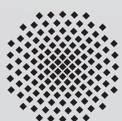
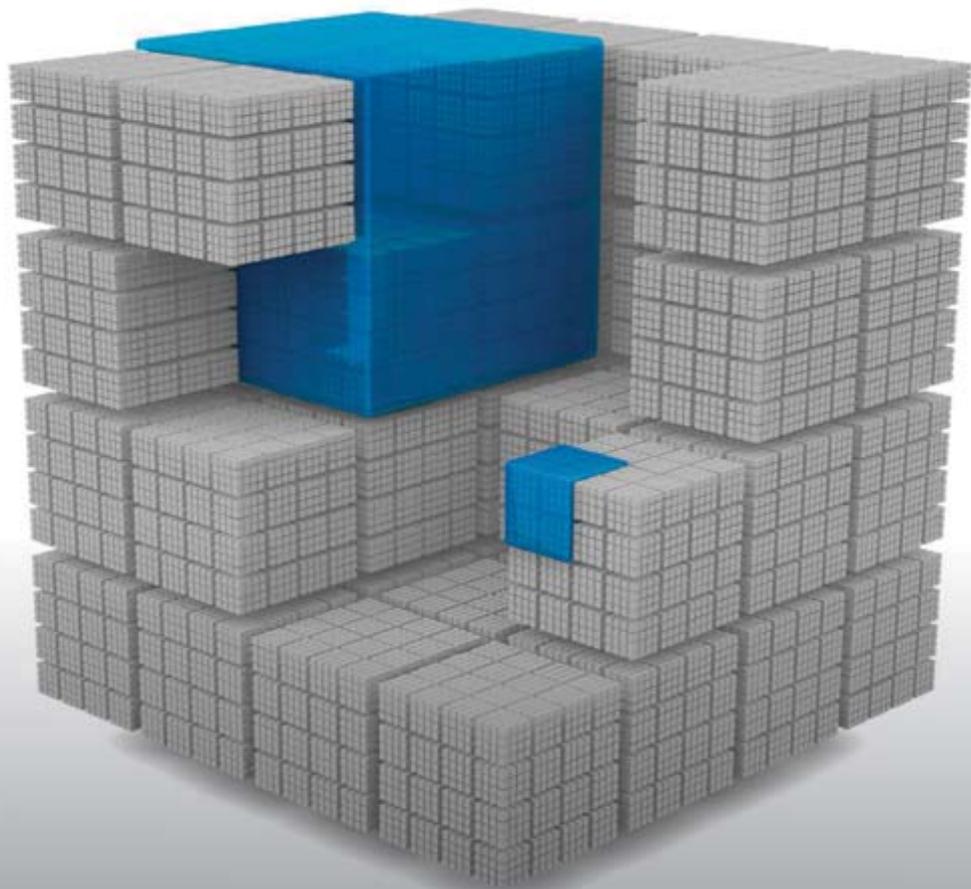


STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

PHILIPP KROSS

Mehrskalige Belastungsregelung in der variantenreichen Serienfertigung von KMU



Universität Stuttgart



Fraunhofer

IPA

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG BAND 20

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Philipp Kroß

**Mehrskalige Belastungsregelung in der
variantenreichen Serienfertigung von KMU**

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

Bildquelle: ©Peter Adrian / fotolia.com

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.

ISSN: 2195-2892

ISBN: 978-3-8396-05697-4

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., 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
Telefax 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.

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper

Mehrskalige Belastungsregelung in der variantenreichen Serienfertigung von KMU

Von der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Philipp Kroß
aus Bochum

Hauptberichter: Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult.
Engelbert Westkämper

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c.
Dieter Spath

Tag der mündlichen Prüfung: 18. April 2013

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart
2013

Vorwort des Verfassers

Wenn jemand nicht öfter Fehler macht, dann hat jemand sich selbst nicht genug herausgefordert.

(Prof. Dr.-Ing. h. c. Ferdinand Porsche)

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart sowie dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Engelbert Westkämper für die Förderung dieser Arbeit und meiner vielfältigen Aufgaben am Institut. Dankbar bin ich insbesondere für die außergewöhnlich wertvollen Erfahrungen, die ich als sein persönlicher Assistent sammeln durfte. Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Den Kolleginnen und Kollegen an den Instituten sowie den Projektpartnern danke ich für die vielfältige und ereignisreiche Zusammenarbeit im Verlauf der Jahre. Alle haben auf eine individuelle Weise zu meiner persönlichen Weiterentwicklung und letztendlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ich danke auch den zahlreichen Studierenden, die ich im Rahmen von Arbeiten, Projekten und Vorlesungen betreuen durfte. Durch Lehren lernt man schließlich auch selbst.

All meinen Freunden danke ich für die Rücksicht in den letzten Monaten der Fertigstellung der Arbeit. Meiner Freundin Kerstin danke ich für ihre einfühlsame Anteilnahme und Zuversicht sowie den Verzicht auf gemeinsame Zeit.

Mein größter Dank gilt schließlich meinen Eltern und Brüdern. Sie haben durch das kritische Hinterfragen wichtiger Entscheidungen, die vorbehaltlose Unterstützung und den stetigen Rückhalt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Der gesamten Familie Kroß und insbesondere meinen Eltern widme ich daher diese Arbeit.

Stuttgart, April 2013

Philipp Kroß

Kurzzinhalt

Das Umfeld produzierender Unternehmen wird als turbulent bezeichnet. Demgegenüber steht eine begrenzte Anpassungsfähigkeit der Produktionsstrukturen. Deren Auslastung ist stets in einem Arbeitsbereich zu halten, der durch die Fixkosten und die Maximalkapazität nach unten und oben beschränkt ist. Neben der permanenten Anpassung ist es daher erforderlich in einem kontinuierlichen Prozess auch die kapazitive Belastung der Produktionsstrukturen gezielt zu beeinflussen und vermeidbare Verluste aktiv zu reduzieren. Für KMU mit einer variantenreichen Serienproduktion gilt hierbei die Produktplanung als ein zentraler Ansatzpunkt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein umfassender Ansatz zur mehrskaligen Belastungsregelung vorgestellt, der bestehende Regelkreise der Strukturveränderung ergänzt. Im Mittelpunkt steht hierbei ein Informationssystem aus dem Bereich Business Intelligence, welches ausgehend von operativen Daten aus der Produktion kontinuierlich die Grundlagen für kurz- bis langfristige Entscheidungen in der Produktplanung zur Verfügung stellt. So werden ausgehend von den Prozesszeiten in der Produktion die Zeitspreizungen einzelner Prozesse aufgrund von Produktmerkmalen, die Zeitbedarfsfunktionen als funktioneller Zusammenhang von Produktmerkmal und Prozesszeit sowie die produktspezifischen Belastungsquerschnitte ermittelt. Um die einzelnen Skalen der Planung und die damit verbundenen Zeithorizonte von Entscheidungen abzubilden, lassen sich hierbei die verschiedenen Ebenen in den Produkt- und Produktionsstrukturen variabel miteinander verknüpfen. Mit der Kapazitätsrendite wird zusätzlich eine erweiterte Kennzahl zur Bewertung der Belastungsregelung vorgestellt.

Das Informationssystem wird als Leistungsmesseinrichtung bezeichnet. Diese basiert auf einem mehrdimensionalen Datenmodell und den entsprechenden Datenoperationen zur Bestimmung und Visualisierung der Entscheidungsgrundlagen. Eine prototypische Implementierung wurde erfolgreich bei einem kleinen Unternehmen eingesetzt und integriert. Anhand von Fallbeispielen erfolgte anschließend die Validierung des vorgestellten Ansatzes einer mehrskaligen Belastungsregelung.

Short summary

The business environment is called turbulent. On the other hand, the adaptability of production structures is limited. The value-adding workload has to be kept above a minimum that is determined by fixed costs. Therefore, beside a permanent adaptation, a continuous process that aims at actively influence the workload and reduce avoidable losses is necessary. In doing so, product planning is the main starting point for SME with a multi-variant series production.

This paper presents a broad approach for a multi-scale workload control system that extends the existing feedback control systems of product and production planning. It focuses on an information system in the field of business intelligence that continuously presents essentials for short-term and long-term decisions in product planning. Based on operative data, especially the duration of processes, it calculates the spreading of process time, the amount of process time depending on product properties as well as the section of workload for each element of the product structure. In order to address various scales of planning and therefore various time horizons of decisions, all relevant levels of product and production structure can be linked in a flexible way. A new reference input is presented and termed capacity yield as it allows to continuously evaluate the multi-scale workload control system.

A multi-dimensional data model and the corresponding calculations as well as a visualization have been applied to a software prototype called performance measuring system for multi-scale workload control (LMEB). It has been successfully integrated into a small enterprise. The validation was based on two case studies of two different products. It proves the applicability of the approach for a multi-scale workload control system as well as the usability of the LMEB.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XII
Quellcodeverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	2
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	4
1.3 Aufbau der Arbeit	7
2 Produktspezifische Kapazitätsbelastung in der Produktion	10
2.1 Charakterisierung des Untersuchungsbereichs	10
2.1.1 Kleine und mittlere Unternehmen	10
2.1.2 Variantenreiche Serienproduktion	13
2.2 Allgemeine Planung der Kapazitätsbelastung	14
2.2.1 Bilanzierung der Kapazität	15
2.2.2 Absatzplanung	20
2.2.3 Produktionsprogrammplanung	21
2.3 Planungsrelevante Strukturen	23
2.3.1 Systemtheoretische Modellierung	23
2.3.2 Produktionsstruktur	24
2.3.3 Produktstruktur	26
2.4 Mehrskaligkeit bei der Strukturveränderung	29
2.4.1 Planung und Entscheidung als Regelkreis	29
2.4.2 Regelkreise der Strukturveränderung	31
2.4.3 Mehrskalige Synchronisierung der Strukturen	34

2.5	Ansätze zur Beeinflussung des produktspezifischen Kapazitätsbedarfs . . .	37
2.5.1	Methodische Ansätze	37
2.5.2	Erlösorientierte Absatzgestaltung	40
2.5.3	Informationstechnische Ansätze	45
2.6	Zusammenfassung	47
3	Konzipierung der mehrskaligen Belastungsregelung	49
3.1	Fachkonzept – Mehrskalige Belastungsregelung	49
3.1.1	Erweiterung bestehender Regelkreise der Strukturveränderung um Führungs- und Hilfsregelgrößen	49
3.1.2	Führungsgröße – Kapazitätsrendite	51
3.1.3	Hilfsregelgröße – Zeitspreizung durch Produktmerkmale	53
3.1.4	Hilfsregelgröße – Zeitbedarfsfunktion	56
3.1.5	Hilfsregelgröße – Produktspezifischer Belastungsquerschnitt	58
3.2	Messeinrichtung für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen	60
3.2.1	Business Intelligence als Rahmenkonzept	60
3.2.2	Komponenten und Architektur einer Messeinrichtung	61
3.2.3	Datenbeschaffung aus operativen Systemen	64
3.2.4	Elementare Konzepte für die Datenverarbeitung	68
3.3	Zusammenfassung	73
4	Modellierung der Datenverarbeitung	75
4.1	Modellierung mehrdimensionaler Datenstrukturen	75
4.1.1	Fakten und Dimensionen	76
4.1.2	Operationen innerhalb der Datenstrukturen	77
4.1.3	Objektorientierte Modellierungssprache	79
4.2	Modell für das Data Warehouse	81
4.2.1	Konzeptanalyse	81
4.2.2	Fakten	84
4.2.3	Dimensionen	85
4.3	Konzeption der Datenoperationen	90
4.3.1	Prozesse als Bindeglied der Strukturen	90
4.3.2	Strukturen als Kontext der Datenoperationen	93
4.3.3	Operationen für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen	94
4.4	Zusammenfassung	98

5	Prototypische Implementierung einer Leistungsmesseinrichtung	99
5.1	Komponenten und Architektur	99
5.2	Aufbau des Data Warehouse	101
5.2.1	Logisches Datenmodell	101
5.2.2	Physische Datenspeicherung	103
5.3	Interne Datenverarbeitung	105
5.4	Benutzeroberfläche und Visualisierung	109
5.5	Zusammenfassung	111
6	Validierung des Fachkonzepts und der Messeinrichtung	113
6.1	Rahmenbedingungen für die Validierung	113
6.1.1	Vorgehen und Zielsetzung	113
6.1.2	Vorstellung des Validierungspartners	114
6.1.3	Beschreibung der Produkte und der Unternehmensstruktur	116
6.2	Anpassung der Leistungsmesseinrichtung	118
6.2.1	Gesamtarchitektur	118
6.2.2	Physisches Datenmodell	120
6.2.3	Datenbeschaffung und -verarbeitung	122
6.3	Validierung anhand von Fallbeispielen	124
6.3.1	Validierungsbereich – Produktgruppe Kontaktscheiben	124
6.3.2	Fallbeispiele für die Validierung	127
6.3.3	Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen	129
6.3.4	Wirkung der Belastungsregelung in den Fallbeispielen	132
6.4	Fazit und Zusammenfassung	133
7	Zusammenfassung und Ausblick	135
7.1	Zusammenfassung	135
7.2	Ausblick	137
8	Summary	139
Literaturverzeichnis		141
A	Anhang	155

Abbildungsverzeichnis

1.1	Absolute und relative Kapazitätsauslastung in der verarbeitenden Industrie in Deutschland	2
1.2	Grenzen der Anpassungsfähigkeit	4
1.3	Auslastungsverluste bei gleichbleibender Anpassungsfähigkeit	6
1.4	Aufbau der Arbeit	8
2.1	Zusammensetzung der Konten beim Kapazitätsabgleich	17
2.2	Kapazitätsbilanzierung und -abstimmung	18
2.3	Zentrale Begriffe im Zusammenhang mit der zeitabhängigen Kapazitätsbilanzierung	19
2.4	Teilschritte in der Entwicklung eines Absatzplans	20
2.5	Grundkonzept der systemtheoretischen Modellierung	24
2.6	Systemebenen in der Produktionsstruktur	25
2.7	Systemebenen in der Produktstruktur	27
2.8	Modellhafte Darstellung des Produktprogramms	28
2.9	Einfacher Regelkreis aus Maßnahmen und Kontrolle	30
2.10	Kontinuierlicher Entwicklungsprozess bei individualisierten Produkten	32
2.11	Strukturveränderungen als Regelkreis	33
2.12	Zusammenhänge in den Skalen der Planung	34
2.13	Grundmodell eines Technologiekalenders	35
2.14	Mehrskalige Regelkreise der Strukturveränderung	36
2.15	Struktur des Revenue Managements	43
3.1	Regelkreis für eine mehrskalige Belastungsregelung	50
3.2	Kapazitätsrentabilität als Führungsgröße	53
3.3	Veränderung der Produktionskennlinie aufgrund harmonisierter Auftragszeiten	54
3.4	Zusammenhang zwischen relativer und absoluter Zeitspreizung	55
3.5	Zeitbedarfsfunktion für Produkte	57

3.6	Überlagerung von Auftragseinzellasten zur Systemlast auf Grundlage von Belastungsquerschnitten	59
3.7	Einsatzfeld von Business-Intelligence-Anwendungssystemen	61
3.8	Typische Architektur von Planungs- und Kontrollsystemen	62
3.9	Komponenten einer Messeinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung	63
3.10	ETL-Prozess zur Befüllung analyseorientierter Datenspeicher	64
3.11	Prozesszeit und deren Abhängigkeiten als Funktion der Zeit	66
3.12	Gruppierung der Produkte anhand von Produktmerkmalen	69
3.13	Klassifizierung der Zusammenhänge zwischen Prozesszeit und Produktmerkmalen	69
3.14	Verrechnung der relativen Deckungsbeiträge über die Ebenen der Produktionsstruktur	71
4.1	Würfelform als Metapher eines dreidimensionalen Datenmodells und Zuordnung der Begrifflichkeiten	76
4.2	Prinzip von Roll-up- und Drill-down-Operationen in einem Datenwürfel . . .	78
4.3	Beispiel für Slice-Operationen an einem Datenwürfel	79
4.4	Übersicht der Fakten und Dimensionen	82
4.5	Teilmodelle der Fakten	84
4.6	Teilmodell für die Dimension Produktion	86
4.7	Teilmodell für die Dimension Produkt	87
4.8	Teilmodell für die Dimension Zeit	89
4.9	Teilmodell für die Dimension Bilanzierungsbereich	90
4.10	Teilmodell für die Prozessstruktur mit Brücke	92
4.11	Dimensionen und Elemente als Kontext für Datenoperationen	94
5.1	Komponenten in der Leistungsmesseinrichtung	100
5.2	Aufbau des Galaxy-Schemas für die Datenspeicherung in der LMEB	103
5.3	Physische Datenspeicherung in der LMEB	104
5.4	Einstiegsseite für Anwender der Leistungsmesseinrichtung	110
5.5	Auswahl der Skalen und Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen .	111
6.1	Einordnung des Produktionsbereichs in die gesamte Unternehmensstruktur .	118
6.2	Integration der Leistungsmesseinrichtung in die bestehende Informationsarchitektur	119
6.3	Produktionsstruktur für die Validierung	122

6.4	Schematischer Aufbau einer Kontaktscheibe	125
6.5	Produktstruktur der Kontaktscheiben für die Validierung	126
6.6	Breite und Durchmesser als Produktmerkmale für die Validierung	127
6.7	Zeitspreizung in der Abteilung <i>Aufzicherei</i> für Kontaktscheiben	129
6.8	Zeitbedarfsfunktion für den Prozess <i>Belag fertigdrehen</i>	130
6.9	Belastungsquerschnitt in der Produktion für <i>Retrofit-Kontaktscheiben</i>	131
6.10	Beispiel für die kontinuierliche Visualisierung der Kapazitätsrendite	131
A.1	Datenmodell in der LMEB, Tabellen für die Dimensionen	155
A.2	Datenmodell in der LMEB, Tabellen für die Fakten	156
A.3	Datenmodell in der LMEB, Tabellen mit Hilfslisten	156

Tabellenverzeichnis

2.1	Definition der Unternehmensgrößen	11
2.2	Bedeutung von Ressourcen für die Kapazitätsbildung	16
6.1	Einordnung der Produktgruppen in das Absatz- und Entwicklungsprogramm	116
6.2	Aufbau der Datentabelle mit den Betriebsdaten	120

Quellcodeverzeichnis

5.1	DAX-Formel für die Bestimmung der Auslastung	107
5.2	DAX-Formel für die Bestimmung der Zeitspreizung	108
5.3	DAX-Formel für das Measure der Zeitspreizung	109

Abkürzungsverzeichnis

BDE	Betriebsdatenerfassung
BI	Business Intelligence
DAX	Data Analysis Expressions
DWH	Data Warehouse
ERP	Enterprise Ressource Planning
ETL	Extrahieren, Transformieren, Laden
HOLAP	Hybrid Online Analytical Processing
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LMEB	Leistungsmesseinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung
MML	Multidimensional Modeling Language
<i>m</i> UML	Multidimensional Unified Modeling Language
MOLAP	Multidimensional Online Analytical Processing
OLAP	Online Analytical Processing
OLTP	Online Transaction Processing
ROLAP	Relational Online Analytical Processing
SQL	Structured Query Language
TDABC	Time Driven Activity Based Costing
TKS	Tabellenkalkulationssystem
UML	Unified Modeling Language

1 Einleitung

What's measured improves.

(Peter F. Drucker)

Die Überlebensfähigkeit eines produzierenden Unternehmens hängt entscheidend von der Harmonisierung der eigenen und der marktseitig geforderten kapazitiven Produktionsleistung ab. Im Rahmen einer ständigen Anpassung erfolgt ein Abgleich zwischen den Vorstellungen des Vertriebs und dem Kapazitätsangebot der Produktion. In der Regel treten die Produktion mit ihren begrenzten Kapazitäten und die Kostenrechnung mit ihrem Wirtschaftlichkeitsdenken den Vorstellungen des Vertriebs entgegen [Geitner 1987]. Bereits 1949 schreibt Schmalenbach hierzu:

„Die optimale Kapazität eines Produktionszweiges liegt etwa in der Mitte der in guter und schlechter Konjunktur nötigen Kapazität. Ist die Kapazität größer [als notwendig], bedeutet das Kapitalverschwendung und unwirtschaftliche Kostensteigerung. (...) Wohl alle Wirtschaftsberater, die für solche Dinge ein offenes Auge haben, geben zu, daß bei den weitaus meisten Gewerbezweigen die vorhandene Kapazität in normalen Zeiten überbesetzt war. (...) Die Neigung zur Überkapazität ist nicht eine gewöhnliche leichte Indisposition, sondern eine ziemlich schwere Krankheit (...) [Sie] vermehrt die fixen Kosten (...)“ [Schmalenbach 1949, S. 75f.]

Auch knapp 40 Jahre später stellt Geitner fest, dass die Abstimmung von Kapazitätsangebot und -bedarf aufgrund unstetiger Marktverhältnisse nur unbefriedigend ist. Mangels Abstimmung entstehen Bugwellen und Bugsog im Kapazitätsbedarf [Geitner 1987]. Nicht zuletzt ein Blick auf die Kapazitätsauslastung des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland und deren relative Änderung, dargestellt in Abbildung 1.1, zeigt, dass diese Herausforderung noch immer aktuell ist. Die relative Veränderung wird in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter zunehmen.

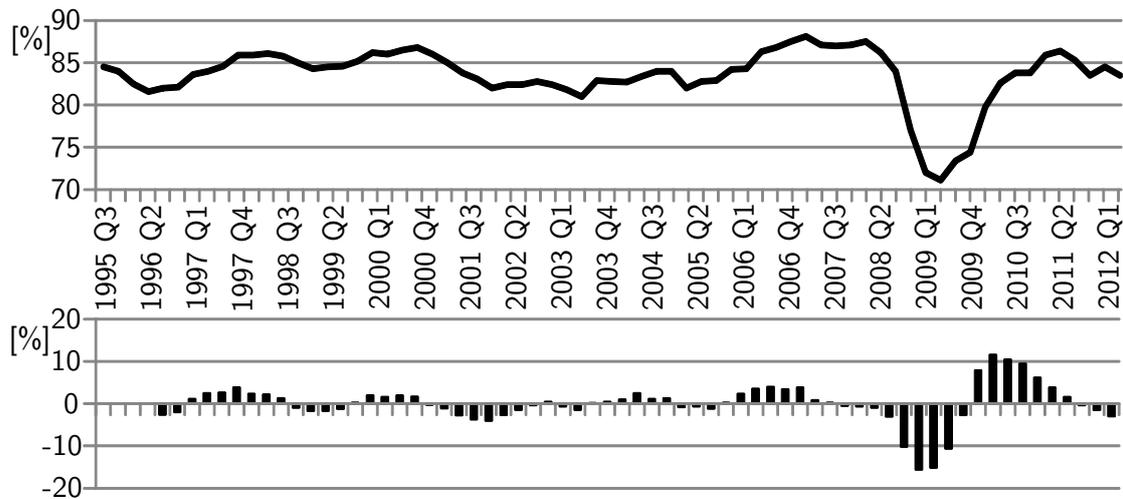


Abbildung 1.1: Absolute und relative Kapazitätsauslastung in der verarbeitenden Industrie in Deutschland (Quellen: Eurostat, taprofessional, eigene Berechnungen)

Dabei besteht aus Sicht der Verantwortlichen ein asymmetrisches Risiko, besonders für die Bereiche der Produktion. Sie können mehr verlieren, wenn „ihr Unternehmen als einziges ohne ausreichende Kapazitäten in einem ergiebigen Markt dasteht, als wenn sie – gemeinsam mit sämtlichen Konkurrenten – die Nachfrage überschätzen und Überkapazitäten aufbauen“ [Porter 1999, S. 419]. Sowohl eine strategische Unternehmensplanung als auch deren Umsetzung im operativen Betrieb wird daher zur entscheidenden Notwendigkeit zur vorteilhaften Positionierung des Unternehmens im internationalen Wettbewerb [Gausemeier u. a. 2009].

Für produzierende Unternehmen steht dabei die zeitliche Synchronisierung von Produkt- und Produktionsentwicklung im Mittelpunkt, insbesondere wenn die Strukturen der Produktion nachhaltig verändert werden. Zur Umsetzung einer erfolgreichen Unternehmensstrategie gilt es daher, die Bereichsstrategien der Produktentwicklung und des Vertriebs geeignet mit der Produktionsstrategie zu verknüpfen [Westkämper 1986; Westkämper u. a. 2010].

1.1 Ausgangssituation

Auch wenn Veränderungen und eine unsichere Zukunft seit jeher zum Alltag produzierender Unternehmen gehören, so hat sich doch die Dynamik hinsichtlich Geschwindigkeit

und Umfang der Veränderungen massiv erhöht [Gausemeier u. a. 2009]. Diese spiegeln sich letztendlich in der Leistungsnachfrage seitens des Absatzmarktes wider. Die Anforderungen der Märkte führen zu höherer Varietät und kundenindividueller Anpassung der Produkte bei gleichzeitig kürzeren Lebenszyklen und kurzfristigerer Markteinführung. Die technische Weiterentwicklung der Produkte impliziert eine höhere Funktionalität und Komplexität [Jovane u. a. 2009]. Diese erzwungene Varietät des Leistungsspektrums wird überlagert durch die eingangs beschriebene volatile Nachfrage [Wiendahl u. a. 2009]. Die Globalisierung der Weltwirtschaft gilt als ein zentraler Beschleuniger dieser Veränderungen [Wiendahl 2010]. Warnecke hat für diese Rahmenbedingungen produzierender Unternehmen sehr früh den Begriff des *Turbulenten Umfelds* geprägt [Warnecke 1995a].

Diese zunächst externen Turbulenzen setzen sich unternehmensintern fort und erzeugen ihrerseits neue Turbulenzen. Mit der Komplexität der Produkte und der Volatilität der Nachfrage steigt auch die Komplexität der Produktion [Schuh u. Schwenk 2001]. Sinken dabei die Flexibilität der Produktstruktur und die Standardisierung der Produktionsprozesse, führt dies zu Abstimmungsverlusten in den Prozessketten und somit einer unwirtschaftlichen Auslastung der Produktionsstrukturen [Schuh u. a. 2011].

Die Fabrik der Zukunft muss daher auf der einen Seite extrem dynamisch und anpassungsfähig, auf der anderen Seite hoch spezialisiert sein [Westkämper 2007]. [Warnecke 1995a] entwickelte aufgrund der turbulenten Rahmenbedingungen das *Fraktale Unternehmen* als Unternehmensmodell. Heute gilt Wandlungsfähigkeit als Schlüsselqualifikation für produzierende Unternehmen, um in diesem dynamischen Umfeld überlebensfähig zu bleiben [Westkämper u. a. 2000; Wiendahl u. a. 2007]. Das *Stuttgarter Unternehmensmodell* nach [Westkämper u. Zahn 2009] beschreibt einen ganzheitlichen Ansatz für eine strukturelle Wandlungsfähigkeit in Unternehmen mit einer variantenreichen Serienfertigung.

Wandlungsfähigkeit bietet dabei eine erhöhte Anpassungsfähigkeit gegenüber den Turbulenzen, die über bereits vorhandene Flexibilitätskorridore hinausgeht und sich über einen zeitlich reduzierten Aufwand zur Veränderung der Produktionsstrukturen darstellt [Spath 2009]. Abhängig von der Ebene in den Produktionsstrukturen unterscheiden [Wiendahl u. a. 2009] die Anpassungsfähigkeit aufgrund des Umfangs einer Veränderung weiter in Umrüstbarkeit, Flexibilität, Rekonfigurierbarkeit, Wandlungsfähigkeit und Agilität. Der mögliche Umfang einer Veränderung ist damit abhängig von der strukturellen Ebene in der Produktion, von der Prozessebene bis zur Netzwerkebene.

Die Anpassungsfähigkeit der Produktionsstrukturen ist jedoch begrenzt [Westkämper u. Zahn 2009]. Die Gründe hierfür liegen neben finanziellen und räumlichen Restriktionen in dem zeitlichen Aufwand, der von strukturellen Veränderungen in Anspruch genommen wird. Zum einen kann die maximale Kapazität nicht beliebig jenseits bestehender Grenzen erweitert werden, z. B. durch zusätzliches Personal oder Schichtbetrieb. Zum anderen erfordern die bestehenden Fixkosten eine minimale Auslastung aller Produktionsstrukturen mit wertschöpfenden Prozessen und entsprechenden Deckungsbeiträgen [Friedli 2006].

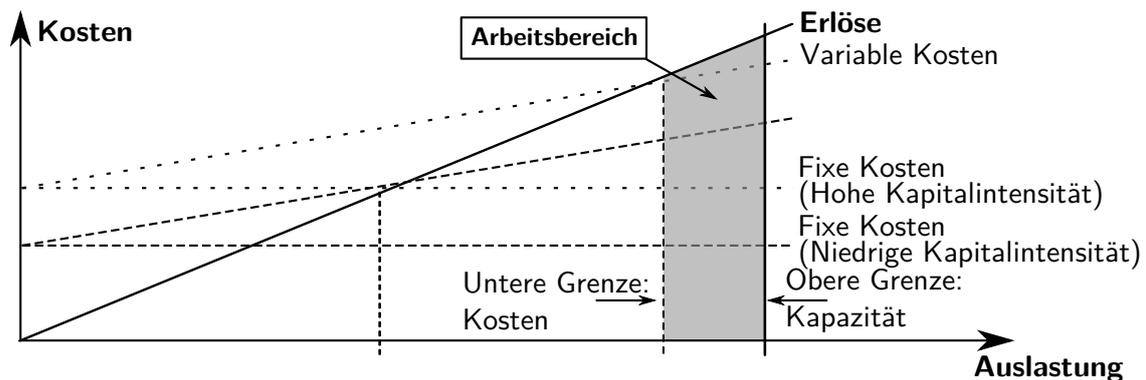


Abbildung 1.2: Grenzen der Anpassungsfähigkeit [Westkämper u. Zahn 2009]

Die wirtschaftliche Auslastung der Produktion ist somit auf einen Arbeitsbereich begrenzt, der mit steigender Kapitalintensität der Anlagen schrumpft (Abbildung 1.2). So liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze bei 80–90 % der Nennkapazität im Falle von hochautomatisierten Produktionsanlagen [Wiendahl u. a. 2009]. Einen großen Anteil an den Fixkosten nehmen in Deutschland z. B. die Personalkosten ein [Gienke u. Kämpf 2007]. Aufgrund langer Amortisationszeiten sind auch Entwicklungen in der weiteren Zukunft mit in die Kapazitätsrechnung einzubeziehen [Dangelmaier u. a. 2008]. Erschwerend kommt hinzu, dass die reine Maximierung der Auslastung einzelner kapitalintensiver Maschinen ökonomisch fragwürdig ist, wenn Bestände und Durchlaufzeiten sich gleichsam erhöhen [Lödding 2008]. Eine situativ perfekte Anpassung des Unternehmens an sein Umfeld kann zur Gefährdung der zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit führen [Friedli 2006].

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) verfügen über begrenzte personelle und finanzielle Ressourcen. Grundlegende Veränderungen der Produktionsstruktur sind daher stark

limitiert, was eine sorgfältigere strategische Planung erfordert [Corsten 2000; Schneider 2000a; Sydow u. Möllering 2009].

Investitionen stellen aufgrund der Kapitalintensität insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen irreversible Entscheidungen dar [Braßler u. Schneider 2000]. Durch ihre Größe haben KMU verringerte Möglichkeiten, die Risiken von Einzelprojekten zu streuen und so auf ein insgesamt geringeres Maß zu senken [Kathan u. a. 2010]. Unsicherheiten in der zu erwartenden Nachfrage und den zugehörigen Erlösen führen zu Verzögerungen bei der Investition [Fuss u. Vermeulen 2004]. Die Berücksichtigung von wandlungsbefähigenden Eigenschaften kann darüber hinaus nur bei Neuinvestitionen umfassend erfolgen [Friedli 2006].

Kurzfristig kann über die Änderung des Schichtbetriebs oder Überstunden die maximale Kapazität erhöht werden, um auf Turbulenzen zu reagieren. Auch führt eine Unterschreitung der unteren Grenzen in der Regel nicht unmittelbar zu finanziellen Schwierigkeiten, äußert sich jedoch langfristig in einer reduzierten Liquidität und Investitionsbereitschaft. Besteht daher nicht die Möglichkeit, die kapazitiven Grenzen grundlegend zu verändern und die Produktionsstrukturen kontinuierlich an den steigenden Veränderungsbedarf anzupassen, kann die Anpassungsfähigkeit als weitestgehend konstant angesehen werden.

Die Auslöser von Turbulenzen sind gleichsam Treiber von Veränderungen. Für eine variantenreiche Serienproduktion lassen sich diese Treiber in externe, bestehend aus Märkten, Kunden und Umfeld, sowie interne, bestehend aus Produktion und Produkt, unterscheiden [Löffler 2011]. Durch diese Treiber steigt bei nahezu gleichbleibendem Grad der Anpassungsfähigkeit die Ineffizienz in der Produktion. Erhöhte Auslastungsverluste infolge mangelnder Anpassungsfähigkeit stehen somit einem weitestgehend konstanten Arbeitsbereich gegenüber. Abbildung 1.3 stellt diesen Sachverhalt grafisch dar.

Unterstellt man weiter, dass die externen Treiber weitestgehend nicht beeinflusst werden können, verbleiben die Produkte als Ansatzpunkt, um ein Ansteigen der Ineffizienz in der Produktion aktiv zu reduzieren. Dies erfolgt in den zugehörigen Planungen zu Produkttechnologien, Absatzmengen und Produktionsprogramm. Die Kommunikation zwischen Vertrieb und Produktion ist jedoch lückenhaft und durch Hemmschwellen behindert [Schuh 2005]. Dazu kommt häufig noch Abteilungsdenken, das der notwendigen integrierten Produkt- und Produktionsgestaltung im Wege steht. Eine frühzeitige Rückkopplung der Anforderungen bietet erhebliche Potenziale für eine effektive und effiziente Produktentwicklung und spätere Herstellung der Produkte [Eversheim u. Schuh 2005].

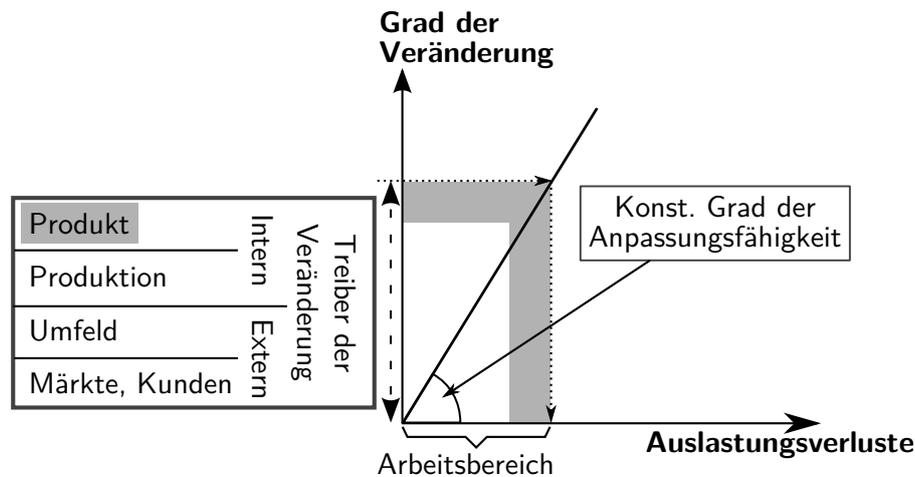


Abbildung 1.3: Auslastungsverluste bei gleichbleibender Anpassungsfähigkeit

Produktplanungen in KMU sind typischerweise besser ausgeprägt als Produktionsplanungen. Entscheidungen zu kurz- bis langfristigen Veränderungen in den Produktstrukturen basieren aber häufig auf dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter. Aufgrund der hohen Kundennähe kann dennoch davon ausgegangen werden, dass die individuellen Kundenanforderungen weitestgehend erfüllt werden. Problematisch wird dies jedoch, wenn dabei die kapazitive Belastung der Produktion nicht hinreichend berücksichtigt wird.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der einzelnen Produkte und des gesamten Produktprogramms, über die im Wesentlichen die kapazitive Belastung der Produktionsstrukturen bestimmt wird, muss sich daher stets an den kapazitiven Grenzen der Produktion orientieren. Zum einen sollen Auslastungsverluste weiter reduziert werden, um den verfügbaren Arbeitsbereich für nicht beeinflussbare Veränderungen zu erhalten. Zum anderen soll die Verteilung der Kapazitätsbelastung innerhalb der Produktion dahingehend angepasst werden, dass die Auslastung für alle Ressourcen stets innerhalb des Arbeitsbereichs liegt.

Diese Veränderungen erfolgen sowohl über kurzfristige Entscheidungen, z. B. bei Hinzunahme einer weiteren Variante, aber auch über langfristige Entscheidungen, z. B. bei neuen Technologien oder Modularisierungen. Die Fristigkeit der Entscheidungen hängt jeweils direkt mit der Ebene innerhalb der Produktstruktur zusammen. Zugleich steht sie über die kapazitive Belastung stets einer entsprechenden Ebene in den Produktionsstrukturen gegenüber. Aus der Fristigkeit sowie den Produkt- und Produktionsstrukturen ergeben sich drei Skalen, innerhalb derer sich die Planungen einordnen lassen und die Entscheidungen synchronisiert werden müssen.

Notwendig ist hierfür eine kontinuierliche Messung und eingehende Analyse der kapazitiven Wirkung der Produkte in der Produktion, die Anhaltspunkte für Veränderungen und deren Auswirkungen gibt. Um Inkonsistenzen zu vermeiden, sind die unterschiedlichen Horizonte der Teilplanungen sowie deren abweichende Aktualisierungszeitpunkte zu berücksichtigen [Oehler u. Seufert 2011]. Weitere Voraussetzung im turbulenten Umfeld ist die Integration kurzfristiger und langfristiger Entscheidungen und die Selbstorganisation der Entscheidungsträger [Heesen 2012]. Die betriebswirtschaftlichen Analyse- und Informationssysteme sind bislang jedoch üblicherweise noch getrennt von technisch-produktorientierten Bereichen wie Arbeitsvorbereitung, Produktion oder Logistik [Kemper u. a. 2010]. Hieraus ergibt sich der Bedarf an einer skalenübergreifenden Verkettung von kontinuierlich durchzuführenden Planungen und deren zugehörigen Informationssystemen [Westkämper 2007; 2012].

Bislang existiert jedoch keine geeignete methodische oder informationstechnische Unterstützung, die es KMU erlaubt, die Produktplanung hinsichtlich der kapazitiven Belastung der Produktion zu regeln, um die Auslastung der Produktionsstrukturen bei gleichbleibender Anpassungsfähigkeit innerhalb der kapazitiven Grenzen zu halten.

Zielsetzung der Arbeit ist daher die Entwicklung eines umfassenden methodischen Ansatzes mit informationstechnischer Unterstützung, mit dem Entscheidungen über Veränderungen in der Produktstruktur um Aspekte der kapazitiven Belastung und Grenzen der Produktion ergänzt werden können. Die bestehenden Planungen zur Strukturveränderung sollen als Regelkreise beschrieben werden, die zu einer kontinuierlichen und skalenübergreifenden Regelung der kapazitiven Belastung der Produktion erweitert werden. Dafür sind die erfahrungsbasierten Entscheidungen der Mitarbeiter mit kurz- bis langfristiger Wirkung auf allen Ebenen der Strukturen in geeigneter Weise durch Messergebnisse und Auswertungen zu unterstützen. Im Zentrum stehen die Anforderungen von KMU mit einer variantenreichen Serienfertigung.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in insgesamt sieben Kapitel. Der Aufbau ist in Abbildung 1.4 dargestellt.

Kapitel 1: Einleitung	Ausgangssituation und Problemstellung Aufgabenstellung und Zielsetzung
Kapitel 2: Handlungsbereich	Eingrenzung und Grundlagen der Arbeit Stand der Forschung und Defizite
Kapitel 3: Konzeptionierung	Erweiterung bestehender Regelkreise der Strukturveränderung Identifizierung der notwendigen Führungs- und Hilfsregelgrößen
Kapitel 4: Modellierung	Mehrdimensionale Modellierung eines Data Warehouse Konzeption der Datenoperationen
Kapitel 5: Implementierung	Beispielhafte Umsetzung der Modellierung Prototypische Implementierung einer Leistungsmesseinrichtung
Kapitel 6: Validierung	Validierung des Fachkonzepts in einem Unternehmen Anwendung der Messeinrichtung und Bewertung
Kapitel 7: Zusammenfassung und Ausblick	

Abbildung 1.4: Aufbau der Arbeit

Ausgehend von der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, erfolgt im folgenden Kapitel 2 zunächst die Einordnung der Thematik in die allgemeine Unternehmensplanung von KMU mit einer variantenreichen Serienfertigung und die Beschreibung der bestehenden Regelkreise der Strukturveränderung. Diese dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung der mehrskaligen Belastungsregelung. Ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zeigt den Handlungsbedarf.

Der Hauptteil in Kapitel 3 befasst sich mit der Konzipierung einer Methodik zur mehrskaligen Belastungsregelung als Erweiterung der bestehenden Regelkreise der Strukturveränderung. Hauptbestandteile sind dabei neue Führungs- und Hilfsregelgrößen. Diese gilt es, über eine spezielle Messeinrichtung aus den Leistungsdaten der Produktion in einem kontinuierlichen Prozess zu ermitteln.

Kern der Messeinrichtung sind ein Data Warehouse als zentraler Datenspeicher und die darauf durchzuführenden Datenoperationen. Diese werden in Kapitel 4 modelliert. Zum Einsatz kommt dabei der Ansatz einer mehrdimensionalen Modellierung, mit dem sich die notwendigen Operationen realisieren lassen.

Das Kapitel 5 befasst sich mit der prototypischen Implementierung des Data Warehouse und der Datenoperationen entsprechend der Modellierung. Auf Basis einer kommerziel-

len Anwendung entsteht eine Messeinrichtung, um die grundsätzliche Realisierbarkeit nachzuweisen.

Für die Validierung des gesamten Konzepts wird diese Messeinrichtung in einem produzierenden KMU eingesetzt und in die dortigen Entscheidungsprozesse, entsprechend der Zielsetzung, integriert. Das Vorgehen und die Bewertung der Validierung wird in Kapitel 6 beschrieben.

Die vorliegende Arbeit schließt in Kapitel 7 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Produktspezifische Kapazitätsbelastung in der Produktion

In einem ersten Schritt gilt es, den Untersuchungsbereich einzugrenzen. Anschließend sollen die allgemeine Planung der Kapazitätsbelastung und damit verbundene Begrifflichkeiten und Aufgaben vorgestellt werden, die dieser Arbeit zugrunde gelegt werden. Aufgrund unterschiedlicher Fristigkeiten bei diesen Planungen sind die relevanten Produkt- und Produktionsstrukturen zu modellieren, um eine Zuordnung zu den entsprechenden Ebenen zu ermöglichen. Der Zielsetzung entsprechend sind die Regelkreise zu beschreiben, die eine kontinuierliche Synchronisierung der Veränderungen in diesen Strukturen vollziehen. Diese sollen dann im folgenden Kapitel um die mehrskalige Belastungsregelung erweitert werden. Abschließend werden relevante Arbeiten zum Stand der Forschung vorgestellt und analysiert.

2.1 Charakterisierung des Untersuchungsbereichs

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelte Thematik stellt kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit einer variantenreichen Serienfertigung in den Mittelpunkt. Diese Unternehmen stehen aufgrund ihrer Merkmale und Struktur vor besonderen Herausforderungen. Sie können daher nicht wie verkleinerte Großunternehmen betrachtet werden [Reinemann 2011].

2.1.1 Kleine und mittlere Unternehmen

In den 1970er-Jahren wurde prognostiziert, dass kleine und mittlere Unternehmen in Zukunft keine Rolle mehr spielen werden und aussterben. Heute jedoch scheint vielmehr genau das Gegenteil der Fall zu sein [Pichler u. a. 2000]. Die wirtschaftliche Bedeutung

Tabelle 2.1: Definition der Unternehmensgrößen [European Commission 2003]

Unternehmensgröße	Zahl der Beschäftigten		Umsatz € pro Jahr		Bilanzsumme € pro Jahr
kleinst	bis 9	UND	bis 2 Millionen	ODER	bis 2 Millionen
klein	bis 49		bis 10 Millionen		bis 10 Millionen
mittel	bis 249		bis 50 Millionen		bis 43 Millionen

von KMU in Deutschland und Europa ist herausragend. Nach Zahlen aus dem Jahre 2009 zählen rund 99 % der Unternehmen zu KMU. Sie haben einen Anteil von fast 40 % am gesamtdeutschen Umsatz [Günterberg 2012]. Aufgrund ihrer Bedeutung genießen Unternehmen dieser Größenordnung hohe wirtschaftspolitische Beachtung.

Nach einer Definition der [European Commission 2003] werden KMU untergliedert in Mittel-, Klein- und Mikro-Unternehmen, wobei als Merkmale die Anzahl der Beschäftigten, die Höhe des Umsatzes oder der Bilanzsumme sowie die wirtschaftliche Unabhängigkeit dienen. In Tabelle 2.1 sind die Größenordnungen dargestellt. Üblicherweise werden für die Abgrenzung von KMU gegenüber Großunternehmen diese Kennzahlen herangezogen. Hieraus lassen sich jedoch keine sachbezogenen Aussagen zur Unternehmenspolitik und besonderen Herausforderungen der Managementaufgaben ableiten. Einheit von Eigentum und Kontrolle, die ausgeprägte Personen- bzw. Unternehmer(innen)zentriertheit aller Prozesse und Entscheidungen sowie eine relativ geringe Ressourcenausstattung sind zentrale und wesensbildende Merkmale von KMU. Insbesondere führt die geringe Ressourcenausstattung zu einem tendenziell höheren Unternehmensrisiko [Kathan u. a. 2010].

Die geringe Größe dieser Unternehmen bietet jedoch auch zahlreiche Vorteile, die im Verlauf der Arbeit gezielt genutzt werden sollen. Als wesentliche Ursachen für die Existenz von KMU gelten nach [Schneider 2000b]

- Innovationsfähigkeit und Flexibilität hinsichtlich der Produkte und Produktionsverfahren mit klar definierten technologischen Kernkompetenzen,
- Konzentration auf regionale Märkte oder auch auf einzelne (global agierende) Abnehmer bei hoher Flexibilität bezüglich der Bedürfnisbefriedigung,
- Identifikation von Eigentümer-Unternehmern oder (bestärkt durch entsprechende Anreizsysteme) angestellter Führungskräfte mit den überschaubaren Sachzielen des Unternehmens,

- Bestreben nach wirtschaftlicher Selbstständigkeit des Eigentümer-Unternehmers sowie breiteres Kompetenzspektrum und höherer Grad an Selbstständigkeit der angestellten Führungskräfte,
- Motivation der Mitarbeiter durch Transparenz von Zielsystem und Organisation der Unternehmung,
- Traditionsgebundenheit vieler KMU.

Eine andere Auflistung von größenspezifischen Charakteristika, die in Kategorien wie Produktion, Absatz oder Forschung und Entwicklung untergliedert, liefert [Pfohl 1997]. Die Auflistung unterstreicht zum einen die in Abschnitt 1.2 beschriebene Problemstellung. Zum anderen jedoch ergeben sich hieraus auch Ansatzpunkte für deren Lösung, die auf größere Unternehmen schwer zu übertragen sein werden. Von besonderem Interesse im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind Charakteristika, die insbesondere KMU eine Beeinflussung der kapazitiven Auslastung der Produktion durch gezielte Veränderungen in der Produktart und Produktmenge ermöglichen. Hierzu zählen im Wesentlichen die folgenden Merkmale, die [Pfohl 1997] entnommen sind:

- Kurze, direkte Informationswege
- Deckung kleindimensionierter individualisierter Nachfrage in einem räumlich und/oder sachlich schmalen Marktsegment
- Keine dauernd institutionalisierte Forschungs- und Entwicklungsabteilung
- Kurzfristig-intuitiv ausgerichtete Forschung und Entwicklung
- Fast ausschließlich bedarfsorientierte Produkt- und Verfahrensentwicklung, kaum Grundlagenforschung
- Relativ kurzer Zeitraum zwischen Erfindung und wirtschaftlicher Nutzung

Mit der Größenordnung einher gehen auch besondere Ausprägungen der Merkmale der Produktion, die bei der Konzeptionierung von Lösungen zu berücksichtigen sind. So werden typischerweise Standardprodukte mit anbieterspezifischen Varianten angeboten, teilweise auch in Kombination mit kundenspezifischen Varianten. Dabei dominieren in den Unternehmen Einzelaufträge der Kunden die Aufträge durch Rahmenverträge und Lageraufträge. Die Gruppenfertigung gilt als vorherrschende Organisationsform in den Produktionsstrukturen von KMU [Glaser u. Petersen 1997]. Bei dieser Einstufung ist nach [Nebl 2011] auch der Anteil des Fremdbezugs zu berücksichtigen, der gering ausgeprägt ist.

Aufgrund einer fehlenden Institutionalisierung von Forschungs- und Entwicklungsabteilungen kommt es in KMU zu markt- bzw. kundeninduzierten Produktvariationen, die über die engen Kundenbeziehungen angeregt werden. Entscheidungen hierüber fallen auf Basis meist intuitiv abgeschätzter Markterwartungen, wobei jedoch zunehmend methodische Unterstützung genutzt wird [Reinemann 2011]. Dabei nimmt mit abnehmender Unternehmensgröße die ereignisgetriebene Adaption gegenüber der kalendergetriebenen zu und findet daher nicht mehr zu diskreten Zeitpunkten statt [Schön 2009].

Diese Merkmale von KMU beschreiben insgesamt eine enge Kopplung zwischen Produktion und den Kundenwünschen, die sich in Art und Menge von Produkten ausdrücken. Einerseits kann so die Produktion schnell auf veränderte Kundenwünsche reagieren. Andererseits bestehen mehr Freiheitsgrade bei Produktveränderungen, sowohl die Kundenwünsche als auch die kapazitive Belastung der Produktion unmittelbar zu berücksichtigen.

Unternehmen, die in das Netzwerk eines Großunternehmens eingebunden sind, haben typischerweise Rahmenverträge für die Lieferung von Einzelteilen, Komponenten oder Baugruppen. Vertreter für diese Rahmenauftragsfertiger sind Automobilzulieferer und Systemlieferanten. Diese haben in der Regel eine höhere Fertigungstiefe als reine Auftragsfertiger [Eversheim 1997]. Aufgrund der starken Abhängigkeit und damit einhergehenden Beschränkung der Freiheitsgrade in der Produktgestaltung fallen derartige Unternehmen nicht in den Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit.

2.1.2 Variantenreiche Serienproduktion

Produzierende Unternehmen lassen sich neben der Größe auch nach dem vorherrschenden Fertigungstyp unterscheiden. Dieser richtet sich im Allgemeinen nach dem herzustellenden Produktionsprogramm und der Art der Leistungswiederholung. Hierbei kann zwischen Einmalfertigung, Wiederholfertigung, Variantenfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung unterschieden werden, wobei eine eindeutige Zuordnung nicht immer möglich ist [Warnecke 1995b].

Die variantenreiche Serienproduktion ist nach [Warnecke 1995b] gekennzeichnet durch

- ähnliche Erzeugnisse desselben Grundtyps,
- im Allgemeinen gleicher Fertigungsablauf für alle Varianten,

- begrenzte Stückzahl,
- Bildung von Fertigungslosen,
- meist Auftragsproduktion standardisierter Erzeugnisse,
- Klein-, Mittel- und Großserien.

Auch wenn durch eine hohe Variantenzahl die Wahrscheinlichkeit sinkt, zweimal ein absolut identisches Produkt zu produzieren, wie etwa in der Automobilproduktion, spricht man dennoch von Serienfertigung. Insbesondere in den letzten Schritten der Produktion entspricht der Aufwand jedoch nicht selten dem einer Einzelfertigung [Geitner 1987].

Die variantenreiche Serienfertigung mit häufigen Wiederholungen der Arbeitsschritte ist eine elementare Voraussetzung für das Fachkonzept, das in Kapitel 3 vorgestellt wird. Dieses basiert auf kontinuierlich erfassten Prozesszeiten.

2.2 Allgemeine Planung der Kapazitätsbelastung

Übergeordnetes Ziel jeder Unternehmensplanung ist, stets die Überlebensfähigkeit des Unternehmens zu sichern. Gewinnstreben mit jederzeitiger Liquidität als strenger Nebenbedingung ist als weitestgehende Operationalisierung dieses Sicherheitsbestrebens zu sehen [Rollberg 2001]. Die langfristige Ausrichtung ergibt sich aus dem Leitbild eines Unternehmens und ist Ausgangspunkt für die Unternehmensplanung [Baier 2009].

Die relevanten Teilplanungen und deren Zusammenhänge werden in [Wiendahl 2010] wie folgt beschrieben. Ausgehend von den Plänen für die Produktentwicklung und den Absatzmengen, wird ein vorläufiges Produktionsprogramm entwickelt. Die Beschaffungsplanung legt fest, welche Produktionsfaktoren extern bezogen werden. Der Produktionsplan beschreibt die notwendigen Produktionsstunden für die Eigenfertigung und gliedert sich weiter nach Art der Leistungen und begründet den Personalplan des direkt produktiven Personals. Im Investitionsplan werden alle Bedarfe an neuen technischen Ressourcen erfasst. Alle Teilpläne fließen in den abschließenden Ergebnisplan ein und werden nach Bedarf iterativ angepasst. Abhängig von der Unternehmensgröße und vom Produktportfolio ist eine getrennte Planung für Produkte und Unternehmensbereiche zielführend [Wiendahl 2010].

Von besonderem Interesse sind die Produktplanung sowie die Planungen des Absatzes und des Produktionsprogramms, da hierüber im Wesentlichen der Kapazitätsbedarf in

der Produktion festgelegt wird. Die dafür notwendigen grundlegenden Begriffe und Planungsaspekte werden im Folgenden vorgestellt, wobei deren Relevanz für die vorliegende Arbeit im Vordergrund steht.

2.2.1 Bilanzierung der Kapazität

Für die Begriffe im Rahmen der Kapazitätsbilanzierung lassen sich in der Literatur keine einheitlichen Definitionen identifizieren. Vielmehr erfolgt jeweils eine kontextspezifische Beschreibung und Nutzung. Die folgenden Beschreibungen stellen somit das Verständnis der Begriffe im Rahmen der vorliegenden Arbeit dar.

Unter der Kapazität wird allgemein das Potenzial zum Ausstoß von Leistung verstanden. Als Grundkapazität bezeichnet man in diesem Zusammenhang die maximale Ausstoß-Kapazität für eine organisatorische Einheit. Diese ergibt sich im Wesentlichen aus der Anzahl an Arbeitsschichten, der Mitarbeiteranzahl oder Maschinenanzahl sowie der theoretisch pro Schicht zur Verfügung stehenden Kapazität. Dem gegenüber steht die Belastung durch geplante oder freigegebene Arbeit. Sowohl die Kapazität als auch die Belastung können in Form von Profilen als Funktion der Zeit, kontinuierlich oder als Rechteckfunktion, aufgetragen werden. Das Verhältnis von Belastung zu Kapazität wird dabei als Auslastung bezeichnet [Schönsleben 2011].

Als Bezugsobjekt für die Kapazität und die damit verbundenen Planungen dienen Kapazitätseinheiten. Nach [Nebl 2011] handelt es sich dabei um

- einzelne Maschinen oder Bearbeitungsstationen innerhalb einer Organisationsform,
- Maschinengruppen innerhalb einer Organisationsform,
- oder eine Organisationsform an sich.

Einer Kapazitätseinheit kann ein Kapazitätskonto zugeordnet werden. Nach [Helbing 2010] handelt es sich um das Zeitvermögen eines technischen Elements, einer Arbeitsperson oder eines Systems in einem definierten Bezugszeitraum.

Die Kapazität wird gebildet durch die Ressourcen innerhalb der Produktionsstruktur und ist abhängig von den Prozesstypen. Tabelle 2.2 stellt diesen Zusammenhang dar. In den Extremfällen entspricht die Kapazität entweder nur der Kapazität der Mitarbeiter oder nur der Kapazität der Betriebsmittel. Alle Zwischenstufen werden im Wesentlichen bestimmt durch den Automatisierungsgrad. Dieser ergibt sich aus dem Anteil

Tabelle 2.2: Bedeutung von Ressourcen für die Kapazitätsbildung [Nebl 2011]

Ressourcen	Prozesstyp		
	Handprozess	Maschinenprozess	Automatischer Prozess
Mitarbeiter	kapazitätsbildend	kapazitätsbildend	
Betriebsmittel		kapazitätsbildend	kapazitätsbildend

automatisierter Vorgänge an der Gesamtmenge der Vorgänge und dem entsprechenden Kapazitätsanteil an der Gesamtkapazität [Westkämper 1977].

Nach [Dangelmaier u. a. 2008] stehen im Fokus der strategischen Kapazitätsplanung die Investitions- und Personalentscheidungen. Gemeinsam bilden diese den Kapazitätsrahmen der Produktion. Dabei geht es um die tatsächlich nutzbare Kapazität, also das reale Kapazitätsangebot, bei dem geplante Ausfälle bereits berücksichtigt sind. Hieraus ergibt sich ein Kapazitätsbestand im Kapazitätskonto, der für die Durchführung von Arbeitsaufgaben qualitativ und quantitativ zur Verfügung steht.

Entsprechend der Kapazitätskonten, die das Kapazitätsangebot beschreiben, kann man Belastungskonten definieren, die entsprechend den Kapazitätsbedarf für eine Kapazitätseinheit beschreiben. Kapazitäts- und Belastungskonto sind in Abbildung 2.1 gegenübergestellt. Die Erfassung der Belastung kann dabei prozessspezifisch oder produktspezifisch erfolgen. Zur entsprechenden Umrechnung dienen die jeweiligen Prozesszeiten und die Produktmengen.

Die Kapazitätsbedarfe lassen sich weiter untergliedern in

- *Auftragslast* – kapazitive Belastung aller Kapazitätseinheiten in einer Periode durch einen Auftrag,
- *Auftragseinzellast* – kapazitive Belastung einer Kapazitätseinheit in einer Periode durch einen Auftrag,
- *Systemlast* – kapazitive Belastung durch die Summe aller Aufträge in einer Periode für ein System von Kapazitätseinheiten.

Dem Prinzip der Belastungsrechnung folgend, steht jedem Belastungsprofil einer Kapazitätseinheit, das sich aus den periodenbezogenen Belastungskonten zusammensetzt, das Kapazitätsangebot als Kapazitätsprofil gegenüber [Wiendahl 2010]. Es erfolgt also eine Kapazitätsbilanzierung, die nach [Nebl 2011, S. 219] wie folgt definiert ist:

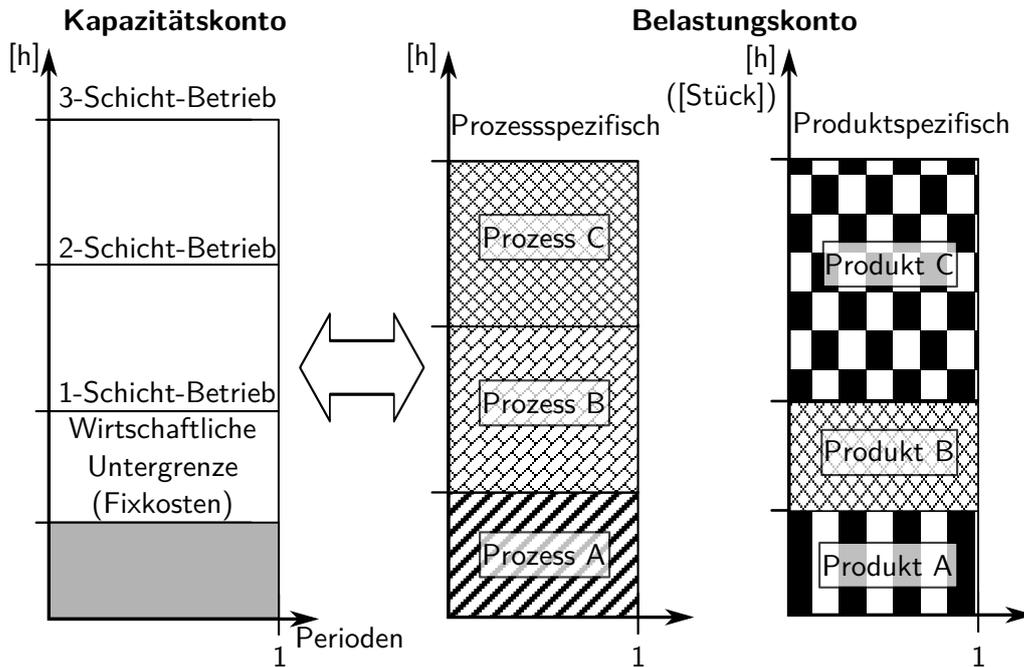


Abbildung 2.1: Zusammensetzung der Konten beim Kapazitätsabgleich

„Kapazitätsbilanzierung ist die Gegenüberstellung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot. Dazu erfolgt die Subtraktion des Kapazitätsbedarfs vom Kapazitätsangebot je Kapazitätseinheit. Sowohl für das Kapazitätsangebot als auch für den Kapazitätsbedarf wird als Maßstab die Zeit gewählt.“

Als Ergebnis der Kapazitätsbilanzierung ergibt sich eine Kapazitätsunterdeckung, wenn der Kapazitätsbestand kleiner ist als der Kapazitätsbedarf. Im umgekehrten Fall handelt es sich um eine Kapazitätsüberdeckung. Abbildung 2.2 stellt die Teilbereiche der Kapazitätsbilanzierung dar. Die Art der Kapazität wird über die Prozesse der Kapazitätseinheit bestimmt, die Menge gibt den zugehörigen zeitlichen Umfang an.

Von besonderer Relevanz im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Zeitabhängigkeit der Kapazitätsbilanzierung und die spezifische Gruppierung von Konten. Daher sollen im Folgenden die zugehörigen Begrifflichkeiten, die auch im späteren Verlauf der Arbeit Verwendung finden, erläutert werden.

Die zeitliche Verkettung von diskreten Kapazitätskonten einer Kapazitätseinheit wird als Kapazitätsprofil bezeichnet. Hierüber lässt sich also das Kapazitätsangebot hinsichtlich der Art und Menge sowie seiner Veränderung im Zeitverlauf darstellen. Der Kapazitätsquerschnitt hingegen bezieht sich auf eine Zeitperiode und umfasst die Kapazitätskonten

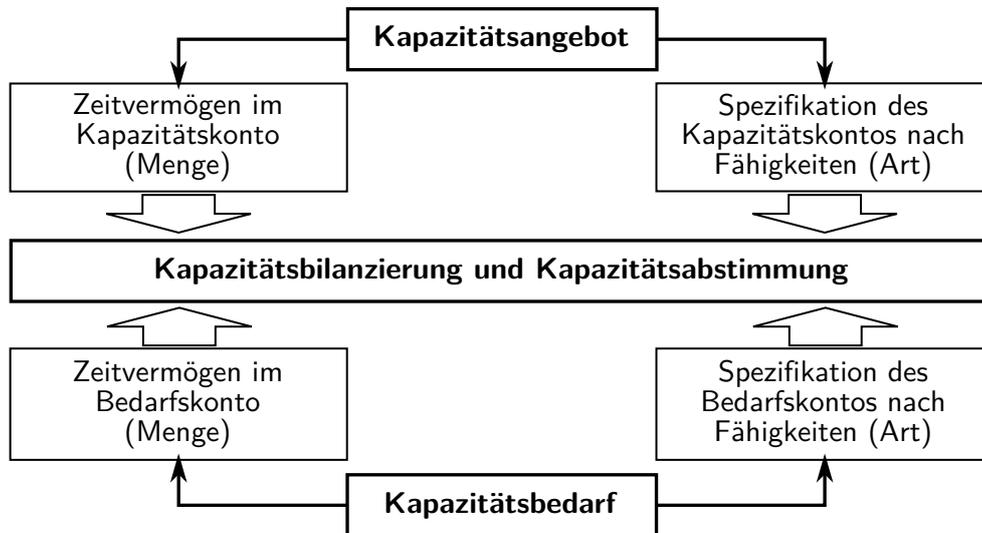


Abbildung 2.2: Kapazitätsbilanzierung und -abstimmung

einer ausgewählten Gruppe von Kapazitätselementen. So lässt sich z. B. das durchschnittliche Kapazitätsangebot aller spanabhebenden Ressourcen innerhalb einer Woche darstellen. Auch die Querschnitte lassen sich im Zeitverlauf darstellen. Veränderungen ergeben sich z. B. durch Investitionen oder Personalfreistellungen.

Entsprechend den Kapazitätskonten unterliegen auch die Belastungskonten einer zeitlichen Veränderung. Daher wird auch hier als Belastungsprofil die zeitliche Verkettung einzelner Belastungskonten verstanden. Der Belastungsquerschnitt reiht die Belastungskonten innerhalb einer Periode aneinander. Der Begriff Belastungsvektor, der in [Günther u. Tempelmeier 2012] verwendet wird, ist inhaltlich identisch. Kontinuierliche Veränderungen im Zeitverlauf ergeben sich z. B. über Lerneffekte in den Prozessen, wodurch der spezifische Kapazitätsbedarf sinkt. Sprunghafte Veränderungen ergeben sich bei neuen Produkttechnologien oder grundlegenden Veränderungen im strukturellen Aufbau der Produkte. Entscheidend ist hierbei die Länge des Beobachtungszeitraums.

In Abbildung 2.3 sind diese Begriffe grafisch dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass der Belastungsquerschnitt und das Belastungsprofil auf Prozesse bezogen sind. Möglich ist hier auch der Bezug auf Produkte oder Produktgruppierungen.

Für die grundlegende Bestimmung der Auslastung sind Prozesszeiten für Produkte zu ermitteln. Hierbei kann zwischen analytischer und synthetischer Zeitermittlung unterschieden werden. Die synthetische Zeitermittlung findet vorwiegend in der Großserienfertigung bei der Auslegung von Einzelarbeitsplätzen und verketteten Arbeitsplätzen Anwendung.

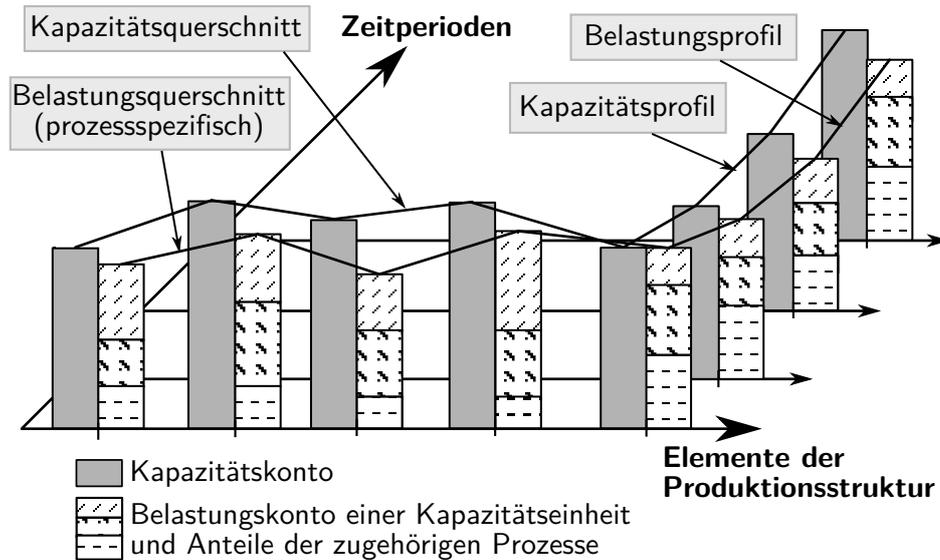


Abbildung 2.3: Zentrale Begriffe im Zusammenhang mit der zeitabhängigen Kapazitätsbilanzierung

Die analytische Zeitermittlung hingegen eignet sich insbesondere für die Einzel- und die Serienfertigung. Dabei ist der Leistungsgrad zu beachten [Wiendahl 2010].

Alle Maßnahmen zur Erlangung einer Kapazitätsdeckung sollen als Kapazitätsabstimmung bezeichnet werden. Hierbei kann folgende grundlegende Untergliederung erfolgen:

- *Kapazitätsanpassung* – der Kapazitätsbestand wird an den Kapazitätsbedarf angepasst
- *Belastungsanpassung* – der Kapazitätsbedarf wird an den Kapazitätsbestand angepasst
- *Belastungsabgleich* – der Kapazitätsbedarf wird durch Verschieben von Aufträgen in Engpasssituationen auf Betriebsmittel ohne Engpasssituation oder in die Zukunft an das Angebot angepasst (identisch mit Kapazitätsabgleich)

Nach [Geitner 1987] zählt der Belastungs- bzw. Kapazitätsabgleich zur kurzfristigen Kapazitätsabstimmung. Die eher langfristig angelegte Kapazitätsanpassung erfolgt über die Beschaffung zusätzlicher oder die Herausnahme überflüssiger Maschinen. Mittelfristig werden über Schichtarbeit oder Überstunden sowie eine verlängerte Werkbank Kapazitätsanpassungen umgesetzt [Geitner 1987].

2.2.2 Absatzplanung

Die Absatzplanung stellt, wie oben bereits angedeutet, neben der generellen Zielplanung die Grundlage für alle weiteren unternehmerischen Entscheidungen im produzierenden Unternehmen dar. Sie orientiert sich sowohl an der strategischen Planung des Unternehmens wie auch an den zur Verfügung stehenden Mitteln. Der Absatzplan stellt die Verbindung zwischen dem Leistungen nachfragenden Markt und dem Leistungen anbietenden Unternehmen her. Er ist somit entscheidend für die Qualität der gesamten Unternehmensplanung und aller Folgepläne [Rollberg 2001; Fischer 1997].

Die Planung an sich kann dabei produktbezogen, kundenbezogen oder mit Bezug zum Absatzmarkt erfolgen und stellt die Art und Menge der zu erstellenden Leistungen als Funktion der Zeit dar. In Abbildung 2.4 ist die Entwicklung eines Absatzplans und der Einflussfaktoren nach [Ehrmann 2002] dargestellt. Als Hilfsmittel kommen dabei verschiedene Prognoseverfahren zum Einsatz, die insbesondere die unternehmensexterne Entwicklung berücksichtigen. Die Prognoseergebnisse werden mit den unternehmensinternen Planungen abgeglichen und hinsichtlich der Produkte, der Absatzgebiete und der Zeiträume schrittweise konkretisiert.

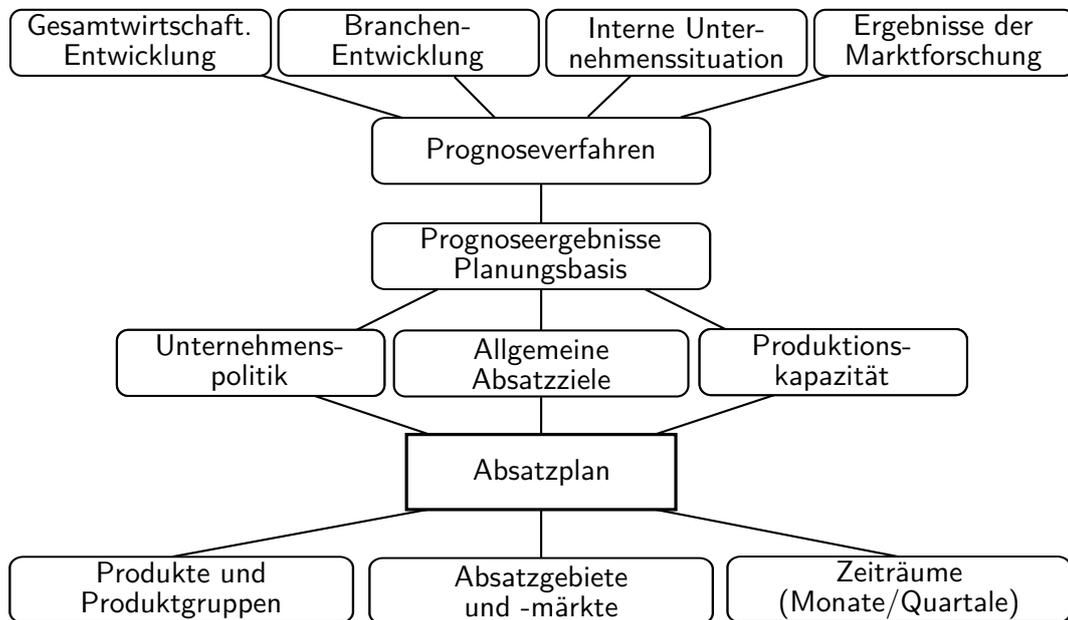


Abbildung 2.4: Teilschritte in der Entwicklung eines Absatzplans [Ehrmann 2002]

Der Absatzplan stellt somit eine zeitperiodenbezogene Aussage der erwarteten zukünftigen Kundenbestellungen für Produktfamilien oder einzelne Artikel dar [Schönsleben 2011].

Ausgehend von den bestehenden Produkten, werden die Marktsegmente analysiert und hinsichtlich technischer und geografischer Zugänglichkeit bewertet. Weitere Überlegung, wie der Aufbau von neuen Vertriebsnetzen oder das Verhalten von Wettbewerbern, führen in enger Abstimmung mit der Produktplanung zu einem Absatzvolumen, das in Stückzahlen oder Verkaufserlösen je Produktbereich ausgedrückt wird [Wiendahl 2010].

Im Rahmen einer kontinuierlichen Absatzplanung werden Veränderungen gegenüber dem aktuellen Stand erfasst. Diese Veränderungen beziehen sich grundsätzlich auf die Art der Produkte und deren Mengen. Über Prognosetechniken und unter Berücksichtigung der Entwicklungen im laufenden Jahr werden die zu erwartenden Veränderungen ermittelt und deren Auswirkungen zusammengefasst auf Produktfelder und -gruppen analysiert. Die Absatzplanung lässt sich somit als Regelkreis darstellen.

2.2.3 Produktionsprogrammplanung

Das Produktionsprogramm leitet sich aus den verdichteten Zahlen des Absatzplans her. Neben den Produktmengen für den Primärbedarf enthält es den Bedarf aus Ersatzteilbestellungen und Eigenbedarf. Beim Produktionsprogramm handelt es daher um eine Zusammenfassung aller zu erstellenden Produkt-, Leistungs- und Güterarten zu einem Leistungsangebot des Unternehmens. Mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad umfasst es art-, mengen- und zeitbezogene Komponenten [Haupt u. Planer 1994]. In der Regel erfolgt die Bestimmung des Produktionsprogramms unter gewinnmaximierenden Gesichtspunkten und Einbezug von Absatzhöchstmengen [Fandel u. a. 2009].

Das Produktionsprogramm ist gegenüber dem Absatzprogramm abzugrenzen, das aufgrund von Zukauf von Handelsware und Eigenverbrauch erstellter Leistungen abweicht. Im Rahmen dieser Planungen erfolgt daher auch die grundsätzliche Auswahl der Beschaffungs- und Distributionskanäle sowie die Bestimmung von deren Länge, Breite und Tiefe [Schuh 2006].

Im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung erfolgt die Produktionsbedarfsplanung, die, ausgehend vom Produktionsprogramm und vom damit verbundenen Primärbedarf an verkaufsfähigen Endprodukten, den Sekundärbedarf auf Grundlage von Stücklisten bestimmt. Die auftragsunabhängige Planung arbeitet dabei mit repräsentativen Erzeugnissen und verdichteten Daten und erfolgt in Abstimmung zwischen Vertrieb und Produktion [Höhne 2010].

Die Angaben aus dem Produktionsprogramm werden für den Produktionsplan in Zeitbedarf umgerechnet und typischerweise in Produktionsstunden ausgedrückt. In der kundenspezifischen Einmalfertigung wird, ausgehend von Umsätzen der Vergangenheit, auf den Stundenbedarf zurückgerechnet und auf die Teilbereiche der Produktion verteilt. Für diese sogenannten Kapazitätsbereiche erfolgt eine Gegenüberstellung von Bedarf und Angebot, woraufhin ein Investitions- oder Kooperationsbedarf identifiziert werden kann, um zu erwartende Über- oder Unterlasten und eine damit verbundene Unwirtschaftlichkeit zu vermeiden [Wiendahl 2010].

Die Bestimmung des Produktionsprogramms ordnet [Kiener u. a. 2009] der taktischen Produktionsplanung zu. Entscheidungen zum Produktionsprogramm sind jedoch zwingend mit der langfristigen Entwicklung und Bewahrung von Kernkompetenzen verbunden, insbesondere also den einzusetzenden Technologien und der Gestaltung des Produktionspotenzials. Das schließt Entscheidungen über Ziel-, Produkt-, Markt- und Ressourcenkonzepte mit ein. Hieraus folgen demnach auch langfristige Bindungen in Netzwerken, bedingt durch eine entsprechend gewählte Produktionsorganisation [Sydow u. Möllering 2009]. Nach [Rollberg 2001] lassen sich daher auch mehrere Stufen der Produktionsprogrammplanung differenzieren, die von einer strategischen und eher groben hin zu einer taktischen Planung führen. In Letzterer stehen bereits die Programmdimensionierung und das grobe Produktionsprogramm im Vordergrund.

Der Kapazitätsbedarf ist darstellbar als Produktionsprogramm, also die Menge herzustellender Produkte, als Einzelprodukt, also die Menge herzustellender Baugruppen und Einzelteile, oder als Arbeitsgang, also die Anzahl von Arbeitsoperationen [Nebl 2011]. Ausgehend vom Produktionsprogramm, wird auf Basis der Bearbeitungsanforderungen der Einzelteile ein Profil des Kapazitätsbedarfs ermittelt. Grundlage sind dabei Arbeitspläne oder Referenzdaten von bereits abgerechneten Aufträgen [Wiendahl 2010].

Der wirtschaftliche Vollzug eines gegebenen Produktionsprogramms mit gegebenem Produktionssystem und damit verbundene Entscheidungen obliegen der operativen Produktionsplanung bzw. der Produktionssteuerung [Kiener u. a. 2009]. Hierzu lässt sich nach [Wiendahl 2010] ein Regelkreis für das logistische Controlling beschreiben.

Die Bestimmung des Produktionsprogramms stellt ein typisches Entscheidungs- und Optimierungsproblem unter gegebenen Nebenbedingungen dar. Hierbei wird in der Regel eine Maximierung des Deckungsbeitrags bei gegebenen Kapazitäten der Ressourcen angestrebt und als Optimierungsproblem formuliert. Ziel ist es, aus allen Kombinationen

von Mengen der einzelnen Produkte, also allen Produktionsprogrammalternativen, diejenige zu finden, die unter Berücksichtigung der begrenzten Kapazitäten einen maximalen Gesamtdeckungsbeitrag erzielt. Der maximale Deckungsbeitrag stellt somit die optimale Lösung dar [Werners 2008].

2.3 Planungsrelevante Strukturen

Die Planung und Gestaltung des Kapazitätsbedarfs bezieht sich auf die Produkt- und Produktionsstrukturen im Unternehmen. Das erfordert eine einheitliche Modellierung, auf die im weiteren Verlauf Bezug genommen werden kann.

2.3.1 Systemtheoretische Modellierung

Ausgangspunkt für die Modellierung der Produkt- und Produktionsstrukturen im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist der systemtheoretische Modellierungsansatz. Als formaler Rahmen stellt er realitätsnah dynamische Organisationen dar. Abhängig von der gewünschten Betrachtungsperspektive lassen sich Systeme und die darin interessierenden Zusammenhänge beschreiben [Horváth 2011].

Nach [Binner 2010, S. 404] wird ein System allgemein wie folgt definiert:

„Gegenüber der Umwelt abgegrenztes, sinnvoll in sich gegliedertes Ganzes, bestehend aus Elementen (Objekten) mit definierten Eigenschaften (Attributen), die durch Beziehungen (Relationen) miteinander verknüpft sind.“

Die systemtheoretische Modellierung liegt auch dem Stuttgarter Unternehmensmodell zugrunde und wird in [Westkämper u. Zahn 2009] eingehend beschrieben. Das Grundkonzept ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

Systeme bestehen aus Elementen, die wiederum Subsysteme einer niederen Ordnungsebene darstellen können. Die Eigenschaften der Elemente und deren hierarchische Ordnung wird über das im Unternehmen angewendete Strukturierungsprinzip festgelegt, worauf im folgenden Abschnitt eingegangen wird. Die Elemente an sich stellen im Rahmen einer Analyse die kleinsten relevanten Einheiten dar, für die eine weitere Unterteilung nicht erforderlich ist [Horváth 2011].

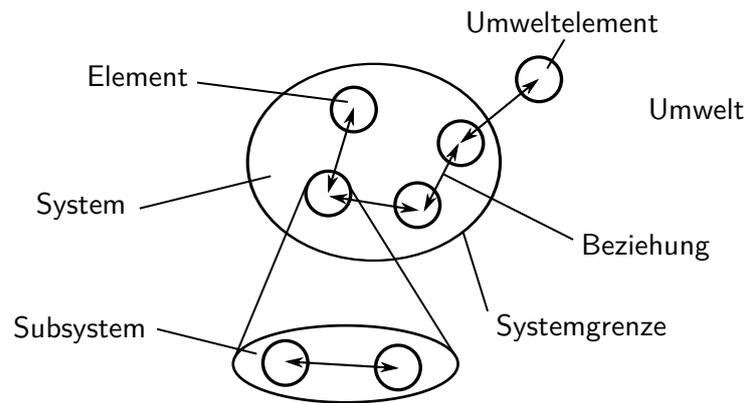


Abbildung 2.5: Grundkonzept der systemtheoretischen Modellierung
[Westkämper u. Zahn 2009]

Durch zielorientierte Abgrenzung bestimmter Objekte der Realität erhält man Systemelemente, denen spezifische Eigenschaften zugeordnet werden können. Beziehungen zwischen Eigenschaften eines Elements werden als Funktion, Beziehungen zwischen Eigenschaften verschiedener Elemente als Beziehung oder Relation bezeichnet. Letztere stellen sowohl strukturelle Ordnungsbeziehungen als auch Wirkzusammenhänge dar. Systemelemente und Systemrelationen bilden die Systemstruktur und liegen stets in einer wohldefinierten Anordnung oder Gliederung vor. Die Wechselwirkung mit der Umwelt erfolgt über eine Systemgrenze hinweg über In- und Outputbeziehungen [Krallmann 2007].

2.3.2 Produktionsstruktur

Im Zusammenhang mit der Produktion beschreibt die Struktur eine übergeordnete Gliederung. Dabei unberücksichtigt bleibt die räumliche Ausprägung [Wiendahl u. a. 2009]. Es handelt sich also um ein aufbauorganisatorisches Problem, dass nach unterschiedlichen Prinzipien gelöst werden kann. Aus systemtheoretischer Sicht ist es ein grundlegendes Prinzip für die Zusammenfassung von Elementen zu Systemen.

In der technologiezentrierten Systemgestaltung werden Betriebsmittel gleicher Verrichtungsart zu organisatorischen Einheiten zusammengefasst. Demgegenüber steht die produktzentrierte Systemgestaltung, bei der die technischen Erfordernisse des Bearbeitungsobjekts die Aufbauorganisation vorgeben [Berning 2001]. Diese Grundprinzipien lassen sich weiter verfeinern und auch in Mischformen umsetzen.

Zu den Vorteilen einer technologie- und verfahrensorientierten Gliederung zählen nach [Wiendahl u. a. 2009] eine schnelle Umsetzung von Veränderungen im Produktionsprogramm sowie eine hohe Anpassungsfähigkeit der Kapazität. Die produkt- und prozessorientierte Gliederung ermöglicht kürzere Durchlaufzeiten und geringere Bestände sowie eine vereinfachte Fertigungssteuerung. Schwierigkeiten ergeben sich hingegen bei der Auslastung aller Produktionseinheiten [Wiendahl u. a. 2009].

Diese Zusammenfassung von produktionstechnischen Elementen zu Systemen betrifft jeweils die horizontalen Ebenen innerhalb der Produktionsstruktur. Die vertikale Gliederung der Systemebenen wird im Stuttgarter Unternehmensmodell entsprechend Abbildung 2.6 vorgenommen.

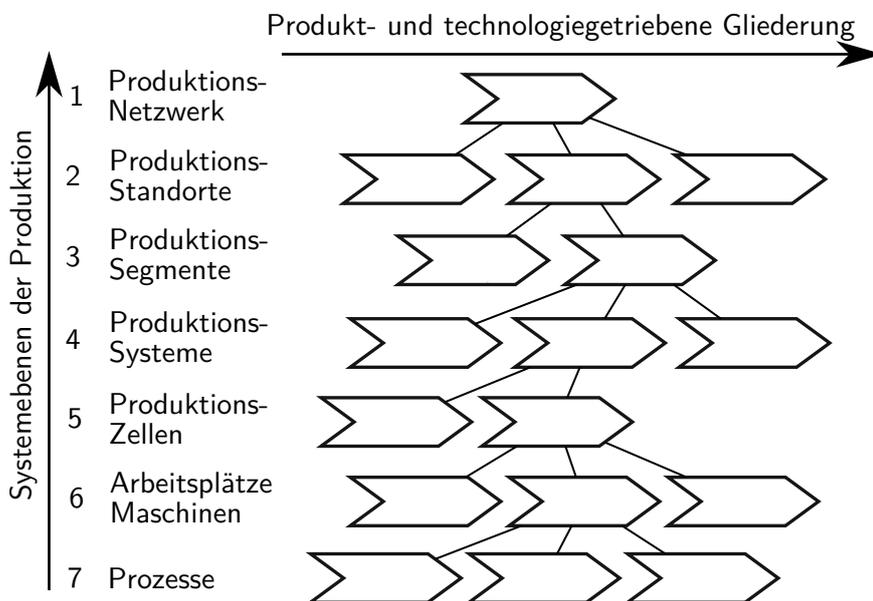


Abbildung 2.6: Systemebenen in der Produktionsstruktur [Westkämper u. Zahn 2009]

Die Systemelemente realisieren technische und organisatorische Prozesse und sind über Material- und Informationsflüsse flexibel mit den anderen Systemelementen verknüpft. Hierfür wurde im Rahmen des Stuttgarter Unternehmensmodells der Begriff der Leistungseinheit geprägt [Westkämper u. Zahn 2009]. Somit kann sowohl eine einzelne Maschine als auch ein Fertigungsbereich als Systemelement verstanden werden, das bestimmte Eigenschaften aufweist.

Systemelemente stellen einzelne Kapazitätseinheiten dar. Der Struktur der Produktion kann dadurch unmittelbar eine Struktur der Kapazität zugeordnet werden, die sich aus Kapazitätseinheiten zusammensetzt. Die Kapazität eines Elements, also die Zeit,

die innerhalb einer Periode für die Durchführung von Prozessen zur Verfügung steht, berechnet sich dabei durch Aufsummieren der untergeordneten Strukturelemente. Die oberste Ebene stellt somit die Gesamtkapazität des Unternehmens dar [Nebl 2011].

2.3.3 Produktstruktur

Grundsätzlich können erstellte Leistungen in Sach- und Dienstleistungen unterschieden werden. [Burr u. Stephan 2006] stellen hierzu fest, dass die Unterscheidung eher graduell und weniger prinzipiell möglich ist. Insbesondere durch eine verstärkt kundenindividuelle Produktion erscheint diese grundsätzliche Unterscheidung hinfällig und wenig zielführend, die Leistungserstellung ist längst hybrid. Der Anteil an reinen Industrieprodukten beträgt bei kleinen Unternehmen etwa 60 %. Dienstleistungen, integrierte Industrie-Dienstleistungsprodukte oder Handwerksleistungen machen den Rest aus. Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil in Zukunft weiter steigen wird [Lichtblau u. a. 2010].

Nach [Schuh 2005] spiegelt die Produktstruktur die Zusammensetzung eines Erzeugnisses und der darin enthaltenen Komponenten und Strukturbeziehungen wider. Komponenten stellen dabei eine Zusammenfassung von Baugruppen und Einzelteilen dar, wobei Baugruppen wiederum aus Unterbaugruppen oder Einzelteilen bestehen. Die Strukturbeziehungen stellen Beziehungen zwischen diesen Elementen dar.

Die Struktur von Sachleistungen wird üblicherweise über Stücklisten abgebildet. Die Elemente des Produktes befinden sich somit auf einer spezifischen Ebene innerhalb der Produktstruktur. Die Darstellung dieser Struktur in Kombination mit den notwendigen Mengenangaben erfolgt über Strukturstücklisten. Hierüber lassen sich sowohl Gesamtmengen von einzelnen Elementen ablesen als auch die Strukturtiefe von Erzeugnissen.

Unter Berücksichtigung von Baugruppen kann die Struktur in Baukastenstücklisten abgelegt werden. Diese eignen sich insbesondere bei hoher Änderungshäufigkeit, bei komplexen Produkten und beim Einsatz von elektronischer Datenerfassung. Als Nachteil gilt die geringe Übersichtlichkeit [Eversheim 1998]. Die Struktur einzelner Produkte wird häufig als Stammbaum und somit hierarchisch dargestellt, wobei die oberste Stufe das Produkt repräsentiert [Schuh u. Schwenk 2001].

Als Einzelprodukt soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine einzelne verkaufsfähige Sachleistung eines produzierenden Unternehmens verstanden werden. Einzelprodukte

stellen eine spezifische Ausprägung einer Produktvariante dar und werden in einer Produktlinie zusammengefasst. Alternativ zu diesem Begriff finden auch die Begriffe Produkttyp oder Produktart Verwendung [Lingnau 1994]. Mehrere Produktlinien ergeben eine Produktserie und stehen jeweils substitutiv zueinander. Produktfamilien sind komplementär und gruppieren Produktserien.

[Schichtel 2002] bezeichnet Produktlinien als eine Menge von aufeinanderfolgenden Generationen des gleichen Produkts. Unter dem Begriff Produktfamilien fasst er alle Produkte der gleichen Generation zusammen. Somit erfolgt eine Gruppierung auf Grundlage der Veränderungen im Zeitverlauf. Unterschiedliche Veränderungsgeschwindigkeiten der Elemente auf den einzelnen Ebenen der Produktstruktur vereiteln jedoch eine eindeutige Zuordnung aller Elemente zu einer Generation. Daher soll weiter die Gruppierung aufgrund der hierarchischen Einordnung verwendet werden.

Zusammen mit der Struktur der Einzelprodukte ergeben sich für die Produktstruktur die in Abbildung 2.7 dargestellten Ebenen. Die konkrete Benennung und die Anzahl der Ebenen ist dabei unternehmensspezifisch.

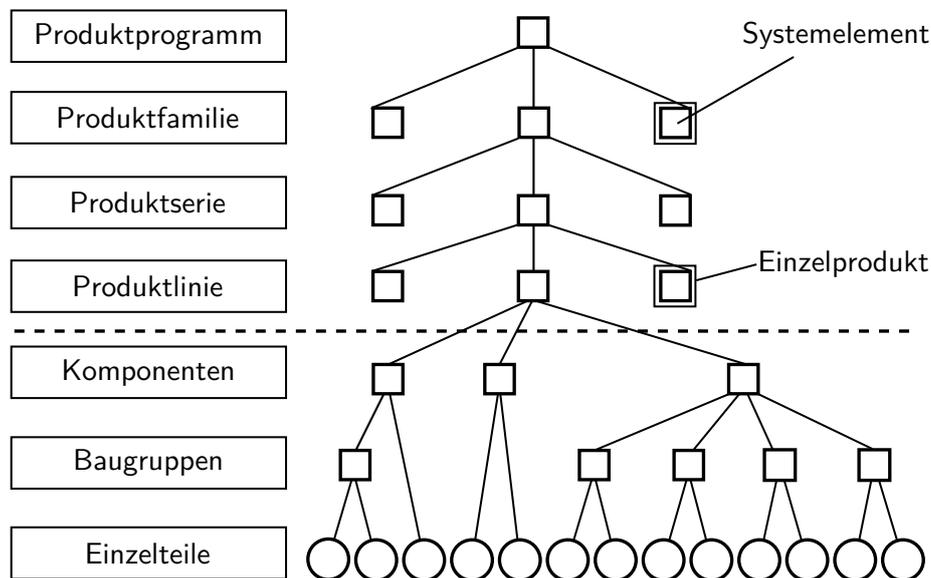


Abbildung 2.7: Systemebenen in der Produktstruktur

Die Modellierung erfolgt in Anlehnung an die systemtheoretische Modellierung der Produktionsstrukturen. Jede Ausprägung einer Gruppierung, von Einzelprodukten oder von Bestandteilen eines Produktes stellen jeweils ein Element der Produktstruktur dar.

Im Rahmen der Produktgestaltung werden Eigenschaften und Funktionen der Produkte festgelegt, die die Sicht der Kunden darstellen. Diese Varianten erzeugenden Produktfunktionen und -eigenschaften werden vollständig über Merkmale und deren Ausprägungen beschrieben. In Merkmal-/Ausprägungsmatrizen lassen sich Zwänge und Verbote definieren. Über Konfigurationsregeln werden spezifische Kombinationen von Merkmalen ausgeschlossen. Unter Berücksichtigung inkompatibler Kombinationen kann somit die Variantenanzahl bestimmt werden [Schuh u. Schwenk 2001].

Der Aufbau der Produktstruktur erfolgt im Rahmen der Produktdefinition. Insbesondere für variantenreiche Produkte werden Merkmale und deren Ausprägungen definiert, die eine bestimmte Variante eines Produktes beschreiben. Der Kunde wählt im Rahmen einer Produktspezifikation für alle unabhängigen Merkmale eine Ausprägung und legt damit die gewünschte Produktvariante fest [Schichtel 2002].

Über den sogenannten Teilverwendungsnachweis erfolgt eine Umkehrung der Stücklistenstruktur. Hierüber können Auswirkungen von Veränderungen in den jeweils übergeordneten Strukturen lokalisiert werden [Warnecke 1995b]. Stücklisten können somit sowohl für eine analytische als auch eine synthetische Betrachtung einer Erzeugnisstruktur herangezogen werden. Zu den Grundformen zählen neben der Strukturstückliste auch die Mengen- und die Variantenstückliste [Wiendahl 2010].

Im Produktprogramm werden alle Produkte zusammengefasst. Das Produktprogramm stellt somit die höchste Hierarchiestufe in der Produktstruktur dar. Die Programmbreite wird hierbei über die Anzahl angebotener Produktlinien bestimmt. In Abbildung 2.8 sind die Dimensionen des Produktprogramms dargestellt.

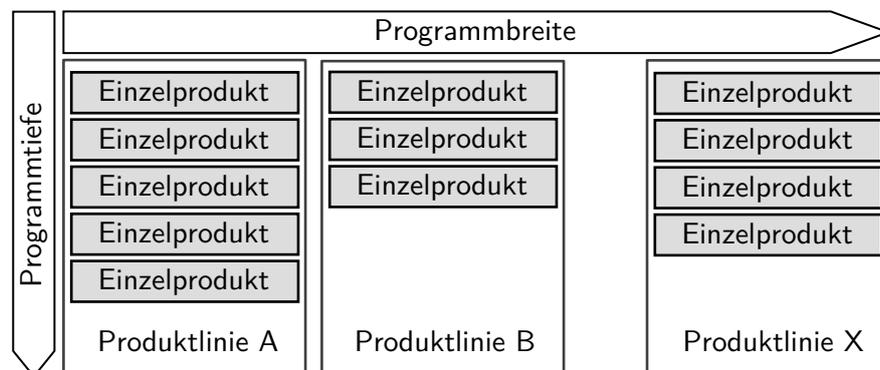


Abbildung 2.8: Modellhafte Darstellung des Produktprogramms in Anlehnung an [Baumberger 2007]

Über eine Produktdiversifikation in Form zusätzlicher, bislang noch nicht angebotener Produkte bzw. Produktlinien kann die Programmbreite vergrößert werden. Die Programmtiefe wird über die Anzahl möglicher Varianten innerhalb einer Produktlinie bestimmt. Über eine Produktdifferenzierung in Form zusätzlicher Varianten bereits angebotener Leistungen kann die Programmtiefe vergrößert werden [Rollberg 2001]. Beides führt zu einer Programmerweiterung, gegenteilige Maßnahmen zu einer Programmereinigung.

Die beschriebenen Strukturen in produzierenden Unternehmen unterliegen einer permanenten Veränderung. Die Entscheidungen darüber werden in Planungsprozessen getroffen, die sich als Regelkreise modellieren lassen. Aufgrund der unterschiedlichen Reichweite der Entscheidungen werden dabei auch unterschiedliche Ebenen adressiert. Entsprechend erfolgt eine mehrskalige Synchronisierung, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

2.4 Mehrskaligkeit bei der Strukturveränderung

Nachdem bereits die planungsrelevanten Strukturen vorgestellt wurden, geht es im folgenden Abschnitt darum, die Regelkreise, die zu strukturellen Veränderungen führen, näher zu beschreiben. Aufgabe ist es, die Mehrskaligkeit der Regelkreise herauszuarbeiten.

2.4.1 Planung und Entscheidung als Regelkreis

Einer Planung obliegt allgemein die Aufgabe, geeignete Maßnahmen zu ermitteln, um die Abweichung eines Systems von einem angestrebten Zustand zu beseitigen. Nach [Klein u. Scholl 2011, S. 2] kann eine Planung daher wie folgt definiert werden:

„Planung ist ein von Planern auf der Grundlage (zumeist) unvollkommener Informationen durchgeführter, grundsätzlich systematischer und rationaler Prozess zur Lösung von Entscheidungsproblemen unter Beachtung subjektiver Zielvorstellungen.“

Notwendige Voraussetzung ist somit die Kenntnis des Ausgangszustandes des Systems und eines Zielzustands, um die möglichen Handlungsalternativen hinsichtlich ihrer Wirkung zu untersuchen und in einem Plan festzuhalten. Die Realisierung an sich gehört nicht mehr zur Planung [Horváth 2011].

Über Kontrollen erfolgt die Überprüfung der Zielerreichung einer Planung. Im Falle einer Soll-Ist-Abweichung lösen Entscheidungen zu entsprechenden Maßnahmen Korrekturen am Zustand aus. Im Verständnis der Kybernetik lassen sich Planung und Entscheidung sowie die Kontrolle als Regelkreis auffassen, wie er in Abbildung 2.9 dargestellt ist. Dieser stellt einen kontinuierlichen Prozess im Unternehmen dar.

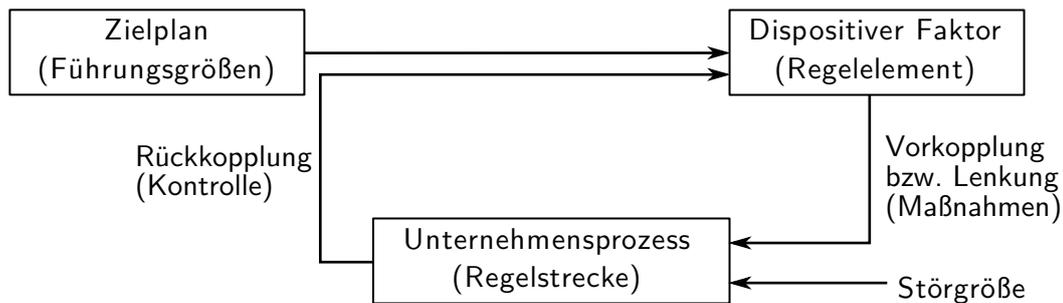


Abbildung 2.9: Einfacher Regelkreis aus Maßnahmen und Kontrolle in Anlehnung an [Ossadnik 2008]

Ein zentrales Merkmal im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die zeitliche Reichweite des zu erstellenden Plans. Hierüber lassen sich die Ebenen der Strukturen miteinander verknüpfen, worauf Abschnitt 2.4.3 näher eingeht. Mit steigender zeitlicher Reichweite sinkt in der Regel die Verlässlichkeit der entscheidungsrelevanten Informationen. Daher werden Planungen hinsichtlich ihrer Planreichweiten unterschieden, um die Art der Planung und deren Anforderungen zu unterscheiden [Klein u. Scholl 2011].

Die Einteilung des Zeithorizonts ist dabei nicht immer einheitlich. Nach [Bronner 2001] können z. B. die folgenden fünf Planungshorizonte unterschieden werden:

- Zielplanung (4–8 Jahre)
- Strategische Planung (2–4 Jahre)
- Operationsplanung (1–2 Jahre)
- Aktionsplanung (0,5–1 Jahr)
- Produktionsplanung (0–0,5 Jahr)

Planungen mit einem Horizont von mehr als acht Jahren bezeichnet [Bronner 2001] als Vision. Ergänzend zum Zeithorizont findet sich auch die Unterscheidung in strategische, taktische und operative Planung, womit die sachliche Reichweite gemeint ist [Klein u. Scholl 2011]. Für die vorliegende Arbeit soll unabhängig von konkreten Planungshorizonten lediglich zwischen kurz- und langfristiger Planung und Entscheidung unterschieden werden. Die Regelkreise sollen daher für verschiedene Fristigkeiten gültig sein.

2.4.2 Regelkreise der Strukturveränderung

Planung und Konzeption von Veränderungen der Produkte und deren Strukturen erfolgen im Rahmen der Produktentwicklung. Hierbei wird zwischen Weiter- und Neuentwicklung unterschieden. Bei der Weiterentwicklung handelt es sich um Varianten- und Anpassungskonstruktionen, bei denen durch eine Verstetigung der Produktentwicklung durch Beibehaltung von elementaren Lösungsprinzipien Aufwand und Risiken minimiert werden können. Bei Neukonstruktionen wird ein Produkt in wesentlichen Teilen neu konstruiert. Dabei werden neue Lösungsprinzipien eingesetzt. Das Redesign kann in diesem Zusammenhang als Zwischenstufe bezeichnet werden. Eine eindeutige Abgrenzung zwischen diesen Konstruktionsarten und den damit verbundenen Veränderungen der Produkte ist jedoch nicht immer möglich [Spur 1994].

In der Regel wird, ausgehend von einer bestehenden Grundkonstruktion mit Standardbaugruppen und -teilen, eine kundenspezifische Variante erzeugt [Eversheim 1997]. Die Festlegung der grundlegenden Struktur erfolgt in einer sehr frühen Phase der Produktentwicklung. Die vollständige Entwicklung einer kundenspezifischen Variante bei variantenreichen Serienprodukten erfolgt bereits vor einem konkreten Kundenauftrag.

In Zusammenarbeit mit dem Marketing und dem Vertrieb werden wesentliche technische Entwicklungsmöglichkeiten erarbeitet. Dabei werden Funktionserweiterungen bestehender Produkte und verfügbare Technologien berücksichtigt. Der überwiegende Anteil besteht jedoch aus Verbesserungen bestehender Produkte, seltener handelt es sich um völlige Neuentwicklungen [Wiendahl 2010]. Neben konkreten Kundenaufträgen können auch interne Entwicklungsaufträge eine Veränderung in der Produktstruktur auslösen [Wiendahl u. a. 2009].

Rückkopplungen innerhalb der Entwicklungsphase und der Nutzungsphase des Produkts dienen dem permanenten Abgleich zwischen den Anforderungen und deren Erfüllung [Engeln 2006; Ehrlenspiel 2009]. [Schäppi u. a. 2005] spricht in diesem Zusammenhang von Reverse Engineering.

Dieses Vorgehen stellt nach [Lindemann u. Baumberger 2006] den typischen Entwicklungsprozess bei variantenreichen Serienprodukten dar: Der Kunde konfiguriert dabei das Produkt aus einem Variantenspektrum. In Abwandlung dazu stellt er den Entwicklungsprozess für individualisierte Produkte vor, wie er in Abbildung 2.10 dargestellt ist. Als besonderes Merkmal sieht er dabei, dass im Rahmen der vorgelagerten Strukturplanung

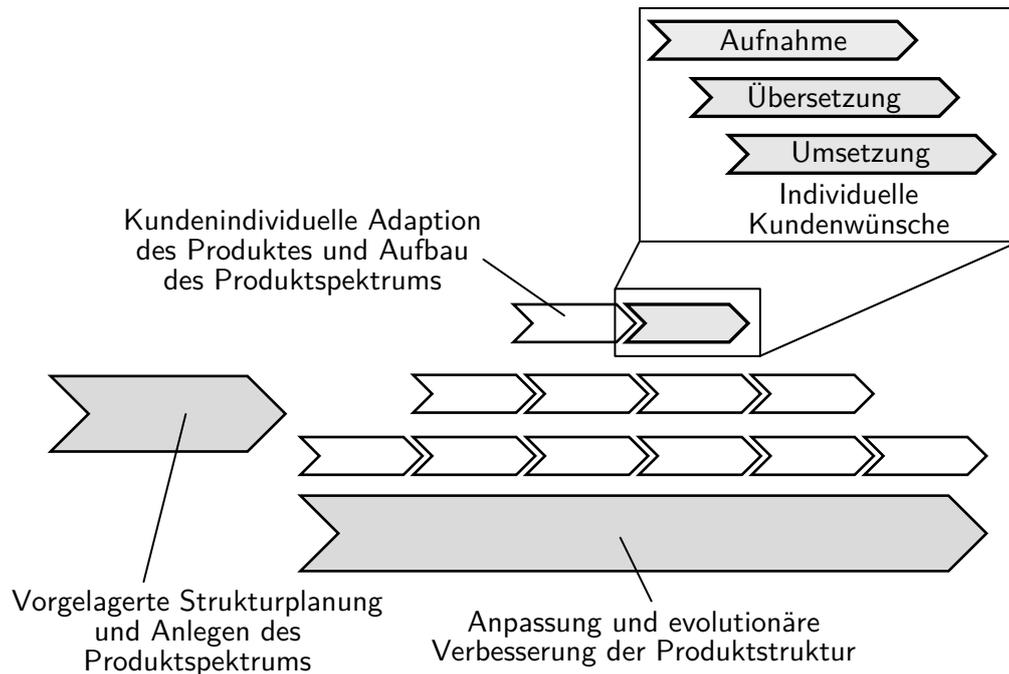


Abbildung 2.10: Kontinuierlicher Entwicklungsprozess bei individualisierten Produkten [Lindemann u. Baumberger 2006]

noch nicht alle Varianten entwickelt werden. Dies erfolgt erst über einen Kundenauftrag mit seinen entsprechenden konkreten Anforderungen und verknüpft dabei standardisierte sowie komplett individuelle Komponenten.

Die Planung von Veränderungen der Strukturen lässt sich über den bereits beschriebenen Regelkreis darstellen, den auch [Dudic 2010] und [Löffler 2011] in ihren Arbeiten aufgreifen und weiterentwickeln. Als Regelstrecke werden jeweils die Produktions- und Produktstrukturen sowie deren Vernetzung genannt. Als Störgrößen gelten übereinstimmend die internen und externen Wandlungstreiber, als Stellgrößen entsprechend Maßnahmen zur Behebung der Regelabweichung.

[Dudic 2010] geht in seiner Arbeit verstärkt auf die Produktentwicklung ein und nennt daher neben dem optimalen Betriebspunkt als Führungsgröße auch den maximalen Kundennutzen. Dementsprechend besteht die notwendige Regelgröße neben den Betriebsdaten auch aus dem Erfüllungsgrad der Kundenwünsche [Dudic 2010]. Diese Zielsetzung entspricht dem von [Lindemann u. Baumberger 2006] oben vorgestellten kontinuierlichen Entwicklungsprozess für individualisierte Produkte. [Löffler 2011] fokussiert in ihrer Arbeit hingegen auf die Wandlungsfähigkeit der Produktionsstrukturen und nennt daher

die Wandlungsbefähiger als Regelgröße. Dennoch soll hier das grundlegende Vorgehen in Form eines Regelkreises zur Veränderung der Produktionsstrukturen übernommen werden.

Für die kontinuierliche Veränderung und Weiterentwicklung der Produktionsstrukturen greift [Aldinger 2009] den Begriff der Fabrikleistungsplanung nach Westkämper auf [Westkämper 2001]. Er grenzt ihn in seiner Arbeit gegenüber der Fabrikplanung sowie der Produktionsplanung und -steuerung ab und versteht darunter die „kontinuierliche Planung der Strukturen im Sinne von eingesetzten Technologien bzw. Art und Menge an Betriebsmitteln, der Ressourcen und Kapazitäten eines Produktionssystems auf Basis des künftig zu erwarteten Marktbedarfs und des daraus für die Produktion resultierenden Stundenaufwands“ [Aldinger 2009, S. 34]. Der Begriff der Leistungsplanung soll im Folgenden für die strukturierte Anpassung der Produktionsstrukturen verwendet werden. Die Produktionsplanung und -steuerung arbeitet mit einer vorgegebenen Produktionsstruktur und grenzt sich dadurch von der kurzfristigen Leistungsplanung ab.

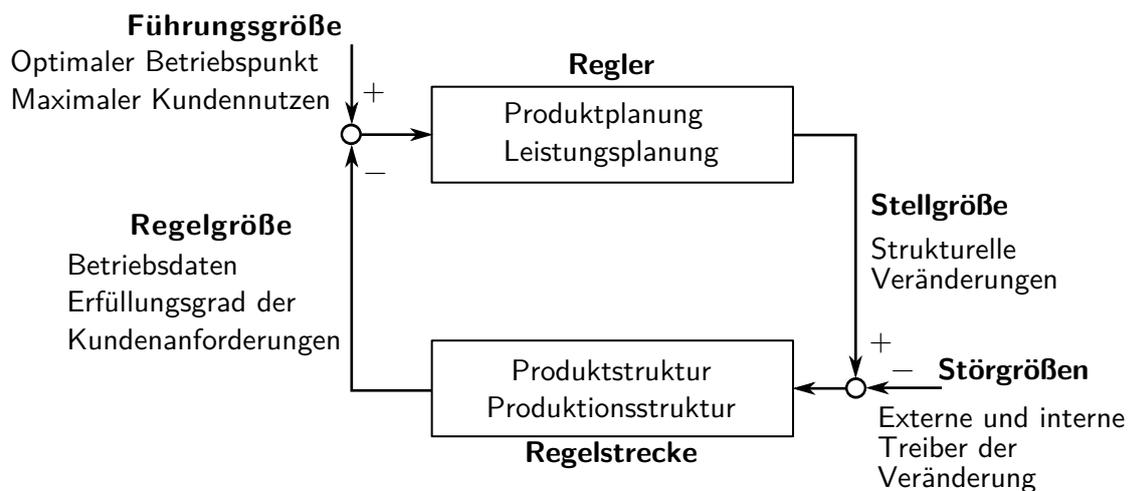


Abbildung 2.11: Strukturveränderungen als Regelkreis

Aufbauend auf diesen Arbeiten, stellt der in Abbildung 2.11 dargestellte Regelkreis die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den Planungsprozessen und den Strukturen dar. Während die Produktplanung alle Entscheidungen auf eine Maximierung der Kundenzufriedenheit ausrichtet, stellt die Zielgröße für die Leistungsplanung der optimale Betriebspunkt der Produktionsstrukturen dar. Da sie auf aktuellen Arbeiten basieren und ebenfalls für die variantenreiche Serienfertigung definiert wurden, werden diese Regelkreise der vorliegenden Arbeit und dem in Kapitel 3 zu entwickelnden Fachkonzept

zugrunde gelegt. Notwendig ist jedoch die Übertragung auf die verschiedenen zeitlichen und strukturellen Skalen, worauf der folgenden Abschnitt eingeht.

2.4.3 Mehrskalige Synchronisierung der Strukturen

Der im vorangehenden Abschnitt vorgestellte Regelkreis bezieht sich sowohl auf Veränderungen mit kurzfristiger als auch mit langfristiger Wirkung. Die Veränderungen finden jedoch auf unterschiedlichen Ebenen innerhalb der jeweiligen Strukturen statt. Eine Verknüpfung findet über die Skala der Zeit statt. Entsprechend der Fristigkeit werden bei den Entscheidungen zu Strukturveränderungen unterschiedliche Ebenen adressiert. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.12 dargestellt und baut dabei auf den Arbeiten von [Aldinger 2009] und [Westkämper 2001]. Mit berücksichtigt werden dabei die bereits beschriebenen Produkt- und Produktionsstrukturen.

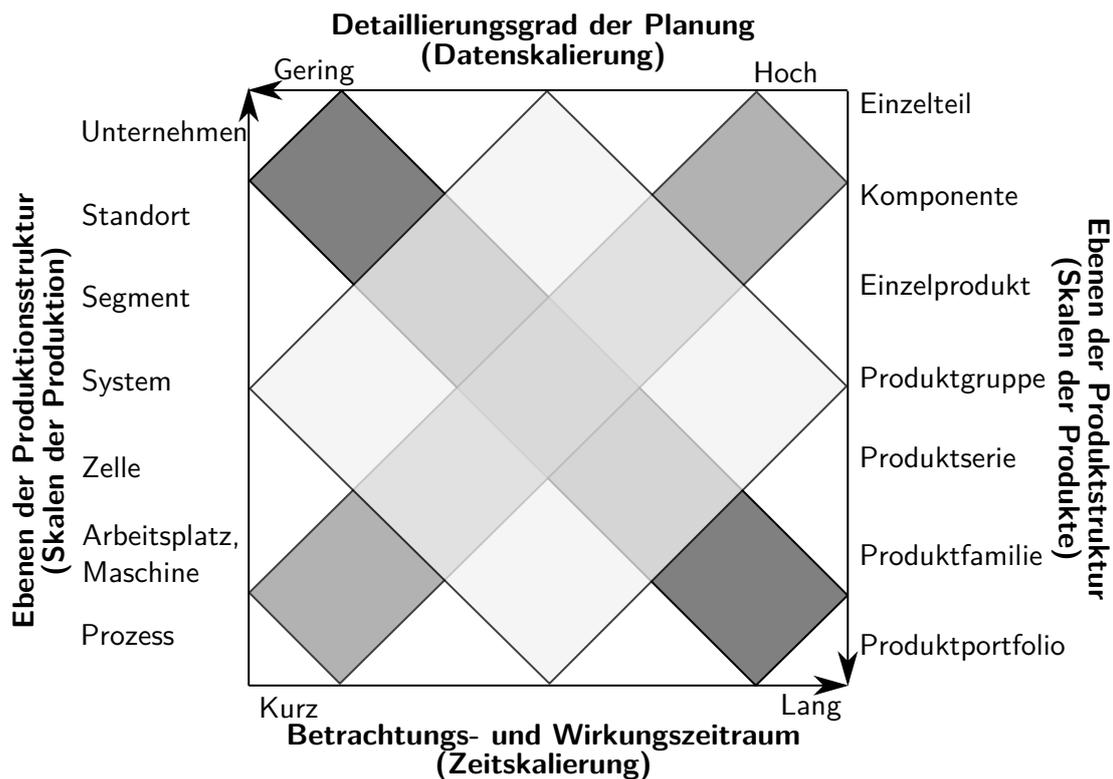


Abbildung 2.12: Zusammenhänge in den Skalen der Planung

Kurzfristige Veränderungen in den Strukturen finden demnach z. B. auf Ebene der Arbeitsplätze und Einzelteile statt. Mit zunehmender Fristigkeit werden höhere Ebenen durch die Entscheidungen adressiert. Besonders langfristige Wirkung haben z. B.

Technologien oder Standortplanungen. Mit zunehmender Fristigkeit sinkt gleichzeitig die Genauigkeit der Daten, die der Entscheidung zugrunde liegen. Aufgrund unternehmensspezifischer Fristigkeiten wird auf die mittelfristigen oder taktischen Entscheidungen nicht weiter eingegangen. Der Übergang wird als fließend gesehen.

Als Hilfsmittel zum Abgleich der Bereichsplanungen in produzierenden Unternehmen eignet sich das Technologie-Roadmapping. In Abhängigkeit von der spezifischen Aufgabe haben sich verschiedene spezifische Varianten entwickelt. [Abele 2006] hat diese eingehend untersucht und miteinander verglichen. Für eine rollierende Planung geeignet ist der in Abbildung 2.13 dargestellte Technologiekalender nach Westkämper. [Burgstahler 1997] beschreibt diesen eingehend in seiner Arbeit und baut ihn zum Instrument für eine Synchronisierung von Produkt- und Produktionsplanung aus.

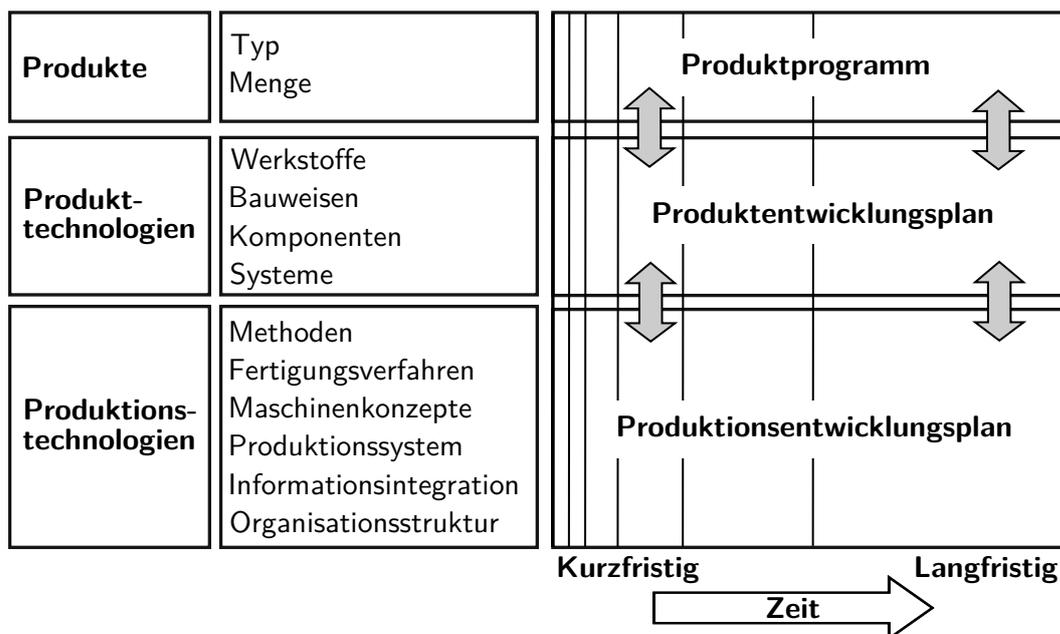


Abbildung 2.13: Grundmodell eines Technologiekalenders [Westkämper u. a. 2010]

Entscheidungen in einer rollierenden Planung sind dabei nur für die jeweils folgende Periode verbindlich, alle anderen sind vorläufiger Natur. Je weiter die Zeitperiode in der Zukunft liegt, desto geringer sind die Anforderungen an die Genauigkeit. Durch regelmäßige Aktualisierung der Daten und die Rückkopplung der Ergebnisse aufgrund vergangener Vorgaben erfolgt eine schrittweise Konkretisierung der Daten in den einzelnen Perioden, bis sie letztendlich als verbindlich gelten [Kistner u. Steven 2001].

Der Grundaufbau des Technologiekalenders unterscheidet in der senkrechten Auflistung Produkte, Produkttechnologien und Produktionstechnologien. Auf der horizontalen Achse wird der Zeitraum abgetragen, der für die Untersuchungen herangezogen wird. Auf diese Weise lassen sich übergreifende Strategien formulieren und gegeneinander abgrenzen, wobei die Verfügbarkeit und Anwendungsreife der Technologien berücksichtigt werden [Bullinger u. a. 2003]. Im Rahmen der jährlichen Geschäftsplanung können so mögliche Investitions- und Entwicklungsprojekte identifiziert und vorbereitet werden.

[Löffler 2011] verwendet den Technologiekalender zur Synchronisierung von Veränderungen in Produkt- und Produktionsstrukturen. Dabei fließen neben den geplanten Produktmengen der kommenden Jahre auch die technologischen Veränderungen mit ein. Er wird somit zum Hilfsmittel für eine mehrskalige Synchronisierung von Veränderungen.

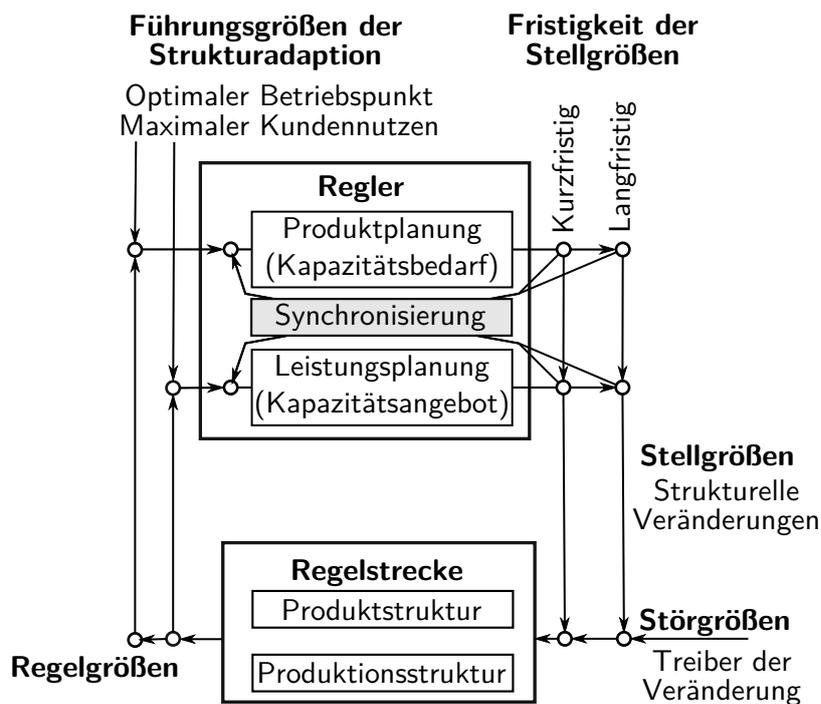


Abbildung 2.14: Mehrskalige Regelkreise der Strukturveränderung

Auf dieser Grundlage soll der Regelkreis, wie er im vorangehenden Abschnitt beschrieben wurde, differenzierter dargestellt werden. Wie in Abbildung 2.14 zu sehen, werden zum einen die Produktplanung und die Leistungsplanung als separate Tätigkeiten gesehen. Diese sind jedoch zeitlich und inhaltlich synchronisiert. Dadurch lassen sich auch die Führungsgrößen den jeweiligen Planungen direkt zuordnen. Als Regelglieder agieren

sie gemeinsam und erzeugen strukturelle Veränderungen mit kurz- und langfristiger Wirkung. Diese beziehen sich dabei auf verschiedene Ebenen in den Produkt- und Produktionsstrukturen. Gemeinsam mit der Zeit stellen diese die Skalen dar. Diese mehrskaligen Regelkreise der Strukturveränderung dienen als Ausgangspunkt für das Fachkonzept im folgenden Kapitel.

2.5 Ansätze zur Beeinflussung des produktspezifischen Kapazitätsbedarfs

Im Folgenden sollen relevante Arbeiten vorgestellt und hinsichtlich der Problemstellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit analysiert werden. Zunächst werden die methodischen und anschließend die informationstechnischen Ansätze vorgestellt.

2.5.1 Methodische Ansätze

[Neuhausen 2001] stellt in seiner Arbeit eine Methodik vor, mittels derer modulare Produktionssysteme gestaltet werden können. Besonderer Fokus liegt auf der Berücksichtigung von kundenseitig induzierter Produktvarianz. Im Rahmen der Methodik werden Produkte innerhalb eines Produktprogramms mittels Merkmalen und deren Ausprägungen eindeutig beschrieben. Diese werden in Form eines Merkmalsbaums und Stückzahlverteilungen dargestellt und ausgewertet. Im Ergebnis der Arbeit stehen generische Maßnahmen für eine weitergehende Konkretisierung im Rahmen einer Produkt- und Produktionsentwicklung. Die Bewertung erfolgt über ein variantensensitives Bewertungsmodell. Herausforderungen im Bereich der kapazitiven Auslegung der Produktion werden genannt, aber nicht vertieft behandelt. Weiterverwendet werden sollen die Ansätze zur Strukturierung des Produktprogramms mittels Merkmalen, wobei jedoch andere Anforderungen zu integrieren sind.

[Winter 2010] entwickelt in seiner Arbeit ein Entscheidungsmodell für eine simultane strategische Produktionsplanung beim Vorliegen unvollständiger Informationen. Hierbei separiert er zunächst die strategische Produktionsprogrammplanung, die strategische Kapazitätsplanung und die Standortplanung. Im Rahmen einer isolierten Betrachtung beschreibt er umfangreich die zugrundeliegenden Modelle und den aktuellen Stand der

Forschung, um anschließend einen Ansatz für die Simultanplanung vorzustellen. Hierbei greift er Methodiken aus dem Bereich der linearen Programmierung auf und entwickelt sie weiter. Die Arbeit unterstreicht den Bedarf an Lösungsansätzen für eine langfristige und bereichsübergreifende Planung von Kapazitäten und stellt ein ganzheitliches Modell vor. Allerdings wird der Dynamik der Veränderungen in Form von unvollständigen Informationen hier mit einem erweiterten Planungsansatz und Entscheidungsmodell begegnet. Seine Zielsetzung unterscheidet sich damit von der vorliegenden Arbeit, ergänzt diese jedoch bei der Lösung der grundlegenden Problematik der Entscheidungsfindung.

Als Beispiel für die Ansätze zur Beeinflussung der Produktionsauslastung aus dem Bereich der Produktentwicklung dient [Zagel 2006]. In seiner Arbeit zur Strukturierung variantenreicher Produkte und iterativen Produktstruktur-Optimierung geht er auch auf Aspekte der Wechselwirkung zwischen Produktstruktur und Montage ein. Hierfür werden die Montagedauer und der Montageaufwand bewertet. Als Vereinfachung wird dabei angenommen, dass jeder Einbauschritt eine fest konfigurierte Dauer hat. Diese Vereinfachung wurde getroffen, um eine frühzeitige Bewertung alternativer Produktstrukturen im Rahmen der Produktentwicklung vornehmen zu können. Die Bewertung wird für die in dieser Arbeit vorliegende Problemstellung und Zielsetzung als zu grob angesehen und weist darüber hinaus keine Möglichkeiten für eine Skalierung auf.

Auch im Bereich des Operations Research existieren Ansätze, die auf eine proaktive Beeinflussung des Kapazitätsbedarfs abzielen. Hierfür werden unterschiedliche Variablen und Zielsetzungen definiert. Das Modell befasst sich mit dem Entscheidungsproblem der Beschäftigungsglättung. Ziel ist dabei, eine optimale Abstimmung von Kapazitätsbedarf und -angebot zu finden. Mittels linearer Optimierung soll diejenige Produktionsmenge bestimmt werden, bei der die Lagerkosten und die Kosten für Zusatzkapazität in Summe minimal werden [Günther u. Tempelmeier 2012]. Dabei wird auch die Produktstruktur und deren kapazitive Belastung der Produktion berücksichtigt. Hinzu kommen zeitliche Aspekte in Form von Vorlaufperioden für die Produktion von Produktelementen. Die Modelle behandeln somit Teilaspekte der vorliegenden Arbeit. Notwendig ist jedoch die Übertragung auf die mehrskalige Anwendung und insbesondere die Einbettung in einen kontinuierlichen Entscheidungsprozess.

Ein Modell für die Verknüpfung von Produkt- und Produktionsstrukturen stellt [Dudic 2010] in seiner Arbeit vor. Er identifiziert das Produkt als einen zentralen Treiber von Veränderungen und stellt es dem Lebenszyklus der Fabrik gegenüber. Hierzu stellt er fest,

dass bestehende Ansätze des Fabrik Life Cycle Managements produkt- und marktseitige Stellhebel zur Optimierung außer Acht lassen. Den zugehörigen Regelkreis erweitert er daher und nennt z. B. die konstruktive Produktausprägungen als Steuergröße für die Regelstrecke Produktionssystem. Das Modell implementiert er in einem digitalen Werkzeug. Der Autor verfolgt gleichsam der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit eine wirtschaftliche Optimierung der Nutzung bestehender Anlagen und nennt das Produkt als wesentlichen Stellhebel. Dabei geht er auch auf kapazitive Zusammenhänge ein und nutzt zur Bewertung der Produkte die Kennzahl EHPV (Engineered Hours per Vehicle), die in der Automobilindustrie zunehmend Verbreitung findet. Der Lösungsansatz greift aber auf der Kostenseite an und zielt nicht auf eine mehrskalige Verwendung. Seine detaillierte Auswertung von Ansätzen zur produktionsgerechten Produktgestaltung bestätigt den eingangs beschriebenen Mangel von Ansätzen zur systematischen Berücksichtigung der produktbedingten Kapazitätsbelastung in der Produktplanung und deren gezielten Beeinflussung.

[Schuh u. a. 2012] beschreiben mit dem Produktarchitektur-Entwicklungsprozess eine Vorgehensweise, mit der Kommunalitäten, also Gleichheiten, in Produkten und Prozessen systematisch gestalten werden können. Den Unternehmen soll eine Möglichkeit gegeben werden, gezielt die Modularisierung ihrer Produkte zu gestalten, um Skaleneffekte in der Produktion zu erzielen. Der Prozess wird iterativ als Kreisprozess ausgelegt und besteht aus insgesamt neun Einzelprozessen. Ausgangspunkt ist ein Zielsystem, das neben den Produkthanforderungen auch die Produktion einbezieht. Im weiteren Verlauf wird konsequent die kapazitive Wechselwirkung von Produkt und Produktion berücksichtigt. Dabei wird auch auf die Sensitivität der Prozesse hinsichtlich von Produktmerkmalen und deren Herstellungskosten eingegangen [Schuh u. a. 2012]. Dieser Ansatz ermöglicht eine frühzeitige Beeinflussung der Produktion durch eine zielgerichtete Produktentwicklung. Die Zielsetzung stimmt grundsätzlich mit der vorliegenden Arbeit überein und beabsichtigt auch die Beherrschung der Variantenvielfalt. Der Lösungsansatz greift jedoch direkt in den Produktentwicklungsprozess ein und modifiziert diesen. Die vorliegende Arbeit ergänzt diese, um die Problemstellung zu lösen.

[Huber 2011] geht in seiner Arbeit auf die verschiedenen Detaillierungsgrade der Produktionsplanung ein und beschreibt die Verwendung von Systemen für die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) in den unterschiedlichen Planungshorizonten. Im Rahmen einer Analyse kommt er zu dem Schluss, dass diese Systeme nicht für die mittel- bis langfristige Unterstützung von Aufgaben der Produktionsplanung geeignet sind, da die Daten

einer permanenten Veränderung unterliegen. Übereinstimmend mit der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nennt er grundlegende Möglichkeiten, die kapazitive Belastung bereits frühzeitig und aktiv durch Vertrieb und Produktentwicklung zu beeinflussen. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Schlussfolgerungen und Forderungen, die in das Rahmenkonzept der vorliegenden Arbeit einfließen sollen.

[Jander 2012] behandelt das Thema Zeitspreizung und deren Auswirkungen auf den Montageprozess bei einem großen Automobilhersteller. Aufgrund der hohen und steigenden Variantenzahl der Produkte wurde nach Lösungsmöglichkeiten für die Reduzierung der Zeitspreizung gesucht und der Produktentwicklung das größte Potenzial zugesprochen. Entsprechend erarbeitet der Autor eine Methodik zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung mit Fokussierung auf die Montagebereiche in der variantenreichen Serienfertigung. Bestehende Ansätze zur montagegerechten Produktgestaltung stuft er als unzureichend hinsichtlich einer Reduzierung der Zeitspreizung ein. Im Rahmen der Datenbeschaffung geht er auf Produktmerkmale mit Einfluss auf die Prozesszeit ein und wertet diese aus. Dabei greift er jedoch auf eine manuelle Datenerfassung zurück. Im weiteren Verlauf wird noch eine Kennzahl zur Bewertung von Produkten hinsichtlich der Zeitspreizung entwickelt und deren Implementierung in der Produktentwicklung behandelt. Der Autor greift mit der Zeitspreizung eine aktuelle Thematik auf, die in der vorliegenden Arbeit relevant ist. Hieraus kann zunächst der grundsätzliche Bedarf für neue Ansätze in diesem Bereich abgeleitet werden. Ihm gelingt auch die Integration der Thematik in den Produktentwicklungsprozess. Er fokussiert jedoch nicht auf die kontinuierliche Datenerfassung und deren skalenübergreifende Auswertung.

Auch wenn die Ideen und Konzepte des Supply Chain Managements (SCM) auch für mittelständische Unternehmen und die vorliegende Zielsetzung geeignet scheinen, so scheitert deren Umsetzung doch an knappen finanziellen und personellen Ressourcen. Für einen mittelstandspezifischen SCM-Ansatz wird gefordert, dass er die Ausrichtung der Produktion auf Absatzmarktnähe und Fertigungsflexibilität unterstützt und über einfache Planungs- und Steuerungsverfahren umgesetzt werden kann [Kuhn u. a. 2010].

2.5.2 Erlösorientierte Absatzgestaltung

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellte mehrskalige Belastungsregelung zielt auf die aktive Beeinflussung der Kapazitätsauslastung ab. Ein Stellhebel liegt hier auch

im Vertrieb, indem entsprechend aktuellen Auslastungsprognosen die Vertriebstätigkeiten derart gelenkt werden, dass eine gleichmäßig hohe Auslastung aller Elemente in der Produktionsstruktur möglich ist. Hierbei kann eine erlösorientierte Absatzgestaltung eingesetzt werden, die im Folgenden näher beschrieben und hinsichtlich der vorliegenden Anforderungen bewertet wird.

In den späten 1970er-Jahren erfolgte die Deregulierung des US-amerikanischen Luftverkehrmarktes. Fluggesellschaften konnten hierdurch frei über angebotene Flugstrecken und Ticketpreise entscheiden. Über eine sogenannte Preisdifferenzierung versuchten etablierte Fluggesellschaften die Billig-Konkurrenz zu verdrängen. Hierfür boten sie zusätzlich zum Normaltarif einen günstigeren, aber auch restriktiven Spezialtarif an, um ansonsten nicht genutzte Kapazitäten auf schlecht ausgelasteten Flügen zu verwerten.

Die Preisdifferenzierung hatte die Entwicklung von Prognosesystemen zur Folge sowie das Instrument der Kapazitätssteuerung. Gerade Letzteres gilt als Kern und eigentliche Innovation der erlösorientierten Absatzgestaltung, dem sogenannten Revenue Management. Weitere Einsatzbereiche sind heute die Hotelindustrie oder Autovermietungen. Aufgrund der anfänglichen Entwicklung des Revenue Managements im Bereich des Luftverkehrs wird häufig auch von Yield Management gesprochen. Dort bezeichnet man mit Yield den je Passagier und geflogener Meile durchschnittlich erzielten Erlös. In der betrieblichen Praxis hat sich jedoch der Begriff Revenue Management durchgesetzt [Klein u. Steinhardt 2008].

Eine Definition, die das Konzept des Revenue Managements kurz und bündig beschreibt, existiert bisher nicht. Vorhandene Definitionen beziehen sich oftmals stark auf einen Anwendungsfall und sind daher nicht umfassend genug. Vielmehr soll anhand von vier Kriterien und Voraussetzungen für die Anwendung des Konzeptes des Revenue Managements umrissen werden [Müller-Bungart 2007]. Diese lauten nach [Klein u. Steinhardt 2008]:

- Die Leistungserstellung erfordert die Integration eines *externen Faktors*, der durch den Leistungsnachfrager in den Erstellungsprozess eingebracht werden muss. Dabei kann es sich um den Nachfrager selbst oder eines seiner Verfügungsobjekte handeln.
- Die *operative Flexibilität* der zur Leistungserstellung bereitgestellten Ressourcen ist eingeschränkt. Dies bedeutet, dass sich ihre Kapazitäten nicht in ausreichendem Maße anpassen lassen, um eine Angleichung

an die aufgrund der Nachfrage schwankenden Kapazitätsbedarfe zu erreichen.

- Beim Kauf bzw. Konsum der angebotenen Leistungen ist ein *heterogenes Nachfragerverhalten* zu beobachten. So besitzen Nachfrager unterschiedliche Präferenzen bzgl. des Zeitraums zwischen Erwerb und Inanspruchnahme der Leistung sowie des Umfangs der erwünschten Leistung und verfügen über unterschiedliche individuelle Zahlungsbereitschaften.
- Das Leistungsprogramm muss die Definition von *standardisierten Produkten* ermöglichen, die entweder hinsichtlich ihrer eigentlichen Gesamtleistung standardisiert sind oder sich aus ebenfalls standardisierten Teilleistungen zusammensetzen. Darüber hinaus müssen die Produkte wiederholt, d. h. i. d. R. über einen längeren Zeitraum, angeboten werden.

Diese Aufzählung beschreibt die Rahmenbedingungen, innerhalb derer das Revenue Management eingesetzt werden kann und seine volle Leistungsfähigkeit entfaltet. Werden einzelne Aspekte nicht erfüllt, sind alternative Instrumente zu prüfen. So ist bei einer kundenanonymen Produktion der Kunde als externer Faktor nicht relevant und Bestandspuffer können als Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage eingesetzt werden. Die notwendige Standardisierung der Produkte dient dazu, Prognosen und darauf aufbauende Entscheidungen zu ermöglichen [Müller-Bungart 2007].

Eine eindeutige Trennung zwischen Anwendungsvoraussetzung und Instrumenten des Revenue Managements ist nicht immer möglich. [Saatmann 2008] stellt daher in seiner Arbeit heraus, dass die folgenden Instrumente den Kern des Revenue Managements darstellen:

- Segmentierung und Preisdifferenzierung
- Prognose
- Kapazitätssteuerung
- Annahmeentscheidung und Überbuchung

Abbildung 2.15 stellt die Struktur des Revenue Managements und die Interaktion der vier Elemente grafisch dar.

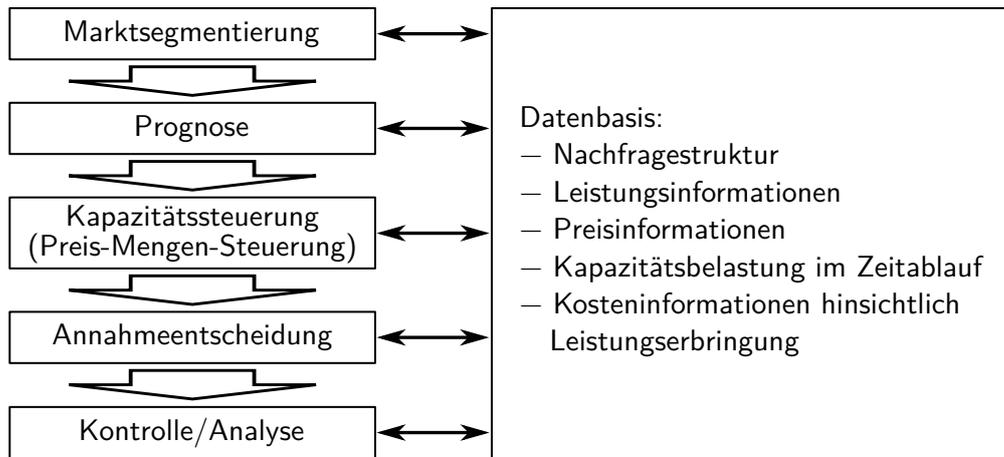


Abbildung 2.15: Struktur des Revenue Managements [Saatmann 2008]

Hinsichtlich der Entscheidungsebenen unterscheidet [Kimms u. Klein 2005] im Revenue Management zwischen der taktisch-operativen und der strategisch-taktischen Ebene. Auf der taktisch-operativen Entscheidungsebene wird, ausgehend von einem gegebenen Leistungsprogramm und bestimmten zur Verfügung stehenden Kapazitäten, das Revenue Management und seine Elemente und Instrumente im eigentlichen Sinne angewandt. Ziel ist dabei die Maximierung des Gewinns bei vorliegenden Kapazitäten und ihrer Nutzbarkeit.

Auf der strategisch-taktischen Ebene werden die Instrumente des Revenue Managements um die Leistungsprogrammplanung und die grundlegende Kapazitätsangebotsplanung erweitert. Zu den Zielen auf dieser Ebene zählt die grundsätzliche Steigerung der Kapazitätsauslastung [Kimms u. Klein 2005]. Da hier unter Umständen ein Konflikt mit der angestrebten Gewinnmaximierung der operativ-taktischen Ebene besteht, ist eine ganzheitliche Betrachtung nicht nur sinnvoll, sondern zwingend notwendig.

Aufgrund der Auftragsbezogenheit der in dieser Arbeit betrachteten Produktionsumgebung und der überwiegend nicht lagerfähigen Leistungen, die dort erzeugt werden, lassen sich primär dienstleistungsbezogene Konzepte wie das Revenue Management auch auf die in dieser Arbeit betrachteten Unternehmen mit vorwiegender Sachgüterproduktion übertragen [Saatmann 2008].

[Höck 2005] untersucht in seiner Arbeit die Gemeinsamkeiten in der Leistungserstellung bei Dienst- und Sachleistungen und nennt folgende Charakteristika, die den Einsatz des Revenue Managements möglich machen:

- Relativ fixe Kapazitäten
- Hohe sprungfixe Kosten der Kapazitätsanpassung
- Geringe Grenzkosten der Leistungserstellung
- Verderblichkeit der Kapazitäten
- Hohe Volatilität der Nachfrage

Diese entsprechen im Wesentlichen dem eingangs beschriebenen Umfeld, in dem produzierende Unternehmen agieren. Die Verderblichkeit der Kapazitäten bezieht sich zunächst vorwiegend auf Dienstleistungen, da diese nicht lagerfähig sind. Unter Berücksichtigung der steigenden Variantenvielfalt und Individualisierung von Produkten trifft dies jedoch auch zunehmend auf Sachleistungen zu.

[Saatmann 2008] stellt im Ergebnis seiner Untersuchungen zu den Einsatzmöglichkeiten des Revenue Managements bei einem Automobilhersteller fest, dass die Kapazitätsplanung durch die Glättung der Nachfrage und eine folglich gleichmäßigere Auslastung der eigenen Fertigungsanlagen erleichtert wird. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch Untersuchungen im Bereich der Auftragsfertigung [Sucky 2009].

Kurzfristige Änderungen in der Fahrzeugkonfiguration durch den Kunden haben für den Primärbedarf des Original Equipment Manufacturer (OEM) kaum Änderungen in der Höhe, dafür aber in der Zusammensetzung zur Folge. Modulare Bauweisen reduzieren die Auswirkungen auf die Auslastung der Fertigungseinrichtungen. Zulieferer hingegen haben mit stark schwankenden Abrufen und kurzfristigen Änderungen zu kämpfen, was durch steigende Variantenvielfalt und Komplexität weiter verstärkt wird. Das Revenue Management bietet hier Hilfestellung zur Beruhigung der Nachfrage und zur Erhöhung der Qualität der Planungsdaten für Zulieferer in einer Build-to-Order-Supply-Chain. Insgesamt können vorwiegend bei den Zulieferern, aber auch beim OEM Komplexitäts- und Flexibilitätskosten um bis zu 50 % über stabilere und länger vorliegende Bedarfsinformationen gesenkt werden. Der Ansatz des Revenue Managements erscheint aus der Marktperspektive grundsätzlich implementierbar und aus der Produktionsperspektive ökonomisch vorteilhaft [Saatmann 2008].

Die bisherigen Untersuchungen zu den Einsatzmöglichkeiten des Revenue Managements jenseits der Dienstleistungsproduktion zeigen ein grundsätzliches Potenzial für die aktive Beeinflussung der Kapazitätsbelastung. Allerdings werden hierbei die externen Treiber der Veränderung beeinflusst. Hieraus ergeben sich jedoch keine konkreten Ansatzpunkte

für eine Veränderung der Produkte bzw. der Sachleistungen und somit der internen Treiber.

2.5.3 Informationstechnische Ansätze

Business Intelligence als informationstechnisches Rahmenkonzept wird von [Laqua 2012] aufgegriffen und zur systematischen Analyse der Produktion herangezogen. Die Umsetzung eines entsprechenden Cockpits wurde in einem Produktionsunternehmen durchgeführt und dient der detaillierten Auswertung von Fertigungsaufträgen. Hierüber lassen sich Aussagen zu Durchlaufzeiten in Abhängigkeit vom Produktprogramm tätigen. Die Vorteile von Lösungen aus dem Bereich Business Intelligence für den Bereich der Produktion werden herausgestellt [Laqua 2012]. Der Autor betont, dass insbesondere bei mangelhafter Datengrundlage die Fehler für den Anwender schneller sichtbar werden. Hier herrscht eine Übereinstimmung bei grundlegenden Themen mit der vorliegenden Arbeit. Der Autor befasst sich im Detail jedoch mit dem operativen Bereich der Auftragssteuerung sowie dessen eingehender Analyse auch von Fragestellungen zur Kapazität.

Mit dem echtzeitfähigen Fabrik-Cockpit stellen [Kapp u. a. 2006] eine umfassende Lösung zur Unterstützung von produktionsorientierten Planungen bereit. Hierfür werden Daten aus den operativen Systemen in eine zentrale Datenbank geschrieben und mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad visualisiert. Darüber hinaus werden Module zur Prognose, Montagekonfiguration und Layoutplanung implementiert und angebunden [Kapp u. a. 2006]. Ein weiteres Modul zur Simulation der logistischen Leistung stellt [Kapp 2011] in seiner Arbeit vor und geht dabei auch auf die Datenerfassung im operativen Bereich ein. Die Auswertung kann dabei ebenfalls über das Fabrik-Cockpit erfolgen.

Die Zielsetzung des Fabrik-Cockpits bezieht sich auf die Weiterverwendung operativer Daten für Planungen im Bereich der Produktion. Im Kern entspricht dies daher dem Ansatz einer kontinuierlichen Anpassung der Produktion an die sich ändernden Rahmenbedingungen. Daher liegt der Fokus weniger auf der analytischen Betrachtung der Daten hinsichtlich der kapazitiven Zusammenhänge von Produkt und Produktion, sondern vielmehr auf der Bereitstellung einer Datengrundlage für Aufgaben der Fabrikplanung und des Fabrikbetriebs. Die Grundzüge des entsprechenden Datenmodells werden im Folgenden vorgestellt.

Ein Datenmodell für die durchgängige Datennutzung in Fabrikplanung und -betrieb stellt [Weimer 2010] in seiner Arbeit vor. Ziel ist es, spezialisierten Werkzeugen aus beiden Bereichen eine gemeinsame, definierte Datenbasis in Form eines Fabrikmodells zur Verfügung zu stellen, das anhand des erarbeiteten Informationsmodells regelbasiert erstellt werden kann. Das Modell berücksichtigt die verschiedenen Skalen in der Fabrik, fokussiert jedoch auf die reine Datenspeicherung von Objekten und deren Eigenschaften für einen diskreten Zustand ohne analytische Aspekte durch eine skalenübergreifende Auswertung und Verknüpfung. Das Modell berücksichtigt darüber hinaus keine Ober- und Untergrenzen im Kapazitätsangebot oder Zusammenhänge von Deckungsbeiträgen und Fixkosten.

Anbieter von kommerzieller Software für MES oder ERP erkennen den Bedarf für eine systematische Analyse der operativen Daten zur Unterstützung der Entscheidungsfindung. Hier hat sich der Begriff Enterprise Manufacturing Intelligence (EMI) etabliert. Das Unternehmen SAP AG[®] z. B. bietet das Produkt SAP Strategic Enterprise Management[®] und beabsichtigt damit, die Lücke zwischen strategischer und operativer Planung zu schließen. Als Schnittstelle dient das SAP Business Information Warehouse[®] in Verbindung mit dem SAP Knowledge Warehouse[®] [Mertens u. Meier 2009]. Hinweise auf vergleichbare Funktionalitäten, wie sie in der eingangs beschriebenen Zielsetzung gefordert wurden, konnten jedoch nicht gefunden werden.

[Heinz u. a. 2007] behandeln in ihrem Beitrag die vertikale Integration von Software-Systemen im Bereich der Produktion. Ausgehend von einer Analyse bestehender Systeme stellen sie EMI als grundsätzlichen Lösungsrahmen für die Auswertung operativer Daten im Rahmen von strategischen Entscheidungen vor. Um eine flexible Datenverarbeitung kontinuierlich erfasster Daten zu ermöglichen, kommen dabei Public Infrastructure for Processing and Exploring Streams (PIPES) zum Einsatz, die mittels vorgefertigter Datenverarbeitungsoperatoren den Datenstrom für die Auswertung vorbereiten. Diese können über spezielle Konnektoren unmittelbar auf Maschinensteuerungen zugreifen.

[Navrade 2008] untersucht in seiner Arbeit die strategische Planung mit Unterstützung von Data Warehouse-Systemen und erarbeitet ein Konzept für die Unterstützung des Planungsprozesses. Im Fokus steht, die Verknüpfung von Strategieformulierung und -implementierung durch eine fundierte Informationsbasis besser zu integrieren. Für diesen Zweck untersucht der Autor zunächst den Informationsbedarf beider Bereiche und überträgt diesen in ein umfassendes Konzept für ein Data Warehouse und einen

Anforderungskatalog. Dazu gehören zahlreiche Klassendiagramme, in denen Methoden der strategischen Planung abgebildet sind. Die Ergebnisse behandeln die oberste Ebene der strategische Planung im Unternehmen und weisen keinen unmittelbaren Bezug zu untergeordneten Planungszyklen auf. Somit kann die Arbeit als Beleg für die grundlegende Eignung von Data Warehouses als Entscheidungsgrundlage im Bereich der strategischen Planung für die vorliegende Arbeit verwendet werden. Die eingangs formulierte Zielsetzung einer skalenübergreifenden Planung wird jedoch nicht adressiert.

[Lasi 2009] beschreibt in seiner Arbeit ein IT-basiertes Integrationskonzept zur Unterstützung von Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen. Ziel ist es, das kundenorientierte Produktwissen permanent strukturiert zu erfassen und den produktorientierten Bereichen, also Produktentwicklung und Produktion, zur Verfügung zu stellen. Ausgehend von den Ergebnissen einer Befragung von Entscheidungsträgern, entwickelt der Autor ein Konzept und validiert dieses in mehreren Anwendungsfällen.

Die verfügbaren Informationssysteme für die Entscheidungsunterstützung im Schnittbereich von Produkt- und Produktionsstrukturen hat [Dudic 2010] in seiner Arbeit eingehend untersucht. Darin werden Produkte als unveränderliche Treiber der Veränderung gesehen. Aufgrund mangelnder Ansätze, die diese Einschränkung aufheben, entwickelt er ein Entscheidungsunterstützungssystem mit der oben beschriebenen Methodik. Zu den Ausgangsmodellen im System gehören der Markt-, das Produkt- und das Montagesystemmodell. Die Bewertung der unterschiedlichen Maßnahmen für eine Synchronisierung der Modelle erfolgt auf Grundlage der Stückkosten. Als Entscheidungsunterstützung wird daher durch die Auswertung unterschiedlicher Szenarien das stückkostenminimalste Szenario ermittelt. Damit setzt der Autor bei den Produktkosten an, um die Vorteilhaftigkeit einer Strukturausprägung zu bewerten. Zur Ableitung konstruktiver Maßnahmen stellt er die Anteile der Montagezeit, die durch die Produktentwicklung definiert werden (Engineered Hours per Vehicle), sowie die Stückkosten dem Kundennutzen gegenüber. Das Entscheidungsunterstützungssystem von [Dudic 2010] ist deshalb für die vorliegende Arbeit weniger relevant.

2.6 Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel beschreibt neben den Grundlagen und dem Stand der Forschung die Rahmenbedingungen, innerhalb derer die mehrskalige Belastungsregelung integriert

werden soll.

Die Veränderungen in den Produkt- und Produktionsstrukturen können modellhaft als Regelkreis beschrieben werden. Die Strukturen stellen die Regelstrecke dar, während die zugehörigen Planungsbereiche als Regler agieren. Zielgrößen sind die Kundenzufriedenheit in der Produktplanung und der optimale Betriebspunkt in der Produktionsplanung.

Die Regelung erfolgt innerhalb verschiedener Zeitskalen und betrachtet jeweils spezifische Ebenen in den Strukturen. Während langfristige Veränderungen oft im Zusammenhang mit Technologien stehen, behandeln kurzfristige die Ausgestaltung von Art und Menge von Einzelteilen sowie die Gestaltung von einzelnen Prozessen.

Die Untersuchungen zum Stand der Forschung haben keinen Lösungsansatz identifizieren können, der die eingangs beschriebene Problemstellung und Zielsetzung erfüllt. Zwar liegen einige Teillösungen vor, ein umfassender Ansatz zur frühzeitigen Beeinflussung der kapazitiven Belastung im Rahmen einer kontinuierlichen Produktplanung fehlt jedoch bislang. Diesem Mangel wird im folgenden Kapitel nachgegangen.

3 Konzipierung der mehrskaligen Belastungsregelung

Produzierende KMU mit einer variantenreichen Serienfertigung stehen im Fokus der vorliegenden Arbeit. Mithilfe einer mehrskaligen Belastungsregelung sollen sie in die Lage versetzt werden, eine mangelnde Anpassungsfähigkeit der Produktionsstrukturen gezielt auszugleichen. Das vorliegende Kapitel greift diese Zielsetzung auf und beschreibt dafür notwendige Konzepte.

3.1 Fachkonzept – Mehrskalige Belastungsregelung

Die Regelkreise, die in Kapitel 2 vorgestellt wurden, sollen zur mehrskaligen Belastungsregelung erweitert werden. Das Vorgehen wird im folgenden Fachkonzept beschrieben.

3.1.1 Erweiterung bestehender Regelkreise der Strukturveränderung um Führungs- und Hilfsregelgrößen

Als Ausgangspunkt für die Regelung der kapazitiven Belastung der Produktion dienen die Regelkreise der permanenten Strukturadaptation und die zugehörigen Arbeiten, wie sie in Kapitel 2.4 vorgestellt wurden. Zu den elementaren Bestandteilen zählen neben dem Regler und der Regelstrecke die Führungs-, Stell-, Stör- und Regelgrößen. Entsprechend der Zielsetzung bleiben Regler, Regelstrecke und Stellgrößen identisch und werden in die mehrskalige Belastungsregelung eingebunden.

Die Produkt- und Produktionsstrukturen werden somit weiterhin entsprechend den Führungsgrößen Betriebspunkt und Kundennutzen verändert. Die zugehörigen Regler für die Anpassung über Stellgrößen bestehen aus den Planungsbereichen, die entsprechende

Veränderungen an den Strukturen vornehmen. Diese Regler sollen in der Produkt- und in der Leistungsplanung zusammengefasst werden.

Die Produkt- und die Leistungsplanung befassen sich entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.4 mit der kontinuierlichen Planung der Strukturen. Zu den Stellgrößen gehören alle Maßnahmen, die eine Veränderung der Strukturen hervorrufen. Über planungsinterne Rückkopplungen und iterative Abstimmungsprozesse wird eine ideale Harmonisierung von Angebot und Nachfrage der Kapazität angestrebt. Die zeitliche Synchronisierung von Veränderungen ist dabei ein zentrales Element. Alle Strukturveränderungen stellen somit Stellgrößen dar und haben eine kurz- bis langfristige Wirkung. Die Zusammenhänge zwischen den Zeithorizonten und den Strukturebenen wurden in Abbildung 2.12 dargestellt.

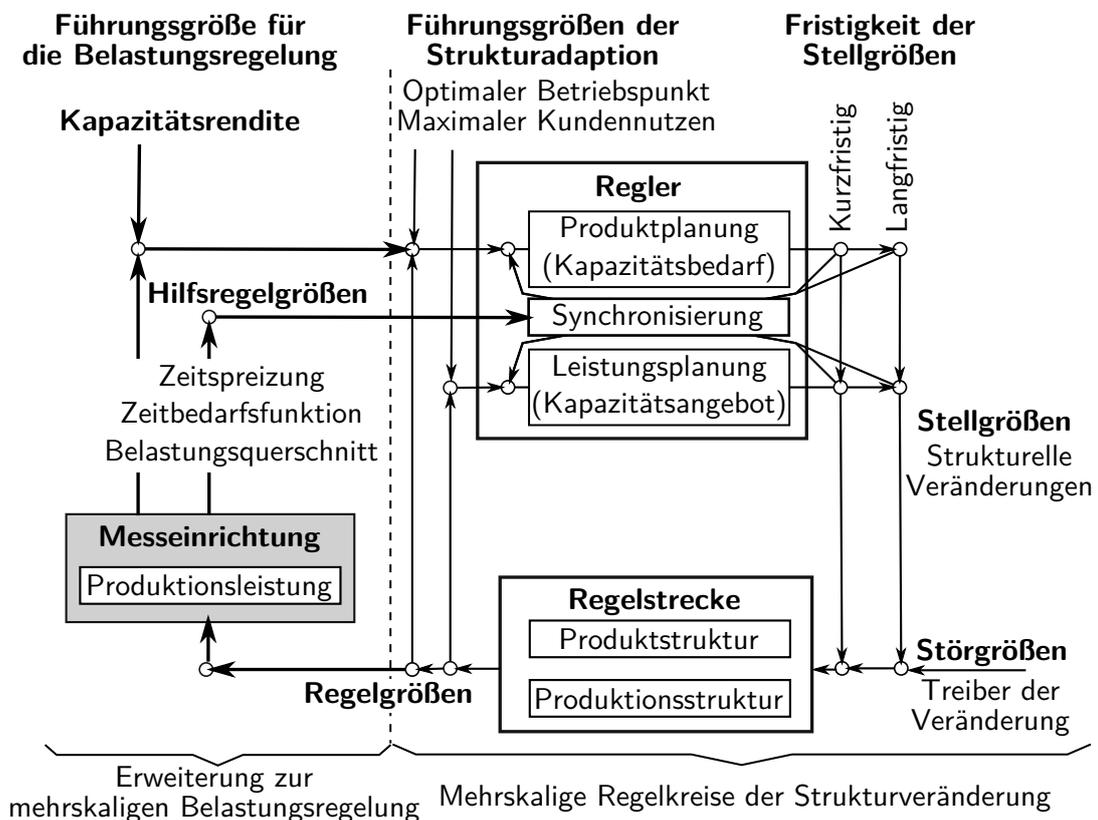


Abbildung 3.1: Regelkreis für eine mehrskalige Belastungsregelung

Der Regelkreis für eine mehrskalige Belastungsregelung ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Elementare Voraussetzung für die Erweiterung der bestehenden Regelung entsprechend der Zielsetzung ist eine neue Führungsgröße. Diese soll unmittelbar die Problemstellung der kapazitiven Untergrenze durch Fixkosten aufgreifen. Mit der Kapazitätsrendite wurde

eine neue Kennzahl konzipiert, die als Führungsgröße herangezogen wird. Abschnitt 3.1.2 geht hierauf näher ein.

Zur Unterstützung der bestehenden Planungsprozesse und darin enthaltener Entscheidungen hinsichtlich der Kapazitätsrendite sollen weitere Hilfsregelgrößen bestimmt werden. Im Einzelnen sind dies die Zeitspreizung, die Zeitbedarfsfunktionen und die Belastungsquerschnitte von Produkten in der Produktion.

In den Planungsprozessen werden Entscheidungen mit kurz- bis langfristiger Wirkung getroffen. Hieraus ergibt sich die Forderung, dass insbesondere die Hilfsregelgrößen für die verschiedenen zeitlichen Skalen ermittelt werden. Dementsprechend müssen also die Ebenen in den Strukturen der Produkte und der Produktion ausgewählt und berücksichtigt werden.

Für die Bestimmung dieser Führungs- und Hilfsregelgrößen soll eine geeignete Messeinrichtung konzipiert werden, die Leistungsdaten der Produktion verarbeitet. Hierauf geht Abschnitt 3.2 näher ein.

3.1.2 Führungsgröße – Kapazitätsrendite

Ausgehend von der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, den produktseitigen Kapazitätsbedarf zu beeinflussen, soll wie oben beschrieben eine neue Führungsgröße definiert werden. Diese soll die Problematik der produktbedingten Auslastungsverluste sowie die Fixkostenbelastung zusammenführen.

Für einzelne Elemente der Produktionsstruktur ist der Kapazitätsgrad geeignet, eine erste Bewertung der Belastungsregelung durchzuführen. Hierbei handelt es sich um den Quotienten von Deckungsbeiträgen und Fixkosten. Liegt dieser über eins, so sind alle Fixkosten durch Deckungsbeiträge gedeckt.

Eine vergleichbare Kennzahl, die das Verhältnis von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten beschreibt, ist der Wertschöpfungsgrad. Dieser bildet den Quotienten der wertschöpfenden Zeit und der gesamten Fertigungsdauer pro Stück. Somit ist auch der Wertschöpfungsgrad grundsätzlich geeignet, die Belastungsregelung zu bewerten.

Eine Kennzahl, die zunehmend in der Automobilindustrie zum Einsatz kommt und als Zielgröße für die konstruktiven Veränderungen der Produkte herangezogen wird, ist

die Maßzahl EHPV (Engineered Hours per Vehicle). Sie unterteilt die Gesamtmontagezeit HPV (Hours per Vehicle) in produkt- und prozessbedingte Zeitumfänge [Dudic 2010]. Damit ist die Maßzahl geeignet, die konstruktiv festgelegten Anteile zu bewerten und innerhalb der Produktstruktur zu verorten. Somit lassen sich die Einflüsse der Produktstruktur und deren Veränderungen auf die Produktionszeiten bewerten [Müller 2008].

Bei der Bewertung muss jedoch berücksichtigt werden, dass einzelne Prozesse keinerlei Deckungsbeitrag liefern, aber dennoch Kapazität in Anspruch nehmen. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Rüstprozesse, die auf allen Ebenen der Produktionsstruktur durchgeführt werden können. Hieran wird deutlich, dass das Verhältnis von Deckungsbeiträgen und Auslastung entscheidend für eine positive Belastungsregelung wird. Hinzu kommt, dass eine ungeplante Reduzierung der Verfügbarkeit die Fixkosten unberührt lässt. Vereinfacht ausgedrückt bleibt also weniger Zeit, um diese zu decken. Dieser Zusammenhang ist eingangs in Abbildung 1.2 dargestellt worden.

Die Bewertung der Belastungsregelung erfolgt daher durch eine Kombination aus Kapazitäts- und Wertschöpfungsgrad und stellt die Deckungsbeiträge direkt der produktspezifischen Kapazitätsbelastung gegenüber. Die Kennzahl soll als *Kapazitätsrendite* bezeichnet werden und wird für Elemente der Produktstruktur wie folgt ermittelt:

$$\text{Kapazitätsrendite} = \frac{\Sigma \text{Prozesszeiten}}{\Sigma \text{Relative Deckungsbeiträge}}$$

Die Kapazitätsrendite stellt somit zunächst eine produktspezifische Kennzahl dar, indem sie die gesamte beanspruchte Kapazität als Summe der Prozesszeiten der Summe relativer Deckungsbeiträge gegenüberstellt. Ausgehend von den Grenzen der Kapazität kann so z. B. ein Zielbereich dieser Rendite bestimmt werden. Alternativ lassen sich einzelne Elemente explizit bewerten.

In Abbildung 3.2 ist das Schema für eine kontinuierliche Bewertung der Entscheidungen unter Verwendung der Kapazitätsrendite als Führungsgröße beispielhaft dargestellt. Zu sehen sind dabei auf der horizontalen Achse die kumulierten Deckungsbeiträge eines einzelnen Auftrags oder einer sonstigen Produktgruppierung. Auf der senkrechten Achse werden die kumulierten Prozesszeiten dargestellt. Unterhalb der Geraden ist der Zielbereich zu sehen. Hier liegt das vorab festgelegte und zu erreichende Verhältnis von Deckungsbeiträgen und Kapazitätsbedarf.

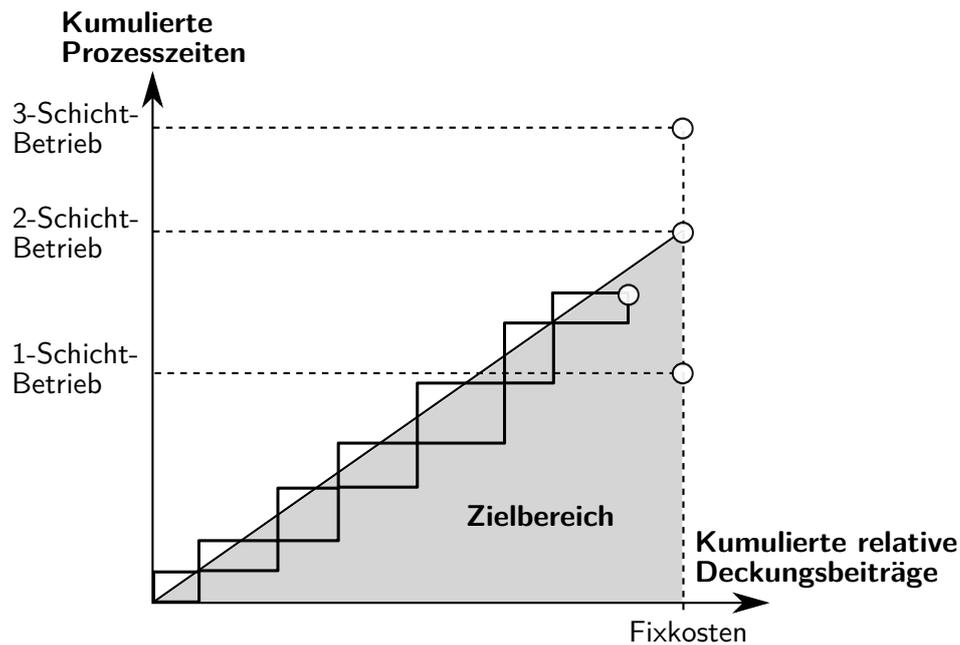


Abbildung 3.2: Kapazitätsrentabilität als Führungsgröße

Ausgangspunkt für die Bestimmung des Zielbereichs sind die Amortisationsziele von Produktionsressourcen. Diese werden über Kosten pro Zeitraum beschrieben [Bauernhansl u. a. 2012]. Die Kosten setzen sich im Wesentlichen aus kalkulatorischen Kosten zusammen, die als fix betrachtet werden sollen. Der Zeitraum ergibt sich aus der angepeilten Amortisationszeit. Der Zielbereich lässt sich z. B. für ein laufendes Jahr als Zeitraum bestimmen, indem die Kosten für die Amortisierung auf diesen Zeitraum heruntergebrochen und der verfügbaren Produktionszeit gegenübergestellt werden. Die kumulierten Prozesszeiten dürfen höchstens die maximale jährliche Kapazität unter Berücksichtigung des Schicht-Betriebs erreichen. Ziel ist es, die Kapazitätsrendite kontinuierlich innerhalb des Zielbereichs zu halten.

3.1.3 Hilfsregelgröße – Zeitspreizung durch Produktmerkmale

Im vierten produktionslogistischen Grundgesetz nach [Nyhuis 2003] wird die Leistungsfähigkeit einer Produktion unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Auftragszeitstruktur und Bestandsniveau beschrieben. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Als Bestand wird hierbei die Menge an offenen Aufträgen für das Arbeitssystem bezeichnet, die Leistung bezeichnet die Ausbringungsmenge.

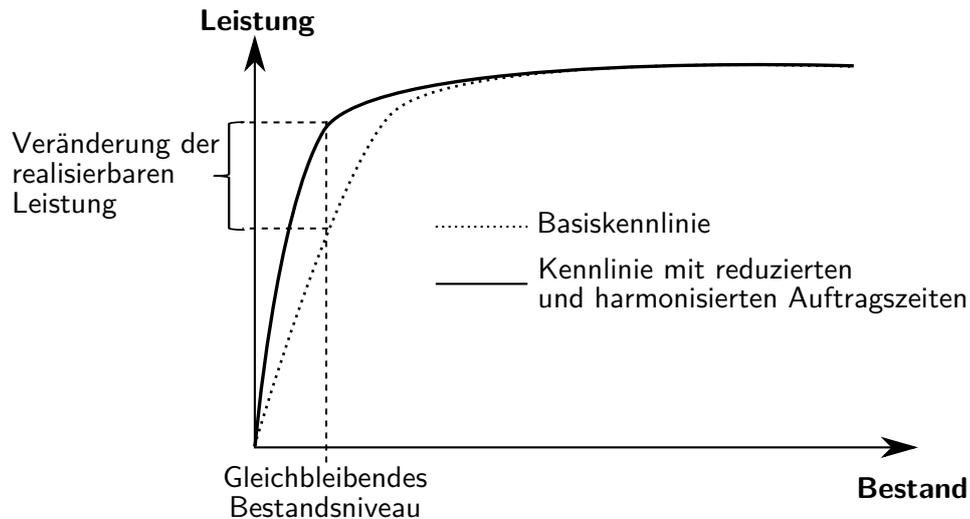


Abbildung 3.3: Veränderung der Produktionskennlinie aufgrund harmonisierter Auftragszeiten in Anlehnung an [Nyhuis 2003]

Unterstellt man einen gleichbleibend niedrigen Bestand als Zielgröße für die Produktionssteuerung, dann lassen sich Leistungssteigerungen durch eine Reduzierung und Harmonisierung der Auftragszeiten erreichen. Die Auftragszeit setzt sich dabei zusammen aus der Rüstzeit und der Ausführungszeit, die im Folgenden als Prozesszeiten bezeichnet werden sollen.

[Jander 2012, S. 31] bezeichnet in seiner Arbeit die Varianz der Auftragszeiten als *Zeitspreizung* und definiert diese wie folgt:

„Die Zeitspreizung ist ein Effekt der Variantenfließfertigung, der durch das Zusammenspiel von Variantenanzahl, Verbraurate und Montagezeitdifferenz entsteht. Dabei können Auslastungsverluste, Produktivitätsverluste und Qualitätsprobleme die Folge sein. Die Zeitspreizung zu beherrschen wird umso schwerer, je mehr Varianten existieren, je stärker die Verbraurate streut und je größer die Montagezeitdifferenz ist.“

Eine maximale Harmonisierung der Auftragszeiten zur Leistungssteigerung erfolgt in einer taktgebundenen Produktion. Auch wenn bei KMU, wie im Handlungsrahmen beschrieben, die Produktion überwiegend als Gruppenfertigung organisiert ist, bleiben die Potenziale einer reduzierten Zeitspreizung bestehen, wie im vierten produktionslogistischen Grundgesetz beschrieben.

Für die vorliegende Arbeit soll die Definition der Zeitspreizung weiter gefasst und wie folgt definiert werden:

Die Zeitspreizung ist ein Effekt der variantenreichen Serienfertigung, der durch das Zusammenspiel von Variantenanzahl, Lernrate und Prozesszeitdifferenz entsteht.

Unter der Lernrate werden alle kontinuierlichen Veränderungen in der Produktionsstruktur verstanden, die sich durch Lerneffekte beschreiben lassen. Steigerungen in der Leistungsfähigkeit der Ressourcen stellen keine Erhöhung des Kapazitätszeitangebots dar, sondern eine Reduzierung des Kapazitätszeitbedarfs [Nebl 2011].

In der Serienproduktion treten Lern- und Erfahrungseffekte auf, hervorgerufen durch kontinuierliche Verbesserungen und häufige Wiederholungen. Das allgemeine Lerngesetz besagt, dass mit jeder Verdoppelung der Ausbringungsmenge die Stückkosten um einen bestimmten Faktor, nämlich die Lernrate, abnehmen. Dieser Zusammenhang wird als Lerngesetz bezeichnet. [Fandel 2005] listet zahlreiche Bereiche auf, in denen diese Effekte nachgewiesen werden konnten. In den Arbeiten zum Stand der Forschung wird der Hintergrund erläutert und darüber hinaus die Gültigkeit im Rahmen der variantenreichen Serienfertigung nachgewiesen [Dudic 2010; Löffler 2011].

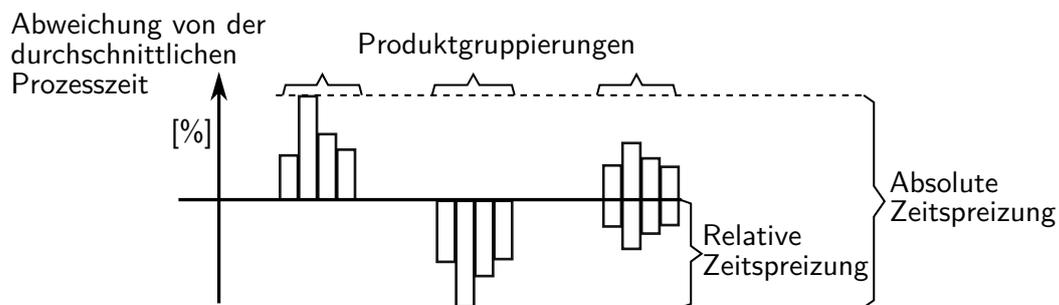


Abbildung 3.4: Zusammenhang zwischen relativer und absoluter Zeitspreizung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll zwischen relativer und absoluter Zeitspreizung unterschieden werden. Wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist, bezieht sich die relative Zeitspreizung auf eine Teilgruppe der durchgeführten Prozesse. Die Bildung von Gruppen erfolgt aufgrund von Produktmerkmalen. Hierüber sollen sich die Ursachen für die Zeitspreizung identifizieren lassen. Die absolute Zeitspreizung hingegen bezieht sich auf einen Prozess innerhalb einer Periode für alle Produkte.

Die Spreizung der Prozesszeiten steht somit in direktem Zusammenhang mit der Produktvarianz. Ausgehend von einer durchschnittlichen Prozesszeit eines Prozesses innerhalb einer Periode treten Abweichungen auf. Diese lassen sich Produkten und Varianten zuordnen. Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es daher zusätzlich erforderlich, die Ursachen für die Zeitspreizung innerhalb der Produktstruktur zu verorten, worauf in den folgenden Abschnitten näher eingegangen wird.

3.1.4 Hilfsregelgröße – Zeitbedarfsfunktion

Aus Sicht der Produktion existieren Produktmerkmale, deren Ausprägungen mit der Prozesszeit korrelieren und somit die Produktionsleistung beeinflussen. [Aldinger 2009] leitet in seiner Arbeit eine Produktgestalt her und identifizierte Merkmale, anhand derer die kapazitive Wirkung eines Produkts auf die Produktion beschrieben werden kann. Hierzu zählt er

- Geometrie,
- Abmessung,
- Werkstoff,
- Oberfläche,
- Genauigkeit.

Hierbei handelt es sich um generische Merkmale, die darüber hinaus insbesondere für Fertigungsprozesse gelten. [Jander 2012] geht in seinen Untersuchungen zur Zeitspreizung näher auf Montagetätigkeiten ein und nennt insgesamt zwölf produktbasierte Einflussfaktoren. Dazu zählen u. a. auch das Gewicht oder die Verbauorte.

Ohne auf weitere Merkmale oder deren spezifische Ausprägungen einzugehen, kann festgestellt werden, dass sich diese sowohl für Fertigungs- als auch Montageprozesse identifizieren lassen. Um hieraus Anhaltspunkte für eine Veränderung in der Produktstruktur abzuleiten, sollen diese Merkmale mit der zugehörigen Prozesszeit verknüpft werden.

Wie in Abbildung 3.5 dargestellt, kann jeder Kombination von Produktmerkmalen eine spezifische Prozesszeit zugeordnet werden. Diese Zuordnung soll als Zeitbedarfsfunktion bezeichnet werden. Über den zeitabhängigen Deckungsbeitrag kann so der Deckungsbeitrag einer Merkmalskombination bestimmt werden. Alternativ können weitere Achsen hinzugenommen werden, um die Kombinationen aufzulösen und die Abhängigkeiten

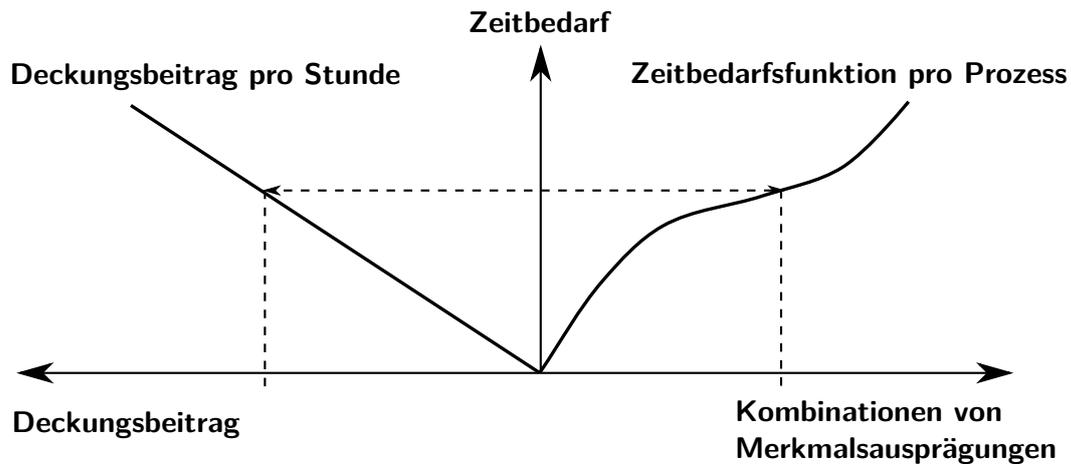


Abbildung 3.5: Zeitbedarfsfunktion für Produkte

von einzelnen Merkmalen sichtbar zu machen. So kann z. B. der Deckungsbeitrag eines Einzelteils in Abhängigkeit seines Durchmessers und seiner Oberflächengüte bestimmt werden.

Einen vergleichbar gelagerten Ansatz, bei dem Produktmerkmale für die Planung der Produktion herangezogen werden, wurde im Sonderforschungsbereich 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ erarbeitet [Eversheim u. Schuh 2005]. Daneben kommen derartige Nomogramme auch in der ressourcenbasierten Prozesskostenrechnung vor. Dabei werden Verbrauchsfunktionen für einen Ressourcenverzehr in Abhängigkeit von Ressourcentreibern ermittelt. Über eine Kostenfunktion lassen sich die Kosten eines Prozesses bestimmen [Lindemann u. Gahr 2006]. Nach [Gräßler 2004] stellt diese Aufspaltung der Funktionen einen zentralen Vorteil gegenüber der klassischen Prozesskostenrechnung dar, weil sich Veränderungen in den Produkten, Prozessen und Kosten getrennt analysieren und ausweisen lassen [Gräßler 2004].

Neben der visuellen Darstellung lassen sich auch numerische Auswertungen realisieren. So können durch Sensitivitäts- und Korrelationsanalysen die Merkmale hinsichtlich ihres Einflusses auf die Prozesszeit geordnet werden. Eine derartige Ordnung erlaubt es, für einzelne Kapazitätseinheiten die Ursachen für eine Spreizung der Prozesszeiten oder den Verlauf der Zeitbedarfsfunktion zu identifizieren. Hierüber besteht die Möglichkeit, im Rahmen der Produktentwicklung Einfluss auf die Ausprägung der Produktmerkmale zu nehmen, um so die Kapazitätsbelastung direkt zu beeinflussen.

3.1.5 Hilfsregelgröße – Produktspezifischer Belastungsquerschnitt

Zeitbasierte Belastungsquerschnitte für einzelne Produkte oder Gruppierungen von Produkten gehören zu den elementaren Informationen bei dem iterativen Abgleich zwischen Produkt- und Produktionsplanung im Rahmen der Kapazitätsharmonisierung. Mit der Absatzplanung und der Produktionsprogrammplanung wurden bereits wichtige Planungen vorgestellt. Die Zusammensetzung eines Belastungsquerschnitts aus Belastungskonten wurde in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt.

Der Belastungsquerschnitt als Hilfsregelgröße findet somit in den Abstimmungsprozessen zwischen den Planungen Verwendung und erhöht deren Reifegrad. Andererseits gibt er Anhaltspunkte für eine Veränderung der Produktstruktur mit dem Ziel, die kapazitive Belastung und insbesondere deren Verteilung innerhalb der Produktion gezielt zu verändern. Da die Vernetzung der Kapazitätseinheiten im Wesentlichen durch die Produktstruktur vorgegeben wird, lassen sich z. B. durch eine gezielte Neubildung von Produktmodulen die produktspezifischen Kapazitätsbedarfe verändern und auf andere Ressourcen verschieben.

Die Datenverknüpfung zur Erstellung der produktspezifischen Belastungsquerschnitte basiert im Wesentlichen auf der Produktstruktur eines einzelnen Produkts, einem zugehörigen Arbeitsplan und durchschnittlichen Prozesszeiten. Das Vorgehen entspricht dabei dem üblichen Vorgehen und zugehörigen Berechnungsschritten und soll daher nur kurz umrissen werden. Die Besonderheiten tauchen im Rahmen der Datenauswertung auf, wenn die Belastungsquerschnitte skalenübergreifend ermittelt und zu periodenübergreifenden Bedarfsprofilen verkettet werden.

Bei der Bestimmung der Kapazitätsnachfrage handelt es sich um eine Synthese von Einzelzeiten. Für Menschen wird der Begriff Auftragszeit verwendet, die sich aus der Rüstzeit und der Ausführungszeit zusammensetzt. Für Maschinen ergibt sich eine Belegungszeit, die sich aus der Betriebsmittelrüstzeit und der Betriebsmittelausführungszeit zusammensetzt [Binner 2010]. Eine weitere Untergliederung erscheint für die vorliegende Zielsetzung nicht angebracht.

Durch die Verknüpfung des Belastungsquerschnitts eines Einzelprodukts mit einem Auftrag und der darin enthaltenen Stückzahl lässt sich die Auftragslast als Gegenüberstellung der Auftragseinzellasten bestimmen. In Kombination mit allen Aufträgen innerhalb einer

Periode kann somit auch die Systemlast ermittelt werden. In Abbildung 3.6 ist ein Beispiel dargestellt.

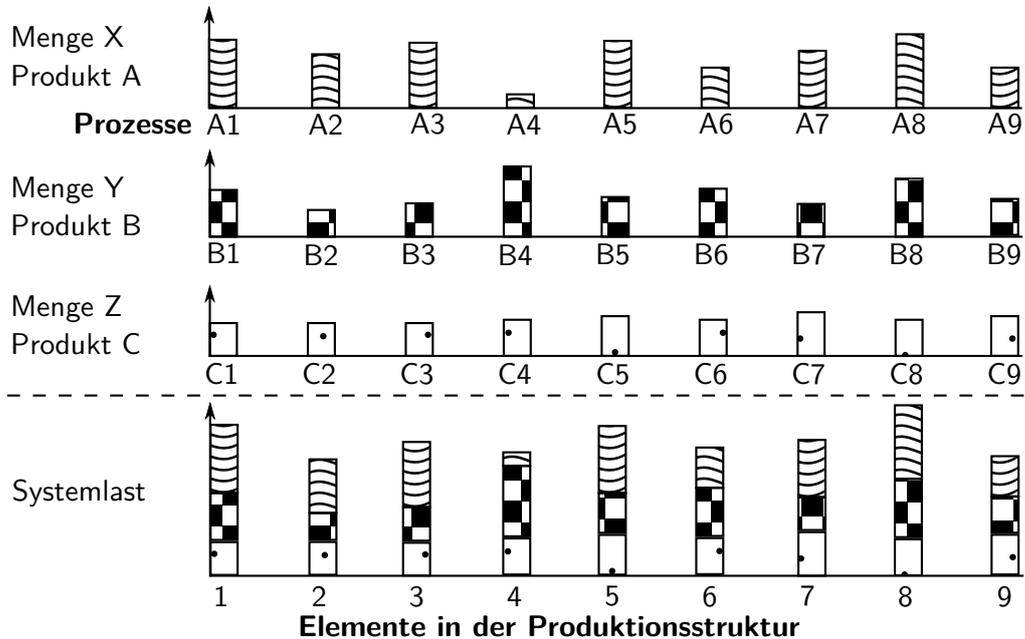


Abbildung 3.6: Überlagerung von Auftragseinzellasten zur Systemlast auf Grundlage von Belastungsquerschnitten

Durch Kombination von Arbeitsplan und Strukturstücklisten lassen sich in einem ersten Schritt die notwendigen Prozesse und deren Anzahl bestimmen. In Kombination mit den durchschnittlichen Prozesszeiten dieser Prozesse und der Zuordnung zu den Elementen in der Produktionsstruktur werden die Belastungsquerschnitte bestimmt.

Über die Datenverknüpfung sind somit zunächst die durchschnittlichen Prozesszeiten zu bestimmen. Über die Strukturstückliste und den Arbeitsplan sind diese dann mit den entsprechenden Mengen zu multiplizieren und innerhalb der Produktionsstruktur für die entsprechenden Elemente aufzusummieren.

Ein derart bestimmter Belastungsquerschnitt ist somit für ein bestimmtes Einzelprodukt und einen bestimmten Arbeitsplan gültig, der eine spezifische Kombination von Prozessen und deren Reihenfolge beschreibt. Im Rahmen der Modellierung ist daher zu berücksichtigen, dass jede Prozesszeit zum einen von einem Einzelprodukt oder Produktelement abhängt, das bearbeitet wird, und zum anderen von einem übergeordneten Prozessablauf, der eine spezifische Kombination und Reihenfolge von Prozessen beschreibt.

3.2 Messeinrichtung für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen

Nachdem in den vorangehenden Abschnitten die Führungs- und Hilfsregelgrößen vorgestellt wurden, um die bestehende Regelkreise der Strukturveränderung erweitert werden sollen, geht der folgende Abschnitt auf die Konzipierung einer Messeinrichtung ein, die für deren Bestimmung notwendig ist.

3.2.1 Business Intelligence als Rahmenkonzept

Die Messeinrichtung dient innerhalb des Fachkonzepts der informationstechnischen Unterstützung von Entscheidungen in der Produkt- und Leistungsplanung, indem sie die Führungs- und Hilfsregelgrößen bereitstellt. Für die informationstechnische und organisatorische Unterstützung von Entscheidungen hat sich in den letzten Jahren der Begriff Business Intelligence (BI) entwickelt. Hierunter werden Techniken zusammengefasst, die der Konsolidierung, Analyse und Bereitstellung von Daten zu Zwecken der Entscheidungsunterstützung dienen [Laudon u. a. 2010; Kemper u. Rieger 2008]. Zu den Vorläufern zählen Management Information Systems, Decision Support Systems oder Executive Information Systems, die jeweils verschiedene technische Ansätze beschreiben, aber die gleiche Zielsetzung haben [Grothe 2000].

Ging es dabei zunächst um verschiedene technologische Ansätze, gewinnen heute auch damit verbundene organisatorische Ansätze an Bedeutung [Seufert u. Oehler 2009]. Nach [Kemper u. a. 2010] steht die Entscheidungsfindung im Rahmen von Führungsaufgaben im Vordergrund, wie in Abbildung 3.7 dargestellt ist. Ausgangspunkt sind dabei die Daten aus den operativen Prozessen, die entsprechend ausgewertet werden.

Eine detaillierte Abgrenzung von Business Intelligence, analytischer Informationsverarbeitung und Corporate-Performance-Management-Systemen nimmt [Mertens u. Meier 2009] vor. Da das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit lediglich die Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen für die mehrskalige Belastungsregelung ist, werden keine unmittelbaren Verbesserungsvorschläge generiert, was als Anforderung an analytische Informationssysteme gilt. Insofern lässt sich die vorliegende Arbeit in den BI-Bereich einordnen.

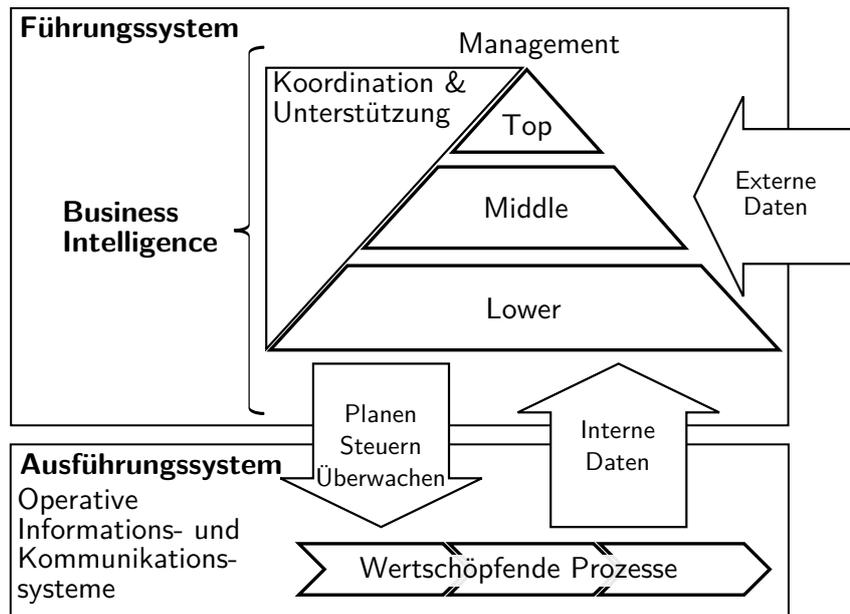


Abbildung 3.7: Einsatzfeld von Business-Intelligence-Anwendungssystemen
[Kemper u. a. 2010]

3.2.2 Komponenten und Architektur einer Messeinrichtung

Nachdem im vorangehenden Abschnitt Business Intelligence als Rahmenkonzept identifiziert wurde, geht es nun darum, die Komponenten einer Messeinrichtung und deren Architektur zu entwickeln. Bezogen auf die Einordnung in die unternehmensweite Informationsverarbeitung handelt es sich bei BI-Werkzeugen um Planungs- und Kontrollsysteme [Mertens u. Meier 2009]. Abbildung 3.8 stellt die typische Architektur derartiger Systeme vor.

Die vertikale Integration bezeichnet die datentechnische Versorgung von Planungs- und Kontrollsystemen aus den operativen Systemen heraus. Dies kann einerseits zeitlich erfolgen, andererseits kann ein Datenlager zwischengeschaltet werden [Mertens 2009]. Eine umfassende Analyse von Daten kann auf operativen Datenbanken nicht zeitoptimal ausgeführt werden. Darüber hinaus fehlen oft historische Datenbestände und die Datenstruktur ist inhomogen [Balzert 2009].

Die Datenbanken der operativen Systeme sind auf die Verarbeitung von fachspezifischen Transaktionen ausgelegt und nicht unmittelbar geeignet, ein konsistentes Gesamtbild des Unternehmens zu erzeugen. Hierfür ist eine systematische Zusammenführung der operativen Datenbestände notwendig, wofür sich Data-Warehouse-Konzepte entwickelt

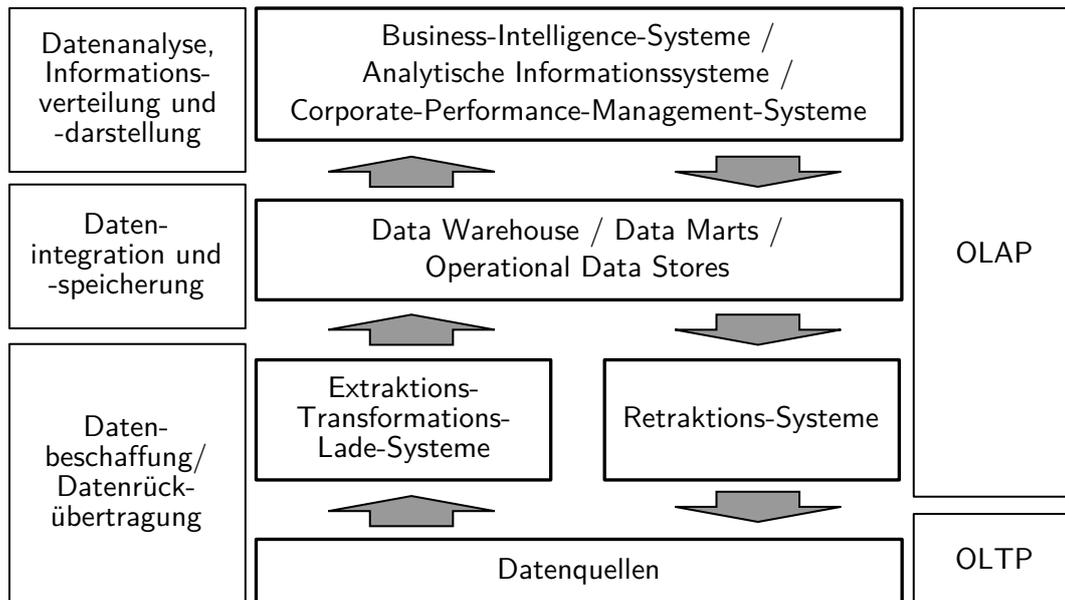


Abbildung 3.8: Typische Architektur von Planungs- und Kontrollsystemen
[Mertens u. Meier 2009]

haben [Gabriel u. a. 2009]. Innerhalb einer BI-Landschaft stellt das Data Warehouse (DWH) daher eine zentrale Komponente dar [Gansor u. a. 2010]. Es wird nach [Laudon u. a. 2010, S. 306] wie folgt definiert:

„Data Warehouse: Eine Datenbank mit Berichts- und Abfragefunktionen, die operative und historische Daten speichert, die aus verschiedenen betrieblichen Systemen extrahiert wurden, und für Managementberichte und Analysen zusammenführt und aufbereitet.“

Die Ebenen innerhalb der Architektur und die zugehörigen Systeme lassen sich entsprechend Abbildung 3.8 zum einen dem Online Transaction Processing (OLTP) und zum anderen dem Online Analytical Processing (OLAP) zuordnen. OLTP-Systeme sind darauf ausgelegt, Einzeltransaktionen auszuführen. Sie sind dementsprechend für die Datenanalyse aufgrund komplexer Abfragestrukturen innerhalb des Datenbestands nicht geeignet [Geisler 2009].

Im Gegensatz zu Tabellenkalkulationen haben OLAP-Werkzeuge die Fähigkeit, einzelne Berechnungsformeln unmittelbar auf alle Daten anzuwenden. So können die bestehenden Daten problemlos erweitert werden, ohne dass die Berechnungen neu implementiert werden müssen [Oehler u. Seufert 2011].

Vor der eigentlichen Nutzung eines DWH ist dessen datentechnische Befüllung notwendig, bevor ein Anwender die Datenbestände untersuchen kann, worauf Abschnitt 3.2.3 näher eingeht. Dies erfolgt in der Regel automatisiert über eine periodisierte Aktualisierung. Dabei kann jedoch zwischen einer inkrementellen Aktualisierung und einem kompletten Neuaufbau des Datenbestands unterschieden werden. Auch wenn die inkrementelle Aktualisierung weitaus häufiger eingesetzt wird, hat ein kompletter Neuaufbau insbesondere bei sich häufig ändernden Strukturen der Daten Vorteile [Gabriel u. a. 2009].

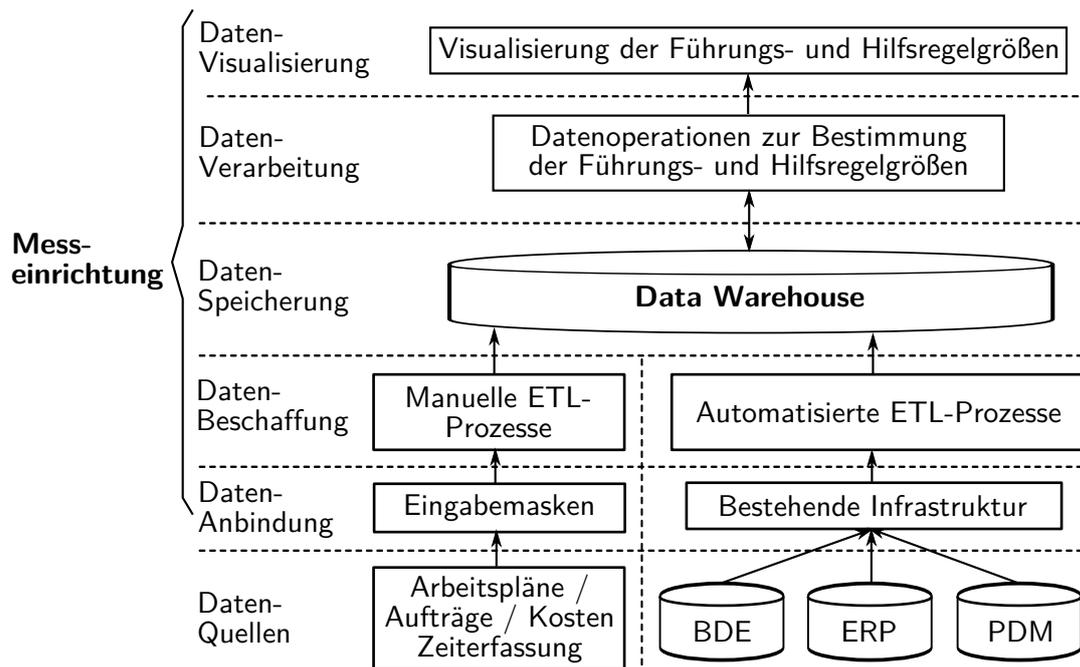


Abbildung 3.9: Komponenten einer Messeinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung

Aufbauend auf Business Intelligence als Rahmenkonzept und der grundlegenden Architektur von Planungs- und Kontrollsystemen wurde eine Messeinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung konzipiert. Diese hat entsprechend dem Fachkonzept die Aufgaben, die Führungs- und Hilfsregelgrößen für die verschiedenen Ebenen der Entscheidungsfindung zu bestimmen. Die Komponenten und deren Architektur sind in Abbildung 3.9 dargestellt. Auf den Bereich der Datenbeschaffung geht der folgende Abschnitt näher ein.

Im Zentrum der Messeinrichtung steht das Data Warehouse, in dem die grundlegenden Daten abgelegt sind. Hier fließen die relevanten Stamm- und Bewegungsdaten zusammen. Auf diesen Daten setzen die Datenoperationen auf, die letztendlich die Führungs- und

Hilfsregelgrößen bestimmen. Diese sollen in den folgenden Abschnitt zunächst konzipiert werden, bevor sich Kapitel 4 mit der umfassenden Modellierung befasst.

3.2.3 Datenbeschaffung aus operativen Systemen

Wie bereits in der allgemeinen Beschreibung der Messeinrichtung erläutert, basiert die mehrskalige Belastungsregelung im Wesentlichen auf Daten und Informationen, die im operativen Betrieb der Produktion entstehen und als Entscheidungsgrundlagen in die Planungsprozesse einfließen.

Neben der lokalen Datenablage und dem virtuellen Data Warehousing als integrierte Lösungen hat sich insbesondere die separate Datenspeicherung durchgesetzt. Hierbei werden die Daten losgelöst von den operativen Daten der Vordaten gespeichert und analysiert. Der Import der Daten und notwendige Bereinigungen erfolgen durch ETL-Prozesse und zugehörige Werkzeuge [Gabriel u. a. 2009]. ETL steht dabei für Extrahieren, Transformieren und Laden. Abbildung 3.10 stellt die ETL-Prozesse und deren Teilaufgaben dar.

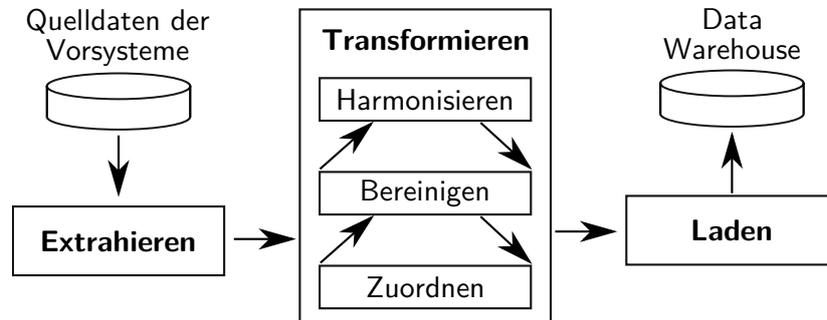


Abbildung 3.10: ETL-Prozess zur Befüllung analyseorientierter Datenspeicher [Gabriel u. a. 2009]

In der folgenden Beschreibung soll zwischen Stamm- und Bewegungsdaten unterschieden werden, auch wenn die Abgrenzung aufgrund der Dynamik nicht immer eindeutig ist. Die erforderlichen Daten ergeben sich dabei aus den grundlegenden Berechnungsschritten im Rahmen der Bestimmung der kapazitiven Belastung. Ergänzt werden diese durch die Bestimmung der kapazitiven Untergrenze mittels Deckungsbeiträgen und Fixkosten.

Die Datenbeschaffung an sich stellt einen hochgradig unternehmensspezifischen Vorgang dar und steht nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit. An dieser Stelle sollen daher nur

Anhaltspunkte und Anforderungen geliefert und das Vorgehen umrissen werden. Das übergeordnete Ziel im Rahmen der Datenbeschaffung ist, die verteilten und inhomogenen Daten zu extrahieren und in ein Modell zu überführen. Dieses Modell stellt die Ausgangsbasis für die Ermittlung der Führungs- und Hilfsregelgrößen dar. Die Modellierung wird im folgenden Kapitel 4 vorgestellt.

Als Quelle der Daten sollen im Wesentlichen bereits bestehende Datenspeicher herangezogen werden. Grundsätzlich muss jedoch von einer geringen Qualität ausgegangen werden. Zum einen liegt das an der unvollständigen Durchdringung der Strukturen mit einer entsprechenden informationstechnischen Erfassung. Zum anderen führen ungewöhnliche und außerordentliche Ereignisse zu falschen Daten. Ergänzend sollen daher auch Daten in das Modell eingepflegt werden, die manuell ermittelt wurden oder bereits vorhandene Werte aus einer automatisierten Beschaffung ersetzen. Die notwendige Kennzeichnung wird im Rahmen der Modellierung berücksichtigt. Um die Möglichkeiten der statistischen Auswertung auch historischer Daten zu erhöhen, sollen keine erfassten Daten entfernt werden. Sie verlieren vielmehr nur an Gültigkeit, bleiben jedoch grundsätzlich erhalten.

In einem ersten Schritt sollen die grundlegenden Daten identifiziert werden, die für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen notwendig sind. Zur Unterstützung der kontinuierlichen Bereitstellung der Entscheidungsgrundlage ist ein Zugriff auf die operativen Systeme notwendig. Zu den einzelnen Datenarten sollen daher typische Quellen im Unternehmen genannt werden. Systeme aus dem Bereich des Enterprise Resource Planings (ERP) bieten traditionell eine gute Datenquelle für die Entscheidungsunterstützung [Grothe 2000].

Bewegungsdaten

Aufgrund der Fokussierung der vorliegenden Arbeit auf kapazitive Fragestellungen ist die Prozesszeit die zentrale Datengrundlage. Sie beschreibt allgemein die Dauer eines zeitlich abgrenzbaren Prozesses, der durch ein Element der Produktionsstruktur durchgeführt wird und eindeutig einem Element der Produktstruktur zugeordnet werden kann. Unter dem Oberbegriff Prozesszeit werden sowohl Bearbeitungs- als auch Rüstzeiten verstanden. Im Rahmen der Datenerfassung ist die Stückzahlabhängigkeit von Bedeutung. Notwendige Voraussetzung für eine aussagekräftige Auswertung der Prozesszeiten sind Wiederholungen der Prozesse im Rahmen einer Serienproduktion, wie sie der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt wird.

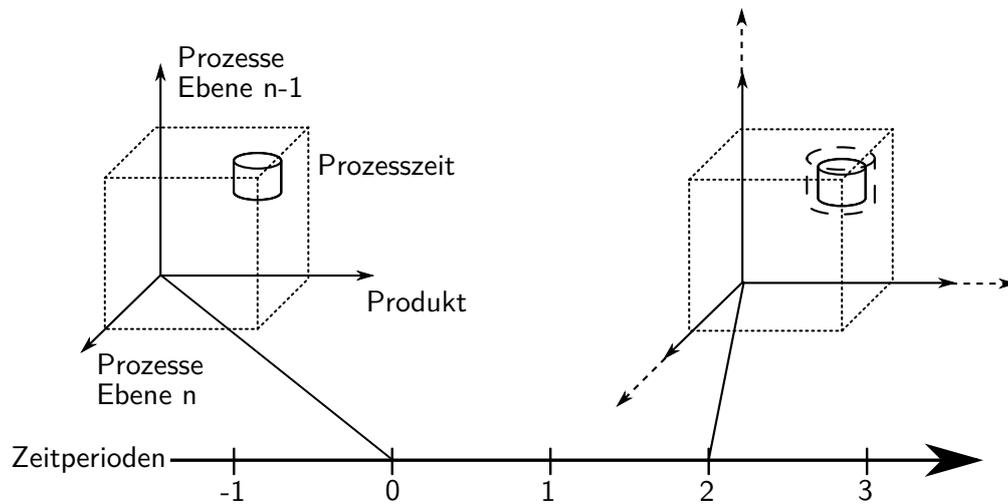


Abbildung 3.11: Prozesszeit und deren Abhängigkeiten als Funktion der Zeit

Zu beachten ist bei der Datenbeschaffung, dass die Prozesszeit zunächst einem bestimmten Prozess zugeordnet werden kann. Darüber hinaus ist sie abhängig von einem übergeordneten Prozess und dem Produkt. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3.11 dargestellt. Der Abbildung kann auch entnommen werden, dass die Strukturen einer Veränderung unterliegen und somit nur für eine bestimmte Zeitperiode gültig sind. Von Relevanz sind die kontinuierlichen Veränderungen in den Prozesszeiten in Form von Lerneffekten. Im vorliegenden Fall werden daher kontinuierlich ermittelte Prozesszeiten benötigt, die über real durchgeführte Prozesse ermittelt wurden.

Quelle für diese tatsächlich realisierten Prozesszeiten stellen Systeme zur Betriebsdatenerfassung (BDE) oder Systeme mit gleichartigen Funktionen dar. BDE-Systeme erfassen z. B. die Dauer der Durchführung eines Auftrags an einer Ressource über Start- und Endtermin. Bei einer Datenerfassung auf Grundlage von Aufträgen sind die Prozesszeiten für ein einzelnes Produktelement oder Produkt zu bestimmen.

Die zweite Art von Bewegungsdaten, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse ist, sind Produktmengen aufgrund von Aufträgen. Diese können als Systemlast zum einen als reine Planungsgröße vorliegen oder konkret durch Kunden bestimmt sein. Zu den relevanten Daten eines Auftrags gehören das Produkt, die Menge und das Bestelldatum oder ein sonstiger einheitlicher Zeitbezug. Über die Aufträge kann über die Produktmengen in Verbindung mit der Prozesszeit und Teilen der Stammdaten die Kapazitätsrendite bestimmt werden.

Als Quelle für auftragsbezogene Daten kommen ERP-Systeme in Betracht oder Informationssysteme mit Funktionalitäten im Bereich der Auftragserfassung und -abwicklung. Die am Markt verfügbaren Systeme integrieren zunehmend verschiedene Aufgabenbereiche. Weitere Quellen für Daten in der Produktion analysiert [Bergerfurth 2004].

Stammdaten

Zu den zentralen Stammdaten für eine mehrskalige Belastungsregelung gehören die Produkt- und die Produktionsstrukturen. Diese Informationen nehmen allgemein eine zentrale Stellung in produzierenden Unternehmen ein. Der Aufbau und die Verwendungszwecke wurden bereits in Kapitel 2 beleuchtet.

Von besonderer Bedeutung ist für die vorliegende Arbeit jedoch, dass die Strukturen vollständig beschrieben und eindeutig dokumentiert wurden. Dazu gehört, dass Einzelteile eine eindeutige Nummer aufweisen und Produktionsbereiche eindeutig abgegrenzt werden können. Dies gilt insbesondere für die planungsrelevanten Strukturelemente. Hier ist im Einzelfall zu prüfen, welche Hierarchieebene für die Planung noch relevant ist. Darüber hinaus ist zu klären, welche Strukturebenen im Rahmen von Planungsaufgaben gemeinsam betrachtet werden und welcher Planungshorizont dafür angesetzt wird.

Für die Berechnung in Zusammenhang mit der Kapazitätsrendite sind die Fixkosten der Produktionsstrukturen und die relativen Deckungsbeiträge der Prozesse relevant. Deren Bestimmung erfolgt in der Regel im Rahmen einer Kosten- und Leistungsrechnung oder auf Basis von Erfahrungswerten. Für die vorliegende Methodik sind lediglich die Deckungsbeiträge eindeutig den Prozessen zuzuordnen. Die Fixkosten werden, sofern keine präzise Zuordnung möglich ist, letztendlich auf Unternehmensebene verrechnet.

Die verwendeten finanziellen Größen dienen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht der konkreten Kostenkalkulation von Produkten. Vielmehr geht es neben der Bestimmung einer minimalen Auslastung auch um eine Bewertung der Kostenverteilung im Unternehmen. Die Aufteilung der Kosten in einen fixen und einen variablen Anteil erfolgt nach Maßgabe des Unternehmens.

Als Quellen für die Stammdaten kommen zahlreiche Informationssysteme infrage. Der verfügbare Detaillierungsgrad der vorliegenden Daten beeinflusst letztendlich die Möglichkeiten zur Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen. Sind nur auf den oberen

Hierarchieebenen der Strukturen Daten verfügbar, wirkt sich das in groben Entscheidungskriterien aus, die nur für langfristige Entscheidungen von Belang sind. Mit zunehmender Präzision der Daten steigt auch die Möglichkeit, die Daten für kurzfristige Entscheidungen heranzuziehen.

3.2.4 Elementare Konzepte für die Datenverarbeitung

Auf Grundlage der Daten, die aus den operativen Systemen oder manuell über Benutzereingaben erfasst wurden, sollen die Führungs- und Hilfsregelgrößen entsprechend dem eingangs beschriebenen Fachkonzept bestimmt werden. Hierfür sind einige elementaren Konzepte notwendig, die als Nächstes vorgestellt werden.

Die Datenoperationen innerhalb der Messeinrichtung basieren auf grundlegenden mathematischen Funktionen. Hierzu gehören die Grundfunktionen der Addition und Multiplikation wie auch zusammengesetzte Funktionen wie die Berechnung von Durchschnittswerten. Auf eine Detaillierung der Formeln wird daher an dieser Stelle verzichtet. Im Fokus der Berechnungen stehen entsprechend dem Fachkonzept die Prozesszeiten und Produktmengen sowie Deckungsbeiträge und Fixkosten.

Ermittlung des produktspezifischen Kapazitätsbedarfs

Die Hilfsregelgrößen Zeitspreizung und Zeitbedarfsfunktion sollen entsprechend dem Fachkonzept für verschiedene Produktmerkmale und deren Kombinationen bestimmt werden. Elementare Voraussetzung dafür ist, die Elemente der Produktstruktur hinsichtlich verschiedener Merkmale gruppieren zu können.

Abbildung 3.12 stellt die Produktmerkmale als Kriterien der Gruppierung und das Produktelement grafisch dar. Jedes Einzelprodukt und jedes Produktelement kann somit in eine oder mehrere Gruppen eingeordnet werden und ermöglicht so eine spezifische Analyse des Zeitbedarfs und der Zeitspreizung.

Einzelprodukte und deren Elemente lassen sich z. B. hinsichtlich leistungsbeeinflussender Merkmale und deren Ausprägungen gruppieren. Grundlegende Merkmale wurden in Abschnitt 3.1.3 vorgestellt und lassen sich unternehmensspezifisch anpassen und erweitern. Entsprechend dieser Gruppierung wird die relative Zeitspreizung der zugehörigen Prozesse ermittelt. Anhand der Gruppierungen lassen sich die Ursachen für die Zeitspreizung in

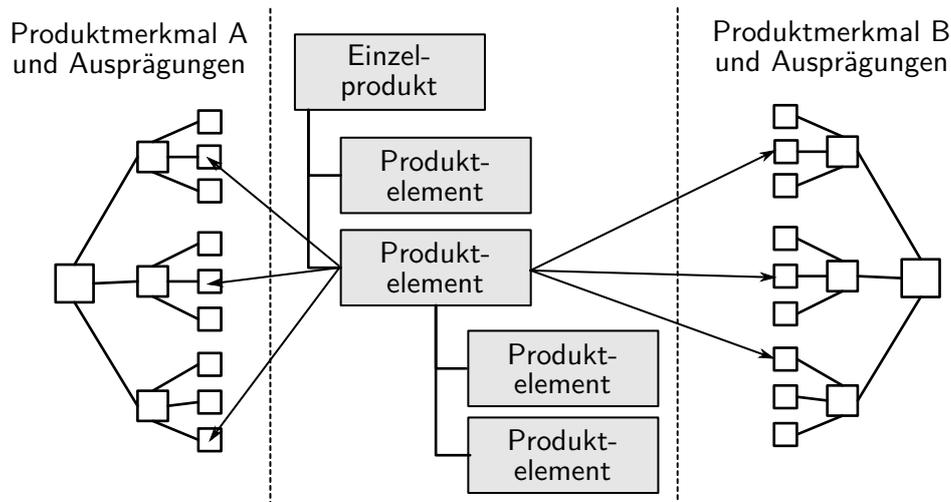


Abbildung 3.12: Gruppierung der Produkte anhand von Produktmerkmalen

den Produkten identifizieren. Daneben kommen die unternehmensinternen Merkmale für die Einordnung von Produktlinien oder Produktsegmenten in Betracht.

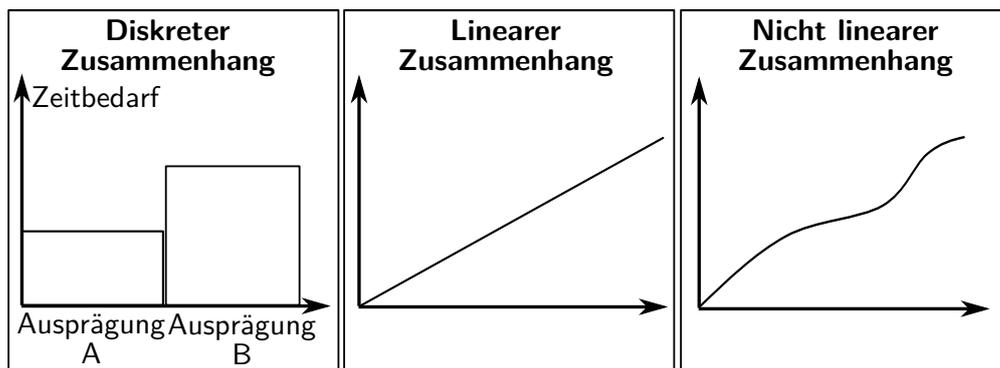


Abbildung 3.13: Klassifizierung der Zusammenhänge zwischen Prozesszeit und Produktmerkmalen

Der Zusammenhang zwischen leistungsbeeinflussenden Produktmerkmalen und der Prozesszeit kann dabei deterministisch und stochastisch sein. Wie in Abbildung 3.13 dargestellt, können die deterministischen Zusammenhänge weiter unterteilt werden in diskrete, lineare und nicht lineare. Stochastische Zusammenhänge sind aufgrund der Einschränkung auf eine Serienproduktion im Rahmen der vorliegenden Arbeit auszuschließen bzw. müssen entsprechend gefiltert werden.

Für die Methodik sind die diskreten Zusammenhänge von Bedeutung, die aufgrund der diskreten Datenerfassung entstehen. Für die Planung von Veränderungen ist zu prüfen,

ob kontinuierliche Zusammenhänge unterstellt werden können, um Prozesszeiten für Zwischenstufen zu ermitteln. Die Produktmerkmale ermöglichen eine Gruppierung der Produkte und der Produktelemente, die wiederum einzelnen Prozessen zugeordnet werden können. Hierüber lassen sich relative Zeitspreizungen bestimmen. Ergänzend können die Abweichungen der gruppeninternen Durchschnittszeit mit der prozessspezifischen Durchschnittszeit verglichen werden.

Bestimmung der kapazitiven Grenzen

Im Rahmen der mehrskaligen Belastungsregelung ist es erforderlich, auch die kapazitiven Grenzen in den Produktionsstrukturen zu bestimmen. Notwendig ist dies z. B. für die Kapazitätsrendite und den zugehörigen Zielbereich. Wie bereits beschrieben, werden die kapazitiven Grenzen durch die Fixkosten und die Personalkapazität bestimmt. Deren konzeptionelle Bestimmung soll im Folgenden getrennt nach unterer und oberer Kapazitätsgrenze erläutert werden.

Untere Grenze – Fixkosten und Deckungsbeiträge In Industriebetrieben kommt den Material-, Personal- und Betriebsmittelkosten eine besondere Bedeutung zu. Die Kostenplanung beruht insbesondere auf den Mengen- und Zeitverbräuchen der Produktionsfaktoren [Steinle 2005]. Für Entscheidungen im überwiegend kürzerfristigen zeitlichen Horizont gewinnt die Teilkostenrechnung an Bedeutung. Zu den typischen Anwendungsfällen gehören nach [Horváth u. Weber 1997]

- Eigenfertigung oder Fremdbezug,
- optimales Produktionsprogramm,
- optimales Leistungs- und Produktprogramm,
- engpassbezogene Optimierung,
- Gewinnschwellenanalysen.

Grundlage der Teilkostenrechnung ist die Aufteilung der Kosten im Unternehmen in einen fixen und einen variablen Teil. Auf Grundlage der produktspezifischen Erlöse und des variablen Anteils der produktbezogenen Kosten lässt sich das Mindestabsatzvolumen zur Deckung der Fixkosten berechnen [Westkämper 2006]. Zu den Verfahren der Teilkostenrechnung gehört die Deckungsbeitragsrechnung, die mit relativen Einzelkosten

arbeitet. Diese zählt nach [Heupel u. Hoch 2010] zu den wichtigen Instrumenten der Kostenkontrolle im Unternehmen. Die Rechnung kann ein- oder mehrstufig erfolgen.

Die untere Kapazitätsgrenze der Elemente in der Produktionsstruktur wird durch die zu tragenden Fixkosten und die erzielbaren relativen Deckungsbeiträge bestimmt. Den Fixkosten der Strukturelemente in der Produktionsstruktur stehen also die zeitabhängigen Deckungsbeiträge der durch diese Strukturelemente umgesetzten Prozesse gegenüber.

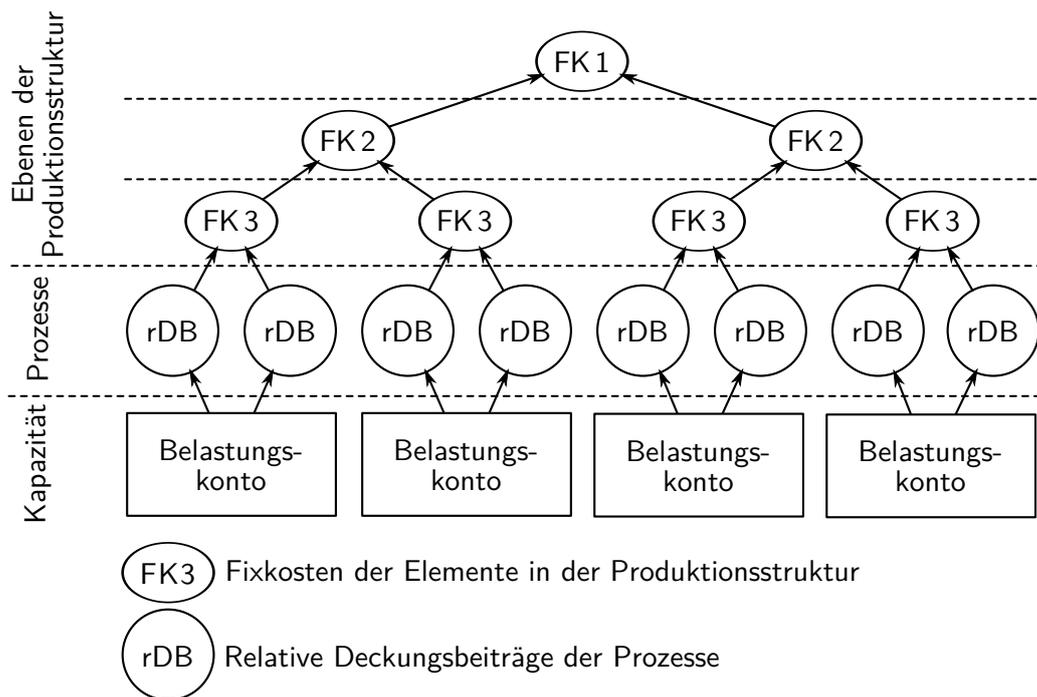


Abbildung 3.14: Verrechnung der relativen Deckungsbeiträge über die Ebenen der Produktionsstruktur

Das Grundkonzept für die Bestimmung der unteren Kapazitätsgrenze basiert auf der mehrstufigen Deckungsbeitragsrechnung. In Abbildung 3.14 ist dargestellt, dass die relativen Deckungsbeiträge entlang der Ebenen der Produktionsstruktur mit den Fixkosten der Elemente verrechnet werden. Auslöser für eine sprunghafte Änderung der Fixkosten können dabei z. B. fremdfinanzierte Investitionen zur Erweiterung des Kapazitätsangebots sein.

Daneben steht die Höhe der Fixkosten wie beschrieben in direktem Zusammenhang mit der Amortisationszeit, wenn der Anteil der kalkulatorischen Abschreibungen besonders hoch ist. Mit der Amortisationsdauer sinkt auch das mit einer Investition verbundene Risiko [Wöhe u. Döring 2000]. Entsprechend kann die untere Kapazitätsgrenze auch über

die Amortisationszeit beeinflusst werden. Im Umkehrschluss hat eine Unterschreitung der unteren Grenze eine Verlängerung der Amortisationszeit zur Folge.

Die Verteilung der Fixkosten auf die einzelnen Strukturelemente erfolgt im Rahmen der Datenbeschaffung. Die Fixkosten wurden den Stammdaten zugeordnet. Für die Bestimmung und anteilmäßige Verteilung kommen etablierte Methoden aus der Kosten- und Leistungsrechnung zum Einsatz. Von einer weitergehenden Detaillierung der Vorgehensweise zur Ermittlung und Verteilung der Daten wird daher im Rahmen dieser Arbeit abgesehen.

Die Höhe der Deckungsbeiträge einzelner Prozesse wird typischerweise über eine interne Kosten- und Leistungsrechnung bestimmt und wird als unternehmensintern bekannt vorausgesetzt. Alternativ kann auch über die Höhe der realisierbaren Erlöse und die notwendigen Prozesszeiten auf die realisierbaren Deckungsbeiträge geschlossen werden. Sie werden im Rahmen der Datenbeschaffung den Prozessen zugeordnet. Die kritische Untergrenze der Deckungsbeiträge wird dabei über die Fixkosten des zugehörigen Strukturelements und die theoretisch zur Verfügung stehende Zeit pro Periode bestimmt.

Wird einem Element der Produktionsstruktur mehr als ein Prozess zugeordnet und unterscheiden sich die zugehörigen Deckungsbeiträge, dann ist die kapazitive Untergrenze abhängig von den Prozessen. Legt man den Prozess mit dem geringsten Deckungsbeitrag zugrunde, lässt sich jedoch eine Grenze definieren, die in jedem Fall zu einer Deckung der Fixkosten beiträgt.

Das gewählte Vorgehen basiert auf dem Konzept, das im Rahmen des Time Driven Activity Based Costings (TDABC) angewandt wird. Hierbei handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Activity Based Costings, die im deutschsprachigen Raum in abgewandelter Form als Prozesskostenrechnung bezeichnet wird. Permanente Veränderungen in der Struktur der Unternehmen machen bei der klassischen Prozesskostenrechnung eine Neukalkulation der Anteile einzelner Prozesse an der Gesamtmenge erforderlich. Im TDABC hingegen werden Kosten für das Aufrechterhalten einer theoretischen Kapazität zugrunde gelegt und der tatsächlich verfügbaren Kapazität gegenübergestellt. Daraus ergibt sich eine Kapazitätskostenrate, mit der ein Zeitbedarf einzelner Tätigkeiten finanziell bewertet werden kann. Hierbei werden auch Auslastungsverluste explizit sichtbar. Eine genaue Beschreibung kann [Kaplan u. Anderson 2009] entnommen werden.

Obere Grenze – Personalkapazität Die theoretische Maximalkapazität z. B. einer Maschine beträgt 24 Stunden an jedem Tag im Jahr. Unter Ausschluss mannloser Schichten bestimmt die Personalkapazität und damit das Schichtmodell die realisierbare Kapazität. Unter Berücksichtigung von kapazitätsmindernden Störungen gelangt man letztendlich zur verfügbaren Kapazität.

Für zentrale Elemente der Produktionsstruktur wird die verfügbare Kapazität in Abhängigkeit des Schichtmodells als bekannt vorausgesetzt. Die Zuordnung zu den Elementen der Produktionsstruktur erfolgt im Rahmen der Datenbeschaffung. Eine Datenverknüpfung ist somit hier nicht explizit notwendig bzw. durch bekannte Verfahren bereits verfügbar.

Maßnahmen zur Kapazitätserweiterung sind neben den finanziellen Aspekten insbesondere von der verfügbaren Fläche in der Produktion begrenzt. Derartige Herausforderungen wurden bereits in den Arbeiten im Stand der Forschung angesprochen und spielen bei der Belastungsregelung nur eine untergeordnete Rolle. Die Fläche als obere Grenze der Anpassungsfähigkeit soll daher hier nicht weiter berücksichtigt werden.

3.3 Zusammenfassung

Die Beschreibung des Fachkonzepts, bestehend aus den Regelkreisen mit den neuen Führungs- und Hilfsregelgrößen, sowie die zugehörige Datenverarbeitung einer Messeinrichtung im Rahmen eines Business-Intelligence-Ansatzes standen im Fokus des vorliegenden Kapitels.

Der Ansatz sieht vor, die bestehenden Regelkreise der permanenten Strukturadaption um weitere Führungs- und Hilfsregelgrößen zu ergänzen. Diese zielen auf die Beeinflussung der kapazitiven Belastung der Produktion durch Entscheidungen in der Produktplanung ab. Als Führungsgröße wurde die Kapazitätsrendite entwickelt. Sie stellt eine neue produkt-spezifische Kennzahl dar und beschreibt das Verhältnis von relativem Deckungsbeitrag und zugehöriger Prozesszeit. Für diese Kennzahl kann ein Zielbereich bestimmt werden, der über die Fixkosten und die verfügbare Zeit bestimmt wird. Beide Größen können z. B. aus Amortisationszielen abgeleitet werden.

Um Ansatzpunkte innerhalb der Produktstruktur zu identifizieren, die eine Beeinflussung der kapazitiven Belastung ermöglichen, wurden Hilfsregelgrößen bestimmt. Hierzu zählen

die Zeitspreizung, die Zeitbedarfsfunktion und der Belastungsquerschnitt. Diese sollen für die unterschiedlichen Ebenen in der Produkt- und Produktionsstruktur erfasst werden, um sowohl kurz- als auch langfristige Veränderungen zu ermöglichen.

Die Zeitspreizung ergibt sich aus der prozentualen Abweichung der Prozesszeit gegenüber dem Mittelwert in Abhängigkeit von Produkten. Für eine genauere Analyse werden den Produkten Merkmale zugeordnet, anhand derer sie sich gruppieren lassen, um die Ursachen der Zeitspreizung zu identifizieren. Das gleiche Vorgehen wurde für die Zeitbedarfsfunktion gewählt. Der Belastungsquerschnitt liefert hingegen Anhaltspunkte für strukturelle Änderungen in den Produkten, da hierdurch direkt die Verteilung der kapazitiven Belastung untersucht werden kann.

Für die Realisierung der notwendigen Messeinrichtung wurde Business Intelligence als Rahmenkonzept identifiziert. Hierbei wurde auch auf die Datenbeschaffung eingegangen, die notwendig ist. Grundlage sind dabei die operativen Systeme in der Produktion.

Nachdem nun das Fachkonzept der mehrskaligen Belastungsregelung vorgestellt wurde, ist es erforderlich, ein Datenmodell für das Data Warehouse zu entwickeln, in dem die notwendigen Datenoperationen für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen durchgeführt werden können.

4 Modellierung der Datenverarbeitung

Aufbauend auf dem Fachkonzept in Kapitel 3 wurde bereits Business Intelligence als Rahmenkonzept für die Ermittlung der Führungs- und Hilfsregelgrößen identifiziert. Ergänzend konnten erste Konzepte für die Datenverarbeitung abgeleitet werden. Als Vorbereitung für eine softwaretechnische Implementierung ist es erforderlich, sowohl das Data Warehouse zu modellieren als auch die notwendigen Operationen zu konzipieren. Dies soll unabhängig von einem konkreten Softwareprodukt erfolgen. Das Kapitel gliedert sich in die allgemeine Vorstellung der mehrdimensionalen Modellierung, die eigentliche Modellierung des Data Warehouse als zentraler Datenspeicher und die Konzepte der Datenoperationen, die auf dem Data Warehouse aufsetzen. Eine konkrete Implementierung wird im nachfolgenden Kapitel vorgestellt.

4.1 Modellierung mehrdimensionaler Datenstrukturen

Für Data Warehouse-Systeme hat sich insbesondere die mehrdimensionale Datenmodellierung durchgesetzt und bewährt [Farkisch 2011]. Die thematisch relevanten Zusammenhänge in der aktuellen Literatur sind jedoch mit unterschiedlichen Begriffen belegt. Daher sollen zunächst die relevanten Begrifflichkeiten und deren Bedeutung im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden.

Die Vorgehensweise orientiert sich an der Arbeit von [Herden 2002]. Er beschreibt eine allgemeingültige und detaillierte Vorgehensweise für eine mehrdimensionale Modellierung.

Für die mehrskalige Belastungsregelung besonders relevant sind die Ebenen und die hierarchischen Zusammenhänge der Elemente in den Produkt- und Produktionsstrukturen. Sowohl die Ebenen als auch die Elemente werden unternehmensspezifisch benannt und

daher zunächst weitestgehend generisch modelliert. Im Fokus steht dabei die datentechnische Abbildung der hierarchischen Zusammenhänge, wie sie in Kapitel 2 vorgestellt wurden.

4.1.1 Fakten und Dimensionen

Zu den zentralen Elementen in einem mehrdimensionalen Datenmodell gehören Fakten und Dimensionen. Fakten stellen dabei einzelne Zahlenwerte dar oder aber zu Kennzahlen zusammengesetzte Zahlenwerte. Die Dimensionen stellen ein Klassifikationsschema zur Einordnung der Fakten dar. Typischerweise dient zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge in einem dreidimensionalen Datenmodell die Metapher eines Würfels, wie er in Abbildung 4.1 dargestellt ist. Darin werden einzelne Fakten eindeutig in den Datenraum eingeordnet, der durch die drei Dimensionen aufgespannt wird.

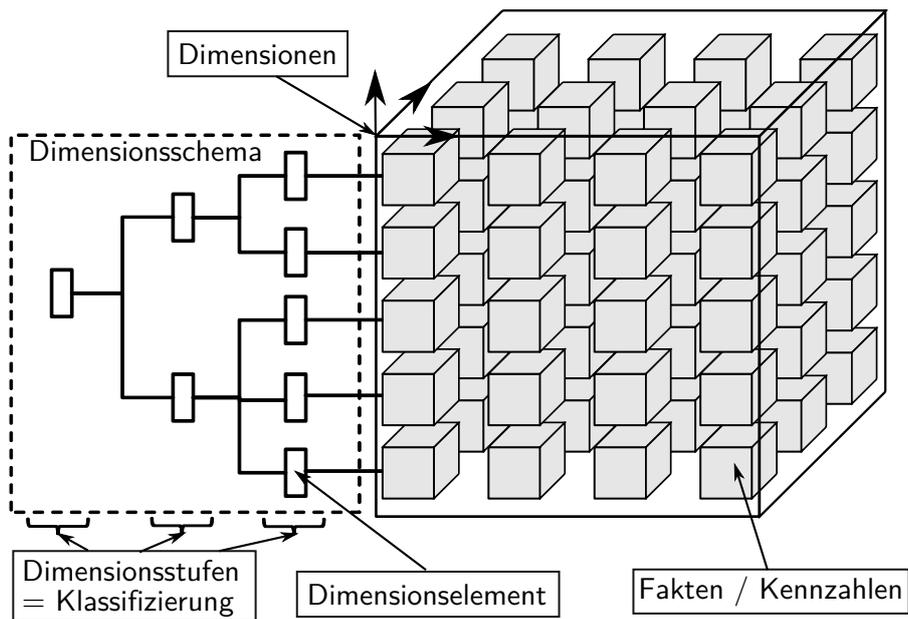


Abbildung 4.1: Würfelform als Metapher eines dreidimensionalen Datenmodells und Zuordnung der Begrifflichkeiten

Daneben kommt auch die parallele Koordinatentechnik zur Visualisierung multidimensionaler Datenstrukturen zum Einsatz. Sie ist geeignet, um mehr als drei Dimensionen und deren Elemente zu visualisieren [Farkisch 2011].

Die Dimensionen sind in der Regel hierarchisch aufgebaut und enthalten Dimensionselemente. Diese aggregieren und verdichten jeweils Teilmengen von Fakten der nächstniedrigeren Stufe. Die Stufen der Dimensionshierarchie werden durch die Klassifizierung der Dimensionselemente gebildet und beschreiben den Verdichtungsgrad der Daten, die entlang der Dimensionen mittels Operationen aggregiert werden [Farkisch 2011].

Die Gesamtheit von Dimensionselementen und Dimensionsstufen wird als Dimensionsschema bezeichnet. Dimensionen sind unabhängig voneinander und stehen dementsprechend orthogonal in einer $m : n$ -Beziehung zueinander. Zwei Dimensionen enthalten somit keine identischen Elemente. Die Länge der Dimensionen kann untereinander verschieden sein.

Neben den hierarchischen sollen im Rahmen der Modellierung nicht hierarchische Dimensionen unterschieden werden. Nicht hierarchische Dimensionen weisen keine vertikalen Beziehungen zwischen den Dimensionsstufen auf. So lassen sich z. B. Ist-, Plan- und Soll-Werte als eigene Dimension beschreiben oder aber auch als Szenarien.

Fakten und Kennzahlen gehören zu den quantifizierenden Informationen und sind in der Regel numerisch. Bei Fakten handelt es sich um Basiskennzahlen wie z. B. Prozesszeiten oder Verkaufszahlen eines Produktes. Kennzahlen hingegen werden mittels Berechnungsvorschriften über Fakten abgeleitet. So stellen Erlöse und Kosten mögliche Fakten dar, während deren Differenz als abgeleitete Kennzahl den Gewinn darstellt.

Da die Anzahl an Dimensionen und Fakten theoretisch beliebig groß sein kann, spricht man auch von einem Hypercube. Allerdings wird die Anzahl beschränkt durch den abgebildeten Zusammenhang, die kognitiven Fähigkeiten der Anwender und die Leistungsfähigkeit der dahinterliegenden Soft- und Hardwaresysteme.

4.1.2 Operationen innerhalb der Datenstrukturen

Die Analyse von Daten nach mehreren Dimensionen wird als Online Analytical Processing (OLAP) bezeichnet [Laudon u. a. 2010]. Sie folgt einer datenpunktorientierten Logik und grenzt sich dadurch von der zeilenorientierten Logik des Online Transaction Processings (OLTP) ab. Im Rahmen der Datenverarbeitung wiederholen sich Operationen und entsprechende Auswertungen der Daten. Über eine Materialisierung der Daten lässt sich der Berechnungsaufwand reduzieren und lassen sich die Antwortzeiten verringern,

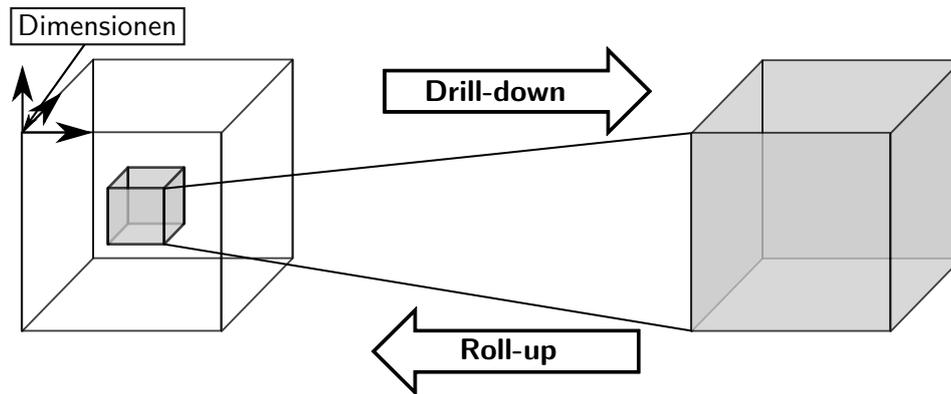


Abbildung 4.2: Prinzip von Roll-up- und Drill-down-Operationen in einem Datenwürfel

indem vorberechnete Ergebnisse bereitgestellt werden. Moderne OLAP-Systeme bieten eine derartige Anfrageoptimierung [Köppen u. a. 2012]. Eine weitere Verkürzung der Antwortzeiten wird über Hauptspeicherdatenbanken erzielt, bei der Anfragen über vorberechnete Ergebnisse im Hauptspeicher beantwortet werden. Eine Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit ist elementar für die kontinuierliche Anwendung im Unternehmen.

Auswertungen in multidimensionalen Datenräumen werden über verschiedene Operationen realisiert, die sich wieder anhand eines Würfels als Metapher für einen dreidimensionalen Datenraum plastisch erläutern lassen. Relevant für die vorliegende Arbeit sind:

Pivotierung/Rotation Dieses Konzept kommt bei gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen zum Einsatz und macht durch Drehen des Würfels jeweils eine Kombination von zwei Dimensionen sichtbar.

Roll-up & Drill-down Durch diese Operationen werden die Werte einer Hierarchieebene zu der jeweils nächsten Verdichtungsstufe aggregiert (Roll-up) oder aufgeschlüsselt (Drill-down). Die Anzahl der Dimensionen bleibt dabei gleich. In Abbildung 4.2 ist der Zusammenhang dargestellt.

Slice & Dice Diese Operationen dienen insbesondere der Filterung von Daten. Der Slice stellt eine Scheibe innerhalb des Würfels dar. Hierbei wird eine Dimension auf einen Wert festgesetzt. Der Dice-Operator extrahiert aus einem Würfel einen neuen und stellt diesen für die Weiterverarbeitung zur Verfügung [Kemper u. a. 2010]. In Abbildung 4.3 ist ein Beispiel für eine Slice-Operation plastisch dargestellt.

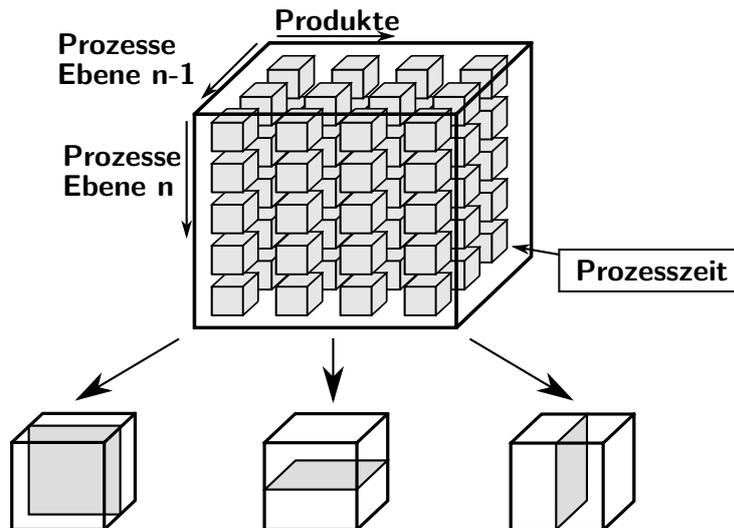


Abbildung 4.3: Beispiel für Slice-Operationen an einem Datenwürfel

Von herausragender Bedeutung bei den Operationen sind Aggregationen. Die zugehörigen Funktionen lassen sich aufteilen in distributive (z. B. Summe, Anzahl oder Maximum), algebraische (z. B. Mittelwert oder Standardabweichung) und holistische Funktionen (Rang, Median oder häufigster Wert). Die Aggregationen erfolgen entlang von Pfaden, die über die Dimensionsstufen beschrieben werden und die die Granularität von Fakten verändern. Eine detaillierte Übersicht liefert Bergerfurth in seiner Arbeit zum Produktionscontrolling [Bergerfurth 2004].

4.1.3 Objektorientierte Modellierungssprache

Für eine allgemeingültige und softwareunabhängige Modellierung soll eine geeignete Modellierungssprache identifiziert werden, die eine einheitliche Beschreibung erlaubt. Vor dem Hintergrund der systemtheoretischen Modellierung der Produktionsstrukturen in Abschnitt 2.3.2 kommen insbesondere objektorientierte Modellierungssprachen infrage.

Die Unified Modelling Language (UML) ist eine grafische und objektorientierte Modellierungssprache für Systeme. Sie bietet verschiedene Sichten auf ein System und die Möglichkeit, auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus zu modellieren. Im Zentrum des Modells stehen dabei Objekte als kleinste Einheit, die über Attribute genauer beschrieben werden. Objekte mit gleichen Attributen lassen sich zu Objektklassen zusammenfas-

sen. Attribute der Modellobjekte entsprechen Eigenschaften der Realweltobjekte [Staud 2010].

Die Klassen wiederum werden eingesetzt, um strukturelle Zusammenhänge eines Systems darzustellen und im Rahmen einer Analyse Konzepte der realen Welt zu strukturieren. Sie werden durch einen Namen eindeutig identifizierbar und sind durch Assoziationen miteinander verknüpft. Diese Assoziationen besitzen eine Richtung und für jedes Ende eine Multiplizität, die den Bereich möglicher Kardinalitäten beschreibt [Rumpe 2011]. UML bietet über die Erweiterungsmechanismen *Stereotyp* und *Tagged Values* die Möglichkeit, die Standardnotation zu ergänzen [Balzert 2009].

Für die Modellierung mehrdimensionaler Datenstrukturen existieren verschiedene Modellierungssprachen. Hierzu gehören die ME/R-Notation (Multidimensional Entity/Relationship) als Erweiterung des Entity/Relationship-(ER-)Ansatzes für relationale Datenschemata, die ADAPT-Notation (Application Design for Analytical Processing Technologies) als konzeptionelle Notation mit semantischen und logischen Aspekten und die objektorientierte Multidimensional Unified Modelling Language (m UML). Daneben existieren auch graphenbasierte Modellierungsansätze, die aber eine untergeordnete Rolle spielen [Farkisch 2011].

Momentan ist kein Standard für die konzeptuelle Modellierung von mehrdimensionalen Strukturen verfügbar. [Totok 2000] analysiert in seiner Arbeit eingehend verschiedene Modellierungssprachen und kommt zu dem Schluss, dass mit einem objektorientierten Ansatz ein guter Kompromiss zwischen Verständlichkeit und Ausdrucksstärke eingegangen wird. Dieser Argumentation wird gefolgt und daher auf die UML-basierte Sprache m UML zurückgegriffen.

Diese Objektorientierung kommt auch in Standards für die Modellierung von produktbezogenen Daten zum Einsatz, wie z. B. dem Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP). Dieser wurde unter ISO 10303 standardisiert und spielt mittlerweile eine herausragende Rolle [Schichtel 2002]. [Peak u. a. 2004] beschreiben in ihrem Beitrag die Zusammenhänge mit UML und stellen dabei heraus, dass sich beide Modellierungssprachen ergänzen.

m UML basiert auf der Multidimensional Modelling Language (MML) und stellt eine Notation auf Basis von UML dar, die [Herden 2002] im Rahmen seiner Entwurfsmethodik

für Data Warehouses entwickelt hat. Im Zentrum der Modellierung stehen dabei die drei Metaklassen DataClass, DimensionalClass und FactClass.

Die folgende Modellierung erfolgt auf Grundlage von *m*UML. Auf die Verwendung der Metaklasse DataClass soll im Folgenden verzichtet werden, weil hierüber insbesondere neue Datentypen festgelegt werden können, was im vorliegenden Fall nicht notwendig ist.

4.2 Modell für das Data Warehouse

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die mehrdimensionale Modellierung vorgestellt wurde, soll diese auf das vorliegende Fachkonzept angewendet werden. Dieser Abschnitt entspricht daher im Rahmen einer allgemeinen Modellierung von Datenstrukturen der Konzeptanalyse. Ausgangspunkt ist das Fachkonzept in Abschnitt 3.1 und insbesondere die Konzeptionierung der Datenverarbeitung in Abschnitt 3.2.

4.2.1 Konzeptanalyse

Die allgemeinen Zusammenhänge bei der Bestimmung von kapazitiven Belastungen in Produktionsstrukturen dienen als Ausgangspunkt der Konzeptanalyse. Hierzu zählt im Kern die Verrechnung von Produktmengen und Prozesszeiten zur kapazitiven Auslastung einzelner Ressourcen. Entsprechend dem mehrdimensionalen Ansatz müssen in einem ersten Schritt der Konzeptanalyse die notwendigen Fakten und Dimensionen identifiziert werden. Das Ergebnis dieser Zuordnung ist in der Übersicht in Abbildung 4.4 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

Grundlage der Führungs- und Hilfsregelgrößen sind die durchschnittlichen Zeiten der Produktionsprozesse. Diese stellen daher die zentralen Fakten dar. Hinzu kommt die Auftragslast, die für die Bestimmung der Kapazitätsrendite verwendet wird.

Die finanzielle Bewertung und Bestimmung der kapazitiven Untergrenzen erfolgt wie beschrieben mittels Fixkosten und Deckungsbeiträgen. Die zugehörigen Daten sind den Stammdaten zuzuordnen. Die Bestimmung der Untergrenzen soll jedoch für verschiedene Ebenen in der Produktionsstruktur ermittelt werden. Daher werden sowohl die Fixkosten als auch die Deckungsbeiträge als Fakten erfasst, um sie entlang der Dimensionen

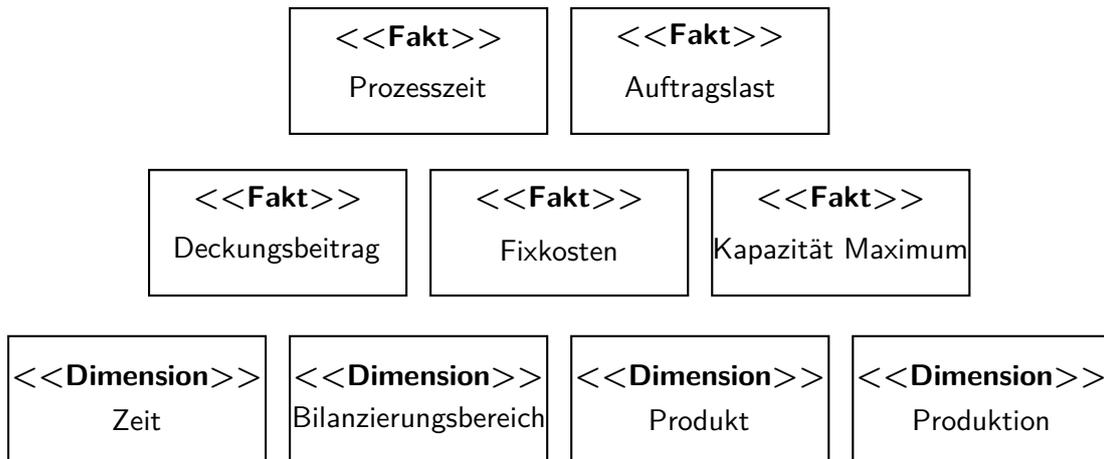


Abbildung 4.4: Übersicht der Fakten und Dimensionen

aggregieren zu können. Gleiches gilt für das maximale Kapazitätsangebot der Kapazitätseinheiten bzw. der Elemente in den Produktionsstrukturen in Abhängigkeit vom Schichtbetrieb. Auch hier soll, z. B. ausgehend von der maximalen Kapazität einzelner Bereiche, die Gesamtkapazität des Unternehmens bestimmt werden.

Die Operationen für die Bestimmung der Zeitspreizung und der Belastungsquerschnitte soll für alle Elemente der Produktions- und Produktstrukturen durchgeführt werden. Beide Strukturen werden daher als Dimensionen modelliert. Hierbei ergeben sich jedoch Unterschiede bei der Abbildung der Hierarchien. Die Produktionsstruktur kann als streng hierarchisch angesehen werden, in der jedes Element genau einem übergeordneten Element zugeordnet werden kann. Die Modellierung der Produkte erfordert aufgrund der komplexeren Relationen und der verschiedenen Sichtweisen eine mehrteilige Modellierung, auf die weiter unten eingegangen wird.

Die Prozesse bilden die Schnittstelle zwischen den Produkt- und Produktionsstrukturen. Deren hierarchische Zusammenhänge sind daher für die Bestimmung der Auslastung erforderlich. Jedoch stellen sie keine eigene Dimension dar, entlang derer Fakten aufgrund des Fachkonzepts ausgewertet werden sollen. Auf die Modellierung der Prozesse wird daher im Rahmen der Operationen näher eingegangen. Von besonderer Herausforderung sind die Zuordnungen von Prozessen zur jeweils übergeordneten Ebene, also z. B. einzelner Arbeitsgänge zu einem Arbeitsplan eines Produkts.

Zu den wichtigsten und gleichzeitig vergleichsweise einfach zu modellierenden Dimensionen zählt die Zeit. Sie stellt in der mehrdimensionalen Modellierung eine typische Dimension

dar, steht doch die Auswertung von Daten der Vergangenheit im Fokus des BI-Ansatzes. Unterschiede gibt es hier jedoch bei der gewählten Granularität der Dimensionsstufen.

Ergänzend dazu wird, wie in der Konzeptionierung beschrieben, eine weitere Dimension eingeführt, die der Unterscheidung von Ist- und Plandaten oder auch von Szenarien dient. Hierbei handelt es sich um eine nicht hierarchische Dimension. Sie soll als Bilanzierungsbereich bezeichnet werden. Bei den Dimensionen der Zeit und der Bilanzierung handelt es sich notwendigerweise um konfirmierte Dimensionen, entlang derer alle Fakten ausgewertet werden können.

Die Modellierung in m UML sieht die Metaklasse `DimensionalClass` vor, um die Dimensionsstufen abzubilden. Eine Dimensionsstufe entspricht somit einer `DimensionalClass`. Da diese Stufen weitestgehend unternehmensindividuelle Bezeichnungen tragen, soll im Rahmen der folgenden Modellierung jeweils eine generische Klasse definiert werden, von der individuelle `DimensionalClasses` abgeleitet werden können. Wie dies gelingt, wird im folgenden Kapitel 5 gezeigt.

Die individuellen Bezeichnungen treten insbesondere bei den Dimensionselementen auf. Hier kommen darüber hinaus im Rahmen der Operationen und Berechnungen die Relationen der Elemente zum Tragen, z. B. die Mengenverhältnisse in den Produktstrukturen. Auch hier soll daher jeweils ein generisches Element modelliert werden, von dem unternehmensspezifische Instanzen gebildet werden können.

Nach dem Vorgehen von [Herden 2002] können für die Metaklasse `FactClass` hingegen konkrete Ausprägungen modelliert werden, da es sich um allgemeingültige Bezeichnungen im Rahmen der Kapazitätsbilanzierung oder Kostenrechnung handelt, wie z. B. der Deckungsbeitrag oder die maximale Kapazität. Für diese Fakten werden nur notwendige Attribute identifiziert, die für die Umsetzung des Konzepts essenziell sind. Weitergehende Analysen lassen sich durch Hinzufügen von Attributen oder ganzen Faktenklassen realisieren.

Damit sind die Fakten und die Dimensionen innerhalb des Fachkonzepts identifiziert und überblicksartig vorgestellt worden, sodass nunmehr auf relevante Besonderheiten eingegangen werden kann.

4.2.2 Fakten

Der folgende Abschnitt beschreibt die Fakten, die im Rahmen der Konzeptanalyse identifiziert wurden. Einzelne Attribute beziehen sich dabei bereits auf Dimensionen, die im folgenden Abschnitt 4.2.3 erläutert werden. Die Modelle sind in Abbildung 4.5 zusammengefasst. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf die entsprechenden Teilmodelle.

Um alle Daten in den Fakten und Dimensionen eindeutig und zweifelsfrei zu identifizieren, werden alle Objekte und deren Instanzen durch ein spezielles Attribut gekennzeichnet. Alle Teilmodelle weisen daher das ID-Attribut für die eindeutige Identifizierung auf. Hinzu kommt bei allen der Zeitstempel, der einheitlich als *ZS_ID* bezeichnet wird und eine zeitlich eindeutige Zuordnung der Fakten ermöglichen soll.

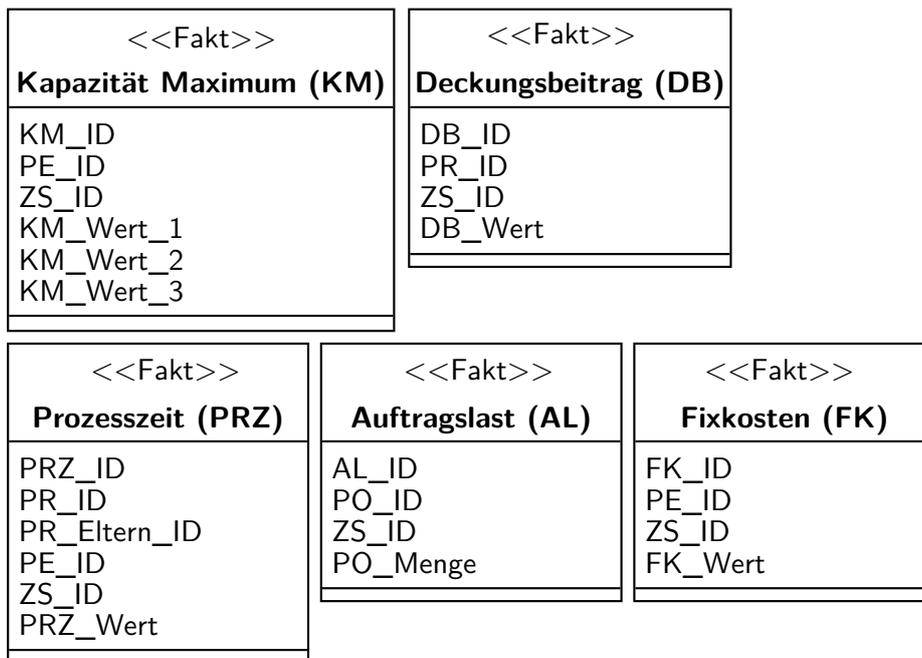


Abbildung 4.5: Teilmodelle der Fakten

Die zentrale Eigenschaft von Prozessen bzw. von Elementen in der Prozesstruktur im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Zeit für die einmalige Durchführung eines Prozesses. Die beschafften Prozesszeiten werden über *PRZ_ID* eindeutig identifiziert und einem Prozess *PR_ID* zugeordnet. *PE_ID* stellt das Element der Produktstruktur dar, das mit diesem Prozess bearbeitet wurde, *PR_Eltern_ID* den in der Prozesstruktur übergeordneten Prozess. Diese Abhängigkeiten wurden im vorhergehenden Kapitel 3

beschrieben und in Abbildung 3.11 darstellt. Die Prozesszeit an sich wird dem Attribut *PRZ_Wert* zugeordnet. Als mögliche Maßeinheit kommen hier entsprechend den unternehmensinternen Größenordnungen Stunden oder Minuten infrage. Die Operationen sind hierauf mit den entsprechenden Faktoren anzupassen.

Die maximalen Kapazitäten *KM_ID* werden wie beschrieben ebenfalls als Fakten modelliert, um eine Auswertung entlang der Dimensionen zu ermöglichen. Dabei kann prinzipiell jedem Element *PE_ID* der Produktstruktur eine maximale Kapazität *KM_Wert* zugeordnet werden. Um die obere Grenze in Abhängigkeit von der Schichtanzahl zu erfassen, werden im Modell drei entsprechende Attribute angelegt.

Die Mengenangaben *PO_Menge* in einem Auftrag *AL_ID* beziehen sich auf die Elemente *PO_ID* in der Produktstruktur. *PO_ID* verweist auf ein Element der Produktstruktur und entspricht in der Regel einer Artikelnummer oder einer sonstigen eindeutigen Identifizierung. Der Zeitstempel gibt einen Zeitpunkt für den Auftrag an. Dabei kann es sich z. B. um den Beginn der Bearbeitung handeln, der durch den ersten Arbeitsschritt definiert wird.

Die Höhe der Fixkosten wird *FK_Wert* zugeordnet. Als Einheit kommt hier typischerweise die Landeswährung zum Einsatz. Die Struktur der Fixkosten orientiert sich an der Produktionsstruktur, wobei die explizite Zuordnung nicht Teil des Konzepts oder der Modellierung ist. Das Attribut *PE_ID* verweist auf das entsprechende Element in der Produktionsstruktur. Über den Zeitstempel wird der Bezugsrahmen der Fixkosten angegeben, also z. B. Quartale oder Jahre. Idealerweise wird hierfür ein einheitlicher Bezugsrahmen gewählt und mit den Deckungsbeiträgen abgestimmt. Abweichungen sind möglich, verkomplizieren jedoch die Operationen.

Die Deckungsbeiträge *DB_Wert* werden einzelnen Prozessen zugeordnet und erhalten daher das Attribut *PR_ID*. Die Maßeinheit setzt sich aus der Landeswährung der Fixkosten und der für die Prozesse gewählten Zeitperiode zusammen, also z. B. [€/h]. Prozessen ohne Wertschöpfung, wie z. B. Rüstprozessen, wird dementsprechend kein Deckungsbeitrag zugewiesen.

4.2.3 Dimensionen

Als letzter Teil des Modells für das Data Warehouse sollen nach den Fakten im Folgenden die Dimensionen modelliert werden. Entlang dieser Dimensionen werden die Fakten in

den Datenoperationen ausgewertet.

Produktion

Grundlage für die Modellierung der planungsrelevanten Produktionsstrukturen stellt der systemtheoretische Ansatz innerhalb der Organisationstheorien dar, der in Abschnitt 2.3.2 vorgestellt wurde. Dieser Modellierungsansatz findet u. a. im Stuttgarter Unternehmensmodell Anwendung und beschreibt die Produktionsstruktur als Elemente, die über Relationen miteinander in Verbindung stehen und einer Strukturierungsebene zugeordnet werden können. Der folgende Abschnitt erläutert darauf aufbauend in Abbildung 4.6 das Teilmodell für die Dimension Produktion.

Produktionselementklasse (PEK)	Produktionselement (PE)
PEK_ID PEK_Eltern_ID PEK_Name	PE_ID PE_Eltern_ID PEK_ID PE_Name

Abbildung 4.6: Teilmodell für die Dimension Produktion

Die Ebenen in der Struktur der Produktion stellen gleichsam eine hierarchische Gliederung dar, die für die vorliegende Modellierung verwendet werden kann. Jede Strukturebene stellt somit eine eigene Klasse von Produktionselementen dar und kann eindeutig einer übergeordneten Ebene zugeordnet werden. Die oberste Ebene bezeichnet in der Regel das Unternehmen selbst und evtl. weitere Unternehmen, mit denen in einem Netzwerk produziert wird. Die unterste Ebene stellen die Arbeitsplätze und Maschinen dar. Die Anzahl der Hierarchiestufen dazwischen hängt von der Unternehmensgröße ab.

Jedes Element in der Produktionsstruktur wird über *PE_ID* identifiziert und eindeutig einem übergeordneten Element *PE_Eltern_ID* zugeordnet. Dabei kann es sich z. B. um Inventarisierungsnummern von Maschinen oder um Kostenstellen handeln. Für die Methodik relevant sind diejenigen Elemente, die unternehmensintern allgemein als planungs- und somit entscheidungsrelevant eingestuft werden und für die Wertschöpfung entscheidend sind. Hierzu zählen insbesondere die direkten Bereiche mit Montage- und Fertigungsprozessen.

Die Verknüpfung der Elemente *PE_ID* zur Klasse der Produktionselemente erfolgt über die *PEK_ID*. Neben der Bezeichnung *PE_Name* sind für die mehrskalige Belastungsregelung keine weitergehenden elementaren Attribute erforderlich. Sie lassen sich jedoch bei Bedarf hier integrieren.

Da Produktionsprozesse und -abläufe auch unternehmensexterne Strukturelemente einbeziehen können, ist dies bei der unternehmensspezifischen Modellierung der Dimensionsstufen und Dimensionselemente mit zu berücksichtigen. Im einfachsten Fall werden die Partnerunternehmen als einzelnes Strukturelement der obersten Klasse modelliert, dem alle Prozesse zugeordnet werden, die in Arbeitsplänen enthalten sind und in diesem Unternehmen abgearbeitet werden.

Produkt

Über die Dimension Produkt sollen die Zeitspreizung und die Belastungsprofile hinsichtlich unterschiedlicher Merkmale ausgewertet werden können. Daher sind die Produktelemente derart zu modellieren, dass sie entsprechend diesen Merkmalen in unterschiedliche Klassen eingeordnet und gruppiert werden können. Die Merkmale und deren Ausprägungen leiten sich zum einen aus der Produktstruktur in Abschnitt 2.3.3, zum anderen aus den leistungsbeeinflussenden Merkmalen in dem Fachkonzept ab. Abbildung 4.7 stellt das Teilmodell der Dimension Produkt dar und fasst die folgenden Erläuterungen zusammen.

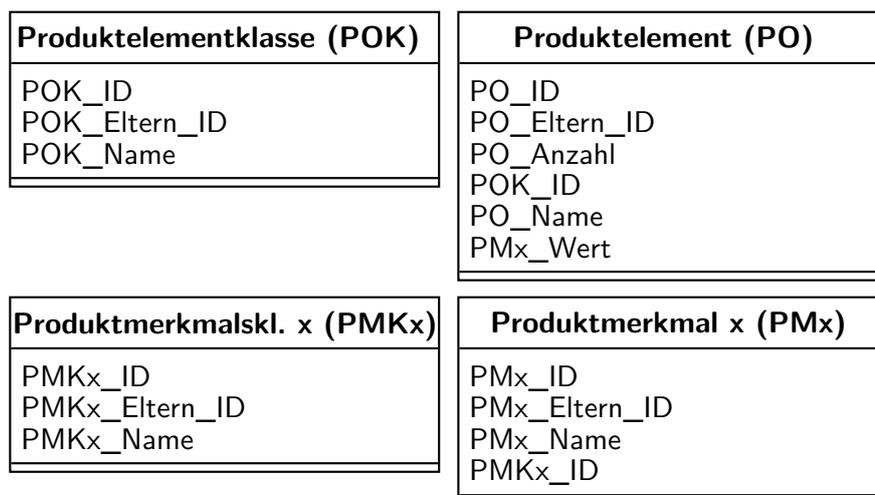


Abbildung 4.7: Teilmodell für die Dimension Produkt

Das Produktelement *PO_ID* mit der Bezeichnung *PO_Name* enthält neben dem Attribut für die Erfassung der Relation zum übergeordneten Element *PO_Eltern_ID* auch ein Attribut *PO_Anzahl* zur Erfassung der Stückanzahl dieser Relation. Diese Modellierung entspricht einer Strukturstückliste und ermöglicht die korrekte Bestimmung von Belastungsquerschnitten, worauf im Rahmen der Operationen in Abschnitt 4.3 näher eingegangen wird. Hierbei ist eine eindeutige Identifizierung aller Einzelteile und deren Varianten notwendig. Handelt es sich bei dem Produktelement um ein Einzelprodukt, bleibt *PO_Eltern_ID* leer.

Die Attribute *POK_ID* und *PMK_x_ID* dienen der Einordnung der einzelnen Elemente in unterschiedliche Klassen, die wiederum die Skalen der Auswertung darstellen. Die Produktelementklassen *POK_ID* dienen der Gruppierung von Produkten sowie deren Elementen. Die Bezeichnungen der Klassen orientieren sich an den bereits vorgestellten Ebenen in Kapitel 2. Das Einzelprodukt kann dabei als Kern dieser Dimension gesehen werden, da es aus Sicht der Absatzplanung und des Vertriebs die kleinste Einheit darstellt. Jedoch ist es hilfreich, jedes Element der Produktstruktur einer Klasse zuzuordnen.

Die Elemente innerhalb der Struktur eines Einzelproduktes stellen Einzelteile, Baugruppen oder Komponenten dar. Für eine umfassende und vollständige Auswertung muss jedes Element in seinen Varianten eindeutig identifizierbar sein, z. B. über die Artikelnummer. In der variantenreichen Serienfertigung existieren in der Regel Merkmalsbäume, über die sich unter Berücksichtigung der Konfigurationslogik das gesamte Produktprogramm visualisieren lässt [Schuh u. a. 2011].

Wie aus dem Fachkonzept hervorgeht, sind daneben diejenigen Merkmale eines Produktes von Interesse, die Einfluss auf die Prozesszeit haben. Im Modell kann jedem Produkt eine Ausprägung *PM_x_Wert* beliebig vieler Merkmale *PM_x_ID* zugeordnet werden. Jedes einzelne dieser Merkmale wird als eine eigene Dimension modelliert. Es benötigt dementsprechend jeweils Produktmerkmalsklassen *PMK* sowie Produktmerkmale *PM_ID* als Dimensionselemente.

Die Anzahl der Produktmerkmalsklassen variiert in Abhängigkeit von den möglichen Ausprägungen der Merkmale. Diskrete Merkmale lassen sich auf wenige Ausprägungen beschränken, wie z. B. *Oberfläche des Werkstücks* auf die Ausprägungen *poliert* und *nicht poliert*. Hier ist eine Merkmalsklasse hinreichend. Ein kontinuierliches Merkmal hingegen, wie z. B. *Durchmesser des Werkstücks*, kann zahlreiche Ausprägungen annehmen. Hierfür ist eine feingliederige Klassenbildung hilfreich bei der Auswertung, indem

z. B. Produktmerkmale zusammenhängende Bereiche von potenziellen Ausprägungen zusammenfassen.

Zeit

Aufgrund der Verwertung historischer Daten kommt der Modellierung der zeitlichen Dimension eine besondere Bedeutung zu. Wichtig ist neben der eindeutigen Identifizierung von Zeitpunkten die eindeutige Zuordnung von Daten zu einem bestimmten Zeitraum. Dies gilt insbesondere, wenn Daten in eine nächsthöhere Ebene überführt werden sollen. Eine Lösung zu der damit einhergehenden Problematik wird in Abschnitt 5.3 vorgestellt.

Der Zeitstempel an sich wird über *ZS_ID* eindeutig identifiziert und über *ZSK_ID* einer Klasse zugeordnet. Für das vorliegende Fachkonzept wird als unterste Ebene in der Dimension und somit als kleinste Einheit für die Auswertung der Fakten die Klasse Tag verwendet. Die Auswertungen lassen sich somit also höchstens für einen einzelnen Tag durchführen, z. B. der Belastungsquerschnitt eines Produktes am ersten Arbeitstag im laufenden Jahr. Für detailliertere Analysen sind weitere Klassen wie Stunden oder Minuten hinzuzufügen.

Zeitstempelklasse (ZSK)	Zeitstempel (ZS)
ZSK_ID ZSK_Eltern_ID ZSK_Name	ZS_ID ZSK_ID ZS_Wert

Abbildung 4.8: Teilmodell für die Dimension Zeit

Wie in Abbildung 4.8 dargestellt, wird auch bei der Dimension der Zeit eine generische Hierarchie modelliert. Als mögliche Ausprägungen der Zeitstempelklassen sind Tage, Monate, Quartale und Jahre denkbar. Unternehmensspezifisch kann hier jedoch auch eine andere Gliederung notwendig sein, z. B. nach Geschäftsjahren oder Saisons. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Fakten nicht beliebig ausgewertet werden können, da z. B. vier Wochen eine andere Anzahl an Tagen haben als ein Monat.

Bilanzierungsbereich

Die Dimension zur Darstellung der unterschiedlichen Bilanzierungsbereiche ist nicht hierarchisch. Sie weist zunächst keine Eltern-ID auf, wie es bei den anderen Dimensionen

der Fall war. Die Modellierung in Abbildung 4.9 beschränkt sich auf bestimmte Arten von Bilanzierungsbereichen, die in Klassen zusammengefasst werden können, sowie die zugehörigen Ausprägungen.

Bilanzierungsbereichsklasse (BBK)	Bilanzierungsbereich (BB)
BBK_ID BBK_Wert	BB_ID BBK_ID BB_Wert

Abbildung 4.9: Teilmodell für die Dimension Bilanzierungsbereich

Für die Zuordnung von Fakten zu einem Bilanzierungsbereich wird ein Attribut *BB_ID* eingefügt. Zu den möglichen Ausprägungen gehören *Plan* und *Ist*. Denkbar sind hier weitere Ausprägungen wie *Simulation*, *Berechnung* oder *manuell*, um die Herkunft der Daten genauer anzugeben. Für eine einfache Untergliederung nach Szenarien bietet sich ein weiteres Attribut mit den entsprechenden Ausprägungen an, wobei unter Verwendung von Vererbungsmechanismen auch wieder eine Eltern-ID benötigt wird.

In den bereits beschriebenen Teilmodellen für das Data Warehouse wurde der Bilanzierungsbereich aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigt.

4.3 Konzeption der Datenoperationen

Die vorhergehenden Abschnitte haben die Teilmodelle im Data Warehouse beschrieben. Um auf dieser Grundlage die Führungs- und Hilfsregelgrößen zu bestimmen, sind weitere Datenoperationen notwendig. Hierauf geht der folgende Abschnitt genauer ein. Zunächst geht es jedoch darum, die Prozesse zu modellieren, da sie als Bindeglied der Strukturen entscheidend bei den Operationen sind.

4.3.1 Prozesse als Bindeglied der Strukturen

Von zentraler Bedeutung ist im Folgenden die Wechselwirkung zwischen Produkt und Produktion in Form von Prozesszeiten. Im Schnittbereich stehen dabei die Prozesse und deren Struktur, für die Prozesszeiten in Form von Fakten vorliegen. Um kapazitive Auswertungen sowohl ausgehend von den Produkt- als auch von den Produktionsstrukturen

zu ermöglichen, ist eine bidirektionale Verknüpfung über die Prozesse notwendig. Sie soll im Folgenden modelliert werden.

Bei der Modellierung der Prozesse wird auf die Bereiche der Produktion fokussiert, in denen die Montage und die Fertigung der Produkte durchgeführt werden. Eine grundsätzliche Übertragbarkeit auf die sonstigen Bereiche ist gegeben, soll im Folgenden jedoch nicht weiter verfolgt werden. Die betrachteten Prozesse werden ebenfalls als Objekte betrachtet und entsprechend modelliert.

Produktionsprozesse kombinieren Produktionsfaktoren und dienen der Realisierung von Produkten. Grundsätzlich können sie Ein- oder Mehrstufigkeit aufweisen. Da nur wenige Produkte tatsächlich über einen einstufigen Prozess hergestellt werden, dominieren in der Praxis mehrstufige Prozesse [Kiener u. a. 2009]. Diese sollen im Rahmen der Modellierung herangezogen werden.

Ein mehrstufiger Produktionsprozess $PR1_ID$ setzt sich somit aus mehreren Teilprozessen $PR2_ID$ zusammen, die jeweils einem Element in der Produktionsstruktur PE_ID zugeordnet werden. Arbeitspläne und Arbeitsanweisungen stellen die zugehörigen Dokumente in der Produktion dar. Die Anzahl der Gliederungsebenen ist theoretisch beliebig hoch, was bei der Modellierung berücksichtigt wird. In der Praxis typisch ist jedoch die zweiteilige Gliederung von Prozessen in Form von Arbeitsplänen, die aus einer individuellen Kombination von Arbeitsvorgängen bestehen.

Zusammen mit einer Ausdehnung der Dimension Produktion auf unternehmensexterne Bereiche müssen auch die Prozessstrukturen angepasst werden. Diese Auswärtsarbeitsvorgänge werden im Arbeitsplan ohne wesentliche Änderungen des Formats aufgenommen. Für die Bearbeitungs- oder Kostenstelle wird der Lieferant aufgeführt, anstatt der Prozesszeit typischerweise die Lieferzeit [Geitner 1987].

Entsprechend der Konzipierung und dem Modell des Fakts Prozesszeit ist diese von einer spezifischen Kombination zweier Prozesselemente von benachbarten Ebenen abhängig (PZ_ID und PZ_Eltern_ID). Dabei kann ein Prozess mehreren übergeordneten Prozessen zugeordnet sein, genauso wie sich ein Arbeitsplan aus einer spezifischen Kombination bestehender Produktionsprozesse zusammensetzt.

Diese Kombinationen unterliegen einer permanenten Veränderung und können in einem Unternehmen zahlreich auftreten. Insbesondere mit steigendem Grad der Individualisierung steigt die Anzahl möglicher Kombinationen der Produktionsprozesse. Die Ver-

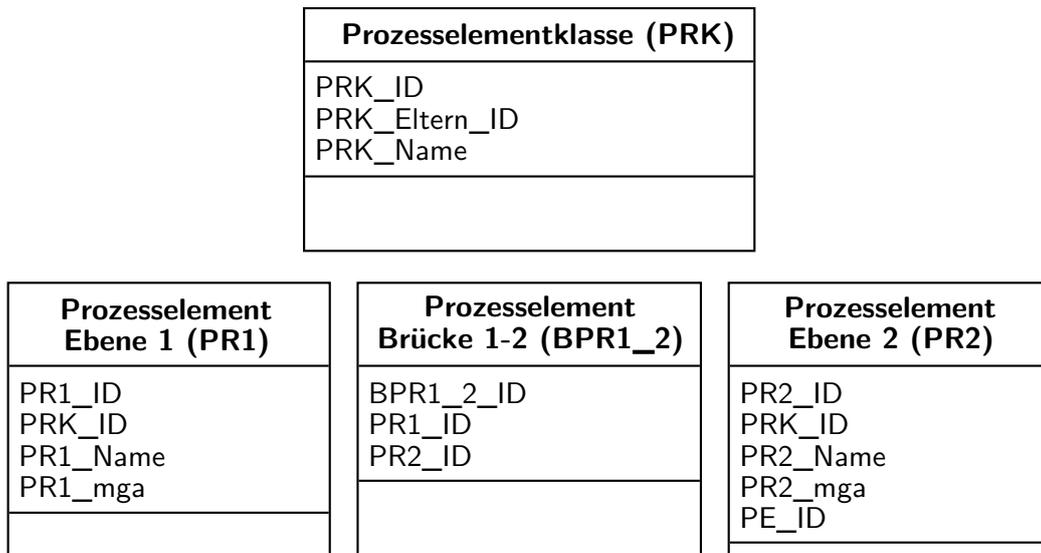


Abbildung 4.10: Teilmodell für die Prozessstruktur mit Brücke

änderungen in der Prozessstruktur sind in der Regel als Folge von Veränderungen in den Produkt- und Produktionsstrukturen zu sehen. Durch neue Betriebsmittel werden bspw. neue Prozesse möglich. Demgegenüber stehen jedoch auch Veränderungen, die sich lediglich auf die Prozesse auswirken, wie Zuordnung zu einem neuen übergeordneten Prozess.

Um dennoch eine bidirektionale Auswertung der Prozesszeiten zu ermöglichen, ist der Einsatz einer sogenannten Brücke erforderlich. In dieser Brücke werden alle Kombinationen von Prozessen der zwei Ebenen abgespeichert. Bei einer Erhöhung der Gliederungsebenen der Prozesse sind entsprechend weitere Brücken einzusetzen. In Abbildung 4.10 ist das Teilmodell für die Prozesse mit einer Brücke dargestellt.

Neben dieser vertikalen Prozessstruktur, die eine hierarchische Aggregation von Prozesselementen darstellt, kann bei Prozessen auch eine horizontale Prozessstruktur unterschieden werden, die eine Reihenfolge widerspiegelt. Unterschiedliche Reihenfolgen einer ansonsten identischen Kombination von einzelnen Prozessen stellen bei Bedarf separate Prozesse der übergeordneten Ebene dar und sind somit eindeutig identifizierbar.

Entsprechend der Konzeptionierung ist eine Unterscheidung hinsichtlich der Abhängigkeit der Prozesse von Produktmengen relevant. Dies gilt insbesondere für die Mengen innerhalb der Produktstruktur, wie im Weiteren noch gezeigt wird. Das jeweils zugehörige Attribut

PR_mga kann dabei die Werte *wahr* oder *falsch* annehmen und wird bei der Bestimmung von produktspezifischen Belastungsquerschnitten herangezogen.

So können z. B. Rüstprozesse als mengenunabhängig eingestuft werden, Ausführungsprozesse hingegen als mengenabhängig. Eine unternehmensspezifische Anpassung ist hier jedoch denkbar. Einmalige Prozesse, wie sie bei der Vorbereitung von Betriebsmitteln für eine neue Produktgeneration notwendig sind, erfolgen im Rahmen einer Arbeitsvorbereitung und werden hier nicht berücksichtigt.

4.3.2 Strukturen als Kontext der Datenoperationen

Das Fachkonzept gibt vor, dass die Führungs- und Hilfsregelgrößen sowohl für kurz- als auch für langfristige Entscheidungen verwendet werden sollen. Dementsprechend werden dabei bestimmte Ebenen in den Strukturen der Produktion und der Produkte adressiert.

In mehrdimensionalen Datenräumen lassen sich für Operationen auf den Fakten verschiedene Rahmenbedingungen definieren, die im Folgenden als Kontext bezeichnet werden. In herkömmlichen Tabellenkalkulationen stellt in der Regel die aktuelle Zeile den Kontext der Berechnung dar. In mehrdimensionalen Datenmodellen können Operationen auf Fakten jedoch in einen komplexeren Kontext gestellt und z. B. durch den gesamten Würfel bestimmt werden. Wird dieser Würfel nun z. B. durch einen Benutzer hinsichtlich bestimmter Kriterien gefiltert, dann bezieht sich die hinterlegte Operation nur noch auf die verbleibenden Fakten, ohne dass sie hierfür abgeändert werden müsste. Derartige Operationen werden als Measure bezeichnet.

Bei einem Measure handelt es sich also unabhängig vom Kontext zunächst um fest im Modell integrierte Datenoperationen auf mehreren Fakten unter Anwendung der in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen OLAP-Operationen und mathematischen Grundfunktionen. Sie sollen im Folgenden von *berechneten Spalten* unterschieden werden, die als zusätzliche Spalte in den Datentabellen implementiert werden. Diese wiederum führen Operationen in einem festen Kontext aus, der im Verlauf der Implementierung bestimmt wird.

Der Kontext wird dabei über die Elemente in den Dimensionen bestimmt, wie Abbildung 4.11 darstellt. In den vorliegenden Operationen, auf die in den folgenden Unterabschnitten näher eingegangen wird, stellen somit die Strukturen der Produkte, der Produktion und

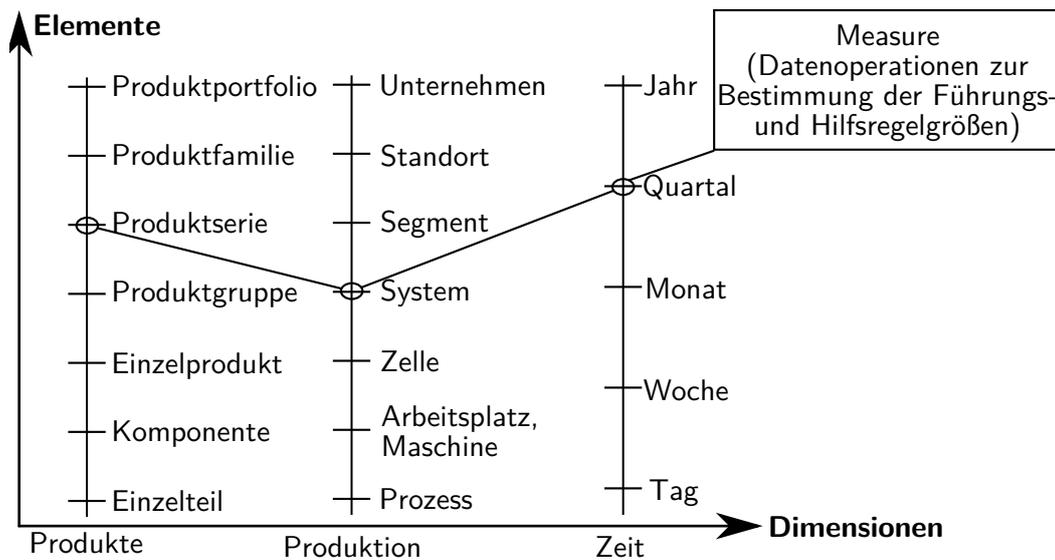


Abbildung 4.11: Dimensionen und Elemente als Kontext für Datenoperationen

der Zeit sowie die darin enthaltenen Elemente den Kontext für die Operationen dar. Wie später im Rahmen der Implementierung in Abschnitt 5.4 gezeigt wird, wählt der Benutzer die gewünschten Elemente aus, stellt somit die Operationen in einen bestimmten Kontext und erhält dadurch die zugehörige Auswertung der Führungs- und Hilfsregelgrößen.

Die folgenden Beschreibungen fokussieren auf den inhaltlichen Ablauf der Operationen und versuchen so, ein möglichst generisches Modell darzustellen. Dabei wird weitestgehend auf die Operationen in den Measures und die Wechselwirkung mit den Elementen der Dimensionen eingegangen. Die Operationen können in Abhängigkeit einer konkreten Implementierung um berechnete Spalten erweitert werden. Deren Verwendung und interne Wechselwirkung hat jedoch Einfluss auf den Berechnungsaufwand und somit auf die Leistungsfähigkeit des gesamten Informationssystems. Die Verteilung von Datenoperationen auf Measures und berechnete Spalten wird somit erst im Rahmen einer konkreten Implementierung festgelegt.

4.3.3 Operationen für die Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen

Die Operationen, mit denen die Führungs- und Hilfsregelgrößen in einer Softwareanwendung realisiert werden können, werden weitestgehend als Measure konzipiert, um die Möglichkeiten zu nutzen, die sich aus der Wahl des Kontexts ergeben. Der vorangehende

Abschnitt ist auf diese Besonderheit eingegangen. Im Folgenden sollen die einzelnen Operationen zur Bestimmung der Führungs- und Hilfsregelgrößen beschrieben werden.

Kapazitätsrendite

Für die Bestimmung der Kapazitätsrendite sind zunächst nur die mittleren Prozesszeiten und die relativen Deckungsbeiträge notwendig. Beide werden für ein Element der Produktstruktur ermittelt. Alternativ lässt sich für Aufträge, die auch aus mehreren Produkten bestehen, die Kapazitätsrendite bestimmen. Hierfür werden die Prozesszeiten und Deckungsbeiträge kumuliert in einem Diagramm aufgetragen.

Während die obere Kapazitätsgrenze bereits in den Fakten enthalten ist, gilt es, die untere Grenze über eine geeignete Operation zu bestimmen. Notwendige Ausgangsdaten dafür sind die relevante Zeitperiode und das Element der Produktionsstruktur. Dieses Measure *KAU_Wert* wird dem Fakt Kapazität zugeordnet. Hier sind bereits die maximalen Kapazitäten für die einzelnen Elemente der Produktionsstruktur erfasst, was eine Berechnung des Measures erleichtert. Das Modell für die zugehörige Operation wird im Folgenden beschrieben.

Ausgehend von dem Element *PE_ID* der Produktionsstruktur werden in einem ersten Schritt diejenigen Prozesse herausgefiltert, die diesem Element zugeordnet sind. Von diesen Prozessen wird derjenige mit dem geringsten relativen Deckungsbeitrag ausgewählt. Über die Division mit den Fixkosten des Elements wird die minimal notwendige Auslastung bestimmt.

Ergänzend kann hierzu die untere Grenze anhand des Prozesses mit dem höchsten relativen Deckungsbeitrag bestimmt werden. Im Ergebnis stellt sich die Grenze somit als Bereich dar. Liegt für ein Element in der Produktionsstruktur nur ein Prozess vor oder sind alle Deckungsbeiträge der Prozesse identisch, so vereinfacht sich die Bestimmung der unteren Grenze.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Deckungsbeiträge auf der Ebene der Prozesse vorliegen und somit auf einer unteren Ebene der Produktionsstruktur. Die Aggregation der minimalen Auslastung auf höheren Ebenen der Produktionsstruktur kann dabei auf zwei Arten erfolgen. Zum einen kann der Mittelwert der minimalen Auslastungen der jeweils untergeordneten Ebene bestimmt werden. Zum anderen kann der absolute Minimalwert verwendet werden.

Zeitspreizung und Zeitbedarfsfunktion

Die Zeitspreizung wird grundsätzlich für einzelne Prozesse bestimmt, lässt sich jedoch auch auf Elemente der Produktionsstruktur erweitern. Die Zeitspreizung wird auf Grundlage eines Produktelements *PE_ID* und eines Prozesses *PR_ID* bestimmt und als Measure dem Fakt Prozesszeit zugeordnet. Das Measure *PRZ_Spreizung* beschreibt dabei die Abweichung gegenüber dem Mittelwert der Prozesszeiten für die vorliegenden Kombinationen von Prozessen und Produktelementen. Notwendig ist daher die Bestimmung der mittleren Prozesszeit in einem bestimmten Zeitrahmen, z. B. den letzten sechs Monaten, und unabhängig von einem Produkt.

Dieser Mittelwert stellt die durchschnittliche produktunabhängige Prozesszeit für einen Prozess dar. Für die Bestimmung der Zeitspreizung werden diesem Mittelwert die produktspezifischen mittleren Prozesszeiten gegenübergestellt, die sich für eine Kombination aus Zeitrahmen, Prozess und Produktelement bestimmen lassen. Über die Abweichungen dieser produktspezifischen Prozesszeiten gegenüber der produktunabhängigen mittleren Prozesszeit wird die Zeitspreizung abgeleitet.

Die Extremwerte dieser Abweichungen für alle Produktelemente stellen die absolute Zeitspreizung dar. Durch die Auswahl spezifischer Produktgruppierungen lassen sich die gewünschten relativen Zeitspreizungen bestimmen. Entlang der Dimension Produkt werden dabei jeweils wieder Mittelwerte bestimmt.

Für die Auswertung der Zeitspreizung im Zeitverlauf und somit in Abhängigkeit von der Verbraurate, kann die Zeitspreizung für unterschiedliche Zeitfenster ermittelt werden. Hier lassen sich weitergehende statistische Analysen durchführen, die jedoch nicht im Fokus der vorliegenden Konzeption stehen. Veränderungen der Prozesszeiten im Zeitverlauf lassen sich z. B. anhand einer Lernkurve untersuchen.

Im Rahmen der Datenbeschaffung kann die Zeitspreizung bereits für Filterzwecke verwendet werden. Hochgradige Abweichungen von Prozesszeiten gegenüber dem Durchschnitt lassen auf eine fehlerhafte Zeitmessung oder sonstige außergewöhnliche Begebenheiten schließen.

Die Zeitbedarfsfunktion ermittelt die durchschnittlichen Prozesszeiten für ausgewählte Kombinationen von Produktmerkmalen. Als Measure kommt somit lediglich die durchschnittliche Prozesszeit zum Einsatz. Der Anwender wählt schließlich die Merkmale aus, hinsichtlich derer er diese zusammenfassen und ausgewertet haben möchte. Werden zwei

oder mehr Merkmale ausgewählt, dann erfolgt die Auswertung der Prozesszeit jeweils für die spezielle Kombination dieser Merkmale. Alle anderen bleiben unberücksichtigt und fließen in den Mittelwert mit ein.

Belastungsquerschnitt

Die produktspezifischen Belastungsquerschnitte werden, ausgehend von den Elementen *PE_ID* der Produktionsstruktur und in Abhängigkeit von den Elementen der Produktstruktur, für eine bestimmte Zeitperiode berechnet. In einem ersten Schritt werden alle dem Produktionselement zugeordneten Prozesse *PR2_ID* gefiltert. Anschließend werden aus dieser Menge alle herausgefiltert, die für die Produktion des gewählten Produktelements durchgeführt werden. Über die Auswahl bestimmter übergeordneter Prozesse *PR1_ID* lässt sich das Ergebnis weiter verfeinern. Dies kann manuell durch den Anwender erfolgen, wenn die Auswahl eine überschaubare Größe hat.

Alternativ können innerhalb der Fakten Prozesszeit die Kombinationen von Prozessen und Produkten nach deren Häufigkeit des Auftretens untersucht werden. Hierüber lässt sich derjenige Prozess *PR1_ID* identifizieren, der die typische Kombination von Prozessen *PR2_ID* vereint, die für die Produktion des Produktelements in der zu untersuchenden Zeitperiode verwendet wurde.

Durch Kenntnis dieser Kombination von einzelnen Prozessen können die durchschnittlichen Prozesszeiten innerhalb der Zeitperiode ermittelt werden. Durch Auswertung der Produktstruktur und der darin enthaltenen Mengenangaben werden die durchschnittlichen Prozesszeiten bei mengenabhängigen Prozessen entsprechend multipliziert.

Für jedes Element in der Produktionsstruktur kann so durch Aufsummieren der einzelnen Prozesszeiten die Auslastung für ein ausgewähltes Produktelement oder für Produktgruppierungen bestimmt werden. Die gemeinsame Darstellung für alle Elemente entspricht somit dem Belastungsquerschnitt für ein Produkt.

Entlang der Dimensionen Produkt und Produktion können über dieses Measure durch Auswahl spezifischer Dimensionsstufen verschiedene Belastungsquerschnitte ermittelt werden.

Wie für die Operationen der Zeitspreizung ist auch hier die Auswahl des Zeitrahmens entscheidend für die Aussagekraft. Wird dieser zu groß gewählt, fließen möglicherweise

strukturelle Veränderungen der Produktion mit ein, wie z. B. Änderungen im Materialfluss. Umgekehrt können bei einem zu klein gewählten Zeitrahmen bereits einzelne außergewöhnliche Vorkommnisse, wie z. B. fehlendes Material im Prozessablauf, das Ergebnis beeinflussen.

4.4 Zusammenfassung

Ausgehend von der allgemeinen Konzipierung in Kapitel 3 wurden im vorliegenden Kapitel die Modellierung der Daten und die zugehörigen Konzepte für die Operationen vorgestellt.

In einem ersten Schritt wurde die mehrdimensionale Modellierung als allgemeiner Ansatz erläutert und m UML als Modellierungssprache eingeführt. Kern dieses Modells sind Dimensionen und Fakten. Dabei wurde der Würfel als Metapher für einen dreidimensionalen Datenraum verwendet. Die Analyse des Fachkonzepts hat anschließend Fakten und Dimensionen für die weitergehende Modellierung identifiziert.

Der Hauptteil des Kapitels befasste sich mit der eigentlichen Modellierung der Fakten und Dimensionen. Die Fakten stellen hierbei die notwendigen Ausgangsdaten dar, mit denen die Führungs- und Hilfsregelgrößen ermittelt werden können. Die Dimensionen hingegen stellen die Skalen der Strukturen dar, für die diese Größen bestimmt werden sollen.

Mit Measures bietet sich in mehrdimensionalen Datenräumen eine Möglichkeit, den Kontext für Operationen auf den Fakten zu ändern, ohne dass dafür weitergehende Änderungen notwendig wären. Hierdurch wird es einem Benutzer möglich, die Führungs- und Hilfsregelgrößen individuell und in Abhängigkeit von den gewünschten Skalen und Strukturelementen zu bestimmen.

Gemeinsam mit dem Kapitel 3 wurden bisher das Fachkonzept und die Modellierung vorgestellt. Für eine umfassende Realisierung der mehrskaligen Belastungsregelung ist eine softwaretechnische Implementierung der Messeinrichtung erforderlich. Hiermit befasst sich das folgende Kapitel.

5 Prototypische Implementierung einer Leistungsmesseinrichtung

Während in Kapitel 3 bereits eine Messeinrichtung als Teil des Fachkonzept vorgestellt und in Kapitel 4 deren Modellierung untersucht wurde, stellt sich nun in Kapitel 5 die Aufgabe einer softwaretechnischen Implementierung der Messeinrichtung. Hierbei handelt es sich um ein umfassendes Informationssystem zur Entscheidungsunterstützung. Derartige Systeme müssen in einer koordinierten Form für einzelne Unternehmen spezifisch entwickelt und integriert werden [Unger u. Kemper 2008]. Hierauf soll im folgenden Kapitel eingegangen werden.

Das Ziel ist, einen Software-Prototypen zu entwickeln, der die Führungs- und Hilfsregelgrößen exakt bestimmt. Da diese Größen auf der Grundlage von Leistungsdaten der Produktion ermittelt und für die mehrskalige Belastungsregelung herangezogen werden, wird im Folgenden von einer *Leistungsmesseinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung* gesprochen – oder kurz von einer LMEB. Dieser Software-Prototyp zur Leistungsmessung soll dann in Kapitel 6 zur Validierung in einem konkreten Unternehmen beispielhaft eingesetzt und auf seine Tauglichkeit überprüft werden. Der Aufwand der Entwicklung ist zu Beginn größer als in der traditionellen Entwicklung, fällt jedoch mit zunehmender Anzahl an BI-Anwendungen im Umfeld schneller ab, da stärker auf existierenden Anwendungen aufgesetzt werden kann [Kemper u. a. 2010].

5.1 Komponenten und Architektur

Das Datenverarbeitungskonzept in Abschnitt 3.2 sieht den Einsatz einer Software aus dem Bereich Business Intelligence vor mit Fokus auf der Bereitstellung der Führungs- und Hilfsregelgrößen. Die elementaren Operationen, die diese Software erfüllen muss, ergeben sich aus der Modellierung in Kapitel 4. Hierzu gehört im Wesentlichen die Speicherung und Bearbeitung mehrdimensionaler Daten sowie deren Visualisierung.

Als Ausgangspunkt für die Implementierung der LMEB wurde das Tabellenkalkulationssystem (TKS) Microsoft Excel 2010[®] des Softwareherstellers Microsoft[®] verwendet. Dieser bietet mit Microsoft[®] SQL Server[®] 2008 R2 PowerPivot eine zugehörige Erweiterung an. PowerPivot ergänzt Microsoft Excel 2010[®] um BI-Funktionalitäten, indem es die mehrdimensionale Speicherung und Verarbeitung von Daten erlaubt.

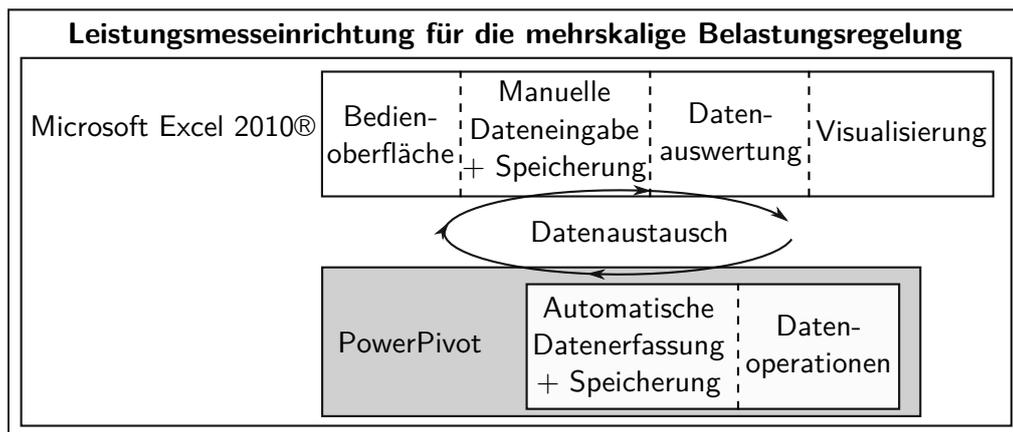


Abbildung 5.1: Komponenten in der Leistungsmesseinrichtung

Die beiden Produkte übernehmen aufgrund ihrer spezifischen Möglichkeiten innerhalb des LMEB unterschiedliche Aufgaben. Abbildung 5.1 ordnet diese entsprechend zu. PowerPivot wird für die automatisierte Beschaffung und Speicherung der mehrdimensionalen Daten und die Datenoperationen verwendet, die in Abschnitt 4.3 vorgestellt wurden. Microsoft Excel 2010[®] wird insbesondere für die Interaktion mit dem Benutzer eingesetzt. Dazu gehört neben der Benutzerführung die Erfassung, Speicherung und Verarbeitung von Daten, die manuell eingegeben werden müssen, sowie die eigentliche Visualisierung.

Neben den hier verwendeten Softwareprodukten existieren weitere kommerzielle und nicht kommerzielle BI-Lösungen, die für eine Implementierung entsprechend dem Fachkonzept geeignet sind. Diese zeichnen sich jedoch durch einen weitaus höheren Funktionsumfang aus, als er für eine prototypische Implementierung notwendig ist. Die ausgewählten Lösungen hingegen bieten die grundlegenden Funktionalitäten. Darüber hinaus lassen sie sich bei Bedarf mit serverbasierten Werkzeugen koppeln und funktionell erweitern.

5.2 Aufbau des Data Warehouse

Neben der Systemarchitektur kommt der Umsetzung des Datenmodells eine besondere Bedeutung zu, weil hier die Wechselwirkungen zu den anderen Teilaufgaben der Entwicklung einer Anwendung vom Typ Business Intelligence (BI) besonders ausgeprägt sind [Kemper u. a. 2010].

Mit Blick auf die Implementierung der Datenbank ist darauf zu achten, dass die Themen Sicherheit, Back-up und Recovery, Performance und Zugriffskontrolle hinreichend berücksichtigt werden. Während die Sicherheit in erster Linie den Zugriff unbefugter Personen betrifft und unterbunden werden muss, ermöglicht die Zugriffskontrolle die zeitgleiche Nutzung der Daten ohne Gefahr von Integritätsverlust [Geisler 2009]. Diese Themen sollen jedoch im Rahmen der prototypischen Implementierung zunächst unberücksichtigt bleiben, da der Anwenderkreis überschaubar und eingegrenzt ist.

Die Anordnung von Datenelementen in einer Datenbank wird aufbauend auf dem konzeptionellen Datenbankentwurf über den logischen Datenbankentwurf beschrieben. Hier schließt sich der physische Datenbankentwurf an, der bestimmt, wie die Daten physisch gespeichert werden [Laudon u. a. 2010]. Die Bestandteile des konzeptionellen Datenmodells wurden bereits in Kapitel 4 beschrieben. Im Folgenden soll daher zunächst das logische und anschließend das physische Datenmodell vorgestellt werden.

5.2.1 Logisches Datenmodell

Für die Speicherung der Dimensionen und Fakten in einem Datenmodell kommen verschiedene Schemata infrage. Eine vergleichsweise einfache Form stellt das Star-Schema dar. Hierbei steht eine Tabelle mit den Fakten in einer 1 : n-Beziehung zu den Dimensionen, die jeweils in einer Tabelle abgebildet werden. Bildlich gesprochen, steht die Faktentabelle in der Mitte und wird von den Dimensionstabellen sternenförmig umgeben. Die Primärschlüssel der Dimensionstabellen werden als Fremdschlüssel in die Faktentabelle übernommen [Balzert 2009]. Durch weiteres Aufschlüsseln der Dimensionen entsprechend der Hierarchie, die sie abbilden, erhält man ein Snowflake-Schema.

Um die Geschwindigkeit von Abfragen im Datenmodell zu erhöhen, ist es ratsam, die Faktentabelle zu denormalisieren. Hierdurch steigt zwar der Speicherbedarf an, jedoch

liegen alle wesentlichen Informationen zu einem Fakt in der gleichen Zeile vor. Die Anzahl an dateninternen Transaktionen kann so reduziert werden [Geisler 2009].

Ein Galaxy-Schema stellt bildlich die Verknüpfung mehrerer Star- oder Snowflake-Schemata dar. Hierbei wird allgemein zugrunde gelegt, dass Dimensionen nicht redundant implementiert werden sollten. Eine derartige Anordnung entsteht dann, wenn sich mehrere unterschiedliche Fakten auf eine Dimension beziehen [Rautenstrauch u. Schulze 2002].

Alle Grundformen weisen spezifische Vor- und Nachteile auf hinsichtlich der Veränderungsfähigkeit oder der Übersichtlichkeit. Die Fakten werden im vorliegenden Fall teilweise mit strukturidentischen Dimensionen verknüpft. Für derartige Konstellationen bietet sich aus Gründen der Konsistenz das Galaxy-Schema an [Kemper u. a. 2010]. Es erlaubt weitestgehend die Abbildung des Konzepts und ist leicht veränderbar. Aus diesen Gründen wird es auch für die Implementierung gewählt. Eine weitergehende Analyse und differenzierte Auswahl ist im Einzelfall bei der Umsetzung im Unternehmen durchzuführen.

Das logische Datenmodell, das in der LMEB implementiert werden soll, ist in Abbildung 5.2 schematisch dargestellt. Dabei kommen die Teilmodelle und Begrifflichkeiten aus Kapitel 4 zur Anwendung. In der Abbildung dargestellt sind die elementaren Tabellen für das Datenbankschema und die darin enthaltenen Spalten. Die Pfeile zeigen die Verknüpfungen zwischen den Datentabellen mittels Fremdschlüsseln an, hier also zwischen den Dimensionen und den Fakten.

Zu erkennen ist, dass die Dimension *Zeit*, hier als *dimZS* bezeichnet, mit allen Fakten verknüpft ist. Dabei kommt je nach Zeithorizont der Fakten ein zugehöriger Zeitstempel zum Einsatz. So werden z. B. die Deckungsbeiträge *faktDB* jeweils für ein Jahr erfasst und erhalten somit neben dem Zeitstempel *ZS* für den Beginn auch *ZS_Jahr*, um das Jahr eindeutig zu identifizieren. Der Bilanzierungsbereich wird für die Validierung nicht benötigt und bleibt daher unberücksichtigt.

Das Schema fasst somit die Teilmodelle der Dimensionen und Fakten aus Kapitel 4 zu einem logischen Datenmodell zusammen, bestehend aus Tabellen und zugehörigen Spalten. Bevor auf die weiteren Operationen zur Verrechnung der Daten eingegangen wird, ist es erforderlich, auf einzelne Aspekte der physischen Datenspeicherung einzugehen.

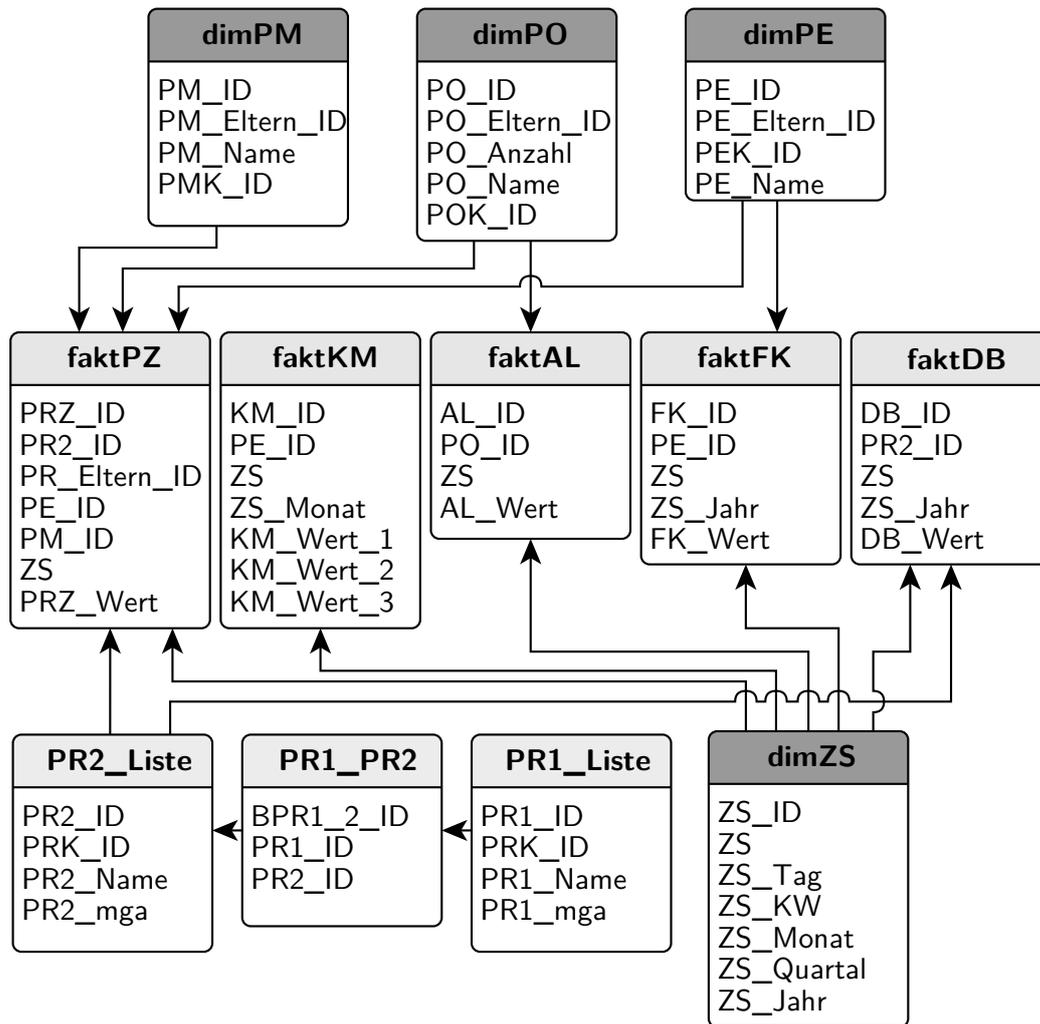


Abbildung 5.2: Aufbau des Galaxy-Schemas für die Datenspeicherung in der LMEB

5.2.2 Physische Datenspeicherung

Von zentraler Bedeutung für die physische Datenspeicherung ist die Speichertechnologie der Datenbank, bei der grundlegend zwischen ROLAP (Relational Online Analytical Processing) und MOLAP (Multidimensional Online Analytical Processing) unterschieden werden kann. Als Zwischenform existiert darüber hinaus HOLAP (Hybrid Online Analytical Processing) [Gabriel u. a. 2009].

ROLAP speichert die Fakten und Dimensionen in relationalen Tabellen nach einem bestimmten Schema, also z. B. einem Star- oder Galaxy-Schema. MOLAP hingegen speichert direkt multidimensional in einer physischen Zellstruktur wie Arrays und erlaubt

so schnelle Zugriffe und Auswertungen. HOLAP hingegen kombiniert beide Verfahren. Über die ETL-Prozesse, die in Abschnitt 3.2.3 vorgestellt wurden, lassen sich die Daten zunächst in relationale Datenbanken einspeisen und dann zu Analysezwecken durch das Datenbanksystem in eine multidimensionale Struktur bringen. So können über HOLAP bewährte Mechanismen zur Speicherung großer Datenmengen aus dem Bereich der relationalen Datenbanken mit der performanten Auswertung der MOLAP-Technologie verknüpft werden [Malinowski u. Zimányi 2011].

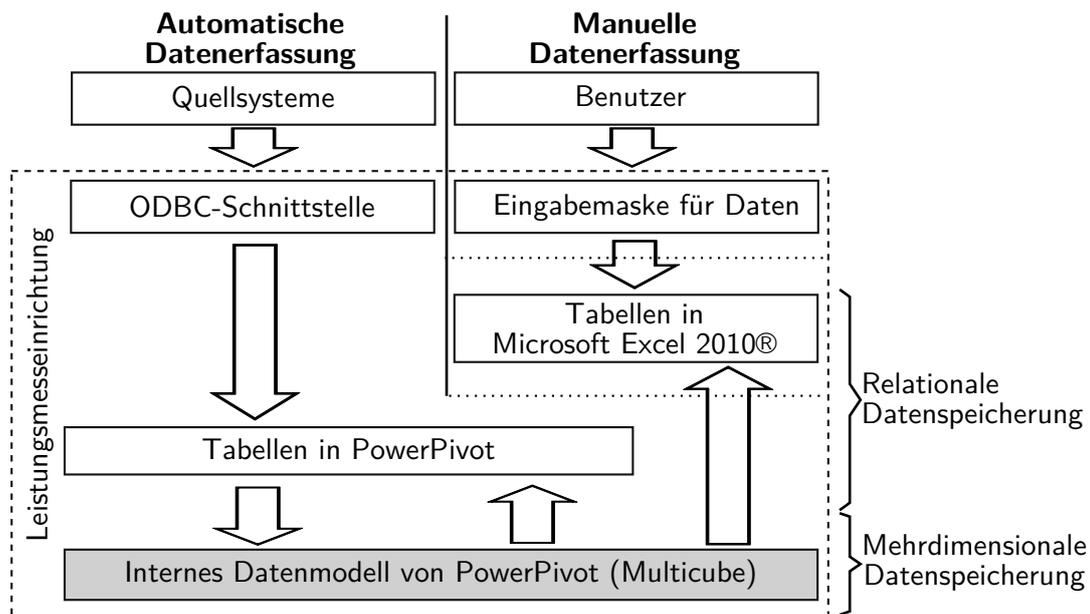


Abbildung 5.3: Physische Datenspeicherung in der LMEB

Die physische Datenspeicherung in der LMEB ist dem Bereich HOLAP zuzuordnen und verteilt sich auf insgesamt drei Bereiche (s. Abbildung 5.3). Die relationale Speicherung erfolgt zum einen in Tabellen in Microsoft Excel 2010[®]. Hier werden Daten zu den Dimensionen durch den Benutzer manuell eingepflegt. Zum anderen erlaubt PowerPivot den Import von tabellarischen Daten aus Microsoft Excel 2010[®] und aus externen Quellen. Es verfügt hierfür unter anderem über Open Database Connectivity-(ODBC-)Schnittstellen und kann so über eine standardisierte Schnittstelle Daten importieren.

Die mehrdimensionale Speicherung der Daten und Auswertung, also das MOLAP, erfolgt innerhalb von PowerPivot. Hierfür werden zwischen den Tabellen die notwendigen Verknüpfungen angelegt, die bereits im logischen Datenschema eingefügt sind (s. Abbildung 5.2). Das Programm kann hierüber Dimensionen und Fakten zuordnen und erstellt daraus das mehrdimensionale Datenmodell in Form eines Multicube, der im Hauptspeicher

des Computers abgelegt und mittels der beschriebenen Operationen ausgewertet wird. Hieraus ergibt sich eine vergleichsweise hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Die effiziente Speicherung von Informationen und eine schnelle Transaktion sind Stärken von relationalen Datenbanken [Farkisch 2011]. Mehrdimensionale Datenstrukturen sind hingegen für zeilenübergreifende Summenoperationen optimiert und diesbezüglich hinsichtlich der Antwortzeit relationalen Datenbanken überlegen [Gómez u. a. 2006].

Über welchen Weg die Daten in die Tabellen gelangen, hängt dabei von deren Verfügbarkeit ab. Prinzipiell lassen sich alle Daten vollständig manuell oder automatisiert in den LMEB übernehmen. Zu den Datenquellen zählen entsprechend der Konzeption im Wesentlichen Systeme für die Betriebsdatenerfassung (BDE), für das Enterprise Resource Planning (ERP) und das Produktdaten-Management (PDM). Die Daten aus diesen Systemen werden als Kopie in der LMEB abgelegt und dort weiterbearbeitet. Über die entsprechenden ETL-Prozesse muss daher geregelt werden, ob bereits vorhandene Daten überschrieben oder ergänzt werden sollen.

Daten, die über manuelle Benutzereingaben erfasst werden, müssen intern entsprechend dem logischen Datenmodell zu Listen umgeformt werden. Die manuelle Dateneingabe erfolgt über Matrizen. Die Spalten stellen die Zeitperioden der Daten dar und die Zeilen die Bezugsobjekte. Für jede Kombination aus Zeitperiode und Bezugsobjekt kann so ein Wert ermittelt werden. So werden z. B. die Fixkosten der Produktionsstrukturen pro Monat erfasst oder die Deckungsbeiträge für die einzelnen Prozesse für ein Jahr.

5.3 Interne Datenverarbeitung

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten neben der Architektur auch die Datenspeicherung adressiert wurde, sollen im Folgenden relevante Aspekte für die Datenverarbeitung vorgestellt werden. Diese dienen der Umsetzung der in der Modellierung beschriebenen Operationen.

Als unabhängige Datenbanksprache hat sich die Structured Query Language (SQL) entwickelt und ist als Standard anerkannt. Die darin definierten Befehle unterteilen sich in die Gruppen Datenmanipulation, Definition des Datenbankschemas sowie Rechteverwaltung und Transaktionskontrolle. Grundsätzlich lassen sich damit auch Datenanalysen

durchführen, insbesondere mithilfe von erweiterten Gruppierungsmöglichkeiten und Aggregatfunktionen.

Speziell für den Zugriff auf multidimensionale Daten jedoch wurde die Anfragesprache MDX (Multidimensional Expressions) durch das Unternehmen Microsoft[®] entwickelt und 1998 vorgestellt [Köppen u. a. 2012]. Dabei wird eine vergleichbare Syntax wie bei SQL verwendet. Viele MDX-Anfragen lassen sich auch als SQL darstellen. Der zentrale Unterschied liegt jedoch darin, dass über MDX unmittelbar mehr als zwei Dimensionen bei einer Abfrage adressiert werden können. Hierdurch wird die Implementierung von Anfragen und Operationen erheblich vereinfacht. Entsprechend lassen sich auch die dahinterliegenden Software-Systeme bezüglich derartiger Anfragen optimieren.

Eine MDX-Anfrage setzt sich dabei zusammen aus einer *Select*-Anweisung, die den Würfel definiert, einer *Select*-Anweisung für die Auswahl der Achsen und einer *Where*-Anweisung für die gewünschte Filterung. Einzelne Anfragen sind schachtelbar und werden durch mathematische Operationen ergänzt.

Innerhalb der LMEB kommen neben den klassischen Funktionen für die Bearbeitung von Tabellen auch derartige Operationen zum Einsatz. PowerPivot verwendet für Operationen die Data Analysis Expressions (DAX) von Microsoft[®]. Hierbei handelt es sich um eine Formelsprache, die von MDX abgeleitet ist.

Wie bereits in der Modellierung in Kapitel 4 beschrieben, erfolgt die interne Datenverarbeitung neben berechneten Spalten auch über *Measures*. Diese sind stets abhängig von dem aktuellen Kontext der Berechnung.

Für die Datenauswertung entlang der Dimension der Zeit ist es erforderlich, jeden Fakt mit einem Zeitstempel der untersten Dimensionsstufe zu versehen, also einem Tag. So werden Fixkosten zwar für den Zeitraum eines Jahres angegeben, erhalten jedoch über eine berechnete Spalte zusätzlich den ersten Tag dieses Jahres als Zeitstempel. Die Tabelle mit der Dimension Zeit enthält nur die Tage als eindeutige Zeileneinträge, die daher als Fremdschlüssel in die Tabellen mit den Fakten übernommen werden können.

Innerhalb der LMEB werden über berechnete Spalten die bestehenden Datenbestände um zusätzliche Informationen angereichert. So werden z. B. in den Tabellen mit den Fakten zur Auftragslast, ausgehend von der Artikelnummer, automatisch die zugehörigen Produktgruppen bestimmt. Außerdem werden so Filterungen realisiert, indem jeder Eintrag hinsichtlich bestimmter Kriterien überprüft wird. Hierdurch ergeben sich neue

Spalten in den Tabellen, die nicht mehr zum ursprünglichen Datenkonzept gehören und lediglich für die interne Datenverarbeitung notwendig sind.

Komplexere Operationen ergeben sich z. B. bei der Bestimmung der Auslastung einer Produktionsressource innerhalb einer Periode. Eine derartige Berechnung wurde in der Tabelle mit den Fakten zur maximalen Kapazität *dimKM* realisiert. Hierbei kommt die folgende stark verschachtelte Berechnungsformel im Quellcode 5.1 zum Einsatz, die über DAX-basierte Filterungen die notwendigen Daten ermittelt und verrechnet.

Quellcode 5.1: DAX-Formel für die Bestimmung der Auslastung

```
=SUMX(FILTER(
    bridgePR0_PR1; bridgePR0_PR1 [PE_ID]=EARLIER ([PE_ID]) );
    SUMX(FILTER(
        faktAL; faktAL [ZS_Q]=EARLIER ([ZS_Q])&&
        faktAL [PR0_ID]=EARLIER(bridgePR0_PR1 [PR0_ID]) );
    IF (EARLIER ([PR1_mga])=TRUE; [ Los ]; 1) *AVERAGEX(
        FILTER(faktAL; faktAL [PR1_ID]=EARLIER ([PR1_ID])&&
        faktAL [ZS_Q]=EARLIEST ([ZS_Q])&&
        faktAL [PO_ID]=EARLIER ([LE_ID]) );
        faktAL [PRZ_Wert]
    )
    )
)
```

Die Formel wird als berechnete Spalte implementiert und bezieht sich im vorliegenden Fall auf eine bestimmte Kombination aus Element der Produktionsstruktur *PE_ID* und Zeitperiode *ZS_Q*, hier also ein Quartal. Zunächst werden für alle Prozesse, die auf diesem Element umgesetzt werden, die übergeordneten Prozessketten bestimmt. Hierzu dient die Brücke, die bereits im Rahmen der Modellierung der Prozesse in Abschnitt 4.3.1 vorgestellt wurde. Auf dieser Grundlage werden die Prozesszeiten in der Zeitperiode gemittelt, mit der Auftragslast in der Periode multipliziert und aufsummiert. Dabei wird berücksichtigt, dass die Prozesse evtl. von der Produktmenge abhängig sind.

Für den Fall, dass die Prozesszeiten, die z. B. aus einem BDE-System ausgelesen wurden, nicht unmittelbar einem Einzelprodukt zugeordnet werden können, ist es erforderlich, die Produkt- und Prozesstrukturen auszuwerten, um den korrekten produktspezifischen

Belastungsquerschnitt für ein Einzelprodukt zu ermitteln. Das notwendige Vorgehen soll im Folgenden erläutert werden.

Ausgangspunkt ist die Artikelnummer oder eine andere eindeutige Bezeichnung *PO_ID* eines Einzelproduktes, für das ein Belastungsquerschnitt ermittelt werden soll. Diese wird zur Bestimmung aller Produktelemente und deren Mengen verwendet, die in dieses Einzelprodukt eingehen. Dazu wird auf die Strukturstückliste zurückgegriffen. In einem iterativen Durchlauf wird so die gesamte Produktstruktur durchlaufen und die Menge der Einzelteile und Komponenten erfasst.

Für jede Ebene in der Produktstruktur – und somit bei jedem Durchlauf – werden die zugehörigen Prozesse identifiziert. Hierbei wird angenommen, dass für jede Strukturebene – und somit alle Produktelemente – ein Arbeitsplan *PR1_ID* vorliegt, in dem die Teilprozesse *PR2_ID* festgelegt sind. Mithilfe dieser Informationen kann jeweils die mittlere Prozesszeit für die einzelnen Prozesse bestimmt werden. Im Rahmen einer Implementierung ist hierfür ein geeigneter Zeitraum zu benennen.

Durch die Zuordnung von Teilprozessen zu einzelnen Elementen in der Produktionsstruktur lassen sich die Prozesszeiten entsprechend zu Belastungskonten aufsummieren. Dabei ist die Mengenabhängigkeit der Prozesse zu berücksichtigen. Die zugrundeliegenden Operationen sind hochgradig verschachtelt und integrieren zahlreiche Teilmodelle. Mit steigender Anzahl an Strukturebenen der Produkt- und Produktionsstrukturen steigt somit auch der Berechnungsaufwand.

Der Quellcode 5.2 berechnet die Differenz der mittleren Prozesszeit für die in dieser Zeile gegebene Kombination aus Prozess und Produkt gegenüber dem produktunabhängigen Mittelwert für diesen Prozess. Die Berechnung erfolgt innerhalb einer Spalte, die entsprechend mit *PRZ_Wert_Spreizung_relativ* bezeichnet ist.

Quellcode 5.2: DAX-Formel für die Bestimmung der Zeitspreizung

```
=AVERAGEX(  
    FILTER(faktAL ; [PR2_ID]=EARLIER([PR2_ID])&&  
        [PO_ID]=EARLIER([PO_ID])) ;  
    [PRZ_Wert]) –  
AVERAGEX(  
    FILTER(faktAL ; [PR2_ID]=EARLIER([PR2_ID]))  
    [PRZ_Wert])
```

Um die Zeitspreizung entlang der Dimensionen auswerten zu können, wird ein Measure implementiert. Dieses greift auf die gerade beschriebene Spalte zu und bildet entsprechend dem Kontext, den der Benutzer für die Zeitspreizung gewählt hat, den Durchschnitt der ermittelten Werte. Die Berechnungsformel ist in Quellcode 5.3 dargestellt.

Quellcode 5.3: DAX-Formel für das Measure der Zeitspreizung

```
Mittelwert PRZ_Wert_Spreizung_relativ:=  
AVERAGE([ PRZ_Wert_Spreizung_relativ ])
```

Wählt also der Benutzer eine bestimmte Produktgruppe und einen Produktionsbereich aus, dann stellt das den Kontext für die Berechnung des Measures dar, in dem die Formel ausgewertet wird. In gleicher Weise werden die Belastungsquerschnitte bestimmt, indem kontextabhängig die mittleren Prozesszeiten bestimmt werden. Die Operationen für die Kapazitätsrendite werden in der Faktentabelle *faktAL* implementiert. Für jeden Auftrag werden die mittleren Prozesszeiten und die zugehörigen Deckungsbeiträge ermittelt. Über ein Measure lassen sich die kumulierten Werte für einen gewählten Kontext bestimmen.

Ersichtlich wird, dass für die Berechnung der Führungs- und Hilfsregelgrößen entscheidend ist, welchen Kontext der Benutzer auswählt. Im Sinne des Fachkonzepts entspricht der Kontext einer bestimmten Kombination aus Ebenen und Elementen in den Skalen der Zeit, der Produktion und der Produkte. Wie der Benutzer den Kontext auswählt, wird daher im folgenden Abschnitt beschrieben.

5.4 Benutzeroberfläche und Visualisierung

Die Benutzeroberfläche und die Visualisierung der LMEB wird durch Microsoft Excel 2010[®] bestimmt. Nicht vorgesehen ist, dass ein Benutzer z. B. im Rahmen der Validierung auf PowerPivot zugreift. Die dort hinterlegten Operationen sollen im Hintergrund ablaufen.

Der Anwender gelangt über eine Einstiegsseite, wie sie in Abbildung 5.4 dargestellt ist, in die verschiedenen Bereiche der LMEB und kann so entweder weitere Daten manuell erfassen oder Auswertungen durchführen. Zur schnelleren Orientierung wurden die Datenbereiche für Produkt, Produktion und Prozess mit spezifischen Farben gekennzeichnet. Außerdem dient eine Übersicht des aktuellen Datenbestands im unteren Bereich einer

ersten Einschätzung der Datenqualität. Zu sehen sind dort die Anzahl erfasster Prozesszeiten und der Anteil vertrauenswürdiger Zeiten. Hierbei handelt sich um Prozesszeiten, die eine Filterung durchlaufen haben und für die weiteren Operationen herangezogen werden können. Im Rahmen der Validierung wird hierauf näher eingegangen.

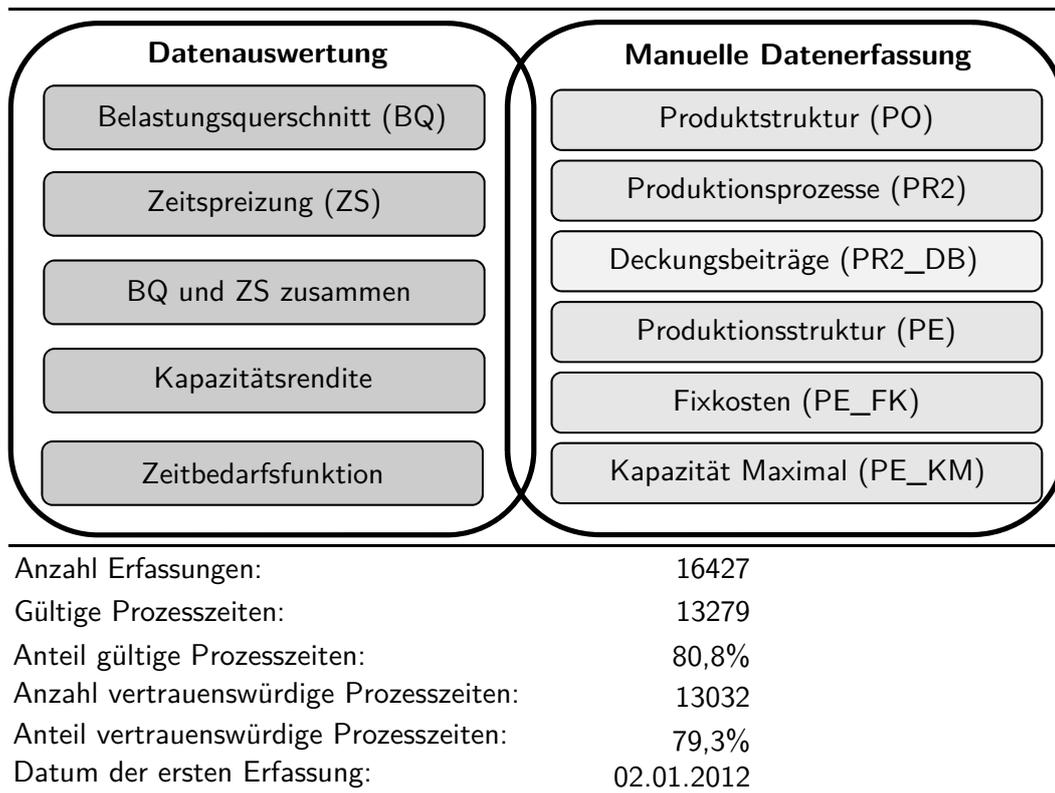


Abbildung 5.4: Einstiegsseite für Anwender der Leistungsmesseinrichtung

Zu den wesentlichen Aufgaben der LMEB gehört die Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen, die auch im Rahmen der Validierung eine wichtige Rolle spielen. Die Visualisierung erfolgt entsprechend dem Fachkonzept für verschiedene Skalen. Diese stellen für die Operationen, die in Abschnitt 5.3 beschrieben wurden, den Kontext dar. Der Benutzer wählt somit den Kontext aus und bestimmt darüber die Skalen, für die eine Auswertung durchgeführt und visualisiert werden soll.

Die Visualisierung erfolgt innerhalb der LMEB in Microsoft Excel 2010[®] für jede Größe auf einem separaten Tabellenblatt. Die grundlegende Anordnung der verschiedenen Bereiche auf diesen Blättern ist in Abbildung 5.5 dargestellt und wird im Folgenden beschrieben.

Skalen der Produktion		Systeme	Zellen	Maschinen	Skalen der Zeit	
Standorte Name Name	Segmente Name Name	Name Name Name	Name Name Name	Name Name Name	Jahre 2010 2011 2012	
Bereich für die Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen						
Skalen der Produkte		Linie	Einzelprodukte		Quartale Q1 2010 Q2 2010	
Familie Name Name	Serie Name Name	Name Name Name	Art.-Nr. Art.-Nr. Art.-Nr.	Art.-Nr. Art.-Nr. Art.-Nr.	Monate März April	

Abbildung 5.5: Auswahl der Skalen und Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen

Dem Benutzer werden entsprechend der Anzahl an relevanten Skalen drei Auswahlbereiche für den Kontext zur Verfügung gestellt. Die Auswahlmöglichkeiten entsprechen den Dimensionen im mehrdimensionalen Datenmodell und den zugehörigen Dimensionselementen. Realisiert wird dies softwaretechnisch in Microsoft Excel 2010[®] über Datenschnitte für die zugehörigen Operationen, die in Measures implementiert sind.

Im Zentrum steht die Visualisierung der jeweiligen Größe. Für die Belastungsquerschnitte und die Zeitspreizung kommen Balkendiagramme zum Einsatz. Die Kapazitätsrendite wird über Liniendiagramme dargestellt. Oberhalb der Visualisierung, z. B. das der Zeitspreizung, werden die Skalen der Produktion ausgewählt. Innerhalb der Skalen können Elemente einzeln oder kombiniert ausgewählt werden. Entsprechend der Auswahl verkleinern sich die Auswahlmöglichkeiten der darunterliegenden Ebene. Gleiches gilt für die Skalen der Produkte, die unterhalb der Diagramme angeordnet sind. Die Skala der Zeit ist rechts neben den Diagrammen angeordnet. In der LMEB nicht berücksichtigt ist der Bilanzierungsbereich.

5.5 Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel beschreibt die softwaretechnische Implementierung eines Prototypen, der als Leistungsmesseinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung (LMEB) bezeichnet wird. Zu den grundlegenden Komponenten gehören dabei die kommerziellen

Softwareprodukte Microsoft Excel 2010[®] und die zugehörige Erweiterung PowerPivot mit den notwendigen Business-Intelligence-Funktionalitäten.

Ausgehend von dem konzeptionellen Datenmodell in Kapitel 4 wird zunächst ein logisches Datenschema mit einer Galaxy-Struktur entwickelt. Dieses wird anschließend in der LMEB physisch abgebildet. Die Operationen finden dabei innerhalb von PowerPivot statt. Möglichkeiten für die manuelle Dateneingabe durch einen Benutzer sind ergänzend zur automatisierten Erfassung vorgesehen.

Anhand von Beispielen wurde die interne Datenverarbeitung vorgestellt. Zum Einsatz kommen dabei verschachtelte Formelausdrücke. Über Measures werden die Führungs- und Hilfsregelgrößen bestimmt. Der Benutzer der LMEB bestimmt den Kontext der Operationen. Hierfür wurde für die Benutzeroberfläche eine einheitliche Anordnung vorgestellt. Dem Benutzer stehen dabei die drei Skalen Produkt, Produktion und Zeit zur Verfügung, um den Kontext der Operationen zu bestimmen und somit die gewünschte Visualisierung zu erhalten.

Der Funktionsumfang wurde im Rahmen der prototypischen Implementierung mit fiktiven Daten getestet. Notwendig ist jedoch noch der Nachweis, dass der LMEB in einem realen Unternehmen erfolgreich eingesetzt werden kann. Darauf geht das folgende Kapitel ein.

6 Validierung des Fachkonzepts und der Messeinrichtung

Das Fachkonzept sowie die Messeinrichtung für eine mehrskalige Belastungsregelung wurden bislang konzipiert und grundlegend modelliert sowie prototypisch in einer Leistungsmesseinrichtung implementiert. Das vorliegende Kapitel befasst sich daher mit der bislang noch ausstehenden Validierung der mehrskaligen Belastungsregelung in einem Unternehmen.

Zunächst gilt es, die Validierung und das gewählte Vorgehen vorzustellen. Dazu gehört insbesondere das Unternehmen, in dem die Validierung durchgeführt wurde. Der zweite Abschnitt befasst sich mit der Integration der LMEB in die bestehende Software-Architektur. Dabei wird auch auf die notwendigen Anpassungen und die Datenbeschaffung eingegangen. Der dritte Abschnitt behandelt die Anwendung des Fachkonzepts anhand von zwei Fallbeispielen. Diese dienen als Grundlage für die Bewertung im abschließenden vierten Abschnitt des Kapitels.

6.1 Rahmenbedingungen für die Validierung

Für die Validierung konnte ein kleines Unternehmen mit einer variantenreichen Serienfertigung gewonnen werden. Das Vorgehen und das Unternehmen werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

6.1.1 Vorgehen und Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel der Validierung ist der Nachweis der Gültigkeit des Fachkonzepts und dessen Wirksamkeit hinsichtlich der beschriebenen Problemstellung. Im Fachkonzept wurde eine mehrskalige Belastungsregelung vorgestellt. Hierüber sollen Veränderungen

in der Produktstruktur derart gelenkt werden, dass die Auslastung der Produktionsstrukturen stets innerhalb des Arbeitsbereichs liegt.

Dieses Hauptziel soll für die Validierung in zwei Teilziele aufgebrochen werden, um die abschließende Bewertung zu präzisieren. Das erste Teilziel bezieht sich auf die softwaretechnische Implementierung der LMEB. Diese stellt die Führungs- und Hilfsregelgrößen in Form von Auswertungen kontinuierlich zur Verfügung und wurde in Abschnitt 5.1 prototypisch implementiert. Im Rahmen der Validierung soll nachgewiesen werden, dass eine Integration in bestehende Informationsstrukturen in einem Unternehmen möglich ist. Dies ist die Voraussetzung für eine kontinuierliche Anwendung des Fachkonzepts.

Das zweite Teilziel bezieht sich auf die Wirksamkeit des Fachkonzepts, das in Abschnitt 3.1 vorgestellt wurde. Gelingt die Integration der LMEB, dann sollen die Vorteile des Fachkonzepts gegenüber dem Ist-Zustand im Unternehmen anhand von Fallbeispielen nachgewiesen werden. Hierfür sind durch die LMEB die Führungs- und Hilfsregelgrößen zu ermitteln und in Entscheidungen zu Veränderungen in der Produktstruktur zu integrieren.

Für eine Bewertung ist es erforderlich, die Wirkung von Entscheidungen ohne und mit Anwendung des Fachkonzepts und der LMEB miteinander zu vergleichen. Mangels formalisierter Entscheidungsprozesse ist eine belastbare Vergleichbarkeit jedoch nicht realisierbar. Alternativ können Veränderungen in der Auslastung der Produktionsstrukturen bewertet werden. Hierbei überlagern sich jedoch zahlreiche Phänomene, sodass Rückschlüsse auf das Fachkonzept verschleiert werden. Die Bewertung erfolgt daher auf Grundlage der Rückmeldungen der Entscheidungsträger und deren langjähriger Erfahrung.

Der Ablauf der Validierung beginnt mit einer Erfassung der Ausgangssituation im Unternehmen und der Anpassung der LMEB. In einem iterativen Prozess wird diese weiter angepasst und in die unternehmensinternen Abläufe und IT-Strukturen integriert. Hierbei wurden bereits Informationslücken geschlossen, z. B. durch die informationstechnische Beschreibung des Absatzprogramms und der Produktmerkmale.

6.1.2 Vorstellung des Validierungspartners

Für die Validierung konnte die *Friedrich August Picard GmbH & Co. KG* aus Remscheid als Partner gewonnen werden. Dieses Unternehmen hat sich auf die Herstellung und

den Vertrieb von Schleif-, Polier-, Bürst- und Entgratwerkzeugen sowie Kontaktscheiben für das Bandschleifverfahren in der Metall- und Holzverarbeitungsindustrie spezialisiert. Es existiert seit 1907 und befasst sich seit 1919 mit dem Kerngeschäft im Bereich der Schleifprozesse. Das Unternehmen beschäftigt heute knapp über 40 Mitarbeiter und erwirtschaftet im laufenden Geschäftsjahr einen Jahresumsatz von über 2 Mio €. Aufgrund dieser Größenordnung wird es als kleines Unternehmen eingestuft.

Das Leistungsspektrum, auf das in Abschnitt 6.1.3 näher eingegangen wird, kann als variantenreich bezeichnet werden. Die Kunden wählen grundsätzlich aus einem bestehenden Portfolio. Einzelne Produktmerkmale, z. B. der Durchmesser, können aber auch kundenindividuell und jenseits festgelegter Ausprägungen gewählt werden. Über die notwendigen Änderungen am Produkt wird kurzfristig zwischen den Abteilungen im Unternehmen entschieden. Bei entsprechender Nachfrage und Wirtschaftlichkeit werden derartige kundenindividuelle Produktvarianten in das Absatzprogramm aufgenommen und regulär angeboten. Das Absatzprogramm verändert sich somit und folgt kontinuierlich den Kundenanforderungen.

Die grundlegenden Veränderungen in der Produktstruktur erfolgen zum einen durch Hinzunahme von Handelsware, zum anderen durch Eigenentwicklungen. Auslöser sind dabei unmittelbare Anfragen von Kunden oder proaktive Entscheidungen der Geschäftsführung. Unter Berücksichtigung der eigenen technologischen Fähigkeiten und der Anforderungen der Kunden wird auch gemeinsam mit Forschungseinrichtungen die Produktentwicklung vorangetrieben.

Die Unternehmensstrukturen sind kontinuierlich gewachsen. Die weitreichenden Entscheidungen werden in der Geschäftsführung getroffen. Die Anpassung der Produktionsstrukturen an die Produkte und Produktmengen erfolgt im Wesentlichen schrittweise durch kontinuierliche Verbesserungen und singuläre Investitionsentscheidungen. Aufgrund von Flächenrestriktionen in den bestehenden Räumlichkeiten laufen die Vorbereitungen für den Umzug in neue Produktionshallen.

Die momentane Strukturierung der Produktion zeichnet sich durch die Gruppierung technologisch ähnlicher Ressourcen aus. Derzeit wird an zwei Standorten produziert. Der Materialfluss erfolgt auftragspezifisch auf Grundlage des Arbeitsplans. Die Einplanung der Aufträge erfolgt im Rahmen der Arbeitsvorbereitung unter Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten. Ein kleiner Teil der Produktionsschritte wird fremdvergeben.

Die Produktion und die Ablaufsteuerung wird im Unternehmen seit knapp zwei Jahren durch ein BDE-System unterstützt. Hierüber werden in den Abteilungen der Produktion Auftragsdaten über Terminals erfasst. Das Ziel der Unternehmensführung besteht darin, die bestehende Informationsbasis auszubauen, zu defragmentieren und besser für kurz- und langfristige Planungen zu nutzen. Hierüber sollen auch Investitions- und Produktentscheidungen besser abgesichert werden.

Das Unternehmen ist somit grundsätzlich für die Validierung geeignet. Zum einen erfüllt es die Kriterien an die Unternehmensgröße sowie die Produkt- und Produktionsstrukturen. Zum anderen bietet es durch die informationstechnische Durchdringung der Produktion mit dem BDE-System die Möglichkeit zur Integration der Leistungsmesseinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung.

6.1.3 Beschreibung der Produkte und der Unternehmensstruktur

Das Absatzprogramm setzt sich sowohl aus Sach- als auch aus Dienstleistungen zusammen. Bei den Sachleistungen kann weiter in Eigenerzeugnisse und Handelsware unterschieden werden. Die Einordnung der Produktgruppen in diese Klassifizierung ist in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Einordnung der Produktgruppen in das Absatz- und Entwicklungsprogramm

Absatzprogramm	Produktgruppen	Entwicklungsprogramm
Eigenerzeugnisse	Kontaktscheiben Rollen und Walzen Entgratwerkzeuge Schleifwerkzeuge	Eigenentwicklung
Mischbereich	Schleifmittel Polierwerkzeuge Bürstwerkzeuge Zubehör Dienstleistungen	
Handelsware	Maschinen Absauganlagen	Fremdentwicklung

Bei den Dienstleistungen handelt es sich vorwiegend um produktbegleitende Unterstützungstätigkeiten, die stets in Verbindung mit einem Produkt angeboten werden.

Der Anteil gegenüber den Sachleistungen ist dabei vernachlässigbar. Die Handelswaren werden vom Unternehmen weder selbstständig entwickelt noch hergestellt. Der weitaus größte Teil des Absatzprogramms besteht aus mehrteiligen Eigenerzeugnissen. Diese werden nicht nur nahezu vollständig im Unternehmen produziert, sondern auch dort entwickelt.

Diese Produktgruppen sind somit grundsätzlich für die Validierung geeignet, da sowohl Produktion als auch Produktentwicklung im Unternehmen durchgeführt werden und somit für das Fachkonzept geeignet sind. Der Anteil an Fremdfertigung innerhalb der Produktgruppen fällt unterschiedlich, aber stets gering aus.

Das Unternehmen kooperiert mit Fremdfertigern, die einzelne Arbeitsgänge mit besonderen technologischen Kompetenzen übernehmen. Diese sind also in die Prozessketten eingliedert und Teil des Materialflusses. Die Auslagerung von Arbeitsgängen aufgrund von Kapazitätsengpässen spielt eine unbedeutende Rolle. Die Fremdfertiger werden innerhalb der Unternehmensstruktur auf gleicher Ebene mit dem Validierungspartner angeordnet und stellen somit Elemente der Netzwerkebene dar. Eine konkrete Benennung ist für die Validierung nicht notwendig und soll daher unterbleiben. Im Rahmen der Prozesse wird auf diesen Aspekt eingegangen. Lieferanten von Rohstoffen und Halbzeugen spielen innerhalb des Fachkonzepts keine Rolle und werden daher nicht berücksichtigt.

Dem Unternehmen als Teil eines Netzwerks wird direkt der momentane Standort untergeordnet. Auch wenn einzelne Arbeitsgänge in einem ausgelagerten Teil und räumlich getrennt durchgeführt werden, soll die Produktion lediglich diesem Standort untergeordnet werden. Da bei diesen Arbeitsgängen sowohl die Bearbeitungszeiten als auch die Transportzeiten als Prozesszeit im BDE-System erfasst werden, ist eine Unterscheidung der Standorte überflüssig.

Insgesamt werden vier Bereiche unterschieden, die in Abbildung 6.1 dargestellt sind. Kern des Unternehmens ist der Produktionsbereich, der auch für die Validierung in Abschnitt 6.3 herangezogen und näher beschrieben wird. Zu den weiteren Abteilungen zählen Vertrieb, Einkauf und Lager, die dem Bereich Materialfluss untergeordnet werden. Im Bereich Leitung wird die Geschäftsführung eingeordnet sowie einzelne Mitarbeiter mit Führungsaufgaben. Leiharbeiter, Praktikanten und sonstige temporäre Mitarbeiter und Tätigkeitsbereiche werden im Bereich Sonstige zusammengefasst.

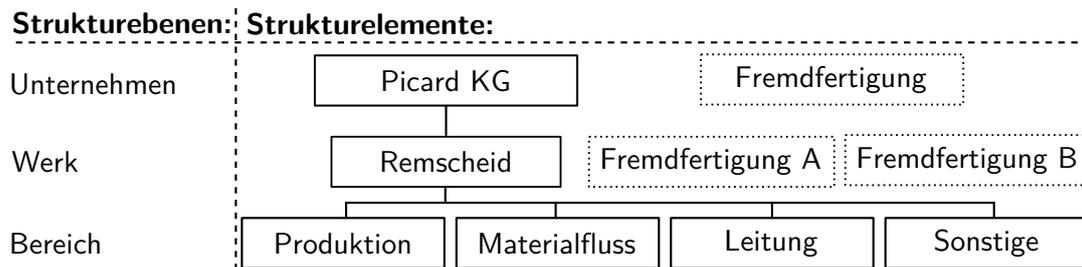


Abbildung 6.1: Einordnung des Produktionsbereichs in die gesamte Unternehmensstruktur

Innerhalb der Produktionsstruktur wurde der Bereich Produktion ausgewählt, wie in Abbildung 6.1 dargestellt. Der Bereich Materialfluss beinhaltet auch die Abteilung Vertrieb, die ebenfalls an das BDE-System angeschlossen ist, jedoch im Rahmen der Validierung nicht berücksichtigt werden soll.

6.2 Anpassung der Leistungsmesseinrichtung

Die Bestandteile und der Aufbau der Leistungsmesseinrichtung wurden in Abschnitt 5.1 vorgestellt. Im folgenden Kapitel wird beschrieben, wie die Anpassung an die Rahmenbedingungen des Validierungspartners erfolgt. Zunächst geht es dabei um die Integration in die bestehende Informationsarchitektur und hier die Verbindung zum BDE-System. Anschließend erfolgt die Umsetzung des physischen Datenmodells in der LMEB und die eigentliche Datenverarbeitung. Dabei wird auch auf die Beschaffung der fehlenden Daten eingegangen, z. B. der Fixkosten.

6.2.1 Gesamtarchitektur

Die softwaretechnische Gesamtarchitektur besteht aus zwei Bereichen. Zum einen handelt es sich dabei um die im Unternehmen bereits vorhandenen Strukturen, bestehend aus dem BDE-System, den Bedienstationen an den Arbeitsplätzen der Mitarbeiter sowie einzelnen individuellen Software-Werkzeugen für die Datenverarbeitung. Zum anderen handelt es sich um die Leistungsmesseinrichtung LMEB, die in Abschnitt 5.1 vorgestellt wurde. Die Gesamtarchitektur ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

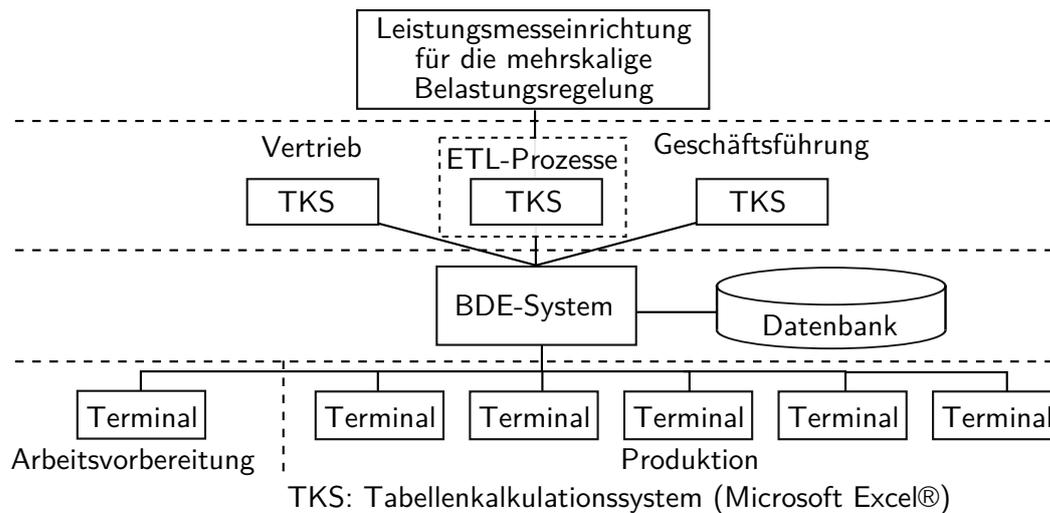


Abbildung 6.2: Integration der Leistungsmesseinrichtung in die bestehende Informationsarchitektur

Als Grundelement der Informationsbeschaffung dient das BDE-System. Es besteht aus einer zentralen Software zur Realisierung der Kernfunktionalitäten, die auf eine Datenbank zugreifen kann. Die Dateneingabe an sich erfolgt über Bedienterminals. Diese befinden sich zum einen an den einzelnen Arbeitsplätzen, zum anderen in der Arbeitsvorbereitung und der Geschäftsführung. Das BDE-System besitzt mit Open Database Connectivity (ODBC) eine standardisierte Schnittstelle und erlaubt so den Zugriff auf die Datenbank mittels SQL-Kommandos über das lokale Computernetzwerk.

Zur Anwendung kommt diese Schnittstelle bei der datentechnischen Anbindung der Tabellenkalkulationssysteme (TKS) der Mitarbeiter. Diese dienen zum einen dazu, die Daten im BDE-System gezielt zu bearbeiten. Zum anderen eignen sie sich zur Auswertung der Daten. Im Vertrieb lässt sich so z. B. der aktuelle Stand von Aufträgen ermitteln oder lassen sich die Beschreibungen von Produkten bearbeiten, ohne die Anwendung zu wechseln.

Die LMEB greift lediglich lesend auf den Datenspeicher des BDE-Systems und die bestehenden Datenbestände zu. Der Zugriff erfolgt im Rahmen der Validierung nicht direkt, sondern über ein TKS. Dieses nimmt somit erste ETL-Funktionen wahr und extrahiert lediglich die relevanten Daten und stellt sie geeignet zusammen. Weitere Filtermechanismen kommen dann in der LMEB zur Anwendung.

Von diesen Daten werden in der LMEB Kopien angelegt, die für die weiteren Auswertungen

verwendet werden. Die Aktualisierung der Daten wird durch den Benutzer ausgelöst, kann aber bei Bedarf auch vollständig automatisiert erfolgen. Änderungen, z. B. in den Artikelnummern oder Bezeichnungen, lassen sich somit wie bisher vornehmen und unmittelbar in die LMEB übertragen.

Die betriebswirtschaftlichen Daten liegen bislang nicht in der notwendigen Struktur vor und werden daher über entsprechende Eingabemasken in die LMEB manuell eingepflegt. Hierbei handelt es sich um die Angaben zu Deckungsbeiträgen, Fixkosten und maximaler Kapazität als Funktion der Zeit sowie die Ebenen in der Produktionsstruktur.

6.2.2 Physisches Datenmodell

Die Speicherung der Daten aus dem BDE-System und der manuellen Datenerfassung erfolgt innerhalb der LMEB. Das hierfür eingesetzte physische Datenmodell wurde bereits in Abschnitt 5.1 vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein Galaxy-Schema, das die Anordnung der Tabellen mit den Fakten und Dimensionen beschreibt. Die Struktur der Tabellen für die Datenspeicherung im Rahmen der Validierung ist im Anhang der Arbeit dargestellt. Neben den Tabellen für die Fakten (Abbildung A.2) und Dimensionen (Abbildung A.1) kommen dabei Listen zum Einsatz (Abbildung A.3), die lediglich für die Bestimmung von Daten in den anderen Tabellen dienen. Ausgangspunkt der Modellierung waren dabei drei Datentabellen, die aus dem BDE-System mittels eines TKS extrahiert wurden. Hierbei handelte es sich um die eigentlichen Betriebsdaten (btr) und die Artikelbezeichnungen (PO_Liste) mit den zugehörigen Artikelnummern sowie die Liste mit den Arbeitsschritten und den zugehörigen Nummern (PR2_Liste).

Tabelle 6.2: Aufbau der Datentabelle mit den Betriebsdaten

num	men	zei	dat	azeit	zdat	zzeit	kw	asr
121739	2	ksc	16.01.12	08:22	16.01.2012	08:41	312	1100
220014	4	cgr	16.01.12	08:23	16.01.2012	08:42	512	0400
220014	1	cgr	16.01.12	08:23	16.01.2012	08:42	512	0400
220032	1	cgr	16.01.12	08:42	16.01.2012	08:53	612	0400
220032	1	cgr	16.01.12	08:42	16.01.2012	08:53	612	0400
110638	0	tar	16.01.12	09:16	16.01.2012	10:16	312	0590
110638	0	tar	16.01.12	09:16	16.01.2012	10:16	312	0590
110638	0	tar	16.01.12	09:16	16.01.2012	10:16	312	0590
210001	2	ksc	16.01.12	09:31	16.01.2012	09:48	312	1100
220034	10	cgr	16.01.12	09:49	16.01.2012	10:19	512	0400

Die Betriebsdaten sind in Abbildung 6.2 dargestellt. In dieser Tabelle stellt jede Zeile eine einzelne Buchung im Rahmen der Auftragsbearbeitung dar und wird eindeutig über eine ID gekennzeichnet. Eine Buchung bezieht sich dabei in der Regel auf einen Arbeitsschritt. Hierbei handelt es sich entsprechend dem Fachkonzept um einen Prozess. Die Dauer für einen Arbeitsschritt entspricht somit der Prozesszeit. In den Spalten der Tabelle sind die folgenden Informationen enthalten:

- *num* – Auftragsnummer
- *men* – Produktmenge
- *zei* – Mitarbeiterkennung
- *dat* – Startdatum
- *azzeit* – Anfangszeit
- *zdat* – Enddatum
- *zzeit* – Endzeit
- *kw* – Kalenderwoche als Lieferziel für den Auftrag
- *asr* – Arbeitsschritt, entspricht *PR2_ID*
- *artn* – Artikelnummer, entspricht *PO_ID*

Weitere Informationen, die im BDE-System erfasst werden, wie z. B. die Position im Auftrag, sind für die weitere Auswertung nicht erforderlich und wurden daher nicht weiter berücksichtigt.

Die Tabelle mit den Arbeitsschritten enthält ursprünglich die Spalten *asr* mit den eigentlichen Arbeitsschritten, *asr_Bezeichnung* mit der zugehörigen Bezeichnung und *asr_Abteilung* mit der Abteilung, die diesem Arbeitsschritt übergeordnet ist. Hierbei handelt es sich also um die unternehmensinternen Bezeichnungen. Im Rahmen der Datenbeschaffung wurden diese durch die Bezeichnungen der LMEB mit *PR2_ID*, *PR2_Bezeichnung* und *PE_Name* ersetzt, damit die bereits implementierten Operationen weiterverwendet werden konnten und die innere Datenstruktur der LMEB weitestgehend der Modellierung entspricht.

Die eindeutige Kennzeichnung der Artikel wurde im Zeitraum der Validierung von fortlaufender Nummerierung auf eine sprechende umgestellt. Die Umstellung war für die Produktgruppe der Kontaktscheiben am weitesten fortgeschritten. Daher war nur für diese Gruppe eine automatisierte und eindeutige Einordnung der einzelnen Produkte bzw. Artikel in die Produktstruktur möglich. Die Spalten enthalten die Angaben zur eigentlichen Artikelnummer *num* sowie mehrere Spalten mit Bezeichnungen und Text.

Aufgrund der Umstellung waren hier keine einheitlichen Inhalte abgelegt. Diese wurden über entsprechende Operationen automatisiert aus den Artikelnummern generiert, worauf der folgende Abschnitt 6.2.3 näher eingeht.

Das vorliegende Datenmodell stellt für den Validierungspartner den Einstieg in die analytische Informationsverarbeitung dar. Die Tabelle mit den Auftragsdaten lässt sich bereits vollautomatisiert auswerten. Die Tabellen mit den Artikelnummern sind hierfür aufgrund der laufenden Umstellung noch nicht vollständig geeignet. Hier sind momentan noch manuelle Zwischenschritte erforderlich, um die Daten in die notwendige Form zu transferieren. Hierzu gehört insbesondere die Einordnung in die Produktstruktur. Gleiches gilt für die Arbeitsschritte, die bislang ebenfalls ohne Bezug zur Produktionsstruktur vorliegen. Das Datenmodell der LMEB gibt jedoch Impulse für eine entsprechende Anpassung im Unternehmen, sodass mittelfristig auch hier eine vollständige Automatisierung möglich ist.

6.2.3 Datenbeschaffung und -verarbeitung

Die Arbeitsschritte werden in den Abteilungen *Produktion* und *Materialfluss* durchgeführt und über das BDE-System erfasst. Sie sollen im Folgenden entsprechend der Modellierung allgemein als Prozess beschrieben werden. Die Validierung bezieht sich auf die Produktionsstruktur, die entsprechend Abbildung 6.3 dargestellt ist. Die Prozesse werden direkt einzelnen Abteilungen zugeordnet. Über diese Prozesse kann der Kapazitätsbedarf bestimmt werden.

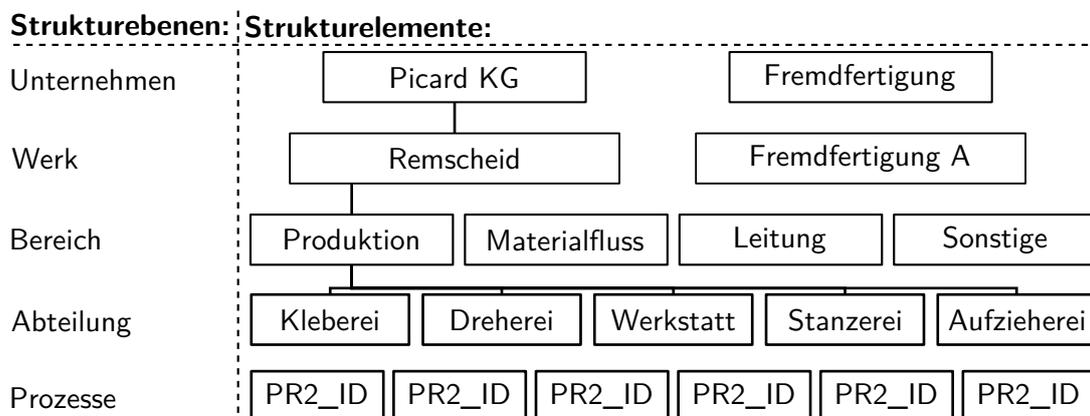


Abbildung 6.3: Produktionsstruktur für die Validierung

Das Kapazitätsangebot einer Abteilung wird aufgrund der geringen Automatisierung über die Anzahl der Mitarbeiter bestimmt, die prinzipiell alle Prozesse innerhalb dieser Abteilung durchführen können. Eine weitere Unterteilung in Arbeitsplätze unterbleibt daher. Die Höhe der Fixkosten ergibt sich somit im Wesentlichen aus den Personalkosten der Abteilung und den kalkulatorischen Kosten der Betriebsmittel. Im vorliegenden Fall wurden auch Energie- und Instandhaltungskosten als fix gewertet und deren Höhe über den Jahresdurchschnitt bestimmt.

Bei den Prozessen wird nicht weiter hinsichtlich der Art in Rüst- oder Bearbeitungsprozesse unterschieden. Die Höhe der Wertschöpfung eines Prozesses wird über den Deckungsbeitrag bestimmt. In einer ersten Näherung konnte die Höhe der Deckungsbeiträge aus den aktuellen Erlösen der Produkte und dem jeweiligen Anteil einzelner Prozesse an der Gesamtproduktionszeit bestimmt werden.

Die Höhe der Fixkosten und der Deckungsbeiträge war nicht unmittelbar in der erforderlichen Granularität zugänglich. Die Höhe der gesamten Fixkosten war zwar bekannt, eine weitere Unterteilung jedoch nicht. Für die Produkte konnten Deckungsbeiträge bestimmt werden, eine Umrechnung auf relative Deckungsbeiträge der Prozesse erfolgt erst im Rahmen der Validierung. Sowohl die Höhe der Deckungsbeiträge als auch die Verteilung der Fixkosten wurde schrittweise verfeinert. Der aktuelle Stand spiegelt die grundlegenden Verhältnisse im Unternehmen wider und wird daher als ausreichend angesehen. Für die Kalkulation der Produktpreise wäre eine weitere Detaillierung notwendig.

Die Daten aus dem BDE-System umfassen alle auftragsbezogenen Buchungen in der Produktion. Um eine Verzerrung der Analyseergebnisse durch ungültige Buchungen zu verhindern, sind vorab Zeiten zur Durchführung eines Arbeitsschrittes automatisiert gefiltert worden. Diese Filter arbeiten zweistufig und greifen noch vor der eigentlichen Auswertung.

Herausgefiltert werden in der ersten Stufe z. B. Buchungen, bei denen End-Buchungen zur Fertigstellung eines Arbeitsschrittes *PR2_ID* nicht in der gleichen Schicht vorgenommen wurden wie die Start-Buchung oder bei denen sich die Buchung auf mehrere Aufträge bezieht. Bei derartigen Buchungen lässt sich die Dauer nicht zweifelsfrei feststellen.

In der zweiten Stufe werden Zeiten herausgefiltert, die erheblich über dem ermittelten Durchschnitt liegen und somit außergewöhnliche Umstände vermuten lassen, die eine

Auswertung unnötig verfälschen würden. Realisiert wird die Filterung über spaltenbasierte Berechnungen, im Datenmodell entsprechend bezeichnet als *PRZ_validated* und *PRZ_trusted*.

Für die Auswertungen werden jeweils nur diejenigen Daten verwendet, die den schärfsten Kriterien genügen. Der Anteil tatsächlich verwerteter Ergebnisse wird auf der Einstiegsseite der LMEB angezeigt. Die zeitliche Filterung der Daten erfolgte bereits über das TKS, aus dem die Daten bezogen wurden. Die weiteren Berechnungen erfolgen entsprechend den Beschreibungen in Abschnitt 5.1.

6.3 Validierung anhand von Fallbeispielen

Für die Validierung wurden zwei typische Anwendungsfälle im Unternehmen herangezogen und in Form von Fallbeispielen aufbereitet. Die einzelnen Schritte im Vorgehen werden im Folgenden vorgestellt.

6.3.1 Validierungsbereich – Produktgruppe Kontaktscheiben

Innerhalb der Produktstruktur wurde der Bereich der *Kontaktscheiben* für die Validierung ausgewählt. Die Auswahl erfolgte aufgrund der hohen Variantenzahl, den produktspezifischen Merkmalen und der tiefen informationstechnischen Durchdringung in diesem Bereich. Wie in Abschnitt 6.2.2 beschrieben, sind die Umstellungen der Artikelnummern in dieser Produktgruppe am weitesten fortgeschritten, was die Automatisierung der Datenverarbeitung begünstigt

Kontaktscheiben kommen beim Bandschleifen zum Einsatz. Es handelt sich dabei um rotationssymmetrische Scheiben mit einem quer zur Scheibenebene angeordneten Scheibenflansch, auf den mittels einer Verbindungsschicht ein Bandlaufpolster aufgebracht ist. Diese Scheiben bestehen aus Metall oder Kunststoff und sie transportieren und stützen das umlaufende Schleifband. Sie beeinflussen somit neben dem Schleifband entscheidend das Schleifergebnis. Der Aufbau von Kontaktscheiben in Vollausführung ist in Abbildung 6.4 sowohl in der Seitenansicht als auch in der Draufsicht schematisch dargestellt.

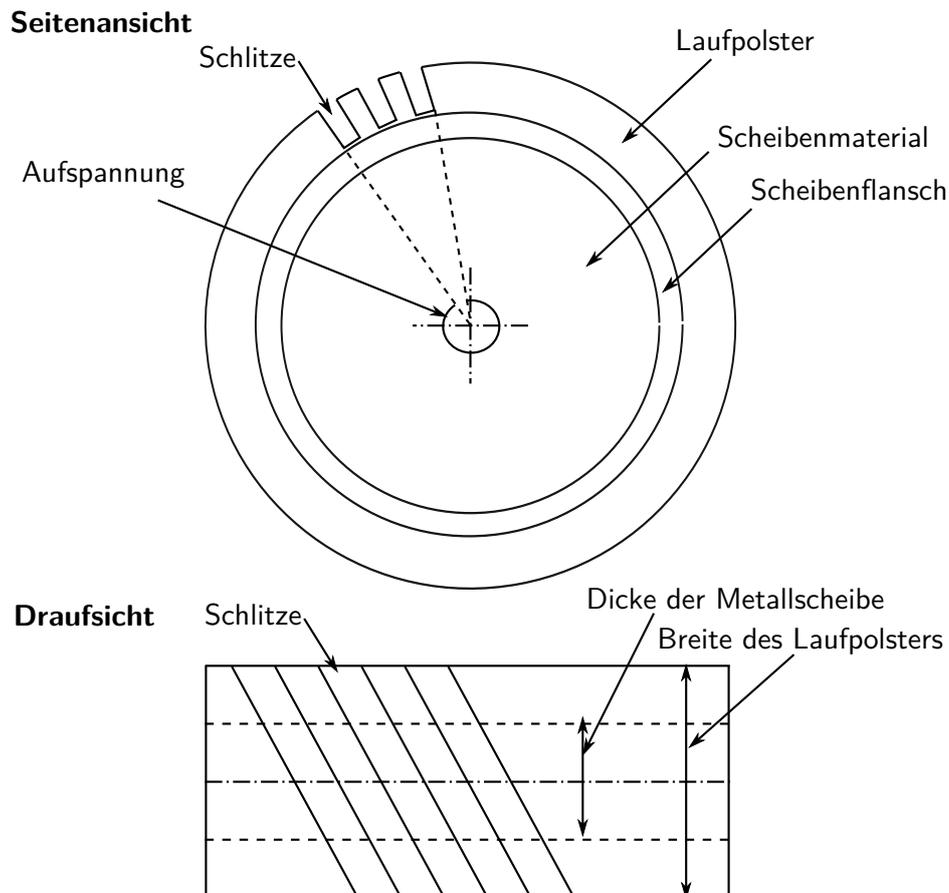


Abbildung 6.4: Schematischer Aufbau einer Kontaktscheibe

Die Auswahl des Laufpolsters hat entscheidenden Einfluss auf den Fertigungsprozess beim Kunden. Neben verschiedenen Materialien können daher auch unterschiedliche Profilierungen des Polsters gewählt werden. Die Kombination bestimmt z. B. den Anpressdruck und dessen Verteilung oder das Dämpfungsverhalten gegenüber Vibrationen. Daneben müssen noch Durchmesser und Breite einer Scheibe durch den Kunden bestimmt werden. Eine Kontaktscheibe in Vollauführung weist z. B. folgende Produktmerkmale auf:

- Durchmesser der Metallscheibe
- Dicke der Metallscheibe
- Breite des Laufpolsters
- Aufspannung der Kontaktscheibe
- Werkstoff des Laufpolsters
- Dicke des Laufpolsters
- Abstand der Schlitze im Laufpolster

- Verhältnis der Schlitzabstände zueinander
- Breite der Schlitz im Laufpolster
- Verhältnis der Schlitzbreiten zueinander
- Anzahl der Schlitz im Laufpolster
- Tiefe der Schlitz im Laufpolster
- Winkel der Schlitzanordnung im Laufpolster
- Verhältnis der Schlitzwinkel zueinander

Diese Produktmerkmale sind unabhängig voneinander. Daneben können für Kontaktscheiben in Lamellenausführung weitere Merkmale identifiziert werden. Für diese Merkmale werden diskrete Ausprägungen definiert, aus denen der Kunde auswählen kann. In den Produktserien und -typen werden Einzelprodukte mit vergleichbaren Merkmalen zusammengefasst und so strukturiert, dass sie aus Kundensicht vergleichbare Eigenschaften aufweisen. In Ausnahmefällen können Kunden die Ausprägungen der Produktmerkmale auch selbst bestimmen und z. B. einen speziellen Durchmesser jenseits der vordefinierten Ausprägungen auswählen.

Neben vollständig neuen Kontaktscheiben werden auch aufbereitete Kontaktscheiben angeboten, die als *retrofit* bezeichnet werden sollen. Hierbei wird unter Berücksichtigung der notwendigen Eignung das Laufpolster entfernt und durch ein neues ersetzt.

Die gesamte Strukturierung der Produktgruppe *Kontaktscheiben* ist in Abbildung 6.5 dargestellt. Die Ziffern der Artikelnummer erlauben die eindeutige Identifizierung von Einzelprodukten und die Zuordnung der Produktserie, des Produkttyps sowie des Durchmessers und der Breite.

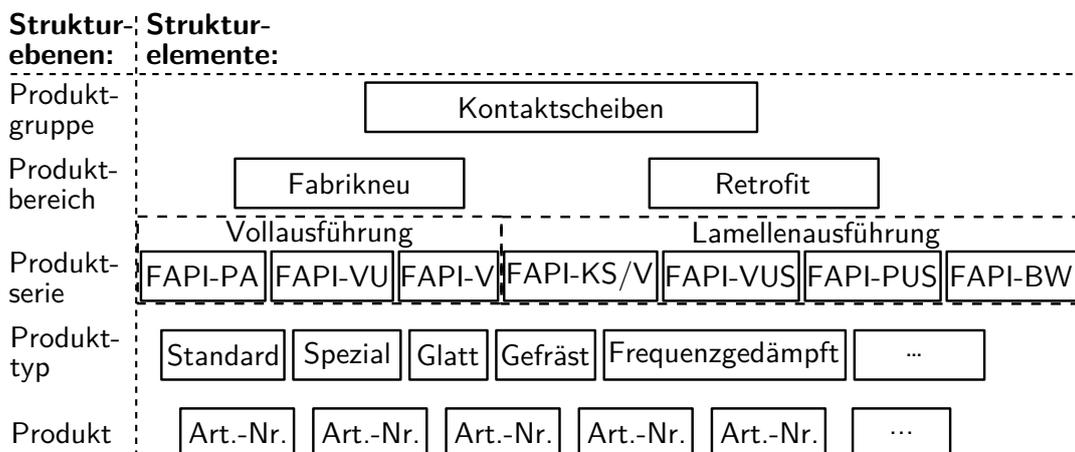


Abbildung 6.5: Produktstruktur der Kontaktscheiben für die Validierung

Alle Kontaktscheiben lassen sich in Bezug auf die beschriebenen Merkmalen unterscheiden bzw. über Ausprägungen der Merkmale gruppieren. Sie können somit zum einen entsprechend den Produktserien oder den Produkttypen zusammengefasst werden, was typischerweise der Vertriebsicht entspricht. Zum anderen können sie hinsichtlich konstruktiver Merkmale zusammengefasst werden, was der Sicht der Produktentwicklung entspricht. Beispielhaft sind daher die konstruktiven Produktmerkmale *Breite* und *Durchmesser* in Abbildung 6.6 weiter untergliedert. Diese Merkmale können automatisiert aus der Artikelnummer jedem Einzelprodukt zugeordnet und daher für die Auswertung der Zeitbedarfsfunktionen im Rahmen der Validierung herangezogen werden.

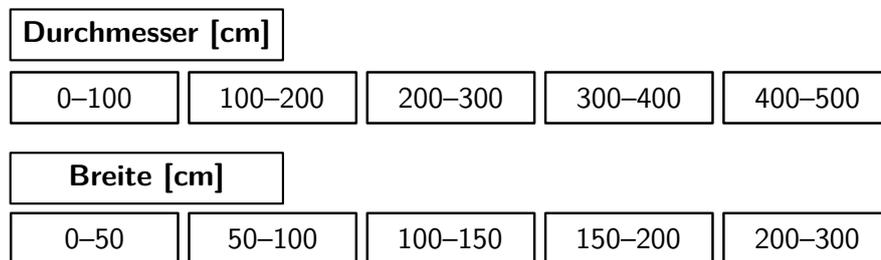


Abbildung 6.6: Breite und Durchmesser als Produktmerkmale für die Validierung

Die Produktstruktur weist keinerlei Komponenten oder Baugruppen auf. Im Rahmen der Auswertung werden daher nur Einzelprodukte betrachtet. Die notwendigen Erweiterungen für Produkte mit einer ausgeprägten Produktstruktur wurden bereits in Kapitel 4 vorgestellt und im Rahmen der Entwicklung des Software-Prototypen überprüft. Die Validierung wird daher nicht eingeschränkt.

6.3.2 Fallbeispiele für die Validierung

Auf Grundlage der Beschreibungen zur Produktgruppe Kontaktscheiben als Validierungsbereich, stellt der folgende Abschnitt zwei Fallbeispiele für die Anwendung der mehrskaligen Belastungsregelung vor. Um den Aspekt der Mehrskaligkeit abzudecken, werden Änderungen mit kurzfristiger wie auch langfristiger Wirkung in der Produktstruktur behandelt.

Kurzfristige Änderung am Produkt

Im Rahmen der Auftragsakquise werden die Schleifprozesse von Neukunden u. a. dahingehend untersucht, welche Kontaktscheibe die Anforderungen an den Prozess am besten erfüllt. Mit berücksichtigt werden dabei die Gegebenheiten vor Ort, wie z. B. die Abmaße der Werkstücke oder der Bauraum der Maschinen.

Wird hierbei die Auswahl bislang nicht im Absatzprogramm enthaltener Ausprägungen der Produktmerkmale notwendig, dann erfolgt in der Regel eine Rücksprache mit der Produktion. Die Preise werden in Abhängigkeit der zusätzlichen Aufwendungen relativ zu vergleichbaren Produkten ausgewählt. Gleiches gilt für die Einplanung des Auftrags in der Produktion. Mangels verfügbarer Vorgabezeiten wird auf Erfahrungs- und Vergleichswerte zurückgegriffen.

Langfristige Ausrichtung des Produktspektrums

Die Produktgruppen werden kontinuierlich auf Grundlage von Erfahrungen und Rückmeldungen der Kunden weiterentwickelt. Über diese evolutionäre Weiterentwicklung hat sich das Produktspektrum im Zeitverlauf vertieft und weist zahlreiche Varianten aus. Dies ist auch in der vergleichsweise hohen Anzahl an Produktmerkmalen und möglichen Ausprägungen begründet.

Über die Weiterentwicklung wurde somit stets den Kundenanforderungen gefolgt. Dabei stehen insbesondere die technische und wirtschaftliche Machbarkeit sowie die Vorteile für den Kunden im Vordergrund. Eine konsequente Bereinigung erfolgt momentan im Zuge der Umstellung auf sprechende Artikelnummern. Als Kriterien werden Erfahrungen mit den Absatzmöglichkeiten und Abschätzungen zu finanziellen Aufwendungen herangezogen.

Die zeitliche Belastung der Produktstrukturen durch die Produkte spielt momentan sowohl bei der Erweiterung als auch der Bereinigung nur eine untergeordnete Rolle. Aufgrund steigender Absatzzahlen und somit zunehmender Belastung der Produktion beabsichtigt die Geschäftsführung, die Auslastung zu verbessern. Vor dem Hintergrund der geplanten Reorganisation und der damit verbundenen Fixkosten bekommt die richtige Auslastung der Produktion einen neuen Stellenwert. Die gewachsene Produktstruktur soll daher auch entsprechend angepasst werden.

6.3.3 Visualisierung der Führungs- und Hilfsregelgrößen

Zu den Bestandteilen der mehrskaligen Belastungsregelung gehören die Führungs- und Hilfsregelgrößen. Sie dienen dazu, die Regler, also im vorliegenden Fall die Produktentwicklung, mit dem Ziel zu unterstützen, die Auslastung in der Produktion innerhalb der kapazitiven Grenzen zu halten. Anhand der Fallbeispiele soll die Wirkung nachgewiesen werden. Im Folgenden wird daher die Visualisierung anhand von Beispielen vorgestellt, wie sie im Rahmen der Regelung zur Anwendung kommt, um die Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Grundlage für die folgenden Visualisierungen sind die Aufzeichnungen des BDE-Systems für einen Zeitraum von neun Monaten, wobei knapp 80 % der erfassten Daten als gültig eingestuft wurden.

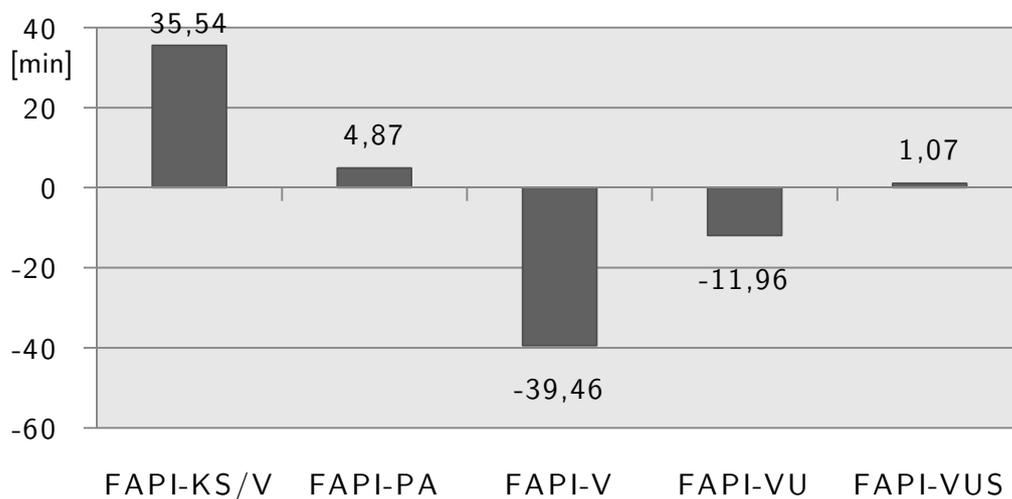


Abbildung 6.7: Zeitspreizung in der Abteilung *Aufzieherei* für Kontaktscheiben

Ein Beispiel für die Darstellung der Zeitspreizung zeigt Abbildung 6.7. Dargestellt sind die zeitlichen Unterschiede der durchschnittlichen Prozesszeiten in der Abteilung *Aufzieherei* für neu hergestellte Kontaktscheiben gegenüber dem Mittelwert aller Prozesszeiten in dieser Abteilung. Diese sind für die einzelnen Produktserien getrennt ermittelt worden. Auslöser sind hier die stark unterschiedlichen Laufpolster und der damit verbundene Aufwand. Eine weitere Auswertung hat ergeben, dass insbesondere große Durchmesser einen erhöhten Aufwand erzeugen. Ursachen sind hier im Einsatz zusätzlicher Hilfsmittel und Werkzeuge zu suchen. Eine verstärkte Filterung verringerte die Zeitspreizung insgesamt, das Verhältnis blieb jedoch weitestgehend erhalten.

In Abbildung 6.8 ist die Zeitbedarfsfunktion für den Prozess *Belag fertigdrehen* für die gesamte Produktgruppe *Kontaktscheiben* abgebildet. Als relevante Produktmerkmale

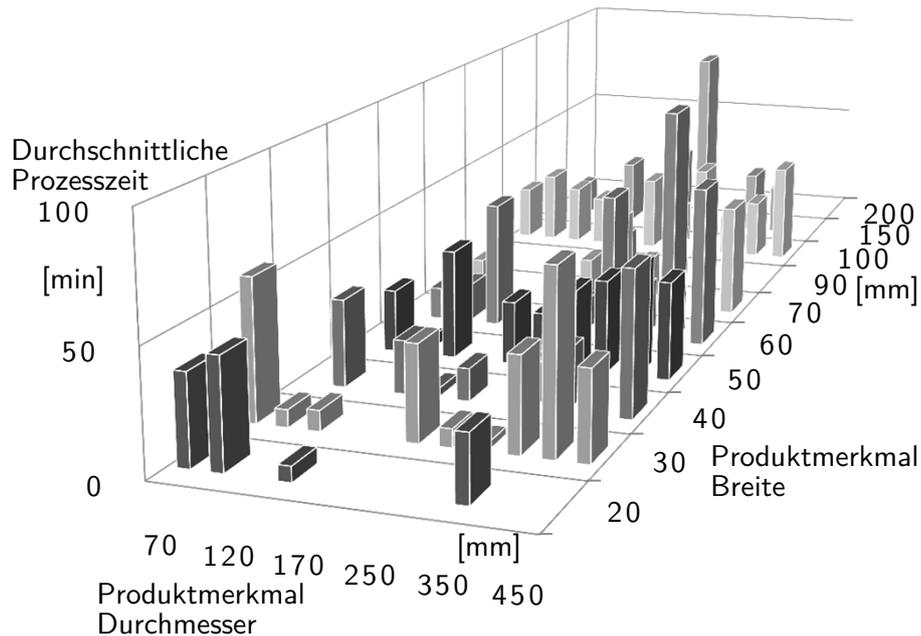


Abbildung 6.8: Zeitbedarfsfunktion für den Prozess *Belag fertigdrehen*

wurden der Durchmesser und die Breite der Kontaktscheiben gewählt. Die einzelnen Säulen im Diagramm stellen jeweils die Durchschnittswerte der Prozesszeiten für eine einzelne Kombination dieser zwei Merkmale dar.

Zu erkennen ist, dass die Prozesszeit vorwiegend auf die Breite des Werkstücks sensitiv reagiert. Änderungen im Durchmesser haben tendenziell eine geringere Auswirkung. Bei einem Drehprozess ist ein derartiges Verhalten zu erwarten. Die nicht ganz eindeutigen Zusammenhänge rühren von den unterschiedlichen Materialien her, die in dieser Auswertung nicht explizit berücksichtigt werden. Außerdem sind einzelne ungewöhnlich hohe Prozesszeiten sichtbar. Die Ursachen liegen hier in fehlerhaften Buchungen der Mitarbeiter, die bei gleichzeitig geringer Stückzahl der Merkmalskombination erhebliche Auswirkungen haben. Nicht dargestellt ist hier die zugehörige Funktion des Deckungsbeitrags.

Eine weitere Hilfsregelgröße, die im Rahmen der mehrskaligen Belastungsregelung zum Einsatz kommt, ist der Belastungsquerschnitt. Ein Beispiel für die Produktgruppe *Kontaktscheiben* ist in Abbildung 6.9 zu sehen. Dargestellt ist der Belastungsquerschnitt für *Retrofit-Kontaktscheiben* innerhalb aller Abteilungen in der Produktion, aufgegliedert nach Prozessen. Erkennbar ist die erhöhte Dauer der Gieß- und Klebprozesse. Ursächlich ist, dass die Aushärtung der Materialien mit in die Prozesszeit einfließt. Entsprechend

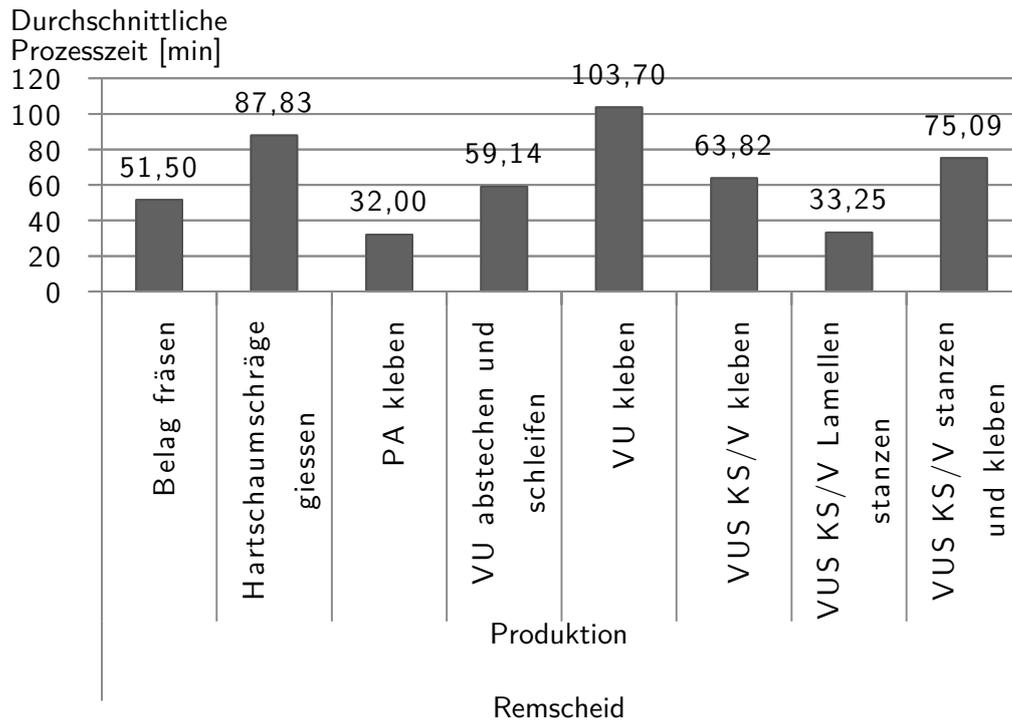


Abbildung 6.9: Belastungsquerschnitt in der Produktion für *Retrofit-Kontaktscheiben*

gering wird der zugehörige Deckungsbeitrag gewählt. Durch eine Verstärkung der Filter lassen sich genauere Prozesszeiten ermitteln.

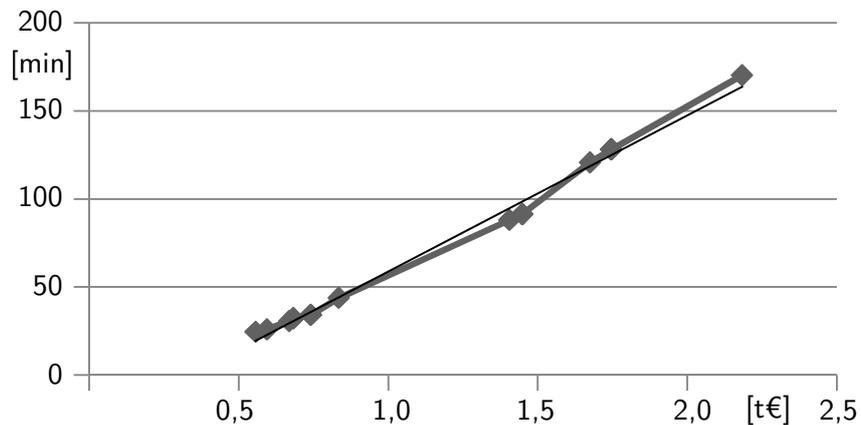


Abbildung 6.10: Beispiel für die kontinuierliche Visualisierung der Kapazitätsrendite

Die Kapazitätsrendite als Führungsgröße und ihr Mittelwert sind ausschnittsweise in Abbildung 6.10 für zufällig ausgewählte Aufträge dargestellt. Zu sehen ist der unterschiedliche Grad der Kurvensteigung, bedingt durch die unterschiedlichen Deckungsbeiträge der Prozesse und die kapazitive Belastung. Die größeren Sprünge sind auf Lageraufträge

zurückzuführen. Da im BDE-System keine Kunden erfasst werden, ist eine detailliertere Analyse im vorliegenden Fall nicht möglich.

6.3.4 Wirkung der Belastungsregelung in den Fallbeispielen

Um eine Bewertung der mehrskaligen Belastungsregelung vornehmen zu können, wurden die Visualisierungen der LMEB in bestehende Entscheidungsprozesse integriert. Hierzu gehörten entsprechend den zwei Fallbeispielen die langfristige Produktentwicklung und die Bereinigung des Absatzprogramms sowie die kurzfristige Auftragsakquise mit notwendigen Anpassungen am Produkt.

Diese Abstimmungsprozesse zwischen den verantwortlichen Bereichen wurden um den Aspekt der kapazitiven Belastung erweitert. Dafür wurden im Rahmen von Besprechungen die beschriebenen Auswertungen herangezogen und diskutiert. Die LMEB bot hier die Möglichkeit, die verschiedenen Sichten zu generieren und somit den Anforderungen der Entscheidungsträger gerecht zu werden.

Für kurzfristige und leicht abschätzbare Änderungen am Produkt, wie sie im ersten Fallbeispiel auftraten, erlaubten die Auswertungen zwar, den Zeitbedarf einer bislang unbekanntem Produktvariante genauer zu bestimmen. Der positive Effekt für die Produktion und die Preiskalkulation wurde jedoch als gering eingeschätzt. Hier beherrscht der Kundenwunsch alle weiteren Entscheidungen. Eine Veränderung wird beim geplanten Übergang zu einer Linienfertigung erwartet.

Entscheidungen mit langfristiger Wirkung auf das Absatzprogramm, wie sie im zweiten Fallbeispiel auftraten, erlauben eine konkrete Berücksichtigung der kapazitiven Wirkung. So wurden einzelne Produktserien für weitergehende Untersuchungen identifiziert. Mit Hinblick auf die Umstrukturierung der Produktion und der damit verbundenen Taktung der Prozesse sollen frühzeitig einzelne Produkte herausgefiltert werden, die eine gleichmäßige Auslastung voraussichtlich vereiteln. Für diese Produkte kommt eine Werkstattfertigung infrage. Vorschläge und Ideen zu neuen Varianten werden daher auch auf Grundlage der kapazitiven Belastung bewertet. Für eine aktuell laufende Neuentwicklung konnten Abschätzungen zum Kapazitätsbedarf in Teilbereichen der Produktion getroffen werden. Grundlage sind dabei die Zeitbedarfsfunktionen.

Neben der reinen zeitlichen Belastung spielten stets auch die Produktmengen eine entscheidende Rolle bei den Entscheidungen zu Veränderungen in der Produkt- und

Produktionsstruktur. Bei entsprechenden Absatzzahlen lohnt eine explizite Auslegung der Produktion auf Produkte mit hoher Zeitspreizung oder eine Tolerierung der dadurch entstehenden Verluste. Neben Anhaltspunkten für Veränderungen in den Produktstrukturen ergaben sich im vorliegenden Fall auch Anhaltspunkte für eine nähere Untersuchung einzelner Produktionsprozesse und deren Wirksamkeit.

6.4 Fazit und Zusammenfassung

Die softwaretechnische Implementierung basiert auf im Unternehmen bereits vorhandener oder kostenfrei verfügbarer Software. Anpassungen an dem bestehenden BDE-System waren nicht notwendig. Die Auslegung des Prototypen erlaubt eine schrittweise Weiterentwicklung bzw. berücksichtigt bereits absehbare Veränderungen in den Produktionsstrukturen. Da umfassendes Wissen im Umgang mit Microsoft Excel[®] im Unternehmen vorhanden ist, sind die Grundlagen für eine Weiterentwicklung bereits gelegt.

Der finanzielle und personelle Aufwand für die softwaretechnische Implementierung kann zusammenfassend als gering eingeschätzt werden, insbesondere vor dem Hintergrund des Mehrwerts für das Unternehmen, der sich in der organisatorischen Implementierung gezeigt hat. Darüber hinaus ergaben sich über die softwaretechnische Implementierung neue Ansätze für die interne Informationsverarbeitung. Es konnte gezeigt werden, dass die LMEB auch auf Grundlage vergleichsweise gering strukturierter Daten aufsetzen kann.

Die Auswertungen waren für die Entscheidungsträger intuitiv verständlich, die Bedienung und die gezielte Suche nach den gewünschten Analysen gelang nach kurzer Eingewöhnung. Die Kommunikationsgrundlage für die interdisziplinären Abstimmungsprozesse konnte durch die Führungs- und Hilfsregelgrößen realisiert werden. Insbesondere die Kapazitätsrendite, also das Verhältnis zwischen Deckungsbeitrag und Prozesszeit, wurde durch die Entscheidungsträger positiv bewertet. Von Bedeutung waren neben der kapazitiven Wirkung der Produkte stets auch die Produktmengen und die damit verbundenen Erlöse. Die Ursachen für den begrenzten Nutzen bei kurzfristigen Produktänderungen sind näher zu untersuchen und lassen sich nicht unmittelbar dem Fachkonzept zuschreiben. Stärkere Effekte werden bei mehrteiligen Produkten mit komplexer Strukturstückliste erwartet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Möglichkeiten und die Umsetzung der mehrskaligen Belastungsregelung durch die Entscheidungsträger als positiv eingestuft wurden. Für eine Quantifizierung der Wirkung und der allgemeinen Vorteile sind längerfristige Beobachtungen durchzuführen. Die Einschätzung von Mitarbeitern des Unternehmens und die durchweg positive Resonanz auf die Visualisierungen der LMEB lassen hier jedoch auf erhebliche Potenziale schließen, insbesondere bei einer engen Kopplung mit den Produktmengen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit hat einen weiten Bogen von der Planung struktureller Veränderung über das Konzept der mehrskaligen Belastungsregelung bis hin zu einer softwaretechnischen Umsetzung geschlagen. Sie bildet einen Baustein, um produzierende Unternehmen in einem turbulenten Umfeld zukunftssicher aufzustellen. Mögliche weitere Bausteine sollen im Ausblick umrissen werden.

7.1 Zusammenfassung

Durch Wandlungsfähigkeit lässt sich die Anpassungsfähigkeit von KMU erhöhen, indem der zeitliche Aufwand für Veränderung der Produktionsstrukturen an geänderte Rahmenbedingungen reduziert wird. Die Fixkosten begrenzen jedoch die Anpassungsfähigkeit, indem sie eine minimale Auslastung mit wertschöpfenden Prozessen notwendig machen. Mangelnde Anpassungsfähigkeit reduziert die Auslastung und verstärkt sich darüber selbst. Insbesondere für KMU stellen die Fixkosten und somit die minimale Auslastung aller Produktionsressourcen eine besondere Herausforderung dar.

Die Produkt- und die Produktionsplanung können als Regelkreise verstanden werden, deren Aufgabe es ist, über strukturelle Veränderungen in den Produkten und der Produktion sowohl den Kundenwünschen zu folgen als auch die Auslastung innerhalb der kapazitiven Grenzen zu halten. Eine Möglichkeit, die Auslastung bei begrenzter Anpassungsfähigkeit zu verbessern, besteht in der Veränderung der kapazitiven Belastung der Produktion durch die Produkte. Hierfür sind bereits in der Produktplanung die zugrundeliegenden Wechselwirkungen der Produkt- und Produktionsstrukturen zu berücksichtigen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Konzepts, mit dem die Produktplanung in die Lage versetzt wird, die kapazitive Belastung der Produktion aktiv zu beeinflussen. Hierzu sollten die bestehenden Regelkreise entsprechend erweitert werden. Um sowohl kurz- als auch langfristige Entscheidungen in diesem Zusammenhang

zu unterstützen, mussten neben der Zeitskala auch die verschiedenen Skalen der Produkt- und Produktionsstrukturen berücksichtigt werden.

Ausgehend von der Einleitung und der Problemstellung, wurden zunächst die relevanten Grundlagen vorgestellt, insbesondere die Absatz- und Produktplanung als Planungsprozesse für die Produktstrukturen. Hier werden die Entscheidungen zum Produkt getroffen, die wesentlichen Einfluss auf die kapazitive Belastung der Produktionsstrukturen haben. Sowohl die Produkt- als auch die Produktionsplanung wurden als Regelkreise modelliert, die inhaltlich miteinander synchronisiert werden.

Im Fachkonzept für die mehrskalige Belastungsregelung wurden diese Regelkreise um neue Führungs- und Hilfsregelgrößen erweitert. Ziel war es dabei, die Auslastung einerseits zu verbessern und andererseits permanent innerhalb der Grenzen halten zu können. Als neue Führungsgröße wurde daher die Kapazitätsrendite entwickelt, die über das Verhältnis von Deckungsbeitrag und Prozesszeit eine Bewertung der Produkte hinsichtlich der Auslastung der Produktion erlaubt. Als notwendige Hilfsregelgrößen wurden die Zeitspreizung, die Zeitbedarfsfunktion und der Belastungsquerschnitt vorgestellt, die jeweils unterschiedliche Aussagen zur kapazitiven Wirkung der Produkte ermöglichen.

Als zentrales Element der mehrskaligen Belastungsregelung wurde eine Messeinrichtung konzipiert, mit deren Hilfe diese Führungs- und Hilfsregelgrößen ermittelt werden können. Grundlage sind dabei die aktuellen Leistungsdaten der Produktion, die in einem Data Warehouse gespeichert und entsprechend verarbeitet werden. Diesem liegt eine mehrdimensionale Modellierung der Daten zugrunde. Die Zuordnung der beschafften Stamm- und Bewegungsdaten zu Dimensionen und Fakten ermöglicht die Bestimmung der notwendigen Entscheidungsgrundlagen. Die Fakten werden über mathematische Funktionen entlang der Dimensionen ausgewertet.

Dieses konzeptuelle Datenmodell und die notwendigen Datenoperationen wurden prototypisch in Form einer Leistungsmesseinrichtung für die mehrskalige Belastungsregelung (LMEB) implementiert. Über eine grafische Oberfläche hat ein Anwender die Möglichkeit, die Führungs- und Hilfsregelgrößen für unterschiedliche Ebenen der Strukturen zu visualisieren. Hierdurch kann die LMEB für die Unterstützung sowohl kurz- als auch langfristiger Entscheidungen verwendet werden.

Über eine softwaretechnische Integration der LMEB in einem produzierenden KMU mit variantenreicher Serienfertigung konnte die Anwendbarkeit und der Nutzen der mehr-

skaligen Belastungsregelung entsprechend dem erarbeiteten Fachkonzept nachgewiesen werden. Insbesondere für Unternehmen mit personell und finanziell begrenzten Planungsressourcen besitzt eine solche Leistungsmesseinrichtung zur aktiven Beeinflussung der kapazitiven Belastung ein erhebliches Potenzial. Vorteilhaft ist dabei das günstige Verhältnis von Aufwand und Nutzen.

Der Ansatz einer mehrskaligen Belastungsregelung mithilfe einer Leistungsmesseinrichtung erlaubt es produzierenden KMU, innerhalb der bestehenden kapazitiven Grenzen die Leistungsfähigkeit zu erhöhen und produktbedingte Auslastungsverluste frühzeitig zu reduzieren. Hierdurch kann der wirtschaftliche Arbeitsbereich der Produktionsstrukturen besser genutzt und die bestehende Anpassungsfähigkeit erhöht werden.

7.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Konzept und bietet daher neben einer konkreten Umsetzung auch Ansatzpunkte für weitergehende Forschungsarbeiten. Im Folgenden sollen Ansätze für eine thematische Weiterführung vorgestellt werden.

Die engere Verknüpfung mit der erlösorientierten Absatzplanung mittels Revenue Managements erscheint geeignet, weitere Anreize dahingehend zu setzen, dass der Kauf eines Produktes und die damit verbundene kapazitive Belastung stärker mit der verfügbaren Kapazität in Einklang gebracht werden kann. Eine kombinierte Anwendung mit der vorliegenden Arbeit im Unternehmen erscheint vielversprechend, bedarf jedoch weitergehender Untersuchungen.

Die Bestimmung der prozessspezifischen Deckungsbeiträge stellt bei einer schwach ausgeprägten Kosten- und Leistungsrechnung im Unternehmen ein Hemmnis dar. Das Time Driven Activity Based Costing hingegen bietet gerade in Bereichen mit häufigen Änderungen Vorteile bei der verursachungsgerechten Verrechnung der Kosten. Eine verstärkte Integration in Planungssysteme erscheint hier zielführend.

Aus Sicht der Informationsverarbeitung stecken noch erhebliche Potenziale in der Analyse der Daten, die in den operativen Systemen verarbeitet werden. Mittels Verfahren aus dem Bereich der Regression könnten Zusammenhänge über mathematische Funktionen beschrieben werden. So lassen sich bspw. die vorgestellten Zeitbedarfsfunktionen über

mathematische Ausdrücke beschreiben und unmittelbar in die CAD-Systeme der Entwickler integrieren. Hierüber könnten bereits frühzeitig in der Konstruktion erste grobe Abschätzungen über den Kapazitätsbedarf in gegebenen Produktionsstrukturen getroffen werden.

Die datentechnische Verknüpfung von Software-Systemen und somit auch von Datenspeichern im Bereich der Produktion ist aufgrund der Heterogenität und Dynamik innerhalb gewachsener Strukturen eine Herausforderung [Bracht u. a. 2011]. Besonderes Potenzial wird deshalb der Verknüpfung mittels serviceorientierter Architekturen (SOA) beigemessen [Minguez u. a. 2010].

Unter dem Begriff des Grid Engineerings werden weitergehende Forschungsarbeiten zusammengefasst, die sich mit der Vernetzung produktionstechnischer Planungs- und Simulationssysteme befassen. Die Kerngedanken der Vernetzung entstammen dem Grid Computing [Constantinescu u. Westkämper 2008]. Unter Einsatz von SOA-Techniken werden dabei verschiedene Funktionalitäten als Dienst gekapselt, miteinander vernetzt und bedarfsabhängig auf Rechnerkapazitäten verteilt. Hierin lassen sich auch stärker analytische Informationssysteme wie die Leistungsmesseinrichtung LMEB integrieren.

Aufgrund der aktuellen Entwicklung im Bereich der mobilen und ortsunabhängigen Verfügbarkeit von Rechnerressourcen sind Erweiterungen in Richtung Smartphone und Cloud Computing zu untersuchen. [Landherr u. a. 2012] zielen z. B. auf eine Integrationsplattform ab, die den Anforderungen nach einer zunehmenden Mobilität, Interdisziplinarität und Kooperation bei produktionstechnischen Fragestellungen folgt. Dabei kommen kleine Anwendungen mit einem klar umrissenen Funktionsumfang zum Einsatz, eingebettet in ein umfassendes softwaretechnisches Ökosystem und neuartige Geschäftsmodelle [Landherr u. a. 2012].

Insgesamt darf festgestellt werden, dass die analytische Informationsverarbeitung für produzierende Unternehmen, und hier insbesondere KMU, erhebliche Potenziale bietet, auch in einem turbulenten Umfeld besser zu agieren. Ein Großteil der Daten und Informationen, die in der Produktion erfasst werden, bleibt bislang jenseits des operativen Betriebs weitgehend ungenutzt. Die detaillierte Analyse der eigenen Produktion und das Wissen über deren Leistungsfähigkeit bietet einen sicheren Ausgangspunkt für die Vorbereitung auf eine unsichere Zukunft.

8 Summary

Today, business environments are getting more and more turbulent. Thus changeability increases the general adaptability of small and middle size enterprises (SME) by reducing the amount of time needed to adapt their structures of production. This is limited by fixed costs because they require a minimum of value-adding workload. A lack of adaptability reduces this workload and therefore reinforces itself.

Product planning and production planning are understood as feedback control systems. They enforce structural changes of product and production in relation to customer demands and economical workload. Considering a limited adaptability of production structures, a good possibility is to alter the properties of a product in order to reduce the workload. Therefore, it is necessary to consider all underlying interactions between product structure and production structure in the context of workload.

The main aim of this paper is to develop a holistic approach that allows to modify the workload of production structures as a function of product planning. For this purpose, the existing feedback control systems have to be extended. In order to support short and long term decisions. The approach presented considers different scales of time as well as all scales of product structure and production structure.

Following the introduction and the presentation of the problem, this paper describes relevant principles, focussing on sales and product planning as processes that determinate the product structure. These processes mainly influence the workload. Together with planning processes for the production structure, they are modelled as feedback control systems. This part of the paper closes with an analysis of the state of the art for the problem addressed.

The approach for a multi-scale workload control system extends the existing feedback control systems by a new reference input variable and by new auxiliary control variables. The reference input variable is termed capacity yield. It describes the proportion between contribution margin and process time. It allows to evaluate the elements of the product

structure with regard to workload and fixed costs with regard to the production structure. The auxiliary control variables describe the spreading of process time, the amount of process time depending on product properties as well as the section of workload for each element of the product structure.

In order to continuously determine the reference input variable and the auxiliary control variables, a new measuring system has been developed. It is based on a data warehouse that stores current performance data of the production within a multi-scale data model. The assignment of core data and dynamic data to dimensions and facts allows the calculation of the reference input variable and the auxiliary control variables. The calculation is based on mathematical functions and can be executed for all scales with regard to product structure and production structures.

This data model and the corresponding calculations have been applied to a prototype. They are termed as performance measuring system for multi-scale workload control (LMEB). A graphical interface allows the user to interact with the data and to visualize the reference input variable and the auxiliary control variables for different scales. In this way, the LMEB supports short term as well as long term decisions.

The validation took place in a small enterprise and was based on two case studies of two different products. The LMEB was implemented within the infrastructure existing in a certain factory and tested by the process owners. To sum up, the applicability as well as the usability of the measuring system was proved. Enterprises with a small amount of planning resources benefit from implementing a multi-scale workload control system in order to shape the economical workload with regard to their production structures. Of particular advantage is the cost-benefit ratio.

Literaturverzeichnis

- [Abele 2006] Abele, Thomas: *Verfahren für das Technologie-Roadmapping zur Unterstützung des strategischen Technologiemanagements*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2006
- [Aldinger 2009] Aldinger, Lars: *Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2009
- [Baier 2009] Baier, Peter: *Praxishandbuch Controlling: Controlling-Instrumente, Unternehmensplanung und Reporting*. 1. Aufl. München: mi-Wirtschaftsbuch, 2009
- [Balzert 2009] Balzert, Helmut: *Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements-Engineering*. 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2009
- [Bauernhansl u. a. 2012] Bauernhansl, Thomas ; Kroß, Philipp ; Westkämper, Engelbert: *Influencing the long-term workload of manufacturing resources within SME*. In: Torvinen, Seppo (Hrsg.): *Competitive and Sustainable Manufacturing and Service Systems Technologies*, 2012, Paper 1237
- [Baumberger 2007] Baumberger, Georg C.: *Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten*. München, Technische Universität München, Dissertation, 2007
- [Bergerfurth 2004] Bergerfurth, Jörg: *Referenz-Informationsmodelle für das Produktionscontrolling: Nutzerspezifische Analyse- und Auswertungssichten für produktionsbezogene Aufgaben*. Berlin: Logos Verlag, 2004
- [Berning 2001] Berning, Ralf: *Grundlagen der Produktion: Produktionsplanung und Beschaffungsmanagement*. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen, 2001

- [Binner 2010] Binner, Hartmut F.: *Prozessmanagement von A bis Z: Erläuterungen und Vernetzung zeitgerechter Begriffe: REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung*. 1. Aufl. München: Hanser, 2010
- [Bracht u. a. 2011] Bracht, Uwe ; Geckler, Dieter ; Wenzel, Sigrid: *Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele*. Berlin: Springer, 2011
- [Braßler u. Schneider 2000] Braßler, Axel ; Schneider, Herfried: *Strategisch-taktisches Produktionsmanagement*. In: Schneider, Herfried (Hrsg.): *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 21–88
- [Bronner 2001] Bronner, Albert: *Industrielle Planungstechniken: Unternehmens-, Produkt- und Investitionsplanung, Kostenrechnung und Terminplanung*. Berlin u. a.: Springer, 2001
- [Bullinger u. a. 2003] Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.) ; Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.) ; Westkämper, Engelbert (Hrsg.): *Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management*. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2003
- [Burgstahler 1997] Burgstahler, Bernd: *Synchronisation von Produkt- und Produktionsentwicklung mit Hilfe eines Technologiekalenders*. Braunschweig, Technische Universität Carolo Wilhelmina, Dissertation, 1997
- [Burr u. Stephan 2006] Burr, Wolfgang ; Stephan, Michael: *Dienstleistungsmanagement: Innovative Wertschöpfungskonzepte im Dienstleistungssektor*. Stuttgart: Kohlhammer, 2006
- [Constantinescu u. Westkämper 2008] Constantinescu, Carmen ; Westkämper, Engelbert: *Grid Engineering for Networked and Multi-scale Manufacturing*. In: Mitsuishi, Mamoru (Hrsg.) ; Ueda, Kanji (Hrsg.) ; Kimura, Fumihiko (Hrsg.): *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*. London: Springer, 2008, S. 111–114
- [Corsten 2000] Corsten, Hans: *Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*. 9. Aufl. München u. a.: Oldenbourg, 2000

- [Dangelmaier u. a. 2008] Dangelmaier, Wilhelm ; Brüggemann, Daniel ; Dürksen, Dietrich ; Klöpfer, Benjamin ; Rust, Tobias: *Produktionsplanungsverfahren zur rollierenden Planung mehrstufiger Produktionssysteme bei simultaner Auswahl kostenminimaler Schichtmodelle*. In: Gronau, Norbert (Hrsg.): *Wettbewerbsfähigkeit durch Arbeits- und Betriebsorganisation*. Berlin: Gito-Verlag, 2008 (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)), S. 125–143
- [Dudic 2010] Dudic, Dalibor: *Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2010
- [Ehrlenspiel 2009] Ehrlenspiel, Klaus: *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 4. Aufl. München u. a.: Hanser, 2009
- [Ehrmann 2002] Ehrmann, Harald: *Unternehmensplanung*. 4. Aufl. Ludwigshafen am Rhein: Kiehl, 2002
- [Engeln 2006] Engeln, Werner: *Methoden der Produktentwicklung*. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2006
- [European Commission 2003] European Commission: *Commission recommendation of 6 May 2003 concerning the definition of micro, small and medium-sized enterprises*. 2003
- [Eversheim 1997] Eversheim, Walter: *Organisation in der Produktionstechnik*. 3. Aufl. Berlin: Springer, 1997
- [Eversheim 1998] Eversheim, Walter: *Studium und Praxis*. Bd. 2: *Konstruktion*. 3. Aufl. Berlin: Springer, 1998
- [Eversheim u. Schuh 2005] Eversheim, Walter (Hrsg.) ; Schuh, Günther (Hrsg.): *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. Berlin u. a.: Springer, 2005
- [Fandel 2005] Fandel, Günter: *Produktion I: Produktions- und Kostentheorie*. 6. Aufl. Berlin: Springer, 2005
- [Fandel u. a. 2009] Fandel, Günter ; Fistek, Allegra ; Stütz, Sebastian: *Produktionsmanagement*. Berlin u. a.: Springer, 2009
- [Farkisch 2011] Farkisch, Kiumars: *Data-Warehouse-Systeme kompakt: Aufbau, Architektur, Grundfunktionen*. Berlin: Springer, 2011

- [Fischer 1997] Fischer, Hellmuth: *Unternehmensplanung: Eine praxisorientierte Einführung*. München: Vahlen, 1997
- [Friedli 2006] Friedli, Thomas: *Technologiemanagement: Modelle zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit*. Berlin u. a.: Springer, 2006
- [Fuss u. Vermeulen 2004] Fuss, Catherine ; Vermeulen, Philip: *Firms' investment decisions in response to demand and price uncertainty*. <http://www.ecb.int/pub/pdf/scpwps/ecbwp347.pdf>. Stand: 2004 (Working Paper Series)
- [Gabriel u. a. 2009] Gabriel, Roland ; Pastwa, Alexander ; Gluchowski, Peter: *Data Warehouse & Data Mining*. Witten: W3L GmbH, 2009
- [Gansor u. a. 2010] Gansor, Tom ; Totok, Andreas ; Stock, Steffen: *Von der Strategie zum Business Intelligence Competency Center (BICC)*. München: Hanser, 2010
- [Gausemeier u. a. 2009] Gausemeier, Jürgen ; Plass, Christoph ; Wenzelmann, Christoph: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. München u. a.: Hanser, 2009
- [Geisler 2009] Geisler, Frank: *Datenbanken: Grundlagen und Design*. 3. Aufl. Heidelberg u. a.: mitp, 2009
- [Geitner 1987] Geitner, Uwe W.: *Betriebsinformatik für Produktionsbetriebe: Methoden der Produktionsplanung und -steuerung*. 2. Aufl. München: Hanser, 1987 (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation)
- [Gienke u. Kämpf 2007] Gienke, Helmuth (Hrsg.) ; Kämpf, Rainer (Hrsg.): *Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling*. München: Hanser, 2007
- [Glaser u. Petersen 1997] Glaser, Horst ; Petersen, Lars: *Produktion und Produktionsplanung*. In: Pfohl, Hans-Christian (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe*. Berlin: Schmidt, 1997, S. 135–160
- [Gómez u. a. 2006] Gómez, Jorge M. ; Rautenstrauch, Claus ; Cissek, Peter ; Grahlher, Björn: *Einführung in SAP Business Information Warehouse*. Berlin: Springer, 2006
- [Gräßler 2004] Gräßler, Iris: *Kundenindividuelle Massenproduktion: Entwicklung, Vorbereitung der Herstellung, Veränderungsmanagement*. Berlin u. a.: Springer, 2004

- [Grothe 2000] Grothe, Martin: *Business intelligence: Aus Informationen Wettbewerbsvorteile gewinnen*. München: Addison-Wesley, 2000
- [Günterberg 2012] Günterberg, Brigitte ; Institut für Mittelstandsforschung Bonn (Hrsg.): *Unternehmensgrößenstatistik: Unternehmen, Umsatz und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte 2004 bis 2009 in Deutschland, Ergebnisse des Unternehmensregisters (URS 95)*. <http://www.ifm-bonn.org/assets/documents/Daten-und-Fakten-2.pdf>. Stand: 2012 (Daten und Fakten / Institut für Mittelstandsforschung)
- [Günther u. Tempelmeier 2012] Günther, Hans-Otto ; Tempelmeier, Horst: *Produktion und Logistik*. 9. Aufl. Berlin u. a.: Springer, 2012 (Springer-Lehrbuch)
- [Haupt u. Planer 1994] Haupt, Reinhard ; Planer, Doris: *Aufgaben und Bestimmungsgrößen der Produktionsprogrammgestaltung*. In: Corsten, Hans (Hrsg.): *Handbuch Produktionsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1994, S. 75–92
- [Heesen 2012] Heesen, Bernd: *Effective strategy execution: Improving performance with business intelligence*. Berlin: Springer, 2012
- [Heinz u. a. 2007] Heinz, Christoph ; Krämer, Jürgen ; Riemenschneider, Tobias ; Seeger, Bernhard: *Auf dem Weg zur allwissenden Fabrik: Vertikale Integration auf Basis kontinuierlicher Datenverarbeitung*. <http://www.mathematik.uni-marburg.de/~heinzch/Papers/HKRS07.pdf>. Stand: 2007 (Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. 2007)
- [Helbing 2010] Helbing, Kurt W.: *Handbuch Fabrikprojektierung*. Berlin u. a.: Springer, 2010
- [Herden 2002] Herden, Olaf: *Eine Entwurfsmethodik für Data Warehouses*. Oldenburg, Universität Oldenburg, Dissertation, 2002
- [Heupel u. Hoch 2010] Heupel, Thomas ; Hoch, Gero: *Veränderungen des Wertschöpfungsmanagements in der Automobilindustrie – Implikationen für das Erfolgs- und Kostencontrolling der mittelständisch geprägten Zulieferindustrie*. In: Kathan, Daniel (Hrsg.) ; Letmathe, Peter (Hrsg.) ; Mark, Klaus (Hrsg.): *Wertschöpfungsmanagement im Mittelstand*. Wiesbaden: Gabler, 2010, S. 179–198
- [Höck 2005] Höck, Michael: *Dienstleistungsmanagement aus produktionswirtschaftlicher Sicht*. Hamburg, Universität Hamburg, Dissertation, 2005

- [Höhne 2010] Höhne, Tim H.: *Einflüsse von Make or Buy-Entscheidungen auf die Termintreue*. Aachen: Apprimus-Verlag, 2010
- [Horváth 2011] Horváth, Péter: *Controlling*. 12. Aufl. München: Vahlen, 2011
- [Horváth u. Weber 1997] Horváth, Péter ; Weber, Joachim: *Controlling*. In: Pfohl, Hans-Christian (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe*. Berlin: Schmidt, 1997, S. 335–376
- [Huber 2011] Huber, Matthias: *Verfahren zur Grobplanung bei Einzel-, Serien-, und Massenfertigung sowie die Integration in PPS-Systemen*. Charkiw, V.N. Karazin Kharkiv National Universität, Dissertation, 2011
- [Jander 2012] Jander, Henning: *Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage*. Chemnitz, TU Chemnitz, Dissertation, 2012
- [Jovane u. a. 2009] Jovane, Francesco (Hrsg.) ; Westkämper, Engelbert (Hrsg.) ; Williams, David (Hrsg.): *The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing*. Berlin u. a.: Springer, 2009
- [Kaplan u. Anderson 2009] Kaplan, Robert S. ; Anderson, Steven R.: *Time-driven activity-based costing: A simpler and more powerful path to higher profits*. 3. Aufl. Boston: Harvard Business School Press, 2009
- [Kapp 2011] Kapp, Ralf: *Ein betriebsbegleitendes Fabriksimulationssystem zur durchgängigen Unterstützung der kontinuierlichen Fabrikadaption*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2011
- [Kapp u. a. 2006] Kapp, Ralf ; Blond, Jan le ; Schreiber, Stefan ; Pfeffer, Matthias ; Westkämper, Engelbert: *Echtzeitfähiges Fabrik-Cockpit für den produzierenden Mittelstand*. In: Scholz-Reiter, Bernd (Hrsg.) ; Gronau, Norbert (Hrsg.) ; Krallmann, Hermann (Hrsg.): *Industrie Management* Bd. 22. Berlin: Gito-Verlag, 2006, S. 49–52
- [Kathan u. a. 2010] Kathan, Daniel (Hrsg.) ; Letmathe, Peter (Hrsg.) ; Mark, Klaus (Hrsg.): *Wertschöpfungsmanagement im Mittelstand: Tagungsband des Forums der Deutschen Mittelstandsforschung*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2010

- [Kemper u. a. 2010] Kemper, Hans-Georg ; Mehanna, Walid ; Baars, Henning: *Business intelligence – Grundlagen und praktische Anwendungen: Eine Einführung in die IT-basierte Managementunterstützung*. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010
- [Kemper u. Rieger 2008] Kemper, Hans-Georg ; Rieger, Bodo: *Vorwort zur Teilkonferenz: Business Intelligence*. In: Bichler, Martin (Hrsg.) ; Hess, Thomas (Hrsg.) ; Kremar, Helmut (Hrsg.): *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2008*. Berlin: Gito-Verlag, 2008, S. 31
- [Kiener u. a. 2009] Kiener, Stefan ; Maier-Scheubeck, Nicolas ; Obermaier, Robert ; Weiß, Manfred: *Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung*. 9. Aufl. München: Oldenbourg, 2009
- [Kimms u. Klein 2005] Kimms, Alf ; Klein, Robert: *Revenue Management im Branchenvergleich*. In: Fandel, Günter (Hrsg.) ; Portatius, Hans B. v. (Hrsg.): *Zeitschrift für Betriebswirtschaft: Möglichkeiten der erlös- bzw. gewinnmaximalen Vermarktung von Kapazitäten* Bd. 1. Wiesbaden: Gabler, 2005, S. 1–30
- [Kistner u. Steven 2001] Kistner, Klaus-Peter ; Steven, Marion: *Produktionsplanung*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2001
- [Klein u. Scholl 2011] Klein, Robert ; Scholl, Armin: *Planung und Entscheidung: Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse*. 2. Aufl. München: Vahlen, 2011
- [Klein u. Steinhardt 2008] Klein, Robert ; Steinhardt, Claudius: *Revenue Management: Grundlagen und Mathematische Methoden*. Berlin: Springer, 2008
- [Köppen u. a. 2012] Köppen, Veit ; Saake, Gunter ; Sattler, Kai-Uwe: *Data Warehouse Technologien*. Heidelberg u. a.: mitp/bhv, 2012
- [Krallmann 2007] Krallmann, Hermann (Hrsg.): *Systemanalyse im Unternehmen: Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik*. 5. Aufl. München u. a.: Oldenbourg, 2007
- [Kuhn u. a. 2010] Kuhn, Heinrich ; Schilling, Robert ; Gstettner, Stefan: *Ausgestaltungsmöglichkeiten des Supply Chain Management im Mittelstand – Ausgewählte Aspekte einer empirischen Studie*. In: Kathan, Daniel (Hrsg.) ; Letmathe, Peter (Hrsg.) ; Mark, Klaus (Hrsg.): *Wertschöpfungsmanagement im Mittelstand*. Wiesbaden: Gabler, 2010, S. 355–373

- [Landherr u. a. 2012] Landherr, Martin ; Neumann, Michael ; Volkmann, Johannes ; Westkämper, Engelbert ; Bauernhansl, Thomas: *Individuelle Softwareunterstützung für jeden Ingenieur: Advanced Engineering Platform for Production*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 107 (2012), Nr. 9, S. 628–631
- [Laqua 2012] Laqua, Ingo: *Production Intelligence: Mit dem Produktions-Cockpit die Fertigung im Blick*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 107 (2012), Nr. 6, S. 416–420
- [Lasi 2009] Lasi, Heiner: *Aufbau eines IT-basierten Integrationskonzepts zur Unterstützung von Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2009
- [Laudon u. a. 2010] Laudon, Kenneth C. ; Laudon, Jane P. ; Schoder, Detlef: *Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung*. 2. Aufl. München u. a.: Pearson Studium, 2010
- [Lichtblau u. a. 2010] Lichtblau, Karl ; Demary, Markus ; Schmitz, Edgar ; Impuls-Stiftung (Hrsg.): *Lehren einer Krise: Die Sicht des Maschinenbaus*. Köln, 2010
- [Lindemann u. Baumberger 2006] Lindemann, Udo ; Baumberger, Georg C.: *Individualisierte Produkte*. In: Lindemann, Udo (Hrsg.) ; Reichwald, Ralf (Hrsg.) ; Zäh, Michael F. (Hrsg.): *Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin: Springer, 2006, S. 7–16
- [Lindemann u. Gahr 2006] Lindemann, Udo ; Gahr, Andreas: *Kostenmanagement individualisierter Produkte*. In: Lindemann, Udo (Hrsg.) ; Reichwald, Ralf (Hrsg.) ; Zäh, Michael F. (Hrsg.): *Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin: Springer, 2006, S. 179–198
- [Lingnau 1994] Lingnau, Volker: *Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie*. Berlin, TU Berlin, Dissertation, 1994
- [Lödding 2008] Lödding, Hermann: *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*. 2. Aufl. Berlin u. a.: Springer, 2008
- [Löffler 2011] Löffler, Carina: *Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2011

- [Malinowski u. Zimányi 2011] Malinowski, Elzbieta ; Zimányi, Esteban: *Advanced Data Warehouse Design: From Conventional to Spatial and Temporal Applications*. Berlin u. a.: Springer, 2011
- [Mertens 2009] Mertens, Peter: *Integrierte Informationsverarbeitung 1: Operative Systeme in der Industrie*. 17. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2009
- [Mertens u. Meier 2009] Mertens, Peter ; Meier, Marco: *Integrierte Informationsverarbeitung 2: Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie*. 10. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2009
- [Minguez u. a. 2010] Minguez, Jorge ; Lucke, Dominik ; Jakob, Mihaly ; Constantinescu, Carmen ; Mitschang, Bernhard: *Introducing SOA into Production Environments: The Manufacturing Service Bus*. In: Sihm, Wilfried (Hrsg.) ; Kuhlang, Peter (Hrsg.): *Sustainable Production and Logistics in Global Networks*, 2010, S. 1117–1124
- [Müller 2008] Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen: Am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie*. Saarbrücken, Universität des Saarlandes, Dissertation, 2008
- [Müller-Bungart 2007] Müller-Bungart, Michael: *Revenue management with flexible products: Models and methods for the broadcasting industry*. New York: Springer, 2007
- [Navrade 2008] Navrade, Frank: *Strategische Planung mit Data-Warehouse-Systemen*, Universität Duisburg-Essen, Dissertation, 2008
- [Nebl 2011] Nebl, Theodor: *Produktionswirtschaft*. 7. Aufl. München u. a.: Oldenbourg, 2011
- [Neuhausen 2001] Neuhausen, Jörn: *Gestaltung modularer Produktionssysteme für Unternehmen der Serienproduktion*. Aachen, RWTH Aachen, Dissertation, 2001
- [Nyhuis 2003] Nyhuis, Peter: *Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2003
- [Oehler u. Seufert 2011] Oehler, Karsten ; Seufert, Andreas: *Business intelligence und Dynamisierung der Planung*. 2. Aufl. Stuttgart: Steinbeis-Ed., 2011
- [Ossadnik 2008] Ossadnik, Wolfgang: *Planung und Entscheidung*. In: Corsten, Hans (Hrsg.) ; Michael, Reiß (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre*. München u. a.: Oldenbourg, 2008, S. 1–80

- [Peak u. a. 2004] Peak, Russel S. ; Lubell, Joshua ; Srinivasan, Vijay ; Waterbury, Stephen C.: *STEP, XML, and UML: Complementary Technologies: Submission for JCISE Special Issue: From Engineering Information Management to Product Lifecycle Management*. <http://eislabs.gatech.edu/pubs/conferences/2004-asme-detc-lubell/2004-asme-detc-lubell.pdf>. Stand: 2004
- [Pfohl 1997] Pfohl, Hans-Christian: *Abgrenzung der Klein- und Mittelbetriebe von Großbetrieben*. In: Pfohl, Hans-Christian (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe*. Berlin: Schmidt, 1997, S. 1–26
- [Pichler u. a. 2000] Pichler, Hanns (Hrsg.) ; Pleitner, Hans J. (Hrsg.) ; Schmidt, Karl-Heinz (Hrsg.): *Management in KMU: Die Führung von Klein- und Mittelunternehmen*. 3. Aufl. Bern: Haupt, 2000
- [Porter 1999] Porter, Michael E.: *Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten*. 10. Aufl. Frankfurt am Main u. a.: Campus, 1999
- [Rautenstrauch u. Schulze 2002] Rautenstrauch, Claus ; Schulze, Thomas: *Informatik für Wirtschaftswissenschaftler und Wirtschaftsinformatiker*. Berlin u. a.: Springer, 2002
- [Reinemann 2011] Reinemann, Holger: *Mittelstandsmanagement: Einführung in Theorie und Praxis*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2011
- [Rollberg 2001] Rollberg, Roland: *Integrierte Unternehmensplanung*. Dresden, Technische Universität Dresden, Dissertation, 2001
- [Rumpe 2011] Rumpe, Bernhard: *Modellierung mit UML: Sprache, Konzepte und Methodik*. 2. Aufl. Berlin u. a.: Springer, 2011
- [Saatmann 2008] Saatmann, Michael: *Revenue-Management in der deutschen Automobilwirtschaft: Voraussetzungen, Konzeption und Auswirkungen auf die Bedarfs- und Kapazitätsplanung in der automobilen supply chain*. Erlangen-Nürnberg, Friedrich-Alexander-Universität, Dissertation, 2008
- [Schäppi u. a. 2005] Schäppi, Bern ; Andreasen, Mogens M. ; Kirchgeorg, Manfred ; Radermacher, Franz-Josef: *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser, 2005
- [Schichtel 2002] Schichtel, Markus: *Produktdatenmodellierung in der Praxis*. München: Hanser, 2002

- [Schmalenbach 1949] Schmalenbach, Eugen Johann W.: *Der freien Wirtschaft zum Gedächtnis*. Köln u. a.: Westdeutscher Verlag, 1949
- [Schneider 2000b] Schneider, Herfried (Hrsg.): *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000
- [Schneider 2000a] Schneider, Herfried: *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen: Einführung*. In: Schneider, Herfried (Hrsg.): *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 1–20
- [Schön 2009] Schön, Michael: *Wandel strategischer Planungssysteme: Konzept für eine adaptive Unternehmensführung im turbulenten Umfeld*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2009
- [Schönsleben 2011] Schönsleben, Paul: *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*. 6. Aufl. Berlin: Springer, 2011
- [Schuh 2005] Schuh, Günther: *Produktkomplexität managen: Strategien – Methoden – Tools*. 2. Aufl. München: Hanser, 2005
- [Schuh 2006] Schuh, Günther (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. 3. Aufl. Berlin: Springer, 2006
- [Schuh u. a. 2012] Schuh, Günther ; Arnoscht, Jens ; Aleksic, Sasa: *Systematische Gestaltung von Kommunalitäten in Produkten und Prozessen*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 107 (2012), Nr. 5, S. 322–326
- [Schuh u. a. 2011] Schuh, Günther ; Behr, Marek ; Brecher, Christian ; Bührig-Polaczek, Andreas ; Michaeli, Walter: *Individualisierte Produktion*. In: Brecher, Christian (Hrsg.): *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*. Heidelberg: Springer, 2011, S. 83–256
- [Schuh u. Schwenk 2001] Schuh, Günther ; Schwenk, Urs: *Produktkomplexität managen: Strategien – Methoden – Tools*. München u. a.: Hanser, 2001
- [Seufert u. Oehler 2009] Seufert, Andreas ; Oehler, Karsten: *Grundlagen Business intelligence*. 1. Aufl. Stuttgart u. a.: Steinbeis-Ed., 2009

- [Spath 2009] Spath, Dieter: *Grundlagen der Organisationsgestaltung*. In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.) ; Spath, Dieter (Hrsg.) ; Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.) ; Westkämper, Engelbert (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*. Berlin u. a.: Springer, 2009 (VDI-Buch), S. 3–24
- [Spur 1994] Spur, Günter (Hrsg.): *Handbuch der Fertigungstechnik*. Bd. 6: *Fabrikbetrieb*. München u. a.: Hanser, 1994
- [Staud 2010] Staud, Josef L.: *Unternehmensmodellierung: Objektorientierte Theorie und Praxis mit UML 2.0*. Berlin u. a.: Springer, 2010
- [Steinle 2005] Steinle, Claus: *Ganzheitliches Management: Eine mehrdimensionale Sichtweise integrierter Unternehmensführung*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2005
- [Sucky 2009] Sucky, Eric: *Revenue Management bei Auftragsfertigung – Ein Ansatz zur Kapazitätssteuerung*. In: Voß, Stefan (Hrsg.) ; Pahl, Julia (Hrsg.) ; Schwarze, Silvia (Hrsg.): *Logistik Management*. Berlin u. a.: Physica-Verlag, 2009, S. 77–96
- [Sydow u. Möllering 2009] Sydow, Jörg ; Möllering, Guido: *Produktion in Netzwerken: Make, buy & cooperate*. 2. Aufl. München: Vahlen, 2009
- [Totok 2000] Totok, Andreas: *Modellierung von OLAP- und Data-Warehouse-Systemen*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2000
- [Unger u. Kemper 2008] Unger, Carsten ; Kemper, Hans-Georg: *Organisatorische Rahmenbedingungen der Entwicklung und des Betriebs von Business Intelligence: Ergebnisse einer empirischen Studie*. In: Bichler, Martin (Hrsg.) ; Hess, Thomas (Hrsg.) ; Kremar, Helmut (Hrsg.): *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2008*. Berlin: Gito-Verlag, 2008, S. 37–38
- [Warnecke 1995a] Warnecke, Hans-Jürgen: *Das Fraktale Unternehmen – Antwort auf ein turbulentes Umfeld*. In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.) ; Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.): *Fraktales Unternehmen*. Berlin u. a.: Springer, 1995 (IPA-IAO Forschung und Praxis), S. 11–25
- [Warnecke 1995b] Warnecke, Hans-Jürgen: *Organisation, Produkt, Planung*. 3. Aufl. Berlin u. a.: Springer, 1995
- [Weimer 2010] Weimer, Tobias: *Informationsmodell für die durchgängige Datennutzung in Fabrikplanung und -betrieb*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2010

- [Werners 2008] Werners, Brigitte: *Grundlagen des Operations Research: Mit Aufgaben und Lösungen*. 2. Aufl. Berlin u. a.: Springer, 2008
- [Westkämper 1977] Westkämper, Engelbert: *Automatisierung in der Einzel- und Serienfertigung: ein Beitrag zur Planung, Entwicklung und Realisierung neuer Fertigungskonzepte*. Aachen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Dissertation, 1977
- [Westkämper 1986] Westkämper, Engelbert: *Strategische Investitionsplanung mit Hilfe eines Technologiekalenders*. In: Wildemann, Horst (Hrsg.): *Strategische Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion: Tagungsband – 2. Fertigungswirtschaftliches Kolloquium an der Universität Passau*. München: gfmt-Ges. für Management u. Technologie-Verlag, 1986, S. 143–182
- [Westkämper 2001] Westkämper, Engelbert: *Leistungsplanung wandlungsfähiger Fabriken*. In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Hrsg.): *Fabrik 2005+: Agilität und Produktivität im Fokus*. Landsberg/Lech: verlag moderne industrie, 2001
- [Westkämper 2006] Westkämper, Engelbert: *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin u. a.: Springer, 2006
- [Westkämper 2007] Westkämper, Engelbert: *Nachhaltige Strategien der Produktion am Standort Deutschland*. In: Zahn, Erich (Hrsg.): *Erfolgreich produzieren am Standort Deutschland : Eine strategische Herausforderung*. Bonn: Lemmens, 2007, S. 25–47
- [Westkämper 2012] Westkämper, Engelbert: *Integration der Logistik bei der Transformation zum Lösungsanbieter*. In: Fleig, Günther (Hrsg.) ; Horváth, Péter (Hrsg.) ; Seiter, Mischa (Hrsg.): *Integration von Produkt und Service* Bd. 65/2012. Düsseldorf: Fachverl. Verl.-Gruppe Handelsblatt, 2012, S. 114–127
- [Westkämper u. a. 2010] Westkämper, Engelbert ; Warnecke, Hans-Jürgen ; Dinkelmann, Max ; Haag, Holger: *Einführung in die Fertigungstechnik*. Heidelberg: Vieweg + Teubner, 2010
- [Westkämper u. Zahn 2009] Westkämper, Engelbert (Hrsg.) ; Zahn, Erich (Hrsg.): *Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell*. Berlin u. a.: Springer, 2009

- [Westkämper u. a. 2000] Westkämper, Engelbert ; Zahn, Erich ; Balve, Patrick ; Tilebein, Meike: *Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen: Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld*. In: *wt Werkstattstechnik* 90 (2000), S. 22–26
- [Wiendahl 2010] Wiendahl, Hans-Peter: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 7. Aufl. München: Hanser, 2010
- [Wiendahl u. a. 2007] Wiendahl, Hans-Peter ; ElMaraghy, Hoda A. ; Nyhuis, Peter ; Zäh, Michael F. ; Wiendahl, Hans-Hermann ; Duffie, Niel ; Brieke, Michael: *Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation*. In: *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 56 (2007), Nr. 2, S. 783–809
- [Wiendahl u. a. 2009] Wiendahl, Hans-Peter ; Reichardt, Jürgen ; Nyhuis, Peter: *Handbuch Fabrikplanung: Konzept Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. München: Hanser, 2009
- [Winter 2010] Winter, Dirk H.: *Simultane strategische Produktionsplanung beim Vorliegen unvollständiger Informationen: Vorstellung eines risikobasierten Entscheidungsunterstützungssystems unter Verwendung der unscharfen, stochastischen Programmierung*. Dresden, Technische Universität Dresden, Dissertation, 2010
- [Wöhe u. Döring 2000] Wöhe, Günter ; Döring, Ulrich: *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 20. Aufl. München: Vahlen, 2000
- [Zagel 2006] Zagel, Mathias: *Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung*. Kaiserslautern, Technische Universität Kaiserslautern, Dissertation, 2006

A Anhang

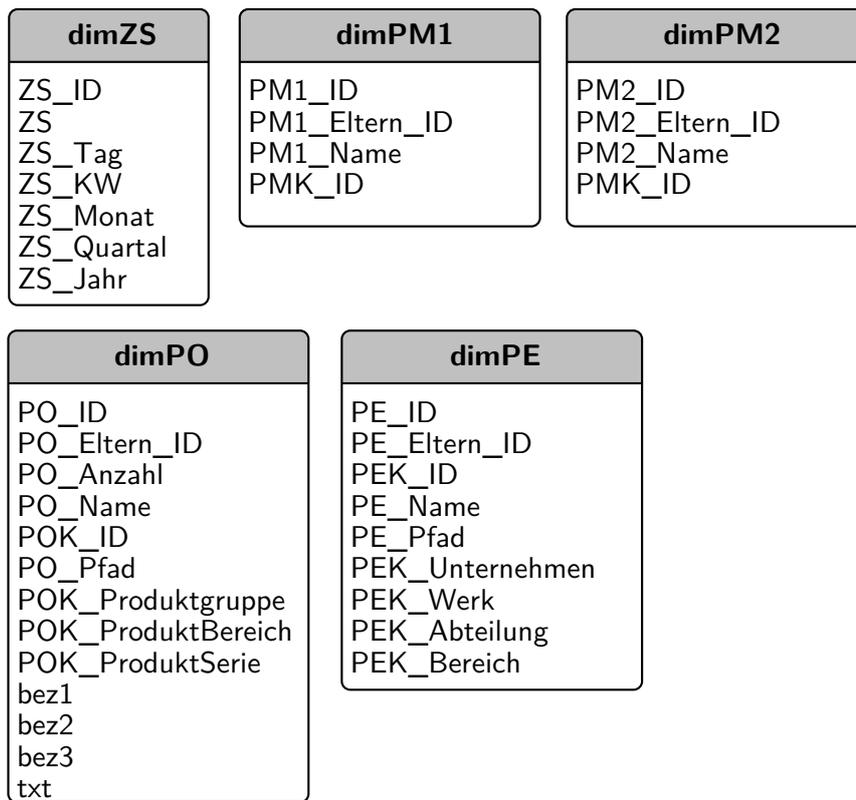


Abbildung A.1: Datenmodell in der LMEB, Tabellen für die Dimensionen

btr (faktPZ)	faktAL	faktKM
num	AL_ID	KM_ID
men	num	PE_ID
zei	num_trusted	ZS
dat	ZS	ZS_Monat
azeit	ZS_Jahr	ZS_Jahr
zdat	PRZ_sum	KM_Wert_1
zzeit	DB_sum	KM_Wert_2
kw		KM_Wert_3
asr		PE_Name
artnr		FK_Wert
ZS		DB_Wert_avg
ZS_KW		
PRZ_valid		
PRZ_Wert_valid		
PRZ_trusted		
PRZ_Wert		
PRZ_Wert_avg		
PRZ_Wert_Abweich		
PRZ_Spreizung_rel		
PR2_ID		
PR2_Name		
PO_Name		
PEK_ID		
PM1_Durchmesser		
PM1_ID		
PM2_Breite		
PM2_ID		

faktFK
FK_ID
PE_ID
ZS
ZS_Jahr
FK_Wert

faktDB
DB_ID
PR2_ID
PR2_Name
ZS
ZS_Jahr
DB_Wert
PE_ID
PE_Name

Abbildung A.2: Datenmodell in der LMEB, Tabellen für die Fakten

PO_Liste	PR2_Liste
num	PR2_ID
bez1	PR2_Name
bez2	PE_ID
bez3	PE_Name
txt	
PO_Anzahl	
POK_Produktgruppe	
POK_Produktbereich	
POK_Produktserie	
PM1_Durchmesser	
PM2_Breite	
PO_Name	

Abbildung A.3: Datenmodell in der LMEB, Tabellen mit Hilfslisten

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein umfassender Ansatz zur mehrskaligen Belastungsregelung vorgestellt, der bestehende Regelkreise der Strukturveränderung ergänzt. Im Mittelpunkt steht hierbei ein Informationssystem aus dem Bereich Business Intelligence, welches ausgehend von operativen Daten aus der Produktion kontinuierlich die Grundlagen für kurz- bis langfristige Entscheidungen in der Produktplanung zur Verfügung stellt.

ISBN 978-3-8396-0597-4



FRAUNHOFER VERLAG