweiten ausgegangen wird und die EPEI-Werte keine Vielfachen voneinander sind.

Dabei produziert der Vorgängerprozess bei einem $EPEI_{Zugang}$ eine Losgröße der Menge $EPEI_{Zugang} \times Tagesbedarf$. Dabei entsteht eine Treppenfunktion für den Bestandszugang. Die Fläche einer Treppenfunktion lässt sich durch das Integral aus Gleichung 5.5²⁹⁴ berechnen.

$$\int_X f(x) = \sum_{a=1}^n l(X_a) \times y_a \quad (5.5)$$

mit

$l(X_a)$ = Länge des Intervalls X_a

y_a = Wert der Funktion f auf dem Intervall X_a

²⁹³vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.17ff.

²⁹⁴vgl. KARMANN 2008, S.189ff.

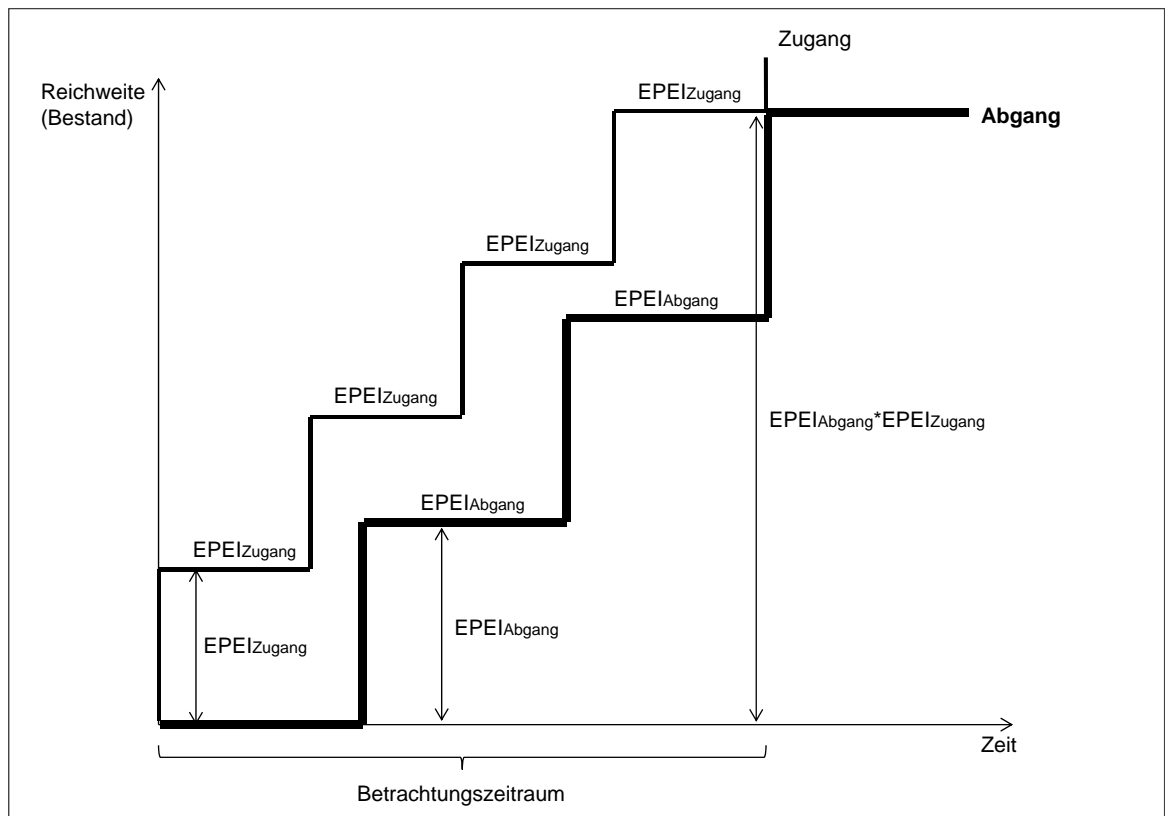


Abbildung 5.6: Zu- und Abgangskurve in Abhängigkeit der EPEI-Werte aus Vorgänger- und Nachfolgerprozess

Die Länge des jeweiligen Intervalls entspricht dabei immer dem zugehörigen EPEI. Der Wert der Funktion auf dem Intervall ergibt sich aus der diskreten Variable a mal dem EPEI. Die diskrete Variable a nimmt Werte zwischen 1 und n an, wobei n als Obergrenze des betrachteten Zeitraums anzusehen ist. Daraus lässt sich folgende Formel ableiten:

$$\int f(EPEI_{Zugang}) = \sum_{a=1}^n EPEI_{Zugang} \times EPEI_{Zugang} \times a \quad (5.6)$$

$$\int f(EPEI_{Zugang}) = EPEI_{Zugang}^2 \times \sum_{a=1}^n a \quad (5.7)$$

Die Summe der diskreten Variablen a kann ersetzt werden durch

$$\sum_{a=1}^n a = \frac{n \times (n + 1)}{2} \quad (5.8)$$

Die Obergrenze n wird durch den EPEI des Nachfolgeprozesses vorgegeben, wenn der Betrachtungsraum der Zu- und Abgänge als Produkt aus dem EPEI des Vorgänger- und dem EPEI des Nachfolgeprozesses festgelegt wird. Mit $n = EPEI_{Abgang}$ ergibt sich daraus

$$\int f(EPEI_{Zugang}) = EPEI_{Zugang}^2 \times \frac{EPEI_{Abgang} \times (EPEI_{Abgang} + 1)}{2} \quad (5.9)$$

Für den zugehörigen Bestandsabgang aus dem Puffer kann analog vorgegangen werden, allerdings ist zu beachten, dass die Obergrenze n nicht durch $EPEI_{Zugang}$ beschränkt ist, sondern durch $EPEI_{Zugang} - 1$, da der Vorgängerprozess mit der Produktion beginnen muss, damit der Nachfolgeprozess aus dem Puffer Teile entnehmen kann. Das erste Intervall der Abgangsfunktion hat dementsprechend den Wert 0. Für die Abgangsfunktion ergibt sich demnach:

$$\int f(EPEI_{Abgang}) = EPEI_{Abgang}^2 \times \frac{(EPEI_{Zugang} - 1) \times EPEI_{Zugang}}{2} \quad (5.10)$$

Die beiden berechneten Flächen werden voneinander subtrahiert, um die Fläche zwischen beiden Funktionen zu berechnen. Teilt man diese Funktion durch die Anzahl der betrachteten Tage, also dem Betrachtungszeitraum ($EPEI_{Zugang} \times EPEI_{Abgang}$), so ergibt sich die mittlere Reichweite des Bestandes im Puffer (siehe Gleichung 5.11).

$$\begin{aligned} RW_{\emptyset} &= \frac{EPEI_{Zugang}^2 \times \frac{EPEI_{Abgang} \times (EPEI_{Abgang} + 1)}{2}}{EPEI_{Zugang} \times EPEI_{Abgang}} \\ &\quad - \frac{EPEI_{Abgang}^2 \times \frac{(EPEI_{Zugang} - 1) \times EPEI_{Zugang}}{2}}{EPEI_{Zugang} \times EPEI_{Abgang}} \\ &= \frac{EPEI_{Zugang} + EPEI_{Abgang}}{2} \end{aligned} \quad (5.11)$$

mit

$$RW_{\emptyset} = \text{mittlere Reichweite des Bestands}$$

Kann davon ausgegangen werden, dass am gleichen Tag in den Puffer produziert und für die weitere Produktion wieder entnommen werden kann, kann das entsprechende Ergebnis um den Wert 1 reduziert werden. Daraus ergibt sich

$$RW_{\emptyset} = \frac{EPEI_{Zugang} + EPEI_{Abgang}}{2} - 1 \quad (5.12)$$

Multipliziert mit dem Tagesbedarf der jeweiligen Variante ergibt sich daraus der durchschnittliche Bestand der Variante.

Wird eine exakte Ermittlung des Bestandsniveaus angestrebt, sei auf das Trichtermodell²⁹⁵ oder die Abbildung des Puffers oder Lagers in Simulationsmodellen verwiesen.

Voraussetzung für die Bestandsbetrachtung bei Losfertigung ist, dass alle für das Los notwendigen Produkte vor dem Prozess verfügbar sind. Ansonsten ist der Nachfolgeprozess möglicherweise nicht in der Lage mit einem Los zu starten, obwohl ein Teil des Loses bereits vor dem Prozess bereitsteht. Das kann zu ungeplanten Stillstandzeiten führen, was vor allem am Engpass unbedingt zu vermeiden ist.

Können produzierte Lose direkt an den nächsten Prozess weitergegeben werden, welcher dieses Los direkt weiterverarbeiten kann, kann die Bestandsreichweite vernachlässigt bzw. die Handlingzeit als Verweilzeit übernommen werden.

Die EPEI-induzierten Mindestlosgrößen sollten nur dann aufgelöst werden, wenn technologisch notwendig und dadurch keine Bestandserhöhung durch Verschlechterung der Prozessverknüpfungen mit eingeht. Ist eine Auflösung notwendig, sollten die unterschiedlichen Losgrößen möglichst ein Vielfaches voneinander darstellen. Dadurch können fehlende Teilmengen bei unsynchronisierten Prozessen vermieden und notwendige Sicherheitsbestände reduziert werden.

Durch verschiedene Gegebenheiten kann es notwendig sein, über die ermittelte Reichweite hinaus einen Sicherheitsbestand vor und oder nach einem Prozess vorzuhalten. Vor dem Engpass kann es sinnvoll sein, zusätzliche Bestände vorzuhalten, um bei einem möglichen Ausfall vorgelagerter Prozesse die Produktion am Engpass sicherzustellen und den Output nicht unmittelbar zu gefährden. Bestimmte qualitative Eigenschaften eines Produktes führen häufig zu zusätzlichen Warte- bzw. Liegezeiten auch nach den zugehörigen Prozessen. Beispielsweise Trocknungszeiten müssen dann eingehalten werden und bestimmen dann die Mindestreichweite des Bestandes. Der Bestand kann allerdings auch durch vorgegebene Puffergrößen und Flächenengpässe begrenzt werden.

Diese Randbedingungen werden durch die Wertstromaufnahme nicht direkt erfasst, sondern müssen separat gezielt ermittelt werden.

Soll für den gesamten Wertstrom oder zumindest mehrere Prozesse ein EPEI gewählt werden, kann auch ein verknüpfter EPEI durch Summenbildung innerhalb der jeweiligen Formeln ermittelt werden.

5.1.3.4 Abhängigkeiten zwischen Stückzahlen und Varianten

Die Werte der Prozesse begrenzen, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, die produzierbaren Stückzahlen, die einen Kapazitätsbedarf an die Prozesse durch ihre Bearbeitungszeiten stellen. Diese werden selten durch eine einzige Variante beschrieben. Sobald mehrere Varianten gefertigt werden, kommen Rüstzeiten hinzu, welche zusätzlichen Kapazitätsbedarf verursachen und durch Losgrößenbildung zu Beständen führen.

Neben technischen Gegebenheiten gibt es Eingangsgrößen aus dem Markt, auf die die Produktion keinen unmittelbaren Einfluss hat. Zudem sind diese Eingangsgrößen unsicher und können nicht immer exakt prognostiziert werden. Diese beziehen sich vor allem auf Art und Menge der vom Kunden nachgefragten Produkte. Die Art der Produkte stellen dabei die unterschiedlichen Varianten dar, die entweder bereits vom Unternehmen angeboten werden,

²⁹⁵Vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.17ff.

oder die noch bei Bedarf generiert werden müssen. Die Menge bezieht sich sowohl auf das gesamte Produktionsvolumen eines Jahres über alle Varianten, sowie auf die Stückzahlen der einzelnen Varianten.

Für zukünftige Entwicklungen sind dabei mehrere Szenarien denkbar²⁹⁶, für welche unterschiedliche Handlungsalternativen zur Verfügung stehen:

- Kapazitätsanpassung/ Investition - Erhöhung möglicher Gesamtstückzahl
- Losgrößenanpassung - Erhöhung möglicher Gesamtstückzahl
- Bestandsanpassung - Erhöhung der Variantenanzahl

Bei einer intensitätsmäßigen Anpassung verändert sich das Produktionsprogramm selbst, durch Anpassung der variantenabhängigen Bearbeitungszeiten.

Technisch gesehen sind Stückzahlen nach unten nicht begrenzt (Werte für Stückzahlen und Variantenanzahlen kleiner eins sind ausgeschlossen), praktisch gesehen muss langfristig die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens gesichert werden und eine kritische Stückzahl dadurch überschritten werden. Die Ermittlung dieser Grenze ist nur dann möglich, wenn sich die Kosten für die produzierte Menge und die zugehörige Variantenanzahl abschätzen lassen. Die in dieser Arbeit beschriebene Vorgehensweise ermöglicht die Annäherung an die dafür notwendigen Informationen. Nach oben sind die produzierten Stückzahlen durch die Kapazität am Engpass begrenzt²⁹⁷. Die zur Produktion zur Verfügung stehende Zeit geteilt durch die durchschnittliche Bearbeitungszeit gibt die maximal mögliche Produktionsmenge an.

Die Anzahl der Varianten wird in dieser Arbeit als nach oben durch die Anzahl der Stückzahlen begrenzt angesehen. Eine höhere Variantenanzahl als Produkte hergestellt werden ist zwar möglich, bedeutet allerdings, dass Varianten innerhalb eines Jahres nicht abgesetzt werden - sie finden in dieser Vorgehensweise keine Beachtung. Wird die Kapazität durch die produzierte Menge voll beansprucht, kann auch eine Variantenanzahl von eins die Obergrenze darstellen. Ist keine beliebige Bestandshöhe in der Produktion, beispielsweise durch begrenzte Flächen, Verfallsdaten oder Durchlaufzeitgrenzen, zugelassen, so wird die Variantenanzahl indirekt durch die Reichweite des Bestands begrenzt. Durch die Erhöhung des Bestands verändern sich auch die Kosten für Kapitalbindung in der Produktion. Können die Varianten nicht wie hier dargestellt durch Durchschnittswerte beschrieben werden, können zusätzliche Varianten mit einer höheren Standardabweichung höhere Kosten für Bearbeitung, Rüst- oder Handlingaufwände verursachen. Durch diese Kostenentwicklungen kann eine zusätzliche Variante auch bei einer bisher wirtschaftlichen Produktionsmenge zu einer Verschiebung der Gewinnschwelle des Produktionsprogramms führen und dadurch die Anzahl der Varianten nach oben limitieren. Dieser Zusammenhang zwischen Stückzahlen und Varianten lässt sich durch den EPEI darstellen, wenn von mittelfristig unveränderbaren Bearbeitungs- und Rüstzeiten ausgegangen werden kann (siehe Abbildung 5.8). Steigende Varianten erhöhen selbst bei gleichbleibenden Stückzahlen und Ausgangswerten (Bearbeitungs- und Rüstzeiten) den Kapazitätsbedarf durch zusätzliche Rüstzeiten, dadurch steigt der EPEI und die daraus ableitbare Reichweite der Losgrößen. Steigen die Stückzahlen erhöht sich der Kapazitätsbedarf durch Stückzahlen, die zum Rüsten verbleibende Zeit sinkt und es müssen höhere Losgrößen gebildet werden, um den Tagesbedarf zu decken, wenn von einer kompletten Nutzung der verfügbaren Arbeitszeit für Rüstvorgänge ausgegangen wird.

²⁹⁶vgl. Kapitel 6.4.1

²⁹⁷vgl. Kapitel 2.1.3

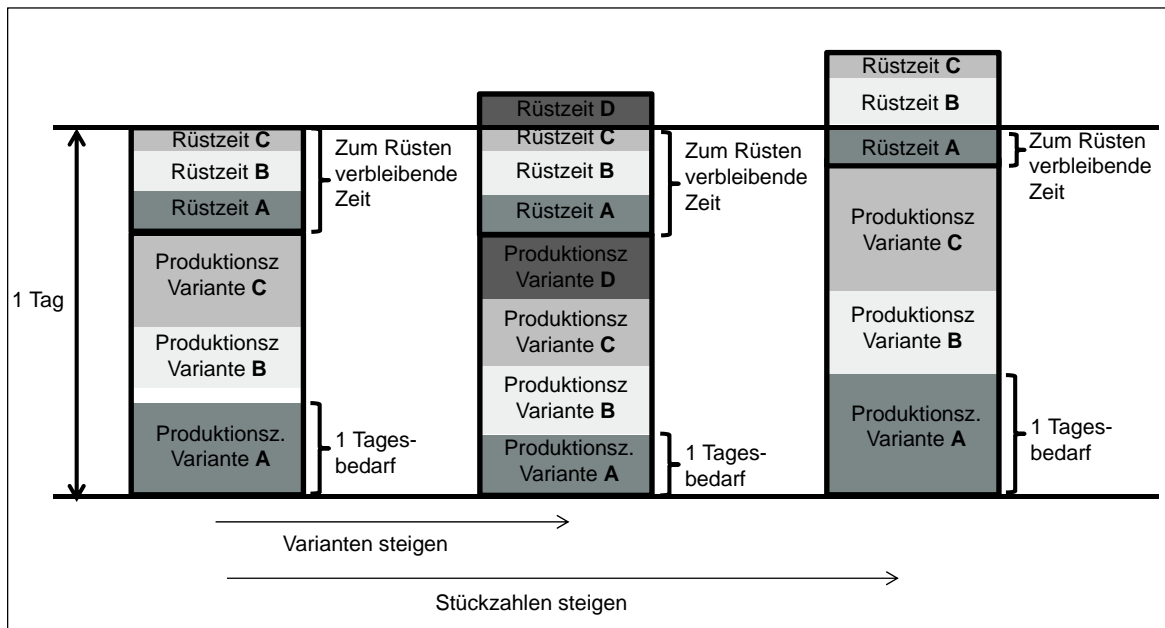


Abbildung 5.8: EPEI- Erhöhung durch zusätzliche Varianten und Stückzahlen

Unter der vereinfachenden Annahme, dass sämtliche Rüstzeiten und Bearbeitungszeiten gemittelt werden können (ansonsten können anstatt Durchschnittswerten natürlich auch gemäß Gleichung 5.1 die Summen der Rüstzeiten aller Varianten und Bearbeitungszeiten des gesamten Tagesbedarfs eingesetzt werden), ergibt sich für den EPEI folgende Gleichung 5.15:

$$EPEI_{\emptyset} = \frac{RZ \times \#Var}{V_t - BZ \times TB} \quad (5.15)$$

mit

$EPEI_{\emptyset}$ = EPEI bei Durchschnittswerten [Tage]

$\#Var$ = Anzahl Varianten

RZ = durchschnittliche Rüstzeit

BZ = durchschnittliche Bearbeitungszeit

V_t = verfügbare Arbeitszeit pro Tag [min]

TB = Tagesbedarf aller Varianten (Gesamtstückzahlen)

Für die durch den EPEI induzierten Losgröße gilt im Mittel dann Gleichung 5.16:

$$LG_{\emptyset} = \frac{EPEI_{\emptyset} \times TB}{\#Var} = \frac{RZ \times TB}{V_t - BZ \times TB} \quad (5.16)$$

mit

LG_{\emptyset} = durchschnittlicher Losgröße

Setzt man Gleichung 5.15 in Gleichung 5.16 ein, wird ersichtlich, dass die durch den EPEI induzierte durchschnittliche Losgröße von der Variantenanzahl bei durchschnittlichen Zeiten und gleichbleibenden Gesamtstückzahlen unabhängig ist. Diese Unabhängigkeit lässt sich so erklären, dass diejenige Zeit, die nach Produktion des notwendigen Tagesbedarfs noch für Rüstvorgänge zur Verfügung steht immer gleich bleibt, unabhängig davon, wieviele Rüstvorgänge für alle Varianten benötigt werden. Bei gleichen Rüstzeiten können in dieser Zeit auch exakt gleich viele Rüstvorgänge getätigt werden, lediglich der Anteil aller Varianten, die in der verfügbaren Zeit produziert werden können, verändern sich. Die Stückzahlen je Variante, die in dieser Zeit produziert werden, bleiben ebenfalls gleich - das einzige, was sich ändert, ist die Reichweite, die die Stückzahl für die jeweilige Variante darstellt. Im Falle steigender Variantenzahlen und einer gleichbleibenden Nachfrage erhöht sich diese Reichweite um die Zeit, die benötigt wird, um die zusätzlichen Varianten zu rüsten und zu produzieren. Der Bestand erhöht sich. Dieser Zusammenhang wird ersichtlich, wenn die Gleichung 5.17 mit Gleichung 5.16 gleichgesetzt wird und nach dem durchschnittlichen Bestand aufgelöst wird (siehe Gleichung 5.18).

$$LG_{\emptyset} = \frac{Bestand_{\emptyset} \times 2}{\#Var} \quad (5.17)$$

$$Bestand_{\emptyset} = \frac{RZ \times \#Var \times TB}{2 \times (V_t - (TB \times BZ))} \quad (5.18)$$

Abbildung 5.9 veranschaulicht diese Zusammenhänge zwischen der Anzahl an Varianten, den produzierten Stückzahlen und der daraus resultierenden Reichweite des Bestandes unter der Prämisse vollständiger Auslastung der verfügbaren Kapazität. Dabei zeigt sich, dass die Erhöhung von Varianten bei gleichbleibender Stückzahl (von Punkt 1 zu 3) mit einer Erhöhung des Bestandsniveaus einher geht bzw. das Bestandsniveau nur bei Verringerung der Stückzahlen beibehalten werden kann (von Punkt 1 zu 4). In diesem Fall wird von einer gleichmäßigen Abgangsgeschwindigkeit des Bestandes ausgegangen. Eine Stückzahlerhöhung (von Punkt 1 zu 2) führt bei gleichbleibenden Varianten ebenfalls bei ständiger Auslastung zu einer Erhöhung des Bestandsniveaus, außer man verzichtet in gleichem Zuge auf bestehende Varianten.

Die Bestandsniveaus können für jede Kombination mithilfe der Formel 5.18 ermittelt werden.

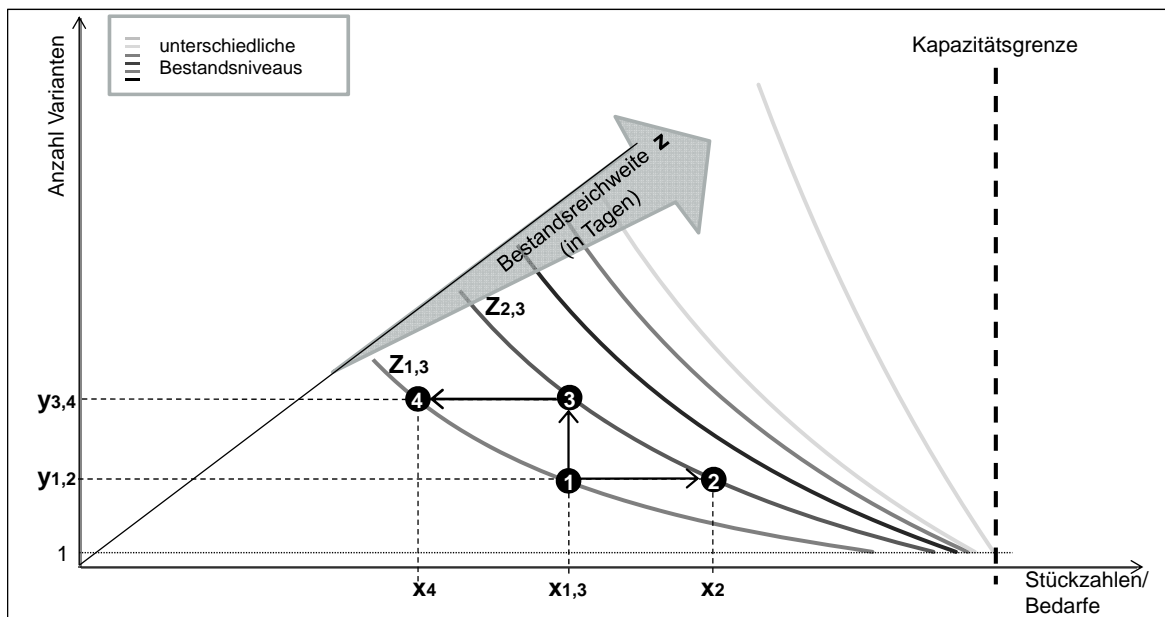


Abbildung 5.9: Zusammenhang zwischen Stückzahlen, Varianten und Bestand bei durchschnittlichen Rüst- und Bearbeitungszeiten (schematische Darstellung)

5.2 Kosten im Wertstrom

Gemäß Abbildung 5.4 determinieren die Kennwerte des Produktionsprogramms den EPEI²⁹⁸, wodurch wiederum Losgrößen und Bestände beeinflusst werden. Abbildung 5.10 erweitert die Darstellung um die daraus beeinflussten Kosten.

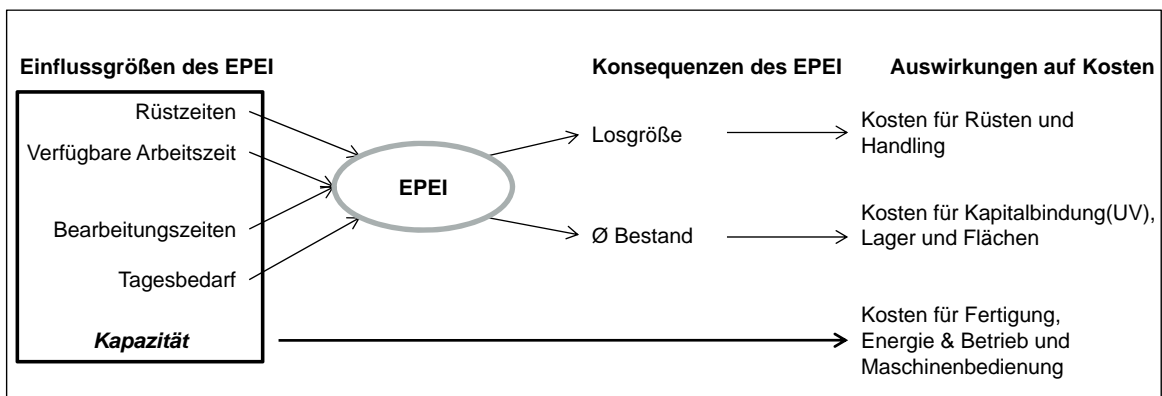


Abbildung 5.10: Abhängigkeit der Kosten vom EPEI

Um die Kosten eines Wertstroms und damit einer Produktfamilie zu ermitteln, müssen zuerst die Aufwände, die für diesen Wertstrom anfallen, identifiziert werden. Der Wertstrom ist dabei im besten Fall so abgegrenzt, dass sämtliche darin enthaltenen Ressourcen und Kapa-

²⁹⁸vgl. Kapitel 5.1.3.1

zitäten komplett diesem Wertstrom zugerechnet werden können. Ist dies nicht der Fall, muss eine klare, anteilige Abgrenzung erfolgen, die sich auch bei veränderten Gegebenheiten nicht ohne weiteres ändern darf. Das ist notwendig, da bei verändertem Produktionsprogramm nicht immer sichergestellt werden kann, dass die zusätzlichen Bedarfe an gemeinsam genutzten Ressourcen durch Übertrag eines anderen beteiligten Wertstroms gedeckt werden können. Oder, dass mögliche freie Kapazitäten vom anderen Wertstrom genutzt und dementsprechend verrechnet werden können. Die genutzte Ressource wird also durch die anteilige Zurechnung zum Wertstrom in ihrer Kapazität für den Wertstrom dahingehend eingegrenzt, dass die verbleibende Kapazität als verfügbare Maximalkapazität angenommen werden kann.

Ziel der hier vorgestellten Vorgehensweise ist es, die Kosten in Abhängigkeit des Produktionsprogramms zu setzen, um Veränderungen im Programm auf die Kosten abbilden zu können. Dabei sollte der Anteil an Gemeinkosten so gering wie möglich gehalten werden, um die Ungenauigkeit der Kostenabbildung zu minimieren. Die Betrachtung der Kosten des gesamten Wertstroms soll ein so genanntes Inseldenken und damit Maßnahmen vermeiden, die möglicherweise nicht zu einer Verbesserung des gesamten Systems beitragen. Durch die Betrachtung des gesamten Wertstroms können tatsächliche Kostenpotenziale ermittelt und die Außwirkung zugehöriger Maßnahmen abgeschätzt werden.

Die klassische Kostenrechnung erfolgt in drei Stufen – Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträgerrechnung^{299,300}. Durch diese Vorgehensweise werden Kosten möglichst verursachungsgerecht verteilt. Diese Verteilung geschieht allerdings auf einem sehr aggregierten Niveau mit einem hohen Anteil an Gemeinkosten. Vor allem der Bereich Material wird dabei sehr undifferenziert behandelt³⁰¹. Materialgemeinkosten enthalten sämtliche logistische Vorgänge, welche eindeutig den Kostentreibern des Produktionsprogramms zugeordnet werden können und deshalb nicht als Gemeinkosten geführt werden sollten. Außerdem sind die Kostenstellen der Fertigung meistens bestimmten Technologien nach dem Werkstattprinzip zugeordnet. Sollen diese Kostenstellen nach dem Wertstromprinzip aufgeteilt werden, entstehen zahlreiche Schnittstellen, die ausreichend detailliert betrachtet werden müssen, um einer möglicherweise ungerechten Verteilung von Gemeinkosten auf die einzelnen Produktfamilien und auf die einzelnen Produkte entgegen zu wirken.

Das hier vorgestellte Modell versucht diese Potenziale zu heben und löst sich deshalb in einem ersten Schritt von bestehenden Kostenstellen.

KERNER unterteilt die Prozesse der Produktion in die Bereiche Produzieren, Transportieren und Lagern^{302,303}. Diese Unterteilung ist für diese Arbeit sinnvoll, da sie auf die Visualisierungsbausteine des Wertstroms als Grundlage für die Zuordnung der Kosten übertragen werden können. Dafür werden die Bereiche Transportieren und Lagern zu einem gemeinsamen Bereich Puffer zusammengefasst. Der Bereich Produzieren entspricht dem Bereich Produktionsprozess. Prozesse, die die Produktion unterstützen werden zusätzlich als Bereich Support definiert. Darunter werden im Folgenden auch die restlichen administrativen Bereiche und Gemeinkosten als leistungsmengenneutrale Kosten betrachtet und abschließend anteilig der Produktfamilie zugeschlagen. Die innerhalb dieser Bereiche ermittelten Kostenarten sind beispielhaft in Abbildung 5.11 aufgeführt, deren rechnerische Ermittlung in den Kapiteln 6.3.1

²⁹⁹vgl. WÖLTJE 2009, S.9ff.

³⁰⁰vgl. Kapitel 3.2.1

³⁰¹vgl. WEBER UND KABST 2009, S.345ff.

³⁰²vgl. KERNER 2002, S.29

³⁰³vgl. Kapitel 3.1

bis 6.3.3 beschrieben wird. Diese Kostenarten können an die Bedürfnisse des betrachteten Betriebs angepasst und ergänzt werden. Beispielsweise können auch Opportunitätskosten für entgangene Deckungsbeiträge als Kostenart mit aufgenommen werden, welche in diesem Ansatz keine Berücksichtigung finden. Materialkosten werden in diesem Ansatz als echte variable Kosten behandelt und können am Ende der Kostenberechnung ohne weitere Abhängigkeiten auf die einzelnen Produkte zugerechnet werden³⁰⁴.

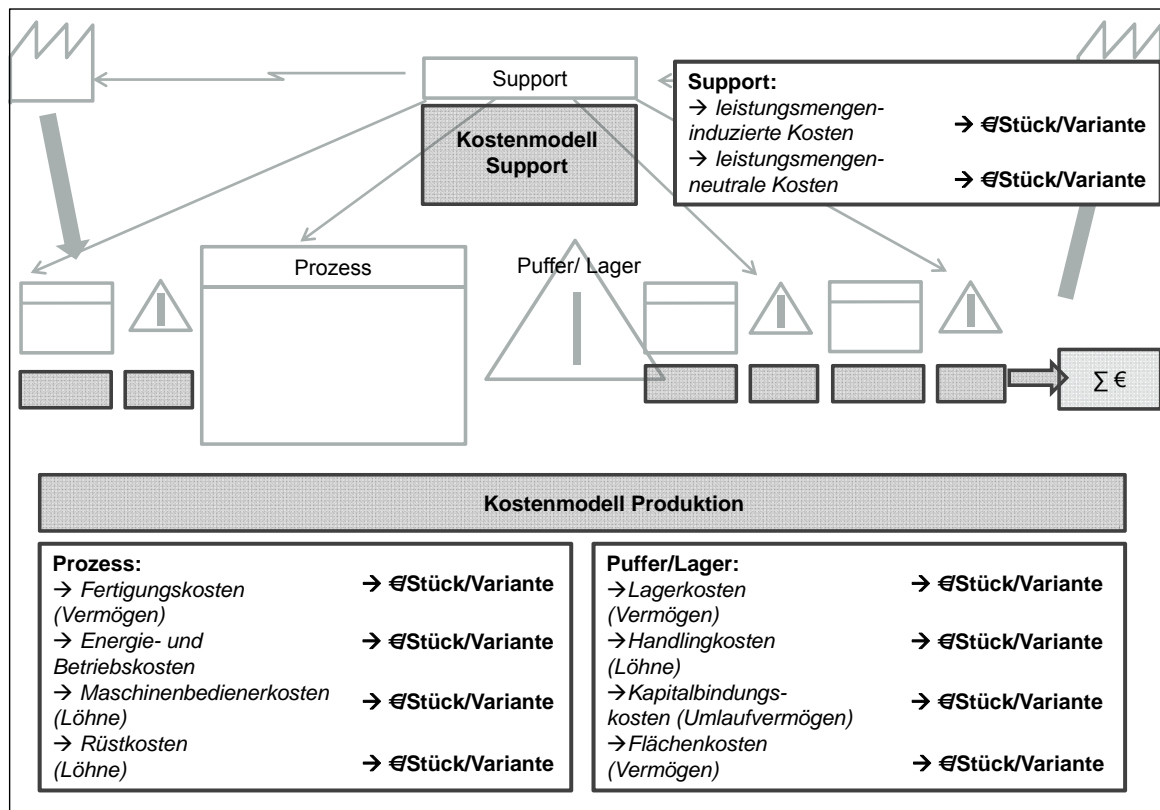


Abbildung 5.11: Die Ermittlung der relevanten Kosten unterteilt sich in unterschiedliche Bereiche³⁰⁵

Als Basis für die Kostenermittlung sind unterschiedliche Betrachtungszeiträume möglich. Da es sich um einen grundlegenden, strategischen Ansatz handelt, wird in dieser Arbeit eine Jahresbasis angesetzt, um die Berechnung von Zinssätzen und Abschreibungen zu vereinfachen. Unterliegt das Unternehmen beispielsweise saisonalen Schwankungen, kann durchaus ein verkürzter Betrachtungszeitraum zugrunde gelegt werden.

5.2.1 Einflussfaktoren und Kostentreiber

Die Gesamtkosten des momentanen Zustandes im Wertstrom können durch das einfache Zusammenzählen der Kosten entlang des Wertstroms ermittelt werden. Soll jedoch eine Ab-

³⁰⁴Siehe Gleichung 6.113

³⁰⁵vgl. GOTTMANN ET AL. 2012, S.187ff.

schätzung über die Entwicklung dieser Gesamtkosten bei veränderten Gegebenheiten erfolgen, oder sollen diese Kosten auf die unterschiedlichen produzierten Varianten und zugehörigen Stückzahlen verteilt werden, müssen sie in Abhängigkeit von Kostentreibern gesetzt werden. Der Unterschied von Kostentreibern und Einflussfaktoren besteht darin, dass Kostentreiber einen direkten Stellhebel für die Kostenentwicklung darstellen. Einflussfaktoren können die Kostentreiber in ihrer Ausprägung und Höhe verändern. Beispielsweise löst jedes Los in der Produktion Tätigkeiten und damit Kosten aus, beispielsweise für Rüst- und Handlingvorgänge. Umso mehr Lose durch die Produktion laufen, desto mehr dieser Kosten werden verursacht. Die Anzahl der Lose ist folglich ein Kostentreiber. Wie viele Lose durch die Produktion laufen ist wiederum abhängig von den Losgrößen, die entlang des Wertstroms produziert werden³⁰⁶. Diese Losgröße kann entweder festgelegt sein, technologisch vorgeschrieben oder durch begrenzte Kapazitäten abgeleitet werden. Sowohl die Losgröße, als auch das Produktionsprogramm sind Einflussfaktoren für die Anzahl der Lose. Im weiteren Verlauf wird in beiden Fällen von Kostentreibern gesprochen, da der Einfluss auf die Kosten maßgeblich ist, unabhängig davon, ob direkt oder indirekt.

Kosten im Wertstrom entstehen durch Vermögen in der Produktion (Anlagevermögen und Umlaufvermögen), Löhne oder Gehälter, Material und sonstige Verbräuche. Die Bedarfe an diesen Aufwänden sind davon abhängig, ob produziert wird, was produziert wird und wieviel.

Die Kostenrechnung unterscheidet in fixe und variable Kosten, wobei variable Kosten von der produzierten Menge abhängig sind, fixe Kosten (beispielsweise für Gebäude) davon, ob überhaupt eine Produktion existiert, oder nicht^{307,308}. Durch unterschiedliche Varianten im Wertstrom verändern sich die Kapazitätsgrenzen³⁰⁹ und dadurch die Kapazitätsbedarfe an Ressourcen und Personal. Fixe Kosten fallen zwar in jedem Fall an, werden allerdings auf die Kostenträger verteilt, um langfristig alle Kosten des Unternehmens decken zu können. Diese Verteilung kann nicht gleichmäßig auf alle Produkte passieren, da verschiedene Varianten die Ressourcen in der Regel durch Bearbeitungs- und Rüstzeiten unterschiedlich beanspruchen. Darüber hinaus können sie mittel- bis langfristig nicht als fix angesehen werden und müssen an die Bedarfe angepasst werden, welche wiederum vom Produktionsprogramm abhängen. Dafür wird ein Nutzungsfaktor benötigt, der die ungenutzte Kapazität eines Prozessschritts auf die produzierten Stückzahlen verteilt und dabei die Kapazitätsbeanspruchung der einzelnen Varianten berücksichtigt³¹⁰.

Daraus lassen sich die Kostentreiber Stückzahlen und Anzahl Varianten ableiten. Sie sind für den Kapazitätsbedarf von Ressourcen verantwortlich. Handling- und Rüstaufwände ergeben sich aus der Anzahl der Lose; diese sind wiederum für die Reichweite des Bestandes und somit für die Kapitalbindung des Umlaufvermögens verantwortlich.

In den unterstützenden Bereichen der Produktion beschränken sich die Kosten größtenteils auf Löhne und Gehälter - der Anteil des Vermögens ist im Vergleich zu den Produktionsprozessen und Puffern gering. Die Prozesskostenrechnung³¹¹ ermöglicht es, die einzelnen Kostenstellen in Tätigkeiten zu unterteilen und unterschiedlichen Kostentreibern (leistungsmengen-

³⁰⁶Es wird davon ausgegangen wird, dass die Kunden keine Lose bestellen.

³⁰⁷vgl. STIBBE 2009, S.175

³⁰⁸vgl. KILGER ET AL. 2002, S.101ff.

³⁰⁹vgl. Kapitel 5.1.3.4

³¹⁰vgl. Kapitel 5.2.2.1

³¹¹vgl. Kapitel 3.2.2

induzierte Kosten) zuzuordnen und verbleibende Kosten (leistungsmengenneutrale Kosten) innerhalb der Kostenstelle zu verteilen. Da die Tätigkeiten in den Support- und administrativen Bereichen nicht immer von den Vorgängen in der Produktion abhängig sind, sondern durch die Schnittstelle zu Verwaltung, Kunden und Lieferanten von Kundenaufträgen, Bestell- und Versandzyklen und zyklischen Prozessen innerhalb des Unternehmens beeinflusst werden, fallen dort zusätzliche Kostentreiber an. Dennoch sind gerade in den unterstützenden Bereichen Tätigkeiten wie Planung und Steuerung eng mit den Produktionsvorgängen verknüpft. Dabei gibt es in der Serienproduktion selten Tätigkeiten, die für jedes produzierte Produkt anfallen, also von der produzierten Stückzahl abhängig sind; bei der Produktion voluminöser, zeitaufwändiger Produkte ist die Stückzahl als Kostentreiber allerdings durchaus möglich. In der Regel wird jedoch die Steuerung meist für Lose und nicht für einzelne Produkte durchgeführt. Außerdem wird der zeitliche Aufwand einzelner Supportprozesse sehr stark von den Anforderungen der unterschiedlichen Varianten beeinflusst. Dabei fallen für Exotenvarianten häufig zusätzliche Tätigkeiten in Form von Rücksprachen, Konstruktionsanpassungen, zusätzlichen Kaufteilen und damit verbundenen Beschaffungs- und Steuerungsprozessen an.

Für die zusätzlichen Kostentreiber in den unterstützenden Bereichen wie Anzahl der Kundenaufträge und Bestellvorgänge wird in diesem Ansatz davon ausgegangen, dass sie sich direkt proportional zur Stückzahlentwicklung in der Produktion verhalten. Demnach steigt beispielsweise die Anzahl der Kundenaufträge prozentual in gleichem Maße, wie sich die Stückzahlen prozentual erhöhen. Diese vereinfachte Annahme ist notwendig, um die Abschätzung zukünftiger Szenarien auf möglichst wenige Variablen zu beschränken und die Komplexität dadurch zu reduzieren. Die Kostentreiber in den Supportbereichen sind ebenfalls Stückzahlen und Variantenanzahl durch ihre Auswirkungen auf die Anzahl der Lose; sie sind für den Kapazitätsbedarf innerhalb der Bereiche verantwortlich und stellen die Verbindung zu den Produktionsprozessen dar (vgl. Abbildung 5.12).

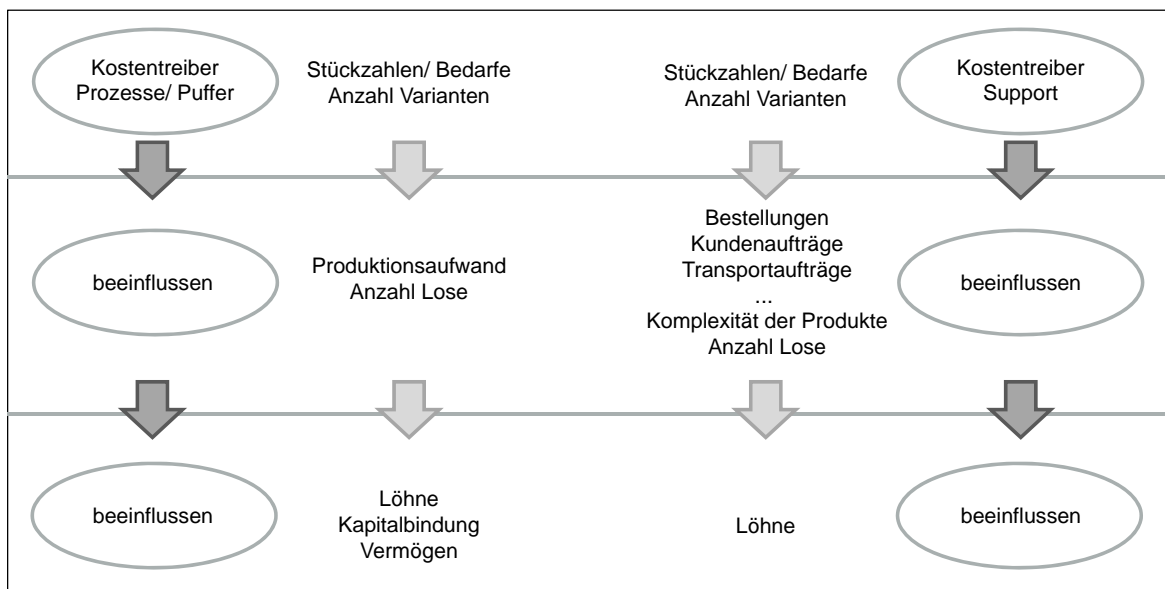


Abbildung 5.12: Relevante Kostentreiber für Produktion und Support

5.2.2 Kosten im Produktionsprozess

Die Kosten im Produktionsprozess werden vor allem durch

- Anlagevermögen und damit verbundenen Life-Cycle Kosten (z.B. für Wartung, Instandhaltung, Entsorgung),
- Lohnkosten für Maschinenbediener und Rüster und
- Energie und Betrieb

verursacht. Die dafür benötigten Flächen können direkt der Anlage oder Maschine zugeordnet werden und werden in diesem Ansatz deshalb als Teil des Anlagevermögens angesehen. Die Ermittlung des gesamten Bedarfes an den genannten Positionen bezieht sich dabei immer auf eine bestimmte Zeitspanne (hier: 1 Jahr). Innerhalb dieser Zeitspanne wird davon ausgegangen, dass Kapazitätsspitzen und -tiefen jederzeit ausgeglichen und Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung durchgeführt werden können. Ist das nicht der Fall, muss überlegt werden, ob es sinnvoll sein kann, für die Kapazitäten von Maschinen und Personen Kapazitäten von der verfügbaren Arbeitszeit abzuziehen, um so eine gewisse Flexibilität vorzuhalten. Ist das aufgrund zu hoher Nachfrage nicht möglich, können die Kostensätze der Produktionsprozesse dahingehend angepasst werden, dass bestimmte Kosten für Flexibilisierungsmaßnahmen innerhalb des betrachteten Zeitraums für die Berechnung mit berücksichtigt werden.

Die Höhe der Kosten ist von den genannten unterschiedlichen Kostentreibern abhängig. Die Abschreibungen auf das Anlagevermögen, sowie die zugehörigen Instandhaltungsprozesse sind fixe Kosten und fallen für das gesamte Produktionsvolumen an. Teilweise nutzungsbedingte Anteile dieser Kosten werden zur Vereinfachung vernachlässigt. Deshalb sind die zugehörigen Kosten vorerst stückzahlunabhängig. Die Kosten für Maschinenbediener sind von der Auslastung der Maschine, also ebenfalls von der produzierten Stückzahl, unabhängig, bis eine Kapazitätsgrenze überschritten wird. Allerdings haben die Maschinenbediener die Möglichkeit Überstunden zu machen, was zusätzliche Kosten zum normalen Stundenlohn verursacht. Dies ist nur dann möglich, wenn die Maschine und damit der Maschinenbediener nicht bereits rund um die Uhr im Einsatz ist. Werden die Kapazitätsgrenzen von Mitarbeiter oder Maschine erreicht, muss die Kapazität an dieser Stelle bei gegebenen Produktionsprogramm erhöht werden; dabei muss zu Beginn festgelegt werden, ob Überstunden langfristig zugelassen werden und eine Erhöhung erst nach Überschreiten einer zusätzlichen Überstundengrenze erfolgt. Durch die Kapazitätserhöhung entstehen weitere sprungfixe Kosten. Kosten für Rüstprozesse enthalten sowohl die Abschreibungen auf eingesetztes Rüstwerkzeug, als auch die dafür zuständigen Mitarbeiter. Auch hier fallen zusätzliche Kosten an, wenn Überstunden anfallen. Energie- und Betriebskosten fallen nur dann an, wenn die Maschine oder Anlage des zugehörigen Prozesses tatsächlich in Betrieb ist. Läuft die Maschine im Stand-by werden zwar Kosten fällig, allerdings nicht in derselben Höhe.

Ausgehend von den beschriebenen Kosten werden für die betrachteten Produktionsprozesse folgende Kostenarten definiert:

- Fertigungskosten
- Energie- und Betriebskosten
- Maschinenbedienerkosten
- Rüstkosten

5.2.2.1 Fertigungskosten

Fertigungskosten beinhalten diejenigen Kosten, die durch den Produktionsprozess selbst entstehen. Darunter fallen Abschreibungen auf das Anlagevermögen, sowie unmittelbar mit der Maschine/ Anlage verbundene Kosten, wie beispielsweise Instandhaltungskosten, Werkzeugkosten, direkt zurechenbare Energiekosten, Zinsen auf das Anlagevermögen, Instandhaltungsmaterialien, Chemikalien, Entsorgungs- und Mietkosten. Auch sonstige Life-Cycle Kosten können den Fertigungskosten direkt zugerechnet werden, da sie einmal für die gesamte Anlage anfallen und demnach von allen produzierten Produkten mitgetragen werden müssen. Die Maschinenstundensatzrechnung³¹² wurde entwickelt, um die Kosten für Anlagen verursachungsgemäß auf die unterschiedlichen Produkte im Unternehmen zu verteilen³¹³. Die Maschinenstundensatzrechnung geht von einem jährlichen Zeitumfang aus, in der die Maschine in Betrieb ist und berechnet den Kostensatz für eine Maschinenstunde. Die Produkte nutzen nun anteilig diese Maschinenstunden und bekommen entsprechend ihrer Belegungszeit Kosten zugeordnet.

Voraussetzung der Maschinenstundensatzrechnung ist, dass die tatsächlich genutzten Maschinenstunden bereits festgelegt sein müssen, also die Anzahl der Stückzahlen zu den jeweiligen Bearbeitungszeiten bekannt ist. Durch die Festlegung eines Maschinenstundensatzes bleiben die Stückkosten auch bei Veränderung der produzierten Stückzahlen und Varianten unverändert. Lediglich in der Nachkalkulation kann eine Überprüfung stattfinden.

Um dieser Ungenauigkeit vorzubeugen, wird hier ein zusätzlicher Nutzungsfaktor für den betrachteten Prozess eingeführt, der das Verhältnis von verfügbarer Arbeitszeit zu tatsächlich genutzter Produktionszeit angibt (siehe Gleichung 5.19³¹⁴). Die verfügbare Arbeitszeit wird dabei wie in der Maschinenstundensatzrechnung in Zeiteinheiten unterteilt und die Kosten auf diese Zeiteinheiten aufgeteilt. Die tatsächlich genutzte Produktionszeit ergibt sich aus den Stückzahlen mal Bearbeitungszeiten und den Rüstzeiten für die zugehörige Anzahl an produzierten Losen. Demnach werden den einzelnen Produkten auch Maschinenstundensätze zugeordnet, allerdings mit dem oben beschriebenen Faktor multipliziert, um sicher zu stellen, dass sämtliche mögliche Produktionseinheiten auch dann auf die produzierten Produkte rechnerisch umgelegt werden, wenn sich das Produktionsprogramm in einem neuen Szenario verändert. Somit wird vermieden, dass bei einer Nicht- Auslastung des Prozesses nicht alle entstandenen Kosten abgedeckt bzw. zugeordnet werden können. Ist der Nutzungsfaktor kleiner als 1 besteht eine Überlast am betrachteten Prozess und es fallen Überzeiten an, die bei Personaleinsatz mit Überstundenzuschlägen gesondert gerechnet werden müssen.

$$f_{Nutzung} = \frac{V_t}{\sum_{i=1}^n (BZ_i \times TB_i) + \sum_{i=1}^n (RZ_i \times \#Lose_i)} \quad (5.19)$$

mit

V_t = verfügbare Arbeitszeit pro Tag (min)

BZ_i = Bearbeitungszeit der Variante (min) i

³¹²vgl. Kapitel 3.2.2

³¹³vgl. WÖLTJE 2009, S.23ff.

³¹⁴vgl. GOTTMANN ET AL. 2012, S.187ff.

TB_i = Tagesbedarf der Variante i

RZ_i = Rüstzeit der Variante (min) i

$\#Lose_i$ = Anzahl produzierter Lose der Variante pro Tag i

5.2.2.2 Energie- und Betriebskosten

Da die Energie- und Betriebskosten unabhängig vom Anschaffungswert der Anlage sind und nicht für das gesamte Produktionsvolumen gleichmäßig anfallen, erfolgt die Berechnung der Energie- und Betriebskosten durch eine Zurechnung zur Produktionszeit des einzelnen Produktes. Ist die Maschine in Betrieb, d. h. wird tatsächlich produziert, fallen an der Maschine Energie- und Betriebskosten an, die das Produkt direkt zu tragen hat. Steht die Maschine, wird die gleiche Systematik wie bei den Fertigungskosten angewendet und die Standbykosten werden zu einem Zeiteinheitkostensatz umgeschlagen.

5.2.2.3 Maschinenbedienerkosten

Um die Stückkosten für den Maschinenbediener zu rechnen, werden die Vorgabezeiten der Produkte herangezogen und gemäß des zugehörigen Nutzungsfaktors (siehe Gleichung 5.19) des Maschinenbedieners auf die Produkte in Abhängigkeit deren Vorgabezeit zugerechnet. Dies ist für den Fall notwendig, in dem der Maschinenbediener nicht voll ausgelastet ist. Sobald Überstunden notwendig werden um das vorgegebene Pensum abzuarbeiten, müssen die Zusatzkosten, die für diese Überstunden anfallen, mit berechnet werden. Dies ist nur dann möglich, wenn die zugehörige Maschine nicht bereits an ihrer Kapazitätsgrenze arbeitet. Es wird der Anteil an Produkten errechnet, die in dem betrachteten Schichtmodell bearbeitet werden können - für diesen Anteil werden je Variante die Stückkosten für die Bearbeitung in regulärer Arbeitszeit berechnet. Die Überstunden, die notwendig sind, um das gesamte Produktionsprogramm abzuarbeiten, werden mit dem Stundenlohn und dem prozentualen Aufschlag für Überstunden multipliziert. Die sich daraus ergebenden Gesamtkosten für die Überstunden, werden durch die Überstunden geteilt, somit ergibt sich der Kostensatz für eine Überstunde. Der verbleibende Anteil der Produkte pro Variante wird nun mit diesem Kostensatz multipliziert und durch die Gesamtanzahl an Produkten pro Variante geteilt. Daraus ergibt sich der Anteil, der pro Produkt für Überstunden anfällt. Die Überstunden stellen demnach einen variablen Kostenanteil dar, der bei Erreichen der (gesetzlichen oder betrieblichen) Überstundengrenze einen fixen Kostensprung durch die Einstellung eines zusätzlichen Mitarbeiter macht.

Benötigt der Mitarbeiter an der Maschine länger, als diese selbst, ist die Bearbeitungszeit des Mitarbeiters ausschlaggebend für die Engpassbestimmung im Wertstrom.

Im Rahmen des vorgestellten Ansatzes wird eine Jahresbetrachtung eingenommen. Dementsprechend wird die im betrachteten Unternehmen existierende Flexibilität der Mitarbeiter bei der Eingabe der verfügbaren Arbeitszeit der Mitarbeiter miteinbezogen. Relevant ist für die Betrachtung die zur Verfügung stehende Arbeitszeit der Mitarbeiter über das ganze Jahr. Mögliche Produktionsspitzen und Schwankungen werden nicht betrachtet. Je nachdem wie flexibel die Mitarbeiter auf Schwankungen reagieren können, desto flexibler lassen sich die

Kapazitäten bei Erhöhung und Rückgang der Nachfrage anpassen. Dennoch können über das ganze Jahr gesehen nur eine bestimmte Anzahl an Überstunden geleistet werden.

5.2.2.4 Rüstkosten

Eine weitere Herausforderung stellt die Berechnung der Rüstkosten dar, da sie unabhängig der Bearbeitungszeiten der Produkte anfallen. Dabei wird zunächst der EPEI berechnet. Dieser wird benötigt, um die minimal produzierbare Losgröße zu bestimmen. Sie gibt Auskunft darüber, wie viele Rüstvorgänge und damit verbundener Rüstaufwand des Rüstmitarbeiters für eine Variante im Jahr anfallen. Dieser Aufwand wird anhand der Lohnkosten berechnet und gemäß den Maschinenbedienerkosten auf die Produkte umgelegt. Da ein Rüstvorgang den Stillstand einer Maschine verursacht und dadurch die Produktion verzögert, muss auch die Rüstzeit die Bearbeitung durch die Anlage in Form von Fertigungskosten gemäß der Höhe der Rüstzeit mittragen.

Wie bereits in den Maschinenbedienerkosten beschrieben, müssen auch bei den Rüstkosten Überstunden zusätzlich betrachtet werden. Die Überstunden ergeben sich aus dem Gesamtrüstaufwand und den gesamten zur Verfügung stehenden Zeiteinheiten des Rüsters.

Die Rüstwerkzeuge werden gemäß den Fertigungskosten auf die unterschiedlichen Produkte und deren Bearbeitungszeiten umgelegt, da der Verschleiß wie bei der Gesamtanlage/Maschine als abhängig von der Produktionszeit der Teile angenommen wird.

5.2.3 Kosten in Puffer und Lager

Die Kosten in Puffer bzw. Lager enthalten Anlagevermögen für Lagereinrichtungen und den innerbetrieblichen Fuhrpark, welche abhängig vom gesamten Produktionsvolumen sind. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass jedes Produkt in etwa die gleichen Handlingvorgänge für Ein- und Auslagerung in Anspruch nimmt, möglicherweise in unterschiedlicher Höhe. Dieses Handling wird von Mitarbeitern durchgeführt, die Kosten in Form von Löhnen verursachen. Den großen Unterschied zu den Kosten in Produktionsprozessen stellt das hier betrachtete Umlaufvermögen dar. Das Umlaufvermögen verursacht Kapitalbindung, welche sich in Form von Zinsen als Kosten niederschlägt.

Dementsprechend sind die Kosten in Puffer und Lager auf folgende Kostenarten zurück zu führen:

- Lagerkosten
- Handlingkosten
- Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens
- Flächenkosten

Die Puffer stellen hierbei in erster Linie eine zeitliche Komponente in Form von Lagerstufen dar. Physisch können sich mehrere Puffer im Wertstromverlauf an der selben Stelle bzw. am gleichen Lagerort befinden. Ist das der Fall, müssen die zugehörigen Kosten für das Lager auf die verschiedenen Lagerstufen aufgeteilt werden.

5.2.3.1 Lagerkosten

Vergleichbar mit den Fertigungskosten beinhalten Lagerkosten diejenigen Kosten, die durch die Lagerung von Produkten und Teilen entstehen. Diese sind unabhängig von den jeweiligen Bearbeitungszeiten. Wenn alle Produkte in etwa die gleichen Lagerkosten verursachen, ist die Höhe der zu verteilenden Kosten lediglich von der Verweildauer des Produkts im Puffer bzw. Lager abhängig und kann über alle Produkte in Abhängigkeit dieser Verweildauer verteilt werden. Für unterschiedliche Varianten können aber auch unterschiedliche Lagerkostensätze angesetzt werden, beispielsweise durch unterschiedliche Volumina der Varianten, die dann zusammen mit der Verweildauer der jeweiligen Variante zu den Lagerkosten führen. Darunter fallen Abschreibungen auf das Anlagevermögen, sowie unmittelbar mit dem physischen Lager verbundene Kosten wie beispielsweise Instandhaltungskosten, Werkzeugkosten, direkt zurechenbare Energiekosten, Zinsen auf das Anlagevermögen, Instandhaltungsmaterialien, Chemikalien, Entsorgungskosten. Auch sonstige Life-Cycle Kosten können den Lagerkosten direkt zugerechnet werden, da sie einmal für das Lager anfallen und demnach von allen gelagerten Produkten mitgetragen werden müssen. Das gleiche gilt für Mietaufwände, die für eine feste Lagergröße anfallen. Werden die Flächen als variabel angesehen, wird die Betrachtung der Mietkosten unter der separaten Kostenart Flächenkosten durchgeführt.

5.2.3.2 Handlingkosten

Für jedes produzierte Los fällt ein Handlingprozess nach Fertigstellung an einem Produktionsprozess an. Dieser Handlingprozess stellt gleichzeitig den Eingang des Loses in den Puffer dar. Wird das Los aus dem Puffer an den nachfolgenden Produktionsprozess gebracht, fällt ein zweiter Handlingprozess, der ebenfalls diesem Puffer zugerechnet wird, an. Unterscheiden sich die Losgrößen zwischen zwei Prozessen, so unterscheiden sich auch die Anzahl der Handlingprozesse bei Ein- und Ausgang des Puffers. Darüber hinaus können sich natürlich die Aufwände der Ein- und Auslagerprozesse zeitlich unterscheiden. Wird beispielsweise für den Folgeprozess das Einlegen und Ausrichten der einzelnen Produkte gefordert, kann dieser Vorgang zeitlich den Vorgang des Abholens des Loses aus dem vorhergehenden Prozess deutlich übersteigen. Dies trifft nur dann zu, wenn diese Tätigkeiten nicht vom Maschinenbediener oder Rüster vorgenommen werden - dann werden sie den Bearbeitungs- und Rüstzeiten zugerechnet. Der gesamte zeitliche Handlingaufwand je Variante innerhalb eines Puffers ergibt sich aus der Anzahl der eingehenden Lose mal dem durchschnittlichen Handlingaufwand für ein eingehendes Los der betrachteten Variante und der Anzahl der ausgehenden Lose mal dem Handlingaufwand für ein ausgehendes Los. Werden zusätzliche Kaufteile oder Baugruppen für den nachfolgenden Prozess benötigt, muss der Handlingaufwand der Zusatzteile für ein Los mit in die Rechnung einbezogen werden. Für unterschiedliche Varianten können unterschiedliche Handlingaufwände anfallen und betrachtet werden. Um ausgehend vom gesamten Handlingaufwand zu den Handlingkosten eines Produktes zu gelangen, muss der zeitliche Gesamtaufwand mit den Lohnkosten der zuständigen Mitarbeiter (über alle Schichten) multipliziert werden und durch die Jahresmenge geteilt werden. Eine mögliche Unterlast der Mitarbeiter wird durch Erhöhung der Kostensätze anhand des Nutzungsfaktors ausgeglichen, Überstunden müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Die Überstunden ergeben sich

aus dem benötigten Gesamthandlungsaufwand abzüglich den zur Verfügung stehenden Zeiteinheiten der Mitarbeiter.

Werden für den Handlingprozess Werkzeuge oder Transportmittel benötigt, werden die zugehörigen Abschreibungen, Zinsen und sonstige Life-Cycle Kosten gemäß des benötigten Aufwands der einzelnen Produkte auf diese verteilt.

5.2.3.3 Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens

Kapitalbindungskosten stellen Opportunitätskosten dar, das bedeutet, dass sie nicht zu tatsächlichen Auszahlungen führen. Dennoch sind sie für den betrachteten Ansatz von Bedeutung, da sie Kapital im Unternehmen binden, welches ansonsten für weitere Investitionen oder Anlagen verwendet werden könnte bzw. nicht beschafft oder zur Verfügung gestellt werden muss.

Die für die einzelnen Varianten anfallenden Kapitalbindungskosten setzen sich aus dem durchschnittlich in dem betrachteten Puffer befindlichen Bestand und dem zugehörigen Wert der einzelnen Produkte zusammen. Dieser Wert wiederum ergibt sich aus dem Entnahmepreis des Rohmaterials inklusive sämtlicher bis dahin benötigter Zukaufteile und den angefallenen Kosten für die bisher durchlaufenen Prozesse und Puffer. Durch den gegebenen Zinssatz auf das Umlaufvermögen, kann der gesamte Bestandswert und die daraus resultierenden Kapitalbindungskosten der einzelnen Produkte ermittelt werden.

Der durchschnittliche Bestand des betrachteten Puffers lässt sich wiederum in mehrere Komponenten unterteilen. Zum Einen beinhaltet er diejenigen Teile, die durch unsynchronisierte Produktionsprozesse zwischen diesen auf Weiterverarbeitung warten. Zum Anderen kann ein Sicherheitsbestand vorgegeben sein, der entweder die Produktion bei Ausfall kritischer Anlagen sicherstellt, oder auch qualitätsrelevante Aspekte berücksichtigt, wie Trockenzeiten, Aushärtung, etc.. Außerdem müssen die genannten Zukaufteile oder benötigten Baugruppen aus anderen Bereichen möglicherweise mit in den Bestand eingerechnet werden. Die Ermittlung desjenigen Bestands, der durch Losproduktion und unsynchronisierte Prozesse entsteht, ist abhängig von den Gegebenheiten des betrachteten Puffers. In der Regel wird von einem gleichmäßigen Bestandsabgang ausgegangen und der mittlere Bestand ergibt sich dann aus der Halbierung der Losgrößen (siehe auch Kapitel 6.3.2.3).

5.2.3.4 Flächenkosten

Wie bereits in 5.1.2 beschrieben, stellen Flächenkosten Fixkosten dar, die nur in bestimmten Fällen freigesetzt und anderweitig genutzt werden können. Im Umkehrschluss sind zusätzlich benötigte Flächen in vielen Fällen nur langfristig generierbar; somit stellt das Flächenangebot häufig eine Restriktion in der Betrachtung dar, welche nicht ohne weiteres überschritten werden kann. Ist die Betrachtung der Flächen für einen Anwendungsfall relevant, muss der Flächenbedarf für die einzelnen Produkte und Varianten ermittelt werden. Der durchschnittliche Bestand muss dann um die gegebene Schwankungsbreite abgesichert werden, um einen Flächenbedarf zu gewährleisten, der auch Schwankungen nach oben abdecken kann. Wie bereits angedeutet, ist die Betrachtung der Flächen nur dann relevant, wenn durch Bestandssenkungen tatsächlich Flächen freigesetzt und für andere Bereiche genutzt (bspw. neue Anlagen,

Pufferplatzbedarf anderer Bereiche) und auch den neuen Kostenträgern eindeutig zugeordnet werden können. Dementsprechend müssen auch diejenigen Flächen mit in die Betrachtung aufgenommen werden, die durch die Investition und Einrichtung neuer Maschinen, Anlagen oder Arbeitsplätze benötigt werden. Liegt eine Flächenrestriktion nach oben vor, muss immer sichergestellt werden, dass durch die Investition in flächenintensive Anlagen diese Restriktion nicht überschritten wird, bzw. dass durch die Ausreizung von Kapazitätsengpässen die Bestände nicht soweit erhöht werden, dass die Flächenrestriktion überschritten wird. Tritt dieser Fall ein, ergibt sich aus der Flächenrestriktion die Obergrenze für die Produktion.

Die Flächenkosten werden gemäß dem Platzbedarf und der Liegezeit auf die jeweiligen Produkte verteilt. Zur Vereinfachung kann dabei angenommen werden, dass der Platzbedarf jedes Produktes gleich ist. Dann erfolgt die Kostenverteilung nur anhand der Liegezeit, vergleichbar mit den Lagerkosten.

Kosten für Puffer- und Lagerflächen enthalten dabei unter anderem Kosten für Miete, Beleuchtung, Heizung, Instandhaltung, Lebenszykluskosten (Aufbau, Abbau, Entsorgung, etc.).

5.2.4 Kosten in Supportbereichen und Administration

5.2.4.1 Leistungsmengeninduzierte Kosten

Die Produktionsprozesse und Puffer sind Objekte in der Produktion, die Kosten verursachen, welche der zugehörigen Produktfamilie angerechnet werden können, da die zur Verfügung stehenden Zeiteinheiten entweder ausschließlich von der betrachteten Produktfamilie beansprucht werden, oder die Verteilung über mehrere Produktfamilien bekannt ist. Weniger einfach sind diejenigen Kosten zu ermitteln, die durch Bereiche verursacht werden, die für mehrere Produktfamilien Tätigkeiten ausüben und das in einem schwer zu ermittelnden Verhältnis. Die Zuschlagskalkulation löst dieses Problem durch Zuschlagssätze, die gemäß einem festgelegten Verteilungsschlüssel gleichmäßig auf alle Produkte umgelegt werden^{315,316}. Diese Vorgehensweise führt dann zu einer ungerechten Verteilung, wenn nicht alle Produkte dieselben Geschäftsprozesse beanspruchen. Beispielsweise können Produkte zusätzliche Kosten durch zusätzlichen Konstruktions- oder Anpassungsbedarf verursachen oder durch eine erhöhte Produktkomplexität einen erhöhten Bestellaufwand nach sich ziehen. Diese Möglichkeiten werden durch die Zuschlagskalkulation nur unzureichend abgedeckt. Das kann bei Veränderungen des Produktionsprogramms, beispielsweise der Verteilungsverschiebung von Renner- und Exotenprodukten, zu Fehlentscheidungen aufgrund fehlerhafter Kalkulation führen. Die Kostenstellen variieren für die meisten Unternehmen und beinhalten unterschiedliche Tätigkeiten und Bezeichnungen. Wichtig für diesen Ansatz ist in erster Linie die Form der Aufnahme und die Zuordnung der Kostentreiber, Umrechnungsfaktoren und restlicher Gemeinkosten. Der Betriebsabrechnungsbogen unterteilt die Kostenstellen in Allgemeine Kostenstellen, Fertigung, Material, Verwaltung und Vertrieb. Diese Verteilung wird in dieser Arbeit insofern beibehalten, dass die Kostenstellen zu Verwaltung und Vertrieb nicht in die Betrachtung der Prozessorientierung einfließen, sondern am Ende des Vorgehens als Rest-Gemeinkosten auf die jeweiligen Produktfamilien anteilig aufgeschlagen werden.

³¹⁵vgl. MÜLLER 2006, S.144ff.

³¹⁶vgl. WEBER UND KABST 2009, S.344ff.

Um die beschriebenen Defizite der Zuschlagskalkulation zu umgehen, teilt die Prozesskostenrechnung jede Kostenstelle in ihre einzelnen Tätigkeiten, aber auch kostenstellenübergreifende Tätigkeiten, und ordnet das Auftreten der Tätigkeiten ihrem Ausschlaggeber, den Kostentreibern, zu. Ordnet man die in der Prozesskostenrechnung identifizierten Tätigkeiten einzelnen Varianten zu, können die Kosten der Kostenstellen weitestgehend auf die zugehörigen Produkte umgelegt oder anderen Kostentreibern zugeordnet werden³¹⁷.

Da häufig eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Varianten innerhalb der Produktion gehandhabt werden muss, ist der Aufwand, sämtliche Tätigkeiten diesen Varianten zuzuordnen, dementsprechend hoch. Wenn viele Varianten gleich oder ähnlich gehandhabt werden, können so genannte Variantenklassen gebildet werden. Dabei müssen vor allem die zeitlich ausschlaggebenden Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten herausgearbeitet werden. Müssen beispielsweise für bestimmte Varianten zusätzliche Prozesse, wie Konstruktionsarbeiten oder Werkzeuganpassungen, angestoßen werden, stellt das einen deutlichen Zusatzaufwand dar. Diese Varianten können zusammen eine Variantenklasse bilden. Dadurch entstehen wenige unterschiedliche Aufwandspakete, welchen die einzelnen Varianten zugeordnet werden können. Werden neue Varianten in die Produktion aufgenommen, können sie diesen Paketen zugeordnet werden, ohne eine komplette Aufnahme sämtlicher Tätigkeiten anzustoßen.

Die Prozesskostensätze, die für die einzelnen Tätigkeiten ermittelt wurden und abhängig von der Art und Anzahl der zugeordneten Varianten sind, dienen der Ermittlung der Kosten eines Geschäftsprozesses. Darüber hinaus kann durch die Variantenabhängigkeit eine Kalkulationsgrundlage geschaffen werden, die die Ermittlung der jeweiligen Stückkosten in den Support- und administrativen Bereichen ermöglicht und sowohl zur Preisfindung beitragen, als auch strategische Entscheidungen hinsichtlich der Aufnahme neuer Varianten in das Produktionsprogramm unterstützen kann.

Diese Vorgehensweise wird hier größtenteils übernommen. Zur Ermittlung der Kosten in den Supportbereichen werden die relevanten Kostenstellen folglich gemäß der Prozesskostenrechnung in Tätigkeiten unterteilt und in Abhängigkeit zu Kostentreibern gesetzt, mit dem zugehörigen Umrechnungsfaktor für Stückzahlen und Varianten versehen und die leistungsmengenneutralen Tätigkeiten identifiziert. Sind die Tätigkeiten der Kostenstelle bereits in die Betrachtung der Produktionsprozesskosten und Pufferkosten eingeflossen, müssen die dafür zuständigen Mitarbeiter aus der Kostenstelle heraus gerechnet werden. Die Schwierigkeit der Betrachtung von unterstützenden Prozessen liegt in der Abbildung von Veränderungen in der Produktion auf die identifizierten Tätigkeiten. Beispielsweise werden durch die Veränderung der Produktionsstruktur dahingehend, dass Steuerungspunkte verringert werden können, Tätigkeiten in Planung und Steuerung überflüssig, oder müssen durch neue Tätigkeiten ersetzt werden. Eine geeignete Herangehensweise bietet dazu PFEFFER, indem er den Wertstrom in verschiedene Wertstromschleifen unterteilt und die in diesen Wertstromschleifen enthaltenen Kostenstellen systematisch auf Produktionsstrukturveränderungen untersucht. Dadurch können Veränderungen im Wertstrom durch neue Technologien und/ oder Verknüpfungen von Prozessen abgebildet und bewertet werden³¹⁸.

Der visualisierte Wertstrom liefert eine gute Stütze bei der Ermittlung der relevanten Kostenstellen der Support-Bereiche. Diejenigen Kostenstellen, die im BAB mit Fertigung und Material abgebildet werden, finden sich in dieser Betrachtung in der Berechnung der Kos-

³¹⁷vgl. Kapitel 3.2.2

³¹⁸vgl. PFEFFER 2012, S.113ff.

ten für die Produktionsprozesse und Puffer. Durch die Darstellung des Informationsflusses werden indirekt weitere Kostenstellen, wie Einkauf, Produktionsplanung- und Steuerung und Disposition abgebildet. Allerdings dürfen weitere Bereiche, die möglicherweise nicht direkt aus dem Wertstrom hervorgehen, nicht vernachlässigt werden. Dazu gehören beispielsweise Werkzeugbau, Konstruktion und Entwicklung.

5.2.4.2 Leistungsmengenneutrale Kosten

Wie in Kapitel 5.2.4.1 beschrieben, werden die Kosten in sonstigen administrativen Bereichen wie Verwaltung und Vertrieb als Rest-Gemeinkosten auf die jeweiligen Produktfamilien anteilig verteilt. Alternativ können diese Kostenstellen auch komplett aus der Betrachtung ausgeschlossen werden, wenn eine reine Betrachtung der Veränderung der Kosten durch Produktionsprogrammanpassungen vorgenommen wird. Dann sind diese administrativen Bereiche von Veränderungen unabhängig und können über den Betrachtungszeitraum als unverändert angenommen werden. Wird im Rahmen der Betrachtung davon ausgegangen, dass die Kosten in den administrativen Bereichen mit veränderten Stückzahlen angepasst werden müssen, kann entweder ein proportionales Wachstum angenommen werden, oder es müssen Sprungstellen definiert sein, an denen sich die administrativen Bereiche aufgrund von Stückzahlveränderungen anpassen müssen. Ist das Ziel der Betrachtung eine Break-Even Analyse, müssen selbstverständlich sämtliche Kosten in die Berechnung einfließen - auch bei Unabhängigkeit des Produktionsprogramms.

5.3 Kostenentwicklung im Wertstrom bei verändertem Produktionsprogramm

Ein Wertstrom gilt laut den Prinzipien des Wertstromdesigns³¹⁹ dann als flexibel, wenn durch eine kurze Durchlaufzeit und geringe Bestände eine schnelle Umstellung auf sich ändernde Kundenanforderungen ermöglicht wird. Da ein Produkt schneller durch die Produktion läuft und schneller fertig gestellt werden kann, bindet es lediglich in diesem Zeitraum Kapital und schränkt nicht länger die Produktion anderer Produkte ein. Darüber hinaus kann bei einem festgelegten Liefertermin länger mit dem Produktionsbeginn gewartet werden, wodurch eine Änderung der Kundenwünsche vor diesem Produktionsbeginn keine Turbulenzen in den Produktionsprozessen verursacht. Ändert sich dennoch ein Auftrag während sich die Produkte bereits im Produktionsprozess befinden oder wird der Auftrag womöglich zurückgezogen, befinden sich durch geringere Losgrößen weniger Produkte in der Produktion wodurch ein möglicher Ausschuss gering gehalten werden kann. Eine geringe Durchlaufzeit ermöglicht es der Produktion also, kurzfristig flexibel auf veränderte Kundenwünsche und Gegebenheiten zu reagieren.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese Art von Flexibilität durch die Erfassung von Kostenentwicklungen zu bewerten - daraus ergibt sich die Elastizität der Kosten hinsichtlich eines veränderten Produktionsprogramms. Die Bewertung der Durchlaufzeit ist dabei lediglich relativ möglich - je geringer die Durchlaufzeit, desto flexibler die Produktion. Die Durchlaufzeit kann dabei nur indirekt der Kostenentwicklung gegenübergestellt werden. Eine hohe Durchlaufzeit äußert sich in erster Linie in erhöhten Beständen und daraus folgenden Kapitalbindungskosten. Eine

³¹⁹vgl. ROTHER UND SHOOK 2000, S.43ff.

Verringerung der Losgrößen führt wiederum zu erhöhten Rüst- und Handlingaufwänden durch Erhöhung der Anzahl der produzierten Lose. Dieser Zusammenhang kann monetär abgebildet werden - eine Gewichtung von Durchlaufzeit und Kostenverlauf, welche durchaus gegenläufige Entwicklungen durchlaufen können, kann dabei nur vom Anwender vorgegeben werden. Abbildung 5.13 zeigt die schematischen Verläufe der losabhängigen Stückkosten in Abhängigkeit der losgrößeninduzierten Durchlaufzeit bei gleichbleibendem Produktionsprogramm. Dabei wird unterstellt, dass bei steigenden Losgrößen und damit steigenden Reichweiten der Bestände die Durchlaufzeit um diese Reichweiten ansteigt. Das ist nur möglich, wenn von Einzelbestellungen der Kunden ausgegangen wird. Die losabhängigen Kosten sind, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, die Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens, mögliche Flächenkosten, Rüst- und Handlingkosten. Kapitalbindungs- und Flächenkosten steigen für jedes produzierte Stück linear mit zunehmenden Losgrößen³²⁰, während die losabhängigen Rüst- und Handlingkosten abnehmen, da die Losgröße in deren Berechnung im Nenner steht³²¹. Durch die Verringerung der Durchlaufzeit unterhalb des Gesamtkostenminimums steigen die losabhängigen Rüst- und Handlingkosten schneller an, als die zugehörigen Kapitalbindungskosten sinken. Demnach steigen die Gesamtstückkosten.

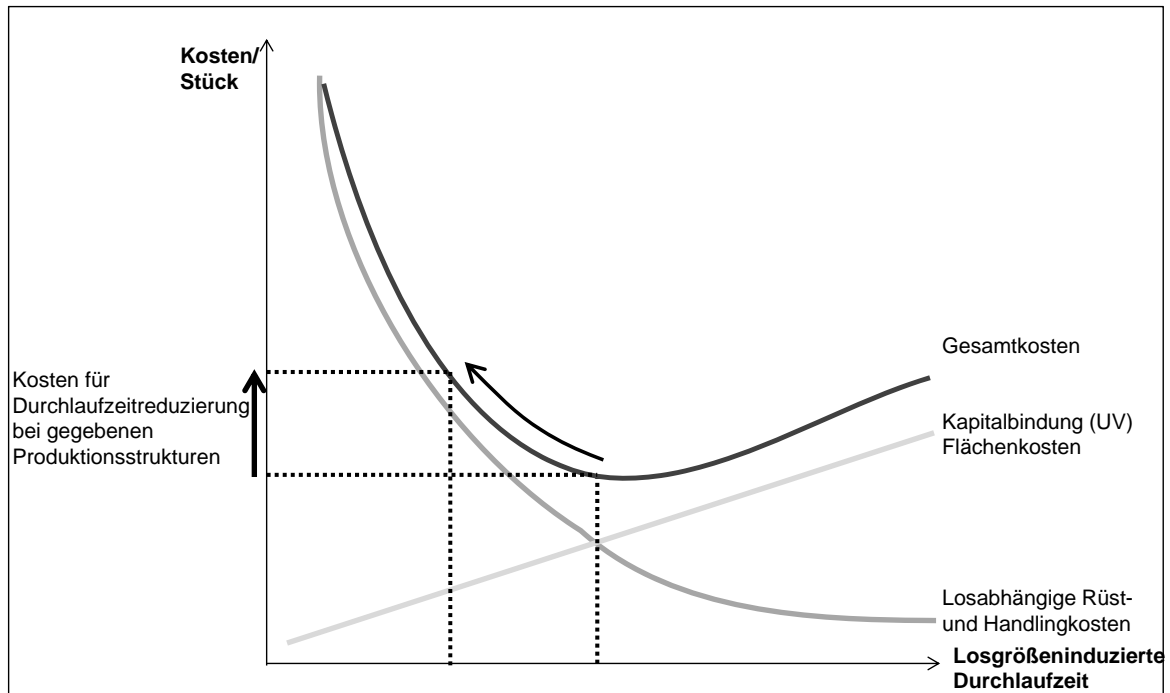


Abbildung 5.13: Kosten der Durchlaufzeitreduzierung (schematische Darstellung)

Die Durchlaufzeit spielt deshalb eine entscheidende Rolle in der vorgestellten Methodik, da die Minimierung der Losgrößen zum Ziel der Durchlaufzeitreduzierung eine der Grundannahmen dieser Arbeit darstellt.

³²⁰vgl. dazu Kapitel 6.3 und die Gleichungen 6.88 bis 6.91 bzw. 6.101 bis 6.102

³²¹vgl. dazu Kapitel 6.3 und die Gleichungen 6.45 bis 6.49 bzw. 6.75 bis 6.78

5.3.1 Auswirkungen von Stückzahlschwankungen auf die Wertstromkosten

Die in Kapitel 5.2 beschriebenen Kostenarten sind auf unterschiedliche Art von Veränderungen des Produktionsprogramms abhängig. Dabei muss nach Stückkosten und Gesamtkosten unterschieden werden. Dabei ist eine Veränderung der Stückkosten nicht automatisch mit der Veränderung der Gesamtkosten verbunden und anders herum. In dem hier vorgestellten Ansatz steht die Betrachtung der Gesamtkosten, das bedeutet aller Kosten, die für die Produktion des Produktionsprogramms anfallen, im Vordergrund - dabei wird eine Vollkostenrechnung angestrebt, d.h. die Betrachtung von fixen und variablen Kosten. Die Gesamtkosten verändern sich bei zusätzlichen Stückzahlen durch zusätzliche Materialkosten, aber auch dann, wenn beispielsweise durch die zusätzlichen Stückzahlen Kapazitätsengpässe entstehen, die entweder zu einer notwendigen Investition führen, oder durch eine verringerte zum Rüsten verfügbare Zeit eine Erhöhung der Losgrößen zur Reduzierung der Rüstaufwände erforderlich machen. Das reduziert möglicherweise die Rüst- und Handlingkosten, erhöht allerdings die Kapitalbindung durch vermehrte Bestände. Die Fertigungsstückkosten werden durch Verteilung auf mehrere produzierte Stück verringert.

Sowohl Stück-, als auch Gesamtkosten können in diesem Zusammenhang von den Stückzahlen, von den Ausprägungen einzelner Varianten (Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Losgrößen, etc.) und der Anzahl der Varianten abhängig sein. Verändern sich die Stückzahlen einer bestehenden Produktionsstruktur, steigen bzw. fallen die Gesamtkosten um den variablen Anteil. Werden Fixkosten betrachtet, verändert sich lediglich die Kostenverteilung und damit die jeweiligen Stückkosten, die Gesamtkosten bleiben gleich. Sprungfixe Kosten wirken sich erst bei Überschreiten, bzw. Unterschreiten einer bestimmten Stückzahlgrenze auf die Gesamtkosten aus.

Die Gesamtkosten werden in erster Linie von denjenigen Grenzen beeinflusst, bei denen ein Kostensprung zu erwarten ist. Veränderte Stückzahlen wirken sich auf die Stückkosten sämtlicher Varianten aus, da sich die Verteilung der Fixkosten auf die einzelnen Produkte verändert. Das ist nicht der Fall bei den Rüst - und Handlingaufwänden.

Unabhängig von der Variantenausprägung können lediglich diejenigen Kosten angesehen werden, deren Höhe weder von Bearbeitungs-, Rüst- und Handlingzeiten abhängig ist. Das gilt hauptsächlich für die in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Lagerkosten, wenn von einer durchgängigen Lagerplatzgröße ausgegangen wird. Ansonsten werden jeweils Kosten in der Höhe angerechnet, in der die jeweilige Variante den Prozess oder Aufwand beansprucht. Darüber hinaus wirkt sich eine Stückzahlveränderung indirekt auf diejenigen Kostenarten aus, welche durch die Anzahl der Lose beeinflusst werden.

In den Supportbereichen sind die stückzahlabhängigen Tätigkeiten häufig nicht von der Ausprägung der jeweiligen Variante abhängig. Vielmehr fallen diese Tätigkeiten an, wenn ein Stück produziert wird, unabhängig von Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten. Ist diese Tätigkeit doch von der Variantenausprägung (z.B. bei Exotenvarianten) abhängig, weil zusätzliche Tätigkeiten anfallen, werden entweder diese Tätigkeiten gesondert aufgenommen, um so eine Unabhängigkeit wieder herstellen zu können, oder die Tätigkeiten bekommen in Abhängigkeit der Varianten unterschiedliche Bearbeitungszeiten für Supporttätigkeiten. Auch hier können sich die Stückzahlveränderungen indirekt über die Anzahl der Lose auf stückzahlunabhängige Kosten auswirken.

5.3.2 Auswirkungen von Variantensteigerung auf die Wertstromkosten

Die Steigerung der Varianten wirkt sich in erster Linie auf diejenigen Kosten aus, die von der Anzahl der produzierten Lose abhängig sind. Darunter fallen Rüst- und Handlingkosten, da die zugehörigen Aufwände proportional mit zunehmender Losanzahl steigen. Die Gesamtkosten für Rüsten und Handling steigen innerhalb bestehender Kapazitäten erst, wenn Überstunden anfallen, oder sprunghaft wenn bei Kapazitätsüberschreitung zusätzliche Mitarbeiter eingestellt werden.

Bleibt die Anzahl der produzierten Lose trotz einer erhöhten Variantenzahl gleich, erhöhen sich die durch die Lose produzierten Reichweiten und wiederum die davon abhängigen Kosten, wie Kapitalbindung und Lagerkosten. Allerdings sind die Kapitalbindungskosten in diesem Fall nicht sprungfix sondern steigen stetig, sind also variable Kosten bzgl. der zugehörigen Reichweite und Losgröße. Bei der Betrachtung der Variantenveränderungen im Produktionsprogramm ist ein entscheidender Faktor, welche Varianten von der Veränderung betroffen sind und wie die Ausprägungen der neuen Varianten gestaltet sind. Handelt es sich um sehr aufwändige Varianten bezüglich Bearbeitung und Rüstaufwand, so verändert sich die Beanspruchung der vorhandenen Ressourcen überproportional und selbst bei gleichbleibenden Stückzahlen kann es zu einem insgesamt erhöhten Bearbeitungs-, Rüst- und Handlingaufwand kommen. Das kann auch dazu führen, dass andere Varianten im Verhältnis weniger Kosten verursachen.

In den Supportbereichen spielen die Varianten eine häufig unterschätzte Rolle. Zwar können viele Produkte gleichermaßen behandelt und deswegen gleichermaßen gesteuert und geplant werden, allerdings können bestimmte Varianten durchaus einen Zusatzaufwand bestimmter Tätigkeiten bzw. zusätzlich notwendige Tätigkeiten verursachen. Fällt eine neue Variante in diese Kategorie, steigen die Gesamtaufwände in den Supportbereichen. Überschreiten diese wiederum eine bestimmte Aufwandsgrenze, steigen die Gesamtkosten.

Die in Kapitel 5.2 definierten Kostenarten im Wertstroms sind in Tabelle 5.1 zusammenfassend und vereinfacht unter den gegebenen Annahmen dargestellt. Da mehrere Kostenarten sowohl einen fixen, als auch einen variablen Anteil haben, sind die Kostenverläufe in Abhängigkeit der jeweiligen Kostentreiber schematisch dargestellt.

Die Fertigungskosten sind demnach abhängig vom Kapazitätsbedarf und den dafür benötigten Ressourcen, die sich aus der benötigten Produktionszeit aller Produkte an den jeweiligen Anlagen ergibt. Die produzierten Stückzahlen und die variantenabhängigen Bearbeitungszeiten sind für diesen Bedarf verantwortlich. Fertigungskosten stellen fixe Kosten dar, die erst bei Überschreiten einer Kapazitätsgrenze zu einer Kostensteigerung führen. Die Energie- und Betriebskosten teilen sich in einen fixen und einen variablen Kostenanteil, abhängig vom Kapazitätsbedarf und den zugehörigen Betriebs- und Standbyzeiten. Erst bei Überschreiten einer Kapazitätsgrenze steigt der fixe Kostenanteil, der variable Anteil steigt mit erhöhter Auslastung der zugehörigen Ressource. Die Maschinenbedienerkosten sind abhängig vom Kapazitätsbedarf an Maschinenbedienern. Dabei kann über das Kapazitätsangebot hinaus durch Überstunden ein variabler Kostenanteil entstehen, allerdings muss auch dann, nach dem Überschreiten einer festgelegten Überstundenhöchstgrenze, in zusätzliche Mitarbeiter investiert werden. Die Rüstkosten sind von der Anzahl der Lose abhängig, die für das betrachtete Produktionsprogramm produziert werden. Die Anzahl der Lose ergibt sich aus den produzierten Stückzahlen und den für die unterschiedlichen Varianten benötigten

Rüstvorgänge. Diese wiederum führen zum Kapazitätsbedarf an Rüstmitarbeitern und haben demnach wie die Maschinenbedienerkosten einen variablen und fixen Kostenanteil. Die Lagerkosten stellen in Abhängigkeit des Lagerflächenbedarfs eine fixe Kostengröße dar, vergleichbar mit den Fertigungskosten. Der Lagerbedarf allerdings ermittelt sich aus den Losgrößen und den damit verbundenen Reichweiten der Produkte. Handlingkosten sind vergleichbar mit Rüstkosten und von der Anzahl der Lose und damit von Stück- und Variantenanzahlen abhängig. Ebenso die Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens - sie stellen variable Kosten dar und sind von den produzierten Losgrößen abhängig. Verändern sich die Reichweiten der einzelnen Produkte, verändern sich unmittelbar die zugehörigen Kapitalbindungskosten und Flächenkosten, wenn diese in die Betrachtung einfließen. Die Supportkosten sind vom Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern der Kostenstellen abhängig, welcher durch die jeweiligen Kostentreiber der Kostenstelle ermittelt werden kann. Sie bestehen aus einem fixen und einem variablen Kostenanteil durch Lohn- und Überstundenkosten.

Kostenarten	Vom Prod.programm beeinflusste Kostentreiber	Einordnung in fixe und variable Kosten	Kostenverlauf in Abhängigkeit Kostentreiber
Fertigungskosten K_f	Kapazitätsbedarf (Produktionszeit)	fix	
Energie- und Betriebskosten K_{EB}	Kapazitätsbedarf (Produktionszeit)	fix: Standby variabel: Betrieb	
Maschinenbedienerkosten K_{MB}	Kapazitätsbedarf (Produktionszeit)	fix: Grundlohn variabel: Überstd.	
Rüstkosten K_{Rst}	Anzahl Lose	fix: Lohn, Werkzeuge variabel: Überstd.	
Lagerkosten K_L	Lagerflächenbedarf (Losgrößen)	fix	
Handlingkosten K_H	Anzahl Lose	fix: Grundlohn variabel: Überstd.	
Kapitalbindungskosten K_{Kapb}	Losgrößen	variabel	
Flächenkosten K_{Fl} wenn freisetzbar	Losgrößen	variabel	
Supportkosten K_T für Tätigkeiten	Kapazitätsbedarf (durch Anzahl Lose, Aufträge...)	fix: Grundlohn variabel: Überstd.	

Tabelle 5.1: Kosten entlang des Wertstroms

6 Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen

Ziel des vorgestellten Modells ist die Bewertung möglicher zukünftiger Entwicklungen (Szenarien) anhand deren Kostenentwicklung. Dafür werden zunächst Daten, Kennwerte und zugehörige Kosten innerhalb des bestehenden Wertstroms ermittelt. Die Kosten müssen dabei zu denjenigen Parametern oder Stellhebeln in Abhängigkeit gesetzt werden, die in zukünftigen Szenarien verändert werden können. Diese Stellhebel finden sich innerhalb des Produktionsprogrammes und der Produktionsmenge, also produzierten Stückzahlen, die dafür benötigten unterschiedlichen Varianten und deren Ausprägungen. Die für dieses Vorgehen betrachteten Szenarien müssen im Vorfeld festgelegt werden und sollten keine allzu großen Veränderungen in einem Schritt abbilden, um die zugehörigen Veränderungen der Kosten besser nachvollziehbar zu machen und eine Annäherung an einen stetigen Verlauf zu unterstützen. Ein tatsächlich stetiger Verlauf wird in dieser Vorgehensweise nicht angestrebt, um den Aufwand einzugrenzen.

6.1 Modellschritte

Abbildung 6.1 beschreibt die einzelnen Schritte des Modells, die sich auf die Kapitel 6.2 bis 6.4 verteilen. Die Ermittlung notwendiger Daten für die Wertstromaufnahme stellt den ersten Schritt des zugehörigen Verfahrens dar. Anhand dieser Daten werden die Kosten in Abhängigkeit zu Stückzahlen, Variantenanzahl und Variantenausprägung gesetzt und für den momentanen Zustand des Wertstroms berechnet. Durch die Anpassung von Stückzahlen und Variantenanzahl entstehen neue Szenarien, deren Kostenveränderungen bewertet werden. Die Veränderung der Kosten bei Veränderung von Produktionsprogramm und/oder -menge lässt sich als Kostenentwicklung berechnen.

Im **ersten Schritt** wird die zu bewertende Ausgangssituation als Wertstrom abgebildet und zu den klassischen ressourcenbezogenen Wertstromdaten für einen ausgewählten Repräsentanten der Produktfamilie werden zusätzlich alle Daten der einzelnen Varianten innerhalb der Produktfamilie aufgenommen. Darüber hinaus werden die Vermögenswerte und Kosten entlang des Wertstroms ermittelt. Dadurch entsteht ein abgegrenzter Untersuchungsbereich und die notwendige Datenbasis für das weitere Vorgehen. Der **zweite Schritt** dient dem Abgleich der benötigten Kapazitäten für die reine Bearbeitung des nachgefragten Bedarfs mit den vorhandenen Kapazitäten. Ziel dieses Schrittes ist die Identifizierung möglicher Kapazitätsdefizite bei Anlagen und Mitarbeitern hinsichtlich der reinen Bearbeitungszeiten. Dabei werden benötigte Rüstzeiten und zugehörige Losgrößen noch nicht betrachtet, diese Betrachtung erfolgt in **Schritt 3**. Dabei werden die nach Abzug der reinen Bearbeitungszeiten möglichen Rüstvorgänge innerhalb der verfügbaren Arbeitszeit eingerechnet und daraus die notwendigen Losgrößen ermittelt, die produziert werden müssen, um den nachgefragten Bedarf durch Pufferbestände ständig decken zu können. Diese Losgrößen dienen der Berechnung der Kosten im Wertstrom, die von der Losgröße und der Anzahl der produzierten Lose abhängen.

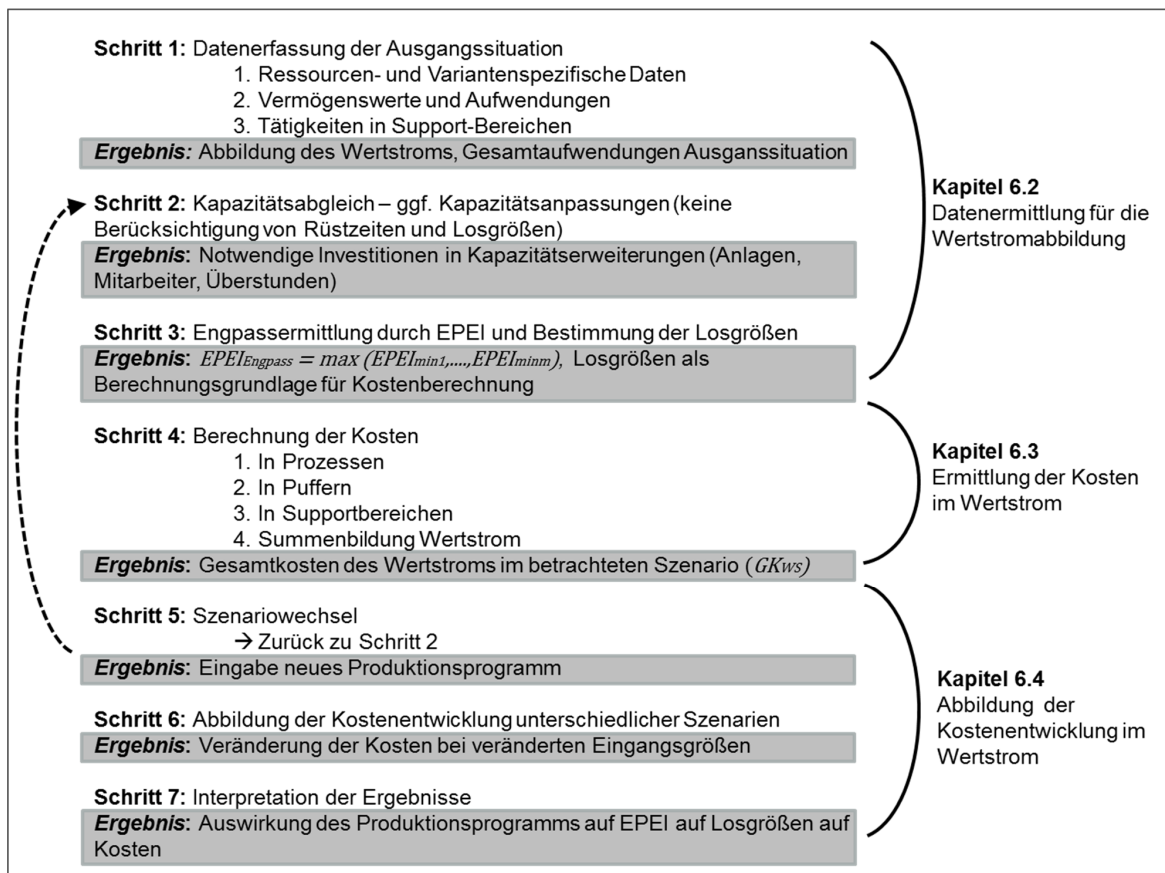


Abbildung 6.1: Schritte im Modelleinsatz

Verändern sich in einem späteren Szenario die Kapazitätsbedarfe und die dadurch verfügbare Arbeitszeit zum Rüsten, verändern sich auch die Losgrößen und die damit verbundenen Kosten. Diese werden in **Schritt 4** berechnet. Dabei werden die Kosten für die einzelnen Prozesse und Puffer berechnet und die Supportkosten des Wertstroms. Die Gesamtkosten des Wertstroms ergeben sich aus deren Summe und stellen das Ergebnis des betrachteten Szenarios dar, welches in die Abbildung der Kostenentwicklung einfließt. **Schritt 5** ist für die Eingabe eines veränderten Produktionsprogramms in den Wertstroms zuständig und stellt den Iterationsbeginn für das neue Szenario dar. Danach wird wieder bei Schritt 2 begonnen und die verfügbaren Kapazitäten hinsichtlich des neuen Produktionsprogramms überprüft. Es können beliebig viele Iterationen durchlaufen werden, bis die gewünschte Interpretations-sicherheit erreicht wird.

Wurden alle gewünschten Szenarien berechnet, werden die einzelnen Ergebnisse in **Schritt 6** in einem Koordinatensystem abgebildet, um zuerst die Veränderung der Kosten bei veränderten Stückzahlen aufzuzeigen. Anschließend werden die zugehörigen Kosten bei veränderten Varianten gegenübergestellt und mögliche intensitätsmäßige Anpassungen oder Losgrößenveränderungen abgebildet. Diese Veränderungen müssen in **Schritt 7** dahingehend interpretiert werden, welche Ursachen für die Veränderung ausschlaggebend sind.

6.2 Datenermittlung für die Wertstromabbildung

Um die relevanten Daten für die Bewertung zu generieren, wird der betrachtete Wertstrom inklusive der zugehörigen Daten aufgenommen. Im Vergleich zur herkömmlichen Wertstromanalyse wird dabei nicht nur ein Repräsentant der betrachteten Produktfamilie aufgenommen, sondern sämtliche zugehörigen Varianten. Zusätzlich werden die Vermögenswerte sowohl von Prozessen, als auch von Puffern entlang des Wertstroms erfasst. Die Ermittlung relevanter Tätigkeiten in den Support-Bereichen, die von den Kennzahlen in der Produktion angesprochen und beeinflusst werden, ist ebenfalls Teil der Grunddatenerfassung.

6.2.1 Daten im Wertstrom

Die Daten im Wertstrom teilen sich gemäß Abbildung 6.1 zum einen in ressourcenspezifische Daten, die für Maschinen, Mitarbeiter und sonstige Ressourcen erhoben werden und vorerst unabhängig von Produktionsprogramm und -menge erhoben werden können. Zum anderen werden variantenspezifische Daten erhoben, die den Bedarf an den vorhandenen Ressourcen determinieren.

Daten im Wertstrom	Allgemein	Prozess	Puffer	Support
Ressourcenspezifische Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtmodelle • Vermögenswerte • Stundensatz je Mitarbeiter • Betriebskosten, etc. • Zeitraum in Tagen • Arbeitsstunden pro Schicht (Maschinen und Mitarbeiter) 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Ressourcen • Maschinenlaufzeit • Anzahl Mitarbeiter • Zeiteinheiten pro Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Mitarbeiter • Zeiteinheiten pro Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtmodelle • Auslastungen • Stundensatz je Mitarbeiter
Variantenspezifische Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Varianten • Stückzahlen pro Variante • Materialkosten/ Entnahmepreis Rohmaterial • Entnahmepreis Kaufteile • Flächenbedarf und Reichweite Kaufteile 	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungszeiten Maschine • Rüstzeiten Maschine • Bearbeitungszeiten Mitarbeiter • Rüstzeiten Mitarbeiter • Vorgabelosgrößen 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenbedarf/ Behälter • Füllmenge/ Behälter • Handlingaufwand pro Los • Sicherheitsbestand 	<ul style="list-style-type: none"> • Tätigkeiten und Kostentreiber

Tabelle 6.1: Datenaufnahme

Die Maschinenbediener stehen meist in einem bestimmten Verhältnis zur zugehörigen Maschine. Kann der Mitarbeiter in seiner Arbeitszeit nur eine Maschine bedienen und keine Nebentätigkeiten, wie zum Beispiel Transporte, übernehmen, so besteht ein 1:1 Verhältnis von Maschine zu Mitarbeiter. Das gleiche Verhältnis besteht, wenn Mitarbeiter und Maschine Teile zusammen bearbeiten und/oder die Maschine lediglich ein Hilfsmittel für den Mitarbeiter ist. Kapazitäten von Maschinenbediener und Ressource können trotz eines 1:1 Verhältnisses voneinander abweichen, da die Maschine möglichen Störungen und Wartezeiten unterliegt und dem Mitarbeiter Pausen zustehen. Außerdem kann der Kapazitätsbedarf

an Maschinenbedienern bei verändertem Produktionsprogramm langsamer ansteigen, als der Bedarf an Maschinen, da der zusätzliche Kapazitätsbedarf durch Rüstzeiten verursacht werden kann, die möglicherweise von einer anderen Person durchgeführt werden müssen.

Der Wertstrom betrachtet, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, eine Produktfamilie anhand eines einzelnen Repräsentanten. Um alle produzierten Varianten dieser Produktfamilie zu erfassen, werden in diesem Fall zusätzliche Aussagen benötigt. Alle Angaben beziehen sich auf die durchschnittlichen Jahreswerte. Die Daten können sowohl Vergangenheitswerte für die IST-Aufnahme darstellen, als auch prognostizierte Werte für den zukünftigen Zustand.

Zusätzlich zu den bestehenden Losgrößen, welche innerhalb der untersuchten Szenarien angepasst werden können, müssen Losgrößenvorgaben dokumentiert und als Untergrenze definiert werden. Derartige Vorgaben können beispielsweise durch technologische Gegebenheiten entstehen, oder aufgrund mangelnder Verknüpfung der Prozesse notwendig sein. Keine Losgrößenuntergrenze ist nur dann sinnvoll, wenn ein One-Piece-Flow zwischen den Prozessen möglich ist und keine großen Handlingaufwände anfallen.

Für die variantenspezifischen Daten werden Annahmen getroffen, die die Komplexität der Vorgehensweise verringern, ohne einen erheblichen Informationsverlust zu verursachen. Durchschnittswerte der unterschiedlichen Varianten sind aussagekräftig und eine mögliche Variantenerhöhung kann beispielsweise durch Durchschnittswerte bestehender Varianten abgebildet werden. Sollte eine Verschiebung der Varianteneigenschaften zu einer anderen Verteilung führen, kann dies in der Dateneingabe durch Annahme von Min- Max- Werten oder durch veränderte Standardabweichungen erfolgen.

Wird der betrachtete Wertstrom von weiteren Produkten außerhalb der betrachteten Produktfamilie genutzt, müssen die dafür benötigten Kapazitäten berücksichtigt werden. Das geschieht entweder durch das Einführen einer Sammelvariante, welche durch bestimmte Bearbeitungs- und Rüstzeiten Kapazitäten beansprucht, oder durch die Reduktion der verfügbaren Arbeitszeit der Ressourcen um diejenige Kapazität, die von den zusätzlichen Produkten inklusive Rüstzeiten in Anspruch genommen wird. Diese Größe wird vorerst als fix und unveränderlich angenommen. Wird eine Sammelvariante eingefügt, besteht die Möglichkeit, diese in den unterschiedlichen Szenarien mit zu berücksichtigen. In diesem Fall wird auch für diese Produkte eine Zukunftsprognose erforderlich.

6.2.2 Vermögenswerte und Kosten in Prozessen, Puffern und Lagern

Im Rahmen der Datenermittlung werden sowohl für die Produktionsprozesse, als auch für die Puffer und Lager die Vermögenswerte, laufende Kosten und Lohnkosten ermittelt. Diese werden gemäß Kapitel 5.2 unterteilt in

Produktionsprozesse:

- Fertigungskosten
- Energie- und Betriebskosten
- Maschinenbedienerkosten
- Rüstkosten

Puffer und Lager:

- Lagerkosten
- Handlingkosten
- Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens
- Flächenkosten

und werden in den Tabellen 6.2 und 6.3 in dafür notwendige Daten unterteilt. Diese Unterteilung stellt eine beispielhafte Auflistung dar und muss individuell an das betrachtete Unternehmen und die darin enthaltenen Vermögenswerte angepasst werden. Je nach Abschreibungsverfahren müssen gegebenenfalls Restbuchwerte oder Wiederbeschaffungswerte aufgenommen werden.

	Kostenart	Vermögenswerte und Kosten	Einheit
Produktions- prozesse	Fertigungskosten	Anschaffungskosten der Anlage Abschreibungszeitraum Zinssatz auf Anlagevermögen Material für Instandhaltung (IH) IH Dienstleistungen Entsorgungskosten Flächenbedarf Mietaufwand Chemikalien etc.	EUR Jahre % EUR EUR EUR m ² EUR/m ² EUR
	Energie- und Betriebskosten	Hilfs- und Betriebsstoffe Standbykostensatz Heizkosten/ Klima Stromkosten, Beleuchtung Stromkosten Büro Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs – LCC) etc.	EUR/min % EUR/min EUR/min EUR/min EUR/min
	Maschinenbedienerkosten	Lohnkosten für Maschinenbediener Überstundenzuschlag etc.	EUR/Jahr (bzw./Std.) %
	Rüstkosten	Lohnkosten für Rüster Überstundenzuschlag Anschaffungskosten Werkzeuge Abschreibungszeitraum etc.	EUR/Std. (bzw./Std.) % EUR Jahre

Tabelle 6.2: Vermögenswerte und Kosten im Produktionsprozess

	Kostenart	Vermögenswerte und Kosten	Einheit
Puffer und Lager	Lagerkosten	Anschaffungskosten der Einrichtung Abschreibungszeitraum Zinssatz auf Anlagevermögen IH Material IH Dienstleistungen Flächenbedarf Mietaufwand Energie- und Treibstoffkosten etc.	EUR Jahre % EUR EUR m ² EUR/m ² EUR
	Handlingkosten	Lohnkosten für Logistiker Überstundenzuschlag Anschaffungskosten für Werkzeuge Abschreibungszeitraum etc.	EUR/Jahr (bzw./Std.) % EUR Jahre
	Kapitalbindungs- kosten	Materialkosten Zinssatz auf Umlaufvermögen etc.	EUR/Stück %
	Flächenkosten	Platzbedarf Mietaufwand etc.	m ² /Stück EUR/m ²

Tabelle 6.3: Vermögenswerte und Kosten in Puffer und Lager

6.2.3 Ermittlung relevanter Tätigkeiten in Support-Bereichen

Im Rahmen der Produktion fallen neben den physischen logistischen Tätigkeiten Prozesse an, die einen reibungslosen Ablauf ermöglichen sollen, ohne unmittelbar eine Wertschöpfung am Produkt darzustellen. In der Prozesskostenrechnung werden für die Aufnahme dieser Prozesse sämtliche Kostenstellen in deren einzelne Personen und zugehörige Tätigkeiten zerlegt³²². Die prozessorientierte Kalkulation ermöglicht außerdem die Zuordnung einzelner Tätigkeiten zu unterschiedlichen Produktgruppen. Diese Vorgehensweise wird in diesem Ansatz größtenteils übernommen. Allerdings müssen von den Kostenstellen die bereits aufgenommenen Kosten für Produktion und Logistik herausgerechnet werden, um eine doppelte Belastung zu vermeiden. Darüber hinaus muss der anteilige Aufwand für die betrachtete Produktfamilie abgeschätzt und festgelegt werden. Verändert sich der Kapazitätsbedarf für die Supportbereiche, muss möglicherweise ein Abgleich mit dem Bedarf anderer Produktfamilien durchgeführt werden, um die tatsächlich notwendige Kapazitätserhöhung der zugehörigen Kostenstelle zu ermitteln. Die Kapazitätserhöhung muss dann wiederum dem Gesamtaufwand hinzugerechnet und auf die Produkte verteilt werden.

Für den vorgestellten Ansatz sind nur diejenigen Prozesse relevant, die mit dem Produktionsprozess in Verbindung stehen. Sonstige administrative Prozesse werden gemäß der Zuschlagskalkulation am Ende der Vorgehensweise als leistungsmengenneutrale Prozesse gleichmäßig über alle Produkte verteilt.

Die hier aufgelisteten Bereiche stellen lediglich eine mögliche Liste von Kostenstellen dar, die in unterschiedlichen Unternehmen unterschiedliche Formen und Bezeichnungen annehmen können. Dabei können einige Kostenstellen direkt aus dem Wertstrom abgeleitet werden.

³²²vgl. Kapitel 3.2.2

-
- Auftragsabwicklung
 - Einkauf
 - Kommissionierung
 - Prüftechnik
 - Versand

Darüber hinaus müssen zusätzliche Kostenstellen betrachtet werden, die nicht unmittelbar aus dem Wertstrom ersichtlich sind. Diese Kostenstellen können entweder aus dem Betriebsabrechnungsbogen (BAB) entnommen werden, oder aufgrund der Supportprozesse ermittelt werden³²³. Ein solcher Supportprozess beschreibt beispielsweise die Steuerung der Produktion - die dafür notwendigen Tätigkeiten verteilen sich auf mehrere Kostenstellen, welche alle in die Betrachtung einfließen müssen. Weitere mögliche Kostenstellen können demnach sein:

- Disposition
- Technik/ Technisches Büro
- Produktionsleitung
- Werkzeugbau
- u.a.

Für die jeweiligen Branchen und Unternehmen müssen gegebenenfalls Tätigkeiten hinzugefügt bzw. weggelassen und weitere Kostenstellen eingeführt werden. Typische Kostentreiber für die Tätigkeiten der Prozesse sind die Anzahl der Kundenaufträge bzw. Bestellungen, Fertigungsaufträge, Anzahl an notwendigen Änderungen, Einführung von Neuprodukten und andere individuelle Kostentreiber des jeweiligen Unternehmens. Für diese Betrachtung sind vor allem diejenigen Kostentreiber, die sich auf die Einflussfaktoren Anzahl produzierter Stückzahlen, Anzahl der Varianten und Anzahl der produzierten Lose (als Folge der produzierten Losgrößen) beziehen lassen, da dadurch die Verbindung zur Produktion hergestellt werden kann. Bei den anderen Kostentreibern kann davon ausgegangen werden, dass sie im Verhältnis zur produzierten Stückzahl gleich bleiben und deshalb keine nähere Betrachtung finden. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Kundenaufträge proportional zur nachgefragten Stückzahl steigt. Es ist allerdings auch möglich konkrete Annahmen für die Entwicklung der Kundenaufträge zu treffen, allerdings gilt auch dafür die Vermutung, dass die Anzahl der Kundenaufträge nicht von der Produktionsstruktur beeinflusst wird bzw. die Produktion die Anzahl der Kundenaufträge nicht beeinflusst.

Nach Aufnahme aller relevanten Kostenstellen und den darin stattfindenden Tätigkeiten, werden diesen Tätigkeiten die zugehörigen Kostentreiber zugeordnet und nach Abhängigkeiten zu Stückzahl, Variantenanzahl und Losanzahl überprüft. Darüberhinaus werden die Tätigkeiten den einzelnen Produktvarianten bzw. Variantenklassen³²⁴ zugewiesen. Fallen Tätigkeiten für mehrere Varianten in unterschiedlicher zeitlicher Ausprägung an, müssen die Tätigkeiten entweder weiter unterteilt werden, um Tätigkeiten eindeutig zuordenbar zu machen, oder es müssen zeitliche Komponenten mit in die Zuordnung erfolgen, um eine spätere Umrechnung der notwendigen Zeitanteile für die einzelnen Varianten vornehmen zu können.

³²³vgl. Kapitel 5.2.4

³²⁴vgl. Kapitel 5.2.4

6.2.4 Kapazitätsabgleich und Anpassungsbedarf

Um sicher zu stellen, dass durch das Produktionsprogramm keine Kapazitätsgrenzen durch reine Bearbeitungszeiten des geforderten Tagesbedarfs überschritten werden, müssen diese Gesamtzeiten den Kapazitäten sämtlicher Ressourcen gegenübergestellt werden. Rüstzeiten werden dabei noch nicht berücksichtigt, da diese erst durch die Anzahl der Rüstvorgänge, die sich aus den durch den EPEI induzierten Losgrößen berechnen lassen, ermittelt werden. Dementsprechend muss für jeden Prozess gelten, dass die Ressourcen (Maschinen, Mitarbeiter) ein höheres Kapazitätsangebot haben, als der Kapazitätsbedarf des eingegebenen Produktionsprogramms. Für die Prozesse gilt dementsprechend

$$ZE_{Anl_j} - \sum_{i=1}^n (BZ_{i_j} \times TB_i) > 0 \quad (6.1)$$

mit

ZE_{Anl_j} = verfügbare Zeiteinheiten der Anlage pro Tag am Prozess j [min]

BZ_{i_j} = Bearbeitungszeit der Variante i am Prozess j [min]

TB_i = Tagesbedarf der Variante i

Für die Maschinenbediener kann eine Überstundenobergrenze zu der verfügbaren Arbeitszeit hinzugerechnet werden und dadurch ergibt sich

$$ZE_{MB_j} + ZE_{UeStd_j} - \sum_{i=1}^n (BZ_{MB_{i_j}} \times TB_i) > 0 \quad (6.2)$$

mit

ZE_{MB_j} = verfügb. Zeiteinheiten des Maschinenbedieners pro Tag am Prozess j [min]

ZE_{UeStd_j} = verfügbare Überstunden-Zeiteinheiten pro Tag am Prozess j [min]

$BZ_{MB_{i_j}}$ = Bearb.zeit des Maschinenbedieners der Variante i am Prozess j [min]

TB_i = Tagesbedarf der Variante i

Für den Rüster ist die Kapazitätsgrenze über den benötigten Rüstaufwand abzugleichen. Der Rüstaufwand wird dabei pro Jahr ermittelt, da er die Summe aller Rüstvorgänge enthält. Dafür ist die Ermittlung der Anzahl der Lose erforderlich, dementsprechend kann dieser Kapazitätsabgleich erst nach Bestimmung der Losgrößen erfolgen. Eine detaillierte Berechnung des Rüstaufwands erfolgt demnach in Kapitel 6.3.1.4.

$$ZE_{Rst_j} + ZE_{UeStd_j} - RA_{(jahr)_j} > 0 \quad (6.3)$$

mit

ZE_{Rst_j} = verfügbare Zeiteinheiten des Rüstlers pro Jahr am Prozess j [min]

ZE_{UeStd_j} = verfügbare Überstunden-Zeiteinheiten pro Jahr am Prozess j [min]

$RA_{(jahr)_j}$ = Rüstaufwand pro Jahr am Prozess j [min]

Die Betrachtung der Handlingaufwände erfolgt auf die gleiche Weise und unterliegt denselben Voraussetzungen. Eine detaillierte Berechnung des Handlingaufwands erfolgt demnach in Kapitel 6.3.2.2.

$$ZE_{Handl_j} + ZE_{UeStd_j} - HA_{(jahr)_j} > 0 \quad (6.4)$$

mit

ZE_{Handl_j} = verfügbare Zeiteinheiten des Logistikers pro Jahr am Prozess j [min]

ZE_{UeStd_j} = verfügbare Überstunden-Zeiteinheiten pro Jahr am Prozess j [min]

$HA_{(jahr)_j}$ = Handlingaufwand pro Jahr am Prozess j [min]

Werden eine oder mehrere Kapazitätsgrenzen überschritten, muss entweder das Produktionsprogramm dahingehend angepasst werden, dass die Kapazitätsgrenzen eingehalten werden können, oder es müssen Investitionen und damit verbundene Kosten mit in die Betrachtung einbezogen werden. Dafür können entweder bestehende Maschinen und Anlagen als Berechnungsgrundlage für neue Anlagen übernommen werden, oder es müssen möglichst konkrete Abschätzungen über die Höhe der Investition und die zugehörigen Kapazitäten und Bearbeitungszeiten gemacht werden.

6.2.5 Engpassermittlung durch den EPEI und Losgrößenbestimmung

Ausschlaggebend für die Engpassermittlung anhand des EPEI sind für diesen Ansatz die Stückzahlen und Varianten. Diese Parameter beeinflussen das Produktionsprogramm durch die unterschiedliche Belegung von Kapazitäten. Da sie einander indirekt über den EPEI und den darin enthaltenen Reichweiten der einzelnen Varianten begrenzen, spielen auch die Losgrößen eine entscheidende Rolle. Losgrößen, die die einzelne Kundenbestellung überschreiten, führen zu Beständen über einen gewissen Zeitraum hinweg (Reichweite) und stellen dadurch die Befriedigung der Nachfrage sicher, auch wenn durch hohe Rüstzeiten keine direkt kundenauftragsbezogene Produktion möglich ist. Die Variation der Losgrößen führt durch unterschiedliche Rüstaufwände zu einem unterschiedlichen Kapazitätsbedarf und dadurch zu unterschiedlich hohen Produktionsmengen und -varianten.

Um die Grenzen des betrachteten Wertstroms ermitteln zu können, muss der Engpass innerhalb des Wertstroms rechnerisch bestimmt werden. Dafür können mehrere Ansätze verfolgt werden.

Die minimale verfügbare Arbeitszeit aller Prozesse stellt dann den Engpass dar, wenn alle Varianten mit derselben Arbeitszeit über alle Prozesse laufen. Da das eine unrealistische Annahme ist, müssen die Bearbeitungszeiten der Varianten mit in die Engpassbetrachtung

einbezogen werden. Dann ist derjenige Prozess der Engpass, dessen Wert für die verbleibende Zeit zum Rüsten (siehe Gleichung 6.5) der Kleinste ist.

$$Zeit_{vR_j} = ZE_{Anl_j} - \sum_{i=1}^n (BZ_{i,j} \times TB_i) \quad (6.5)$$

mit

$Zeit_{vR_j}$ = zum Rüsten verbleibende Zeit pro Tag am Prozess j [min]

ZE_{Anl_j} = verfügbare Zeiteinheiten pro Tag am Prozess j [min]

$BZ_{i,j}$ = Bearbeitungszeit der Variante i am Prozess j [min]

TB_i = Tagesbedarf der Variante i

Dieser Wert ist nur dann aussagekräftig, wenn an allen Prozessen annähernd die gleichen Rüstzeiten gelten. Ist das nicht der Fall, müssen auch die Rüstzeiten berücksichtigt werden, indem die Summe der Rüstzeiten durch den Wert für die verbleibende Zeit zum Rüsten (siehe Gleichung 6.5) geteilt wird. Dadurch berechnet sich der für den Prozess minimal mögliche EPEI für jeden Prozess. Der größte Wert der einzelnen Prozesse stellt den Engpass dar (Gleichung 6.6).

$$EPEI_{Engpass} = \max(EPEI_{min_1}, \dots, EPEI_{min_m}) \quad (6.6)$$

mit

$$EPEI_{min_j} = \frac{\sum_{i=1}^n RZ_{i,j}}{Zeit_{vR_j}}$$

und

$EPEI_{Engpass}$ = EPEI am Engpassprozess

$EPEI_{min_j}$ = minimal möglicher EPEI am Prozess j

$EPEI_{min_m}$ = minimal möglicher EPEI am letzten Prozess im Wertstrom m

$RZ_{i,j}$ = Rüstzeit der Variante i am Prozess j [min]

$Zeit_{vR_j}$ = zum Rüsten verbleibende Zeit pro Tag am Prozess j [min]

Wurden für die Prozesse Losgrößenuntergrenzen vorgegeben (Vorgabelosgröße), müssen diese zur Berechnung des minimal möglichen EPEI am Prozess mit eingerechnet werden gemäß Gleichung 6.7.

$$EPEI_{min_{LG_j}} = \frac{\sum_{i=1}^n LG_{Vorgabe_{i,j}}}{TB} \quad (6.7)$$

mit

$EPEI_{min_{LGj}}$ = minimal möglicher EPEI am Prozess j bei vorgegebenen Losgrößen

$LG_{Vorgabe_{i,j}}$ = vorgegebene Losgröße der Variante i am Prozess j

TB = Tagesbedarf aller Varianten

Im weiteren Verlauf gilt für die betrachteten Losgrößen einer Variante i am Prozess j :

$$LG_{i,j} = \begin{cases} LG_{min_{i,j}} & \text{wenn } LG_{min_{i,j}} > LG_{Vorgabe_{i,j}} \\ LG_{Vorgabe_{i,j}} & \text{wenn } LG_{min_{i,j}} < LG_{Vorgabe_{i,j}} \end{cases} \quad (6.8)$$

mit

$LG_{min_{i,j}}$ = minimal mögliche Losgröße der Variante i am Prozess j gemäß EPEI

Die minimal möglichen Losgrößen im Wertstrom werden vom Engpassprozess vorgegeben, wenn von einer bestimmten Nachfrage ausgegangen wird und keine Mindestlosgrößen vorgegeben sind. Eine Erhöhung dieser Losgröße am Engpass wirkt sich unmittelbar auf den möglichen Durchsatz des Wertstroms aus, sofern die Nachfrage steigt. Vor diesem Prozess führen kleinere Losgrößen zwar zu einer Reduzierung der Reichweite, allerdings kann die Fläche oder Kapazität des zugehörigen Lagers oder Puffers nicht reduziert werden da die gleiche Menge an Teilen vor dem Engpassprozess gesammelt werden muss, bevor dieser produzieren kann. Darüber hinaus werden Rüst- und Handlingaufwände erhöht. Eine höhere Losgröße vor dem Engpass erhöht die Kapitalbindung an dieser Stelle, ohne jedoch die Auslastung oder den Durchsatz am Engpass steigern zu können. Nach dem Engpass steigert die Losgrößenerhöhung die gesamte Durchlaufzeit ohne den Durchsatz zu erhöhen. Eine Verringerung nach dem Engpass kann jedoch durchaus sinnvoll sein. Dadurch kann die Durchlaufzeit reduziert werden ohne den Durchsatz zu gefährden. Sind Losgrößen über mehrere Prozesse hinweg gleich groß und die Reihenfolge der produzierten Varianten nicht relevant oder für alle Prozesse gleich, besteht die Möglichkeit die gesamte Losgröße von einem Prozess zum nächsten weiterzugeben, ohne weitere Umpackvorgänge zu verursachen und gemäß des First-In-First-Out Prinzips weiter zu produzieren. Bei abweichenden Losgrößen sollten Vielfache voneinander gewählt werden, dadurch können einheitliche Behälter und Verpackungen eingesetzt werden und die Steuerung der Bedarfe beispielsweise durch Kanbansysteme vereinfacht werden. Innerhalb eines Wertstroms kann es demnach sinnvoll sein, Losgrößen an die nachfolgenden Prozesse anzupassen³²⁵, auch wenn diese nicht die minimalen oder optimalen Losgrößen darstellen³²⁶.

Der Engpassprozess begrenzt den Kundentakt und somit den Output im Wertstrom; die Wertstrommethode bezeichnet diesen Prozess auch als Schrittmacherprozess, weil er den Durchsatz steuert und den Takt angibt. Um den Engpass im Wertstrom zu bestimmen –

³²⁵vgl. GOTTMANN ET AL. 2012, S.187

³²⁶vgl. Kapitel 6.4.2

welcher sich bei verändertem Produktionsprogramm oder durch Kapazitätserweiterung verschieben kann –, müssen alle Prozesse auf ihre Kapazitätsgrenzen untersucht werden. Diese ergeben sich, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, aus den bestehenden Bearbeitungszeiten, zugehörigen Stückzahlen und den durch die Rüstzeit begrenzten EPEI und daraus resultierenden Losgrößen. Steht nämlich am nachfolgenden Prozess nur eine begrenzte Pufferfläche zur Verfügung, begrenzen der Bestand und die Losgrößen die mögliche Anzahl an Varianten.

Die vorgelagerten und nachgelagerten Bestände sind direkt abhängig von den produzierten Losgrößen sowohl der vorangegangenen, als auch der nachfolgenden Prozesse. Die zugehörigen Handlingprozesse in den Puffern oder Lagern ergeben sich aus der Anzahl der produzierten Lose, für welche jeweils ein Handlingprozess anfällt. Die Werte des Bestandes verändern sich im Laufe des Wertstroms, zunehmend mit erbrachter Leistung am Produkt. Ist das Produkt bereits auslieferfertig, verbleibt aber noch als Bestand im Unternehmen, müssen zusätzlich noch die Opportunitätskosten des Betrags, der durch Veräußerung des Produktes erzielt werden könnte, mit in den Bestandwert eingerechnet werden. Verändert sich der Engpass innerhalb des Wertstroms aufgrund von Investitionen, Maßnahmen oder Veränderungen des Produktionsprogramms, verändern sich demnach sowohl die Grenzen der einzelnen Prozesse, als auch die Grenzen des Wertstroms und die zugehörigen Kosten für Kapitalbindung, Rüst- und Handlingaufwände.

6.3 Ermittlung der Kosten im Wertstrom

Um die beschriebenen Kostenarten ermitteln zu können, werden die Aufwände durch Vermögen, Löhne und Gehälter und laufende Kosten wie Energie- und Betriebskosten aus den Puffern, Prozessen und Support über den EPEI in Abhängigkeit zu Varianten und Stückzahlen gebracht. Durch die Eingabe des betrachteten Produktionsprogrammes können dann die jeweiligen Kosten berechnet werden. Diese teilen sich in die in Kapitel 5.2.2 bis Kapitel 5.2.4 beschriebenen Kostenarten, deren Ermittlung im Folgenden beschrieben wird.

Die Ermittlung der Kosten unterteilt sich in:

- Kosten im Produktionsprozess
- Kosten in Puffer und Lager
- Kosten in Supportbereichen
- Kosten entlang des Gesamtwertstroms

6.3.1 Kosten im Produktionsprozess

Die Kosten im Produktionsprozess ergeben sich aus den in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Kostenarten. Diese können nur auf Produkte verteilt werden, die diesen Produktionsprozess durchlaufen, das bedeutet, deren Bearbeitungszeiten am betrachteten Prozess größer null sind. Ebenfalls können Rüstkosten nur auf diejenigen Varianten verteilt werden, für die Rüstprozesse anfallen, d.h. deren Rüstzeit größer null ist. Die aufgeführten Berechnungsgrundlagen gelten für sämtliche Produktionsprozesse und werden für jeden Prozess durchgeführt, sofern er von den betrachteten Varianten durchlaufen wird.

Im Folgenden soll in Anlehnung an Kapitel 5.2.2 die Kosten im Produktionsprozess in Abhängigkeit von Stückzahlen und Varianten eingehend beschrieben werden. Der in Kapitel 5.2.2.1 eingeführte Nutzungsfaktor stellt die Verteilung aller (genutzter und ungenutzter) Kapazitäten sicher. Bei einem Nutzungsfaktor kleiner eins fallen bei Personaleinsatz Kosten für Überstunden an.

Im Folgenden sind die Rechenschritte für die Ermittlung der einzelnen Bestandteile der verschiedenen Kostenarten aufgeführt.

6.3.1.1 Fertigungskosten

Fertigungskosten stellen einen fixen Kostenanteil der Wertstromkosten dar. Die Produkte tragen die Fertigungskosten nicht nur durch ihre Bearbeitungszeit, sondern auch durch diejenige Zeit, die durch das Rüsten des jeweiligen Produktes nicht für die Produktion an der Anlage zur Verfügung steht und dadurch Kosten für die Anlage tragen muss (siehe Gleichung 6.55).

Berechnung der Abschreibungskosten auf Anlagen (AfA) je Variante i am Prozess j :

$$k_{AfA_{i,j}} = \frac{K_{AfA_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.9)$$

mit

$$K_{AfA_j} = \frac{K_{Anl_j}}{AB_{Anl_j}} \quad (6.10)$$

$$f_{Anl_j} = \frac{ZE_{Anl_j}}{(ZE_{Bedarf_Anl_j} + ZE_{Bedarf_Rst_j})} \quad (6.11)$$

$$ZE_{Bedarf_Anl_j} = \sum_{i=1}^n (BZ_{Anl_{i,j}} \times Stkz_i) \quad (6.12)$$

und

$k_{AfA_{i,j}}$ = Stückkosten AfA [EUR]

K_{AfA_j} = Gesamtkosten AfA pro Jahr [EUR]

$BZ_{Anl_{i,j}}$ = Bearbeitungszeit an der Anlage [min]

f_{Anl_j} = Nutzungsfaktor der Anlage (siehe Gleichung 5.19)

K_{Anl_j} = Anschaffungskosten der Anlage [EUR]

AB_{Anl_j} = Abschreibungszeitraum der Anlage [Jahre]

ZE_{Anl_j} = verfügbare Zeiteinheiten pro Jahr der Anlage [min]

$ZE_{Bedarf_Anl_j}$ = benötigte Zeiteinheiten pro Jahr auf der Anlage [min]

$ZE_{Bedarf_Rst_j}$ = benötigte Zeiteinh. pro Jahr für Rüstaufwände (siehe Gl. 6.51) [min]

$Stkz_i$ = Stückzahl Jahresproduktion der Variante i

Berechnung der Zinskosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Zins_{i,j}} = \frac{K_{Zins_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.13)$$

mit

$$K_{Zins_j} = \frac{K_{Anl_j}}{2} \times z_{AV} \quad (6.14)$$

und

$k_{Zins_{i,j}}$ = Stückzinskosten auf Anlagevermögen [EUR]

K_{Zins_j} = Gesamtzinskosten auf Anlagevermögen pro Jahr [EUR]

K_{Anl_j} = Anschaffungskosten der Anlage [EUR]

z_{AV} = Zinssatz auf Anlagevermögen [%]

Berechnung der Instandhaltungskosten (IH) je Variante i am Prozess j :

$$k_{IH_{i,j}} = \frac{K_{IH_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.15)$$

mit

$$K_{IH_j} = K_{IHMaterial_j} + K_{IHDienstleistungen_j} \quad (6.16)$$

und

$k_{IH_{i,j}}$ = Stückkosten IH [EUR]

K_{IH_j} = Gesamtkosten IH pro Jahr [EUR]

Berechnung der Entsorgungskosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Ents_{i,j}} = \frac{K_{Ents_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.17)$$

und

$k_{Ents_{i,j}}$ = Stückkosten Entsorgung [EUR]

K_{Ents_j} = Gesamtkosten Entsorgung pro Jahr [EUR]

Berechnung sonstiger Life Cycle (LC) Kosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{LC_{i,j}} = \frac{K_{LC_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.18)$$

und

$$k_{LC_{i,j}} = \text{Stückkosten LC [EUR]}$$

$$K_{LC_j} = \text{Gesamtkosten LC [EUR]}$$

Berechnung der Mietkosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Miet_{i,j}} = \frac{K_{Miet_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.19)$$

mit

$$K_{Miet_j} = Fl_{Bedarf_Anl_j} \times k_{Miet(m^2)_j} \quad (6.20)$$

und

$$k_{Miet_{i,j}} = \text{Stückkosten Miete [EUR]}$$

$$K_{Miet_j} = \text{Gesamtkosten Miete pro Jahr [EUR]}$$

$$Fl_{Bedarf_Anl_j} = \text{Flächenbedarf der Anlage [m}^2\text{]}$$

$$k_{Miet(m^2)} = \text{Kosten für Miete pro m}^2 \text{ [EUR]}$$

Berechnung der Energie- und Treibstoffkosten (E&T) je Variante i am Prozess j :

$$k_{E\&T_{i,j}} = \frac{K_{E\&T_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.21)$$

und

$$k_{E\&T_{i,j}} = \text{Stückkosten E\&T [EUR]}$$

$$K_{E\&T_j} = \text{Gesamtkosten E\&T pro Jahr [EUR]}$$

Berechnung der Chemikalienkosten (Ch) je Variante i :

$$k_{Ch_{i,j}} = \frac{K_{Ch_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{Anl_{i,j}} \times f_{Anl_j} \quad (6.22)$$

und

$$k_{Ch_{i,j}} = \text{Stückkosten Ch [EUR]}$$

$$K_{Ch_j} = \text{Gesamtkosten Ch pro Jahr [EUR]}$$

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Gesamtfertigungskosten des Produktionsprozesses j (K_{F_j} - siehe Gleichung 6.23) beziehungsweise die Stückfertigungskosten der Variante i am Produktionsprozesses j ($k_{F_{i,j}}$ - siehe Gleichung 6.24). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{F_j} = K_{AfA_j} + K_{Zins_j} + K_{IH_j} + K_{Ents_j} + K_{LC_j} + K_{Miet_j} + K_{E\&T_j} + K_{Ch_j} \quad (6.23)$$

$$k_{F_{i,j}} = k_{AfA_{i,j}} + k_{Zins_{i,j}} + k_{IH_{i,j}} + k_{Ents_{i,j}} + k_{LC_{i,j}} + k_{Miet_{i,j}} + k_{E\&T_{i,j}} + k_{Ch_{i,j}} \quad (6.24)$$

Verändern sich die Anlagen aufgrund verändertem Kapazitätsbedarf, müssen sämtliche mit der Anlage verbundenen Gesamtkosten mit berücksichtigt und gegebenenfalls angepasst werden.

Wird die betrachtete Maschine von zusätzlichen Produkten außerhalb des Wertstromes beansprucht, kann ein Faktor für die Umlegung der Fertigungskosten auf die Gesamtkosten eingeführt werden und erst anschließend auf die einzelnen Produkte angerechnet werden.

6.3.1.2 Energie- und Betriebskosten

Die Energie- und Betriebskosten sind laufende Kosten, die sowohl während des Betriebes, als auch während Stillstandzeiten anfallen, allerdings in unterschiedlichen Höhen. Dementsprechend enthalten Energie- und Betriebskosten sowohl einen fixen und einen variablen Anteil. Demnach verbraucht eine Anlage während des Betriebes mehr Strom, als wenn die Anlage steht. Das gleiche gilt für sonstige Heiz- und Stromkosten. Der Energiebedarf für die Infrastruktur kann während nicht genutzter Nachtschichten zwar reduziert, allerdings selten ganz abgestellt werden. Der für die Berechnung notwendige Standbykostensatz wird vor der Berechnung ermittelt und geht als fester Wert in die Berechnung ein.

Berechnung der Betriebskosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Lauf_{i,j}} = k_{Betrieb(min)} \times BZ_{Anl_{i,j}} \quad (6.25)$$

mit

$$K_{Lauf_j} = ZE_{Bedarf_Anl_{i,j}} \times k_{Betrieb(min)_j} \quad (6.26)$$

mit

$$k_{Betrieb(min)_j} = k_{Energie(min)_j} + k_{Hilfs,Betriebsstoffe(min)_j} \quad (6.27)$$

und

$$k_{Lauf_{i,j}} = \text{Stückkosten Betrieb [EUR]}$$

$$k_{Betrieb(min)_j} = \text{Betriebskosten pro min [EUR]}$$

$$K_{Lauf_j} = \text{Gesamtbetriebskosten pro Jahr [EUR]}$$

Berechnung der Standbykosten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Standby_{i,j}} = \frac{(ZE_{Standby_j} \times s \times k_{Betrieb_j})}{ZE_{Anl}} \times BZ_{i,j} \times f_{Anl_j} \quad (6.28)$$

mit

$$ZE_{Standby_j} = ZE_{Anl_j} - ZE_{Bedarf_Anl_j} - ZE_{Bedarf_Rst_j} \quad (6.29)$$

und

$$k_{Standby_{i,j}} = \text{Stückkosten Standby [EUR]}$$

$$ZE_{Standby_j} = \text{Standbyzeiteinheiten pro Jahr [min]}$$

$$s = \text{Standbykostensatz [\%]}$$

Daraus ergeben sich die Gesamtstandbykosten pro Jahr:

$$K_{Standby_j} = \sum_{i=1}^n (k_{Standby_{i,j}} \times Stkz_i) \quad (6.30)$$

Berechnung der Heiz- und Stromkosten (H&S) je Variante i am Prozess j :

$$k_{H\&S_{i,j}} = \frac{K_{H\&S_j}}{ZE_{Anl_j}} \times BZ_{i,j} \times f_{Anl_j} \quad (6.31)$$

und

$$k_{H\&S_{i,j}} = \text{Stückkosten H\&S [EUR]}$$

$$K_{H\&S_j} = \text{Gesamtkosten H\&S pro Jahr [EUR]}$$

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Energie- und Betriebskosten des Produktionsprozesses j pro Jahr ($K_{E\&B_j}$ - siehe Gleichung 6.32) beziehungsweise die Stückkosten für Energie und Betrieb der Variante i am Produktionsprozesses j ($k_{E\&B_{i,j}}$ - siehe Gleichung 6.33). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{E\&B_j} = K_{Lauf_j} + K_{Standby_j} + K_{H\&S_j} \quad (6.32)$$

$$k_{E\&B_{i,j}} = k_{Lauf_{i,j}} + k_{Standby_{i,j}} + k_{H\&S_{i,j}} \quad (6.33)$$

6.3.1.3 Maschinenbedienerkosten

Die Maschinenbedienerkosten haben ebenfalls einen fixen und einen variablen Kostenanteil. Die fixen Kosten stellen dabei die Lohnkosten dar, die variablen Kosten die Überstunden. Bei den Maschinenbedienerkosten handelt es sich um Lohnkosten, die durch den Bedarf eines Mitarbeiters an der Maschine entstehen und die von der Bearbeitungszeit des Mitarbeiters für das jeweilige Produkt abhängig sind³²⁷. Dabei sind Überstunden, die möglicherweise bei Kapazitätsengpässen entstehen, mit einem Überstundenzuschlag versehen, welcher für die

³²⁷vgl. Kapitel 5.2.2.3

Berechnung festgelegt sein muss. Die anfallenden Überstunden werden gleichmäßig gemäß der anteiligen Gesamtbearbeitungszeiten der jeweiligen Produktvarianten auf diese verteilt. Dabei können Überstunden nicht beliebig hoch anfallen.

Berechnung der Lohnkosten für Maschinenbedienung (MB) je Variante i am Prozess j :

$$k_{LMB_{i,j}} = \frac{K_{LMB_j}}{ZE_{MB_j}} \times BZ_{MB_{i,j}} \times f_{MB_j} \quad (6.34)$$

mit

$$K_{LMB_j} = LK_{MB_j} \times Anz.MA_{MB_j} \times Anz.Sch_{MB_j} \quad (6.35)$$

mit

$$ZE_{MB_j} = AZ_{MB_j} \times AT_{MB_j} \times Anz.MA_{MB_j} \times Anz.Sch_{MB_j} \quad (6.36)$$

mit

$$f_{MB_j} = \frac{ZE_{MB_j}}{ZE_{Bedarf_MB_j}} \quad (6.37)$$

mit

$$ZE_{Bedarf_MB_j} = \sum_{i=1}^n (BZ_{MB_{i,j}} \times Stkz_i) \quad (6.38)$$

und

$k_{LMB_{i,j}}$ = Lohnstückkosten MB [EUR]

K_{LMB_j} = Gesamtlohnkosten MB pro Jahr [EUR]

ZE_{MB_j} = verfügbare Zeiteinheiten der Maschinenbediener pro Jahr [min]

$BZ_{MB_{i,j}}$ = Vorgabezeit für Maschinenbedienung [min]

f_{MB_j} = Nutzungsfaktor Maschinenbediener

LK_{MB_j} = Lohnkosten für Maschinenbediener pro Jahr [EUR]

$Anz.MA_{MB_j}$ = Anzahl Mitarbeiter für Maschinenbedienung

$Anz.Sch_{MB_j}$ = Anzahl Schichten pro Tag

AZ_{MB_j} = Arbeitszeit pro Tag [min]

AT_{MB_j} = Arbeitstage pro Jahr

$ZE_{Bedarf_MB_j}$ = benötigte Zeiteinheiten der Maschinenbediener pro Jahr [min]

$Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i

Berechnung der Überstundenkosten der Maschinenbediener je Variante i am Prozess j :

$$k_{UeMB_{i,j}} = \frac{k_{UeMB_j}}{UeZ_{MB_j}} \times BZ_{MB_{i,j}} \times \left(\sum_{i=1}^n Stkz_i - \sum_{i=1}^n Stkz_i \times f_{MB_j} \right) \quad (6.39)$$

mit

$$k_{UeMB_j} = LK_{MB(min)_j} \times (1 + UeSZ_{MB_j}) \times UeZ_{MB_j} \quad (6.40)$$

mit

$$UeZ_{MB_j} = ZE_{Bedarf_MB_j} - ZE_{MB_j} = ZE_{Bedarf_MB_j} \times (1 - f_{MB_j}) \quad (6.41)$$

und

$k_{UeMB_{i,j}}$ = Stückkosten für Überstunden MB [EUR]

UeZ_{MB_j} = Überzeit des Maschinenbedieners [min]

k_{UeMB_j} = Gesamtlohnkosten für Überstunden pro Stück (variantenneutral) [EUR]

$LK_{MB(min)_j}$ = Lohnkosten für Maschinenbedienung pro min [EUR]

$UeSZ_{MB_j}$ = Überstundenzuschlag für Maschinenbediener [%]

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Maschinenbedienerkosten des Produktionsprozesses j (K_{MB_j} - siehe Gleichung 6.43) beziehungsweise die Maschinenbedienerstückkosten der Variante i am Produktionsprozesses j ($k_{MB_{i,j}}$ - siehe Gleichung 6.44). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{MB_j} = K_{LMB_j} + K_{UeMB_j} \quad (6.43)$$

$$k_{MB_{i,j}} = k_{LMB_{i,j}} + k_{UeMB_{i,j}} \quad (6.44)$$

6.3.1.4 Rüstkosten

Wie die Maschinenbedienerkosten, setzen sich die Rüstkosten³²⁸ aus einem fixen (Lohnkosten) und einem variablen Anteil (Überstunden) zusammen. Werden zusätzlich Werkzeuge für den Rüstvorgang benötigt, erhöhen diese den Fixkostenanteil.

Im Gegensatz zu den Maschinenbedieneraufwänden, sind die Aufwände für die Rüstvorgänge nicht von der zu produzierenden Stückzahl abhängig, sondern von den Losgrößen und der zugehörigen Anzahl an Losen. Für jedes Los fällt pro Variante ein Rüstvorgang an, der in der Höhe der Rüstzeit des Rüstmitarbeiters Kosten verursacht. Dementsprechend werden die Überstunden gemäß der Rüstvorgänge und den zugehörigen Zeiten auf die Varianten verteilt.

³²⁸vgl. Kapitel 5.2.2.4

Berechnung der Lohnkosten für Rüsten je Variante i am Prozess j :

$$k_{LRst_{i,j}} = \frac{K_{LRst_j}}{ZE_{Rst_j}} \times RA_{i,j} \times f_{Rst_j} \quad (6.45)$$

mit

$$K_{LRst_j} = LK_{Rst_j} \times Anz.MA_{Rst_j} \times Anz.Sch_{Rst_j} \quad (6.46)$$

mit

$$ZE_{Rst_j} = AZ_{Rst_j} \times AT_{Rst_j} \times Anz.MA_{Rst_j} \times Anz.Sch_{Rst_j} \quad (6.47)$$

mit

$$RA_{i,j} = \frac{RA_{(jahr)_{i,j}}}{Stkz_i} \quad (6.48)$$

mit

$$RA_{(jahr)_{i,j}} = \frac{Stkz_i}{LG_{i,j}} \times RZ_{Los_{i,j}} \quad (6.49)$$

mit

$$f_{Rst_j} = \frac{ZE_{Rst_j}}{ZE_{Bedarf_Rst_j}} \quad (6.50)$$

mit

$$ZE_{Bedarf_Rst_j} = \sum_{i=1}^n RA_{(jahr)_{i,j}} \quad (6.51)$$

und

$k_{LRst_{i,j}}$ = Lohnstückkosten für Rüstaufwände [EUR]

K_{LRst_j} = Gesamtlohnkosten für Rüstaufwand pro Jahr [EUR]

$RA_{i,j}$ = Rüstaufwand pro Jahr pro Stück [min]

f_{Rst_j} = Nutzungsfaktor Rüster

LK_{Rst_j} = Lohnkosten für Rüster pro Jahr [EUR]

$Anz.MA_{Rst_j}$ = Anzahl Mitarbeiter für Maschinenbedienung

$Anz.Sch_{Rst_j}$ = Anzahl Schichten pro Tag

AZ_{Rst_j} = Arbeitszeit pro Tag [min]

AT_{Rst_j} = Arbeitstage pro Jahr

$RA_{(jahr)_{i,j}}$ = Rüstaufwand pro Jahr [min]

$Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i
 $LG_{i,j}$ = Losgröße der Variante i
 $RZ_{Los_{i,j}}$ = Rüstzeit für einen Rüstvorgang [min]
 ZE_{Rst_j} = verfügbare Zeiteinheiten der Rüster [min]
 $ZE_{Bedarf_Rst_j}$ = benötigte Zeiteinheiten der Rüster [min]

Berechnung der Überstundenkosten der Rüster je Variante i am Prozess j :

$$k_{UeRst_{i,j}} = k_{UeRst_j} \times \frac{\sum_{i=1}^n Stkz_i}{UeZ_{Rst_j}} \times \frac{RA_{(jahr)_{i,j}}}{Stkz_i} \quad (6.52)$$

mit

$$k_{UeRst_j} = LK_{Rst(min)_j} \times (1 + UeSZ_{Rst_j}) \times UeZ_{Rst_j} \quad (6.53)$$

mit

$$UeZ_{Rst_j} = ZE_{Bedarf_Rst_j} - ZE_{Rst_j} = ZE_{Bedarf_Rst_j} \times (1 - f_{Rst_j}) \quad (6.54)$$

und

$k_{UeRst_{i,j}}$ = Stückkosten für Überstunden der Rüster [EUR]

k_{UeRst_j} = Gesamtlohnkosten für Überstunden pro Stück (variantenneutral) [EUR]

$LK_{Rst(min)_j}$ = Lohnkosten für Rüsten pro min [EUR]

$UeSZ_{Rst_j}$ = Überstundenzuschlag für Rüster [%]

UeZ_{Rst_j} = Überzeit des Rüsters pro Jahr [min]

Die Berechnung der Überstundenkosten für Rüster unterscheidet sich deshalb von den Überstundenkosten für Maschinenbediener, da die Rüstaufwände von der Anzahl der Lose abhängig sind und nicht von den produzierten Stückzahlen.

Da durch die Rüstvorgänge Zeiten der Maschine oder Anlage beansprucht werden, tragen sie einen Teil der Fertigungskosten und Energie- und Betriebskosten in Höhe der Rüstzeiten der jeweiligen Variante.

Berechnung der Fertigungskosten für Rüstaufwände je Variante i am Prozess j :

$$k_{FK_Rst_{i,j}} = \frac{FK_j}{ZE_{Anl_j}} \times RA_{i,j} \times f_{Anl_j} \quad (6.55)$$

mit

$$\begin{aligned}
FK_j &= K_{AfA_j} + Z_{AfA_j} + K_{IH_j} + K_{Ents_j} + K_{LC_j} \\
&+ K_{Miet_j} + K_{E\&T_j} + K_{Ch_j} + K_{Lau_f_j}
\end{aligned} \quad (6.56)$$

und

$k_{FK_Rst_j}$ = Fertigungsstückkosten für Rüstaufwände [EUR]

FK_j = Fertigungsgesamtkosten für Rüstaufwände pro Jahr [EUR]

Daraus ergeben sich die Gesamtfertigungskosten für Rüstaufwände pro Jahr:

$$K_{FK_Rst_j} = \sum_{i=1}^n (k_{FK_Rst_{i,j}} \times Stkz_i) \quad (6.57)$$

Berechnung der Abschreibungskosten für Rüstwerkzeuge (AfW) je Variante i am Prozess j :

$$k_{AfW_Rst_j} = \frac{K_{AfW_{Rst_j}}}{ZE_{Rst_j}} \times RZ_{i,j} \times f_{Rst_j} \quad (6.58)$$

mit

$k_{AfW_Rst_j}$ = Stückkosten AfW [EUR]

$K_{AfW_Rst_j}$ = Kosten für Abschreibungen auf Werkzeuge pro Jahr [EUR]

Berechnung der Standbykosten für Rüsten je Variante i am Prozess j :

$$k_{Standby_Rst_j} = RZ_{i,j} \times k_{Betrieb(min)_j} \times s \times f_{Anl_j} \quad (6.59)$$

mit

$k_{Standby_Rst_j}$ = Standbystückkosten für Rüstaufwände [EUR]

$k_{Betrieb(min)_j}$ = Betriebskosten pro Minute [EUR]

Daraus ergeben sich die Gesamtstandbykosten für Rüstaufwände ($K_{Standby_Rst_j}$) pro Jahr:

$$K_{Standby_Rst_j} = \sum_{i=1}^n (k_{Standby_Rst_{i,j}} \times Stkz_i) \quad (6.60)$$

Berechnung der restlichen Energie- und Betriebskosten (z.B. Heizen und Strom - H&S) für Rüsten je Variante i am Prozess j :

$$k_{H\&S_Rst_j} = \frac{K_{H\&S_j}}{RZ_{Anl_{i,j}}} \times f_{Anl_j} \quad (6.61)$$

mit

$k_{H\&S_Rst_j}$ = Stückkosten H&S [EUR]

$K_{H\&S_Rst_j}$ = Gesamtkosten H&S pro Jahr [EUR]

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Rüstkosten des Produktionsprozesses j pro Jahr (K_{Rst_j} - siehe Gleichung 6.62) beziehungsweise die Rüststückkosten der Variante i am Produktionsprozesses j ($k_{Rst_{i,j}}$ - siehe Gleichung 6.63). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{Rst_j} = K_{LRst_j} + K_{UeRst_j} + K_{BK_Rst_j} + K_{Standby_Rst_j} + K_{LauF_Rst_j} + K_{AfW_Rst_j} \quad (6.62)$$

$$k_{Rst_{i,j}} = k_{LRst_{i,j}} + k_{UeRst_{i,j}} + k_{BK_Rst_{i,j}} + k_{Standby_Rst_{i,j}} + k_{LauF_Rst_{i,j}} + k_{AfW_Rst_{i,j}} \quad (6.63)$$

6.3.2 Kosten in Puffer und Lager

Die Kosten in den Puffern ergeben sich aus den in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Aufwänden. Vergleichbar mit den Kosten im Produktionsprozess, können diese Kosten nur auf Produkte verteilt werden, die den vorherigen Prozess und damit den Puffer durchlaufen. Dabei handelt es sich nicht um einen physischen Puffer- oder Lagerbegriff, sondern um einen Zeitlichen. Haben mehrere Puffer im Wertstrom physisch denselben Lagerort, so müssen die Kosten für dieses Lager auf die unterschiedlichen Puffer gemäß ihres Platzbedarfs verteilt werden. Die aufgeführten Berechnungsgrundlagen gelten für sämtliche Puffer bzw. Lager und werden für jeden Puffer durchgeführt.

6.3.2.1 Lagerkosten

Die Lagerkosten verhalten sich vergleichbar zu den Fertigungskosten und stellen fixe Kosten dar, allerdings sind sie nicht von den Bearbeitungszeiten der Prozesse abhängig sondern von der jeweiligen Liegezeit der einzelnen Produkte. Diese ergibt sich aus der Reichweite der Produkte, welche aus den Losgrößen der einzelnen Varianten hervorgeht. Es wird hier für jedes Produkt einer Variante von der durchschnittlich gleichen Liegezeit ausgegangen, und dementsprechend die Lagerkosten gemäß ihrer Gesamtreichweite verteilt.

Berechnung der Abschreibungskosten für Lager (AfL) je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{AfL_{i,k}} = \frac{K_{AfL_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.64)$$

mit

$$RW_{i,k} = \frac{LG_{i,j}}{TB_i} \quad (6.65)$$

und

$$k_{AfL_{i,k}} = \text{Stückkosten AfL [EUR]}$$

$$K_{AfL_k} = \text{Gesamtkosten AfL pro Jahr [EUR]}$$

$RW_{i,k}$ = Reichweite des Bestandes der Variante i [Tage]

$Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i

Berechnung der Zinskosten auf Lagervermögen je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{ZinsL_{i,k}} = \frac{K_{ZinsL_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.66)$$

mit

$$K_{ZinsL_k} = \frac{K_{L_k}}{2} \times z_{AV} \quad (6.67)$$

und

$k_{ZinsL_{i,k}}$ = Stückzinskosten auf Lagervermögen [EUR]

K_{ZinsL_k} = Gesamtzinskosten auf Lageranlagevermögen pro Jahr [EUR]

K_{L_j} = Anschaffungskosten der Lagereinrichtung [EUR]

z_{AV} = Zinssatz auf Anlagevermögen [%]

Berechnung der Instandhaltungskosten (IH) je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{IH_{i,k}} = \frac{K_{IH_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.68)$$

mit

$k_{IH_{i,k}}$ = Stückkosten IH [EUR]

K_{IH_k} = Gesamtkosten IH pro Jahr [EUR]

Berechnung der Entsorgungskosten je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{Ents_{i,k}} = \frac{K_{Ents_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.69)$$

mit

$k_{Ents_{i,k}}$ = Stückkosten Entsorgung [EUR]

K_{Ents_k} = Gesamtkosten Entsorgung pro Jahr [EUR]

Berechnung sonstiger Life Cycle Kosten (LC) je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{LC_{i,k}} = \frac{K_{LC_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.70)$$

mit

$$k_{LC_{i,k}} = \text{Stückkosten LC [EUR]}$$

$$K_{LC_k} = \text{Gesamtkosten LC pro Jahr [EUR]}$$

Berechnung der Mietkosten je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{Miet_{i,k}} = \frac{K_{Miet_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.71)$$

mit

$$k_{Miet_{i,k}} = \text{Stückkosten Miet [EUR]}$$

$$K_{Miet_k} = \text{Gesamtkosten Miet pro Jahr [EUR]}$$

Berechnung der Entsorgungs- und Treibstoffkosten (E&T) je Variante i am Puffer k pro Jahr:

$$k_{E\&T_{i,k}} = \frac{K_{E\&T_k}}{Stkz_i} \times \frac{RW_{i,k}}{\sum_{i=1}^n RW_{i,k}} \quad (6.72)$$

mit

$$k_{E\&T_{i,k}} = \text{Stückkosten (E\&T) [EUR]}$$

$$K_{E\&T_k} = \text{Gesamtkosten (E\&T) pro Jahr [EUR]}$$

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Gesamtlagerkosten des Puffers k pro Jahr (K_{L_k} - siehe Gleichung 6.73) beziehungsweise die Stücklagerkosten der Variante i am Puffer k ($k_{L_{i,k}}$ - siehe Gleichung 6.74). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{L_k} = K_{AfL_k} + K_{ZinsL_k} + K_{IH_k} + K_{Ents_k} + K_{LC_k} + K_{Miet_k} + K_{E\&T_k} \quad (6.73)$$

$$k_{L_{i,k}} = k_{AfL_{i,k}} + k_{ZinsL_{i,k}} + k_{IH_{i,k}} + k_{Ents_{i,k}} + k_{LC_{i,k}} + k_{Miet_{i,k}} + k_{E\&T_{i,k}} \quad (6.74)$$

Wird das Lager von zusätzlichen Produkten außerhalb des Wertstromes beansprucht, kann ein Faktor für die Umlegung der Lagerkosten auf die Gesamtkosten eingeführt werden und erst anschließend auf die einzelnen Produkte angerechnet werden.

6.3.2.2 Handlingkosten

Wie die Rüstkosten werden die Handlingkosten gemäß ihrer Losgrößen und der zugehörigen Anzahl an Losen auf die einzelnen Produktvarianten verteilt und haben einen fixen (Lohnkosten) und einen variablen (Überstunden) Kostenanteil. Für jedes Los fällt pro Variante ein Rüstvorgang an, der in Höhe der Handlingaufwände des Logistikers Kosten verursacht. Ebenso werden die Überstunden gemäß der Rüstvorgänge und den zugehörigen Handlingaufwänden auf die Varianten verteilt und durch einen Nutzungsfaktor beschrieben. Zu beachten ist allerdings, dass für jeden Rüstaufwand zwei Handlingvorgänge anfallen, für das Bereitstellen und Abholen des jeweiligen Loses. Werden für den Nachfolgeprozess zusätzlich Kaufteile benötigt, erhöht sich die Handlingzeit für die Anlieferung an den Nachfolgeprozess, um die dafür benötigte Handlingzeit (siehe Gleichung 6.78).

Berechnung der Lohnkosten für Handling je Variante i am Puffer k :

$$k_{LHandl_{i,k}} = \frac{K_{LHandl_k}}{Z E_{Handl}} \times HA_{i,k} \times f_{Handl_k} \quad (6.75)$$

mit

$$K_{LHandl_k} = LK_{Handl_k} \times Anz.MA_{Handl_k} \times Anz.Sch_{Handl_k} \quad (6.76)$$

mit

$$HA_{i,k} = \frac{HA_{(jahr)_{i,k}}}{Stkz_i} \quad (6.77)$$

mit

$$HA_{(jahr)_{i,k}} = \frac{Stkz_i}{LG_{i,j}} \times HZ_{Los_{i,k}} + \frac{Stkz_i}{LG_{i,k}} \times (HZ_{Los_{i,k1}} + HZ_{KT_{i,k1}}) \quad (6.78)$$

mit

$$Z E_{Handl_k} = AZ_{Handl_k} \times AT_{Handl_k} \times Anz.MA_{Handl_k} \times Anz.Sch_{Handl_k} \quad (6.79)$$

mit

$$f_{Handl_k} = \frac{Z E_{Handl_k}}{Z E_{Bedarf_Handl_k}} \quad (6.80)$$

mit

$$Z E_{Bedarf_Handl_k} = \sum_{i=1}^n HA_{(jahr)_{i,k}} \quad (6.81)$$

und

$$k_{Handl_{i,k}} = \text{Stücklohnkosten für Handling [EUR]}$$

$$K_{Handl_k} = \text{Gesamtlohnkosten für Handling pro Jahr [EUR]}$$

$HA_{i,k}$ = Handlingaufwand pro Jahr pro Stück [min]
 f_{Handl_k} = Nutzungsfaktor Handling
 LK_{Handl_k} = Lohnkosten für Handling pro Jahr [EUR]
 $Anz.MA_{Handl_k}$ = Anzahl Mitarbeiter für Maschinenbedienung
 $Anz.Sch_{Handl_k}$ = Anzahl Schichten pro Tag
 AZ_{Handl_k} = Arbeitszeit pro Tag [min]
 AT_{Handl_k} = Arbeitstage pro Jahr
 $HA_{(jahr)_{i,k}}$ = Handlingaufwand pro Jahr der Variante i [min]
 $Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i
 $LG_{i,j}$ = Losgröße der Variante i des Vorgängerprozesses j
 $HZ_{Los_{i,k}}$ = Handlingzeit pro Vorgang der Variante i [min]
 ZE_{Handl_k} = verfügbare Zeiteinheiten für Handling pro Jahr [min]
 $ZE_{Bedarf_Handl_k}$ = benötigte Zeiteinheiten für Handling pro Jahr [min]

Berechnung der Überstundenkosten für Handling je Variante i am Puffer k :

$$k_{UeHandl_{i,k}} = k_{UeHandl_k} \times \frac{\sum_{i=1}^n Stkz_i}{UeZ_{Handl_k}} \times \frac{HA_{(jahr)_{i,k}}}{Stkz_i} \quad (6.82)$$

mit

$$k_{UeHandl_k} = UeZ_{Handl_k} \times LK_{Handl(min)_k} \times (1 + UeSZ_{Handl_k}) \quad (6.83)$$

mit

$$UeZ_{Handl_k} = ZE_{Bedarf_Handl_k} \times Stkz_i - ZE_{Handl_k} \quad (6.84)$$

und

$k_{UeHandl_{i,k}}$ = Stückkosten für Überstunden Handling [EUR]

$k_{UeHandl_k}$ = Gesamtlohnkosten für Überstunden pro Stück (variantenneutral) [EUR]

$LK_{Handl(min)_k}$ = Lohnkosten für Handling pro min [EUR]

UeZ_{Handl_k} = Überzeit für Handling [min]

$UeSZ_{Handl_k}$ = Überstundenzuschlag Handling [min]

Berechnung der Abschreibungskosten auf Handlingwerkzeuge (AfW) je Variante i am Puffer k :

$$k_{AfW_Handl_k} = \frac{K_{AfW_Handl_k}}{ZE_{Handl_k}} \times BA_{Handl_{i,k}} \times f_{Handl_k} \quad (6.85)$$

mit

$$k_{AfW_Handl_k} = \text{Stückkosten AfW [EUR]}$$

$$K_{AfW_Handl_k} = \text{Gesamtkosten für AfW pro Jahr [EUR]}$$

Die Summe der vorgestellten Kosten ergibt die Handlingkosten des Puffers k pro Jahr (K_{Handl_k} - siehe Gleichung 6.86) beziehungsweise die Handlingstückkosten der Variante i am Puffer k ($k_{Handl_{i,k}}$ - siehe Gleichung 6.87). Je nach Ausprägung des Prozesses müssen gegebenenfalls weitere Kosten hinzugerechnet werden.

$$K_{Handl_k} = K_{LHandl_k} + K_{UeHandl_k} + K_{AfW_Handl_k} \quad (6.86)$$

$$k_{H_{i,k}} = k_{LHandl_{i,k}} + k_{UeHandl_{i,k}} + k_{AfW_Handl_{i,k}} \quad (6.87)$$

6.3.2.3 Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens

Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens stellen variable Kosten im Wertstrom dar. Die für die einzelnen Varianten anfallenden Kapitalbindungskosten setzen sich aus dem durchschnittlich in dem betrachteten Puffer befindlichen Bestand und dem zugehörigen Wert der einzelnen Produkte zusammen. Zugerechnet werden muss ein möglicherweise vorgegebener Sicherheitsbestand. Durch den gegebenen Zinssatz auf das Umlaufvermögen kann der gesamte Bestandswert und die daraus resultierenden Kapitalbindungskosten der einzelnen Produkte ermittelt werden. Mögliche Zukaufteile und Baugruppen müssen in der Bestandsbewertung berücksichtigt werden. In den folgenden Berechnungen wird von einer gleichmäßigen Abgangsgeschwindigkeit des Bestandes ausgegangen³²⁹.

Berechnung der Kapitalbindungskosten des Umlaufvermögens je Variante i am Puffer k :

$$k_{Kapb_{i,k}} = \frac{Z_{UV_{i,k}}}{Stkz_i} \quad (6.88)$$

mit

$$Z_{UV_{i,k}} = BW_i \times z_{UV} \quad (6.89)$$

mit

$$BW_i = (EP_{RM_i} + k_{FK_{i,k}} + k_{E\&B_{i,k}} + k_{MB_{i,k}} + k_{Rst_{i,k}} + k_{L_{i,k-1}} + k_{Handl_{i,k-1}} + k_{Kapb_{i,k-1}} + k_{Fl_{i,k-1}}) \times Bestand_{\phi_{i,k}} \quad (6.90)$$

³²⁹vgl. Kapitel 5.1.3.3

mit

$$Bestand_{\phi_{i,k}} = \frac{RW_{i,k} \times TB_i}{2} \quad (6.91)$$

mit

$$k_{FK_{i,k}} = \sum_{j=1}^k k_{FK_{i,j}} \quad (6.92)$$

mit

$$k_{E\&B_{i,k}} = \sum_{j=1}^k k_{E\&B_{i,j}} \quad (6.93)$$

mit

$$k_{MB_{i,k}} = \sum_{j=1}^k k_{MB_{i,j}} \quad (6.94)$$

mit

$$k_{Rst_{i,k}} = \sum_{j=1}^k k_{Rst_{i,j}} \quad (6.95)$$

mit

$$k_{L_{i,k-1}} = \sum_{k=1}^{k-1} k_{L_{i,k}} \quad (6.96)$$

mit

$$k_{Handl_{i,k-1}} = \sum_{k=1}^{k-1} k_{Handl_{i,k}} \quad (6.97)$$

mit

$$k_{Kapb_{i,k-1}} = \sum_{k=1}^{k-1} k_{Kapb_{i,k}} \quad (6.98)$$

mit

$$k_{Fl_{i,k-1}} = \sum_{k=1}^{k-1} k_{Fl_{i,k}} \quad (6.99)$$

und

$k_{Kapb_{i,k}}$ = Stückkosten für Kapitalbindung des Umlaufvermögens [EUR]

$Z_{UV_{i,k}}$ = Zinsen auf Umlaufvermögen pro Jahr [EUR]
 BW_i = durchschnittlicher Bestandswert Variante i [EUR]
 $Bestand_{\phi_{i,k}}$ = Durchschnittlicher Bestand
 $RW_{i,k}$ = Reichweite des Bestandes (siehe Gleichung 6.65) [Tage]
 TB_i = Tagesbedarf (Stückzahlen) der Variante i
 $Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i
 z_{UV} = Zinssatz auf Umlaufvermögen [%]
 EP_{RM_i} = Entnahmepreis Rohmaterial der Variante i [EUR]
 $k_{FK_{i,k}}$ = Stückfertigungskosten der Variante i bis zum Puffer k [EUR]
 $k_{E\&B_{i,k}}$ = Stückkosten E&B der Variante i bis zum Puffer k [EUR]
 $k_{MB_{i,k}}$ = Stückkosten MB der Variante i bis zum Puffer k [EUR]
 $k_{RK_{i,k}}$ = Stückkosten Rüsten der Variante i bis zum Puffer k [EUR]

Daraus ergeben sich die Gesamtkosten für die Kapitalbindung am Puffer k pro Jahr (K_{Kapb_k} - siehe Gleichung 6.109):

$$K_{Kapb_k} = \sum_{i=1}^n (k_{Kapb_{i,k}} \times Stkz_i) \quad (6.100)$$

6.3.2.4 Flächenkosten

Theoretisch sind Flächenkosten variabel, allerdings nur, wenn ungenutzte Flächen anderweitig genutzt werden können beziehungsweise keine zusätzlichen Kosten verursachen. Bei einer notwendigen Betrachtung der Flächenkosten ist die Kenntnis der Flächenbedarfe der einzelnen Varianten notwendig. Über die Anzahl der durchschnittlich im Puffer befindlichen Produkte und einer vorgegebenen Schwankungsbreite ergibt sich die notwendige Fläche für den Puffer. Die Flächenkosten werden gemäß dem Platzbedarf und der Liegezeit auf die jeweiligen Produkte verteilt. Zur Vereinfachung kann dabei angenommen werden, dass der Platzbedarf jedes Produktes gleich ist. Dann erfolgt die Kostenverteilung nur anhand der Liegezeit, vergleichbar mit den Lagerkosten. Anderenfalls können über Behälter die Flächen pro Stück ermittelt werden (siehe Gleichung 6.101 bis 6.103). Die benötigten Flächen für Maschinen und Anlagen sind in den Fertigungskosten enthalten.

$$k_{FL_{i,k}} = \frac{(FL_{Bedarf_{i,\emptyset}} + FL_{Bedarf_{KT_{i,\emptyset}}}) \times k_{Miet(m^2)}}{Stkz_i} \quad (6.101)$$

mit

$$FL_{Bedarf_{i,\emptyset}} = \frac{LG_{i,j}}{FM_{Beh_i}} \times FL_{Bedarf_Beh_i} + \frac{SB_{i,j+1}}{FM_{Beh_i}} \times FL_{Bedarf_Beh_i} \quad (6.102)$$

und

$k_{FL_{i,k}}$ = Stückkosten Fläche pro Jahr [EUR]

$FL_{Bedarf_L_{i\emptyset}}$ = durchschnittlicher Flächenbedarf [m^2]

$FL_{Bedarf_{KT,i,\emptyset}}$ = Flächenbedarf Kaufteile [m^2]

$LG_{i,j}$ = Losgröße der Variante i

FM_{Beh_i} = Füllmenge pro Behälter

$FL_{Bedarf_Beh_i}$ = Flächenbedarf pro Behälter [m^2]

$SB_{i,j+1}$ = Sicherheitsbestand der Variante i

$k_{Miet(m^2)}$ = Mietkosten pro m^2 [EUR]

$Stkz_i$ = Jahresbedarf (Stückzahlen) der Variante i

Daraus ergeben sich die gesamten Gesamtflächenkosten am Puffer k pro Jahr (K_{FL_k} - siehe Gleichung 6.103):

$$K_{FL_k} = \sum_{i=1}^n (k_{FL_{i,k}} \times Stkz_i) \quad (6.103)$$

6.3.3 Kosten in Supportbereichen

Supportkosten haben einen fixen und einen variablen Kostenanteil durch Lohnkosten und mögliche Kosten für Überstunden. Die Berechnung der Kosten in den Supportbereichen erfolgt gemäß der Beschreibung in Kapitel 5.2.4. Dafür werden zunächst diejenigen Kostenstellen herangezogen, die in der Zuschlagskalkulation nicht(!) unter Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten zusammengefasst werden. Die in Kapitel 6.2.3 ermittelten relevanten Tätigkeiten in diesen Supportbereichen werden mit Kostentreibern versehen und den verschiedenen Variantenklassen³³⁰ zugeordnet. Abbildung 6.2 zeigt die Aufteilung einer Kostenstelle in die unterschiedlichen Tätigkeiten und deren Zuordnung zu Kostentreibern. Innerhalb einer Kostenstelle können Tätigkeiten existieren, die keinem konkreten Kostentreiber zuordnebar sind und als leistungsmengenneutrale Kosten über die anderen Tätigkeiten verteilt werden. In der Prozesskostenrechnung liegt der Fokus auf der Ermittlung der Kosten einzelner Tätigkeiten unter Annahme bestehender Kostentreiberzahlen, der vorgestellte Ansatz konzentriert sich hauptsächlich auf die Ermittlung der tatsächlichen zeitlichen Aufwände und deren Anpassungen bei Veränderung der zugehörigen Kostentreiber.

Die Eingabe des Produktionsprogramms ermöglicht die Berechnung der jeweiligen Gesamtkosten für die Variantenklassen. Dabei ist für die Kostentreiber Stückzahlen, Anzahl Varianten und Anzahl der Lose eine Berechnung erforderlich. Andere Kostentreiber wie Kundenauftrag und Reklamationen werden für den Ist-Zustand einmalig aufgenommen und für unterschiedlichen Szenarien proportional zur Stückzahl betrachtet, wenn keine genauen Prognosen

³³⁰vgl. Kapitel 5.2.4

Kostenstelle	Kostentreiber	Anzahl/Jahr	Stunden/Tag	leistungsmengen-induziert (Imi) [EUR]	leistungsmengen-neutral (Imn) [EUR]	Summe [EUR]	Imi EUR/Kostentreiber	Summe EUR/Kostentreiber	Teil des betrachteten Wertstroms ja/nein
1. Tätigkeit	Stückzahl								
2. Tätigkeit	Anzahl Varianten								ja
3. Tätigkeit	produzierte Lose								
4. Tätigkeit	...								ja
5. Tätigkeit	...								ja
6. Tätigkeit	keine								
	Σ		Kostenstellen Stunden			Kostenstellen Kosten (BAB)			

Abbildung 6.2: Aufnahme von Tätigkeiten und Kostentreibern

vorliegen. Die Angabe über die Auslastung der Kostenstellenmitarbeiter zur Ist-Situation muss bekannt sein, wenn die Verteilung der zeitlichen Aufwände über alle Mitarbeiter geschieht und keine genauen Zeitangaben für die Dauer der einzelnen Tätigkeiten vorliegen.

Berechnung der Kosten der Variantenklasse a für die Tätigkeit t innerhalb der Kostenstelle c :

$$k_{a,t} = \frac{K_{a,t}}{Stkz_a} \quad (6.104)$$

mit

$$K_{a,t} = ZE_{Bedarf_{a,t}} \times \frac{LK_{Kst_c}}{AZ_{Kst_c}} \quad (6.105)$$

und

$$k_{a,t} = \text{Stücklohnkosten [EUR]}$$

$$K_{a,t} = \text{Gesamtlohnkosten pro Jahr [EUR]}$$

$$LK_{Kst_c} = \text{Lohnkosten für für Mitarbeiter der Kostenstelle pro Jahr [EUR]}$$

$$AZ_{Kst_c} = \text{Arbeitszeit pro Tag [min]}$$

$$AT_{Kst_c} = \text{Arbeitstage pro Jahr}$$

$$ZE_{Bedarf_{a,t}} = \text{Zeitbedarf pro Tag [min]}$$

$$Stkz_a = \text{Gesamtstückzahl der Variantenklasse } a$$

Für die Bestimmung des Zeitbedarfes der betrachteten Tätigkeit und Variantenklasse pro Tag ($ZE_{Bedarf_{a,t}}$) innerhalb einer Kostenstelle können zwei verschiedene Ansätze gewählt werden:

- top-down-Ansatz
- bottom-up-Ansatz

Beim top-down-Ansatz werden anhand der gesamten Arbeitszeit der Mitarbeiter diejenigen Zeitanteile abgeschätzt, die von den Mitarbeitern für die betrachtete Tätigkeit aufgewendet werden. Dadurch kann derjenige Prozentsatz bestimmt werden, zu dem die Kosten der Kostenstelle auf die betrachtete Tätigkeit verteilt werden. Teilt man die daraus ermittelbare Gesamtzeit durch die zum Betrachtungszeitpunkt bestehende Anzahl an zugehörigen Kostentreibern und deren möglichen Gewichtungen (wenn die Tätigkeiten in einem festgelegten Verhältnis für bestimmte Variantenklassen ein Vielfaches dauert, als andere Variantenklassen) erhält man die Zeit für die einmalige Durchführung der betrachteten Tätigkeit und durch die Eingabe der szenarienabhängigen Anzahl an Kostentreibern die dafür benötigte Zeit pro Tag.

$$ZE_{Bedarf_{a,t}} = \frac{ZE_{Bedarf_t}}{\sum_{a=1}^z (Anz_{(Tag)}ISTK_{tr,a} \times Gew_{a,t})} \times (Anz_{(Tag)}SZK_{tr,a} \times Gew_{a,t}) \quad (6.106)$$

mit

$$ZE_{Bedarf_t} = BA_{(PJahr)_t} \times AZ_{Kst_c} \times Anz_{MA_c} \times f_{Kst_c} \quad (6.107)$$

und

$$\begin{aligned} ZE_{Bedarf_t} &= \text{Gesamtzeitbedarf der Tätigkeit aller Varianten pro Tag [min]} \\ Anz_{(Tag)}ISTK_{tr,a} &= \text{Anzahl der Kostentreiber pro Tag (Ist-Zustand)} \\ Anz_{(Tag)}SZK_{tr,a} &= \text{Anzahl der Kostentreiber pro Tag (betrachtetes Szenario)} \\ Gew_{a,t} &= \text{Gewichtung für Variantenklasse} \\ BA_{(PJahr)_t} &= \text{Bearbeitungsaufwand der Tätigkeit } t \text{ in Personenjahren (geschätzt)} \\ Anz_{MA_c} &= \text{Anzahl Mitarbeiter der Kostenstelle } c \\ f_{Kst_c} &= \text{Nutzungsfaktor je Kostenstelle } c \end{aligned}$$

Beim bottom-up-Ansatz wird die Durchführung der einzelnen Tätigkeiten für eine Variante gemessen ($ze_{Bedarf_{a,t}}$) und wird ähnlich den Bearbeitungs- und Vorgabezeiten für das Rechenmodell vorgegeben. Der Gesamtbedarf ermittelt sich gemäß Gleichung 6.108:

$$ZE_{Bedarf_{a,t}} = ze_{Bedarf_{a,t}} \times Anz_{(Tag)}SZK_{tr,a} \quad (6.108)$$

mit

$$ze_{Bedarf_{a,t}} = \text{gemessener Zeitbedarf für Variantenklasse } a$$

Daraus ergeben sich die Gesamtkosten für die Tätigkeit t pro Jahr:

$$K_t = \sum_{a=1}^n K_{a,t} \quad (6.109)$$

mit

$$K_t = \text{Gesamtkosten der Tätigkeit } t$$

6.3.4 Gesamtkosten im Wertstrom

Für den Gesamtwertstrom müssen die Summen über die einzelnen Kostenarten je Prozess und Puffer, die Kosten für die Tätigkeiten und über die einzelnen Varianten gebildet werden. Dafür werden die Summen aus den einzelnen Kostenarten gebildet. Darüber hinaus müssen sowohl diejenigen restlichen Gemeinkosten, die dem Wertstrom direkt zugerechnet werden können (wie beispielsweise Kosten für Leitung und Werkstatt), als auch die Gemeinkosten aus Verwaltung und Vertrieb dem Wertstrom anteilig zugerechnet werden. Die Zuordnung der Restgemeinkosten zum betrachteten Wertstrom erfolgt in diesem Ansatz über übliche Zuschlagssätze des Unternehmens.

Damit ergibt sich für die Gesamtkosten eines Prozesses j pro Jahr (K_j - siehe Gleichung 6.110):

$$K_j = K_{F_j} + K_{EB_j} + K_{MB_j} + K_{Rst_j} \quad (6.110)$$

Für die Gesamtkosten eines Puffers k (K_k - siehe Gleichung 6.111):

$$K_k = K_{L_k} + K_{H_k} + K_{Kapb_k} + K_{Fl_k} \quad (6.111)$$

Daraus ergeben sich die Gesamtkosten für die Kostenstelle c (K_c - siehe Gleichung 6.112):

$$K_c = \sum_{t=1}^q K_t \quad (6.112)$$

Die Gesamtkosten pro Jahr für den betrachteten Wertstrom (GK_{WS}) ergeben sich zu Gleichung 6.113:

$$GK_{WS} = \sum_{i=1}^n MK_i + \sum_{j=1}^m K_j + \sum_{k=1}^o K_k + \sum_{c=1}^r K_c + RGK_{WS} + RGK_{VV} \quad (6.113)$$

mit

GK_{WS} = Gesamtkosten des Wertstroms [EUR]

MK_i = Materialkosten Variante i [EUR]

K_j = Gesamtkosten Prozess j [EUR]

K_k = Gesamtkosten Puffer k [EUR]

K_c = Gesamtkosten Support Kostenstelle c [EUR]

RGK_{WS} = Restgemeinkosten des Wertstroms [EUR]

RGK_{VV} = Restgemeinkosten aus Verwaltung und Vertrieb [EUR]

Die Kostenarten innerhalb des Wertstroms sind in Tabelle 6.4 zusammenfassend dargestellt. Dabei wird in fixe und variable Kostenanteile unterschieden; eine Unterscheidung in fixe und quasi- oder sprungfixe Kosten findet dabei nicht statt, da in diesem Ansatz davon ausgegangen wird, dass sämtliche Kosten langfristig durch Investitionen angepasst werden können.

Kostenarten	Hauptkomponenten	Vom Produktionsprogramm beeinflusste Kostentreiber	Einordnung in fixe und variable Kosten
Fertigungskosten K_f	Abschreibungen, LifeCycle Kosten...	Kapazitätsbedarf	fix
Energie- und Betriebskosten K_{EB}	Standbykosten, Betriebskosten, Strom...	Kapazitätsbedarf	fix: Standby variabel: Betrieb
Maschinenbedienerkosten K_{MB}	Lohkosten, Überstundenkosten	Anzahl Lose	fix: Grundlohn variabel: Überstd.
Rüstkosten K_{Rst}	Lohkosten, Überstundenkosten	Anzahl Lose	fix: Lohn, Werkzeuge variabel: Überstd.
Lagerkosten K_L	Abschreibungen, LifeCycle Kosten...	Flächenbedarf (Losgrößen)	fix
Handlingkosten K_H	Lohkosten, Überstundenkosten	Anzahl Lose	fix: Grundlohn variabel: Überstd.
Kapitalbindungs-kosten K_{Kapb}	Zinsen auf Umlaufvermögen	Losgrößen	variabel
Flächenkosten K_{Fl} wenn freisetzbar	Mietkosten pro m ²	Losgrößen	variabel
Supportkosten K_T für Tätigkeiten	Lohkosten, Überstundenkosten	Kapazitätsbedarf (durch Anzahl Lose, Aufträge...)	fix: Grundlohn variabel: Überstd.

Tabelle 6.4: Kosten entlang des Wertstroms

6.4 Abbildung der Kostenentwicklung im Wertstrom

Wie unter 5.3 beschrieben, muss eine flexible Produktion in der Lage sein, zu angemessenen Kosten auf veränderte Produktvarianten und -volumina umzustellen. Da es sich hierbei nicht um ein zweidimensionales Problem handelt, wie beispielsweise in der Deckungsbeitragsrechnung, kann ein stetiger Verlauf nur bei einer unabhängigen Betrachtung von einerseits Stückzahlveränderungen und andererseits Variantenveränderungen abgebildet werden. Um eine kombinierte Betrachtung des gesamten Produktionsprogramm zu gewährleisten, müssen realistische Szenarien gebildet werden. Diese Szenarien unterscheiden sich durch ihr Produktionsprogramm und wirken sich auf die benötigten Kapazitäten und notwendige Investitionen aus. Der ressourcenabhängige EPEI und die notwendigen Mindestlosgrößen zur Befriedigung der Nachfrage beeinflussen die Kosten für Rüsten, Handling und Kapitalbindung (siehe Abbildung 6.3)

Für die abschließende Interpretation der Ergebnisse ist es sinnvoll, Stückzahl- und Variantenverläufe auch unabhängig voneinander zu betrachten, um die Ursachen für mögliche Kostenschwankungen identifizieren zu können.

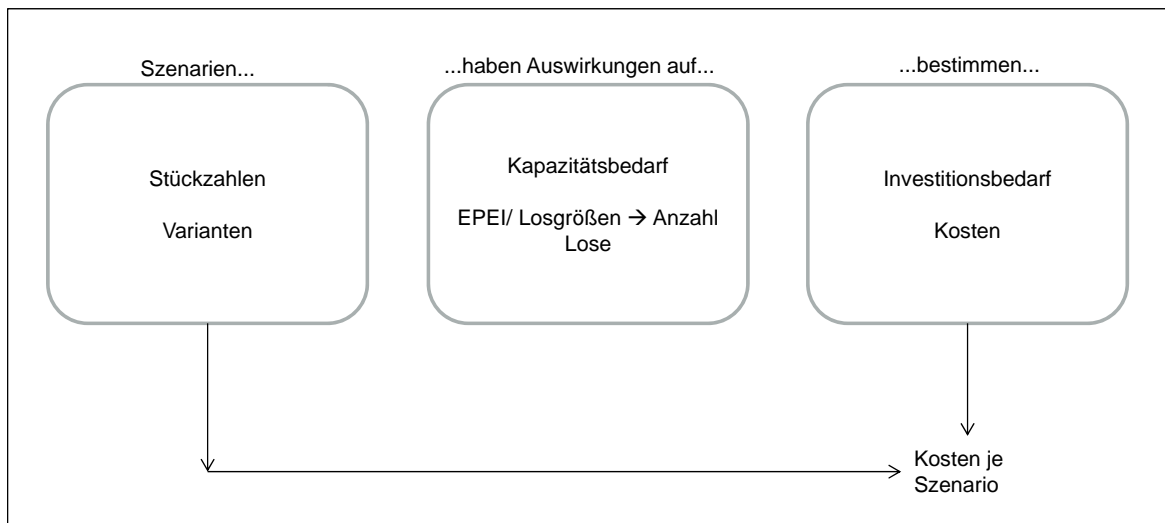


Abbildung 6.3: Unterschiedliche Szenarien führen zu unterschiedlichen Kosten

6.4.1 Abbildung verschiedener Szenarien im Wertstrom

Jedes Unternehmen hat eine Vorstellung zukünftiger Szenarien, die es erreichen oder vermeiden möchte. Planungsverantwortliche Stellen geben Wachstumsstrategien vor, die entweder aus der Vergangenheit fortgeschrieben oder aufgrund von Marktprognosen angenommen werden. Wichtig ist, dass die Szenarien einen möglichst stetigen Verlauf der einzelnen Szenarien abbilden. Eine Ermittlung von Szenarien durch gezielte Szenariotechnik ist nicht Anspruch des Modells, da konkrete, im Unternehmen vorhandene bzw. denkbare Szenarien abgebildet werden sollen.

Das Produktionsprogramm des Wertstroms besteht aus den unterschiedlichen Varianten mit unterschiedlichen Ausprägungen (Bearbeitungszeiten, etc.) und den zugehörigen Stückzahlen. Abbildung 6.4 zeigt die Kombinationsmöglichkeiten zwischen Stückzahl- und Variantenänderungen. Diese werden für die Betrachtung der Ausgangssituation aus dem Vorjahr

		Varianten			
		bleiben gleich	steigen	gleichmäßige Stückzahlverteilung/ - abzug	variantenabhängige Stückzahlverteilung/ - abzug
Stückzahlen/ Bedarfe	Verringerung				
	konstant				
	Steigerung				

Kombinationsmöglichkeiten

Abbildung 6.4: Kombinationsmöglichkeiten zwischen Veränderungen von Stückzahlen und Varianten

übernommen bzw. bei einem Vorlauf größer einem Jahr aus bestehenden Aufträgen. Um daraus zukünftige Szenarien zu bilden, können entweder für jede einzelne Variante Trends

hinsichtlich Stückzahlen oder auch intensitätsmäßiger Veränderung vorgegeben werden (siehe Abbildung 6.5 Varianten A-X), oder es erfolgt eine Abschätzungen über den Gesamtverlauf. Dabei kann beispielsweise von einer gleichmäßigen prozentualen Steigerung über alle Varianten ausgegangen werden oder mögliche zusätzliche Varianten für die Stückzahlsteigerung vorausgesetzt werden (siehe Abbildung 6.5 Kapazitätsbedarfe 1-4). Beide Annahmen können auch kombiniert werden und auch ein Stückzahlrückgang kann durch bestehende, sowie durch wegfallende Varianten angenommen werden.

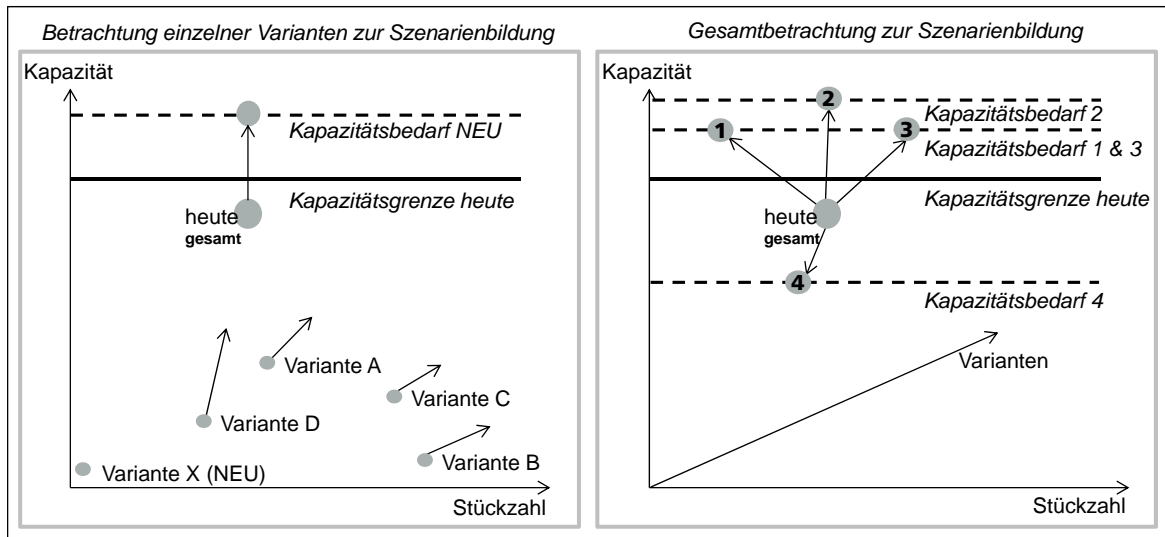


Abbildung 6.5: Szenarienbildung einzelner Varianten oder über das gesamte Produktionsprogramm

Die Betrachtung einzelner Varianten (A-X) und deren Entwicklungen ist vor allem dann sinnvoll, wenn sich die Varianten in ihren kapazitiven Ausprägungen (Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Handlingaufwände, etc.) stark unterscheiden. Eine Stückzahlerhöhung einer kapazitiv aufwändigen Variante führt schneller zur Erreichung der Kapazitätsgrenzen, als die Stückzahlerhöhung einer weniger aufwändigen Variante. Demnach ist auch für die Betrachtung zusätzlicher Varianten zumindest eine Einordnung in aufwendige (Maximalvariante) oder weniger aufwendige (Minimalvariante) Varianten vorzunehmen. Aus der Kombination von Varianten und Stückzahlen ergeben sich verschiedene Kombinationen für die Veränderungen.

Beispielhaft denkbar sind:

Steigende Stückzahlen bei gleichbleibender Variantenzahl:

- Gleichbleibende Stückzahlverteilung über alle Varianten.
- Verschiebung der Stückzahlverteilung in Richtung Maximalvariante.
- Verschiebung der Stückzahlverteilung in Richtung Minimalvariante.
- Verschiebung auf eine bestimmte Variante.

Sinkende Stückzahlen bei gleichbleibender Variantenanzahl:

- Gleichbleibende Stückzahlverteilung über alle Varianten.
- Verschiebung der Stückzahlverteilung in Richtung Maximalvariante.
- Verschiebung der Stückzahlverteilung in Richtung Minimalvariante.
- Verschiebung auf eine bestimmte Variante.

Steigende Variantenanzahl bei gleichbleibenden Stückzahlen:

- Zusätzliche Varianten haben Durchschnittswerte (Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten).
- Zusätzliche Varianten haben Werte von Maximalvariante.
- Zusätzliche Varianten haben Werte von Minimalvariante.

Die zugehörigen Stückzahlen können zu gleichen Teilen von den bestehenden Varianten, von bestimmten Varianten oder in unterschiedlichen Anteilen der bestehenden Varianten abgezogen bzw. aufgeschlagen werden.

Wie beschrieben, werden die Szenarien aus den unterschiedlichen Varianten und zugehörigen Stückzahlen innerhalb des Produktionsprogramms des Wertstroms gebildet. Dabei stellen die Szenarien einzelne Punkte dar. Wichtig ist allerdings, die Verläufe von Varianten und Stückzahlen ausgehend vom bestehenden Produktionsprogramm, hin zum betrachteten Szenario abzubilden, um eine möglichst lineare Abbildung der Veränderungen zu ermöglichen. Dadurch können die notwendigen Investitionen zeitlich eingeordnet werden. Findet nach einer Investition eine Rückwärtsentwicklung statt, müssen die bereits getätigten Investitionen mit in die Bewertung aufgenommen werden, oder mögliche Kosten für die Freisetzung der Investitionen in die Betrachtung einfließen.

Um die Szenarien bewerten zu können, müssen im Vorfeld die Höhe und der Zeitpunkt der Investitionen bestimmt werden. Beispielsweise tritt der Zeitpunkt der Investition bei Überschreiten der Kapazitätsgrenzen ein. Die Höhe der Kapazitätsgrenzen muss demnach hinsichtlich möglicher Überstunden oder Optimierungsmaßnahmen genau vorgegeben werden, wenn diese die verfügbare Arbeitszeit der Prozesse erhöhen können. Die Höhe der Investitionen kann anhand bestehender Maschinen und Anlagen abgeschätzt werden, oder durch konkrete Maßnahmen festgelegt und vorgegeben werden.

Für die Freisetzung von Kapazitäten und Ressourcen müssen auch diejenigen Kapazitätsgrenzen bestimmt werden, die unterschritten werden müssen, damit sich das Unternehmen für eine Freisetzung entscheidet. Darüber hinaus muss der Zeitpunkt bzw. die Zeitspanne bestimmt werden, die es dauern wird, bis die Freisetzung tatsächlich erfolgen kann - beispielsweise durch die Beachtung von Kündigungsfristen - und welche Kosten für die Freisetzung anfallen. Diese Kosten müssen den Lebenszykluskosten (Life-Cycle Kosten) des jeweiligen Prozesses zugerechnet werden³³¹. Die Zeitspanne, die für die Freisetzung benötigt wird, muss als Jahresanteil der dafür aufgewendeten Fertigungskosten von dem freigesetzten Kapital abgezogen werden, um die Gesamtkosten des Wertstroms (als Jahresbetrachtung) nicht über die tatsächliche Höhe zu senken. Eine Abzinsung der Differenz wird in dieser Arbeit nicht vorgenommen, um die Komplexität des Ansatzes nicht zu erhöhen, kann allerdings ohne

³³¹vgl. Kapitel 6.3.1.1

Beeinträchtigung in das vorgestellte Modell einbezogen werden, um die Genauigkeit der Kostenberechnung zu erhöhen.

Für die Auswahl und Quantifizierung zukünftiger Szenarien werden bei gleichbleibenden Varianten lediglich die veränderten Stückzahlen benötigt. Dafür können gleichmäßige, prozentuale Stückzahlveränderungen vorgegeben werden, genaue Stückzahlprognosen einzelner Varianten, sowie sonstige Verteilungen über die Varianten. Werden zusätzliche Varianten betrachtet, bzw. fallen Varianten weg oder werden Varianten intensitätsmäßig verändert, werden neben den dafür betrachteten Stückzahlen auch die möglichen Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Handlingaufwände und Losgrößen angegeben. Dafür können wie beschrieben Standardvarianten herangezogen werden, Maximal- und Minimalvarianten oder genau vorgegebene Ausprägungen, wenn diese bereits bekannt sind. Dasselbe gilt für die Abschätzung der Entnahme- und Rohmaterialkosten.

Nach Eingabe der benötigten Daten werden mögliche Kapazitätsgrenzen und daraus entstehender Investitionsbedarf ermittelt und anschließend Losgrößen und Engpass des Wertstroms neu bestimmt. Die notwendigen Investitionen und der neu berechnete Aufwand der Vorgänge im Wertstrom führen zu veränderten Kosten in den Produktionsprozessen und Puffern (siehe Abbildung 6.6).

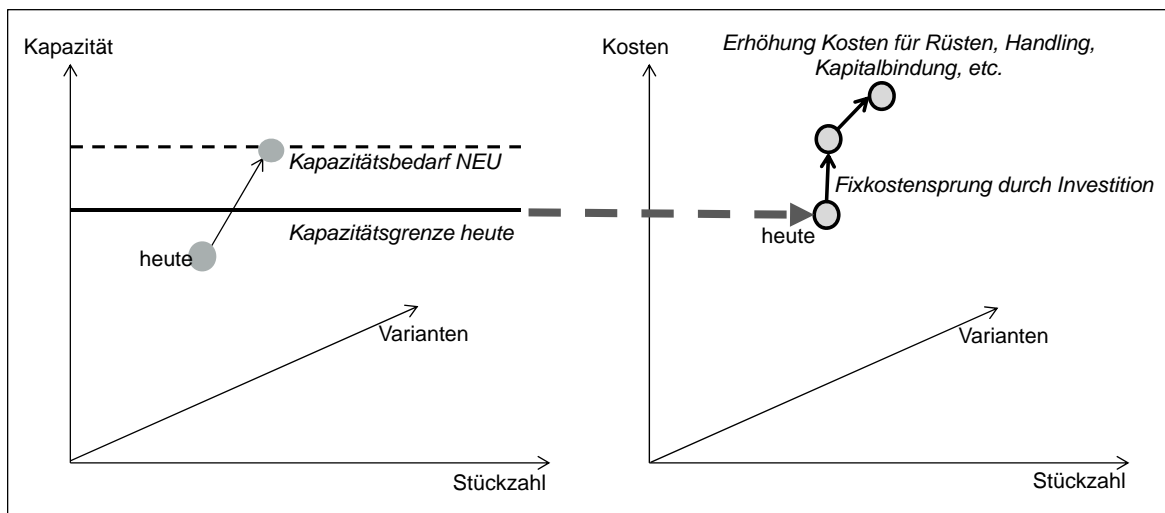


Abbildung 6.6: Kostenveränderung durch Szenarien

Sind Investitionen an der betroffenen Stelle nicht möglich, müssen entweder durch Optimierungsmaßnahmen die Kapazitätsgrenzen verschoben werden, oder die Produktion kommt bei diesem Szenario an eine Grenze, die nicht überschritten werden kann. Das Szenario ist dann für das Unternehmen nicht produzierbar.

Die Tätigkeiten in den Support- Bereichen werden dahingehend überprüft, ob durch neue Varianten neue Tätigkeiten und damit eine neue Variantenklasse benötigt wird. Ist das der Fall, müssen neue Variantenklassen angelegt, die neuen Tätigkeiten in den betroffenen Kostenstellen ergänzt werden und die Anteile und die zeitlichen Aufwände für die Tätigkeiten neu über die Variantenklassen verteilt werden. Anschließend können die erforderlichen Kostentreiber des neuen Produktionsprogramms in die Berechnung der Kosten der Support- Bereiche einfließen. Durch das Entfallen von Varianten können Tätigkeiten auch gestrichen werden.

6.4.2 Auswirkungen des EPEI auf die Kosten im Wertstrom

Basis der betrachteten Vorgehensweise zur Berechnung der Kosten im Wertstrom ist der EPEI. Dafür ist es für die abschließende Interpretation der Ergebnisse notwendig, die Auswirkungen des EPEI auf die Kosten im Wertstrom zu analysieren.

Für die Szenarien kann zwar ein minimal möglicher EPEI berechnet werden, allerdings kann er auch durch vorgegebene Mindestlosgrößen festgelegt sein. Betrachtet man die Kostenverläufe des Wertstroms in Abhängigkeit des Produktionsprogramms, wird eine Losgrößenstrategie vorausgesetzt - entweder werden die minimal möglichen Losgrößen berechnet oder es werden Losgrößen als gegeben gesetzt - und anhand derer die Kostenverläufe abgebildet. Innerhalb der einzelnen Szenarien kann allerdings die Anpassung der Losgrößen und der daraus resultierenden Rüst-, Handling- und Kapitalbindungskosten zu erheblichen Kostenveränderungen führen. Die Ermittlung der kostenminimalen Losgröße innerhalb eines Szenarios kann dabei auf mehreren Wegen erfolgen, allerdings wird im Rahmen dieser Arbeit die Ermittlung des optimalen EPEI angestrebt, weil dadurch unterschiedliche Losgrößen für unterschiedliche Varianten betrachtet und dementsprechend unterschiedliche Kosten ermittelt werden können. Darüber hinaus werden durch die EPEI-Betrachtung anstelle der Losgrößen-Betrachtung die Kapazitätsgrenzen des Prozesses indirekt berücksichtigt. Klassische Berechnungen optimaler Losgrößen³³² beschreiben eine Funktion aus Rüst- und Lagerkosten. Dabei wird ein Prozess betrachtet und von einer definierten Abgangsgeschwindigkeit des nachfolgenden Lagers oder Puffers ausgegangen. Eine verbesserte Ermittlung des Bestandsverlaufes kann lediglich durch simulative Ermittlung oder Näherungen im Rahmen der Kennlinientheorie³³³ erreicht werden - dies erhöht die Komplexität des Vorgehens und den Datenbedarf und wird aus diesem Grund in diesem Ansatz nicht angestrebt, sondern die Näherung durch Durchschnittswerte und vereinfachte Annahmen im Bestandsverlauf. Die Abschätzungen des Pufferverhaltens müssen durch zusätzliche Randbedingungen klar abgegrenzt werden. Um die Kapazitätsgrenzen aller bestehenden Ressourcen mit in die Betrachtung einzubeziehen, werden die optimalen EPEIs für sämtliche Prozesse des Wertstroms betrachtet und miteinander abgeglichen. Jeder Prozess wird von seinen Ressourcen und Kapazitäten begrenzt. Sind Prozesse durch Losgrößen und Produktionsreihenfolgen miteinander verknüpft kann dies durch eine gemeinsame Betrachtung des EPEI abgebildet werden und durch die für die Verknüpfung geltenden Grenzen festgelegt werden. Die Betrachtung des optimalen EPEI zusammenhängender Prozesse erfolgt durch Summenbildung innerhalb der EPEI-Berechnung. Unterschiedliche Lagerabgangsgeschwindigkeiten können in die Berechnung des optimalen EPEI einfließen und die verschiedenen Varianten werden durch Berechnung des optimalen EPEI anstelle einer optimalen Losgröße in den Ansatz integriert. Als zusätzliche Begrenzung für den optimalen EPEI wird zusätzlich die Betrachtung der Durchlaufzeit gegenübergestellt. Das ermöglicht es, eine maximal und/oder eine minimal mögliche Durchlaufzeit vorzugeben, die beispielsweise durch die zeitliche Veränderung der Produkteigenschaften eingehalten werden muss, oder durch Kundenvorgaben festgelegt ist.

Nach Bestimmung des rechnerisch optimalen EPEI muss dieser mit den Randbedingungen des Wertstroms abgeglichen werden und auf Kapazitätsengpässe hin untersucht werden. Eine begrenzte Lagerfläche stellt häufig eine fixe Restriktion im Wertstrom dar. Darüber hinaus

³³²vgl. ANDLER 1929, S.23ff.

³³³vgl. NYHUIS UND WIENDAHL 1999, S.3ff.

können Mitarbeiterkapazitäten für Rüsten und Handling nur dann überschritten werden, wenn dafür zusätzliche Kosten für zusätzliche Mitarbeiter betrachtet werden. Zur Ermittlung des optimalen EPEI, abhängig von sämtlichen Grenzen, müssen folgende Schritte abgearbeitet werden.

1. Ermittlung des Bestandsverlaufs anhand der Prozessverknüpfungen und Festlegen der unterschiedlichen benötigten EPEI-Berechnungen.
2. Ermittlung der Kosten des betrachteten Szenarios entlang des gesamten Wertstroms.
3. Abbildung sämtlicher Kapazitätsgrenzen.
4. Optionale Abbildung zugehöriger Durchlaufzeiten.

Anhand von Abbildung 6.7 wird dieses Vorgehen der EPEI-Ermittlung als Weiterentwicklung von Abbildung 5.13 ersichtlich. Der optimale EPEI des betrachteten Prozesses ergibt sich aus dem Schnittpunkt von Handling- und Rüstkosten und den Kapitalbindungs- und Lagerkosten. An dieser Stelle sind die Gesamtkosten minimal. Durch mögliche Kapazitäts- und Flächenrestriktionen kann der EPEI zusätzlich nach oben und unten begrenzt werden. Eine weitere wichtige Stelle stellt der EPEI eines möglichen nachfolgenden Engpasses dar. Wie in Kapitel 5.1.2 und 5.1.3.4 beschrieben, kann es durchaus sinnvoll sein, die Losgrößen des betrachteten Prozesses an die des nachfolgenden Engpasses anzupassen.

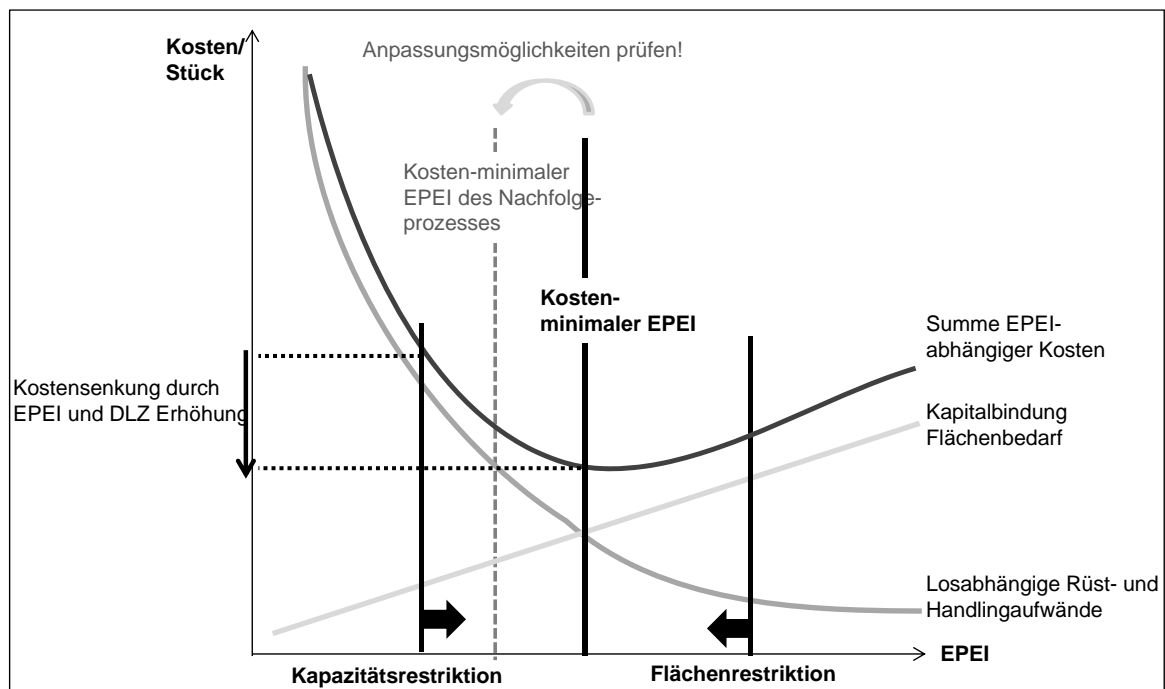


Abbildung 6.7: Ermittlung der Grenzen des EPEI (schematische Darstellung)

Die Kurve aus der Summe der EPEI-abhängigen Kosten in der Produktion des betrachteten Prozesses ergibt sich dabei aus der Summe von Kapitalbindungskosten, Lagerkosten, Rüst-

kosten und Handlingkosten³³⁴. Diese Zielfunktion gilt es zu minimieren. Die zusätzlichen Fixkosten wie Fertigungskosten fließen hier nicht in die Betrachtung ein, da sie nicht vom EPEI abhängig sind und somit keinen entscheidenden Einfluss auf die Schnittmenge der beiden Kurven und dem damit verbundenen optimalen EPEI haben.

Rüst- und Handlingkosten lassen sich direkt aus der Anzahl der Lose und den zugehörigen Rüst- und Handlingaufwänden pro Los bestimmen. Die Anzahl Lose ergibt sich aus dem jeweiligen EPEI und dem Tagesbedarf. Die Logistikkosten können dahingehend vernachlässigt werden, dass eine Obergrenze für die Lagerkapazität diese Randbedingung abbildet und somit die notwendige Berücksichtigung erfährt. Die Kapitalbindungskosten errechnen sich aus dem Bestand, dessen Verlauf bereits ermittelt wurde (hier: bei gleichmäßiger Abgangsgeschwindigkeit), mal dem zugehörigen Wert, den das Produkt an dieser Stelle hat. Für die Berechnungen werden Mittelwerte über alle Produkte gebildet. Derjenige EPEI, an welchem die Lager- und Kapitalbindungskosten gleich den Rüst- und Handlingkosten sind, befindet sich an dem Punkt, an dem die Ableitung der Gesamtkostenkurve den Wert null annimmt. Daraus ergibt sich der rechnerisch optimale EPEI aus der Gleichung 6.114.

$$EPEI_{opt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k(Los)_{H_i} + k(Los)_{Rst_i}) \times AT \times 2}{\sum_{i=1}^n TB_i \times k_{Kapb,i}}} \quad (6.114)$$

mit

$k(Los)_{H_i}$ = Handlingkosten pro Los der Variante i

$k(Los)_{Rst_i}$ = Rüstkosten pro Los der Variante i

AT = Arbeitstage pro Jahr

TB_i = Tagesbedarf der Variante i

$k_{Kapb,i}$ = Kapitalbindungskosten der Variante i

Die Grenzen für den Handling- und den Rüstaufwand werden durch die Gleichungen 6.115 und 6.116 beschrieben.

$$EPEI_{Handling} = AT \times \frac{\sum_{i=1}^n HA_i}{HA_{KapG}} \quad (6.115)$$

$$EPEI_{Rst} = AT \times \frac{\sum_{i=1}^n RA_i}{RA_{KapG}} \quad (6.116)$$

$$EPEI_{Lager} = LA_{KapG} \quad (6.117)$$

³³⁴Vgl. Kapitel 6.3

mit

AT = Arbeitstage pro Jahr

HA_i = gesamter Handlingaufwand der Variante i

HA_{KapG} = Kapazitätsgrenze Handlingaufwand

RA_i = gesamter Rüstaufwand der Variante i

RA_{KapG} = Kapazitätsgrenze Rüstaufwand

LA_{KapG} = Lagerkapazität in Tagen

Ist der EPEI des Nachfolgeprozesses niedriger als der ermittelte optimale EPEI des betrachteten Prozesses, sollte überprüft werden, ob eine Anpassung der Losgrößen an den EPEI des Nachfolgeprozesses trotz erhöhter Kosten sinnvoll ist, da möglicherweise die losweise Weitergabe der Produkte zu Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich Transport- und Lagersysteme führt, oder vereinfachte organisatorische Abläufe ermöglicht werden. Ist keine aufwandsarme Verknüpfung von Prozessen vorhanden und sollen die Losgrößen dennoch minimiert werden, sollte eine Zusatzinvestition für Transport- oder Fördermittel vorgesehen werden. Eine Optimierung der Rüst- und Handlingvorgänge an dieser Stelle kann zu einer direkten Verbesserung der Gesamtdurchlaufzeit führen³³⁵.

6.4.3 Interpretation der Ergebnisse

Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse stellt den letzten Schritt innerhalb der Vorgehensweise dar. Um keine falschen Rückschlüsse aus den Ergebnissen zu ziehen, muss bei der Auswertung der Szenarien jeweils die Logik und die Vollständigkeit der Berechnungen überprüft werden. Die Ergebnisse müssen insofern logisch und nachvollziehbar sein, dass sie keine unrealistischen Annahmen abbilden. Beispielsweise ist die Berechnung minimaler Losgrößen nicht sinnvoll, wenn die Prozesse nicht ausreichend stabil miteinander verknüpft sind und Handlingaufwände weit überproportional steigen. Um das zu verhindern, kann vor Durchführung der Berechnung der optimale EPEI für das Szenario gemäß Kapitel 6.4.2 berechnet werden und die zugehörigen Losgrößen als Untergrenze in das Szenario eingegeben werden. Dadurch wird das Unterschreiten derjenigen Losgrößengrenze vermieden, für die die Handling- und Rüstkosten schneller steigen, als die Kapitalbindungskosten sinken. Vollständig sind die Berechnungen dann, wenn keine Kapazitätsgrenzen überschritten wurden und das Ergebnis nicht durch fehlende Investitionen möglicherweise verfälscht wurde.

Für jedes Szenario wird nach einer möglichen Erhöhung von Ressourcen ein neuer Engpass ermittelt. Eine Investition in diesen neuen Engpass kann auch vor Erreichen der Kapazitätsgrenzen sinnvoll sein, wenn dadurch Losgrößen und Kapitalbindungskosten reduziert werden können, ohne die Gesamtkosten durch Rüst- und Handlingkosten zu erhöhen. Durch die Gegenüberstellung einzelner Szenarien hinsichtlich unterschiedlicher Investitionsstrategien, können sinnvolle Entscheidungen bei konkreten Szenarien vorweggenommen werden. Wie in Kapitel 6.4.1 beschrieben, sollten möglichst viele Szenarien hinsichtlich eines Kriteriums

³³⁵vgl. Kapitel 5.1.3.4

(Stückzahlveränderung oder Variantenveränderung) abgebildet werden, um einen möglichst stetigen Verlauf der Gesamtkosten zu ermitteln. Dadurch wird verhindert, dass mögliche Sprünge entlang der Kostenkurve durch zu hohe Abstände der diskreten Ereignisse übersehen werden. Um den Aufwand dafür dennoch gering halten zu können, können die jeweiligen Kapazitätsgrenzen zu Beginn des Vorgehens bestimmt werden, und danach die Szenarien ausgehend von den Kapazitätsgrenzen gebildet werden, um Veränderungen der Verläufe an diesen Grenzen betrachten zu können.

Das Einsetzen des EPEI als Bindeglied zwischen Produktionsprogramm, Losgrößen und dadurch beeinflussten Rüst-, Handling- und Kapitalbindungskosten ist vor allem dafür geeignet, die Anpassung von Losgrößen als Investitionsalternative zu überprüfen. Durch die Erhöhung von Losgrößen können Kapazitäten besser ausgenutzt werden und zögern eine notwendige Investition bis zu dem Punkt hinaus, an dem die Bearbeitungszeiten allein den Kapazitätsbedarf überschreiten. Sind die Kosten für daraus resultierende Kapitalbindungskosten niedriger, als die Kosten, die durch die notwendige Investition entstehen, kann es durchaus sinnvoll sein, die Losgrößen zu erhöhen und eine riskante Investition zu vermeiden. Das ist nur dann tatsächlich möglich, wenn die Durchlaufzeit nach oben nicht begrenzt ist und Verfall durch Lagerung für das Unternehmen nicht relevant ist. Außerdem sollten sich erhöhte Durchlaufzeiten nicht negativ auf die Flexibilität der Produktion gegenüber veränderter Kundennachfragen während der Produktionszeit auswirken³³⁶. Die Szenarien sind außerdem nach der Auswertung daraufhin zu untersuchen, ob sich die Losgrößen der einzelnen Varianten verändert haben. Dann gelten die errechneten Gesamtkosten nur, wenn bei Eintreten des Szenarios die Losgrößen angepasst wurden.

6.5 Modelleinsatz

Abbildung 6.8 fasst die vorgestellten Inhalte zu dem benötigten Vorgehen zusammen. Die Abbildung des betrachteten Wertstromes stellt dabei die Grundlage und somit den ersten Schritt des Vorgehens dar. Die dafür benötigten Daten setzen sich gemäß Kapitel 6.2 aus den klassischen ressourcenabhängigen Wertstromdaten und zusätzlichen, variantenabhängigen Angaben (wie Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten und Losgrößen), sowie den in Kapitel 6.2.2 Vermögenswerten für Anlagen und Kosten zusammen. Durch die Eingabe eines Produktionsprogramms wird dieser Wertstrom auf mögliche Kapazitätsüberschreitungen überprüft, welche möglicherweise zu einer Anpassung des Wertstromes führen können. Ein Produktionsprogramm besteht dabei aus den jeweiligen Varianten und deren spezifischen Bearbeitungs- und Rüstzeiten, sowie den zugehörigen Stückzahlen. Dabei können sowohl konkrete Angaben zu einzelnen Varianten gemacht werden, als auch prozentuale Steigerungen eingegeben werden. Für den Betrachtungszeitraum des jeweiligen Szenarios wird eine konstante Rüstreihenfolge und gleichmäßige Einzelbestellungen als Kundenabrufe unterstellt.

Der Kapazitätsabgleich ist notwendig, um die Kapazitätsgrenzen des Wertstromes durch das betrachtete Produktionsprogramm nicht ohne notwendige Kapazitätsanpassungen zu überschreiten und dadurch die Kostenberechnungen zu verfälschen.

Danach wird der Engpass des Wertstromes ermittelt und durch die ermittelten Anzahl der Lose die Kosten im Wertstrom berechnet³³⁷. Diese fließen für das gegebene Produktionspro-

³³⁶vgl. Kapitel 2.3.2

³³⁷vgl. Kapitel 6.3

ogramm als Szenario in die Kostenentwicklung ein. Durch Eingabe eines veränderten Produktionsprogramms wird ein neues Szenario für die Abbildung der Kostenentwicklung ermittelt. Dieser Vorgang findet so lange statt, bis alle gewünschten Szenarien berechnet wurden und die gewünschte Kostenentwicklung³³⁸ abgebildet werden kann.

Ergebnis ist dementsprechend die Abbildung der Kostenentwicklung im betrachteten Wertstrom bei verändertem Produktionsprogramm. Die Entwicklung wird anhand einzelner Punkte dargestellt, die bei ausreichender Szenarienzahl einen stetigen Verlauf andeuten können. Die Bewertung der Ergebnisse und die Ableitung von Maßnahmen obliegt dem Anwender und basiert auf der jeweiligen Aufgabenstellung.

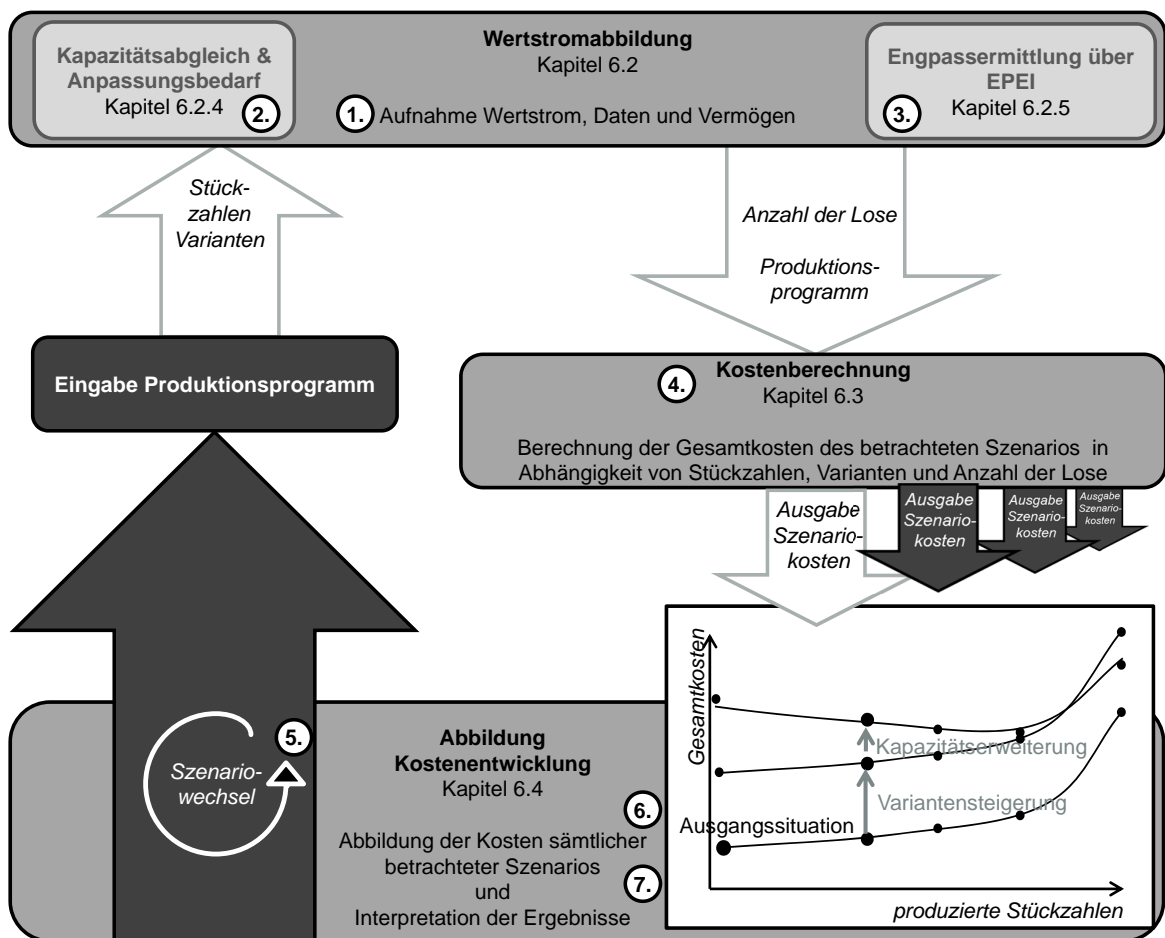


Abbildung 6.8: Modelleinsatz

³³⁸vgl. Kapitel 6.4

7 Modelleinsatz anhand eines Fallbeispiels

Um das in den letzten Kapiteln beschriebenen Vorgehen zu verdeutlichen, wird in diesem Kapitel die Vorgehensweise anhand eines Fallbeispiels demonstriert.

7.1 Beschreibung des Fallbeispiels

Bei dem zum Modelleinsatz verwendeten Fallbeispiel handelt es sich um einen Hersteller von Industriegriffen. Der Betrieb hat die Kapazitätsgrenzen der bestehenden Anlagen beinahe erreicht und muss hinsichtlich möglicher zukünftiger Entwicklung der Edelstahlgriffe über notwendige Investitionen entscheiden. Die Auslastung neuer Anlagen wäre vorerst nicht gesichert und es liegen keine gesicherten detaillierten Prognosen für die Entwicklung des Absatzes für Edelstahlgriffe vor. Das Unternehmen möchte unterschiedliche, mögliche Szenarien sowohl für die gegebene Produktionsstruktur, als auch hinsichtlich zukünftiger Investitionen auf deren zugehörigen Kostenentwicklungen untersuchen. Investitionen in zusätzliche Kapazitäten erhöhen die Flexibilität der Produktion hinsichtlich möglicher zusätzlicher Varianten, die nach heutigem Stand zugekauft werden müssten. Ziel ist es, mögliche zukünftige Entwicklungen monetär, unter Berücksichtigung möglicher Investitionszeitpunkte zu bewerten. Dafür wird in einem ersten Schritt der Wertstrom für die ermittelte Produktfamilie aufgenommen. Danach werden die EPEI-Kennzahlen der einzelnen Prozesse ermittelt und die Vorgabelosgrößen mit den minimal möglichen Losgrößen der einzelnen Prozesse abgeglichen und für die Bewertung herangezogen. Im Anschluss werden die Kosten für die bestehende Produktionsstruktur ermittelt und für die Abbildung von Kosten Szenarien gebildet, die einzelne Punkte entlang des Kostenverlaufs darstellen. Diese werden anhand der in Kapitel 6.3 beschriebenen Berechnungsvorschriften mit Kosten bewertet und graphisch abgebildet. Dadurch wird die Elastizität der Kosten hinsichtlich Veränderungen in Form von Stück- bzw. Variantenzahlen sichtbar. Abschließend werden die Kosten bei Investition in den für das jeweilige Szenario ermittelten Engpass (Prozess mit maximalem $EPEI_{min}$ - siehe Gleichung 6.6) den Kosten des Szenarios ohne Investition gegenübergestellt, um diejenigen Szenarien zu ermitteln, für die eine Investition kostengünstiger ist. Darüber hinaus wird die Auswirkung von Losgrößen- bzw. EPEI-Anpassungen auf die Kosten einzelner Szenarien überprüft.

Die betrachtete Produktfamilie lässt sich dabei auf die Edelstahlgriffertigung klar abgrenzen und enthält sämtliche darin enthaltenen Varianten. Diese durchlaufen dabei mehrere Produktionsschritte; es ist auch möglich Produktionsschritte auszulassen. Insgesamt können maximal fünf Arbeitsschritte durchlaufen werden.

Diese Prozesse werden von 18 verschiedenen Varianten mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten durchlaufen. Wird in einem Prozess mit Maschinenbeteiligung auf eine neue Varianten umgestellt, fallen Rüstzeiten an. Diese Rüstzeiten sind in diesem Fallbeispiel für alle Varianten annähernd gleich und unabhängig von der Rüstreihenfolge.

Daraus ergibt sich die Betrachtung eines abgeschlossenen Wertstroms der Produktfamilie Edelstahlgriffe - es ist keine Betrachtung zusätzlich genutzter Kapazitäten anderer Produkte

notwendig. Die im Wertstrom enthaltenen Puffer und Lagerbereiche werden ebenfalls lediglich von der Produktfamilie genutzt, können daher auch nicht bei Verringerung der Bestände reduziert oder neu verteilt werden. Eine Betrachtung sich verändernder Flächenkosten kann demnach entfallen. Auslastungssenkungen der Mitarbeiter führen kurzfristig zu keiner Kostensenkung. Lediglich mittelfristig könnte mit einem Aufwandsrückgang gerechnet werden; diese Möglichkeit findet in diesem Fallbeispiel keine Berücksichtigung. Aus technologischen Gründen können die produzierte Lose nur in Batches weitergegeben werden; erst wenn alle Teile den vorgehenden Prozess verlassen haben, werden sie weitertransportiert.

7.2 Wertstromaufnahme und Datenerfassung

Geliefert werden der Produktion gebogene Rohre, welche anschließend die folgenden Prozesse durchlaufen. Alle Maschinen und Anlagen innerhalb dieses Wertstroms haben eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren, die Zinsen auf das Anlagevermögen betragen 5%, Zinsen auf Umlaufvermögen 10%. Da alle Prozesse im 3-Schicht-Betrieb betrieben werden, führen Überstunden zu keinem zusätzlichen Output; die Überstundengrenze ist damit null. Abbildung 7.1 zeigt den zugehörigen Wertstrom, dessen einzelne Prozesse werden im Folgenden beschrieben werden. Die darin enthaltenen Kennwerte sind ebenfalls in Tabelle 7.1 enthalten.

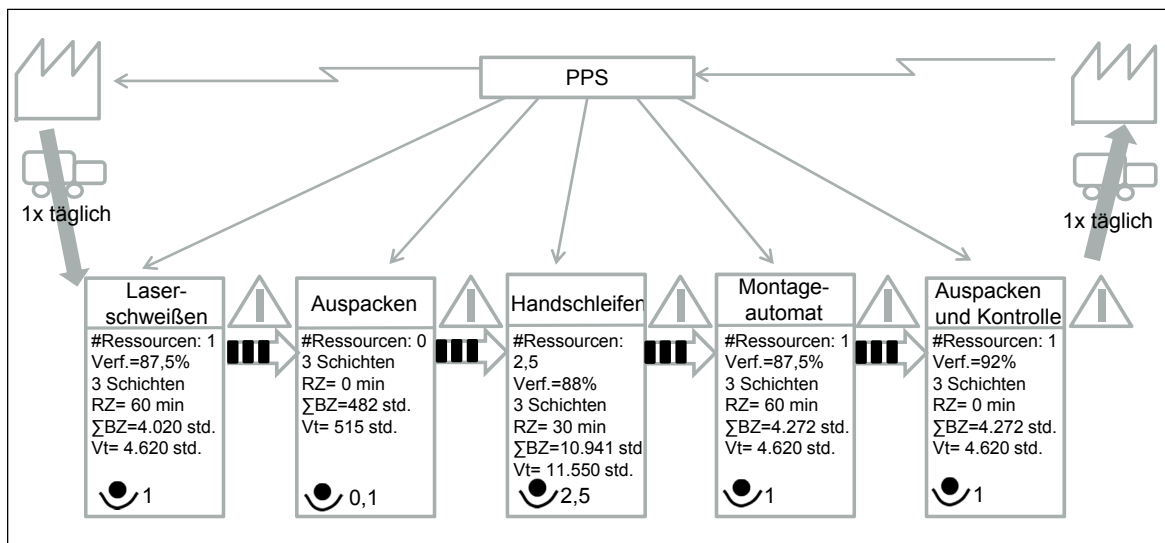


Abbildung 7.1: Prozessvisualisierung mit Hilfe der Wertstrommethode

Der Prozess **Laserschweißen** beinhaltet eine Maschine die von einem Maschinenbediener in einem 1:1 Verhältnis betrieben wird. Allerdings sind die Prozesse von Maschine und Maschinenbediener nicht unmittelbar voneinander abhängig, so dass die Maschine kurzzeitig auch ohne Mitarbeiter betrieben werden kann. Die Maschine läuft in drei Schichten und hat eine Verfügbarkeit von 87,5%. Das Laserschweißen ist im gegebenen Wertstrom der Prozess mit dem höchsten Kapitaleinsatz.

Das **Auspacken** findet an einem Handarbeitsplatz statt. Dafür werden keine Maschinen oder Anlagen benötigt. Dieser Prozess wird lediglich von wenigen Varianten durchlaufen, die restlichen Varianten können ohne diesen Prozess zum nächsten Prozess weitergegeben werden. Aus diesem Grund ist ein Mitarbeiter für 10% seiner Arbeitszeit an diesem Prozess abgestellt. Der Prozess **Handschleifen** beschreibt das Schleifen mittels einer Schleifmaschine und der direkten Mitarbeit durch einen Maschinenbediener. Auch hier herrscht demnach ein 1:1 Verhältnis. Der Mitarbeiter kann nicht ohne die Maschine arbeiten und andersherum. Im Ist-Zustand sind zwei Maschinen voll im Einsatz, eine dritte kleinere Maschine wird von einem Mitarbeiter zu 50% seiner Arbeitszeit betrieben. Die Maschinen laufen in drei Schichten und haben jeweils eine Verfügbarkeit von 88%.

Der **Montageautomat** wird wie das Laserschweißen durch ein 1:1 Verhältnis mit dem Maschinenbediener beschrieben. Dieser Prozess stellt nach dem Laserschweißen die Anlage mit dem höchsten Kapitaleinsatz dar. Die Maschine läuft in drei Schichten und hat eine Verfügbarkeit von 87,5%.

Das **Auspacken und Kontrollieren** wird von einem Mitarbeiter pro Schicht vorgenommen, er benötigt dafür einen Kontrollautomat, welchen er in einem 1:1 Verhältnis betreibt. Dieser Automat wird in drei Schichten betrieben und hat eine Verfügbarkeit von 92%.

Jeder Variante kann eine unterschiedliche Bearbeitungszeit für einen Prozess in Anspruch nehmen. Diese werden gesondert für jeden Prozess aufgenommen. Wird ein Prozess nicht von einer Variante durchlaufen, wird das mit einer Bearbeitungszeit von null gekennzeichnet. Da sämtliche Kostenzuordnungen von der Höhe der Bearbeitungszeit abhängig sind, werden bei einer Bearbeitungszeit von null keine Kosten zugeordnet.

Die Rüstzeiten sind für alle Varianten innerhalb eines Prozesses gleich hoch und unabhängig von der produzierten Reihenfolge. Fallen für einen Prozess keine Rüstzeiten an, wird dies ebenfalls mit einer Rüstzeit von null für jede Variante gekennzeichnet. Unabhängig von vorhandenen Rüstzeiten kann für jeden Prozess eine Losgröße vorgegeben werden, die unabhängig von den gegebenen Kapazitäten als minimale Losgröße durch die Prozesse läuft. In dem hier beschriebenen Fallbeispiel sind die bisherigen Losgrößen als Vorgabe festgelegt, allerdings werden diese im Rahmen der Auswertung nach oben angepasst, wenn die minimal mögliche Losgröße, die sich aus dem EPEI ergibt, diese Losgröße übersteigt.

Alle Materialien und Kaufteile begleiten das Produkt von Beginn des Wertstroms über alle Prozesse hinweg - dementsprechend müssen vor den Folgeprozessen keine weiteren Kaufteile berücksichtigt werden. Ausgenommen davon sind Schüttgüter, welche allerdings nicht dem Wertstrom zugerechnet werden, sondern sämtlichen Produkten als Gemeinkostenzuschlag auferlegt werden. Nicht relevant ist die Vorgabe eines bestimmten Sicherheitsbestandes, da die Abrufe mittelfristig regelmäßig und bekannt sind. Darüber hinaus werden zusätzliche Aufträge als Lageraufträge in die Kundenaufträge mit eingebracht, so dass die Jahresstückzahl einen gewissen Sicherheitsbestand mit berücksichtigt. Die Verknüpfung der Prozesse erfolgt manuell, deshalb fallen sowohl für die Entnahme aus den Prozessen, als auch für die Anlieferung an die Prozesse für jede Variante Handlingaufwände in gleicher Höhe an.

In diesem Fallbeispiel werden keine Flächen berücksichtigt, da freigesetzte Flächen nicht für andere Produktfamilien oder eine sonstige Nutzung zur Verfügung stehen. Es ist generell ausreichend Fläche vorhanden, um neue Maschinen oder Arbeitsplätze unterzubringen. Die Kosten für das Gebäude können somit als Gemeinkostensatz auf die einzelnen Produkte gleichmäßig verteilt werden und finden somit in diesem Fall keine nähere Betrachtung.

Aus Tabelle 7.1 wird ersichtlich, dass der dritte Prozess Handschleifen zwar die höchste Gesamtbearbeitungszeit für alle Teile innerhalb eines Jahres benötigt, allerdings auch die meiste Arbeitszeit dafür zur Verfügung hat. Die Differenz zwischen verfügbarer und benötigter Arbeitszeit ist in den letzten beiden Prozessen Montageautomat und Auspacken und Kontrolle am geringsten, darüber hinaus fallen am Montageautomat höhere Rüstzeiten an. Bei einem konstanten Stückzahlwachstum wird an diesem Prozess die Kapazitätsgrenze zuerst überschritten werden und Investitionen notwendig.

7.3 Kostenermittlung

Die Kosten³³⁹ des Wertstroms werden gemäß Kapitel 6.3 berechnet. Dafür wird zuvor der EPEI der einzelnen Prozesse ermittelt. Auf Basis des EPEI wird die Mindestlosgröße für den jeweiligen Prozess berechnet, die minimal produziert werden kann, um den Tagesbedarf dennoch zu erfüllen³⁴⁰. Da in diesem Fallbeispiel Mindestlosgrößen vorgegeben sind, stellen sie die für die Berechnung minimal annehmbaren Losgrößen dar, wenn sie höher sind, als diejenigen Losgrößen, die durch den EPEI errechnet wurden. In diesem Fall sind lediglich die Vorgabelosgrößen einiger Varianten höher, als die errechneten. Durch die Erhöhung der Losgrößen für diese Varianten, werden für die restlichen Varianten geringere Losgrößen möglich. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass durch die Erhöhung bestimmter Losgrößen Rüstaufwände reduziert werden, welche durch die Verringerung restlicher Losgrößen aufgefüllt werden können. Da in diesem Fallbeispiel keine First-In-First-Out-Produktion möglich ist und durch technologische Gegebenheiten die Aufträge im Produktionsverlauf möglicherweise umsortiert werden, wird im Mittel von einem gleichmäßigen Bestandsabgang ausgegangen und die Bestände daraus gemäß Gleichung 5.4 berechnet. Dementsprechend kann durch geringere Losgrößen vor dem Engpass keine signifikante Einsparung erzielt werden; um Umpackungs- oder Umlagerungsvorgänge aufgrund unterschiedlicher Losgrößen innerhalb der einzelnen Prozesse zu vermeiden, werden die Losgrößen über den gesamten Wertstrom dem Engpass angepasst. Der Prozess mit dem höchsten $EPEI_{min}$ (hier: Montageautomat - Prozess 4) stellt den Engpass dar und übergibt die daraus errechnete Losgröße an die restlichen Prozesse im Wertstrom. Tabelle 7.1 zeigt den Ist- Zustand des Fallbeispiels.

Daraus ergeben sich die notwendigen Parameter für die Ermittlung der losabhängigen Kostenarten für Rüsten, Handling und Kapitalbindung. Tabelle 7.2 zeigt die zugehörigen Kosten aller Kostenarten für die jeweiligen Prozesse und Puffer.

³³⁹Alle hier aufgeführten Kostenangaben sind als Euro-Werte zu verstehen.

³⁴⁰vgl. Kapitel 5.1.2

Prozesswerte	Laserschweißen Prozess 1	Auspacken Prozess 2	Handschleifen Prozess 3	Montageautomat Prozess 4	Ausp.&Kontrolle Prozess 5
Anzahl Ressourcen	1	0	2,5	1	1
Anzahl Varianten	17	4	17	18	18
Stückzahlen pro Jahr	423.412	156.952	301.710	427.424	427.424
EPEI Ist	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Verfügb. Arbeitszeit [Std./Jahr]	4.620	515	11.616	4.620	4.857
Σ Bearbeitungszeit (Stückzahl/Jahr) [Std./Jahr]	4020	482	10941	4274,2	4274,2
Σ Rüstzeiten (alle Varianten) [Std.]	17	0	8,5	18	0
Durchschnittliche Losgröße	1236	1236	1236	1236	1236
Anzahl Lose pro Jahr	346	346	346	346	346
EPEI min	6,2	-	2,8	11,5	-

Tabelle 7.1: Ist-Daten des Wertstromes

Kosten	Laserschweißen Prozess 1		Auspacken Prozess 2		Handschleifen Prozess 3		Montageautomat Prozess 4		Ausp.&Kontrolle Prozess 5	
		Puffer 1		Puffer 2		Puffer 3		Puffer 4		Puffer 5
Fertigungskosten K_f	130.500		0		33.150		27.750		4.625	
Energie&Betriebsk. K_{EB}	5.324		434		13.792		5.462		5.462	
Masch.bedienerk. K_{MB}	180.000		18.000		450.000		180.000		180.000	
Rüstkosten K_{Rst}	36.500		0		18.000		36.000		0	
Lagerkosten K_L		12.810		5.960		5.960		5.960		11.825
Handlingkosten K_H		43.163		18.312		18.312		18.312		18.650
Kap.bindungsk. K_{Kapb}		37.326		6.470		13.829		19.643		66.754
Flächenkosten K_{Fl}		0		0		0		0		0
Supportkosten K_T	748.300									
GESAMT	2.376.585									

Tabelle 7.2: Kosten des Wertstromes

7.4 Abbildung der Kostenentwicklung bei variablem Produktionsprogramm

7.4.1 Ermittlung relevanter Szenarien

Für die zukünftige Entwicklung des Betriebs wird von einer vorläufigen Stückzahlsteigerung zwischen 3% und 7% ausgegangen. Um den Absatz langfristig erhalten bzw. steigern zu können, wird zusätzlich über eine weitere Diversifizierung der Varianten nachgedacht. Deswegen wird die Kostenentwicklung bei steigender Variantenanzahl überprüft. In der Konstruktion befinden sich derzeit drei neue Varianten, die dann als Szenario mit einer zusätzlichen Stückzahlveränderung überprüft werden.

Daraus ergeben sich Szenarien mit unterschiedlichen Kombinationen von Stückzahl- und Variantenveränderungen, die unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der Höhe der Veränderung annehmen können (siehe Tabelle 7.3).

	Stückzahlen	Variantenanzahl
Szenario 1	verändert	konstant
Szenario 2	konstant	erhöht
Szenario 3	verändert	erhöht
mögliche Ausprägungen	+3%	+1
	+5%	+2
	+7%	+3

Tabelle 7.3: Szenarien und deren mögliche Ausprägungen

7.4.2 Bewertung der Szenarien

Um die Bewertung der Szenarien durchführen zu können, müssen vorher Regeln für die Anpassung der betrachteten Kapazitäten (Höhe und Zeitpunkt der Anpassung) aufgestellt werden. Die Kapazitätsobergrenze für die Anlagen und Mitarbeiter wurde durch die Prozessdaten bereits festgelegt. Das Schichtmodell bestimmt indirekt die möglichen Überstunden. Da im betrachteten Beispiel bereits im 3-Schicht Betrieb produziert wird, können keine Überstunden an diesen Prozessen erarbeitet werden. Dennoch wird davon ausgegangen, dass das Produktionssystem in der Lage ist, kurzfristige Kapazitätsschwankungen über flexible Arbeitszeiten und Zeitkonten (z.B. durch Wochenendarbeitszeit) abzudecken. Der betrachtete Zeitumfang von einem Jahr geht auf diese Art von Kapazitätsspitzen nicht ein, sondern betrachtet lediglich die über ein Jahr benötigte Kapazität. Für die einzelnen Prozesse werden im vorliegenden Fall unterschiedliche Investitionsalternativen vorgegeben. Die kapitalintensivsten Prozesse, das Laserschweißen und der Montageautomat, können nur durch eine neue,

baugleiche Anlage ergänzt werden, während für den Prozess Handschleifen sowohl kleine Maschinen (Hälfte der Kosten und Hälfte der Kapazität), als auch baugleiche Maschinen beschafft werden können. Die Mitarbeiter dieser Prozesse arbeiten in einem 1:1 Verhältnis an den Maschinen und müssen dementsprechend im selben Verhältnis erhöht werden wie die zugehörigen Maschinen und Anlagen. Die Mitarbeiter der Prozesse Auspacken dagegen können auch in Teilzeitverhältnissen erhöht werden, da die Mitarbeiter der Produktion in sämtlichen Prozessen qualifiziert sind und ausreichend Springer für die Produktion sämtlicher Wertströme im Betrieb vorhanden sind.

Die ermittelten Kosten für das erste Szenario von Stückzahlveränderungen bei gleichbleibender Variantenanzahl unterteilen sich in die in Tabelle 7.4 aufgeführten fixen und variablen Kostenanteile. Um außerdem die geringen Auswirkungen eines Stückzahlrückgangs auf die Kosten zu veranschaulichen, wird ein Rückgang von minus 5% beispielhaft mit aufgeführt.

Kosten (€/Jahr)	minus 5% 406.053 Stück	Ausgangssituation 427.424 Stück	plus 3% 440.247 Stück	plus 5% 448.795 Stück	plus 7% 457.344 Stück	plus 10% 470.166 Stück
fixe Gesamtkosten	1.471.135	1.471.135	1.471.135	1.471.135	1.586.712	1.796.019
variable Gesamtkosten	96.593	157.150	247.491	404.689	1.142.755	273.783
Kosten Support	748.300	748.300	748.300	748.300	748.300	748.300
Gesamtkosten /Jahr	2.316.028	2.376.585	2.466.926	2.624.124	3.477.766	2.818.101

Tabelle 7.4: Fixe und variable Kosten im Wertstrom bei Stückzahlveränderung und konstanter Variantenanzahl (Szenario 1)

Berechnet man die Kosten für unterschiedliche Stückzahlerhöhungen wird ersichtlich, dass die Kosten bei einer 7%-igen Steigerung ansteigen. Das liegt daran, dass die Losgrößen dahingehend erhöht werden müssen, dass die verfügbare Arbeitszeit der Engpassmaschine (Montageautomat - Prozess 4) bestmöglich durch Produktion anstelle von Rüstvorgängen genutzt werden kann. Dadurch erhöhen sich die Kapitalbindungskosten maßgeblich, so dass die Gesamtkosten stark ansteigen. Erst wenn die Kapazitätsgrenze überschritten ist und eine Investition getätigt wurde, um die Nachfrage sicherzustellen (siehe hier beispielhaft Stückzahlsteigerung von 10%), sinken die Gesamtkosten des Wertstroms durch sinkende Kapitalbindungskosten, trotz Investition.

Abbildung 7.2 zeigt die Zusammensetzung der Kostenverläufe zu den Kosten im Wertstrom bei gleichbleibenden Varianten.

In einem nächsten Schritt werden Varianten bei gleichbleibenden Stückzahlen erhöht. Dabei wird von Exotenvarianten ausgegangen, d.h. Varianten mit maximalen Bearbeitungs- und Rüstzeiten. Die Stückzahlen für die zusätzlichen Varianten werden dabei gleichverteilt von den bestehenden Varianten abgezogen, da mit einem gleichmäßigen Stückzahlrückgang gerechnet werden muss. Für diesen Fall würde das Unternehmen eine Diversifizierung und Individualisierung durch neue Varianten zur Kompensierung des Rückgangs vornehmen.

Erhöhen sich die Varianten bei gleichbleibenden Stückzahlen, verändern sich die zugehörigen Gesamtkosten bereits bei einer zusätzlichen Variante (siehe Tabelle 7.5 und Abbildung

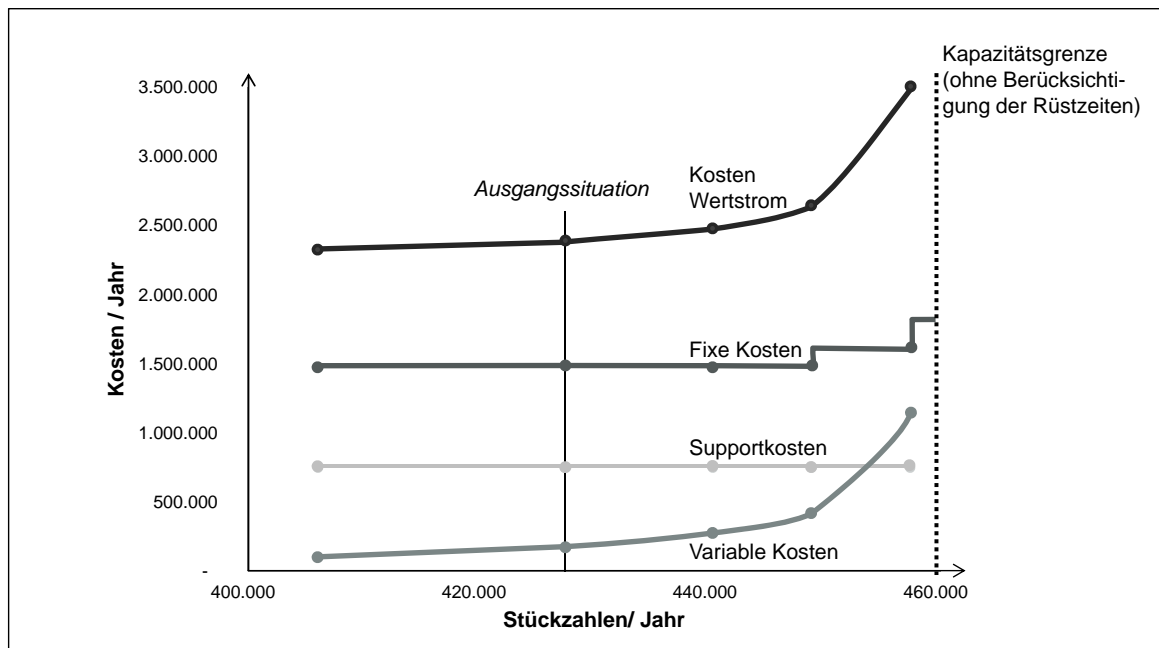


Abbildung 7.2: Zusammensetzung der Kosten im Wertstrom (Szenario 1)

7.3), da durch die erhöhten Bearbeitungs- und Rüstzeiten die Kapazitätsgrenzen auch ohne Stückzahlsteigerung erreicht werden und eine Investition in den Engpass (hier: Handschleifen - Prozess 3) notwendig ist. Der Engpass hat sich demnach durch Variantenerhöhung von Prozess 4 auf Prozess 3 verschoben, da sich die Bearbeitungszeiten für Prozess 3 durch die zusätzlichen Varianten mit hohen Bearbeitungszeiten selbst bei gleichbleibenden Stückzahlen erhöht haben. Nach der Kapazitätserhöhung steigen die Gesamtkosten gleichmäßig durch die steigenden Losgrößen, die dadurch verursacht werden, dass durch die erhöhte Variantenanzahl höhere Rüstaufwände für die Erfüllung des Tagesbedarfes notwendig werden und dadurch höhere Losgrößen gebildet werden müssen, um die verfügbare Arbeitszeit bestmöglich für die Bearbeitung der Teile ausnutzen zu können. Nach Investitionen in den Engpass werden die Reichweiten der einzelnen Varianten angepasst und dadurch bleiben die Kapitalbindungskosten in der Gesamtheit annähernd gleich. Die Durchlaufzeit der Varianten allerdings steigt, da zwar insgesamt genauso viele Produkte in den Puffern liegen, diese aber im Durchschnitt länger. Der Engpass verschiebt sich nach der Kapazitätserhöhung wieder auf den Montageautomat (Prozess 4).

Gesamtkosten (€/Jahr)	Ausgangssituation 427.424 Stück	plus 3% 440.247 Stück	plus 5% 448.795 Stück	plus 7% 457.344 Stück
	(Szenario 2)	(Szenario 3)		
gegebene Variantenanzahl (18)	2.376.585	2.466.926	2.624.124	3.477.766
Varianteanzahl +1 (19)	2.593.946	2.605.532	2.986.171	3.840.026
Varianteanzahl +2 (20)	2.604.982	2.615.636	3.009.225	3.907.986
Varianteanzahl +3 (21)	2.611.178	2.625.739	3.024.998	3.962.693

Tabelle 7.5: Kosten im Wertstrom bei Varianten- und Stückzahlerhöhung (Szenario 2+3)

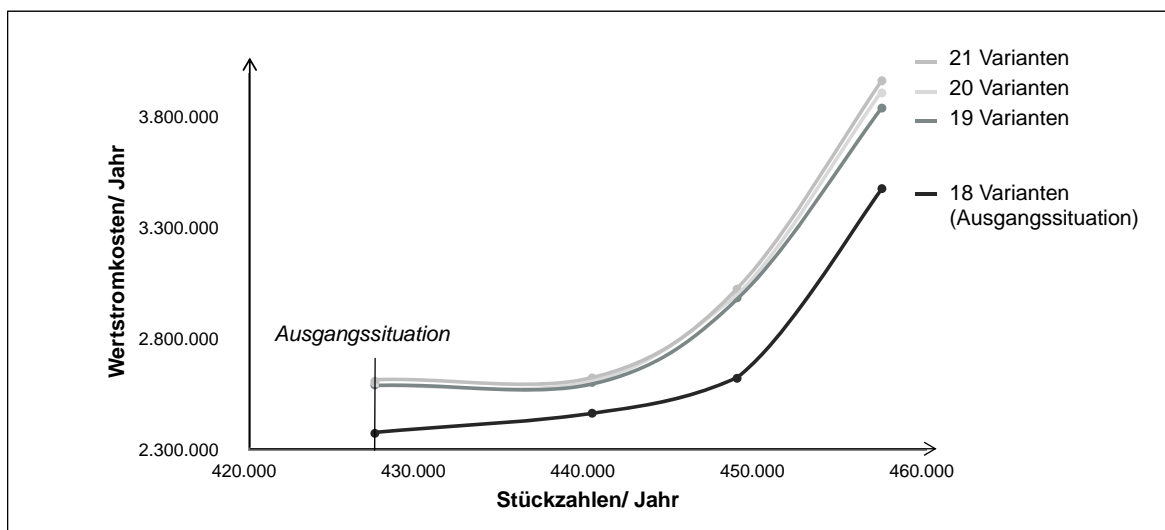


Abbildung 7.3: Kostenverläufe bei Varianten- und Stückzahlerhöhung (Szenario 2+3)

7.4.3 Interpretation von EPEI-Anpassungen und Investition

Im Anschluss an die Bewertung der einzelnen Szenarien und der zugehörigen Gesamtkostenverläufe werden die einzelnen Szenarien hinsichtlich veränderter Losgrößen untersucht. Dazu wird der EPEI des Prozesses nach dem Engpass (Kontrolle Auspacken - Prozess 5) angepasst (d.h. die ursprünglichen Losgrößen eingesetzt), um die Auswirkungen von Losgrößenveränderungen auf die Kostenkurven abzubilden (siehe Tabelle 7.6).

Abbildung 7.4 zeigt den Effekt der EPEI-Anpassung nach dem Engpass. Eine Verringerung der Losgrößen vor dem Engpass wird aufgrund des erhöhten Planungs- und Steuerungsaufwandes ausgeschlossen. Dabei wird von einer Optimierungsrechnung des EPEI gemäß Kapitel 6.4.2 verzichtet, da aus technologischer Sicht nur bestimmte Losgrößen in Frage kommen. Darüber hinaus können Investitionen in den Engpass im Verlauf vorgezogen werden. Das bedeutet, dass Investitionen nicht erst bei Überschreiten der Kapazitäten erhöht werden, sondern bereits jeweils eine Prozentstufe vorher. Dadurch werden die Auswirkungen von Kapazitätserhöhungen an den potenziellen Engpässen untersucht. Es wird ersichtlich, dass

Gesamtkosten (€/Jahr)	Ausgangssituation 427.424 Stück	plus 3% 440.247 Stück	plus 5% 448.795 Stück	plus 7% 457.344 Stück
Ist-Zustand	2.376.585	2.466.926	2.624.124	3.477.766
nach EPEI-Anpassung	2.328.926	2.395.830	2.459.687	2.966.473

Tabelle 7.6: Kosten im Wertstrom bei EPEI-Anpassung nach dem Engpass

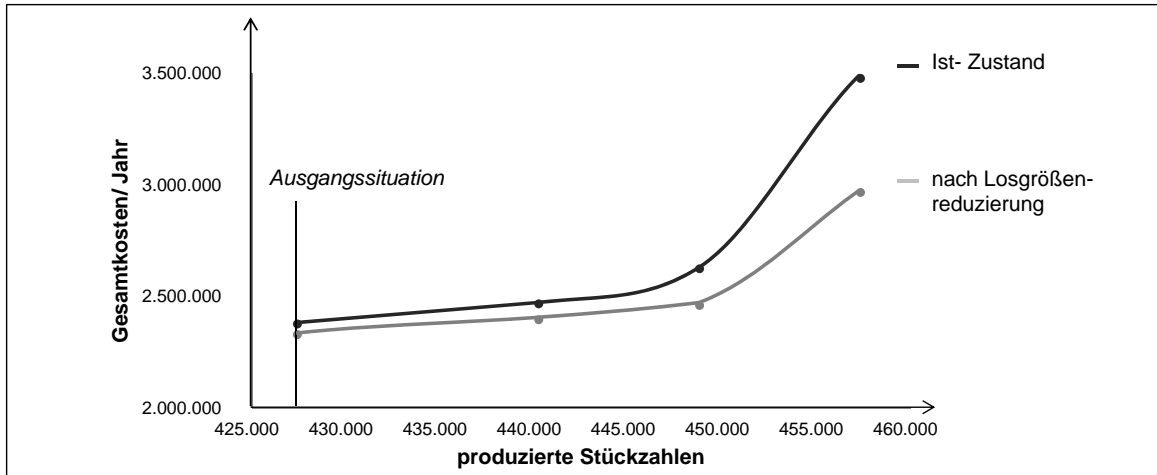


Abbildung 7.4: Kostenverläufe bei EPEI-Anpassung nach dem Engpass

Investitionen in den Engpass bei einer Stückzahlsteigerung von bereits weniger als 7% die Gesamtkosten senken (siehe Tabelle 7.7 und Abbildung 7.5).

Steigen allerdings zusätzlich die Varianten verschiebt sich dieser Punkt weiter in Richtung ei-

Gesamtkosten (€/Jahr)	Ausgangssituation 427.424 Stück	plus 3% 440.247 Stück	plus 5% 448.795 Stück	plus 7% 457.344 Stück
Ist-Zustand	2.376.585	2.466.926	2.624.124	3.477.766
nach Investition	2.623.455	2.642.139	2.664.678	2.716.491

Tabelle 7.7: Kosten im Wertstrom bei vorgezogenen Investitionen

nes geringeren Stückzahlwachstums (siehe Tabelle 7.8). Bei einer zusätzlichen Variante lohnt sich eine Investition bereits bei einer Stückzahlsteigerung von unter 5%. Muss das Unternehmen mittelfristig mit einer steigenden Produktdiversifizierung und daraus resultierenden Produktvarianten rechnen, kann es bereits bei geringem Stückzahlwachstum in neue Kapazitäten investieren, ohne die Gesamtkosten zusätzlich zu erhöhen. Aufgrund der durchgeführten Kostenberechnungen wird dem Unternehmen empfohlen, bei Neuinvestitionen zusätzliche Anpassungen in vereinfachte Handlingprozesse vorzunehmen, um den Personalaufwand für die losabhängigen Logistikprozesse durch Losgrößenreduzierung nicht maßgeblich zu erhöhen.

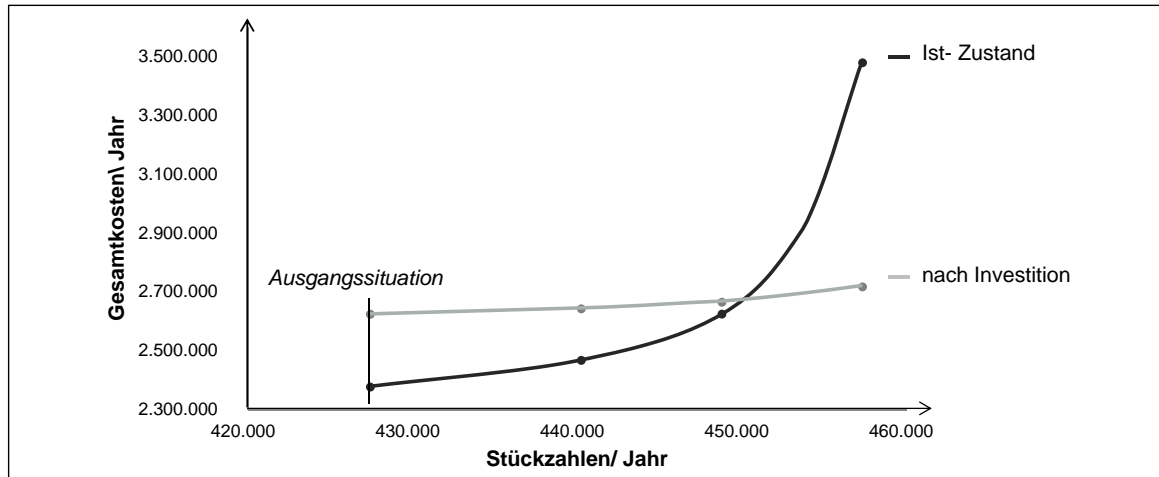


Abbildung 7.5: Kostenverläufe bei vorgezogenen Investitionen

Gesamtkosten (€/Jahr)	Ausgangssituation 427.424 Stück	plus 3% 440.247 Stück	plus 5% 448.795 Stück	plus 7% 457.344 Stück
geg. Variantenanzahl (18)	2.376.585	2.466.926	2.624.124	3.477.766
nach Investition	2.623.455	2.642.139	2.664.678	2.716.491
Differenz	negativ	negativ	negativ	positiv
Variantenanzahl +1 (19)	2.593.946	2.605.532	2.986.171	3.840.026
nach Investition	2.715.788	2.717.622	2.982.382	3.319.369
Differenz	negativ	negativ	positiv	negativ
Variantenanzahl +2 (20)	2.604.982	2.615.636	3.009.225	3.907.986
nach Investition	2.725.876	2.727.711	2.993.457	3.350.529
Differenz	negativ	negativ	positiv	negativ
Variantenanzahl +3 (21)	2.611.178	2.625.739	3.024.998	3.962.693
nach Investition	2.735.963	2.737.801	3.002.488	3.377.235
Differenz	negativ	negativ	positiv	negativ

Tabelle 7.8: Wertstromkosten vor und nach möglichen Investitionen in den jeweiligen Engpass

8 Zusammenfassung und Ausblick

Steigende Produktvielfalt, Dynamik und Unsicherheiten prägen das Umfeld produzierender Unternehmen. Durch die steigende individualisierte Nachfrage und Absatzschwankungen werden diese Unternehmen mit dem Druck konfrontiert, flexibel auf diese Schwankungen zu reagieren und dabei in jedem Zustand wirtschaftlich zu produzieren. Da von einer Befriedigung der Kundennachfrage als oberstes Ziel der Lean Production ausgegangen wird, muss der dafür notwendige Input optimiert werden. Der Input ist dabei mit Kosten verbunden, die berechnet und deren Veränderungen bewertet werden können. Da unterschiedliche Produktionsprogramme zu unterschiedlichen Gesamtkosten führen, ist es notwendig, die Auswirkungen dieser Veränderungen monetär abschätzbar zu machen und dem Anwender zu erlauben, Entscheidungen durch unterschiedliche zukünftige Szenarien transparent zu gestalten. Dabei dürfen qualitative Aspekte, wie die Flexibilität der Produktion und die Durchlaufzeit der Produkte, nicht an Priorität verlieren - deshalb ist die Betrachtung des gesamten Wertstroms von Bedeutung. Darin bestehen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Prozessen und Kapazitäten, die die Gesamtkosten des Wertstroms beeinflussen.

Produktionsstrukturen und damit verbundene Engpässe und Losgrößen nehmen demnach zusätzlich Einfluss auf die beschriebenen Kostenentwicklungen. Auch diese Einflüsse müssen abgebildet werden können, um starke Kostenabweichungen frühzeitig erkennen, aber auch, um mögliche Kostensenkungsmaßnahmen ergreifen zu können.

Das hier vorgestellte Modell ermöglicht die Ermittlung von Gesamtkosten für diskrete Szenarien; dabei stehen zwei Variablen im Vordergrund - Stückzahlen und Variantenzahlen. Wird eine dieser Variablen konstant gehalten, kann ein Kostenverlauf in Abhängigkeit der anderen Variablen abgebildet werden. Eine dreidimensionale Abbildung ist theoretisch möglich, allerdings mit einem hohen Berechnungsaufwand verbunden, da eine hohe Anzahl an zu berechnenden Punkten dafür benötigt wird. Durch die Gegenüberstellung von Szenarien mit unterschiedlichen Produktionsstrukturmaßnahmen, können die Schnittpunkte für eine mögliche Umstellung der Produktionsstruktur in Abhängigkeit der Stück- und Variantenzahlen ermittelt werden.

Dafür ist es unbedingt notwendig, die Möglichkeiten zur Ressourcenerhöhung und -verringering (Maschinen, Personal, etc.) und die damit verbundenen Aufwendungen abzuschätzen. Darüber hinaus müssen die Szenarien auf ein angemessenes Maß eingegrenzt werden können. Die Vorgehensweise beschränkt sich dabei auf die Flexibilität des Wertstroms hinsichtlich Stückzahlen und Varianten innerhalb des Wertstroms. Technologische Neuerungen können dann abgebildet werden, wenn die technischen Spezifika wie Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten und Produktspektrum angegeben werden können. Dieses Vorgehen ist vor allem dann hilfreich, wenn sich zukünftige Produktionsstrukturkonzepte bereits in der Planung befinden und dementsprechend konkrete Maßnahmen abgebildet werden können. Die Abbildung beliebiger Gestaltungsmöglichkeiten erhöht die Unsicherheiten und verringert dadurch die Aussagekraft der ermittelten Ergebnisse.

Das Modell dient der Abschätzung von Kostenentwicklungen bei unterschiedlichen Produktionsprogramm-szenarien. Dafür ist eine solide Datengrundlage erforderlich, die anhand von be-

stehenden Produktionsprogrammen und Arbeitsplänen ermittelt werden kann. Für logistische und unterstützende Tätigkeiten sind womöglich keine Vorgabezeiten hinterlegt, dementsprechend müssen diese Daten entweder durch Zeiterfassungsmethoden aufgenommen werden, oder von den Mitarbeitern selbst abgeschätzt werden. Je nach anteiligem Aufwand ist eine mehr oder weniger genaue Aufnahme notwendig.

Die Ermittlung der Tätigkeiten in produktionsnahen Kostenstellen ist mit einem höheren zeitlichen Aufwand verbunden. Alle betroffenen Kostenstellen müssen dafür analysiert werden, allerdings kann auch hier der Detaillierungsgrad beliebig hoch gewählt werden. Eine Konzentration auf die korrekte Erfassung losabhängiger Tätigkeiten wird dabei empfohlen, ebenso wie die Bildung möglichst weniger Variantenklassen.

Die Bildung von Szenarien erfolgt in der beschriebenen Vorgehensweise anhand möglicher Prognosen des Unternehmens und den damit verbundenen Unsicherheiten. Die Szenariotechnik bietet dazu eine weitaus umfassendere Herangehensweise und kann durch das Einbinden in das vorgestellte Modell möglicherweise zu einer besseren Abdeckung zukünftiger Unsicherheiten führen.

Maßnahmen zur Anpassung der Kapazitäten können vor allem dann zu einer validen Bewertung führen, wenn sie innerhalb bestehender Planungen bereits konkretisiert wurden. Ansonsten helfen bestehende Anlagen und zugehörige Aufwände zur Abschätzung von Anpassungsmöglichkeiten. Im Zweifelsfall muss ein iterativer Bewertungsprozess für ausgewählte Szenarien stattfinden, in denen mögliche Anpassungsmaßnahmen detailliert und konkretisiert werden.

Für die Abschätzung der zukünftigen Bestandsverläufe und Auslastungsverläufe kann die Kennlinientheorie in das Vorgehen eingebunden werden.

Die Bewertung der Kosten des Wertstroms sollte darüber hinaus durch geeignete Ansätze stärker mit qualitativen Bewertungskriterien im Wertstrom gekoppelt werden, um Kosten und qualitativen Nutzen besser gegenüberstellen zu können.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau der Arbeit	8
2.1	Abbildung eines Wertstroms	12
2.2	Wertschöpfung aus Sicht des Unternehmens und des Kunden	14
3.1	Kostenarten-, Kostenstellen-, Kostenträgerrechnung	40
3.2	Zuschlagskalkulation	40
5.1	Ermittlung von Auslastungsverlusten	67
5.2	Einhaltung des Kundentakts durch Losgrößen	70
5.3	Bestandteile des EPEI	71
5.4	Einflussgrößen des EPEI	73
5.5	Losgrößen, Reichweiten und Bestandsabbau	74
5.6	Zu- und Abgangskurve in Abhängigkeit der EPEI-Werte aus Vorgänger- und Nachfolgerprozess	76
5.7	Zu- und Abgangskurve bei Vielfachen EPEIs	78
5.8	EPEI- Erhöhung durch zusätzliche Varianten und Stückzahlen	81
5.9	Zusammenhang zwischen Stückzahlen, Varianten und Bestand bei durchschnittlichen Rüst- und Bearbeitungszeiten (schematische Darstellung)	83
5.10	Abhängigkeit der Kosten vom EPEI	83
5.11	Die Ermittlung der relevanten Kosten unterteilt sich in unterschiedliche Bereiche	85
5.12	Relevante Kostentreiber für Produktion und Support	87
5.13	Kosten der Durchlaufzeitreduzierung (schematische Darstellung)	97
6.1	Schritte im Modelleinsatz	102
6.2	Aufnahme von Tätigkeiten und Kostentreibern	132
6.3	Unterschiedliche Szenarien führen zu unterschiedlichen Kosten	136
6.4	Kombinationsmöglichkeiten zwischen Veränderungen von Stückzahlen und Varianten	136
6.5	Szenarienbildung einzelner Varianten oder über das gesamte Produktionsprogramm	137
6.6	Kostenveränderung durch Szenarien	139
6.7	Ermittlung der Grenzen des EPEI (schematische Darstellung)	141
6.8	Modelleinsatz	145
7.1	Prozessvisualisierung mit Hilfe der Wertstrommethode	147
7.2	Zusammensetzung der Kosten im Wertstrom (Szenario 1)	154
7.3	Kostenverläufe bei Varianten- und Stückzahlerhöhung (Szenario 2+3)	155
7.4	Kostenverläufe bei EPEI-Anpassung nach dem Engpass	156
7.5	Kostenverläufe bei vorgezogenen Investitionen	157

Tabellenverzeichnis

2.1	Abgrenzung der beschriebenen Begrifflichkeiten	28
2.2	Abgrenzung der Arbeit	30
3.1	Betrachtete Ansätze	32
3.2	Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Bewertung von Wertströmen . .	38
3.3	Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Kosten- und Wirtschaftlichkeits- bewertung	49
3.4	Flexibilitätsarten nach ROGALSKI	50
3.5	Betrachtete Aspekte bestehender Ansätze zur Bewertung von Flexibilität und Kostenentwicklung	56
4.1	Abdeckung der Anforderungen durch die unterschiedlichen Ansätze	62
5.1	Kosten entlang des Wertstroms	100
6.1	Datenaufnahme	103
6.2	Vermögenswerte und Kosten im Produktionsprozess	105
6.3	Vermögenswerte und Kosten in Puffer und Lager	106
6.4	Kosten entlang des Wertstroms	135
7.1	Ist-Daten des Wertstromes	151
7.2	Kosten des Wertstromes	151
7.3	Szenarien und deren mögliche Ausprägungen	152
7.4	Fixe und variable Kosten im Wertstrom bei Stückzahlveränderung und kon- stanter Variantenzahl (Szenario 1)	153
7.5	Kosten im Wertstrom bei Varianten- und Stückzahlerhöhung (Szenario 2+3) .	155
7.6	Kosten im Wertstrom bei EPEI-Anpassung nach dem Engpass	156
7.7	Kosten im Wertstrom bei vorgezogenen Investitionen	156
7.8	Wertstromkosten vor und nach möglichen Investitionen in den jeweiligen Engpass	157

Literaturverzeichnis

ADAM 2004

ADAM, D. : *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre - Koordination betrieblicher Entscheidungen*. 3. Berlin : Springer, 2004

ALBRECHT 2001

ALBRECHT, F. : *Methoden der Unternehmensbewertung*. 2001 (SMILE Venture Management GmbH)

ALDINGER 2009

ALDINGER, L. A.: *Methoden zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes*, Universität Stuttgart, Diss., 2009

ANDLER 1929

ANDLER, K. : *Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße*. München : R. Oldenburg, 1929

BASNET 2012

BASNET, C. : *The Measurement of Internal Supply Chain Integration*. In: *Management Research Review* 36 (2012), Nr. 2, S. 1–30

BAYER 2010

BAYER, T. : *Integriertes Variantenmanagement: Variantenkostenbewertung mit faktorenanalytischen Komplexitätstreibern*. 1. München and Mering : Hampp, 2010

BECKER 2009

BECKER, H. P.: *Investition und Finanzierung: Grundlagen der betrieblichen Finanzwirtschaft*. 3. Wiesbaden : Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009

BIEDERMANN 2011

BIEDERMANN, H. (Hrsg.) : *Lean Maintenance: Null-Verschwendung durch schlanke Strukturen und wertsteigernde Managementkonzepte*. Köln : TÜV Media, 2011

BLOECH 2008

BLOECH, J. : *Einführung in die Produktion*. 6. Berlin and Heidelberg : Springer, 2008

BÖTTCHER 2008

BÖTTCHER, S. : *Beitrag zur Planung stückzahlflexibler Fertigungssysteme*. IBF Eigenverlag, 2008 (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme)

BOYLE UND SCHERRER-RATHJE 2009

BOYLE, T. ; SCHERRER-RATHJE, M. : *An empirical examination of the best practices to ensure manufacturing flexibility: Lean alignment*. In: *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (2009), Nr. 3, S. 348–366

BRIEL 2002

BRIEL, R. v.: *Ein skalierbares Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in ergebnisverantwortlichen Fertigungssystemen*. Heimsheim : Jost-Jetter, 2002

BROWN ET AL. 1984

BROWN, J. ; DUBOIS, D. ; RATHMILL, K. ; SETHI, S. P. ; STECKE, K. : *Classification of flexible manufacturing systems*. In: *The FMS Magazine* (1984), Nr. April, S. 114–117

BRUGGER 2009

BRUGGER, R. : *Der IT Business Case: Kosten erfassen und analysieren Nutzen erkennen und quantifizieren Wirtschaftlichkeit nachweisen und realisieren*. Zweite korrigierte und erweiterte Auflage. Springer Verlag, 2009

BRUZZONE 2011

BRUZZONE, A. G. (Hrsg.) : *Conference proceedings*. Genova : DIPTTEM, University of Genoa, 2011

BULLINGER 2003

BULLINGER, H.-J. : *Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management*. 2. Berlin and and Heidelberg and and New York and and Hongkong and and London and and Mailand and and Paris and and Tokio : Springer, 2003

BURCHER UND LEE 2000

BURCHER, P. ; LEE, G. : *Competitiveness strategies and AMT investment decisions*. In: *Integrated Manufacturing Systems* 11 (2000), Nr. 5, S. 340–347

CAMISÓN UND VILLAR LÓPEZ 2010

CAMISÓN, C. ; VILLAR LÓPEZ, A. : *An examination of the relationship between manufacturing flexibility and firm performance: The mediating role of innovation*. In: *International Journal of Operations & Production Management* 30 (2010), Nr. 8, S. 853–878

CHAUHAN UND SINGH 2012

CHAUHAN, G. ; SINGH, T. : *Measuring parameters of lean manufacturing realization*. In: *Measuring Business Excellence Journal* 16 (2012), Nr. 3, S. 57–71

CISEK 2005

CISEK, R. : *Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen*. H. Utz Verlag, 2005

COPELAND ET AL. 2000

COPELAND, T. E. ; KOLLER, T. ; MURRIN, J. : *Valuation: Measuring and managing the value of companies*. 3. New York : Wiley, 2000

COPELAND UND ANTIKAROV 2001

COPELAND, T. ; ANTIKAROV, V. : *Real options: A practitioner's guide*. New York : Texere, 2001

CORONADO UND ANDREW 2007

CORONADO, A. ; ANDREW, C. : *Evaluating operations flexibility in industrial supply chains to support build-to-order initiatives*. In: *Business Process Management Journal* 13 (2007), Nr. 4, S. 572–587

CRASSELT UND TOMASZEWSKI 1999

CRASSELT, N. ; TOMASZEWSKI, C. : *Realoptionen - eine neue Theorie der Investitionsrechnung?* In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt)* 28 (1999), S. 556–559

DAMISCH 2002

DAMISCH, P. N.: *Wertorientiertes Flexibilitätsmanagement durch den Realoptionsansatz: Techn. Univ., Diss.-Dresden, 2001*. 1. Aufl. Dt. Univ. Verlag, 2002 (DUVWirtschaftswissenschaft)

DAUM ET AL. 2007

DAUM, A. ; PETZOLD, J. ; PLETKE, M. : *BWL für Juristen: Eine praxisnahe Einführung in die betriebswirtschaftlichen Grundlagen*. 1. Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 2007

DETTMER 1997

DETTMER, H. W.: *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*. Milwaukee and Wis : ASQC Quality Press, 1997

DICKMANN 2009

DICKMANN, P. (Hrsg.) : *Schlanker Materialfluss mit Lean-production, Kanban und Innovationen*. 2. Berlin and Heidelberg : Springer, 2009

DYCKHOFF 2006

DYCKHOFF, H. : *Produktionstheorie: Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft*. 5. Berlin and New York : Springer, 2006

ELLRAM 1995

ELLRAM, L. : *Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing*. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 25 (1995), Nr. 8, S. 4–23

ENGELHARDT-NOWITZKI 2012

ENGELHARDT-NOWITZKI, C. : *Improving value chain flexibility and adaptability in build-to-order environments*. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 42 (2012), Nr. 4, S. 318–337

ERLACH 2010

ERLACH, K. : *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*. 2., bearb. u. erw. Springer Verlag, 2010

EYER UND SCHÜRFELD 2004

EYER, H. ; SCHÜRFELD, H. : *Lean Production*. In: *Maschinenmarkt* (2004), Nr. 44

FANDEL 2005

FANDEL, G. : *Produktion*. 6. Springer Verlag, 2005

FRANTZKE 2004

FRANTZKE, A. : *Grundlagen der Volkswirtschaftslehre: Mikroökonomische Theorie und Aufgaben des Staates in der Marktwirtschaft*. 2. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2004

GIENKE UND KÄMPF 2007

GIENKE, H. ; KÄMPF, R. : *Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling*. München : Hanser, 2007

GLASER ET AL. 1992

GLASER, H. ; GEIGER, W. ; ROHDE, V. : *PPS - Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte, Anwendungen*. 2. Wiesbaden : Gabler, 1992

GOLDRATT UND COX 1998

GOLDRATT, E. M. ; COX, J. : *Das Ziel: Höchstleistung in der Fertigung*. 2. McGraw-Hill, 1998

GOSSELIN 2005

GOSSELIN, M. : *An empirical study of performance measurement in manufacturing firms*. In: *International Journal of Productivity and Performance Management* 54 (2005), Nr. 5, S. 419–437

GOTTMANN ET AL. 2012

GOTTMANN, J. ; MAYRHOFER, W. ; SIHN, W. : *Cost impact assessment of production program changes: a value stream oriented approach*. In: HU, J. S.: *Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization*. 2012, S. 187–190

GÖTZE 2008

GÖTZE, U. : *Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben*. 6. Berlin and Heidelberg : Springer, 2008

GROB 2006

GROB, H. L.: *Einführung in die Investitionsrechnung*. Vahlen Verlag, 2006

GUO 2008

GUO, H. : *Modellierungsansatz und Kennzahlensystem für die Optimierung von Wertschöpfungsprozessen*. Magdeburg : Universität Magdeburg Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, 2008

GUPTA UND GUNASEKARAN 2005

GUPTA, K. ; GUNASEKARAN, A. : *Costing in new enterprise environment: A challenge for managerial accounting researchers and practitioners*. In: *Managerial Auditing Journal* 20 (2005), Nr. 4, S. 337–353

GUTENBERG 1983

GUTENBERG, E. : *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*. Berlin and New York : Springer-Verlag, 1983

GUTENBERG 1990

GUTENBERG, E. : *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre*. Wiesbaden : Betriebswirtschaftl. Verl. Gabler, 1990

HAAGE 2003

HAAGE, G. : *Time based performance measurement in der Logistik*. Marburg, Diss., 2003

HALLER 1999

HALLER, M. : *Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion*. München : Utz, Wiss., 1999

HEGER 2007

HEGER, C. L. : *Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten*. Garbsen : PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2007

HEINEN 1974

HEINEN, E. : *Betriebswirtschaftliche Kostenlehre: Kostentheorie und Kostenentscheidungen*. 4. verbesserte Auflage. Gabler Verlag, 1974

HINES ET AL. 1999

HINES, P. ; RICH, N. ; ESAIN, A. : *Value stream mapping: A distribution industry application*. In: *Benchmarking: An International Journal* 6 (1999), Nr. 1, S. 60–77

HOCKE UND HEINZL 2006

HOCKE, S. ; HEINZL, A. : *Flexibilitätsmanagement – eine systemtheoretisch-kybernetische Betrachtung*. In: *Working Papers in Information Systems* (2006), Nr. 8

HU 2012

HU, J. S. (Hrsg.) : *Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization: Proceedings of the 4th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems*. 2012

IRNIGER 2009

IRNIGER, S. : *Akzeptanz der Investitionsrechnung in der Praxis*. Dr. Acél & Partner AG and Zürich, 2009

KARIM UND ARIF-UZ-ZAMAN 2012

KARIM, A. ; ARIF-UZ-ZAMAN, K. : *A Methodology for effective implementation of Lean Strategies and its performance evaluation in Manufacturing Organizations*. In: *Business Process Management Journal* 19 (2012), S. 1–25

KARMANN 2008

KARMANN, A. : *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler: Problemorientierte Einführung*. 6. München [u.a.] : Oldenbourg, 2008

KAUMANNS 2004

KAUMANNS, W. : *Konfiguration eines Prozesskennzahlensystems für den mittelständischen Maschinenbau*. Heimsheim : Jost-Jetter, 2004

KERN 1996

KERN, W. : *Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre*. 2., völlig neu gestaltete Aufl. Schäffer-Poeschel Verlag, 1996 (Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre)

KERN ET AL. 1996

KERN, W. ; SCHRÖDER, H.-H. ; WEBER, J. (Hrsg.) : *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. Schäffer-Poeschel Verlag, 1996

KERNER 2002

KERNER, A. : *Modellbasierte Beurteilung der Logistikleistung von Prozessketten*, Universität Hannover, Diss., 2002

KILGER ET AL. 2002

KILGER, W. ; PAMPEL, J. ; VIKAS, K. : *Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung*. 11. Wiesbaden : Gabler, 2002

KINKEL UND MALOCA 2010

KINKEL, S. ; MALOCA, S. : *Flexibilitäts- und Stabilitätsstrategien in der deutschen Industrie*. In: *Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur Modernisierung der Produktion* (2010), Nr. 54

KLEVERS 2007

KLEVERS, T. : *Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design: Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern*. Landsberg am Lech : mi, 2007

KOBYLKA 2000

KOBYLKA, A. : *Simulationsbasierte Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität*, Technische Universität Chemnitz, Diss., 2000

KOCH 2011

KOCH, S. : *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM*. Berlin and Heidelberg : Springer, 2011

KRAMER 2002

KRAMER, O. : *Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe*. H. Utz Verlag, 2002

KUHLANG ET AL. 2013

KUHLANG, P. ; HEMPEN, S. ; SIHN, W. ; DEUSE, J. : *Systematic improvement of value streams - fundamentals of value stream oriented process management*. In: *International Journal of Productivity and Quality Management* (2013), Nr. Y, S. 1–16

KUMAR UND MOTWANI 1995

KUMAR, A. ; MOTWANI, J. : *A methodology for assessing time-based competitive advantage of manufacturing firms*. In: *International Journal of Operations & Production Management* 15 (1995), Nr. 2, S. 36–53

KÜPPER 1992

KÜPPER, H.-U. : *Theoretische Grundlagen der Kostenrechnung*. In: MÄNNEL, W. : *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden : Gabler, 1992, S. 38–53

KURR 2003

KURR, T. T.: *Technologie "Due Diligence": Methodik zur Bewertung von Produkttechnologien: Techn. Hochsch., Diss.–Aachen, 2002*. Shaker Verlag, 2003 (Berichte aus der Produktionstechnik)

LANZA ET AL. 2010

LANZA, G. ; PETER, K. ; RÜHL, J. ; PETERS, S. : *Assessment of flexible quantities and product variants in production*. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (2010), Nr. 3, S. 279–284

LIEDTKE 2007

LIEDTKE, C. : *Systematik zur Bewertung der Produktionsleistung: Univ., Diss.–Hannover, 2007*. PZH Produktionstechn. Zentrum, 2007 (Berichte aus dem IFW)

LIKER 2004

LIKER, J. K.: *The Toyota way: Fourteen management principles from the world's greatest manufacturer*. Concordville Pa. and Norwood Mass. : McGraw-Hill Professional, 2004

LIKER UND MEIER 2006

LIKER, J. K. ; MEIER, D. : *The Toyota way fieldbook: A practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York : McGraw-Hill, 2006

MÄNNEL 1992

MÄNNEL, W. (Hrsg.) : *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden : Gabler, 1992

MATYAS 2001

MATYAS, K. : *Taschenbuch Produktionsmanagement: Planung und Erhaltung optimaler Produktionsbedingungen ; [mit CD-ROM]*. München and Wien : Hanser, 2001

MAY UND KOCH 2008

MAY, C. ; KOCH, A. : *Overall Equipment Effectiveness (OEE): Werkzeug zur Produktivitätssteigerung*. In: *Zeitschrift der Unternehmensberatung (ZUB)* (2008), Nr. 6, S. 245–250

MÖLLER 2008

MÖLLER, N. : *Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme*. H. Utz Verlag, 2008

MOYANO FUENTES UND SCRISTÁN DÍAZ 2012

MOYANO FUENTES, J. ; SCRISTÁN DÍAZ, M. : *Learning on lean: a review of thinking and research*. In: *International Journal of Operations & Production Management* 32 (2012), Nr. 5, S. 551–582

MÜLLER 2006

MÜLLER, D. : *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure*. Berlin : Springer, 2006

MÜLLER 2008

MÜLLER, S. : *Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen*. München : Utz, 2008

NAGEL UND BÜSCHKEN 2003

NAGEL, M. ; BÜSCHKEN, J. : *Flexibilitätsmanagement: Ein systemdynamischer Ansatz zur quantitativen Bewertung von Produktionsflexibilität*. 1. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl., 2003

NIEMANN UND WESTKÄMPER 2003

NIEMANN, J. ; WESTKÄMPER, E. : *The concept of Overall Equipment Effectiveness to control manufacturing performance*. In: *Acta Technica Npocensis: Series Applied Mathematics and Mechanics* 46 (2003), Nr. 2, S. 53–60

NISHAT FAISAL ET AL. 2006

NISHAT FAISAL, M. ; BANWET, D. ; SHANKAR, R. : *Mapping supply chains on risk and customer sensitivity dimensions*. In: *Industrial Management & Data Systems* 106 (2006), Nr. 6, S. 878–895

NÖLL UND WIEDEMANN 2008

NÖLL, B. ; WIEDEMANN, A. : *Investitionsrechnung unter Unsicherheit: Rendite-/Risikoanalyse von Investitionen im Kontext einer wertorientierten Unternehmensführung*. Vahlen Verlag, 2008

NYHUIS 2010

NYHUIS, P. (Hrsg.) : *Wandlungsfähige Produktionssysteme*. Berlin : GITO Verlag, 2010

NYHUIS ET AL. 2009

NYHUIS, P. ; FRONIA, P. ; PACHOW-FRAUENHOFER, J. ; WULF, S. : *Wandlungsfähige Produktionssysteme: Ergebnisse der BMBF-Vorstudie "Wandlungsfähige Produktionssysteme"*. In: *wt Werkstattstechnik online* 99 (2009), Nr. 4, S. 205–210

NYHUIS ET AL. 2010

NYHUIS, P. ; KLEMKE, T. ; WAGNER, C. : *Wandlungsfähigkeit - ein systemischer Ansatz*. In: NYHUIS, P. : *Wandlungsfähige Produktionssysteme*. Berlin : GITO Verlag, 2010, S. 3–21

NYHUIS 2008

NYHUIS, P. (Hrsg.) : *Wandlungsfähige Produktionssysteme: Heute die Industrie von morgen gestalten*. Garbsen : PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2008

NYHUIS UND WIENDAHL 1999

NYHUIS, P. ; WIENDAHL, H.-P. : *Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*. Springer Verlag, 1999

OBERMEIER UND GASPER 2008

OBERMEIER, T. ; GASPER, R. : *Investitionsrechnung und Unternehmensbewertung*. München : Oldenbourg, 2008

OHNO 2009

OHNO, T. : *Das Toyota-Produktionssystem*. Frankfurt M. and New York (NY) : Campus-Verl., 2009

OPITZ 2009

OPITZ, A. : *Methodik zur Planung ganzheitlich prozesseffizienter Fertigungssysteme*, Technische Universität Chemnitz, Diss., 2009

OSTEN-SACKEN 1999

OSTEN-SACKEN, D. v. d.: *Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen*. Jost-Jetter Verlag, 1999

PAULI 1986

PAULI, J. : *So wird Ihr Unternehmen flexibel: Leitlinien u. Massnahmen*. Verlag Industrielle Organisation, 1986

PAWELLEK 2007

PAWELLEK, G. : *Produktionslogistik: Planung - Steuerung - Controlling : mit 42 Übungsfragen*. München : Hanser, 2007

PETRONI UND BEVILACQUA 2002

PETRONI, A. ; BEVILACQUA, M. : *Identifying manufacturing flexibility best practices in small and medium enterprises*. In: *International Journal of Operations & Production Management* 22 (2002), Nr. 929-947

PFEFFER UND GOTTMANN 2009

PFEFFER, M. ; GOTTMANN, J. : *Chancen nutzen in Krisenzeiten durch Produktionsoptimierung*. In: *ZWF* 104 (2009), Nr. 5, S. 358–361

PFEFFER 2012

PFEFFER, M. : *Ein Verfahren zur Bewertung von Wertströmen*. Wien, Technische Universität Wien, Diss., 2012

PUJAWAN 2004

PUJAWAN, N. : *Assessing supply chain flexibility: a conceptual framework and case study*. In: *International Journal of Integrated Supply Management* 1 (2004), Nr. 1, S. 79–97

PUTNIK UND PUTNIK 2012

PUTNIK, G. ; PUTNIK, Z. : *Lean vs agile in the context of complexity management in organization*. In: *The Learning Organization* 19 (2012), Nr. 3, S. 248–266

REICHMANN 1997

REICHMANN, T. : *Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten: Grundlagen einer systemgestützten Controlling-Konzeption*. 5. München : Vahlen, 1997

REUTER 2009

REUTER, C. : *Logistikrelevante Lösungen auf der Basis von Lean-Management bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt*. [Online-Ausg.]. Heimsheim : Jost-Jetter, 2009

RICHTER 2004

RICHTER, F. : *Unternehmensbewertung: Moderne Instrumente und Lösungsansätze*. Schäffer-Poeschel Verlag, 2004

ROGALSKI 2009

ROGALSKI, S. : *Entwicklung einer Methodik zur Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen*. universitätsverlag Karlsruhe, 2009

ROSCHER 2008

ROSCHER, J. : *Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Diss., 2008

ROTHER UND SHOOK 2000

ROTHER, M. ; SHOOK, J. : *Sehen lernen*. LOG_X Verlag GmbH, 2000

SANTOS BERNARDES UND HANNA 2009

SANTOS BERNARDES, E. ; HANNA, M. : *A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature: Toward a conceptual definition of customer responsiveness*. In: *International Journal of Operations & Production Management* 29 (2009), Nr. 1, S. d30–53

SCHAUERHUBER 1998

SCHAUERHUBER, M. : *Produktionswirtschaftliche Flexibilität: Eine Konstruktion pekuniärer, kontextbezogener und interagierender Flexibilitätsmaße: Univ., Diss.–Wien, 1998*. Service-Fachverlag, 1998 (Forschungsergebnisse der Wirtschaftsuniversität Wien)

SCHNEEWEISS 1996

SCHNEEWEISS, C. : *Flexibilität, Elastizität und Reagibilität*. In: KERN, W. ; SCHRÖDER, H.-H. ; WEBER, J. : *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. Schäffer-Poeschel Verlag, 1996, S. 489–502

SCHNEIDER 2004

SCHNEIDER, M. : *Logistische Fertigungsbereichskennlinien*. Als Ms. gedr. Düsseldorf : VDI-Verl., 2004

SCHOTT 1988

SCHOTT, G. : *Kennzahlen: Instrument d. Unternehmensführung*. 5. Wiesbaden : Forkel, 1988

SCHUH ET AL. 2004

SCHUH, G. ; GULDEN, A. ; WEMHÖNER, N. ; KAMPKER, A. : *Bewertung der Flexibilität von Produktionssystemen: Kennzahlen zur Bewertung der Stückzahl-, Varianten- und Produktänderungsflexibilität auf Linienebene*. In: *Werkstattstechnik online* 94 (2004), S. 299–304

SCHUH UND KAMPKER 2011

SCHUH, G. ; KAMPKER, A. : *Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1*. In: *Strategie und Management produzierender Unternehmen* (2011)

SCHUNTER UND ZIRKLER 2007

SCHUNTER, J. G. ; ZIRKLER, B. : *Vom Standard Costing zum Value Stream Costing*. VDM Verlag Dr. Müller, 2007

SEETHAMRAJU 2012

SEETHAMRAJU, R. : *Business process management: a missing link in business education*. In: *Business Process Management Journal* 18 (2012), Nr. 3, S. 532–547

SEILER 1998

SEILER, A. : *Ziele und Vorteile der Prozesskostenrechnung*. In: *IO Management* (1998), Nr. 12, S. 36–39

SERRANO LASA ET AL. 2008

SERRANO LASA, I. ; OCHOA LABURU, C. ; CASTRO VILA, R. d.: *An evaluation of the value stream mapping tool*. In: *Business Process Management Journal* 14 (2008), Nr. 1, S. 39–52

SESTERHENN 2003

SESTERHENN, M. : *Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme: Techn. Hochsch., Diss.–Aachen, 2002*. Shaker Verlag, 2003 (Berichte aus der Produktionstechnik)

SIHN ET AL. 2011

SIHN, W. ; FLORIAN, M. ; GOMMEL, H. : *Identification of constitutive characteristics for configuring adaptable logistics chains*. In: BRUZZONE, A. G.: *Conference proceedings*. Genova : DIPTM, University of Genoa, 2011, S. 38–45

SIHN UND MATYAS 2011

SIHN, W. ; MATYAS, K. : *Lean Maintenance*. In: BIEDERMANN, H. : *Lean Maintenance*. Köln : TÜV Media, 2011, S. S. 59–77

SIHN UND AUPPERLE 1995

SIHN, W. ; AUPPERLE, G. : *Unternehmensmanagement im Wandel: Erfolg durch Kunden-, Mitarbeiter- und Prozessorientierung*. München and Wien : Hanser, 1995

SINHA UND WEI 1992

SINHA, D. ; WEI, J. C.: *Stochastic analysis of flexible process choices*. In: *European Journal of Operational Research* 60 (1992), S. 183–199

SON UND PARK 1987

SON, Y. K. ; PARK, C. S.: *Economic Measure of productivity, quality and flexibility in advanced manufacturing systems*. In: *journal of manufacturing systems* 6 (1987), Nr. 3, S. 193–206

STADLER 2010

STADLER, M. : *Wertstromdesign: Ein Leitfaden für die praktische Anwendung*. 1. Hamburg : Diplomica Verl., 2010

STIBBE 2009

STIBBE, R. : *Kostenmanagement: Methoden und Instrumente*. 3. München : Oldenbourg, 2009

SYSKA 2006

SYSKA, A. : *Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute*. 1. Wiesbaden : Gabler, 2006

TANGEN 2004

TANGEN, S. : *Performance measurement: from philosophy to practice*. In: *International Journal of Productivity and Performance Management* 53 (2004), Nr. 8, S. 726–737

TAPPING ET AL. 2002

TAPPING, D. ; LUYSTER T. ; SHUKER T.: *Eight Steps to Planning, Mapping and Sustaining Lean Improvements*. In: *Productivity Press New York* (2002)

TEMPELMEIER UND KUHN 1993

TEMPELMEIER, H. ; KUHN, H. : *Flexible Fertigungssysteme: Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb*. Berlin [u.a.] : Springer, 1993

TIKART 1994

TIKART, J. : *Wohin steuert die Unternehmenspolitik? Innovative Unternehmensstrukturen und die Zukunft der Arbeit*. In: *Gewerkschaftliche Monatshefte* (1994), Nr. 11, S. 685–698

TILLMANN 2009

TILLMANN, M. : *Innovative Prozesskettenoptimierung (IPO)*. Apprimus-Verlag, 2009

TÜCKS UND EILERS 2011

TÜCKS, G. ; EILERS, J. : *Komplexitätsbeherrschung durch wandlungsfähige Produktion*. In: *Complexity Management Journal* (2011), Nr. 01, S. 4–8

VAMOSI 2003

VAMOSI, T. : *The role of management accounting in a company in transition from command to market economy*. In: *Journal of Small Business and Enterprise Development* 10 (2003), Nr. 2, S. 194–209

WEBER 2002

WEBER, J. : *Einführung in das Controlling*. 9. Stuttgart : Schäffer-Poeschel Verlag, 2002

WEBER UND KABST 2009

WEBER, W. ; KABST, R. : *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre*. 7. Wiesbaden : Gabler, 2009

WEBER UND KABST 2011

WEBER, W. ; KABST, R. : *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre*. 8. Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler, 2011

WENZEL 2001

WENZEL, R. : *Industriebetriebslehre: Das Management des Produktionsbetriebs*. München : Fachbuchverlag Leipzig im Hanser-Verlag, 2001

WESTKÄMPER 2006

WESTKÄMPER, E. : *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin and Heidelberg : Springer-Verlag, 2006

WIENDAHL 2005

WIENDAHL, H.-P. : *Betriebsorganisation für Ingenieure: Mit 2 Tabellen*. 5. München and Wien : Hanser, 2005

WIENDAHL 2009

WIENDAHL, H.-P. : *Veränderungsfähigkeit von Produktionsunternehmen: Ein morphologischer Ansatz*. In: *ZWF* 104 (2009), Nr. 1-2, S. 32–36

WILDEMANN 1990

WILDEMANN, H. : *Management of New Technologies in Production and Logistics*. In: *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing* 7 (1990), Nr. 1/2, S. 63–71

WILDEMANN 2004

WILDEMANN, H. : *Bewertung logistischer Leistungen und Kosten in der Supply Chain: Forschungsbericht: ; BiLog: [Bilanzfähige Logistik] ; [Projektlaufzeit: 01.09.2000 - 30.09.2003]*. TCW Transfer-Centrum, 2004

WÖHE UND DÖRING 2008

WÖHE, G. ; DÖRING, U. : *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 23. München : Vahlen, 2008

WÖLTJE 2009

WÖLTJE, J. : *Betriebswirtschaftliche Formelsammlung*. 4. München : Rudolf Haufe Verlag, 2009

XIE UND PENG 2012

XIE, Y. ; PENG, Q. : *Integration of value stream mapping and agent-based modeling for OR improvement*. In: *Business Process Management Journal* 18 (2012), Nr. 4, S. 585–599

YI 2011

YI, C. : *Supply chain flexibility in an uncertain environment: exploratory findings from five case studies*. In: *Supply Chain Management: An International Journal* 16 (2011), Nr. 4, S. 271–283

ZÄH UND MÜLLER 2007

ZÄH, M. ; MÜLLER, N. : *A modeling approach for evaluating capacity flexibilities in uncertain markets*. In: *International Journal of Manufacturing Systems* (2007), Nr. 19, S. 151–172

ZAHN UND SCHMID 1996

ZAHN, E. ; SCHMID, U. : *Produktionswirtschaft I: Grundlagen und operatives Produktionsmanagement*. Stuttgart : Lucius und Lucius, 1996

ZÄPFEL 2001

ZÄPFEL, G. : *Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement*. 2. München and Wien : Oldenbourg, 2001

ZINGEL 2004

ZINGEL, H. : *Lehrbuch der Kosten- und Leistungsrechnung: KLR in Theorie und Praxis*. Heppenheim and Birmingham : Goyang Media, 2004

ZOYSA UND KANTHI HERATH 2007

ZOYSA, A. d. ; KANTHI HERATH, S. : *Standard costing in Japanese firms*. In: *Industrial Management & Data Systems* 107 (2007), Nr. 2, S. 271–283

Um Wertströme hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen bewerten zu können, müssen die rechnerischen Zusammenhänge aller Prozesse und Puffer im Produktionsablauf ermittelt werden. Dafür müssen die Wertstrombetrachtungen um diejenigen monetären Abhängigkeiten erweitert werden, die bei einer Veränderung der Eingangsgrößen die Veränderung der zugehörigen Gesamtkosten widerspiegeln. So wird die Betrachtung von Kosteneffekten zukünftiger Entwicklungen ermöglicht, um Fehleinschätzungen vermeiden zu können.

ISBN 978-3-8396-0642-1

