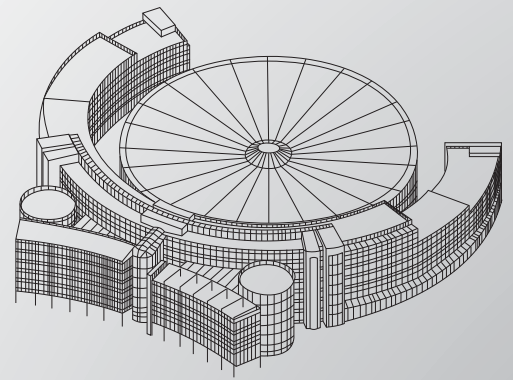


BERICHTE AUS DEM PRODUKTIONSTECHNISCHEN ZENTRUM BERLIN



Jakob Dinse

Quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung für die getaktete Fließfertigung

BERICHTE AUS DEM PRODUKTIONSTECHNISCHEN ZENTRUM BERLIN

Jakob Dinse

Quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung für die getaktete Fließfertigung

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. R. Stark

Prof. Dr.-Ing. R. Jochem

Prof. Dr.-Ing. H. Kohl

Prof. Dr.-Ing. J. Krüger

Prof. Dr.-Ing. M. Rethmeier

Prof. Dr.-Ing. G. Seliger

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. Uhlmann

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin
Telefon 030 39006-0
Fax 030 39110-37
E-Mail info@ipk.fraunhofer.de
URL www.ipk.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im
Internet über www.dnb.de abrufbar.
ISBN (Print): 978-3-8396-0951-4

D 83

Zugl.: Berlin, TU, Diss., 2015

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

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

Foto Umschlag: Copyright der BMW AG

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2016

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-2500
Fax 0711 970-2508
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.

QUANTITATIVE BETRIEBSMITTELBEDARFSPLANUNG FÜR DIE GETAKTETE FLIEßFERTIGUNG

vorgelegt von

Diplom-Wirtschaftsingenieur Jakob Alexander Dinse

geb. in Pegnitz

von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme

der Technischen Universität Berlin

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Gutachter: Dr.-Ing. Peter Weber

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 08. Juli 2015

Berlin, 2015

D 83

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Die Schriftenreihe „Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin“ wird von den Professoren der im Produktionstechnischen Zentrum Berlin dauerhaft angelegten Fach- und Forschungsgebiete der TU Berlin gemeinsam herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf den Gebieten der Produktentstehung, Produktionstechnik und Informationstechnik erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die an den Fachgebieten des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin und am Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und vom allgemeinen Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Die vorliegende Dissertationsarbeit von Herrn Dr. Dinse beschäftigt sich mit der Erforschung und der Evaluierung der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung für die getaktete Fließfertigung. Industrieunternehmen aller Branchen stehen derzeit vor der Herausforderung, global expandieren zu müssen und zeitgleich eine hohe Effizienz bei der Gestaltung der Produkte und Fabrikressourcen zu behalten oder wiederzuerlangen. Die Erweiterung und Umplanung bestehender Fabriken und die Erschließung neuer Produktionsstandorte werden somit zur Regel. Die Fabrikplanung rückt dabei verstärkt in den Fokus global erfolgreich agierender Unternehmen, wobei die mit der Fabrikplanung verbundenen Kernkompetenzen und Wettbewerbsfaktoren entscheidend dafür werden, wie die Zukunftsfähigkeit der unternehmensinternen und -übergreifenden Produktionsnetzwerke garantiert werden kann.

Die vorliegende Arbeit von Herrn Dr. Dinse konzentriert sich auf die bisher noch wenig wissenschaftlich beachtete Problematik einer bedarfsorientierten quantitativen Betriebsmittelplanung als Teil der gesamten Fabrikplanung. Die derzeit gängige industrielle Praxis beruht primär auf heuristischen Ansätzen bezogen auf die vorangegangenen Planungsprojekte für die Abschätzung von notwendigen Betriebsmitteln. Das Ziel dieser Arbeit liegt somit in der Verbesserung der methodischen Vorgehensweise bei der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung (QBBP).

Dem Autor der vorliegenden Arbeit ist es im besonderen Maße gelungen, eine durchgängige wissenschaftliche Vorgehensweise zu etablieren und diese anschließend in einem Unternehmen zu validieren. Ausgehend von dem Erkennen der Probleme in der Praxis, über die in heutigen Industrieunternehmen heuristisch praktizierten Betriebsmittelplanung, der sich anschließenden Hypothesenbildung und konzeptionellen Modellbildung zeigt Herr Dr. Dinse abschließend in Form von drei Praxisbeispielen die Möglichkeiten und Grenzen der von ihm entwickelten neuen Methodik auf.

Berlin, Januar 2016

Rainer Stark

VORWORT DES AUTORS

Die zahlreichen Hürden auf dem Weg zur Doktorwürde meistert man selten alleine. So verdankt auch dieses Projekt seinen Erfolg dem wohlwollenden Engagement zahlreicher Personen. Diesen Menschen möchte ich von ganzem Herzen für Ihre Unterstützung und die Förderung meiner Promotion danken.

Entstanden ist diese Arbeit im Rahmen meiner Tätigkeit im Bereich der Technischen Planung bei der BMW Group in München. Wissenschaftlich betreut wurde sie am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin im Fachgebiet Industrielle Informationstechnik.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark für das in mich gesetzte Vertrauen, die vielfältige Unterstützung und intensive Betreuung der Arbeit danken. Die fordernden Diskussionen, richtungsweisenden Impulse und weiterführenden Denkanstöße haben die Arbeit insbesondere in Methode und Struktur wesentlich vorangebracht. Mein Dank gilt außerdem Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für das Interesse an meiner Arbeit und seine Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats.

Für die intensive unternehmensseitige Betreuung und wohlwollende Förderung meines Projekts gilt mein besonderer Dank meinem Drittgutachter Dr. Peter Weber sowie Edmund Zuber und Dr. Thomas Herzinger. Den teils dynamisch veränderlichen Rahmenbedingungen zum Trotz hatten sie stets ein offenes Ohr für jedes, auch noch so praxisferne Anliegen im Rahmen meines Promotionsprojektes. Auch möchte ich mich bei allen weiteren beteiligten Kollegen für das konstruktive Arbeitsumfeld und das Interesse an meiner Arbeit bedanken. Für die studentische Mitarbeit danke ich insbesondere Simon Humbek, Mehmet Mert Hanayli, Oliver Sauerer, Partho Rahmann und Julian Brandherm.

Ferner trugen die aus Gründen der Vertraulichkeit hier nicht namentlich genannten Interviewpartner der empirischen Studie mit ihren unterschiedlichen Meinungen und vielschichtigen Anregungen entscheidend zum Erfolg dieser Arbeit bei, wofür ich mich ebenfalls herzlich bedanken möchte.

Das abschließende Lektorat dieser Arbeit übernahm Dr. Martin Feuchte. Auch ihm gebührt an dieser Stelle mein Dank für den finalen Feinschliff an meinem Manuskript.

Als Diskussionspartner, als Berater, als Ideengeber oder auch einfach nur durch vielfältige Ablenkungen hatten auch zahlreiche Freunde einen erheblichen Beitrag zum Erfolg dieses Projekts. Stellvertretend für all diese Wegbegleiter gilt mein Dank Dr. Philipp Schulz-Merkel, Markus Hagenmaier, Maxim Tashew und Klaus Ulmschneider für den fachlichen wie persönlichen Seitenhalt auch abseits der Arbeit. Für die stetige Motivation und anregenden Gespräche danke ich zudem auch meiner Schwester Franziska Dinse.

Ein großes persönliches Anliegen ist es mir schließlich, meine große Dankbarkeit gegenüber meinen Eltern Dr. Juliane und Dr. Horst Dinse zum Ausdruck zu bringen. Die Hingabe mit der sie meinen beruflichen wie privaten Werdegang begleitet und gefördert haben, hat mir dieses Projekt erst ermöglicht. Ohne diesen grenzenlosen familiären Rückhalt hätte ich es wohl nie bis zu diesen Zeilen gebracht.

ZUSAMMENFASSUNG

Angesichts zahlreicher Unbekannter sind frühe Planungsstadien – gleich welcher Disziplin – in der Industrie häufig durch heuristische Vorgehensweisen geprägt. Ein Maß an Transparenz zu gewährleisten, das der strategischen Bedeutung einer langfristigen Planung gerecht wird, ist auf einer solchen Grundlage kaum möglich. Als Gegengewicht zur zunehmenden Volatilität von Prämissen werden durchgängig systematisierte Methoden benötigt, um bereits in der Planung ein wettbewerbsfähiges Effizienzniveau erreichen zu können. Während in der allgemeinen Fabrikplanung bereits große Fortschritte erzielt werden konnten, kann im Teilbereich der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung diesbezüglich ein Aufholbedarf ausgemacht werden. Dieser Aufholbedarf wird im Rahmen dieser Dissertation systematisch adressiert. Das primäre Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es zu zeigen, dass eine durchgängige und systematisch integrierte Planungsmethodik ein probates Mittel für die industriellen Herausforderungen ist. Auf Basis einer umfassenden Analyse der industriellen Praxis durch eine empirische Studie sowie der wissenschaftlichen Theorie durch eine systematische Literaturrecherche werden die grundlegenden Planungslogiken für die Bedarfsermittlung von Betriebsmitteln herausgearbeitet. Darauf aufbauend wird sukzessiv eine generische Planungsmethodik abgeleitet und diese auf einen exemplarischen industriellen Anwendungsfall übertragen. Besonderes Augenmerk wird auf den Umgang mit unsicheren Einflussgrößen und die Digitalisierungspotentiale des Vorgehens gelegt. Anschließend erfolgt eine Validierung des entwickelten Ansatzes anhand von zwei Anwendungsfällen. Dabei zeigen sich die Vorteilhaftigkeit einer systematischen Vorgehensweise im dynamischen und hochkomplexen industriellen Umfeld sowie das Potential einer digitalen Unterstützung der Betriebsmittelbedarfsplanung, die von einer frühen Planung bis zur Realisierung auf der Basis des entwickelten Ansatzes nachhaltig valide gestaltet werden kann. Mit der exemplarischen Anwendung und prototypischen Implementierung ist diese Dissertation als Grundlagenarbeit zu verstehen. Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Integration in bestehende Werkzeuge der Digitalen Fabrik.

ABSTRACT

Early stages of industrial planning are often shaped by numerous uncertainties and heuristic approaches. Against this background, reaching a degree of transparency that comes up to the strategic impact of long-term planning will remain a challenge. To balance the increasing volatility of global market environments and planning premises, advanced methods are required to gain a competitive edge in matters of efficient planning. While there have been significant advances in the domain of general factory planning, the subdomain of quantitative production equipment planning has not received an equal level of attention in engineering science within the last decades. Reflecting the demands of industrial practitioners, distinct room for improvement can be identified in this respect. This dissertation therefore is focused on systematically addressing those potentials. The primary object of this research project is to develop a continuously integrated methodology and evaluate its suitability and potential benefits for an industrial implementation. An empirical study was conducted on industrial approaches and practitioners' views on quantitative production equipment planning. In addition, scientific theory on the topic was evaluated based on a systematic literature review. Combining the findings deducted from theory and industrial practice, a structured step-by-step approach is adopted to develop a generic planning methodology. Subsequently, the resulting approach is applied to an exemplary industrial use case, detailing the potentials of digitalization as well as the handling of uncertainties. For the purpose of validation, the methodology is applied to two further industrial use cases by an experienced planning engineer. The workshops conducted to evaluate the results led to different findings. The benefits of a systematic approach especially within highly complex industrial surroundings can be underlined. Moreover the potentials of a digital support for the quantitative production equipment planning are emphasized. This dissertation contributes a broad methodological basis and exemplary use cases for industrial application as well as for future research projects. Specifically, the integration of the developed approach into existing tools for virtual factory planning shows the need for further research.

INHALT

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	XIII
WESENTLICHE FORMELZEICHEN	XIV
1 EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Zielsetzung	4
1.4 Struktur der Arbeit.....	5
2 PRÄZISIERUNG DES ORDNUNGSRAHMENS.....	7
2.1 Planungstheoretische Grundlagen	7
2.1.1 Planungsverständnis	7
2.1.2 Fabrikplanungssystematik	10
2.1.3 Getaktete Fließfertigung.....	11
2.1.4 Betriebsmittelplanung	12
2.1.5 Digitale Fabrik.....	14
2.2 Ableitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Planungsmethodik	15
2.2.1 Validität der Planung durch methodische und technische Standards	15
2.2.2 Agilität der Planung durch Automatisierung und Skalierbarkeit	16
2.2.3 Flexibilität der Planungsmethodik.....	16
2.2.4 Adäquate Handhabung von Unsicherheitsfaktoren	17
2.2.5 Frühzeitige Planung und durchgängiger Methodeneinsatz	17
2.2.6 Zusammenfassung	17
3 STAND DER TECHNIK ZUR QUANTITATIVEN BETRIEBSMITTELBEDARFSPLANUNG	19
3.1 Heuristische Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung	20
3.1.1 Systematik zur Erfassung des Status quo in der Industrie.....	21
3.1.2 Entwicklung des Forschungsinstruments	22
3.1.3 Forschungsergebnisse.....	24
3.1.4 Interpretation der Ergebnisse.....	30
3.1.5 Fazit zum Status quo der QBBP in der Industrie.....	33
3.2 Wissenschaftliche Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung.....	34
3.2.1 Forschungssystematik	35
3.2.2 Forschungsergebnisse.....	37

3.2.3	Analyse der Methoden zur Ermittlung quantitativer Betriebsmittelbedarfe.....	40
3.2.4	Fazit zum Status quo der QBBP in der Wissenschaft	43
3.3	Zwischenfazit und Forschungsbedarf.....	44
4	HERLEITUNG DER METHODIK FÜR DIE QUANTITATIVE BETRIEBSMITTELBEDARFSPLANUNG	45
4.1	Randbedingungen und Grundlagen	46
4.1.1	Angestrebter Gültigkeitsbereich.....	46
4.1.2	Methodisches Vorgehen	47
4.1.3	Datenmanagement	48
4.1.4	Schätzverfahren	49
4.2	Planungslogiken der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung	50
4.2.1	Bedarfstreiber	51
4.2.2	Ergänzende Planungslogiken.....	53
4.3	Planungsintelligenzen der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung.....	54
4.3.1	Taktspezifische Bestandskapazität	56
4.3.2	Produktspezifisches Bearbeitungsprofil	57
4.3.3	Analyse von Vergangenheitsdaten	60
4.3.4	Initiale Bedarfsschätzung	64
4.3.5	Veränderungen des Produktionssystems	64
4.3.6	Weiternutzung bestehender Anlagen.....	66
4.3.7	Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug	68
4.3.8	Datenausleitung	69
4.4	Berechnungsmethoden der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung	70
4.4.1	QBBP in der Grobplanung	71
4.4.2	QBBP in der Vorplanung	73
4.4.3	QBBP in der Feinplanung	74
4.4.4	QBBP in der Ausführungsplanung.....	75
4.5	Planungsmethodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung.....	76
4.5.1	Ableitung der Methodik	76
4.5.2	Integration in den Fabrikplanungsprozess.....	81
4.6	Zwischenfazit	83
5	INSTANZIIERUNG DER PLANUNGSMETHODIK ANHAND EINES ANWENDUNGSBEISPIELS	85
5.1	Konkretisierung des Anwendungsbeispiels.....	85
5.1.1	Automobilproduktion	86
5.1.2	Betriebsmittelauswahl	87
5.1.3	Fallstudienunternehmen	89
5.1.4	Abgleich der Randbedingungen und Planungslogiken.....	90
5.2	Vorgelagerte Analyse	92

5.2.1	Abgrenzung des Betrachtungsumfangs	92
5.2.2	Normierung der Fertigungsinhalte	93
5.2.3	Spezifizierung der Datengrundlage	96
5.2.4	Regressionsanalyse der Bestandsdaten.....	98
5.3	Anwendung der Planungsmethodik.....	100
5.3.1	Schaffung einer systematischen Projektübersicht	101
5.3.2	Handhabung von Unsicherheitsfaktoren	102
5.3.3	Eingangsdaten für die QBBP.....	104
5.3.4	Methodenanwendung	110
5.4	Planungsergebnis.....	111
5.4.1	Interpretation der im Ergebnis enthaltenen Unsicherheiten	112
5.4.2	Implikationen des Planungsergebnisses	113
5.4.3	Digitalisierungspotentiale der QBBP-Methodik	113
5.5	Zusammenfassung und vorläufige Beurteilung des entwickelten Ansatzes.....	116
6	VALIDIERUNG DER METHODIK.....	118

6.1	Szenario 1: Bewertung von Konzeptalternativen, Einzelprojekt.....	118
6.1.1	Vorbereitung, Analysen und Eingangsdaten	119
6.1.2	Methodenanwendung und Implikationen des Ergebnisses.....	121
6.1.3	Beurteilung des Ergebnisses und der Methodik	122
6.2	Szenario 2: Lieferantenauswahl und -steuerung, Multiprojektlandschaft	123
6.2.1	Vorbereitung, Analysen, Projektübersicht und Eingangsdaten	123
6.2.2	Methodenanwendung und Implikationen des Ergebnisses.....	127
6.2.3	Beurteilung des Ergebnisses und der Methodik	129
6.3	Zusammenfassung und Bewertung.....	130

7	SCHLUSSBETRACHTUNG.....	131
---	-------------------------	-----

7.1	Zusammenfassung.....	131
7.2	Ausblick	134

8	ANHANG	137
---	--------------	-----

8.1	Interviewleitfaden.....	137
8.2	Interviewnotizen.....	138
8.2.1	Interview 1.....	138
8.2.2	Interview 2.....	139
8.2.3	Interview 3.....	140
8.2.4	Interview 4.....	141
8.2.5	Interview 5.....	142
8.2.6	Interview 6.....	143

8.2.7	Interview 7.....	144
8.2.8	Interview 8.....	145
8.3	Expertenworkshops zur Beurteilung der QBBP-Methodik.....	146
8.4	Datengrundlage für die QBBP.....	151
9	LITERATUR	154

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Alt.	Alternative
APT	Ausführender Planungsträger
Bgr.	Baugruppe
BM	Betriebsmittel
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
DMU	Digital Mockup
E/h	Einheiten pro Stunde
ERP	Enterprise Ressouce Planning
FF	Forschungsfrage
FI	Fertigungsinhalt
FS	Fremdschlüssel
GE	Geldeinheit
IF	Interviewfrage
IPS2	Integrated Product-Service-Systems
JvS	Jahre vor Serie (vor Produktionsstart)
MvS	Monate vor Serie (vor Produktionsstart)
NFI	Normierter Fertigungsinhalt
P.schw.	Punktschweißen
PDM	Produktdaten Management
PPS	Produktionsplanung & -steuerung
PS	Primärschlüssel
QBBP	Quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung
SE	Simultaneous Engineering
SMD	Surface-Mounted Device (oberflächenmontiertes Bauelement in der Elektronikfertigung)
T&K	Türen und Klappen (Karosserie-Anbauteile eines Automobils)

WESENTLICHE FORMELZEICHEN

b_{Aij}	Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
b_{Bi}	Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i
b_{Bij}	Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
$\hat{b}_{Bij}$	Schätzung des Betriebsmittelbedarfs b_B von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
$b_{Bij}^{\sim}$	Vorläufiger Betriebsmittelbedarf $b_B^{\sim}$ von BM-Typ i für Fertigungsabschnitt j
$b_{Bijneu}^{\sim}$	Vorläufiger Betriebsmittelbedarf $b_B^{\sim}$ von BM-Typ i für den Neubau von Fertigungsabschnitt j
b_{Lij}	Anzahl b_L der gemäß Fertigungslayout vorgesehenen Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j
b_{Oij}	Realisiertes Bestellvolumen b_O BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
b_{Zi}	Zusatzumfänge b_Z von BM-Typ i ohne Produktbezug
I_v	Investitionskosten für eine exemplarische Produktionsanlage für das Fertigungsverfahren v [GE]
I_{v^*}	Investitionskosten für eine exemplarische Produktionsanlage für das Referenz-Fertigungsverfahren v^* [GE]
k_{ATij}	Taktspezifische Bestandskapazität k_{AT} von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]
$\hat{k}_{BTij}$	Schätzung des taktspezifischen Kapazitätsbedarfs k_{BT} von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s],
R^2	Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion
t_T	Taktzeit [s]
t_{Tj}	Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]
$\bar{t}_{Tj}$	Durchschnittliche Taktzeit $\bar{t}_T$ in Fertigungsabschnitt j [s]
t_{bBij}	Bedarf an Betriebsmittel-Grundzeit t_{bB} für BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]
$\bar{t}_{Fij}$	Durchschnittliche Fertigungszeit t_F einer Produktgruppe auf BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]
$\bar{t}_{Rij}$	Durchschnittliche Rüstzeit t_R einer Produktgruppe auf BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]

$\hat{w}_N$	Schätzung der normierten Fertigungsinhalte w_N [NFI]
w_{Nj}	Normierte Fertigungsinhalte w_N in Fertigungsabschnitt j [NFI]
w_{Np}	Normierte Fertigungsinhalte w_N des Produktes p [NFI]
w_{t^*v}	Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens v die auf einer exemplarischen Produktionsanlage in dem Referenz-Zeitintervall t^* ausgeführt werden können [FI]
$w_{t^*v^*}$	Fertigungsinhalte des Referenz-Fertigungsverfahrens v^* , die auf einer exemplarischen Produktionsanlage in einem festzulegenden Referenz-Zeitintervall t^* ausgeführt werden können [NFI]
w_{vp}	Mit Produkt p einhergehende Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens v [FI]
w_{v^*p}	Mit Produkt p einhergehende Fertigungsinhalte des Referenz-Fertigungsverfahrens v^* [NFI]
α	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades
α_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades in Fertigungsabschnitt j
β_i	Regressionskoeffizient bzw. Berechnungskonstante für BM-Typ i
Δ_{PS}	Faktor für projektspezifische Abweichungen im Produktionssystem
$\hat{\Delta}_{PS}$	Schätzung der Auswirkungen durch projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems
Δ_{PSij}	Veränderungen des Produktionssystems Δ_{PS} in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend
ε	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität
ε_j	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität in Fertigungsabschnitt j
ζ_{Zi}	Prozentualer Aufschlag für Zusatzumfänge BM-Typ i ohne Produktbezug
$\hat{\zeta}_{Zi}$	Schätzung des prozentualen Aufschlags für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug
η	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades
η_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades in Fertigungsabschnitt j
$\hat{\lambda}_{Ai}$	Schätzung des prozentualen Anteils λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i

λ_{Aij}	Prozentualer Anteil λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j
μ^*	Referenzwert für die Investitionen pro normiertem Fertigungsinhalt [GE/NFI]
μ_v	Umrechnungsfaktor für Fertigungsverfahren v [NFI/FI]
μ'_v	Vergleichswert für die Investitionen pro Fertigungsinhalt des Fertigungsverfahrens v [GE/FI]
σ	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten
σ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend
τ	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen
τ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation

Erfolgreiche Industrieunternehmen aller Branchen eint der Druck, global zu expandieren und dabei flexibel zu bleiben. Die Erweiterung bestehender Fabriken und die Erschließung neuer Produktionsstandorte werden zum Tagesgeschäft. Die Fabrikplanung rückt somit verstärkt in den Fokus erfolgreicher Unternehmen. Als Kernkompetenz und Wettbewerbsfaktor entscheidet sie über die Zukunftsfähigkeit eines Produktionsnetzwerkes (vgl. ZÜRN 2010). Allein die globale Automobilindustrie investiert jährlich Milliarden in die zukünftige Produktion der Fortbewegungsmittel von morgen. Ein erheblicher Anteil dieser Investitionen wird für neue Produktionsanlagen aufgewendet. Der Erfolg von Fabrikplanungsprojekten hängt damit insbesondere auch an agilen Methoden und Prozessen für die Betriebsmittelplanung. Diese teilt sich auf in die qualitative und die quantitative Planung (GRUNDIG 2009). Um eine nachhaltig optimale Ressourcenallokation zu erreichen und durch eine durchgängige Einkaufsstrategie die Versorgungssicherheit bei den Betriebsmitteln investitionsminimal gewährleisten zu können, müssen beide Aspekte Hand in Hand gehen.

Sorgt die Fabrikplanung für transparente Betriebsmittelbedarfe, profitieren davon auch angrenzende Planungsdisziplinen wie die Instandhaltungsplanung. Darüber hinaus kann der Einkauf strategisch auf die zu erwartenden Bedarfe ausgerichtet werden. Die Notwendigkeit hierfür hat sich beispielsweise nach der Weltwirtschaftskrise in den Jahren 2008 und 2009 gezeigt. Aufgrund von Nachfrageeinbrüchen in nahezu allen Branchen war ein weltweiter Rückgang der industriellen Investitionen zu beobachten. Maßgeblich von dieser Entwicklung betroffen, kam es im Maschinen- und Anlagenbau aus Gründen der Fixkostensenkung zum massiven Abbau vakanter Produktionskapazitäten (vgl. DISPAN 2009; OLIVER WYMAN 2009). Dies führte zu teilweise massiven Versorgungsengpässen, als in Folge der unerwartet schnellen Erholung der Nachfragesituation eine Investitionswelle dem Maschinen- und Anlagenbau innerhalb kürzester Zeit volle Auftragsbücher bescherte. Ohne die entsprechenden Fertigungsmittel ließen sich Fabrikplanungsprojekte nicht termingerecht umsetzen und der Nachfrage der Endkunden¹ konnte vielfach nicht entsprochen werden. Angesichts eng gesteckter Terminpläne und unzähliger Abhängigkeiten im Produktentstehungsprozess können derartige Versorgungsschwierigkeiten für die nicht belieferten Betriebe folglich mit hohen Kosten verbunden sein. In Zeiten volatiler Märkte gilt es daher für erfolgreiche Industrieunternehmen, diesem zunehmenden Risiko durch innovative Methoden und Prozesse nachhaltig vorzubeugen.

¹ Auf eine sprachliche Geschlechterdifferenzierung wird in der vorliegenden Arbeit zugunsten der Lesbarkeit verzichtet. Die genutzte maskuline Form ist geschlechtsneutral zu verstehen.

Das vorliegende Forschungsprojekt entstand in enger Zusammenarbeit mit der BMW Group². Die geschilderte Ausgangssituation konnte dort exemplarisch untersucht werden. Das Unternehmen wurde in diesem Rahmen für Praxisbeispiele und Fallstudien herangezogen.

1.2 Problemstellung

„Die Komplexität, die in der Produktionsplanung anzutreffen ist, wird durch Unsicherheiten, Dynamik (Produktänderungen), Variantenvielfalt, Planungsdisziplinen und die Vielzahl der Abhängigkeiten begründet.“ (STARK ET. AL. 2011: S. 26)

Dieses Spannungsfeld bildet gleichermaßen den Rahmen der vorliegenden Arbeit. Für die Fabrikplanung kann nicht die Prognose der gesamtwirtschaftlichen Situation das Ziel sein, sondern in erster Linie ein sicherer Umgang mit den sich dynamisch verändernden Randbedingungen. Unsicherheitsfaktoren können häufig nicht umgangen werden und müssen in der Fabrikplanung daher adäquat gehandhabt werden.

Vor diesem Hintergrund die Betriebsmittelbedarfe verschiedener Konzeptalternativen bereits in einem frühen Planungsstadium valide und schnell bewerten zu können, kann eine große Herausforderung darstellen. Auch für eine vorausschauende Ausgestaltung der Einkaufsstrategie muss die Fabrikplanung für eine langfristige Transparenz der Betriebsmittelbedarfe sorgen. Ein Mangel an Transparenz in der Planung dieser Bedarfe kann hingegen zu einer schwankenden Versorgungssicherheit führen (vgl. Kapitel 1.1). Für diese kann es unterschiedliche Ursachen geben, allerdings ist davon nur ein kleiner Teil direkt durch die Fabrikplanung zu beeinflussen.

Abbildung 1-1 deutet die wesentlichen Stellhebel zur Vorbeugung von Lieferschwierigkeiten bei Betriebsmitteln an. Diese lassen sich aus Unternehmenssicht grob in interne und externe Ursachen unterteilen. Letztere sind zum einen lieferantenbezogene Probleme, wie beispielsweise Defizite in der Produktionsplanung des Lieferanten oder Versorgungsschwierigkeiten durch Sublieferanten. Derartigen Herausforderungen widmet sich das Forschungsgebiet des Supply Chain Managements (vgl. HARMS, HANSEN & SCHALTEGGER 2011; VAHRENKAMP 2008). Beispielsweise sind langfristige Rahmenverträge mit Lieferanten eine Maßnahme, die Versorgungssicherheit im Rahmen des Supply Chain Managements zu erhöhen. Fest zugesagte Liefer- und Abnahmemengen geben beiden Vertragspartnern eine höhere Planungssicherheit, auch wenn eine gegenseitige Abhängigkeit entsteht (vgl. REINHART & VON BREDOW 2008). Dafür ist allerdings eine genaue Bedarfsplanung notwendig. Frühzeitig und präzise spezifizierte Bedarfe führen zu einer hohen Versorgungssicherheit, da sich ein Betriebsmittellieferant langfristig darauf einstellen kann. Die quantitative Planung dieser Bedarfe fällt jedoch nicht in die Disziplin des Supply Chain Managements, sondern ist der Fabrikplanung zuzuordnen. Ein weiterer unternehmensexterner Aspekt ist die Handhabung von sonstigen äußeren Einflüssen, wie Umweltkatastrophen oder Konjunkturschwankungen. Diese werden in der Wissenschaft intensiv im Forschungsfeld des Risikomanagements untersucht und erhalten auch in der Unternehmenspraxis große Aufmerksamkeit

² vgl. Kapitel 5.1.3

(vgl. ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Die Fabrikplanung nimmt auf diese externen Faktoren allerdings keinen direkten Einfluss.

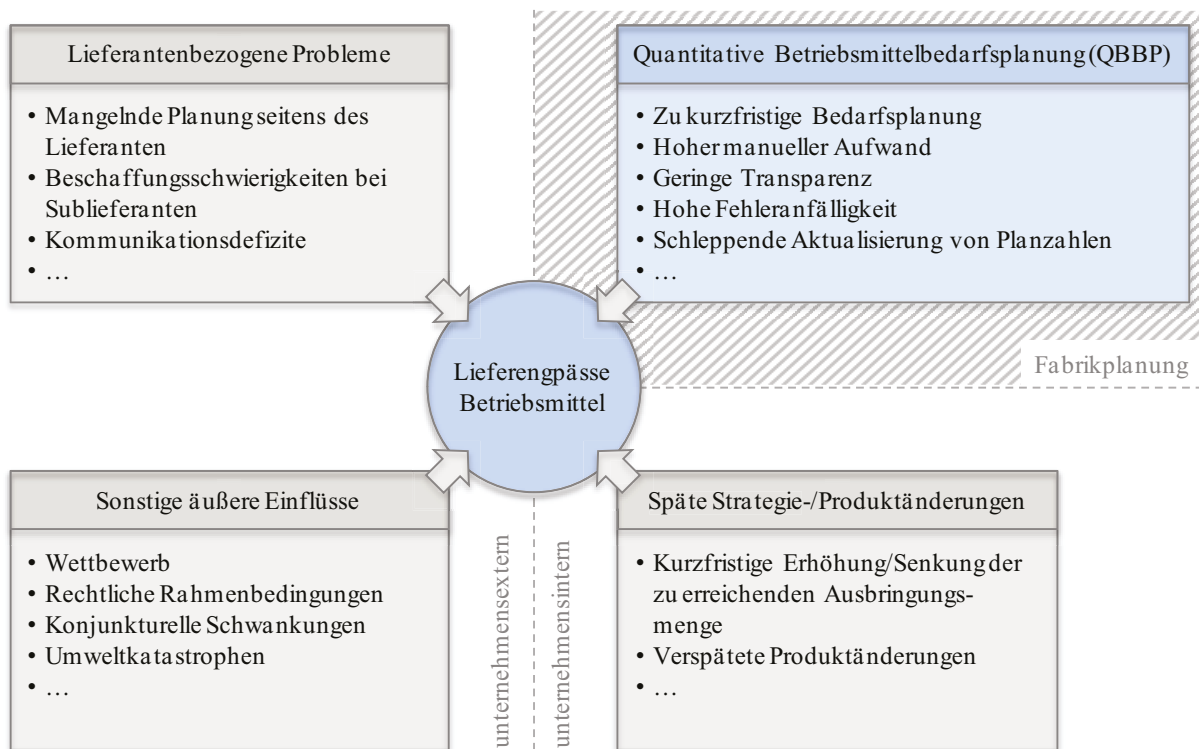


Abbildung 1-1: Ursachen für Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln

Innerhalb eines Unternehmens können Einflüsse aus der Produktentwicklung und der strategischen Planung indirekt zu Lieferschwierigkeiten bei den Betriebsmitteln führen. Insbesondere späte, aber signifikante Produktänderungen können die Anlagenplanung und damit die Betriebsmittel-Mengengerüste selbst in einem weit fortgeschrittenen Projektstadium noch grundlegend ändern. Gleiches gilt für die Auswirkungen der strategischen Planung, wie beispielsweise die zu erreichenden Ausbringungsmengen der Fertigungsanlagen. Auch potentiell nachteilige Beschaffungsstrategien sind unter diesem Punkt zu nennen. Für die Fabrikplanung sind derartige Einflüsse allerdings ebenfalls nur indirekt beeinflussbar. Als vierte Ursache für Lieferschwierigkeiten bleiben die Defizite bei der quantitativen Planung von Betriebsmittelbedarfen. Dieser Aspekt kann klar dem Verantwortungsbereich der Fabrikplanung zugeordnet werden. Lieferanten können sich langfristig auf Bedarfe einstellen, wenn sie frühzeitig und präzise durch den Abnehmer informiert werden. So lässt sich die Wahrscheinlichkeit für Lieferengpässe durch eine frühzeitige und valide Planung nachhaltig senken.

Somit birgt die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung das Potential, nicht nur auf Seiten der Fabrikplanung für mehr Planungssicherheit zu sorgen. Verwandte Planungsdisziplinen und insbesondere das Einkaufs- und Beschaffungsmanagement können von einer frühzeitigen und validen Bedarfsplanung bei den Betriebsmitteln profitieren.

Erste Voruntersuchungen³ haben gezeigt, dass es in der Industrie teilweise an langfristiger Transparenz bei den Betriebsmittelbedarfen mangelt. Um langfristige Rahmenverträge mit den entsprechenden Lieferanten betriebswirtschaftlich optimal auszugestalten und verhandeln zu können, werden beispielsweise bei der BMW Group verlässliche Zahlen aus der Planung gefordert (vgl. Kapitel 5.1). Die daraufhin angewandten heuristischen Vorgehensweisen gehen mit einem hohen Maß an manuellem Aufwand einher und sind im Vergleich zu einem formalisierten methodischen Vorgehen fehleranfälliger. Die Kernproblematik ist demnach das Fehlen eines durchgängig systematischen Ansatzes zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung. So wird bislang auch den sich dynamisch entwickelnden Unsicherheiten sowie der Datenverfügbarkeit, die mit dem Fortschreiten eines Fabrikplanungsprojektes kontinuierlich zunimmt, vielfach nicht adäquat Rechnung getragen. Neben dem erhöhten Risiko von Versorgungsengpässen bei den Betriebsmitteln werden in den Unternehmen somit vielfach planerische Ressourcen unnötig gebunden.

1.3 Zielsetzung

Das vorliegende Forschungsprojekt soll zur methodischen Verbesserung der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung (QBBP) beitragen. Der Fokus wird dabei ausschließlich auf die getaktete Fließfertigung⁴ gelegt.

Industrielle Heuristiken sind zu diesem Zweck aufzugreifen und in einen systematischen Ansatz zu überführen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die planungsphasenübergreifende Durchgängigkeit des Lösungsansatzes, um gewährleisten zu können, dass auch die zunehmende Projektielfalt in den Unternehmen beherrscht werden kann. Aus den Voruntersuchungen (vgl. Kapitel 1.2) und der geschilderten Problemstellung lässt sich somit eine Leithypothese für das weitere Vorgehen herleiten:

Leithypothese:

Die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung lässt sich, über die unterschiedlichen Planungsphasen hinweg, in erster Linie mit Hilfe einer durchgängigen und systematisch integrierten Planungsmethodik nachhaltig valide gestalten.

Ein Planungsansatz kann dabei nur dann nachhaltig zu validen Ergebnissen führen wenn gewährleistet ist, dass eine systematische Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen verankert ist und die Validität somit auch langfristig gewährleistet werden kann. Um diese Hypothese bestätigen oder widerlegen zu können ist zu untersuchen, wie repräsentativ die Voruntersuchungen für die Grundgesamtheit

³ Die zu Beginn des Forschungsprojektes durchgeführten und nicht näher dokumentierten Expertenbefragungen, Beobachtungen und Analysen bei der BMW Group werden im Folgenden als Voruntersuchungen bezeichnet. Aufgrund der nicht gegebenen Dokumentation werden die untersuchten Aspekte in der durchgeführten industriellen Studie (vgl. Kapitel 3.1) erneut aufgegriffen und methodisch untersucht.

⁴ Definiert in Kapitel 2.1.3

der Fertigungsindustrie sind und welche Lösungsansätze Industrie und Wissenschaft bereitstellen. Darauf aufbauend ist eine Planungsmethodik zu entwickeln, die die gewonnen Erkenntnisse deduktiv integriert und die zugrunde liegenden Planungslogiken und -intelligenzen miteinander in Einklang bringt. Die allgemeine Leithypothese ist zu diesem Zweck nach und nach durch konkretere Forschungshypothesen zu ergänzen, die als Orientierung für die Forschungsarbeit fungieren.

Zusammenfassend ist eine Methodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung zu entwickeln, die zuverlässig zu validen Planungsergebnissen führt und der industriellen Realität gerecht wird. Mit welchen konkreten Anforderungen dieses Ziel einhergeht, ist zunächst zu untersuchen (vgl. Kapitel 2.2).

1.4 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht im Wesentlichen aus drei Hauptteilen, wie Abbildung 1-2 zusammenfassend verdeutlicht. Im Anschluss an Kapitel 1 wird im Einführungsteil zunächst der Ordnungsrahmen der Arbeit präzisiert (Kapitel 2). Dies beinhaltet die planungstheoretischen Grundlagen sowie die Konkretisierung der Anforderungen an die zu entwickelnde Planungsmethodik. In Kapitel 3 werden bestehende Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung (QBBP) in der Industrie und der Wissenschaft untersucht. Zu diesem Zweck wird zunächst ein entsprechender Forschungsansatz entwickelt und die resultierende industrielle Studie und die Forschungsergebnisse vorgestellt. Darauf folgt eine methodisch fundierte Untersuchung des wissenschaftlichen Status quo auf Grundlage einer systematischen Literaturrecherche.

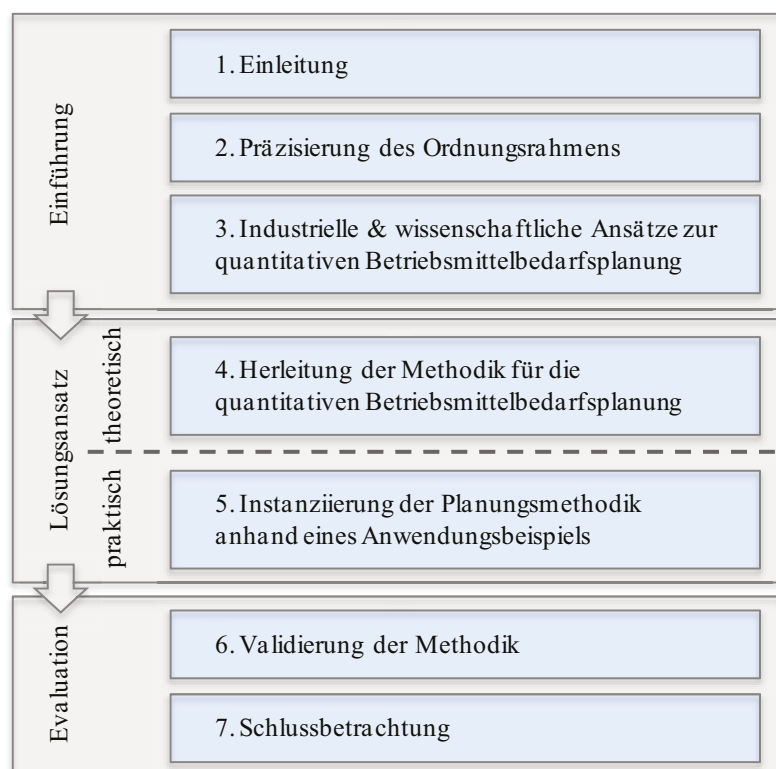


Abbildung 1-2: Struktur der Arbeit

Aus den Ergebnissen beider Untersuchungen werden Ableitungen für den zweiten Hauptteil der Arbeit getroffen. Dieser umfasst mit der theoretischen Herleitung (Kapitel 4) und der praxisnahen Instanziierung der QBBP-Methodik (Kapitel 5) die Kernaspekte dieser Arbeit. Kapitel 4 beinhaltet eine Präzisierung der Rahmenbedingungen und, beginnend mit den grundlegenden Planungslogiken, eine systematische Herleitung der Planungsmethodik bis zu deren Integration in die Prozesslandschaft eines Unternehmens. Diese Herleitung beschränkt sich auf eine rein generische Ebene. In Kapitel 5 wird für die Instanziierung ein praxisnahes Anwendungsbeispiel herangezogen und anhand dessen die Planungsmethodik an die Anforderungen eines Fallstudienunternehmens angepasst. Dafür wird insbesondere auf die vorgelagerten Analysen, die Handhabung von Unsicherheitsfaktoren und die praktische Anwendung der QBBP-Methodik eingegangen.

Im dritten Teil der Arbeit, der Evaluation, wird schließlich in Kapitel 6 eine Validierung der entwickelten Methodik anhand von zwei Industrieszenarien vorgenommen. Dabei wird insbesondere auf die Validität der Planungsergebnisse und die Anwenderfreundlichkeit des entwickelten Vorgehens eingegangen. Daran schließt sich die Schlussbetrachtung mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick an (Kapitel 7).

2 PRÄZISIERUNG DES ORDNUNGSRAHMENS

Die Bestimmung von Betriebsmittelbedarfen fällt in das Aufgabengebiet der Fabrikplanung. Diese stellt folglich den Ordnungsrahmen der vorliegenden Arbeit dar. Kapitel 2 dient der Präzisierung dieses Rahmens. Es wird zunächst kurz auf die relevanten planungstheoretische Grundlagen eingegangen (2.1), um daraus im Anschluss konkrete Anforderungen an die zu entwickelnde Planungsmethodik abzuleiten (2.2).

2.1 Planungstheoretische Grundlagen

Als Grundlage für die folgenden Ausführungen ist zunächst ein einheitliches Verständnis einiger wesentlicher Begrifflichkeiten herzustellen. Zu diesem Zweck wird in Abschnitt 2.1.1 zunächst das allgemeine Planungsverständnis der vorliegenden Arbeit erläutert. Unter 2.1.2 wird die Fabrikplanung in ihren allgemeinen Grundzügen dargestellt und auf die prozessuale Systematik der fabrikplanerischen Tätigkeit eingegangen. Im Anschluss wird in Abschnitt 2.1.3 auf die allgemeinen Charakteristika verschiedener Fertigungstypen und die getaktete Fließfertigung im Speziellen eingegangen. Als wichtiger Teilaspekt der Fabrikplanung und Fokus dieser Arbeit wird in Unterkapitel 2.1.4 die Betriebsmittelplanung zunächst in ihren Grundzügen vorgestellt. Schließlich wird auf den Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung eingegangen (2.1.5).

Für eine detaillierte Betrachtung der übrigen Aspekte des umfangreichen Themenkomplexes der Fabrikplanung sei an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen (vgl. AGGTELEKY 1971; DOMBROWSKI, HENNERSDORF & PALLUCK 2007; GRUNDIG 2009; KETTNER, SCHMIDT & GREIM 1984; PAWELLEK 2008; SCHENK & WIRTH 2004; STARK, KIM & ROTHENBURG 2010; WIENDAHL, REICHARDT & NYHUIS 2009).

2.1.1 Planungsverständnis

In Bezug auf den allgemeinen Begriff der Planung schließt sich diese Arbeit dem Verständnis an, dass Planung die gedankliche Vorwegnahme künftigen Handelns ist und auf das Erreichen bestimmter Ziele ausgerichtet ist (vgl. HAB & WAGNER 2013). SCHOLL (2001) betont zudem, dass Planung nicht nur zielgerichtet sondern stets zukunftsorientiert und meist systematisch ist sowie einen hohen Informationsbedarf hat. Als Grundlage für die Entwicklung einer Planungsmethodik bedarf es darüber hinaus einer Klarstellung von einigen in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich verwendeten Unterbegrifflichkeiten. So ist zunächst ein klares Verständnis des Terminus Methodik herzustellen. Nach SCHACK (2007: S. 6) ist darunter „ein planmäßiges Vorgehen [zu verstehen], bei dem mehrere einzelne

Methoden bzw. Hilfsmittel integriert verwendet werden“. Eine Planungsmethodik vereint folglich mehrere Planungsmethoden und ist diesen übergeordnet. Beispielsweise können einzelne Methoden jeweils einer Planungsphase zugeordnet sein, während die zusammenfassende Methodik schließlich den phasenübergreifenden Ansatz liefert.

Eine einzelne Planungsmethode wiederum ist definiert als „planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels“ (PAHL ET. AL. 2007: S. 750). Sie stellt somit eine gezielte Kombination aufeinanderfolgender Tätigkeiten dar. Im Unterschied zu einer Heuristik bedarf es für ein klar definiertes methodisches Vorgehen einer fundierten Grundlage die belegt, warum die einzelnen Ausführungsschritte die jeweils adäquaten Handlungsanweisungen darstellen und in ihrer Kombination optimal zur Zielerreichung beitragen. Allgemein kann festgestellt werden, dass zielgerichtete Handlungen stets auf einem oder mehreren grundlegenden Zusammenhängen bzw. Logiken aufbauen. Wenn ein Faktor unter bestimmten Rahmenbedingungen stets einen bestimmten Aspekt beeinflusst ist es naheliegend, sich dies zunutze zu machen, wenn ein Einfluss auf eben diesen Aspekt erzielt werden soll. Die Frage, wie eine solche Logik zur Zielerreichung in einem konkreten Fall einzusetzen ist, klärt die darauf aufbauende (Planungs-)Intelligenz. Für die verwendeten Begrifflichkeiten der Planungslogik und -intelligenz fehlt in der wissenschaftlichen Literatur bislang jedoch eine klare Abgrenzung.

Zwischen der Planungsmethode und den ihr zugrunde liegenden allgemeinen Zusammenhängen steht die Planungsintelligenz. Im Gegensatz zum Komplex der Methodologie existiert für den stark durch die Psychologie geprägten Intelligenzbegriff allerdings keine interdisziplinär einheitliche Definition (vgl. WEIß & JAKOB 2005). Eine inhaltliche Parallele zu der zuvor betrachteten Methodendefinition findet sich in einer Begriffsbestimmung aus der Disziplin der Mechatronik: „Intelligenz ist die Fähigkeit eines Systems ein Ziel, ein Verhalten oder einen bestimmten inneren Zustand bei Auftreten unbestimmter Zustände innerhalb oder außerhalb des Systems zu erreichen oder beizubehalten“ (RODDECK 2006: S. 246). Betrachtet man die übergeordnete, schrittweise Planungsmethode als System, so können Planungsintelligenzen als die einzelnen Teilschritte betrachtet werden. Sie beruhen auf grundlegenden Zusammenhängen, den Planungslogiken, und erweitern diese um quantitative oder qualitative Regeln zu deren praktischer Anwendung. Planungsintelligenzen können dabei impliziten oder expliziten Charakter haben.

Allgemein versteht sich die moderne Logik als Lehre vom korrekten Schließen (HERZOG 2012; HOYNINGEN-HUENE 1998). Eine Planungslogik kann demnach als allgemeingültiger Schluss verstanden werden und hat daher, vergleichbar mit Gesetzen der Naturwissenschaften, axiomatischen Charakter. Vereinfacht gesprochen handelt es sich um Wenn-Dann-Zusammenhänge. So ist es beispielsweise eine Planungslogik, dass die optimale Dimensionierung eines mechanischen Fertigungsmittels von den Abmessungen des Erzeugnisses und dem zu erwartenden Lastkollektiv abhängt. Die methodische oder heuristische Tätigkeit des Planungsträgers begründet sich demzufolge stets in solchen Planungslogiken. Abbildung 2-1 fasst die hierarchische Gliederung dieser planungsterminologischen Begrifflichkeiten zusammen.

Eine Planungsmethodik ist in der Regel in den Planungsprozess des jeweiligen Unternehmens eingebunden. Dieser gibt der Methodik den nötigen Rahmen indem er Schnittstellen und Verantwortlichkeiten definiert, die zeitliche Komponente durch definierte Meilensteine einbringt und die Datenverfügbarkeit steuert.

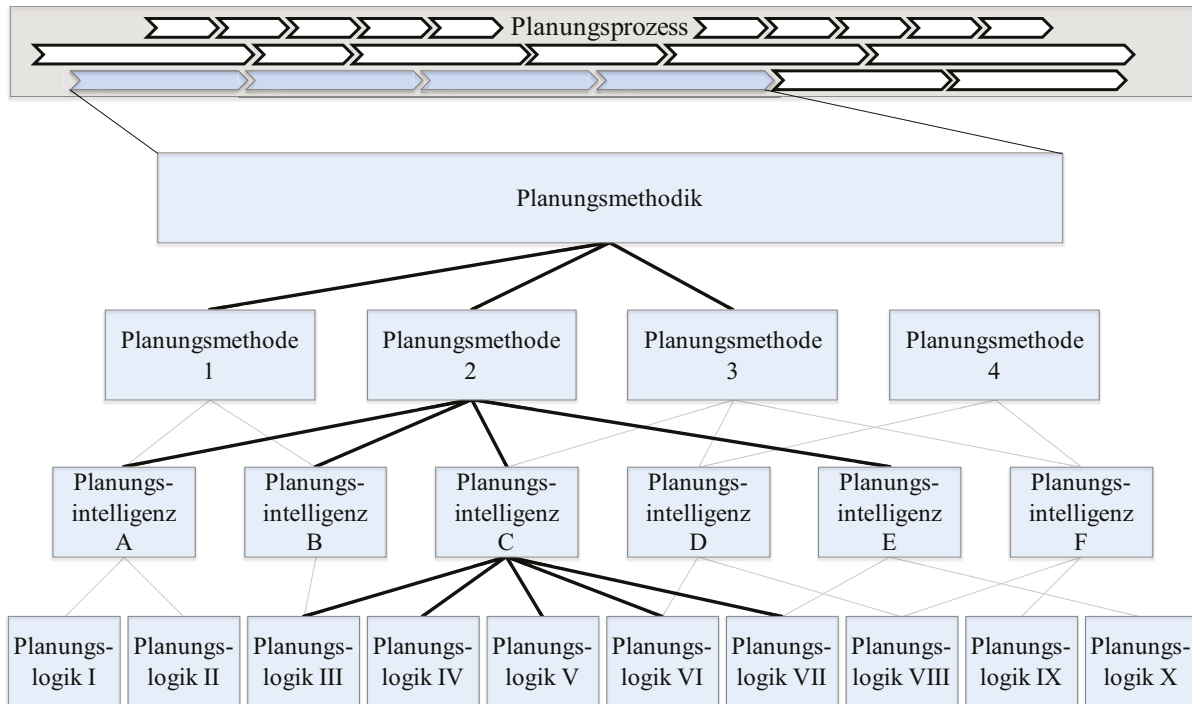


Abbildung 2-1: Modellhafter Zusammenhang zwischen Planungsprozess, -methodik, -methode, -intelligenz und -logik

Planungslogiken sind in der Praxis selten dokumentiert, da sie implizites Wissen der Planungsträger darstellen und von diesen meist als trivial angesehen werden. Auf Basis dieser Logiken entwickeln sich in der Regel zunächst dezentrale Heuristiken, in deren Rahmen grundlegende Zusammenhänge durch weiteres Wissen angereichert werden. Letzteres basiert im Fall einer heuristischen Vorgehensweise meist auf den Erfahrungen der Planungsträger. Um die Validität solcher Intelligenzen zu gewährleisten, sind sie zu dokumentieren und durch fundierte Analysen zu untermauern. Daraus ergibt sich für die Planungsintelligenz ein erweiterter Regelsatz für die zielgerichtete Verwendung der zugrunde liegenden, allgemeingültigen Logiken. Die tatsächliche Anwendung dieser Intelligenz erfolgt entweder heuristisch oder im Rahmen einer definierten Methode, die den zielgerichteten und korrekten Einsatz sicherstellt. So kann gewährleistet werden, dass die Abhängigkeit der Planungsergebnisse vom Erfahrungswissen einzelner Personen entkoppelt und die Transparenz der Resultate erhöht wird. Bündelt man mehrere dieser Methoden zu einer gesamthaften Planungsmethodik, kann eine breitere Problemstellung gezielt adressiert werden.

Als veranschaulichendes Beispiel kann die Standortplanung im Rahmen der Fabrikplanung herangezogen werden. Diese baut auf zahlreichen Planungslogiken auf, wie dem Einfluss der zur Verfügung stehenden Flächen oder der Verkehrsanbindung, die die Vorteilhaftigkeit eines Grundstücks beeinflussen. Auf diesen grundlegenden Zusammenhängen bauen Planungsintelligenzen auf, die eine systematische Bewertung dieser Faktoren ermöglichen. Als übergeordnete Methode aggregiert die Standort-Grobauswahl diese Intelligenzen mit dem Ziel, auf Basis der zugrunde gelegten Logiken eine Entscheidung herbeiführen zu können. In einer allgemeinen Planungsmethodik zur Standortplanung wird die Grobauswahl mit weiteren Methoden wie der vorgelagerten Festlegung eines Standortanforderungsprofils und

der nachgelagerten Feinauswahl des Standortes kombiniert. Die Anwendung des beschriebenen Planungsverständnisses auf die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung wird in Kapitel 4 intensiv vertieft.

2.1.2 Fabrikplanungssystematik

Das Fachgebiet der Fabrikplanung umfasst alle Schritte zur Realisierung einer initialen Idee bis zum Aufbau der Produktion. Dieser Prozess zeichnet sich durch ein zielorientiertes Vorgehen aus, das in aufeinander aufbauende Phasen strukturiert ist und durch Methoden und Werkzeuge unterstützt wird (GRUNDIG 2009). Durch die Tätigkeit des Planungsträgers werden dabei die Grundlagen für die produktionsseitige Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit eines Fertigungsstandortes oder eines gesamten Unternehmens geschaffen (vgl. SCHENK & WIRTH 2004).

In der Fabrikplanung können fünf wesentliche Grundfälle unterschieden werden (BURGGRÄF 2012):

- Grundfall A: Neubau eines Industriebetriebes,
- Grundfall B: Um- und Neugestaltung bestehender Industriebetriebe oder Fertigungskomplexe bzw. -linien,
- Grundfall C: Erweiterung bestehender Industriebetriebe oder Fertigungskomplexe bzw. -linien,
- Grundfall D: Rückbau von Industriebetrieben oder Fertigungskomplexen bzw. -linien und
- Grundfall E: Revitalisierung von Industriebetrieben.

In den Grundfällen A, B und C sind unter gegebenen Anforderungen die Produktionsprozesse aus- bzw. umzugestalten und zu realisieren. Da dies in der Regel mit einem Neubedarf an Betriebsmitteln einhergeht, stehen diese drei Grundfälle im Fokus der nachfolgend entwickelten Planungsmethodik für quantitative Betriebsmittelbedarfe.

In Bezug auf die Strukturierung der Fabrikplanung in einzelne Phasen gibt es in der Wissenschaft zahlreiche unterschiedliche Modelle. GRUNDIG (2009) gibt einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Systematisierungsansätze und Planungsmodelle. Als Essenz dieser Betrachtung wurden in Anlehnung daran vier wesentliche Planungsphasen abgeleitet, wie in Abbildung 2-2 dargestellt.



Abbildung 2-2: Phasen der Fabrikplanung (Gliederung in Anlehnung an GRUNDIG 2009)

Die Phase der Vorplanung, auch frühe Planungsphase genannt, beginnt mit der Projektidee und Zielsetzung, die zunächst in eine konkrete Aufgabenstellung zu überführen ist. Im Anschluss folgen unter anderem die Standortanalyse, eine Konkretisierung des Produktionsprogramms sowie der Entwurf erster Logistik- und Produktionskonzepte (vgl. ROCKSTROH 1985). Die Grobplanung umfasst nach GRUNDIG

(2009) die Ideal- und Realplanung. Es wird ein Produktionsschema entwickelt, die Ausrüstungs-, Flächen-, Personal- und Medienbedarfe dimensioniert und anhand von Materialflussanalysen und Strukturoptimierung ein Ideallayout entwickelt. Dieses ist im Anschluss an das Realsystem anzupassen. In der Feinplanung werden die entwickelten Konzepte bis ins Detail ausgestaltet. Dies umfasst Tätigkeiten wie die Betriebsmittelanordnung oder die Arbeitsplatzgestaltung (vgl. SCHENK & WIRTH 2004). Die anschließende Phase der Ausführungsplanung dient der Vorbereitung der Projekte bis zur Ausführungsreife und der anschließenden Realisierung bis zur Betriebsbereitschaft. Dies umfasst alle Belange der Projektkoordination, des physischen Aufbaus sowie der Inbetriebnahme (vgl. PAWELLEK 2008).

Dieses vereinfachte Phasenmodell nach GRUNDIG (2009) dient für die folgenden Ausführungen als Grundlage zur Strukturierung der entwickelten Planungsmethodik.

2.1.3 Getaktete Fließfertigung

Die räumliche Anordnung der Betriebsmittel und die damit einhergehende zeitliche Abfolge der Produktionsschritte werden als Fertigungsform oder auch als Ablaufart bezeichnet und ist ein wichtiger Teil der Fabrikplanung. Neben der räumlichen Organisation stellen auch die Transportbeziehungen zwischen den Fertigungsmitteln ein wesentliches Kriterium zur Unterscheidung verschiedener Ablaufarten dar (SCHENK & WIRTH 2004). Abbildung 2-3 verdeutlicht die Unterschiede zwischen den verschiedenen Fertigungsformen.

Die zu wählende Ablaufart hängt unmittelbar mit dem Repetitionstyp der Fertigung zusammen. In Bezug auf diesen Wiederholungsgrad der Produktion werden nach NEBL (2007) die Einzelfertigung, die Klein-, Mittel- bzw. Großserienfertigung und die Massenfertigung unterschieden. So eignet sich die Fließproduktion beispielsweise für die großen Stückzahlen einer Massen- oder Großserienfertigung mit einer Ausbringungsmenge von über 1.000 Einheiten pro Monat (vgl. SCHLEGEL 2001), da sie im Verhältnis sehr hohe Investitionen erfordert. Dies wird bedingt durch eine hohe Anlagenintensität und demnach auch einen hohen Betriebsmittelbedarf. Aus diesem Grund liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Fließproduktion, die unter anderem in der Automobilindustrie in getakteter Form die dominierende Fertigungsform darstellt. Die Taktung der Bearbeitungszeiten dient der gleichmäßigen Auslastung von Anlagen und Fertigungsmitarbeitern und damit einer Verringerung der Durchlaufzeiten. Unter der Taktzeit ist dabei „die Zeit, in der jeweils eine Mengeneinheit fertiggestellt wird, damit das Fließsystem die Soll-Mengenleistung erbringt“ (REFA 1985b: S. 282) zu verstehen. Der Takt bestimmt somit die Zeit, die je Arbeitsstation für die Bearbeitungsvorgänge zur Verfügung steht. Folglich wird damit auch die Zahl der Arbeitsstationen und demnach der Betriebsmittelbedarf beeinflusst.

In der Industrie wird, insbesondere im frühen Projektstadium, nicht nur die Taktzeit, sondern stattdessen teilweise die Ausbringungsmenge je Zeiteinheit als Planungsprämisse herangezogen. Die idealisierte Berechnung des Taktes nach der Stückzahl pro Zeiteinheit muss zur Erreichung einer gegebenen Ausbringungsmenge erweitert werden. Ineffizienzen wie Störungs- oder Pausenzeiten⁵ erfordern zur Erreichung einer bestimmten Ziel-Ausbringungsmenge kürzere Plan-Taktzeiten. Die konkrete Berechnung kann aufgrund unterschiedlicher Prämissen von Unternehmen zu Unternehmen variieren.

⁵ analog der Betriebsmittelzeit in Abbildung 2-5, S. 14

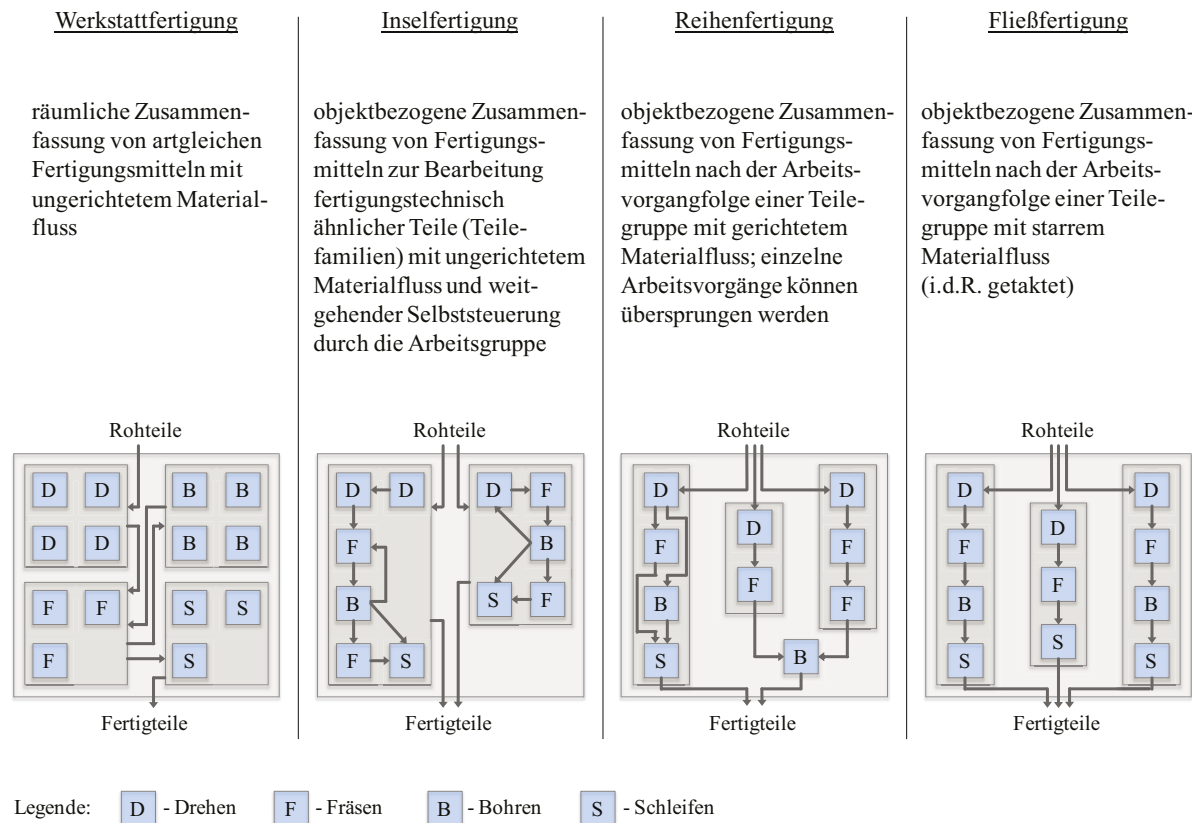


Abbildung 2-3: Fertigungsformen am Beispiel einer spanenden Fertigung (SCHENK & WIRTH 2004)

2.1.4 Betriebsmittelplanung

Neben der Planung anderer Ressourcen wie Geldmittel, Rohstoffe oder auch Personal stellt die Betriebsmittelplanung ein wesentliches Element der Fabrikplanung dar. Konkret können unter Betriebsmitteln nach REFA (1984) Anlagen, Einrichtungen, Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen verstanden werden. Sie werden für die Herstellung von Erzeugnissen genutzt, gehen jedoch selbst nicht in das Erzeugnis ein (MÜLLER ET. AL. 2009). Betriebs- und Hilfsstoffe werden für die weiteren Ausführungen aus der Betrachtung ausgeschlossen (vgl. MÜLLER ET. AL. 2009; REFA 1984). Die Betriebsmittel können dabei in unterschiedlichen Modularisierungsgraden betrachtet werden. So kann eine Fräsmaschine beispielsweise als hochmodulare Gesamteinheit gesehen werden oder auch als Zusammenstellung niedrigmodularer Betriebsmittel, den einzelnen Komponenten der Maschine (vgl. Kapitel 4.1.1 und 5.1.2).

Der industrielle Planungs- bzw. Lebenszyklus von Fertigungsanlagen bzw. Betriebsmitteln lässt sich nach DÖBELE (2010) allgemein in fünf sequenzielle Abschnitte unterteilen, wie Abbildung 2-4 verdeutlicht. Mit der Planung des Fertigungsprozesses werden die Anforderungen an die Betriebsmittel festgelegt und diese anschließend in der Anlagenplanung zu umsetzbaren Konzepten weiterentwickelt. Im Engineering und der Inbetriebnahme erfolgen daraufhin die Konstruktion, Beschaffung, Programmierung und der physische Aufbau. Daran schließt sich der Betrieb der Anlage an. Aufgrund verkürzter Produktlebenszyklen werden während des Betriebs immer häufiger Umbaumaßnahmen für neue oder veränderte Produkte notwendig (vgl. HERKOMMER, OTT & SPEIDEL 2008). Dies führt zunehmend zu einer Überlappung und Parallelisierung der ursprünglich konsekutiven Abschnitte (vgl. DÖBELE 2010;

WEMHÖNER 2006). Aus Gründen des technischen Fortschritts, der Materialermüdung oder wegen Inkompatibilität zu neuen Produktgenerationen kann schließlich ein Rückbau von Fertigungsanlagen notwendig werden. Einzelne Betriebsmittelumfänge können dabei im Rahmen von Retooling-Maßnahmen möglicherweise einer Wiederverwendung in einem anderen Produktionsabschnitt zugeführt werden.

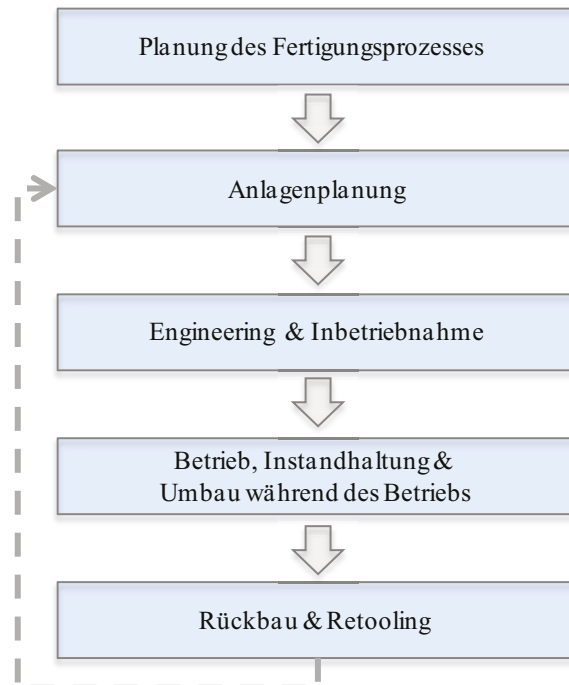


Abbildung 2-4: Lebenszyklusbetrachtung von Betriebsmitteln (vgl. DÖBELE 2010)

Im Mittelpunkt der Betriebsmittelplanung steht die Bestimmung der qualitativen sowie der quantitativen Kapazitätsbedarfe. Anhand des Produktionsprogramms ist zunächst zu analysieren, welche Anforderungen das vorgesehene Teilespektrum für das Arbeitssystem mit sich bringt (vgl. EVERSHEIM 2002). Daraus ergibt sich das einzuplanende Bearbeitungsprofil, das Aufschluss über sämtliche fertigungstechnisch relevanten Produkteigenschaften wie die Geometrie, die Qualität oder die einzusetzenden Bearbeitungsverfahren gibt (vgl. BÖCK 2013; KETTNER, SCHMIDT & GREIM 1984). Dem Standpunkt, dass das Bearbeitungsprofil die geforderte Mengenleistung umfasst, schließt sich diese Arbeit nicht an, da sich im Rahmen komplexer Multiprojektbetrachtungen andernfalls Unklarheiten ergeben. Vor dem Hintergrund moderner Produktionsnetzwerke werden Bearbeitungsprofile somit als produktspezifisch global verstanden. Das Bearbeitungsprofil eines Erzeugnisses ist demnach zunächst durch die qualitative Kapazität, das technische Leistungsvermögen der Betriebsmittel, abzudecken. Die Berücksichtigung dieses Aspektes fällt in den Verantwortungsbereich der qualitativen Betriebsmittelplanung. Dabei ist präzise zu definieren, welchen technischen Anforderungen die Betriebsmittel genügen müssen. Erst im zweiten Schritt ist auf dieser Grundlage abzugleichen, inwieweit die im Produktionsprogramm geforderte Mengenleistung für dieses Bearbeitungsprofil durch die bestehenden Fertigungsanlagen umgesetzt werden kann. Aus diesem Soll-Ist-Vergleich resultiert der quantitative Kapazitätsbedarf.

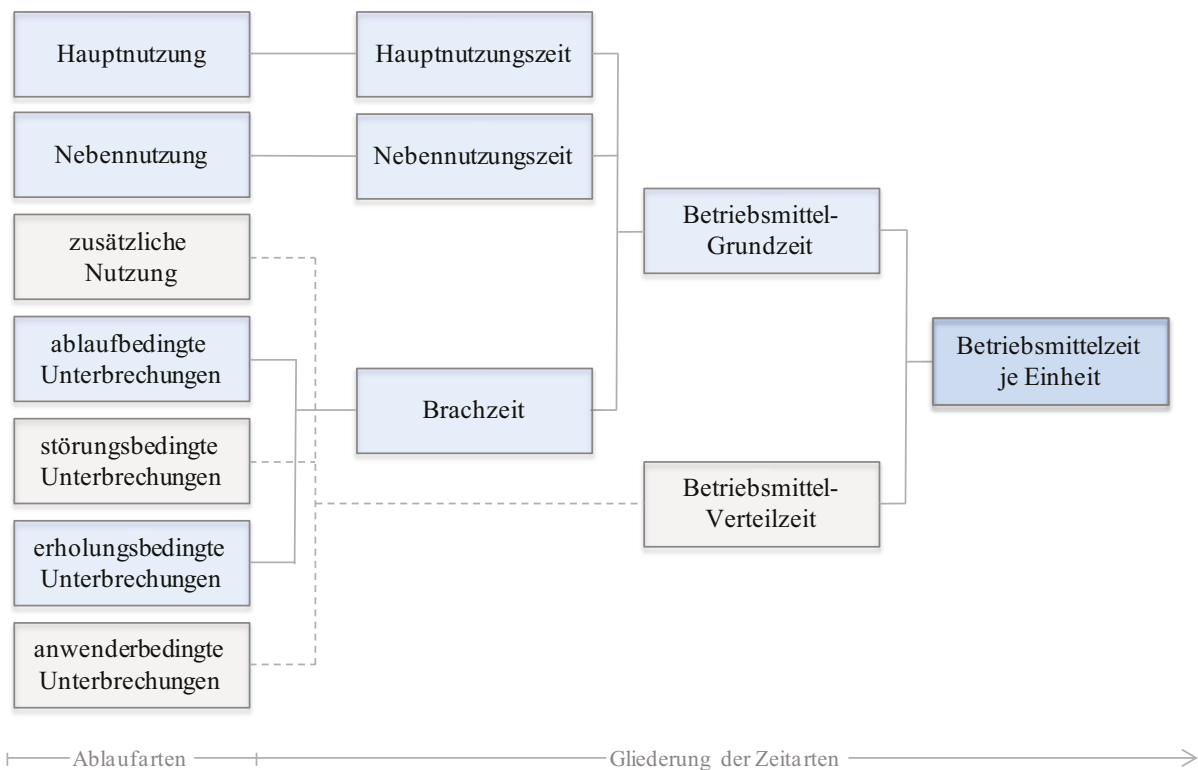


Abbildung 2-5: Zusammensetzung der Betriebsmittelzeit (Gliederung in Anlehnung an MILBERG 1992; NEBL 2007; REFA 2002)

Bei der Kapazitätsplanung ist gemäß Abbildung 2-5 zu beachten, dass neben der eigentlichen (Haupt-) Nutzung der Fertigungsanlagen zahlreiche weitere Aspekte zu berücksichtigen sind, die die tatsächlich verfügbare Kapazität verringern. Darüber hinaus können zahlreiche weitere Prämissen einen Einfluss auf die Betriebsmittelplanung haben, wie die Kosten pro Einheit, die Investitionskosten oder der Produktionszeitraum (vgl. GRUNDIG 2009). Da diese nicht im Fokus dieser Arbeit liegen, wird auf diese im Folgenden nicht weiter eingegangen.

2.1.5 Digitale Fabrik

Die Anforderungen an die Effizienz der Fabrikplanung steigen gleichermaßen wie die dabei zu beherrschende Komplexität. Angesichts des Ausmaßes dieser Herausforderungen ist eine systematische digitale Unterstützung der Fabrikplanung unabdingbar. Insbesondere in Bezug auf die Durchgängigkeit der Prozesse von der Produktentwicklung bis in die Fabrikplanung birgt die Digitale Fabrik Potentiale, die heute vielfach noch nicht ausgeschöpft werden (vgl. STARK 2012).

Zu verstehen ist die Digitale Fabrik allgemein als „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen [...], die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ (BRACHT, WENZEL & GECKLER 2009: S. 11)

Beispiele für die Unterstützung durch die Werkzeuge der Digitalen Fabrik sind die Konstruktion und Layoutplanung in 3D-CAD-Software mit integrierten Simulationsmöglichkeiten für Prozesse verschiedenster Art. Neben der großen Vielfalt von CAx-Werkzeugen ist das Datenmanagement ein unabdingbarer Grundpfeiler der Digitalen Fabrik, das Unternehmen in Zeiten steigender Komplexität erst zu einer effizienten Fabrikplanung befähigt (vgl. WESTKÄMPER 2002). Für die moderne Fabrikplanung sind diese Hilfsmittel daher heute nicht mehr wegzudenken, wenn auch deren durchgängiger Einsatz in der Industrie vielerorts noch nicht in letzter Konsequenz verfolgt wird (vgl. STARK 2012).

Mit dem Ziel, die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung durch eine durchgängige Systematisierung für die industrielle Praxis zu verbessern, stellt die Digitale Fabrik einen wesentlichen Grundpfeiler für die vorliegende Arbeit dar. Auf die wesentlichen Aspekte wird in den folgenden Kapiteln daher im Detail eingegangen.

2.2 Ableitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Planungsmethodik

Die übergeordnete Problemstellung, das Fehlen eines durchgängigen, systematischen Ansatzes zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung (vgl. Kapitel 1), ist in den Ordnungsrahmen der Fabrikplanung einzuordnen. Demnach sind auch entsprechende Lösungsansätze in diesem Rahmen zu suchen. Gemäß Kapitel 1.3 ist zur Verbesserung der im Fallstudienunternehmen beobachteten Situation in erster Linie eine umfassende, integrierte Planungsmethodik zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung notwendig. Zur Konkretisierung der Anforderungen an die zu entwickelnde Planungsmethodik werden daher zunächst allgemeine Anforderungen an die praxisorientierte Fabrikplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik als Ausgangsbasis herangezogen. In Anlehnung an die gängige Literatur können daraus einige Implikationen für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung abgeleitet und in konkrete Anforderungen überführt werden.

2.2.1 Validität der Planung durch methodische und technische Standards

Damit (Fabrik-)Planungstätigkeiten im komplexen industriellen Kontext zu reproduzierbar validen Resultaten führen, bedarf es fundierter methodischer und technischer Standards (vgl. RUDOLF 2007). So soll die Abhängigkeit von expertenabhängigen Heuristiken reduziert werden, Arbeitsschritte werden nachvollziehbar und Ergebnisse transparent. In der Literatur wird darüber hinaus die Bedeutung der Zusammenarbeit unterschiedlicher Beteiligter bei der Planung betont (vgl. SCHMIDT 2002; MEIERLOHR 2003). Dies wird durch gemeinsame, transparente Standards unterstützt. Die genannten Anforderungen lassen sich auf die QBBP übertragen. Zur Schaffung fundierter methodischer Standards gilt es daher, vorhandenes Fachwissen über Planungsintelligenzen und -logiken (vgl. Abbildung 2-1, S. 9) zu formalisieren und durch die Analyse verfügbarer Vergangenheitsdaten weiter anzureichern. In Expertenworkshops im Fallstudienunternehmen wurde diese Zielsetzung bestätigt.

Konkret bedeutet dies, dass das methodische Vorgehen

- klar definiert und systematisch dokumentiert sein und

- die Erkenntnisse aus Expertenwissen und Datenanalysen zusammenführen sollte,
- damit durch methodische und technische Standards valide Planungsergebnisse erzielt werden.

2.2.2 Agilität der Planung durch Automatisierung und Skalierbarkeit

Die Fabrikplanung sieht sich stark gestiegenen Effizienzanforderungen sowie einem zunehmenden Zeitdruck gegenüber. Maßnahmen zur Senkung des Aufwands und zur Minimierung des Zeitbedarfs gewinnen verstärkt an Bedeutung (vgl. BRACHT, WENZEL & GECKLER 2009; HILCHNER 2012). Planung muss nicht nur aufwandsminimal sein, sondern auch binnen kürzester Zeit erfolgen können. Neben dem Aspekt der Effizienz spielt dabei auch die Reaktionsfähigkeit im Fall einer unerwartet eintretenden Änderung der Prämissen eine entscheidende Rolle (SCHENK & WIRTH 2004). Dies muss sich folglich in der QBBP fortsetzen. Als Zielsetzung kann dieser Aspekt in dem Terminus Agilität der Planung zusammengefasst werden. Erreichen lässt sich diese Agilität durch eine variable Skalierbarkeit der Planungsumfänge (BAUMGÄRTEL 1999) und gemäß den Ansätzen der Digitalen Fabrik durch die gezielte Automatisierung einzelner Planungsschritte (SCHADY 2008). Dabei sollten insbesondere diejenigen Arbeitsschritte automatisiert werden, deren zugrunde liegende Planungsintelligenzen ohne eine nachhaltige Veränderung der Rahmenbedingungen keiner externen Eingriffe zur Anpassung bedürfen. Bei den weniger stabilen Planungstätigkeiten im Prozess sind hingegen entsprechende Freiheitsgrade vorzuhalten, um eine hohe Reaktionsfähigkeit zu gewährleisten.

In Bezug auf die zu entwickelnde Planungsmethodik lässt sich somit ableiten, dass

- die Planungsumfänge variabel skalierbar sein sollten und
- durch die gezielte Automatisierung einzelner Schritte eine Beschleunigung des Planungsprozesses gewährleistet ist.

2.2.3 Flexibilität der Planungsmethodik

Zur Verbesserung der Genauigkeit und Schnelligkeit der Fabrikplanung ist ein systematisches Vorgehen gefordert (vgl. PAWELLEK 2008). Dennoch induzieren technische, strukturelle und organisatorische Dynamiken den Bedarf nach einem zunehmenden Maß an Flexibilität auf die Planung (HERNÁNDEZ & WIENDAHL 2005). In direkter Konsequenz ist bei der Formalisierung der QBBP gezielt darauf zu achten, dass eine Anpassung an verschiedenste, auch neuartige Anforderungen möglich ist. Die von der Planungsmethodik geforderte Flexibilität muss gemäß den Anforderungen des Fallstudienunternehmens auch als Lernfähigkeit verstanden werden.

Eine Anpassung der Methodik sollte somit

- auf Grundlage eines Informationsrückflusses aus dem Planungsprozess vorgesehen sein oder
- durch Planungsexperten, die eine nachhaltige Veränderung der Rahmenbedingungen vorhersehen, direkt durchgeführt werden können.

2.2.4 Adäquate Handhabung von Unsicherheitsfaktoren

Ein weiterer wichtiger Punkt, dem die Fabrikplanung allgemein sowie auch die zu entwickelnde Methodik gerecht werden müssen, ist die Handhabung von Unsicherheiten (vgl. KREBS 2012; ROGALSKI 2012). Um die marktinduzierte, dynamische Veränderlichkeit der Eingangsparameter unter dieser Prämisse beherrschen zu können, sind die zuvor erläuterten Aspekte der agilen und der flexiblen Planung eine Grundvoraussetzung (vgl. BERGHOLZ 2006). Dabei muss reflektiert werden, welche Genauigkeit angesichts der gegebenen Unsicherheiten zu welchen Meilensteinen anzustreben ist. Aufgrund der Tatsache, dass realitätsnahe Modelle einer komplexen Produktionskette sehr umfangreich werden können, sollte die zu entwickelnde Planungsmethodik einen Aggregationsgrad für die zeitliche, organisatorische und technische Dimension nutzen, der zuverlässige Aussagen unter vertretbarem Aufwand liefert (vgl. BAUMGÄRTEL 1999; ROSCHER 2008). Zudem sind die Sensitivitäten des Ergebnisses gegenüber einer Variation insbesondere der unsicheren Eingangsparameter aufzuzeigen, um das Bewusstsein der Anwender gegenüber diesen zu stärken und um so ein klares Bild über die im Ergebnis enthaltenen Unsicherheiten zu vermitteln (vgl. SCHELLMANN 2012).

Die zu entwickelnde Planungsmethodik sollte daher

- einen phasenadäquaten Abstraktionsgrad beinhalten, der eine angemessene Ergebnisqualität unter vertretbarem Aufwand liefert und
- Transparenz hinsichtlich der Sensitivitäten des Ergebnisses der Planungsmethodik gegenüber den einzelnen Eingangsgrößen (und den darin enthaltenen Unsicherheiten) schaffen.

2.2.5 Frühzeitige Planung und durchgängiger Methodeneinsatz

Ein wesentlicher Aspekt ist außerdem der auszuweitende zeitliche Horizont der Planung. Bei der Fabrikplanung allgemein und bei der QBBP im Speziellen ist es von Bedeutung, Konzeptalternativen frühzeitig bewerten zu können, um fundierte Entscheidungen treffen zu können (vgl. SCHMIDT 2002). Diese Zielsetzung baut direkt auf den zuvor geschilderten Anforderungen auf, da sie nur unter deren Einhaltung mit vertretbarem Aufwand realisierbar ist. Vorausgesetzt die Methoden der Fabrikplanung werden durchgängig eingesetzt, kann eine nachhaltige Verbesserung erzielt werden. Dies gilt auch für die zu entwickelnde Planungsmethodik, deren Anwendung sowie auch den Informationsrückfluss für die systematische Anpassung bzw. Weiterentwicklung es organisatorisch zu verankern gilt.

Konkret sollte die Planungsmethodik den Anwender in die Lage versetzen, bereits in der frühen Planungsphase fundierte Prognosen abzugeben. Darüber hinaus ist eine konsequente Integration in bestehende Planungsprozesse als abschließende Anforderung aufzunehmen.

2.2.6 Zusammenfassung

Auf den Punkt gebracht sollte die zu entwickelnde Planungsmethodik auf flexible und agile Weise und unter Berücksichtigung gegebener Unsicherheiten bereits ab einem frühen Planungszeitpunkt zu durchgängig validen Ergebnissen führen.

Zu diesem Zweck sollte die QBBP-Methodik

- klar definiert, systematisch dokumentiert und idealer Weise digital unterstützt sein,
- die Erkenntnisse aus Expertenwissen und Datenanalysen zusammenführen,
- variabel skalierbare Planungsumfänge abbilden können,
- durch gezielte Automatisierung eine Beschleunigung der Planung bewirken,
- einen Informationsrückfluss aus dem Planungsprozess sicherstellen,
- anpassbar sein,
- einen phasenadäquaten Aggregationsgrad unterstützen,
- die Berücksichtigung von Unsicherheitsfaktoren vorsehen,
- frühzeitige und danach phasenübergreifend durchgängige Planungen ermöglichen und
- in bestehende Planungsprozesse integriert werden können.

In welchem Maße diesen Anforderungen mit der zu entwickelnden Planungsmethodik entsprochen werden kann und ob sich das Ziel frühzeitiger und durchgängig valider Planungsergebnisse so erreichen lässt, bleibt im Folgenden zu untersuchen. Vereinfachend lässt sich formulieren, dass Planungsträger die QBBP-Methodik als Werkzeug heranziehen können sollten, um Betriebsmittelbedarfe jederzeit transparent und valide zu planen.

3 STAND DER TECHNIK ZUR QUANTITATIVEN BETRIEBSMITTEL- BEDARFSPLANUNG

Die Planung von Betriebsmitteln ist für produzierende Unternehmen eine wichtige Ingenieursaufgabe, die bereits früh in der Wissenschaft Beachtung fand (vgl. z.B. JANNACK 1959; LIEGERT 1960; ZIEGENER 1959). Angesichts der stetig steigenden Komplexität der industriellen Fertigung zeigen sich in Teilbereichen wie der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung Defizite (vgl. Kapitel 1). Gemäß der in Kapitel 1.3 formulierten Leithypothese ist daher zu überprüfen, ob eine durchgängige und systematisch integrierte Planungsmethodik das Potential birgt, die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung (QBBP) nachhaltig zu verbessern. Dieser Fragestellung ist zunächst auf Basis bestehender Ansätze und Erkenntnisse auf den Grund zu gehen.

Zur Fokussierung des forschungsmethodischen Vorgehens bei der Aufnahme des Status quo kann vor diesem Hintergrund folgende Hypothese aufgestellt werden:

Forschungshypothese I:

Die für eine phasenadäquate QBBP notwendigen Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden sind in Theorie und Praxis in dezentral verteilter Form bereits vorhanden und können durch gezielte (Re-)Kombination in eine durchgängige und systematisch integrierbare Methodik überführt werden.

Erste Voruntersuchungen⁶ haben gezeigt, dass die QBBP in der Industrie zumindest vereinzelt eine Herausforderung darstellt (vgl. Kapitel 1.2). Um die Repräsentativität dieser Aussage überprüfen zu können, muss der Untersuchungsumfang ausgeweitet werden. Demnach wird in Kapitel 3.1 anhand einer qualitativen empirischen Studie untersucht, wie die Thematik der QBBP allgemein in der Industrie wahrgenommen und gehandhabt wird. Anschließend wird unter 3.2 die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Themenkomplex anhand einer systematischen Literaturrecherche untersucht. Letztlich werden die Ergebnisse in Kapitel 3.3 zusammengefasst und der weitere Forschungsbedarf spezifiziert.

⁶ Die zu Beginn des Forschungsprojektes durchgeführten und nicht näher dokumentierten Expertenbefragungen, Beobachtungen und Analysen bei der BMW Group werden hier als Voruntersuchungen bezeichnet. Aufgrund der nicht gegebenen Dokumentation werden die genannten Aspekte in diesem Kapitel methodisch fundiert untersucht.

3.1 Heuristische Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Grundsätzlich betrifft die Herausforderung einer systematischen Planung künftiger Betriebsmittelbedarfe insbesondere Unternehmen in anlagenintensiven Industriezweigen⁷. Viele dieser Betriebe verfügen bereits über jahrzehntelange Erfahrung in der Fabrik- und Anlagenplanung und somit auch in der QBBP als deren Teilaufgabe. Infolgedessen kann ein Potential an heuristischen Lösungsansätzen vermutet werden, die sich möglicherweise auf eine generische Planungsmethodik übertragen lassen. Die zuvor erläuterten Voruntersuchungen legen hingegen nahe, dass systematische, durchgängige Ansätze fehlen. Dies gilt es daher im Folgenden zu untersuchen. Ausgehend vom Negativfall wird als Ausgangspunkt für das weitere Vorgehen daher eine weiterführende Forschungshypothese formuliert:

Forschungshypothese I-a:

In Unternehmen anlagenintensiver Industriezweige, die selbst Produktions- und/oder Planungsfunktionen wahrnehmen, wird die QBBP teilweise mit Hilfe von methodischen Vorgehensweisen adressiert, jedoch nicht mit einer ganzheitlichen Planungsmethodik.

Aus dieser Hypothese werden in diesem Kapitel zunächst Forschungsfragen abgeleitet, um darauf aufbauend eine adäquate Forschungssystematik zu deren Beantwortung auszugestalten. Daraufhin wird das Forschungsinstrument entwickelt, mit dessen Hilfe im Anschluss die empirischen Daten erhoben und ausgewertet werden.

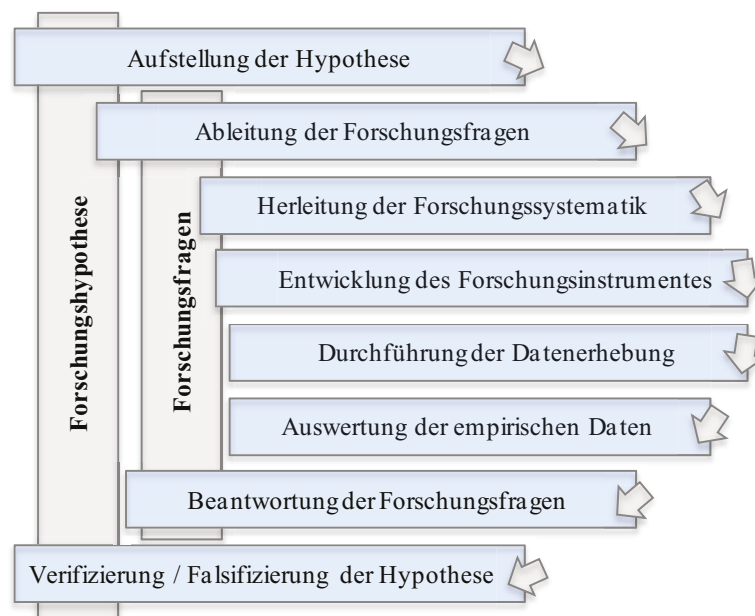


Abbildung 3-1: Forschungsmethodisches Vorgehen zur Bewertung der Hypothese zur QBBP in der Industrie

⁷ Unter Anlagenintensität ist dabei zu verstehen, dass das Sachanlagevermögen einen hohen Anteil an der Bilanzsumme eines Unternehmens ausmacht (vgl. ZIMMERMANN, FRIES & HOCH 2003).

Wie Abbildung 3-1 verdeutlicht, werden diese Daten im Folgenden herangezogen, um die Forschungsfragen zu beantworten und auf dieser Grundlage schließlich die Forschungshypothese I-a zu bewerten.

3.1.1 Systematik zur Erfassung des Status quo in der Industrie

Die Hypothese I-a grenzt den Rahmen sowie die Zielsetzung für das auszugestaltende Forschungsvorhaben ab. Der Zweck der Untersuchung ist demnach, den Themenkomplex der QBBP explorativ zu erforschen (vgl. ROBSON 2011), um ein grobes Bild des industriellen Standes der Technik zu erhalten und daraus Ableitungen für die Entwicklung einer generischen Planungsmethodik treffen zu können. Als Grundlage für die Definition einer klaren Forschungssystematik können aus der zugrunde gelegten Forschungshypothese I-a zunächst konkrete Forschungsfragen (FF) abgeleitet werden:

- FF1: In welchen Zeithorizonten wird bei der industriellen QBBP agiert und welche prozessualen Auslöseimpulse sind dafür charakteristisch?
- FF2: Welche methodischen Vorgehensweisen für die QBBP bzw. digitale Werkzeuge zu deren Unterstützung haben sich in der Praxis etabliert und welche Planungslogiken liegen ihnen zugrunde?
- FF3: Welche Rolle spielen die QBBP und die frühzeitige Einbindung von Lieferanten in der Industrie für die Vermeidung von Lieferengpässen bei den Produktionsanlagen bzw. deren Komponenten?
- FF4: Bei welchen Aspekten der QBBP werden in der Praxis Verbesserungspotentiale gesehen?

Für die valide Beantwortung dieser Fragen ist ein passendes Forschungsdesign zu wählen (SAUNDERS, LEWIS & THORNHILL 2012). Da keine entsprechenden sekundären Daten zum Themenkomplex der QBBP zur Verfügung stehen, müssen diese zunächst in primärer Form erhoben werden (vgl. BRACHT & SPILLNER 2009; HEINEN ET. AL. 2010; MARCZINSKI 2006).

Es ist zunächst zu erwägen, ob quantitative oder qualitative Daten erhoben werden sollen. CASE & LIGHT (2011) betonen, dass beide Herangehensweisen eine gleichermaßen hohe Bedeutung für die ingenieurwissenschaftliche Forschung haben. Quantitative Methoden der Datensammlung führen zu reproduzierbaren Werten, die statistisch ausgewertet werden können und deduktive Schlüsse zulassen. Allerdings erfordert ein solcher Ansatz eine verhältnismäßig große Zahl an Studienteilnehmern und ein Forschungsinstrument, das keine bis wenige offene Fragen beinhaltet. Das gewählte explorative Studiendesign erfordert hingegen zahlreiche offene Fragestellungen und wäre mit einem quantitativen Forschungsansatz daher schwer in Einklang zu bringen. Qualitative Forschungsmethoden hingegen eignen sich insbesondere zur Erkundung von Ursachen und zur Sammlung von detaillierten Verbesserungsvorschlägen (SAUNDERS, LEWIS & THORNHILL 2012). Der quantitative Ansatz wird aufgrund der damit verbundenen Restriktionen als Option verworfen und eine qualitative Forschungsstrategie gewählt. Diese ermöglicht letztlich Schlüsse induktiver Natur zur Beantwortung der Forschungsfragen. Demnach steht als nächster Schritt zur Konkretisierung der Forschungsstrategie die Auswahl eines adäquaten Forschungsinstrumentes zur Erhebung der qualitativen Daten an.

Mit dem industriellen Vorgehen bei der Fabrikplanung sind die in den Unternehmen tätigen Fachspezialisten mit entsprechender Projekterfahrung in der notwendigen Tiefe vertraut. Um an diese Informationen in ausreichender fachlicher Tiefe zu gelangen, wurden analog zu vergleichbaren Studien teilstrukturierte Interviews gewählt (vgl. ELLIS & HAUGAN 1997; HUDSON, SMART & BOURNE 2001; PAWAR & DRIVA 1999).

Angeichts der Tatsache, dass sie nicht den Anspruch statistischer Repräsentativität erheben, wird bei qualitativen Forschungsansätzen nur in Ausnahmefällen auf stochastische Sampling-Verfahren zurückgegriffen. Auch wenn die Stichprobe in der Regel einen wesentlich geringeren Umfang hat, zielt man bei qualitativen Forschungsmethoden insbesondere auf inhaltliche Repräsentativität ab. Folglich ist die gezielte Auswahl der Studienteilnehmer von entscheidender Bedeutung (LAMNEK & KRELL 2010). Aufgrund der intensiven wissenschaftlichen Auseinandersetzung und großen wirtschaftlichen Bedeutung der Fabrikplanung in Deutschland (vgl. DOMBROWSKI, HENNERSDORF & PALLUCK 2007), wurde der Untersuchungsumfang auf die deutsche Industrie eingegrenzt.

Einleitend wurde verdeutlicht, dass die Herausforderung der QBBP grundsätzlich alle Unternehmen anlagenintensiver Industriezweige betrifft, die selbst Produktions- und/oder Planungsfunktionen wahrnehmen. Demnach stellten jene Planungsexperten die Grundgesamtheit für die Studie dar, die in den produzierenden Betrieben selbst oder bei einem Dienstleistungsunternehmen aus dem Anlagenbau tätig sind. Wie in einigen vergleichbaren Forschungsprojekten wurde ein Studenumfang von zehn Interviews angestrebt (vgl. MANGAN, LALWANI & GARDNER 2004; THIA ET. AL. 2005). Die anschließende Auswahl der potentiellen Studienteilnehmer erfolgte anhand der aktuellen oder vorherigen Funktion im Unternehmen. Zugunsten der inhaltlichen Repräsentativität der Stichprobe wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, verschiedene Industriezweige bzw. Spezialisierungen abzudecken.

3.1.2 Entwicklung des Forschungsinstruments

Zur Umsetzung der Forschungsstrategie ist im nächsten Schritt ein adäquates Forschungsinstrument zu entwickeln. Für die durchzuführende qualitative Studie ist dies ein Interviewleitfaden. Dafür sind aus den wissenschaftlichen Fragestellungen prägnante und damit praxisnahe Fragen abzuleiten. Abbildung 3-2 veranschaulicht dies. Grundsätzlich ist besonderes Augenmerk auf eine verständliche Strukturierung der Fragenabfolge zu legen, auch wenn diese bei der Durchführung der Interviews situativ an den Gesprächsverlauf angepasst werden kann (SAUNDERS, LEWIS & THORNHILL 2012).

Insofern es zu den jeweiligen Fragestellungen passt, wurden Antwortkategorien als Hilfestellung für die Interviewten vorgegeben. Der Leitfaden wurde im Zuge von drei Iterationsschleifen durch Probebefragungen und das daraus resultierende Feedback verfeinert. Der resultierende, vollständige Leitfaden kann Anhang 8.1 entnommen werden. Im Vorfeld wurden die Teilnehmer der Studie per E-Mail über den Fokus der Untersuchung informiert.

Die Auswahl und Reihenfolge der Interviewfragen wurde im Rahmen der genannten Iterationsschleifen verfeinert. Aufgrund der Spezifität des Themenkomplexes musste, den Fragen im Interview vorgelagert, zunächst eine kurze verbale Einleitung in die Thematik erfolgen. Um die Interviewzeit zu beschränken,

geht die Einleitungsfrage daraufhin direkt auf die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung in den Unternehmen ein. Mit der Frage nach dem zeitlichen Einsetzen der Planung und dem Auslöser kann sich der Interviewpartner zunächst auf das Thema einstellen, indem die übergeordneten Planungsprozesse reflektiert werden müssen. Nach der Klärung der zeitlichen Aspekte zur QBBP geht der Leitfaden dem konkreten methodischen Vorgehen in den Interviewfragen (IF) 3 bis 5 auf den Grund. Im nächsten Schritt wird auf die Einbindung der Betriebsmittellieferanten sowie eventuelle Versorgungsengpässe in der Vergangenheit eingegangen. Dabei können die Interviewpartner auf die zuvor besprochene Vorgehensweise referenzieren und sollen dazu angeregt werden, diese kritisch zu reflektieren. In diesem Zuge wird in den beiden letzten Fragen auf die IT-Unterstützung der QBBP sowie eventuelle Verbesserungspotentiale eingegangen.

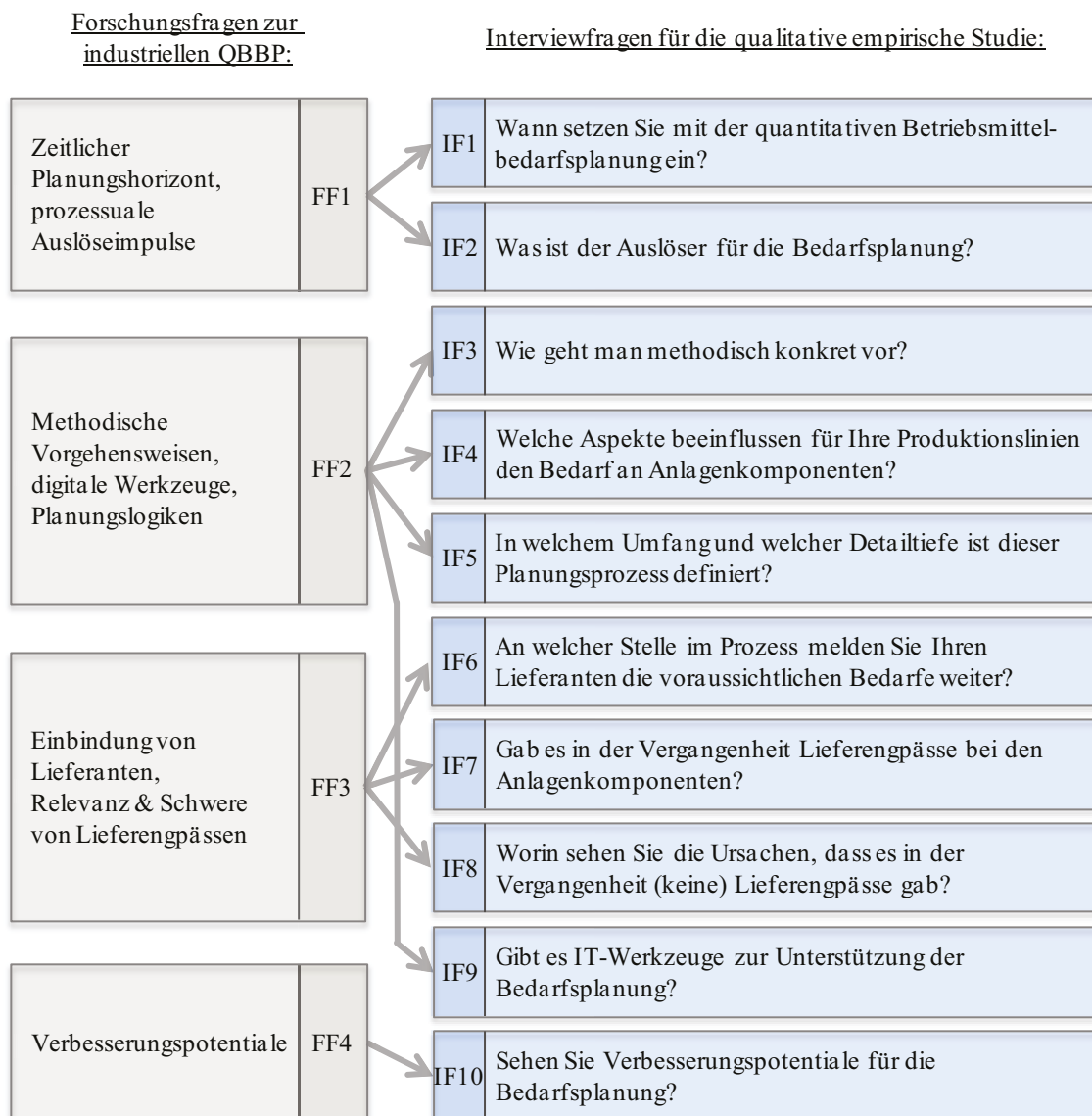


Abbildung 3-2: Ableitung der Interviewfragen (IF) und deren Struktur aus den Forschungsfragen (FF)

Somit ist der Interviewleitfaden darauf ausgelegt einen tiefen Einblick in die Planungsprozesse der Unternehmen zu erhalten. Die Zielsetzung für die einzelnen Interviews war es folglich, die individuellen Problemstellungen in der Praxis besser zu verstehen und bestehende Lösungsansätze aufzunehmen und

im Gespräch zu reflektieren. Im Idealfall lassen sich daraus Ableitungen für eine ganzheitliche Planungsmethodik treffen, zumindest jedoch kann auf diese Weise ein besseres Verständnis für die industriellen Problemstellungen entwickelt werden, um diese anschließend zielgerichtet adressieren zu können.

3.1.3 Forschungsergebnisse

Auf Grundlage der dargestellten Forschungsstrategie konnten im Rahmen der Studie insgesamt acht Interviews mit Planungsspezialisten aus produzierenden und/oder planenden deutschen Unternehmen aus der anlagenintensiven Industrie durchgeführt werden. Die einzelnen Interviews nahmen 25 bis 50 Minuten in Anspruch. Für den vollständigen Interviewleitfaden sei an dieser Stelle auf Anhang 8.1 verwiesen. Die Details zu den einzelnen Interviewpartnern sowie die komprimierten Antworten aus den Interviews können Anhang 8.2 entnommen werden. Die Ergebnisse wurden je Interviewfrage (IF) zusammengefasst und werden im Folgenden dargestellt. Die Interpretation der Ergebnisse folgt im Anschluss.

IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?

Die einleitende Frage nach dem Beginn der QBBP in den Unternehmen ergab ein durchgängiges Bild. Nachdem sie in der Regel erst in den späteren Phasen in die Planung eingebunden werden, beginnt die Bedarfsplanung in Unternehmen aus dem Anlagenbau⁸ erst mit der Beauftragung für ein Projekt. In ihren Planungsphasen sind diese Unternehmen eng mit den Prozessen ihrer Auftraggeber verknüpft. Die produzierenden Betriebe selbst agieren gemäß den Ergebnissen der Befragung unternehmens- sowie betriebsmittelspezifisch in unterschiedlichen Planungshorizonten. Dabei kann festgehalten werden, dass mit zunehmender Komplexität der zu beschaffenden Betriebsmittel auch der Betrachtungshorizont erweitert wird. Bei wenig komplexen Teilen hingegen wird in einigen Betrieben keine dedizierte Bedarfsplanung betrieben. Wie auch zu allen weiteren Interviewfragen können die detaillierten Befragungsergebnisse Anhang 8.2 entnommen werden.

IF2: Was ist der Auslöser für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung (inkl. Antwortkategorien)?

- Neues Produkt
- Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen
- Regelmäßig ablaufender Prozess
- Sonstige

In den befragten Unternehmen ist die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung zumeist an produktbedingte Planungsprojekte gebunden. Dies bedeutet vor allem die Kopplung an neue Produkte, die auf bestehenden und modifizierten oder vollständig neuen Anlagen gefertigt werden sollen. Bei den meist

⁸ im Folgenden teilweise auch als *Anlagenbauer* bezeichnet

hochkomplexen und vielschichtigen Prozessketten der industriellen Großserienfertigung werden diese beiden Ansätze häufig auch kombiniert.

Die altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen kann gleichermaßen die Grundlage eines Planungsprojektes sein. Angesichts der Tatsache, dass Anlagenbauer in der Industrie in der Regel erst in den späteren, konkreteren Planungsphasen in ein Projekt eingebunden werden, stellt für diese in erster Linie die Beauftragung den Grund für eine QBBP dar. Genauer betrachtet stellt diese Beauftragung die Fortschreibung des ursprünglichen Auslösers für ein Planungsprojekt dar. Ab dem Zeitpunkt, zu dem ein Unternehmen aus dem Anlagenbau in ein Projekt involviert ist, ist die systematische Pflege detaillierter Mengengerüste parallel zur Auskonstruktion der Anlagen ein wesentlicher Bestandteil ihrer Arbeit und als solches auch vertraglich vereinbart. Der Anlass solcher Planungsprojekte kann neben neuen Produkten auch die altersbedingte Erneuerung von Betriebsmitteln sein. Gemäß den befragten Planungsexperten müssen dabei zwei Ausprägungen unterschieden werden. Zum einen gibt es Instandhaltungsmaßnahmen im fortlaufenden oder kurzzeitig unterbrochenen Produktionsbetrieb, die in der Regel eher reaktiv als präventiv durchgeführt werden. Für diese wird in den befragten Unternehmen keine übergreifende Bedarfsplanung betrieben, da man erfahrungsgemäß von geringen, weitgehend gleichmäßig verteilten Bedarfen ausgeht. Als zweite mögliche Ausprägung sind Generalüberholungen zu nennen, die in der Regel präventiven Charakter haben (vgl. KÜPPER & ZHANG 1991). Diese finden in den Unternehmen bei der QBBP zumindest teilweise Berücksichtigung, da sie zu kleinen Bedarfsspitzen bei einzelnen Betriebsmitteln führen können.

Die im Rahmen der Forschungssystematik ausgearbeitete, dritte vorgeschlagene Antwortmöglichkeit eines regelmäßig ablaufenden Prozesses ist den Untersuchungen zufolge die Ausnahme. Zwar ist eine regelmäßige Aktualisierung der zu erwartenden Betriebsmittel-Mengengerüste in den Planungsprozessen der Unternehmen verankert, jedoch ist es nicht der Prozess selbst, der die Bedarfsplanung anfänglich auslöst. Darüber hinaus ergaben die Befragungen, dass die QBBP insbesondere in der frühen Phase eines Fabrikplanungsprojektes für die Projektverantwortlichen selbst häufig keine bedeutende Rolle spielt. In einer Multiprojektlandschaft sind es zumeist die (projekt-)übergreifenden Prozesse, die die initiale Bedarfsplanung auslösen. Als Beispiel kann das Beschaffungsmanagement eines Unternehmens angeführt werden, das aus Gründen der Transparenz oder für Einkaufsverhandlungen die quantitativen Betriebsmittelbedarfe aller laufenden Fabrikplanungsprojekte eines Betriebs zusammenträgt. Ein solcher Prozess kann ebenfalls als Anlass für die QBBP festgehalten werden.

IF3: Wie geht man methodisch bei der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung vor?

Die Frage nach dem methodischen Vorgehen ergab unter anderem, dass sich die QBBP in den Betrieben im Zuge des Projektfortschritts stark verändert. Besonders für die ersten Prognosen in der sehr frühen Planungsphase orientiert man sich unternehmensübergreifend stets an Vergangenheitsprojekten bzw. verlässt sich auf die Schätzungen von erfahrenen Mitarbeitern. Das Vorgehen ist dabei stark heuristisch geprägt. Es werden zumeist Erfahrungswerte oder die Zahlen von vergleichbaren Planungsprojekten aus der Vergangenheit herangezogen. Anschließend werden Überlegungen angestellt, in welchen Parametern das zu beplanende Projekt von den zugrunde gelegten Werten abweicht und die Auswirkungen grob

abgeschätzt. Eine klar definierte methodische Hilfestellung für die Bewertung des Ausmaßes dieser Abweichungen in der Vorplanung konnte im Rahmen der empirischen Untersuchung nicht identifiziert werden.

In der Phase der Grobplanung nimmt in einigen Unternehmen darüber hinaus die vorläufige Konfiguration künftiger Anlagen auf Basis vordefinierter Anlagenmodule eine wichtige Rolle ein. Zu diesem Zweck kommen digitale Werkzeuge zum Einsatz, die eine solche Vorkonfiguration durch die Zurverfügungstellung der hinterlegten Module unterstützen. Die Auswahl der für die Planung einzusetzenden Module erfolgt durch erfahrene Mitarbeiter. Auch hier ist gemäß den interviewten Planungsexperten zu beachten, dass die Module auf den Daten vergangener Projekte basieren und Neuerungen oder Abweichungen bei der Planung manuell berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grund werden teilweise auch Lieferanten frühzeitig mit in die Planung einbezogen.

Die QBBP gewinnt mit dem Fortschreiten eines Fabrikplanungsprojektes durch die Unterstützung mit digitalen Werkzeugen Stück für Stück an Profil, da auf Basis digitaler Bibliotheken auch die Ausleitung erster deterministisch bestimmter Mengengerüste ermöglicht wird. Die im Rahmen der Studie gemachten Aussagen belegen, dass die Potentiale der digitalen Werkzeuge in der Praxis häufig noch nicht vollständig genutzt werden. So sind die digitalen Bibliotheken teils nicht detailliert genug, um auch die Bedarfe an Kleinteilen frühzeitig und aufwandsarm abschätzen zu können. Dies spiegelt die Ergebnisse der Einleitungsfrage wieder, nach denen die QBBP in der Industrie bei komplexeren Betriebsmitteln ausgeprägter ist als bei weniger komplexen, wie beispielsweise bei Kleinteilen. Den Aussagen einiger Planungsspezialisten folgend, liegt der Grund hierfür auch in der schlichten Notwendigkeit, da die vielfältigeren Beschaffungsmärkte weniger komplexer Betriebsmittel meist von Grund auf eine ausreichende Versorgungssicherheit auch bei kurzfristiger Planung bieten.

IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln (inkl. Antwortkategorien)?

- Bearbeitungsprofil der Produkte
- Ausbringungsmenge
- Zeitnutzungsgrad/Anlagenverfügbarkeit
- Automatisierungsgrad
- Standortbesonderheiten
- Produktdiversität/Anlagenflexibilität
- Sonstige

Mit der vierten Frage wurde untersucht, welche Parameter nach Meinung der Experten einen signifikanten Einfluss auf den quantitativen Betriebsmittelbedarf haben. Die ersten beiden Faktoren, das Bearbeitungsprofil der zu produzierenden Erzeugnisse sowie die geplante Ausbringungsmenge, konnten in ihrer zuvor bereits angenommenen Bedeutung zweifelsfrei bestätigt werden.

Die empirische Analyse des Einflusses des Zeitnutzungsgrades spiegelt im Ergebnis die Kontinuität der industriellen Großserienproduktion wieder. Nach Aussage aller Befragten wird der Zeitnutzungsgrad

projektübergreifend konstant gehalten und nicht variiert. Die Eindeutigkeit dieses Ergebnisses ist möglicherweise jedoch auf die geringe Stichprobengröße des qualitativen Forschungsdesigns zurückzuführen. Der grundsätzliche Einfluss einer potentiellen Variation wurde diesem Faktor von den Experten nicht abgesprochen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Automatisierungsgrad. Dieser wird von Projekt zu Projekt ebenfalls kaum variiert, nimmt tendenziell aber dennoch in einigen Bereichen zu, so einige der Befragten. Auf den Betriebsmittelbedarf kann dieser Aspekt daher ebenfalls einen Einfluss haben, da der Wegfall manueller Tätigkeiten meist mit einer Zunahme an Maschinen einhergeht. Anzumerken ist an dieser Stelle zudem, dass der Zusammenhang zwischen dem Automatisierungsgrad und der Ausbringungsmenge in der Industrie berücksichtigt werden muss. Dies wurde von einem der Studienteilnehmer betont, da die Fertigung für geringe Stückzahlen meist weniger stark automatisiert ist.

In Bezug auf den Faktor Standortbesonderheiten ergab die empirische Untersuchung, dass dieser in den Fabrikplanungsprojekten für die industrielle Großserienproduktion einen geringen Einfluss auf die quantitativen Betriebsmittelbedarfe hat. Es wurde unterstrichen, dass die befragten Unternehmen in Bezug auf die Anlagentechnik prozessbedingt nahezu keine Unterschiede mehr zwischen Hoch- und Niedriglohnländern machen. Gefragt nach anderen lokalen Gegebenheiten von Produktionsstandorten, wie beispielsweise Gebäudestrukturen, revidierten die Studienteilnehmer ihre vorherige Aussage zum Teil. Beispielsweise veraltete Gebäudestrukturen oder eingeeengte Platzverhältnisse können den Experten zufolge einen Einfluss auf den Bedarf einzelner Betriebsmitteltypen haben.

Einen deutlich größeren Einfluss sehen die Studienteilnehmer in Flexibilisierungsansätzen bei den Produktionsanlagen. Soll eine Anlage eine erhöhte Produktdiversität fertigungstechnisch abbilden können, so geht dies mit zusätzlichen Betriebsmittelbedarfen einher. Unter dem Begriff Produktdiversität ist dabei die Variantenanzahl der zu fertigenden Erzeugnisse sowie der Grad ihrer Unterschiedlichkeit zu verstehen. Der gesteigerte Bedarf erklärt sich damit, dass die Durchführung zusätzlicher Fertigungsinhalte vorzusehen ist, einige Betriebsmittel bei einzelnen Varianten möglicherweise ungenutzt bleiben und zudem zusätzliche Handhabungsvorgänge und -werkzeuge notwendig werden können.

Über die im Rahmen des Interviewleitfadens vorgeschlagenen Punkte hinaus führten die Befragten insbesondere noch technische Veränderungen bzw. technische Standards als wichtigen Einflussfaktor für die QBBP an. Ergeben sich hier Änderungen, kann der Bedarf eines Betriebsmittels signifikant sinken, während der eines anderen deutlich steigt. Als Beispiel können digitale Bildverarbeitungssysteme genannt werden, die andere Sensoriksysteme in zahlreichen Industriesparten Stück für Stück ersetzen, da die Preise industrieller Bildverarbeitungstechnik trotz gestiegenen Funktionsumfangs mit der Zeit gesunken sind (vgl. HOHWIELER, FEITSCHER & UHLMANN 2013; MAAS 2012).

Abschließend wurde der Aspekt der Qualität bzw. der einzuhaltenden Toleranzen als potentielle Einflussgröße genannt. Dieser wirkt sich jedoch weniger auf die quantitative als vielmehr auf die qualitative Planung der Betriebsmittel sowie auf die Prozessparameter aus.

IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?

Die Planungsprozesse der interviewten Unternehmen wurden allgemein als sehr genau definiert beschrieben. Auf genauere Nachfrage hin bestätigt sich allerdings, dass die QBBP in der Phase der Vorplanung in den Unternehmen wenig bis gar nicht definiert ist. Dies spiegelt die Erkenntnis wieder, dass die QBBP der frühen Phase meist heuristisch geprägt ist und keinem definierten Prozess folgt. Dies führt nach Meinung einiger Studienteilnehmer zu einer geringen Transparenz sowie Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und einer hohen Abhängigkeit von einzelnen erfahrenen Mitarbeitern. Mit dem Fortschreiten in den Planungsphasen steigt auch der Definitionsgrad der QBBP kontinuierlich an. In der Fein- oder Ausführungsplanung ist sie fest in den Planungsprozessen verankert.

IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Betriebsmittelbedarfe weiter?

Die Einbindung der Betriebsmittellieferanten bzw. deren Inkenntnissetzung über zu erwartende Bedarfe erfolgt in den Unternehmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Auch hier setzt sich die Beobachtung fort, dass der Planungshorizont mit der Komplexität der betreffenden Betriebsmittel korreliert. Je komplexer die benötigten Betriebsmittel sind, desto früher werden die Zulieferer in den Prozess eingebunden. Dies führt zu einer gesteigerten Versorgungssicherheit für den Abnehmer und Planungssicherheit für die Lieferanten. Bei wenig komplexen Teilen erfolgt hingegen meist keine frühzeitige Information der Zulieferer. Die Ausnahme stellen diesbezüglich Einkaufsverhandlungen dar. Je nach Unternehmen werden diese für einzelne Projekte oder mehrjährige Rahmenverträge geführt. In beiden Fällen werden die in der QBBP ermittelten Bedarfe als Grundlage für die Verhandlungen herangezogen und der Lieferant erhält auf diese Weise ein Gefühl für künftig zu erwartende Bestellmengen. Die weitere Einbindung der Lieferanten in den Prozess soll gemäß einigen Befragten weiter vorangetrieben werden. Da produzierende Unternehmen die Planung, Konstruktion und den Aufbau neuer Produktionsanlagen häufig extern beauftragen, sind es häufig die Anlagenbauer, denen die adäquate Kommunikation mit den Lieferanten obliegt. Bei der Aufteilung der Planungsumfänge auf mehrere Auftragnehmer ist daher eine zentrale Koordination der Bedarfe sowie der Lieferantenbenachrichtigung wichtig, so ein Studienteilnehmer. Eine solche Koordination der zu erwartenden Betriebsmittelbedarfe ist jedoch häufig noch nicht durchgängig umgesetzt.

IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?

IF8: Worin sehen Sie die Ursachen dafür?

Die Problematik von Lieferengpässen bei Betriebsmitteln war fast allen Studienteilnehmern aus Erfahrung geläufig. Die genannten Gründe dafür und Schlüsse daraus variierten allerdings. Als einer der wesentlichen Gründe wurden externe Faktoren wie die Dynamik der Absatz- und Beschaffungsmärkte, aber auch der Einfluss außerordentlicher Ereignisse wie Naturkatastrophen genannt. Dies kann zum einen direkt zu Lieferengpässen führen, indem Lieferketten abreißen, oder auch indirekt durch die auf strategische Planungen induzierte Volatilität und die damit einhergehende Änderung von Planungsprämissen in einem Projekt. Ändert sich beispielsweise zu einem verhältnismäßig späten Zeitpunkt in einem Fabrikplanungsprojekt noch die zu realisierende Ausbringungsmenge, kann dies mit erheblichen

Mehrbedarfen einhergehen. Zahlreichen befragten Planungsexperten zufolge hat dies in der Vergangenheit bereits zu Lieferengpässen geführt. Auch die industrieweite Überlagerung mehrerer zeitgleicher Fabrikplanungsprojekte kann einen Zulieferer an seine Kapazitätsgrenzen bringen, wenn er sich nicht auf Basis valider Planungszahlen seiner Kunden langfristig darauf einstellen kann. Aus diesem Grund wurde auch eine mangelnde quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung als Schwachstelle genannt, die in der Vergangenheit zu Versorgungsschwierigkeiten geführt hat. Dabei wurde sowohl die langfristige QBBP als auch die kurzfristige erwähnt. Entsprechend eingesetzt kann sie langfristig unter anderem der strategischen Planung der Lieferanten dienen und mittel- bis kurzfristig deren operativer Produktionsplanung und -steuerung sowie Lagerhaltungsplanung. Als Ursache für die nicht ausreichende Planung künftiger Betriebsmittelbedarfe wurden der hohe Aufwand angesichts einer großen Projektielfalt und mangelnde methodische bzw. IT-Unterstützung sowie -Schnittstellen angeführt. Insbesondere von den teilnehmenden Unternehmen aus dem Anlagenbau wurde darüber hinaus die fehlende zentrale Koordination der Betriebsmittelbedarfe als Grund für Lieferschwierigkeiten in der Vergangenheit genannt. Schließlich wurden auch die zunehmende Ressourcenknappheit, insbesondere zeitlich, sowie ein nicht ausreichender technischer Produktreifegrad neu entwickelter Betriebsmittel seitens des Lieferanten als Ursachen genannt. Es wurde zudem ergänzt, dass kritische Versorgungsschwierigkeiten bei den Betriebsmitteln in der Regel nicht auf eine einzelne sondern meist auf das Zusammenkommen mehrerer Ursachen zurückzuführen sind.

IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung?

Auf diese Frage hin wurden digitale Fabrikplanungswerkzeuge genannt. Diese werden insbesondere in den späteren Phasen genutzt, teilweise aber auch schon in der Vorplanung. Zu der Nutzung in einem sehr frühen Planungsstadium wurde von anderen Befragten allerdings angemerkt, dass der Aufwand angesichts noch nicht feststehender Planungsprämissen mit den bestehenden Softwarelösungen zu hoch ist. Die Antworten auf diese Frage zeigen klar auf, dass in der frühen Planungsphase keine dedizierten IT-Werkzeuge für die Planung von Betriebsmittelbedarfen genutzt werden. Den Befragten war kein digitales Werkzeug bekannt, das frühzeitig und unter vertretbarem Aufwand projektübergreifende Bedarfsplanungen ermöglicht. Für die unternehmensspezifischen Heuristiken wird meist auf Tabellenkalkulationsprogramme zurückgegriffen. Ab der Phase der Grobplanung kommen zunehmend CAx-Werkzeuge zum Einsatz, ERP-Systeme insbesondere in der späten Feinplanung sowie in der Ausführungsplanung. Darüber hinaus wird der Einsatz von digitalen Kollaborations-Systemen mit vielfältigen integrierten Funktionen getestet, um die Zusammenarbeit verschiedener Stellen bei der QBBP zu verbessern.

IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung (inkl. Antwortkategorien)?

- Organisatorisch
- Methodisch
- IT-technisch

Bei der Frage nach möglichen Verbesserungspotentialen für die QBBP wurden den Studienteilnehmern als Hilfestellung drei beispielhafte Kategorien als Anhaltspunkt genannt. Organisatorische Verbesserungsbedarfe sehen die befragten Planungsexperten insbesondere bei der Stabilität der Planungsprämissen. Dieser Aspekt hat in den Unternehmen in der Vergangenheit wiederholt zu erheblichen Mehraufwänden bei der Planung der Betriebsmittelbedarfe geführt. Späte Änderungen der Planungsprämissen sind dabei allerdings häufig Veränderungen des Absatzmarktes geschuldet und daher nur sehr bedingt beeinflussbar. Gleiches gilt für den gestiegenen Zeitdruck in den Planungsprojekten, der ebenfalls Erwähnung fand. Weiterhin wurde eine bessere projektübergreifende Koordination und weiterführende Abstimmung mit den Lieferanten als Verbesserungspotential genannt. Schließlich wurde in dieser Kategorie erwähnt, dass ein Single-Sourcing-Ansatz nachteilhaft für die Versorgungssicherheit ist und der Aufbau von internen Reservebeständen eine mögliche Abhilfe wäre. Dazu ist anzumerken, dass ein Single-Sourcing-Ansatz gemäß den Aussagen anderer Befragter den Vorteil einer intensiveren Zusammenarbeit mit dem Lieferanten bietet und interne Reservebestände aus betriebswirtschaftlichen Gründen in der Regel vermieden werden sollen. Als weiterführender Denkanstoß wurde von einem der Teilnehmer auch der Ansatz industrieller Product Service Systems (IPS2) (vgl. MÜLLER, SCHULZ & STARK 2010; NGUYEN, MÜLLER & STARK 2013) erwähnt. Dem Studienteilnehmer zufolge wäre beispielsweise die Verlagerung der QBBP hin zum Lieferanten eine mögliche Herangehensweise.

Methodische Verbesserungspotentiale sehen die Studienteilnehmer insbesondere bei der Systematisierung und Aufwandsreduzierung für die QBBP. So wird bemängelt, dass teilweise sowohl ein klarer Prozess als auch eine systematische Methodik im Ganzen oder in einzelnen Planungsphasen fehlt. Dies führt dazu, dass Zuständigkeiten teilweise nicht klar sind und die nötigen Daten nicht in adäquater Form gepflegt werden. Die Bedarfsplanung nimmt daher mehr Ressourcen in Anspruch als dies nach Meinung der Befragten eigentlich notwendig wäre. Als mögliche Abhilfe wurde eine klar definierte methodische Unterstützung für die QBBP genannt, die durchgängig in die übrigen Planungsprozesse integriert ist. Schließlich wurde noch betont, dass das Wissen von Experten und deren Schätzungen insbesondere in der frühen Phase unabdingbar bleiben werden.

In Bezug auf die Unterstützung der QBBP durch digitale Werkzeuge wurden nur teilweise Verbesserungspotentiale von den Studienteilnehmern gesehen. So wurden zum einen die Schnittstellen zwischen den eingesetzten IT-Systemen als Schwachstelle genannt. Eine automatische, reibungslose Ausleitung von Stücklisten aus den verschiedenen eingesetzten Systemen wäre nach Meinung der befragten Planungsexperten teilweise eine große Erleichterung. Auch der Einsatz von Kollaborations-Systemen zur Verbesserung der Zusammenarbeit vieler projektübergreifend Beteiligter wurde als möglicher Ansatzpunkt zur Verbesserung der QBBP genannt. Die mangelnde IT-Unterstützung der Vorplanung könnte man möglicherweise durch ein einfaches digitales Berechnungswerkzeug verbessern, mit dem man aufwandsarm frühe Vorhersagen treffen könnte, so einige der Befragten.

3.1.4 Interpretation der Ergebnisse

Anhand der zuvor dargestellten Ergebnisse sind im nächsten Schritt die wissenschaftlichen Fragestellungen zu beantworten, die der Studie gemäß Abbildung 3-2 (S. 23) zugrunde gelegt wurden. Die Erkenntnisgewinnung erfolgt induktiv.

FF1: In welchen Zeithorizonten wird bei der industriellen QBBP agiert und welche prozessualen Auslöseimpulse sind dafür charakteristisch?

Während Unternehmen aus dem Anlagenbau durchgängig in einem beauftragungsbedingt verkürzten zeitlichen Planungshorizont agieren, handhaben produzierende Betriebe die QBBP unterschiedlich. Nur teilweise werden die Bedarfe an Betriebsmitteln präventiv geplant. Ein frühzeitiges Ansetzen der QBBP wird meist durch Impulse ausgelöst, die nicht aus der Fabrikplanung selbst kommen, sondern beispielsweise aus dem Einkaufs- und Beschaffungsmanagement eingebracht werden. Dies deutet darauf hin, dass die QBBP in der Industrie reaktive Tendenzen besitzt und nur vereinzelt proaktiv eingesetzt wird. Auch wenn in der Industrie mit zunehmender Komplexität der zu beschaffenden Betriebsmittel der Betrachtungshorizont der QBBP erweitert wird, zeigt diese Erkenntnis ein Verbesserungspotential hinsichtlich eines frühzeitigen Planungsbeginns sowie einer durchgängigeren Vorgehensweise auf.

Anhand der Untersuchungsergebnisse kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung in der Industrie nicht durchgängig frühzeitig adressiert wird. In einer stark vorgelagerten, systematischen Grobplanung der Bedarfe wird allerdings das Potential der Arbeitserleichterung und gesteigerten Transparenz gesehen. Als primärer Grund für die Durchführung der QBBP sind insbesondere neue Produkte festzuhalten, der auslösende Impuls für die Planung ist häufig fremd-induziert.

FF2: Welche methodischen Vorgehensweisen für die QBBP bzw. digitale Werkzeuge zu deren Unterstützung haben sich in der Praxis etabliert und welche Planungslogiken liegen ihnen zugrunde?

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse kann festgestellt werden, dass die industrielle QBBP in der Phase der Vorplanung meist stark heuristisch geprägt ist und kaum durch digitale Werkzeuge unterstützt wird. Klar definierte mathematisch-statistische Ansätze, die grundsätzlich für frühe Planungen geeignet sind, sind bei der QBBP in der Industrie die Ausnahme. Deterministische Vorgehensweisen hingegen sind in der Praxis vielfach vorzufinden, allerdings mit einem starken Fokus auf die späteren Planungsphasen. Dazu ist festzuhalten, dass die Potentiale digitaler Betriebsmittelbibliotheken häufig noch nicht vollständig ausgeschöpft werden.

In Bezug auf die Planungslogiken können als wesentliche Treiber des Betriebsmittelbedarfs festgehalten werden:

- Bearbeitungsprofil der Produkte,
- Ausbringungsmenge bzw. Taktzeit,
- Zeitnutzungsgrad,
- Automatisierungsgrad,
- Standortbesonderheiten,
- Anlagenflexibilität und
- Technische Veränderungen.

Im Rahmen eines Fabrikplanungsprojektes in der Industrie sind im Allgemeinen all diese Punkte genau zu berücksichtigen. Auf diese Bedarfstreiber wird in Kapitel 4.2.1 detailliert im Einzelnen eingegangen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Planungsträger der Unternehmen ein klares Bild über die einzelnen Stellhebel des Betriebsmittelbedarfs haben. Diese Kenntnisse werden bisher allerdings nur teilweise in systematische, transparente Ansätze überführt. Die starke Abhängigkeit von der Expertise erfahrener Mitarbeiter bleibt somit bestehen. Definierte, methodische Vorgehensweisen für die QBBP sind erst in den späteren Planungsphasen vorhanden, würden für die Verantwortlichen aber bereits früher im Prozess einen großen Mehrwert darstellen. Die eingesetzten digitalen Werkzeuge unterstützen die spätere deterministische Planung, ein früheres mathematisch-statistisches Ansetzen jedoch nicht oder nur rudimentär. Auch diesbezüglich wird in der Industrie Raum für Verbesserungen gesehen.

FF3: Welche Rolle spielen die QBBP und die frühzeitige Einbindung von Lieferanten in der Industrie für die Vermeidung von Lieferengpässen bei den Produktionsanlagen bzw. deren Komponenten?

Die Problematik von Lieferengpässen bei den Betriebsmitteln sind industrieweit keine Ausnahme. Viele der Ursachen wie die Volatilität der Märkte (vgl. HECKMANN 2010) und damit der Planungsprämissen sind für die Fabrikplanung nicht beeinflussbar. Die Antwort darauf kann daher nur eine agilere und flexiblere Planung sein, die sich schneller und mit geringeren Reibungsverlusten an geänderte Rahmenbedingungen anpassen kann als bisher. Dies geht auch mit dem Ergebnis einher, dass erhebliche Verbesserungspotentiale bei der QBBP zu sehen sind, da diese bisher noch nicht optimal methodisch unterstützt wird. Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse, dass bei der Einbindung von Betriebsmittellieferanten Verbesserungspotentiale gesehen werden. Grundsätzlich ist die Vorteilhaftigkeit einer engen Zusammenarbeit den Beteiligten bewusst, insbesondere bei weniger komplexen Betriebsmitteln ist diese jedoch vielfach nicht vollumfänglich realisiert.

FF4: Bei welchen Aspekten der QBBP werden in der Praxis Verbesserungspotentiale gesehen?

Von erfahrenen Planungsspezialisten wurden einige Kritikpunkte organisatorischer Natur genannt⁹, auf die die QBBP allerdings keinen Einfluss hat. Diese können als weiterführender Forschungsbedarf verstanden werden (vgl. Kapitel 7.2) und werden im Folgenden daher nicht weiter erörtert. Die Forderung nach einer optimierten Koordination über verschiedene Projekte und Auftragnehmer hinweg liegt hingegen im Verantwortungsbereich der Fabrikplanung. Die QBBP vermag zur Verbesserung einer solchen zentralen Projektsteuerung potentiell einen Beitrag zur effizienten Ermittlung valider Planzahlen zu leisten und damit die Transparenz projektübergreifend zu erhöhen.

Des Weiteren sind verschiedene Verbesserungspotentiale hinsichtlich der softwareseitigen und methodischen Unterstützung festzuhalten. Insbesondere die systematische IT-Unterstützung der frühen Phase, die prozessuale und methodische Durchgängigkeit über die Planungsphasen hinweg und die Kompatibilität der verschiedenen digitalen Werkzeuge können als Forschungsbedarf festgehalten werden.

⁹ insbesondere die Stabilität der Planungsprämissen, der Zeitdruck in den Planungsprojekten sowie die Kommunikation und weiterführende Abstimmung mit den Betriebsmittellieferanten (vgl. Kapitel 3.1.3)

Zudem zeigen die Ergebnisse einen zusätzlichen Forschungsbedarf hinsichtlich der weiteren Verlagerung von Planungskompetenzen hin zu Anlagenbauern und Lieferanten auf. Diese gezielte Kombination von Produkten und Dienstleistungen firmiert in der Wissenschaft unter dem Terminus *Industrial Product Service Systems* (IPS2) und birgt erhebliche Potentiale für die Industrie (vgl. SAKAO ET. AL. 2008; SUNDIN, ÖHRWALL RÖNNBÄCK & SAKAO 2010). Eine solche Verlagerung der Planungsaufgabe der QBBP würde die Notwendigkeit einer klaren Planungsmethodik allerdings nicht verändern. Aus diesem Grund wird der Themenkomplex IPS2 im Weiteren nicht näher betrachtet.

3.1.5 Fazit zum Status quo der QBBP in der Industrie

Durch die empirische Studie konnte gezeigt werden, dass die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung in der Industrie häufig heuristisch geprägt ist. Die QBBP wird nur in Einzelfällen bereits frühzeitig adressiert und verbleibt in der Phase der Vorplanung weitgehend ohne eine adäquat dokumentierte, methodische Unterstützung. Die Versorgungssicherheit bei den Betriebsmitteln kann so bislang nur teilweise verbessert werden. Das volle Potential wird häufig nicht ausgeschöpft, da die Unternehmen noch keine ganzheitliche Planungsmethodik für die QBBP einsetzen. Die zugrunde gelegte Hypothese I-a (vgl. Kapitel 3.1) kann demnach angenommen werden, da die einzelnen methodischen Vorgehensweisen nicht zu einer Gesamtmethodik aggregiert werden.

Für die frühe Phase konnten keine Planungsmethoden identifiziert werden, die sich auf einen generischen Ansatz übertragen lassen. Nur für die späteren Phasen konnten einige adaptierbare methodische Ansätze ausgemacht werden. Für die Phase der Vorplanung konnten lediglich vereinzelte Planungslogiken und -intelligenzen identifiziert werden.

Abschließend ist die gewählte Forschungssystematik kritisch zu reflektieren. Die dargelegten Erkenntnisse aus der deutschen Industrie stellen induktive Schlüsse auf Basis der qualitativen empirischen Daten aus acht teilstrukturierten Interviews dar. Auf Grundlage dieses Forschungsdesigns kann nicht ausgeschlossen werden, dass der industrielle Status quo nicht erschöpfend dargestellt wird. Für das übergeordnete Forschungsvorhaben bedeutet dies, dass möglicherweise partiell hilfreiche bestehende Ansätze außer Acht gelassen werden. Dieses Risiko kann alles in allem als vertretbar angesehen werden, da die inhaltliche Repräsentativität durch die genaue Auswahl der Studienteilnehmer gegeben ist. Die gewonnenen Erkenntnisse zu den Vorgehensweisen sowie den Anforderungen der Industrie stellen eine wichtige Hilfestellung zur zielorientierten Ausrichtung der weiteren Forschungstätigkeiten dar.

Für künftige Forschungsaktivitäten auf dem Themengebiet kann auf Grundlage der Ergebnisse die Durchführung von weiterführenden Studien empfohlen werden. Darüber hinaus ist auch die Untersuchung der Potentiale industrieller Product Service Systems (IPS2) (vgl. STARK & MÜLLER 2009) für die QBBP als Forschungsbedarf festzustellen.

3.2 Wissenschaftliche Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Das vorhergehende Kapitel hat zu der Erkenntnis geführt, dass in der Industrie Verbesserungspotential bei der systematischen Unterstützung der QBBP zu sehen ist. Der Handlungsbedarf, der sich daraus ableiten lässt, impliziert die Frage, welcher Beitrag sich aus der bestehenden Forschungslandschaft für einen systematischen Lösungsansatz extrahieren lässt. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass auch die Wissenschaft keine übertragbare Planungsmethodik für die QBBP bereithält, da sich die Unternehmen andernfalls möglicherweise daran orientiert hätten. Daraus lässt sich in Nachfolge von Forschungshypothese I-a folgende Hypothese herleiten:

Forschungshypothese I-b:

Der in der Industrie festzustellende Mangel an klar definierten, durchgängigen methodischen Vorgehensweisen für die QBBP liegt darin begründet, dass die Wissenschaft die theoretischen Hintergründe in Form von Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden nicht in ausreichendem Umfang aggregiert.

Diese Hypothese gilt es im Folgenden analog Kapitel 3.1 anhand einer methodisch fundierten Forschungssystematik zu überprüfen. Es muss demnach untersucht werden, inwieweit für die QBBP relevante Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden bisher wissenschaftlich ergründet wurden. Der übergeordnete Kontext legt den Rahmen für die nachfolgende Untersuchung fest und spannt den Lösungsraum auf, wie in Abbildung 3-3 dargestellt.

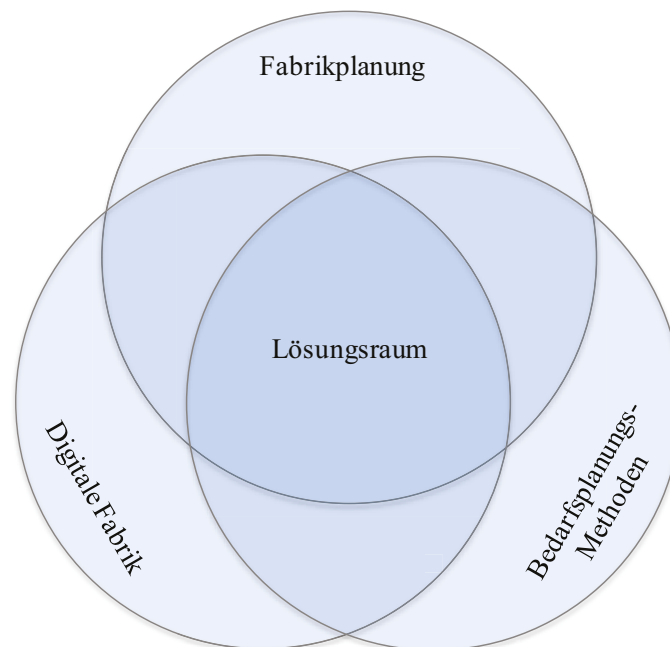


Abbildung 3-3: Lösungsraum der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Somit sind es in erster Linie zielkongruente methodische Herangehensweisen, die es in der Wissenschaft zu identifizieren gilt, sowie themennahe Planungsintelligenzen und die ihnen zugrunde liegenden Logiken. Für ein solches Vorhaben eignet sich ein deduktiver Forschungsansatz auf Grundlage einer systematischen Literaturrecherche. Dafür sollen im Folgenden Monographien, Sammelwerke sowie insbesondere aktuelle wissenschaftliche Konferenzbeiträge und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften in Betracht gezogen werden.

3.2.1 Forschungssystematik

Eine zunächst durchgeführte, freie Literaturrecherche explorativer Natur hat gezeigt, dass die Thematik der QBBP in der Wissenschaft nicht unter einer klar abgegrenzten Terminologie firmiert. Es existieren zahlreiche Disziplinen, denen der behandelte Themenkomplex ganz oder teilweise zugeordnet werden kann. Dabei sind

- Anlagenplanung,
- Anlagenwirtschaft,
- Produktionsplanung,
- Fertigungsplanung,
- Beschaffungsplanung,
- Dimensionierungsplanung,
- Kapazitätsplanung,
- Investitionsplanung,
- Investitionsgüterplanung,
- Ressourcenplanung,
- Betriebsmittelplanung,
- Fertigungsmittelplanung und
- Betriebsmittelbedarfsplanung

als Beispiele zu nennen. Diese Vielfalt erschwert den Versuch, ein klares Bild des wissenschaftlichen Status quo zu zeichnen. Eine einfache unstrukturierte Stichwortsuche birgt aufgrund dieser unklaren Zuordnung verstärkt das Risiko, relevante Forschungsergebnisse nicht zu erfassen. Durch die anfängliche freie Literaturrecherche konnten insbesondere Standardwerke der Fabrikplanung (vgl. z.B. GRUNDIG 2009; REFA 1985a) identifiziert werden, die den Themenkomplex der QBBP in unterschiedlicher Tiefe behandeln. Aktuelle Veröffentlichungen in Fachzeitschriften oder Konferenzbeiträge, die sich dezidiert mit der quantitativen Bedarfsplanung von Betriebsmitteln befassen, konnten hingegen nicht gefunden werden. Um dennoch einen validen, umfassenden Überblick über die Forschungslandschaft zu erhalten, wurde im zweiten Teil der Recherche auf ein systematisches Vorgehen zurückgegriffen. Nach NIGHTINGALE (2009) müssen für eine solche systematische Literaturrecherche zunächst eine klare Zielsetzung und die Vorgehenssystematik, einschließlich der Ein- und Ausschlusskriterien, festgelegt werden.

Das übergeordnete Ziel der Untersuchung ist die Schaffung einer fundierten Datengrundlage, auf deren Basis die Forschungshypothese I-b verifiziert oder verworfen werden kann. Zu diesem Zweck ist zunächst herauszufinden, inwieweit die Thematik der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung in Veröffentlichungen in Fachzeitschriften oder in Konferenzbeiträgen thematisiert wird und welche Ansätze bislang im Rahmen der Fabrikplanung entwickelt wurden. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf aktuellen Forschungstätigkeiten. Angefangen auf der Ebene der Planungslogiken (vgl. Kapitel 2.1.1) bis hin zu ganzheitlichen Methodiken sind die relevanten Veröffentlichungen zu identifizieren und zu analysieren. Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse kann im Anschluss untersucht werden, wie die wissenschaftlichen Ansätze zur Verbesserung der industriellen QBBP beitragen können.

Die gewählte Systematik für die Literaturrecherche orientiert sich an den Veröffentlichungen von LEVY & ELLIS (2006) und WEBSTER & WATSON (2002). Somit wurde der Untersuchungsumfang zunächst auf einige Literaturdatenbanken eingeschränkt. Die Auswahl erfolgte nach Themenschwerpunkt, Zahl der enthaltenen Veröffentlichungen sowie Zugänglichkeit. Die verwendeten Datenbanken wurden systematisch nach zuvor definierten Fachbegriffen durchsucht. Die gewählten Such-Termini und -kombinationen entstammten in erster Linie der freien Literaturrecherche und hatten zum Ziel, die semantische Bandbreite des Themenkomplexes möglichst vollständig abzudecken. Abgesichert wurde die Stichwort-Auswahl durch Konsultation auf dem Gebiet der Fabrikplanung erfahrener Wissenschaftler. Die Suchbegriffe orientierten sich an der zuvor dargestellten Liste der Planungsdisziplinen sowie deren Übersetzungen ins Englische. Die Untersuchung wurde zunächst auf wissenschaftliche Konferenzbeiträge und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften aus den Jahren 2001 bis 2011 begrenzt. Die zahlreichen resultierenden Literaturquellen wurden in einem dreistufigen Verfahren in zunehmender Tiefe auf ihre Relevanz hin überprüft und die Trefferanzahl somit sukzessiv eingegrenzt. Die verwendeten Referenzen der daraufhin für relevant befundenen Beiträge wurden ebenfalls dem gleichen Verfahren unterzogen. Für ausgewählte Autoren bzw. Autorenkreise wurde zudem eine Vorwärts-/Rückwärts-Suche (vgl. LEVY & ELLIS 2006; WEBSTER & WATSON 2002) durchgeführt. Aufgrund der unklaren Terminologie musste dabei auf Ausschlusskriterien verzichtet werden.

Die gewählte Forschungssystematik mit dem dreistufigen Filterverfahren führte im ersten Schritt zu einer hohen dreistelligen Trefferzahl, die durch den Filter der zweiten Stufe anhand der Abstracts auf unter hundert potentiell relevante Quellen eingeschränkt werden konnte. Diese wurden im dritten Schritt hinsichtlich ihrer inhaltlichen Schwerpunktsetzung genauer analysiert. Abbildung 3-4 veranschaulicht dieses Vorgehen schematisch und verdeutlicht den inhaltlichen Analysefokus der Untersuchung. Auf Basis der resultierenden Erkenntnisse wurde schließlich eine geringe zweistellige Zahl von Veröffentlichungen identifiziert, die sich im weiteren Sinne¹⁰ mit Planungsintelligenzen und/oder -methoden (vgl. Abbildung 2-1, S. 9) für die frühzeitige Ermittlung von Betriebsmittelbedarfen in der digitalen Fabrik-

¹⁰ Weiterführende Einbeziehung von Veröffentlichungen, die auf gänzlich anderen Fragestellungen im Forschungsfeld basieren, mit potentiell übertragbaren Ansätzen (vgl. BRACHT & KAPPLER 2011; CLAUB & MÜLLER 2011; CONSTANTINESCU, WESTKÄMPER & ENGELBERT 2010; DAGDEVIREN 2008; ENGEL, BUERKNER & GÜNTHER 2010; FENG, STOFFER & JURRENS 2005; FLEISCHER ET. AL. 2005; HAYES JR., DAVIS & WYSK 1981; HERTZ ET. AL. 2011; HORBACH ET. AL. 2011; IGBAL & HASHMI 2001; KIM ET. AL. 2011; KULTUREL-KONAK 2007; MCKAY ET. AL. 2003; NOBLE & TANCHOCO 1993; PRÜB & NEBL 2006; SCHACHOW 2009; SCHUH, KAMPKER & WESCH-POTENTE 2011; TONG ET. AL. 2003; WENZEL, JESSEN & BERNHARD 2005).

planung befassen. Die Zahl der Veröffentlichungen, die im Rahmen der gewählten Systematik schließlich als relevant identifiziert werden konnten, ist im Verhältnis zu vergleichbaren Recherchearbeiten auffällig gering.

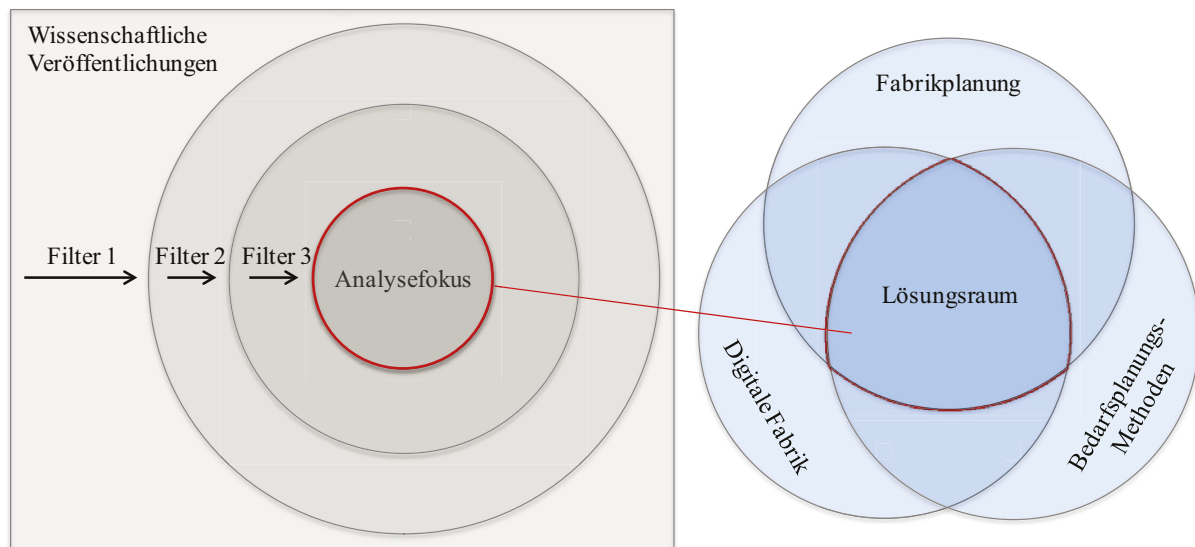


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung der Forschungssystematik in Relation zum Lösungsraum

Bevor aus der reinen Trefferzahl erste Schlüsse gezogen werden können, ist zunächst zu reflektieren, ob dies möglicherweise darauf hinweist, dass das gewählte Forschungsdesign angepasst werden muss. Zur Reduzierung von Unschärfen aufgrund einer unvollständigen Stichwortauswahl sieht die angewandte Forschungsmethodik bereits die zusätzliche Einbeziehung jener Literaturquellen vor, auf die in den für relevant befundenen Veröffentlichungen zurückgegriffen wurde. Durch Anwendung der autorenspezifischen Vorwärts- und Rückwärtssuche wurde dieses Bestreben zusätzlich unterstützt. Das Risiko, relevante Veröffentlichungen wegen des gewählten Forschungsdesigns nicht in die Untersuchung einzubeziehen, konnte auf diese Weise auf ein Minimum reduziert werden. In Bezug auf die Adäquanz der Methodik kann festgestellt werden, dass der gewählte Forschungsansatz im Rahmen anderer Studien mit vergleichbaren Fragestellungen zu dem gewünschten Erkenntnisgewinn geführt hat (vgl. GU & LAGO 2009; TURNER ET. AL. 2010). Folglich ermöglicht das gewählte Forschungsdesign die Schlussfolgerung, dass die geringe Trefferzahl auf eine schwache wissenschaftliche Durchdringung der Problematik hinweist.

3.2.2 Forschungsergebnisse

Für einen umfassenden Überblick über die Forschungslandschaft müssen die bestehenden Ansätze im nächsten Schritt inhaltlich analysiert und die vermutete Forschungslücke spezifiziert werden. Dies unterstützt auch das Bestreben, eine umfassende Grundlage zur Bewertung der Forschungshypothese I-b zu schaffen. Nachdem die industriellen Ansätze für die QBBP insbesondere in der frühen Phase noch einen geringen methodischen Reifegrad aufweisen, ist im Folgenden sicherzustellen, dass die bestehen-

den wissenschaftlichen Ansätze bei der Entwicklung einer Planungsmethodik systematisch Berücksichtigung finden. Wie in Abbildung 3-4 verdeutlicht, lagen zu diesem Zweck insbesondere Veröffentlichungen, die in den avisierten Lösungsraum fallen, im Fokus der Untersuchung.

Im ersten Analyseschritt wurden demnach jene aktuellen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie Konferenzbeiträge inhaltlich ausgewertet, die dem Lösungsraum zugeordnet werden konnten. Als Ergebnis kann zunächst festgehalten werden, dass trotz der gezielten Suchstrategie keine Veröffentlichungen identifiziert werden konnten, in denen die quantitative Ermittlung von Betriebsmittelbedarfen dediziert behandelt wird. Die untersuchten Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik dienen vorrangig der Unterstützung späterer Planungsaufgaben, wie qualitativen Betrachtungen zur Ausgestaltung der Fertigungsprozesse (vgl. BEHRENS & HANISCH 2008; BRACHT, KÖNIG & SPIES 2012). In Konsequenz sind diese Hilfsmittel primär in den späteren Phasen der Fabrikplanung wiederzufinden, nach ANDERL, MOSCH & REZAEI (2011) und SAUER (2004) ein charakteristisches Merkmal für Werkzeuge der Digitalen Fabrik. Für die Herausforderung, bereits frühzeitig valide Aussagen über die Quantitäten künftiger Betriebsmittelbedarfe treffen zu können, zeigen die im Lösungsraum untersuchten Forschungstätigkeiten keine adäquaten Hilfsmittel auf. Abbildung 3-5 verdeutlicht schematisch die Tatsache, dass die Unterstützung durch digitale Methoden und Werkzeuge in der frühen Planungsphase allgemein noch sehr gering ist, mit dem Fortschreiten eines Planungsprojektes jedoch Stück für Stück zusätzliche Hilfsmittel bereitstehen. Gestützt wird diese Darstellung durch Veröffentlichungen, die zu vergleichbaren Ergebnissen kommen (vgl. z.B. BRACHT, WENZEL & GECKLER 2009; MÜLLER 2007). Die digitalen Werkzeuge reichen von Programmen zur Bearbeitung von Standardaufgaben (z.B. Tabellenkalkulation) bis hin zu Speziallösungen zur Simulation komplexer Zusammenhänge oder der Visualisierung detaillierter virtueller Modelle (vgl. HIRSCH ET. AL. 2010; NYHUIS ET. AL. 2009).

Der in Abbildung 3-5 dargestellte Zusammenhang lässt sich auch auf die QBBP übertragen. Die Analyseergebnisse verdeutlichen, dass es für die quantitative Bestimmung von Betriebsmittelbedarfen insbesondere in den frühen Phasen an adäquater digitaler Unterstützung für die Planungsträger mangelt. Mit dem Fortschreiten eines Planungsprojektes kommt in der Regel eine steigende Zahl digitaler Modelle und Werkzeuge zum Einsatz (vgl. LIN, LEE & BOHEZ 2012). Damit geht eine Zunahme des Detaillierungsgrades der Fertigungslayouts einher. In der Literatur wird für die Layout-Erstellung vielfach der systematische Einsatz elektronischer Kataloge bzw. Bibliotheken für vordefinierte Planungsobjekte empfohlen (vgl. AZEVEDO & ALMEIDA 2011; BRACHT, KÖNIG & SPIES 2012; DREHER & EBER 2009; HORBACH ET. AL. 2011; KUHN, TURGUT & TOTH 2008). Diese sind als Maßnahmen zur Effizienz- und Qualitätssteigerung zu verstehen, bergen allerdings auch das Potential, die Ableitung von Betriebsmittel-Mengengerüsten bzw. -Stücklisten aus den Anlagenlayouts signifikant zu vereinfachen. Die Ergebnisse der in Kapitel 3.1 vorgestellten empirischen Studie stützen diese Aussage. Mit der Verfügbarkeit der ersten detaillierten Layouts kann die Ausleitung der entsprechenden Mengengerüste aufgrund der stark erhöhten Informationsdichte zum Kernbestandteil der QBBP werden. Um auf diese Weise künftige Komponentenbedarfe valide ableiten zu können, sind folglich eine konsistente Datenverwaltung mit digitalen Bibliotheken notwendig und die entsprechenden Schnittstellen unabdingbar. In der industriellen Praxis stellen diese Anforderungen aufgrund gewachsener System-Strukturen und eines hohen Komplexitätsgrades häufig noch Herausforderungen dar (vgl. Kapitel 3.1 bzw. SAUER, SCHLEIPEN & AMERMANN 2010).

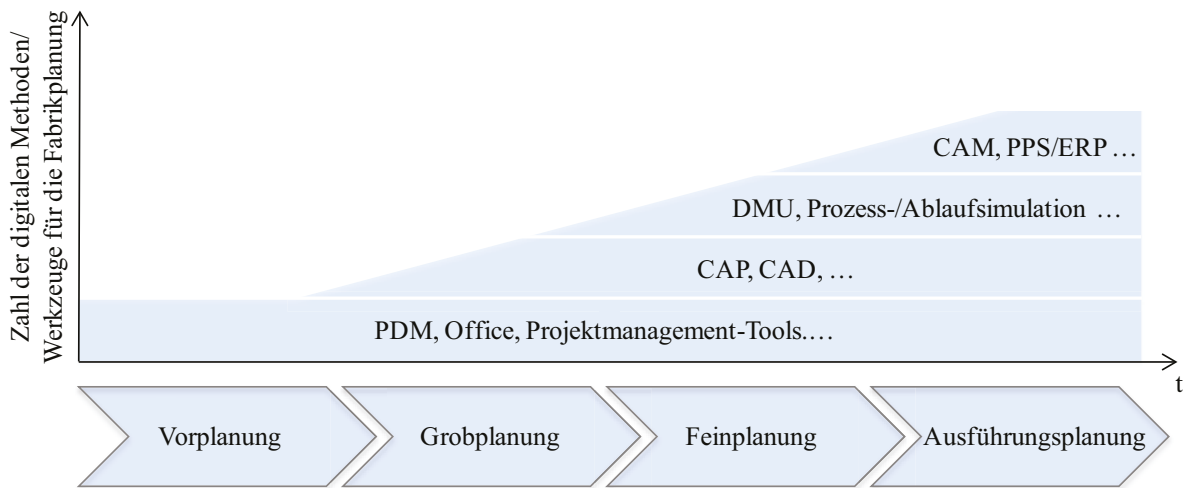


Abbildung 3-5: Schematische Darstellung zur Verfügbarkeit digitaler Methoden und Werkzeuge in den verschiedenen Phasen der Fabrikplanung

Die im Lösungsraum (vgl. Abbildung 3-4, S. 37) identifizierten Veröffentlichungen aus Fachzeitschriften und Konferenzbänden der jüngeren Zeit thematisieren keine dedizierten Planungsmethodiken oder -methoden (vgl. Kapitel 2.1.1) für die QBBP. Die Veröffentlichungen haben stets eine abweichende Zielsetzung. Somit finden die im Rahmen der empirischen Studie identifizierten Planungslogiken (auch als Bedarfstreiber bezeichnet, vgl. Kapitel 3.1.4) vereinzelt Erwähnung, jedoch analog der Zielsetzung stets in einem anderen Kontext (vgl. BLEY & FRANKE 2004; BRAMALL ET. AL. 2003; FENG & SONG 2002). Eine gezielte Aggregation der Planungslogiken nach ihrem Einfluss auf den quantitativen Betriebsmittelbedarf konnte in der Literatur nicht festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wird die gezielte Weiterentwicklung der vereinzelt spezifizierten Bedarfstreiber zu zielgerichtet einsetzbaren Planungsintelligenzen in den Veröffentlichungen teilweise thematisiert. Dabei werden zusätzliche Informationssätze miteinander in Verbindung gebracht und beispielsweise der Einfluss produktspezifischer Bearbeitungsprofile auf die Produktionsressourcen untersucht (vgl. BLEY & BOSSMANN 2005; CHEUNG ET. AL. 2006; DEUSE ET. AL. 2011). Die Ableitungen, die sich aus den verschiedenen Veröffentlichungen ziehen lassen, sind in den entsprechenden Kontext zu setzen. Dieser Kontext zur Konkretisierung der Planungsintelligenzen für die QBBP folgt in Kapitel 4.3, in dem diese Thematik im Detail behandelt wird und die Implikationen aus Wissenschaft und Praxis aufbereitet werden. In Hinsicht auf die vermutete Forschungslücke kann dennoch festgehalten werden, dass die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung im Rahmen aktueller Forschungstätigkeiten keine nennenswerte Rolle spielt.

Durch die freie Literaturrecherche konnten im Gegensatz zum enger gefassten, systematischen Ansatz (vgl. Kapitel 3.2.1) Planungsmethoden zur Ermittlung von Betriebsmittelbedarfen identifiziert werden (vgl. GRUNDIG 2009). Aufgrund der Tatsache, dass diese Methoden außerhalb des Lösungsraums angesiedelt sind, wurde der Betrachtungsbereich für den zweiten Schritt der Analyse gemäß Abbildung 3-6 erweitert, die Einschränkung hinsichtlich des Veröffentlichungsdatums aufgehoben und insbesondere auch Monographien und Sammelwerke berücksichtigt.

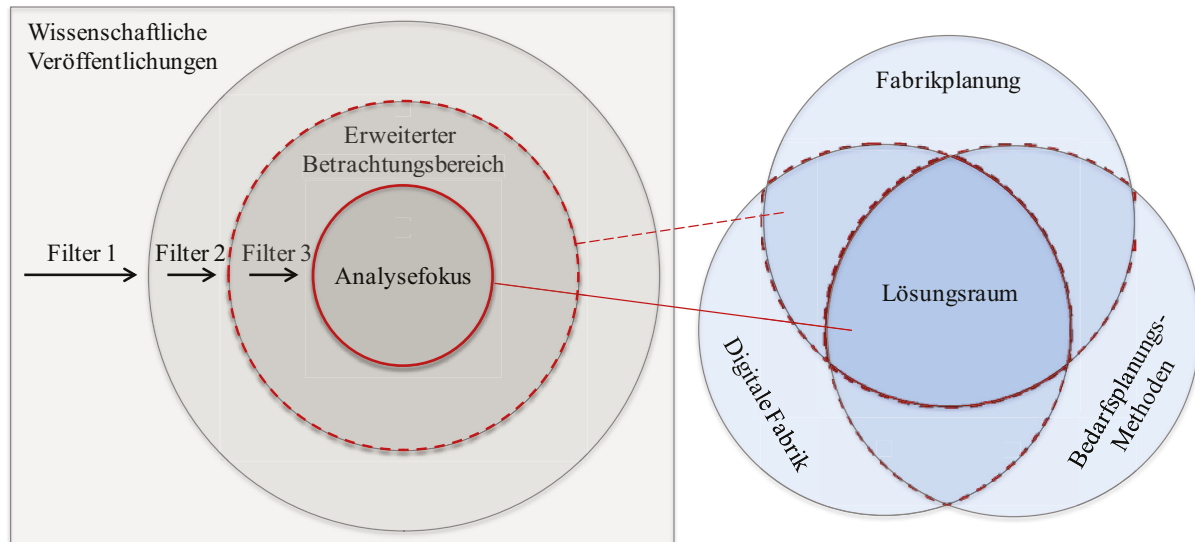


Abbildung 3-6: Schematische Darstellung der Forschungssystematik mit erweitertem Betrachtungsbereich

Dieser erweiterte Betrachtungsbereich bestätigt im zweiten Untersuchungsschritt die Erkenntnis, dass die Betriebsmittelbedarfsplanung im Rahmen der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Digitalen Fabrik und allgemein der Fabrikplanung zwar zum Teil Erwähnung findet, jedoch keine gesonderten quantitativen Planungsmethoden dafür ausgearbeitet werden (vgl. BEHRENS & HANISCH 2008; BURDORF 2005; DENKENA ET. AL. 2010; HEILALA, MONTONEN & HELIN 2007; SCHMIDL ET. AL. 2006; THANKACHAN, BHASI & MADHU 2010). Die wenigen in der Literatur zu findenden methodischen Ansätze weisen keinen konkreten Bezug zur Digitalen Fabrik auf (vgl. GRUNDIG 2009; KETTNER, SCHMIDT & GREIM 1984; REFA 1985a). Für eine fundierte Bewertung der Forschungshypothese I-b werden diese Ansätze in Kapitel 3.2.3 im Detail analysiert.

Als Zwischenfazit der systematischen Literaturrecherche kann festgehalten werden, dass die quantitative Planung von Betriebsmittelbedarfen in der jüngeren Forschungslandschaft und insbesondere im Themenkomplex der Digitalen Fabrik nicht fokussiert behandelt wird. Ein zu erwähnendes Detail ist die Tatsache, dass die Betriebsmittelbedarfsplanung in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts in der Wissenschaft deutlich intensiver thematisiert wurde als heute. Jüngere Quellen orientieren sich inhaltlich stark an den Ansätzen aus dieser Zeit.

3.2.3 Analyse der Methoden zur Ermittlung quantitativer Betriebsmittelbedarfe

Inwieweit die im Rahmen des systematischen Rechercheprozesses identifizierten Planungsmethoden die Lücken in der industriellen Planung zu schließen vermögen ist im Folgenden zu klären. Als wesentliche Quellen, die sich dediziert mit der Thematik der QBBP auseinandersetzen, konnten GRUNDIG (2009), KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) und REFA (1985a) identifiziert werden. Diese dienen der folgenden Analyse als Grundlage.

Nach REFA (1985a)¹¹ können zunächst einige grundlegend verschiedene Herangehensweisen für die Bestimmung des quantitativen Betriebsmittelbedarfs unterschieden werden. Von diesen sind insbesondere deterministische Methoden, Simulationsmethoden, stochastische Methoden und Schätzmethode als mögliche Ansätze für quantitative Planungsaufgaben zu nennen. Eine deterministische Berechnung des Betriebsmittelbedarfs kann vorgenommen werden, wenn Bedarfsgrößen und Verfügbarkeitsgrößen bekannt sind und rechnerisch gegenübergestellt werden können. Daraus lassen sich Kapazitätsdefizite und somit Bedarfe ableiten. Folglich eignet sich eine rein deterministische Herangehensweise erst für die späteren Planungsphasen, in denen bereits alle nötigen Eingangsinformationen verlässlich vorliegen. Bei Simulationen wird mit Hilfe von Modellen das Verhalten eines Systems, beispielsweise eines Fertigungsabschnittes, unter Variation der Einflussgrößen untersucht. Analog der deterministischen Planung ist zu diesem Zweck bereits eine hohe Informationsdichte erforderlich, da die Aussagekraft der Ergebnisse andernfalls stark eingeschränkt ist. Für vorgelagerte Planungsaufgaben eignen sich im Gegensatz dazu insbesondere Methoden, die hohe Aggregations- und Skalierungsgrade wie stochastische Methoden oder Schätzmethode unterstützen. Im Rahmen ersterer werden mathematisch-statistische Zusammenhänge in Vergangenheitsdaten analysiert und anschließend genutzt, um Vorhersagen über wahrscheinlich in der Zukunft zu erwartende Ausprägungen bestimmter Faktoren zu treffen. Schätzmethode schließlich werden von erfahrenen Mitarbeitern im Arbeitsalltag häufig implizit angewendet und eignen sich insbesondere für die Vorplanung, in der zahlreiche Details noch nicht feststehen. Ein solches Vorgehen kann auch formalisiert werden, beispielsweise nach der Delphi-Methode, einer systematisch klar strukturierten Befragung mehrerer Experten (vgl. BLOHM & BEER 1988; JAKOBY 2010; ROWE & WRIGHT 1999).

Eine gezielte Kombination der zuvor erläuterten methodischen Herangehensweisen wird in der analysierten Literatur nicht angestrebt. In erster Linie wird die deterministische Berechnung von Bedarfen erörtert. Für eine solche Kalkulation sind zahlreiche konkrete Eingangsinformationen erforderlich, die in einem frühen Planungsstadium teilweise noch nicht zur Verfügung stehen.

So ist zur Ermittlung des Betriebsmittelbedarfs nach REFA (1985a) ein Vorgehen zu empfehlen mit den Schritten:

1. Betriebsmittelbestandsdaten eingeben,
2. theoretischen und realen Kapazitätsbestand eines Betriebsmittels berechnen,
3. Planungs- und Auftragsdaten sowie Daten für zusätzliche Nutzung eingeben,
4. zeitlichen Auftragsbedarf berechnen,
5. zeitlichen Zusatzbedarf berechnen,
6. zeitlichen und zahlenmäßigen Einsatzbedarf berechnen,
7. zeitlichen und zahlenmäßigen Verfügbarkeitsbedarf berechnen,
8. zahlenmäßigen Reservebedarf berechnen und
9. zahlenmäßigen Bruttobedarf berechnen.

Für die einzelnen Kalkulationsschritte werden entsprechende Berechnungsformeln vorgeschlagen (vgl. REFA 1985a). Dieser deterministische Planungsansatz berücksichtigt allerdings nicht, dass sich die Informationsdichte und auch die Genauigkeitsanforderungen im Verlauf eines Planungsprojektes meist

¹¹ übergreifende Quellenangabe für diesen Absatz

signifikant verändern. So genügt in der Vorplanung häufig noch eine hochaggregierte Betrachtung auf Grundlage von stochastischen und Schätzmethoden. Das dargelegte, schrittweise Vorgehen nach REFA trägt dieser Tatsache nicht Rechnung. Zudem wird nicht im Detail darauf eingegangen, wie mit nicht vorhandenen oder unsicheren Eingangsdaten umzugehen ist. Für eine planungsphasenübergreifende Betrachtung ist der Ansatz demnach nur *bedinügt* geeignet.

In komprimierter Form wird die deterministische Betriebsmittelbedarfsplanung auch von GRUNDIG (2009) in Anlehnung an KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) erörtert:

$$\text{Betriebsmittelbedarf} = \frac{\text{Gesamtkapazitätsbedarf}}{\text{verfügbare Kapazität einer Ausrüstung}} \quad (3.1)$$

Bei der konkreten Berechnung muss nach GRUNDIG (2009) zwischen der theoretisch verfügbaren und der real verplanbaren Kapazität unterschieden werden¹²:

$$BM_i = \frac{T_{Bi}}{T_{Mi}} = \frac{\sum_{j=1}^J T_{rji} + \sum_{j=1}^J (m_{ji} \times t_{eji})}{A_i \times h_i \times S_i \times \eta_i} \quad (3.2)$$

BM_i Anzahl erforderlicher Betriebsmittel Typ i

T_{Bi} erforderliche Bearbeitungszeit für BM-Typ i [min/Jahr]

T_{Mi} vorhandene (verplanbare) Maschinenzeit für ein BM vom Typ i [min/Jahr]

Dabei gilt für die Ermittlung der erforderlichen Bearbeitungszeit im Jahr

T_{rji} Rüstzeit t_r für Produkt j auf BM-Typ i [min/Jahr]

m_{ji} Produktionsmenge Produkt j auf BM-Typ i [Stück/Jahr]

t_{eji} Fertigungszeit je Einheit t_e für Produkt j auf BM-Typ i [min/Jahr]

Für die Ermittlung der verfügbaren Maschinenkapazität im Jahr T_{Mi} gilt:

A_i Anzahl Arbeitstage BM-Typ i [Tage/Jahr]

h_i vorhandene (geplante) Einsatzzeit für ein BM vom Typ i je Tag und Schicht
[min/Tag×Schicht]

S_i Schichtanzahl (vorhanden/geplant) für BM-Typ i

η_i Zeitnutzungsgrad für BM-Typ i (stets kleiner 1; berücksichtigt Ausschuss, Nacharbeit, Arbeitsablaufstörungen usw.)

¹² Aus Darstellungsgründen wird das in der Mathematik teilweise für das Vektorprodukt verwendete Symbol „ $\times$ “ im Folgenden synonym für die einfache mathematische Multiplikation verwendet.

Die dargestellten Berechnungsmethoden erfordern das konkrete Wissen über zahlreiche Eingangsinformationen und stoßen schnell an ihre Grenzen. Bei einer feingranularen Betrachtung von Betriebsmitteln in Form von einzelnen Anlagenkomponenten kann eine klare Zuordnung von Bearbeitungs- und Maschinenzeiten Probleme bereiten. Darüber hinaus verändert sich der Charakter der Fabrikplanung mit Fortschreiten eines Planungsprojektes. Damit muss sich auch die QBBP den geänderten Informationsständen und Anforderungen anpassen. Dieser Aspekt wird in der analysierten Literatur nicht eingehend behandelt. Untersucht man die dargestellten Ansätze nach den in Kapitel 2.2 abgeleiteten Anforderungen an eine Planungsmethodik für die QBBP, finden die adäquate Handhabung von Unsicherheitsfaktoren und insbesondere der phasenadäquate Aggregationsgrad in der Literatur zur QBBP bislang keine Berücksichtigung. Zudem werden auch die Besonderheiten der frühen Planungsphasen und die phasenübergreifende Durchgängigkeit der Planung nicht näher behandelt. Auch das Potential, die QBBP durch digitale Werkzeuge zu unterstützen und zu automatisieren, wird nicht thematisiert. Dies ist der Entstehungszeit der Ansätze nach KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) und REFA (1985a) zuzuschreiben und unterstreicht den Forschungsbedarf.

Aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen (vgl. Kapitel 3.1) lässt sich ableiten, dass für eine durchgängige Planungsmethodik die phasenübergreifende Integration der verschiedenen methodischen Ansätze angestrebt werden sollte. Eine darauf ausgerichtete, systematische Aggregation von Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden ist auch in der Literatur nicht festzustellen. Die Ansätze nach GRUNDIG (2009), KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) und REFA (1985a) kombinieren zwar gezielt unterschiedliche Planungslogiken und entwickeln sie bis zu einer Berechnungs- bzw. Planungsmethode weiter, den seitens der Industrie für relevant gehaltenen Bedarfstreibern (vgl. Kapitel 3.1.4) tragen sie jedoch nicht vollumfänglich Rechnung. Weitere systematische Ansätze zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung konnten darüber hinaus trotz der intensiven Recherche nicht identifiziert werden. Einige der zugrunde gelegten Logiken können allerdings für eine gesamthafte, phasenübergreifende Planungsmethodik adaptiert werden (vgl. Kapitel 4.2).

3.2.4 Fazit zum Status quo der QBBP in der Wissenschaft

Die bestehende Forschungslandschaft zum Themengebiet der QBBP wurde auf Basis eines systematischen Forschungsansatzes untersucht. Die Analyseergebnisse ermöglichen daher die Bewertung der Forschungshypothese I-b auf einer methodisch fundierten Grundlage. So ist zusammenfassend festzustellen, dass die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung insbesondere in der jüngeren Zeit kaum ausgeprägt ist. Es hat sich bestätigt, dass die vereinzelte Auseinandersetzung mit der QBBP die nötigen Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden nicht in ausreichendem Umfang aggregiert, um daraus eine durchgängige Planungsmethodik für die industrielle Anwendung abzuleiten. Die Forschungshypothese I-b kann folglich angenommen werden, da sich die ihr zugrunde gelegte Annahme bestätigt hat.

Zur Beurteilung der dargestellten Erkenntnisse ist abschließend das forschungsmethodische Vorgehen kritisch zu hinterfragen. Die anfänglich durchgeführte freie Literaturrecherche wurde zur Erhöhung der Validität des Forschungsansatzes durch eine systematische ergänzt. Das Forschungsdesign der systema-

tischen Recherche mit einem dreistufigen Filterverfahren und dem im zweiten Schritt zusätzlich ausgeweiteten Untersuchungsfokus unterstreichen den Anspruch repräsentativer Ergebnisse. Die auf dieser Grundlage zunächst deduktiv gezogenen Schlüsse wurden im Anschluss induktiv ausgeweitet, gestützt durch die Erkenntnisse der Recherche im zweiten Schritt. Insgesamt kann das Risiko einer Fehleinschätzung auf Grundlage des gewählten Forschungsdesigns als geringfügig eingeschätzt werden, da es im Rahmen der Möglichkeiten weitgehend minimiert wurde.

3.3 Zwischenfazit und Forschungsbedarf

Im zurückliegenden Kapitel wurden der industrielle sowie der wissenschaftliche Stand der Technik zur Ermittlung quantitativer Betriebsmittelbedarfe ergründet. Dabei hat sich herausgestellt, dass weder auf Seiten der Industrie, noch auf Seiten der Wissenschaft umfassende methodische Herangehensweisen für die QBBP existieren. Insbesondere der Aspekt der phasenübergreifenden Planung wird nicht dediziert adressiert. In Bezug auf Forschungshypothese I kann demnach festgestellt werden, dass die Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden in dezentral verteilter Form vorliegen, für die Belange der industriellen Großserienproduktion allerdings weder vollständig sind noch ausreichend formalisiert. Die Möglichkeit einer gezielten (Re-)Kombination bzw. Integration zu einer durchgängigen und systematisch integrierbaren Planungsmethodik ist auf Grundlage der Ergebnisse daher nicht gegeben. Die Forschungshypothese I muss infolgedessen verworfen werden.

Demnach ist ein Forschungsbedarf festzustellen. Die Planungslogiken für die QBBP sind zu systematisieren und, um zusätzliche Informationssätze angereichert, zu aggregieren sowie zu zielorientierten Planungsintelligenzen weiterzuentwickeln. Es bleibt damit aufzuzeigen, wie auf Grundlage der Erkenntnisse aus Theorie und Praxis eine systematische Ermittlung von zu erwartenden Betriebsmittelbedarfen ermöglicht werden kann. Dieser Forschungsbedarf wird in den folgenden Kapiteln adressiert.

4 HERLEITUNG DER METHODIK FÜR DIE QUANTITATIVE BETRIEBSMITTELBEDARFSPLANUNG

Die Nachforschungen in Theorie und Praxis haben ergeben, dass für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung keine umfassende, systematische Aggregation von Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden als Grundlage für eine phasenübergreifende Methodik existiert. Somit besteht im Fabrikplanungsprozess eine methodische Lücke. Für die zielgerichtete Adressierung des daraus abzuleitenden Forschungsbedarfs kann folgende Hypothese aufgestellt werden:

Forschungshypothese II:

Die methodische Lücke der QBBP im Fabrikplanungsprozess kann für die industrielle Großserienproduktion durch eine durchgängige Planungsmethodik geschlossen werden, die mathematisch-statistische, schätzungsbasierte und deterministische Ansätze gezielt miteinander kombiniert.

Dem Planungsverständnis dieser Arbeit (vgl. Kapitel 2.1.1) folgend, sind als Grundlage für eine solche Methodik zunächst die notwendigen Planungslogiken und -intelligenzen zu spezifizieren. Forschungsmethodisch werden zu diesem Zweck primär die Erkenntnisse aus Kapitel 3 herangezogen und aufbauend darauf eine schrittweise Herleitung gemäß Abbildung 4-1 angestrebt.

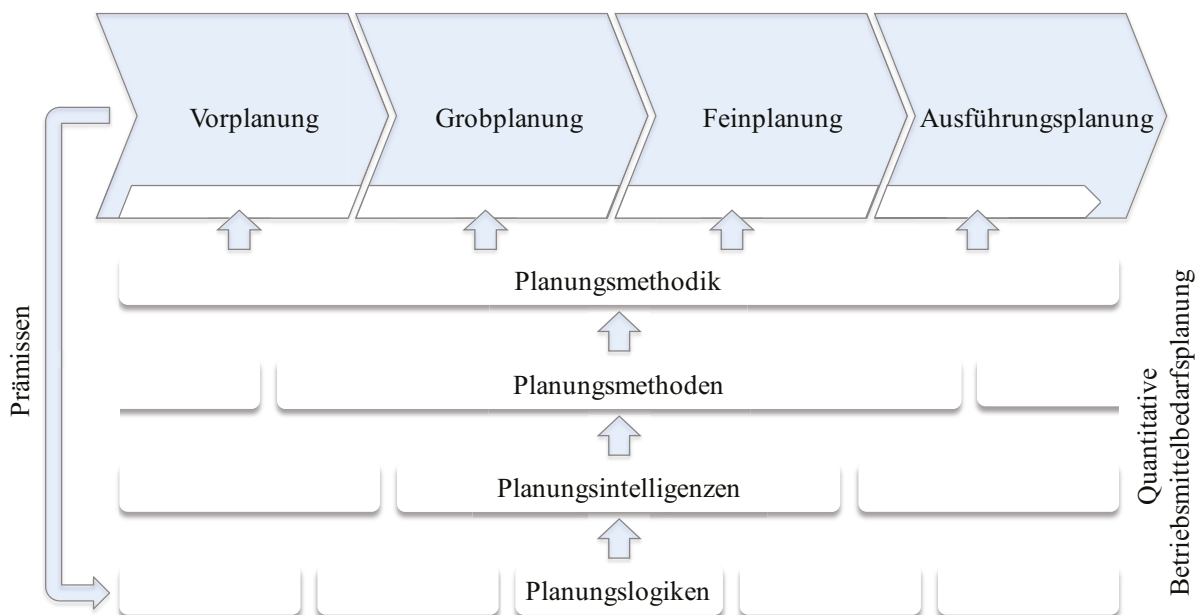


Abbildung 4-1: Herleitung der QBBP-Methodik zur Schließung der Lücke im Fabrikplanungsprozess

Das folgende Kapitel beginnt unter Abschnitt 4.1 mit einer Abgrenzung der Randbedingungen für die Planungsmethodik. Im Anschluss werden die Planungslogiken (4.2) und -intelligenzen (4.3) sowie schließlich die phasenspezifischen Planungsmethoden (4.4) systematisch hergeleitet. In Kapitel 4.5 erfolgt darauf aufbauend die Entwicklung der Berechnungs- und Planungsmethodik für die QBBP. Zudem wird die Integration in den Fabrikplanungsprozess behandelt. Abschließend werden die Ergebnisse in Abschnitt 4.6 zusammengefasst.

4.1 Randbedingungen und Grundlagen

Um den Rahmen für die Entwicklung einer zielgerichteten Planungsmethodik zu schaffen, müssen zunächst die Randbedingungen für die Anwendung abgesteckt werden, unter denen die Methodik schließlich einen Gültigkeitsanspruch erheben kann. Daher werden diese im Folgenden zunächst abgegrenzt und es wird darauf eingegangen, welchen allgemeinen methodischen Grundzügen die Planungsmethodik folgt.

4.1.1 Angestrebter Gültigkeitsbereich

Durch einen phasenadäquaten Aggregationsgrad sollen mit Hilfe der im Folgenden entwickelten QBBP-Methodik zu jeder Zeit valide Ergebnisse unter vertretbarem Aufwand ermittelt werden können (vgl. Kapitel 1.3). Der Fokus liegt dabei auf der getakteten Fließfertigung (vgl. Kapitel 2.1.3). Der entwickelte Ansatz richtet sich daher an jene Unternehmen, die Fabrikplanungsaufgaben mit einem entsprechenden Umfang für sich selbst oder andere Betriebe übernehmen.

In Bezug auf die in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Grundfälle der Fabrikplanung liegt der Fokus der Methodenentwicklung auf den ersten drei Grundfällen und damit dem Neubau, der Um- bzw. Neugestaltung sowie der Erweiterung von Fertigungskomplexen bzw. -linien.

In der industriellen Großserienproduktion finden disruptive Innovationsschritte nur in Ausnahmefällen statt (vgl. GRANIERI & RENDA 2012; SCHALTEGGER & WAGNER 2008). Die entwickelte Methodik wird daher nicht auf Technologiesprünge, sondern auf graduelle Weiterentwicklungen ausgelegt, da diese in der Industrie wesentlich häufiger stattfinden. Übertragen bedeutet dies, dass man sich bei der Planung an Vergangenheitswerten orientiert, die insbesondere in den frühen Phasen von großem Wert sind. Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit entsprechender Daten (vgl. HOLTZE 2000).

Zudem ist klarzustellen, für welche Betriebsmittel der entwickelte Ansatz einen Gültigkeitsanspruch erhebt. Neben der in Kapitel 2.1.4 geschilderten Abgrenzung spielt der Aggregationsgrad der zu betrachtenden Betriebsmittel eine wichtige Rolle. Gemäß Definition sind unter Betriebsmitteln Anlagen, Einrichtungen, Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen zu verstehen (vgl. Kapitel 2.1.4). In der industriellen Praxis werden beispielsweise Fertigungsanlagen häufig nicht als Gesamtsystem beschafft, sondern in Form ihrer Einzelkomponenten. Diese Komponenten stellen in der Regel bereits selbst komplexe technische Produkte dar (vgl. Kapitel 5.1.2) und gehen in die Anlagen, Einrichtungen, Maschinen,

Werkzeuge und Vorrichtungen ein. Die definitorische Vorgabe, dass sie für die Herstellung von Erzeugnissen genutzt werden, selbst jedoch nicht in das Erzeugnis eingehen, erfüllen sie gleichermaßen. Es handelt sich demnach um Betriebsmittelelemente, Betriebsmittel auf einer niedrigeren Aggregationsebene. So wird die im Folgenden entwickelte Methodik darauf ausgelegt, dass sie für verschiedene Aggregationsgrade von Betriebsmitteln angewendet werden kann, um den Anforderungen der planenden Unternehmen zu genügen.

Darüber hinaus stellt die Gültigkeit der im Folgenden vorgestellten Planungslogiken die zentrale Prämisse für die QBBP dar. Treffen die vorgestellten Annahmen über die grundlegenden Zusammenhänge auf einen gewählten Betrachtungsumfang nicht zu, so ist die QBBP in der vorgestellten Form möglicherweise nicht sinnvoll anwendbar. Der Betrachtungsumfang muss dabei klar abgegrenzt werden können und der Planungsträger wird auf eine angemessene Datengrundlage sowie eine klare Zielsetzung angewiesen bleiben.

Zuletzt muss eine klare Abgrenzung zwischen der quantitativen und der qualitativen Planung von Betriebsmitteln getroffen werden. Die nachfolgend entwickelte Methodik umfasst ausschließlich die quantitative Planung der Betriebsmittelbedarfe. Die qualitative Bestimmung der technischen Eigenschaften der Betriebsmittel anhand der Anforderungen des Fertigungsprozesses ist nicht Teil der QBBP-Methodik, sondern lediglich eine Eingangsgröße, die festlegt, für welche Betriebsmittel eine quantitative Bedarfsplanung durchzuführen ist. Ist die qualitative Festlegung der Betriebsmittel, beispielsweise in der Phase der Vorplanung, noch nicht oder noch nicht vollständig erfolgt, kann mit Hilfe der QBBP auch der Bedarf einer Betriebsmittelgruppe abgeschätzt werden. Die Aufteilung der Bedarfe auf einzelne Betriebsmittel kann in einer späteren Planungsphase erfolgen.

4.1.2 Methodisches Vorgehen

Der Rückgriff auf Vergangenheitsdaten ist ein wesentlicher bzw. impliziter Bestandteil der stochastischen und der Expertenschätzverfahren (vgl. REFA 1985a). Unter den geschilderten Randbedingungen bestehen zwischen aktuellen und vergangenen Fabrikplanungsprojekten stets Vergleichbarkeiten, die man sich in der Planung zunutze machen kann. In Abhängigkeit von einer oder mehreren Einflussgrößen wird daher angenommen, dass sich der Bedarf in Zukunft analog der Vergangenheit entwickelt. Dieses auch als Extrapolation bekannte Prinzip wird auf Basis mathematisch-statistischer Analysen angewendet oder häufig auch implizit anhand von Erfahrungswissen bzw. in Form von Expertenschätzverfahren. Diese Herangehensweise erhält durch die Ergebnisse der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1) eine zusätzliche Legitimation, da man sich bei der Planung neuer Produktionsanlagen in der Praxis insbesondere in der frühen Phase ebenfalls stark an vorherigen Planungsprojekten orientiert. So können frühzeitig und unter vertretbarem Aufwand fundierte Vorhersagen unter abschätzbarer Unsicherheit abgegeben werden. Industrielle Fabrikplanungsprojekte unterscheiden sich allerdings selbst unternehmensintern oft in vielerlei Hinsicht voneinander. Auch bei einer mathematisch-statistischen Herangehensweise ist daher eine gründliche Auseinandersetzung mit den Rahmenbedingungen eines Projektes sowie den implizierten Annahmen erforderlich (vgl. CHIANG 2003). Die Basis hierfür sind die zugrunde gelegten Planungslogiken; allgemeingültige Zusammenhänge, auf denen die Planungstätigkeiten bewusst oder unbewusst aufbauen. Insbesondere signifikante Abweichungen einzelner Einflussgrößen müssen in der

Bedarfsplanung adäquat berücksichtigt werden. Solche im Folgenden als Bedarfstreiber bezeichneten Einflussfaktoren stellen deshalb wesentliche Planungslogiken für die QBBP dar und werden nachfolgend in Unterkapitel 4.2.1 spezifiziert.

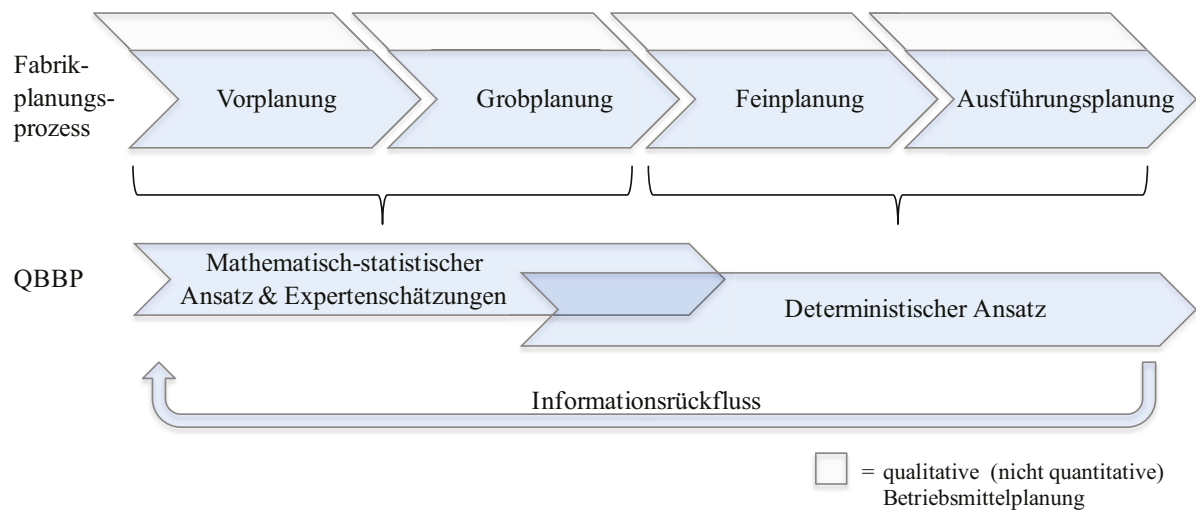


Abbildung 4-2: Übergang der QBBP von der mathematisch-statistisch geprägten zur deterministischen Vorgehensweise (vgl. Kapitel 3.2.3)

In den späteren Phasen des Fabrikplanungsprozesses, in denen bereits konkrete Informationen zur geplanten Ausgestaltung der Produktionsanlagen vorliegen, muss sich die Betriebsmittelbedarfsplanung dem geänderten Informationsstand anpassen. Im Rahmen anderer Prozessschritte sind die in den frühen Phasen als Bedarfstreiber berücksichtigten Einflussgrößen in den konkreter werdenden Planungsstand bereits eingeflossen. Expertenschätzungen und die Berechnung mathematisch-statistisch hergeleiteter Werte treten daher in den Hintergrund, während die gezielte Ausleitung von Werten aus bestehenden digitalen Werkzeugen zur Grundlage der QBBP wird. Das Vorgehen wandelt sich folglich von einem statistischen hin zu einem deterministischen Ansatz. Abbildung 4-2 verdeutlicht diesen Übergang in Relation zum klassischen Fabrikplanungsprozess. Die QBBP ist dabei über den gesamten Prozess hinweg eng mit der qualitativen Betriebsmittelplanung verknüpft, deren Fortschritt die Granularität der quantitativen Planung maßgeblich beeinflusst. Für die im Folgenden dargelegte Entwicklung der QBBP-Methodik wird eine vorgelagerte qualitative Planung (vgl. Kapitel 2.1.4) vorausgesetzt und daher nicht näher auf diese eingegangen.

Einflüsse wie der technologische Fortschritt verändern das Produktionssystem eines Unternehmens über die Zeit. Dies führt zu Anpassungsbedarf an den Daten, die dem statistischen Ansatz zugrunde gelegt wurden. Der Informationsrückfluss ist daher ein wesentlicher Bestandteil der QBBP. Er ist entscheidend für die Adaptionfähigkeit der zu entwickelnden Planungsmethodik, insbesondere wenn sich Randbedingungen nachhaltig verändern.

4.1.3 Datenmanagement

Voraussetzung für zahlreiche Aspekte der QBBP sind ein funktionierendes Datenmanagement mit digitalen Betriebsmittel-Bibliotheken (vgl. BRACHT, KÖNIG & SPIES 2012; KÜHN 2006) sowie abgestimmte

Schnittstellen zwischen den Werkzeugen der Digitalen Fabrik (vgl. Kapitel 2.1.5). Dies bestätigen auch die Ergebnisse der industriellen Studie (vgl. Kapitel 3.1.3) sowie der systematischen Literaturrecherche (vgl. Kapitel 3.2.2).

Für ein Industrieunternehmen bedeutet dies konkret, dass dem Planungsträger Daten zu Betriebsmittelbeständen in der Fertigung gleichermaßen zur Verfügung stehen müssen wie die fertigungstechnischen Daten vergangener, aktueller und künftiger Produkte. Detailliert wird diese Notwendigkeit in den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.3, ein praktisches Anwendungsbeispiel wird in Kapitel 5.2 erläutert. Um signifikante Reibungsverluste an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Werkzeugen der Digitalen Fabrik zu vermeiden, müssen diese zudem aufeinander abgestimmt sein. Gemäß BRACHT ET. AL. (2005) lässt sich dies idealerweise mit Hilfe einer zentralen Datenbank realisieren.

Durch ANDERL, MOSCH & REZAEI (2011) wurde bereits untersucht, inwieweit ein durchgängiges Fabrikdatenmanagement in der industriellen Praxis bereits umgesetzt ist. Die Autoren betonen die Notwendigkeit eines holistischen Ansatzes zur integrierten Abbildung von Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten. Eine durchgängige Umsetzung dieses Ansatzes könnte die nachfolgend entwickelte QBBP-Methodik insbesondere in den späteren Planungsphasen signifikant vereinfachen. Im Ergebnis der Studie stellt sich jedoch heraus, dass zu wenige bereichsübergreifende Softwarewerkzeuge existieren und die Problematik der isolierten, redundanten Datenhaltung häufig zu Inkonsistenzen führt (ANDERL, MOSCH & REZAEI 2011). Dies soll im Folgenden berücksichtigt werden, indem besonderes Augenmerk auf den Aspekt des Datenmanagements gelegt wird. Während es nicht das Ziel ist, im Rahmen der QBBP das Datenmanagement in der Industrie zu revolutionieren, soll dennoch auf die kritischen Aspekte aufmerksam gemacht werden, um Anpassungen und Verbesserungen gezielt anzuregen. Der Forschungsbedarf auf diesem Gebiet wird im weiteren Verlauf der Ausführungen noch spezifiziert.

4.1.4 Schätzverfahren

Der in Abbildung 4-2 dargestellte Rückgriff auf Schätzverfahren in der frühen Phase der QBBP nimmt in den weiteren Ausführungen eine wichtige Stellung ein. Je nach Verfügbarkeit verlässlicher Informationen und Vergangenheitsdaten können Planungsträger auf Schätzverfahren angewiesen sein.

Nicht zu verwechseln ist das Schätzen mit dem Raten, mit dessen Hilfe ohne Grundlage jeglicher verlässlicher Informationen Aussagen generiert werden. Von derartigen Aussagen ist in der industriellen Praxis stets abzusehen, da sie keinen nachhaltigen Mehrwert für ein Unternehmen bieten. Stattdessen ist im Zweifel ein erhöhter Aufwand zur Informationsbeschaffung in Kauf zu nehmen. Liegen die Eingangsinformationen hingegen bereits nahezu vollständig und in verlässlicher Form vor, ist ein deterministisches Vorgehen stets präziser (vgl. Kapitel 4.4.3 bzw. 4.4.4). Wie Abbildung 4-3 veranschaulicht, kommen für die Gewinnung von Aussagen bei verfügbaren aber noch unsicheren Eingangsinformationen in erster Linie Schätzverfahren zum Einsatz.

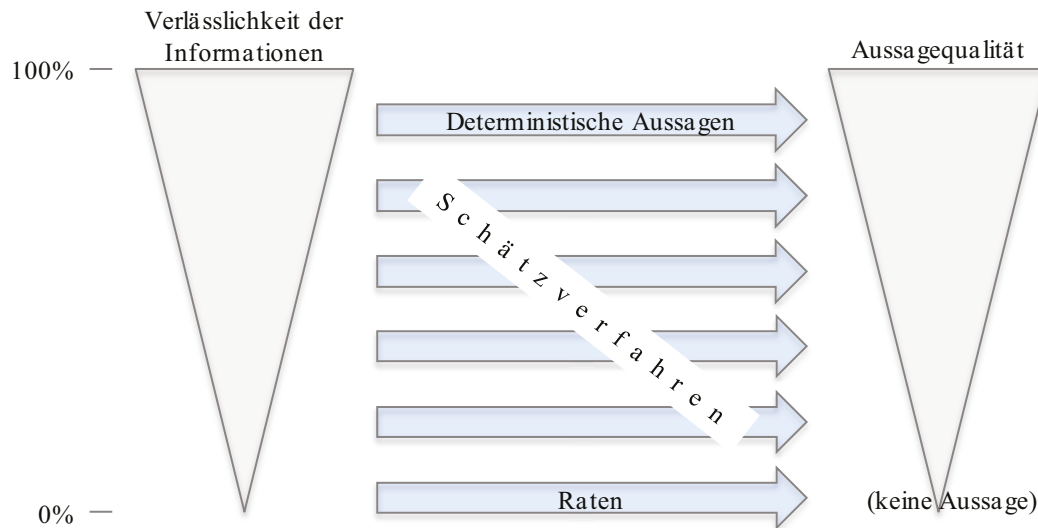


Abbildung 4-3: Gewinnung von Aussagen aus verfügbaren Informationen (in Anlehnung an JAKOBY 2010)

Schätzen bedeutet allgemein, bei partieller Ungewissheit belastbare Aussagen über einen Sachverhalt zu gewinnen (JAKOBY 2010). Dafür müssen die Informationen zunächst zu Tage gefördert werden, um anschließend folgerichtige Schlüsse daraus zu ziehen zu können. Die für die QBBP relevanten Schätzverfahren teilen sich auf in statistische und wissensbasierte Methoden. Während der Einsatz statistischer Schätzmethoden für die QBBP im Folgenden detailliert erläutert wird, können im Rahmen der QBBP auch solche Methoden Anwendung finden, die auf dem Wissen und den Einschätzungen von Experten aufbauen. Derartige Schätzungen erfolgen durch einzelne, mehrere einzeln befragte oder mehrere zusammen befragte Experten. Im Rahmen der QBBP sind für die Befragung unterschiedliche Strukturierungsgrade von der einfachen Frage bis zur Systematisierung nach der Delphi-Methode denkbar. Allgemein ist dabei zu beachten, dass mit der geforderten Schätzgenauigkeit und Transparenz auch der relative Schätzaufwand steigt (vgl. DOWIE & HERZWURM 2007). Neben der rein intuitiven Schätzung ist es zudem auch möglich, den befragten Planungsträgern Daten aus vergleichbaren Projekten als Anhaltspunkt zur Verfügung zu stellen, insofern dies gewünscht wird. Die konkrete methodische Ausgestaltung derartiger Schätzungen obliegt letzten Endes dem Planungsträger und seiner Auffassung über ein sinnvolles Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen.

4.2 Planungslogiken der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Betriebsmittel erfüllen je nach Art verschiedene Funktionen wie Fertigungs- oder Förderaufgaben. Der Betriebsmittelbedarf wird daher maßgeblich durch das produktseitige Bearbeitungsprofil¹³ einerseits und die Kapazität der Maschinen andererseits bestimmt. Dieser Zusammenhang liegt auch der in Kapitel

¹³ Das Bearbeitungsprofil gibt Aufschluss über sämtliche fertigungstechnisch relevanten Produkteigenschaften wie die Geometrie, die Qualität oder die einzusetzenden Bearbeitungsverfahren, und umfasst somit auch die Anforderungen an den Fertigungsprozess (vgl. Kapitel 2.1.4).

3.2.3 dargestellten Berechnungsformel nach KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) zugrunde. Die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung für die getaktete Fließfertigung baut prinzipiell ebenfalls auf dieser elementaren Korrelation auf, die zugrunde liegenden Planungslogiken und -intelligenzen müssen darüber hinaus jedoch zum Teil erweitert und ergänzt werden.

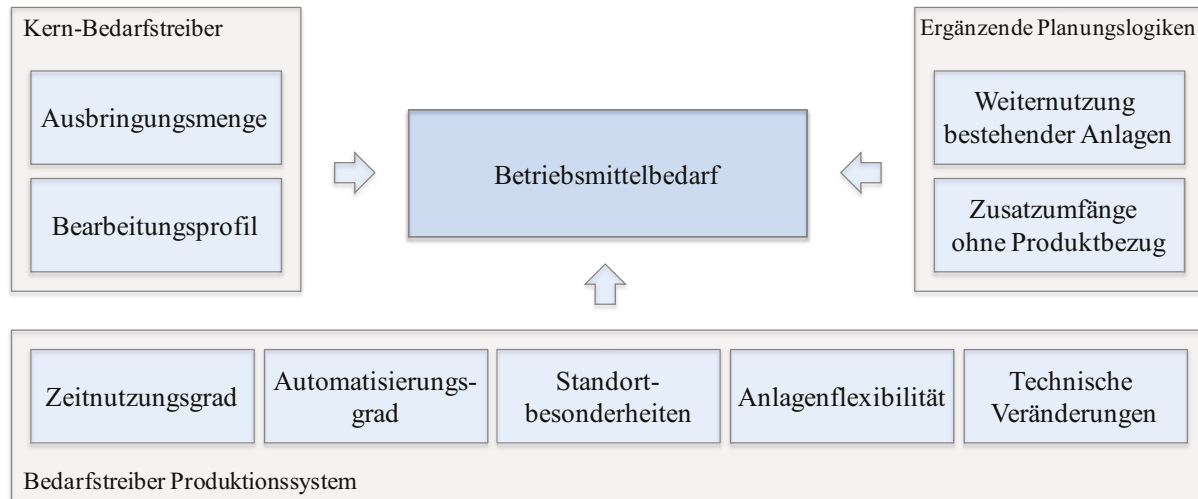


Abbildung 4-4: Bedarfstreiber der QBBP

Der Grund für diese Notwendigkeit liegt in erster Linie in der marktinduzierten Volatilität der Planungsprämissen, die dazu führt, dass die Fertigungsplanung im industriellen Umfeld trotz hoher Komplexität und enger Terminpläne zunehmend unter Unsicherheit stattfindet. Der deterministische Ansatz nach KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) stößt hier an seine Grenzen und wird der industriellen Realität teilweise nicht mehr gerecht bzw. kann sie nicht vollständig abbilden. Die verschiedenen Bedarfstreiber, die nachfolgend einzeln erläutert werden, veranschaulicht Abbildung 4-4.

4.2.1 Bedarfstreiber

Analog dem Vorgehen bei der klassischen Produktionsplanung (vgl. APICS 1991) sind die essentiellen Kern-Bedarfstreiber die qualitative (Was soll produziert werden?) und die quantitative (Wie viel soll produziert werden?) Dimension des Produktionsprogramms. Diesen Zusammenhang bestätigen auch die in Kapitel 3.1 vorgestellten Ergebnisse der empirischen Studie. Die qualitative Dimension, die die fertigungstechnischen Erfordernisse wie die einzusetzenden Fertigungsverfahren, -parameter und -toleranzen des Produktes repräsentiert, bestimmt die betriebsmittelspezifisch erforderlichen Bearbeitungskapazitäten je gefertigter Einheit und wird daher auch als Bearbeitungsprofil bezeichnet (vgl. BÖCK 2013; EVERSHEIM 1989). Dieses Bearbeitungsprofil eines Produktes wirkt sich mittelbar über die qualitative Betriebsmittelplanung auf die QBBP aus, da sich daraus zunächst die technischen Erfordernisse an die Betriebsmittel ergeben. Sind diese festgelegt¹⁴ kann der Einfluss des Bearbeitungsprofils auf den

¹⁴ Der Fortschritt der qualitativen Planung bestimmt wie feingranular die quantitative Planung erfolgen kann. Eine grobe Festlegung der Art der erforderlichen Betriebsmittel ermöglicht beispielsweise eine Planung auf Ebene von Betriebsmittelgruppen (vgl. Kapitel 4.1.1).

quantitativen Bedarf an Betriebsmitteln bemessen werden. Die Fertigungstiefe ist hierbei als wesentlicher Aspekt zu beachten, da von externen Lieferanten übernommene Produktionsschritte keine internen Fertigungskapazitäten erfordern. Der Einfluss von Flexibilisierungsansätzen, die zu einer Kombination mehrerer Erzeugnisse auf derselben Fertigungslinie führen, wird nachfolgend unter dem Aspekt der Anlagenflexibilität als separater Bedarfstreiber vorgestellt. Nach KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) werden die erforderlichen Bearbeitungskapazitäten mit Hilfe der produktspezifischen Fertigungs- und Rüstzeiten pro Einheit je Anlage ermittelt (vgl. Kapitel 3.2.3). Folglich ist für die genaue Ermittlung des Bearbeitungsprofils zunächst eine qualitative Planung und damit die Kenntnis über die Fertigungs- und Rüstzeiten je Fertigungsstation notwendig sowie darüber hinaus die Einzelbetrachtung der Stationen aufbauend auf diesen Werten. In der industriellen Großserienproduktion mit einer Vielzahl von Fertigungsstationen wäre eine solch granulare Betrachtung mit hohem Aufwand verbunden. Insbesondere solange die Eingangsgrößen inhärenten Unsicherheiten unterliegen, die eine erhebliche Schwankungsbreite auf das Planungsergebnis induzieren, wäre ein solches Vorgehen daher unwirtschaftlich. Folglich ist für die Bedarfsplanung eine signifikant höher aggregierte Herangehensweise anzustreben. Die Komplexität vieler industrieller Erzeugnisse, die in der Produktion mit einer Vielzahl unterschiedlicher Fertigungsoperationen einhergeht, erschwert ein solches Bestreben. Vor diesem Hintergrund sind weiterführende Planungsintelligenzen (vgl. Abbildung 2-1, S. 9) zur aggregierten Abbildung unterschiedlicher Produktionsschritte und deren einheitlicher Quantifizierung unabdingbar (vgl. Kapitel 4.3).

Neben der qualitativen stellt die quantitative Dimension des Produktionsprogramms einen Kern-Bedarfstreiber dar. In der industriellen Großserienfertigung wird die quantitative Dimension in der Regel als Ausbringungsmenge je Zeiteinheit gemessen (vgl. HUBER 2011). Ist zuvor das Bearbeitungsprofil je Mengeneinheit festgelegt, kann daraufhin der Gesamtkapazitätsbedarf je Zeiteinheit in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge ermittelt werden.

Über die beiden Kern-Bedarfstreiber hinaus existieren weitere zu berücksichtigende Faktoren. Diese weiteren Bedarfstreiber beziehen sich insbesondere auf das unternehmensspezifische Produktionssystem und dessen individuelle Ausprägungen. So führen KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) in der vorgeschlagenen Berechnungsformel für Betriebsmittelbedarfe den Zeitnutzungsgrad¹⁵ der Fertigungsanlagen als Faktor an. Dieser reduziert die tatsächlich verfügbare Maschinenkapazität beispielsweise aufgrund von Ausschuss, Nacharbeit oder Arbeitsablaufstörungen (GRUNDIG 2009). Instrumentalisiert als Planungslogik für die QBBP kann eine Verringerung des Zeitnutzungsgrades folglich eine Erhöhung des Bedarfs an Betriebsmitteln bedeuten, um Kapazitätsverluste aufgrund der reduzierten Netto-Produktionszeit auszugleichen. Ein verringerter Zeitnutzungsgrad kann dabei auch durch eine Reduktion der Taktzeit ausgeglichen werden. In der QBBP ist bei der Berücksichtigung dieses Aspekts somit genau darauf zu achten, dass er nicht zweifach in die Berechnung einbezogen wird. In der industriellen Großserienproduktion wird der angestrebte Zeitnutzungsgrad gemäß den empirisch erhobenen Daten projektübergreifend jedoch nur in Ausnahmefällen variiert.

Der Einfluss des Automatisierungsgrades ist eine weitere Logik, die bei der QBBP zu berücksichtigen ist. Interviews mit Planungsexperten (vgl. Kapitel 3.1) ergaben, dass dieser Faktor unternehmensüber-

¹⁵ häufig auch als Anlagenverfügbarkeit bezeichnet (vgl. FREUND 2010; KROPIK 2009; MELING 2013; SCHENK & WIRTH 2004)

greifend eine unterschiedlich große Bedeutung hat, da der Automatisierungsgrad in manchen Industriezweigen praktisch nicht mehr variiert wird, in anderen jedoch, dem allgemeinen Trend folgend, steigt. Grundsätzlich bedingt die verstärkte Automatisierung von Fertigungsschritten einen erhöhten Bedarf an Automatisierungskomponenten. Ein gesteigerter Anteil an manuellen Tätigkeiten hat einen entgegengesetzten Effekt. Eine Variation des Automatisierungsgrades kann sich folglich direkt auf den Betriebsmittelbedarf auswirken.

Darüber hinaus kann auch der im Rahmen eines Planungsprojektes ausgewählte Standort Besonderheiten mit sich bringen, die sich auf den Betriebsmittelbedarf auswirken. Unter diesem Aspekt sind beispielsweise Einflüsse durch die Struktur der Fertigungsgebäude zu verstehen. Insbesondere der Bedarf an Betriebsmitteln, die Förderaufgaben erfüllen, kann beispielsweise durch die räumliche Trennung der zu verbindenden Produktionsabschnitte signifikanten, standortbedingten Schwankungen unterliegen. Gemäß den Ergebnissen der empirischen Studie spielen landesspezifische Unterschiede in der Praxis hingegen nur noch eine untergeordnete Rolle.

Als weiterer spezifizierender Bedarfstreiber sind Flexibilisierungsansätze in der Anlagenplanung zu nennen. Unterschiedliche Produkte bringen verschiedene fertigungstechnische Eigenschaften mit sich und bedingen somit andere Fertigungsabläufe bzw. -inhalte. Sie weisen folglich unterschiedliche Bearbeitungsprofile auf (vgl. HAUNSTETTER 2010). Die Ergebnisse der durchgeführten empirischen Studie belegen, dass dieser Aspekt in den Unternehmen für wichtig erachtet wird und weiter ausgebaut wird. Dies ist bei der QBBP zu beachten, da zusätzliche Arbeitsinhalte in der Regel auch zusätzliche Betriebsmittel erfordern. Der Bedarfstreiber Anlagenflexibilität wird infolgedessen maßgeblich durch die Produktdiversität beeinflusst. In Abhängigkeit davon, wie viele wie unterschiedliche Erzeugnisse bei der Planung einer Fertigungslinie berücksichtigt werden müssen, kann diese Planungslogik einen starken Einfluss haben (vgl. Kapitel 3.1).

Durch einige Interviewpartner wurde im Rahmen der empirischen Studie zudem betont, dass technische Vorgaben wie unternehmensspezifische Gestaltungsrichtlinien bzw. technische Standards für Fertigungsanlagen die quantitativen Betriebsmittelbedarfe signifikant beeinflussen können. Ändern sich beispielsweise vorkonfigurierte Anlagenmodule, Sicherheitsvorschriften oder Vorgaben zu Prüfmethoden kann sich dies direkt auf die QBBP auswirken. Zudem kann auch der technische Fortschritt erheblichen Einfluss auf die Betriebsmittelbedarfe haben. Zusammenfassend wird dieser Bedarfstreiber daher im Folgenden als *technische Veränderungen* bezeichnet.

4.2.2 Ergänzende Planungslogiken

Die Gesamtheit der zuvor spezifizierten Planungslogiken dient ausschließlich der Ermittlung der Soll-Kapazitätsgrößen. Für den Planungsgrundfall des Neubaus ergeben sich daraus der aufzubauende Kapazitätsbedarf bzw. die zu beschaffenden Betriebsmittel. Für die Umgestaltung oder Erweiterung von Industriebetrieben (vgl. Kapitel 2.1.2) sind hingegen bestehende und weitergenutzte Betriebsmittel zu berücksichtigen. Der Soll-Ist-Abgleich der Kapazitätsgrößen wird somit ebenfalls zu einer essentiellen Planungslogik, wie es auch Abbildung 4-4 (S. 51) veranschaulicht. Ist ein Teil der benötigten Betriebsmittel bereits vorhanden, so muss dieser nicht neu beschafft werden und muss in der QBBP daher zum Abzug gebracht werden.

Bei der Planung quantitativer Betriebsmittelbedarfe kann es darüber hinaus auch vorkommen, dass Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug berücksichtigt werden sollen, die durch die zuvor erläuterten Planungslogiken nicht abgedeckt werden. Dies trifft auf Umfänge zu, die nicht in Zusammenhang mit den Bearbeitungsprofilen der zu fertigenden Produkte stehen aber dennoch in der Planung berücksichtigt werden sollen. Besteht ein solcher Zusammenhang nicht, sind die entsprechenden Betriebsmittel separat zu erfassen. Die Erstbevorratung mit Ersatzteilen bzw. -maschinen, der Einsatz eines Betriebsmitteltyps in einem nicht produzierenden Bereich wie der Logistik oder auch die Ausstattung von betriebsinternen Schulungseinrichtungen können als Beispiele für derartige Umfänge genannt werden.

Schließlich ist insbesondere für die deterministische Vorgehensweise bei der QBBP in den späteren Phasen als Planungslogik zu verankern, dass die Bedarfstreiber auch in anderen Teilprozessen der Fabrikplanung verarbeitet werden. Den meist erheblichen Aufwand, der in der Grob- und vor allem der Feinplanung in die zunehmend detaillierte Konkretisierung der Fertigungsanlagen fließt, kann sich die QBBP zunutze machen. Sobald detailliertere Daten vorhanden sind, als sie der mathematisch-statistische Ansatz der QBBP in den frühen Phasen liefert, ist auf diese deterministisch geplanten, verlässlichen Informationen zurückzugreifen.

4.3 Planungsintelligenzen der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Für die Entwicklung einer Planungsmethodik müssen die Planungslogiken (vgl. Abbildung 4-4, S. 51) für ihre konkrete Anwendung instrumentalisiert werden (vgl. Abbildung 4-1, S. 45). Mit dem Ziel, eine valide Planung zu ermöglichen, zeigen die nachfolgend erarbeiteten Planungsintelligenzen auf, wie die Bedarfstreiber im Einzelnen in der Planung zu berücksichtigen sind. So wird auch die Grundlage für die darauf aufbauenden Methoden geschaffen. Abbildung 4-5 veranschaulicht die Strukturierung der Planungsintelligenzen für die QBBP und verdeutlicht auf welchen Logiken sie jeweils aufbauen (vgl. auch Kapitel 2.1.1). Aus den beiden Kern-Bedarfstreibern *Ausbringungsmenge* und *Bearbeitungsprofil* lassen sich zunächst die *taktspezifische Bestandskapazität* (4.3.1) sowie das *produktspezifische Bearbeitungsprofil* (4.3.2) herleiten. Liegen diese vor, kann auf Grundlage entsprechender Vergleichsdatensätze eine erste Bedarfsschätzung ermittelt werden (4.3.3 bzw. 4.3.4). Mit Hilfe der im Anschluss detaillierten Planungsintelligenz *Veränderungen des Produktionssystems* (4.3.5) kann diese erste Bedarfsschätzung verfeinert werden. Unter 4.3.6 und 4.3.7 werden die in Kapitel 4.2.2 dargestellten, ergänzenden Planungslogiken ebenfalls in anwendbare Intelligenzen überführt und damit die grundlegenden Werkzeuge zur Ermittlung des Betriebsmittelbedarfs komplettiert. Abschließend wird in Abschnitt 4.3.8 auf die Planung in jenen späteren Phasen eingegangen, in denen die QBBP auf bestehende, deterministisch ermittelte Daten aus der Fabrikplanung zurückgreifen kann. Die in diesem Kapitel kurz gehaltenen Anschauungsbeispiele dienen in erster Linie dem Verständnis. Für die konkrete Anwendung der ausgearbeiteten Planungsintelligenzen sei an dieser Stelle auf Kapitel 5 verwiesen, in dem das Vorgehen anhand eines Fallbeispiels ausführlich veranschaulicht und für die spätere Anwendung weiter detailliert wird.

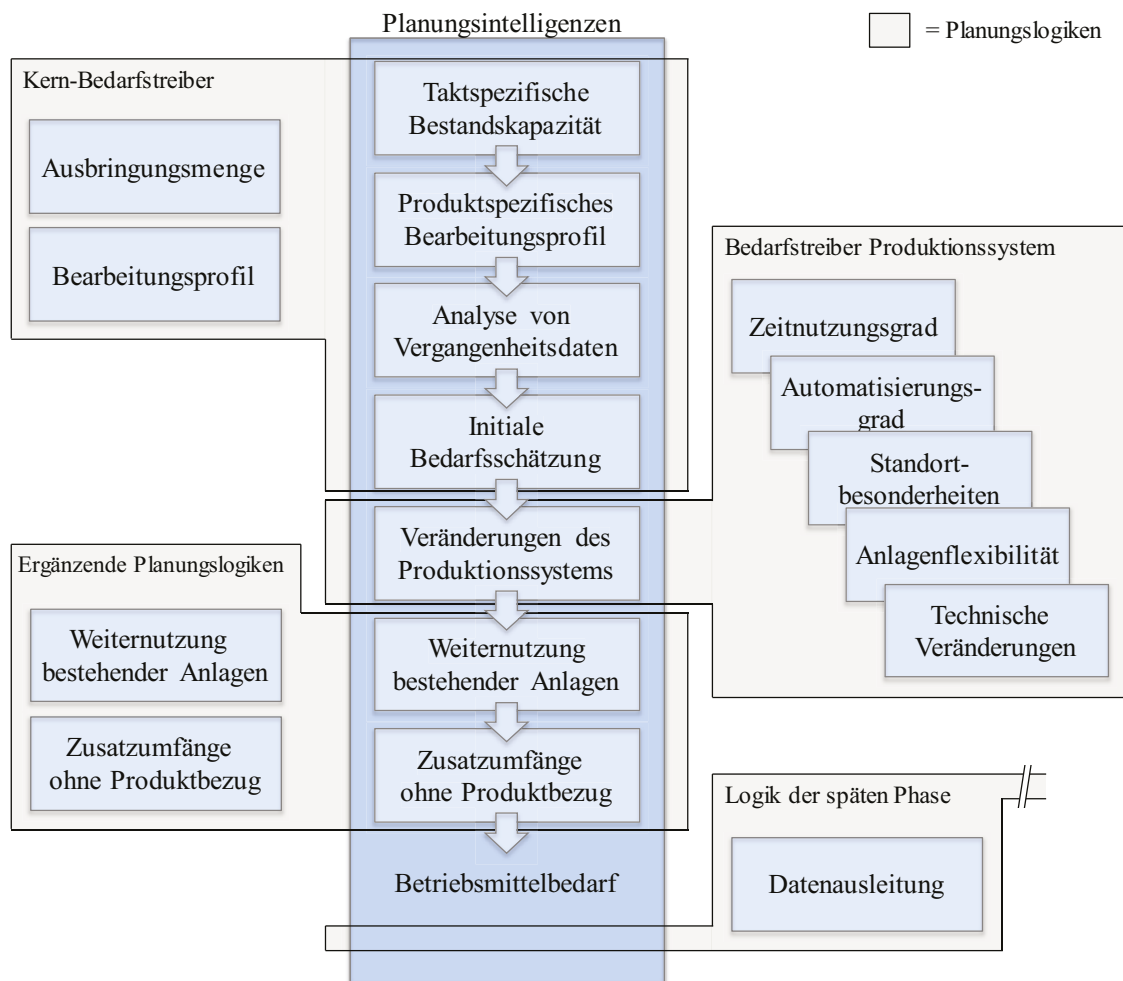


Abbildung 4-5: Ableitung von Planungsintelligenzen aus den Planungslogiken

Während routinierte Mitarbeiter häufig implizit extrapolieren, bedingt die Anforderung der Reproduzierbarkeit späterer Ergebnisse unter gegebenen Umständen eine mathematisch-statistische Vorgehensweise und dafür eine genaue Analyse bestehender Daten. Hierfür eignen sich gemäß REFA (1985a) verschiedene stochastische Analysemethoden. Dabei werden Beziehungen zwischen variablen Größen auf Basis von Vergangenheitsdaten untersucht. Als Grundlage für diese Untersuchung liefern die Planungslogiken jene Kausalzusammenhänge, die es zu testen gilt. Für metrisch skalierte Merkmale ist hierfür die Regressionsanalyse das Mittel der Wahl (vgl. LIPPE 1993).

Der maßgebliche Kausalzusammenhang der QBBP besteht darin, dass die Maschinenkapazitäten in Relation zu den Umfängen an durchzuführenden Fertigungsoperationen stehen. Unter Annahme der Vollauslastung der Anlagen kann von einem approximiert linearen Zusammenhang ausgegangen werden. Eine solche Herangehensweise eignet sich insbesondere für die praktische Anwendung, da sie der Handhabbarkeit und Interpretierbarkeit zugutekommt (LIPPE 1993). So kann eine Verdoppelung der Produktionsmenge (Kapazitätsbedarf) vereinfachend dargestellt durch eine Verdoppelung der physischen Fertigungseinrichtungen (vorhandene Kapazität) bewältigt werden. Gemäß den Ausführungen nach REFA (1985a) lassen sich derartige Zusammenhänge in begrenzten Intervallen meist durch eine lineare Funktion darstellen. Vor diesem Hintergrund wird die zu untersuchende Relation im Folgenden mit Hilfe einer einfachen linearen Regressionsanalyse überprüft. Diese ist ein statistisches Analyseverfahren zur

Modellierung der Beziehungen zwischen einer abhängigen (erklärende) und einer oder mehreren unabhängigen (erklärenden) Variablen. Gemäß BACKHAUS ET. AL. (2006) findet die Regressionsanalyse insbesondere Anwendung, um quantitative Zusammenhänge zu charakterisieren. Darüber hinaus eignet sie sich im Allgemeinen, um Werte der abhängigen Variable zu prognostizieren. Die Regressionsanalyse wird im Rahmen der QBBP-Methodik herangezogen, um den Zusammenhang zwischen den Maschinenkapazitäten (4.3.1) und den Umfängen an durchzuführenden Fertigungsoperationen (4.3.2) auf Basis von Vergangenheitsdaten zunächst genauer zu charakterisieren (4.3.3). Aufbauend auf den dabei gewonnen Ergebnissen dient sie für die QBBP im Wesentlichen als Prognosewerkzeug (4.3.4). Die praktische Anwendung und grafische Darstellung der Regressionsanalyse im Rahmen der QBBP-Methodik wird in Kapitel 5.2.4 detailliert.

4.3.1 Taktspezifische Bestandskapazität

Im Rahmen der Berechnungsmethode nach KETTNER, SCHMIDT & GREIM (1984) wird genauer spezifiziert, wie die Variablen *vorhandene Betriebsmittelzeit* und *erforderliche Bearbeitungszeit je BM-Typ* für den Zeitraum von einem Jahr berechnet werden können (vgl. Kapitel 3.2.3). Dabei ist zu beachten, dass die Betriebszeiten und damit die Betriebsmittelzeit pro Jahr in der Regel einfacher variiert werden können als die Produktionstechnik. Sollen die beiden eingangs genannten Variablen zu Analyse Zwecken herangezogen werden, kann die Notwendigkeit einer perioden- und standortübergreifenden Vergleichbarkeit bestehen. Angesichts potentiell unterschiedlicher Betriebszeiten kann diese Vergleichbarkeit jedoch erschwert werden, da der Einfluss der variablen Betriebszeiten eine Unschärfe in die Berechnung der benötigten Betriebsmittel einbringt und daher zahlreiche Zusatzinformationen eingeholt werden müssen. Dies legt eine alternative Bezugszeit nahe, die einheitlich messbar und kurz genug ist, um den Einfluss jener Faktoren zu nivellieren, die die Kapazität über die Produktionstechnik hinaus beeinflussen. Diese Arbeit schlägt die Taktzeit als Bezugsgröße vor. Dies ermöglicht die aufwandsarme Ermittlung von perioden- und standortübergreifenden Kapazitätsbeständen. Der Definition nach REFA folgend, nach der der Takt jene Zeit ist, „in der jeweils eine Mengeneinheit fertiggestellt wird, damit das Fließsystem die Soll-Mengenleistung erbringt“ (REFA 1985b: S. 282) sind unterschiedliche Zeitznutzungsgrade darin bereits berücksichtigt. Somit spiegelt die durchschnittliche Taktzeit als Bezugsgröße die tatsächliche Betriebsmittelzeit je gefertigter Einheit (vgl. Abbildung 2-5, S. 14) wieder und in der Summe die vorhandene Gesamtzeit je BM-Typ je Takt. Insbesondere in den frühen Planungsphasen steht in der Industrie jedoch häufig die Ausbringungsmenge im Vordergrund und weniger die Taktzeit. Die Umrechnung zwischen diesen beiden Größen kann unternehmensspezifisch variieren (vgl. Kapitel 2.1.3).

Die *taktspezifische Bestandskapazität* wird im Folgenden für die Berechnungen herangezogen. Durch eine Multiplikation mit der produzierten Stückzahl lässt sich daraus eine klassische Kapazitätsgröße herleiten (vgl. KETTNER, SCHMIDT & GREIM 1984). Fertigungsunterstützende Funktionen wie Messen oder Fördern werden bei den entsprechenden Betriebsmitteltypen gleichermaßen in die Betrachtung einbezogen. Die indirekte Relation zu den eigentlichen Fertigungsaufgaben führt folglich zu Kapazitätsgrößen synthetischen Charakters. Als Beispiel kann eine zentrale Steuerungseinheit genannt werden, die zwar mehrere direkt am Fertigungsprozess beteiligte Betriebsmittel schalten kann, jedoch nicht direkt

am Produktionsprozess beteiligt ist. Die Eignung solch synthetischer Kapazitätsgrößen zu Planungszwecken gilt es demnach zu untersuchen.

Für die Ermittlung der *taktspezifischen Bestandskapazität* ergibt sich:

$$k_{ATij} = b_{Aij} \times \bar{t}_{Tj} \quad (4.1)$$

k_{ATij} Taktspezifische Bestandskapazität k_{AT} von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]

b_{Aij} Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

$\bar{t}_{Tj}$ Durchschnittliche Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]

Für spätere Analysen und Prognosen stellt die Kapazitätsgröße die interessierende Größe, die abhängige Variable dar, die es zunächst statistisch zu erklären und daraufhin zu prognostizieren gilt (vgl. Kapitel 4.3.3 bzw. 4.3.4).

4.3.2 Produktspezifisches Bearbeitungsprofil

Um die abhängige Variable Kapazität im Rahmen einer Regressionsanalyse erklären und daraufhin prognostizieren zu können gilt es, eine unabhängige und damit erklärende Variable zu identifizieren (vgl. Kapitel 4.3). Den bisherigen Erkenntnissen folgend wird der Variable *taktspezifische Bestandskapazität* im Folgenden die Erzeugnisseite in Form der durchzuführenden Fertigungsumfänge je Produkt gegenübergestellt. Diese können auf Basis der Fertigungs- und Rüstzeiten ebenfalls als Zeitgröße ausgedrückt werden (vgl. ERLACH 2010). Sind keine konkreten Fertigungszeiten je Betriebsmitteltyp verfügbar, können auch Größen anderer Dimension zu Analysezwecken herangezogen werden, insofern sie eine quantifizierte Beschreibung der produktbedingten Fertigungsumfänge auf aggregiertem Niveau ermöglichen. So hat sich in der Automobilindustrie beispielsweise der Rückgriff auf Füge- bzw. Verbindungsäquivalente etabliert, unter anderem zur Bewertung des Fertigungsaufwands von Rohkarosserien (vgl. MÜLLER ET. AL. 2009; RICHTER 2007; TESCH 2010). Dabei wird ein Fügeverfahren als Referenzwert definiert und die übrigen eingesetzten Fügeverfahren in einer einheitlichen Dimension (z.B. Investitionsaufwand pro Fügevorgang) relativ zu dieser Referenz bewertet. Dieser Ansatz wird nachfolgend detailliert und ein veranschaulichendes Beispiel für die Anwendung solcher Verbindungsäquivalente wird in Kapitel 5.2.2 gegeben. Werden Produktionsanlagen für mehrere Erzeugnisse (Produktgruppen) genutzt, sind zu Berechnungszwecken die Maximalwerte der jeweils durchzuführenden Fertigungsumfänge heranzuziehen. Zusammenfassend kann als zweite Variable neben der *taktspezifischen Bestandskapazität* der produkt- bzw. produktgruppenspezifische Kapazitätsbedarf festgehalten werden, der in der Regressionsanalyse das zu fertigende Erzeugnis repräsentiert.

Wenn eine Zeitgröße zur Angabe des produkt- bzw. produktgruppenspezifischen Kapazitätsbedarfs herangezogen werden soll, lässt sich diese in Anlehnung an GRUNDIG (2009) als Summe der Fertigungs- und Rüstzeit eines Produktes ermitteln (vgl. Kapitel 3.2.3):

$$t_{bB_{ij}} = \bar{t}_{R_{ij}} + \bar{t}_{F_{ij}} \quad (4.2)$$

$t_{bB_{ij}}$	Bedarf an Betriebsmittel-Grundzeit ¹⁶ t_{bB} für BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]
$\bar{t}_{R_{ij}}$	Durchschnittliche Rüstzeit t_R einer Produktgruppe auf BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]
$\bar{t}_{F_{ij}}$	Durchschnittliche Fertigungszeit t_F einer Produktgruppe auf BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]

Eine Vereinfachung dieser Herangehensweise ist möglich wenn weitere Aspekte in Betracht gezogen werden, die der gewählte Ansatz im Rahmen der getakteten Fließfertigung mit sich bringt. So gehen Bestrebungen zur Steigerung der Produktivität sowie zur losweisen Produktion häufig mit einer Minimierung der Rüstzeiten einher (vgl. AHUJA 2012; SALEESHYA, AUSTIN & VAMSI 2013). Zu diesem Trend kommt hinzu, dass für die Regressionsanalyse eine große Anzahl Datensätze untersucht wird, die die Fertigung eines Unternehmens im Querschnitt repräsentieren. Kapazitätsvorhalte für Rüst- oder Störzeiten sind darin bereits anteilig enthalten. Vor diesem Hintergrund ist zu reinen Analyse- bzw. Prognosezwecken auch eine auf die Fertigungszeit beschränkte Betrachtung vorstellbar.

Alternativ können die durchzuführenden Fertigungsoperationen anhand ihres tatsächlichen quantitativen anstelle des zeitlichen Umfangs beschrieben werden. Dies kann das abzutragende Materialvolumen in der spanenden Fertigung ebenso sein wie die Zahl der zu platzierenden Bauelemente bei der SMD-Bestückung oder Nahtlängen in der Textilfertigung. Als Kapazitätsgröße werden diese Umfänge im Folgenden allgemein als (*quantitative*) *Fertigungsinhalte* (FI) bezeichnet. Am Entstehungsprozess vieler Endprodukte sind in der Regel jedoch zahlreiche verschiedene Produktionsverfahren beteiligt. Dies führt zunächst auch zu mehreren verfahrensspezifischen Werten für die *Fertigungsinhalte*. Hängt der Bedarf eines BM-Typs von mehreren Produktionsverfahren ab, ist eine vereinfachende, verfahrensübergreifende Aggregation dieser Werte anzustreben. Zu diesem Zweck muss zunächst eine Vergleichbarkeit der Werte nach einer einheitlichen Dimension hergestellt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird hierfür der Investitionsaufwand in *Geldeinheiten* (GE) pro Einheit des jeweiligen *Fertigungsinhalts* (FI) vorgeschlagen, da ein Kausalzusammenhang zu den Betriebsmittelbedarfen besteht und diese Kennzahl Potential zur Verwendung auch für andere Zwecke wie die Investitionsplanung bietet. Auf Basis dieser Kennzahl ist ein einzelner *Fertigungsinhalt* als Referenz heranzuziehen und die anderen Produktionsverfahren nach ihrem Investitionsaufwand in Äquivalente des *Referenz-Fertigungsinhalts* umzurechnen. Für diese Äquivalente wird die Einheit *Normierte Fertigungsinhalte* (NFI) eingeführt.

Für die konkrete Anwendung bedeutet dies zunächst die Ermittlung eines Referenzwertes:

$$\mu^* = \frac{I_{v^*}}{w_{t^*_{v^*}}} \quad (4.3)$$

¹⁶ vgl. Abbildung 2-5, S. 14

μ^*	Referenzwert für die Investitionen pro normiertem Fertigungsinhalt [GE/NFI]
I_{v^*}	Investitionskosten für eine exemplarische Produktionsanlage für das Referenz-Fertigungsverfahren v^* [GE]
$w_{t^*_{v^*}}$	Fertigungsinhalte des Referenz-Fertigungsverfahrens v^* , die auf einer exemplarischen Produktionsanlage in einem festzulegenden Referenz-Zeitintervall t^* ausgeführt werden können [NFI]

Das Referenz-Zeitintervall t^* kann für die Berechnung beliebig gewählt werden. Es ist für alle einzubeziehenden Fertigungsverfahren auf Anwendbarkeit zu prüfen. Für die einzelnen Produktionsverfahren sind im nächsten Schritt die entsprechenden Vergleichswerte zu berechnen:

$$\mu'_v = \frac{I_v}{w_{t^*_v}} \quad (4.4)$$

μ'_v	Vergleichswert für die Investitionen pro Fertigungsinhalt des Fertigungsverfahrens v [GE/FI]
I_v	Investitionskosten für eine exemplarische Produktionsanlage für das Fertigungsverfahren v [GE]
$w_{t^*_v}$	Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens v , die auf einer exemplarischen Produktionsanlage in dem Referenz-Zeitintervall t^* ausgeführt werden können [FI]

Auf Basis dieser Werte lassen sich die unterschiedlichen *Fertigungsinhalte* anhand ihres Investitionsaufwands in eine einheitliche Größe umrechnen:

$$\mu_v = \frac{\mu^*}{\mu'_v} \quad (4.5)$$

μ_v	Umrechnungsfaktor für Fertigungsverfahren v [NFI/FI]
---------	--

Anhand der sich ergebenden Faktoren lassen sich die verschiedenen *Fertigungsinhalte* in *normierte Fertigungsinhalte* umrechnen:

$$w_{N_p} = w_{v^*_p} + \sum_{v=1}^n (w_{v_p} \times \mu_v) \quad (4.6)$$

w_{N_p}	Normierte Fertigungsinhalte w_N des Produktes p [NFI]
$w_{v^*_p}$	Mit Produkt p einhergehende Fertigungsinhalte des Referenz-Fertigungsverfahrens v^* [NFI]

w_{v_p} Mit Produkt p einhergehende Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens v [FI]

Die konkrete Anwendung dieser Planungsintelligenz wird anhand eines realen Anwendungsbeispiels in Kapitel 5.2.2 veranschaulicht.

Grundsätzlich können mit diesem Vorgehen alle eingesetzten Produktionsverfahren zusammengefasst werden, die Aggregation ist bei der Anwendung jedoch auf ein inhaltlich sinnvolles Maß zu beschränken. Dies bedeutet beispielsweise, dass eine Normierung über die Grenzen unterschiedlicher Fertigungsbereiche hinweg in der Regel zu verfälschten Ergebnissen führen wird und daher vermieden werden sollte. Der Grund hierfür liegt in der Unterschiedlichkeit der involvierten Prozesse, die bereichsübergreifend in der Regel größer ist und sich zumeist an den resultierenden (Zwischen-)Erzeugnissen festmachen lässt. Je stärker sich die (Zwischen-)Erzeugnisse von Produktionsprozessen voneinander unterscheiden, desto mehr spricht dafür, die Betrachtung auf unterschiedlichen Normierungen bzw. mehreren Referenz-Fertigungsverfahren aufzubauen. Mit steigender Zahl der Normierungs-Maße w_{N_p} bzw. NFI_n erhöht sich zwar der Berechnungsaufwand, doch die Heterogenität eines gesamthaften Fertigungsprozesses kann dies erforderlich machen. Im Einzelfall ist zwischen Aufwand und Ergebnisqualität abzuwägen.

Die zugrunde liegende Planungslogik unterstreicht darüber hinaus die Berücksichtigung der Fertigungstiefe als wesentlichen Punkt, um Fehlplanungen zu vermeiden. Für die Ermittlung des Kapazitätsbedarfes müssen jene Fertigungsschritte abgezogen werden, die zunächst in die Berechnung einbezogen wurden, aber nicht unternehmensintern durchgeführt werden. Insbesondere wenn sich in der industriellen Großserienproduktion die Fertigungstiefe gegenüber vorangegangenen Planungsprojekten ändert, ist diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

4.3.3 Analyse von Vergangenheitsdaten

Die Regressionsanalyse wurde zuvor als geeignetes Werkzeug zur Unterstützung der QBBP identifiziert (vgl. Kapitel 4.3). Sie dient, vereinfachend formuliert, der Modellierung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen. Eine der Variablen kann daraufhin in Abhängigkeit von der zweiten prognostiziert werden. Mit der Konkretisierung der *taktspezifischen Bestandskapazität* (vgl. Formel (4.1)) und des produkt- bzw. *produktgruppenspezifischen Bearbeitungsprofils* (vgl. Formel (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6)) sind die Variablen für die einfache lineare Regressionsanalyse im Rahmen der QBBP spezifiziert. Abbildung 4-6 nimmt Bezug auf die zuvor dargestellten Bedarfstreiber (vgl. Abbildung 4-4, S. 51) und verdeutlicht vor diesem Hintergrund den Fokus der Planungsintelligenzen, die zu einer ersten Bedarfschätzung führen.

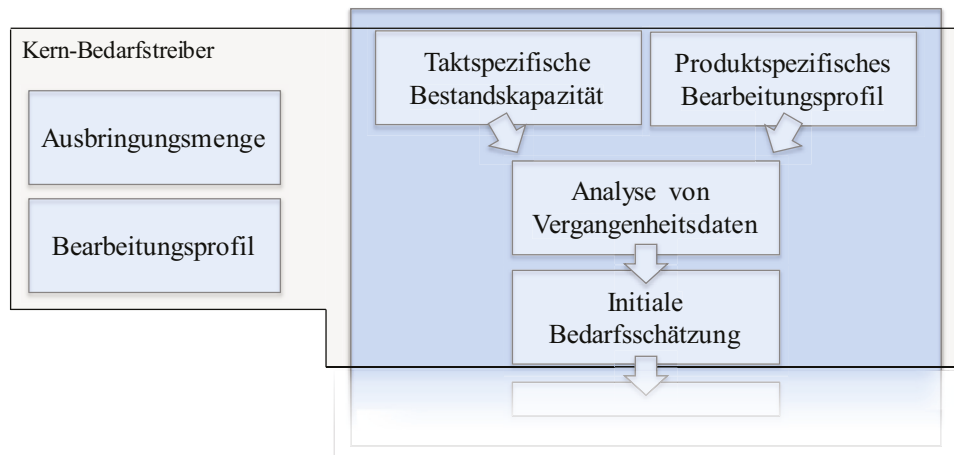


Abbildung 4-6: Planungsintelligenzen zur Analyse des Zusammenhangs zwischen den Kern-Bedarfstreibern und den bestehenden Betriebsmitteln

Die Untersuchung von Vergangenheitsdaten mit Hilfe der Regressionsanalyse liefert die Grundlage für spätere Bedarfsschätzungen, indem man sich den dabei quantifizierten Zusammenhang zwischen den zwei untersuchten Variablen für die QBBP zunutze macht. Bei der Auswahl der in die Untersuchung einzubeziehenden Datensätze ist darauf zu achten, dass diese das aktuelle Produktionssystem eines Unternehmens adäquat widerspiegeln. Jeder Datensatz repräsentiert dabei einen einzelnen Fertigungsabschnitt¹⁷ und besteht im Kern aus dessen *taktspezifischer Bestandskapazität* einerseits und dem entsprechenden *produktspezifischen Bearbeitungsprofil* andererseits. In den darauffolgenden Berechnungsschritten ist die Art der Abhängigkeit zwischen den beiden Variablen zu bestimmen.

Zu diesem Zweck bedarf es zunächst der statistischen Grundlage. Eine lineare Regression lässt sich allgemein durch folgende Formel beschreiben (vgl. LIPPE 1993), die im Folgenden auf den Anwendungsfall der QBBP übertragen wird (vgl. Formel (4.8)):

$$\hat{y} = \beta x + a \quad (4.7)$$

$\hat{y}$	Schätzwert für Regressand (auch: zu erklärende bzw. abhängige Variable)
β	Regressionskoeffizient
x	Regressor (auch: einflussausübende, erklärende bzw. unabhängige Variable)
a	Regressionskonstante

Zur visuellen Unterstützung können die beiden gewählten Variablen in einem x-y-Diagramm gegeneinander aufgetragen werden, wie Abbildung 4-7 vereinfachend exemplarisch veranschaulicht.

¹⁷ Abweichende Granularitätsebenen, beispielsweise in Form ganzer Fertigungsbereiche oder einzelner Produktionsanlagen, können gleichermaßen berechnet werden, insofern die Daten zu den produktspezifischen Fertigungsinhalten in passender Granularität vorliegen.

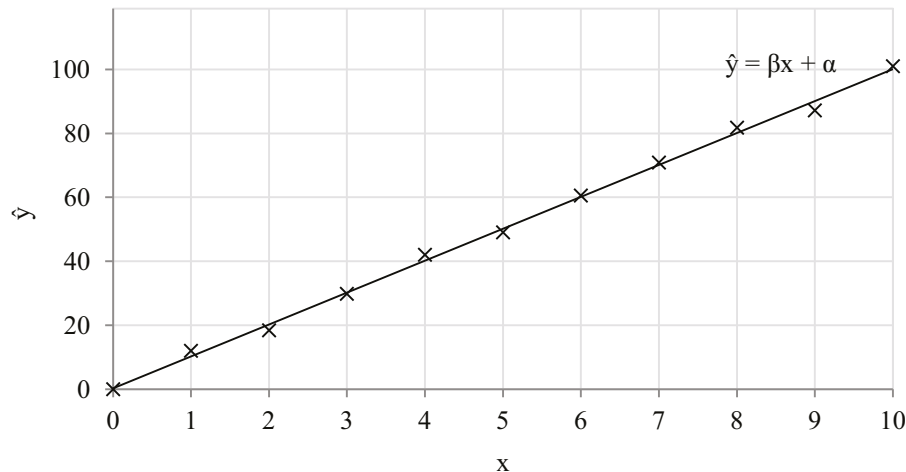


Abbildung 4-7: Exemplarische grafische Darstellung einer linearen Regression mit Regressionsgerade

Ein solches Diagramm legt im Rahmen der QBBP grafisch dar, mit welchen *taktspezifischen Bestandskapazitäten* an Betriebsmitteln die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* bisher abgedeckt werden (vgl. Kapitel 5.2.4). Dabei werden eventuelle Ausreißer bei den Datenpunkten deutlich und ihnen kann gezielt auf den Grund gegangen werden.

Eine deutliche Erhöhung der Anzahl an Bearbeitungsvorgängen führt, ohne eine Variation des Betriebsmitteltyps, stets zu einem Mehrbedarf an entsprechenden Betriebsmitteln. Aufgrund dieses kausalen Zusammenhangs ist die Steigung der Regressionsgerade grundsätzlich positiv. Um Unschärfen an den Rändern des Definitionsbereichs vorzubeugen, wird daher der Ursprung als Ausgangspunkt der Regressionsgerade für die weiteren Analyseschritte festgelegt. Viele Zusammenhänge der Naturwissenschaften und Technik legen eine solche Homogenisierung des Analysemodells nahe (TOUTENBURG 2004). Die Regressionskonstante α hat folglich den Wert Null und die Steigung β der Regressionsgerade ist stets positiv. Aufbauend auf Formel (4.7) und unter Verwendung der *normierten Fertigungsinhalte (NFI)* resultiert folglich:

$$k_{ATij} = \beta_i \times w_{Nj} + u_{ij} \quad (4.8)$$

k_{ATij} Taktspezifische Bestandskapazität k_{AT} von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s], vgl. Formel (4.1)

β_i Regressionskoeffizient bzw. Berechnungskonstante für BM-Typ i

w_{Nj} Normierte Fertigungsinhalte w_N in Fertigungsabschnitt j [NFI], vgl. Formel (4.6)

u_{ij} Abweichung des tatsächlichen y-Wertes für BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

Um auf Basis dieser Daten Vorhersagen treffen zu können, muss zunächst der Regressionskoeffizient bestimmt werden, der grafisch die Steigung der Regressionsgerade beschreibt und damit ein Maß für den Einfluss der unabhängigen auf die abhängige Variable darstellt. Die mathematische Berechnung des

Regressionskoeffizienten folgt damit den statistischen Formelwerken (vgl. TOUTENBURG 2004) unter Einsatz der einzelnen Variablen der QBBP:

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^n (w_{N_j} \times k_{AT_{ij}})}{\sum_{j=1}^n w_{N_j}^2} \quad (4.9)$$

Der Regressionskoeffizient β_i beschreibt im Rahmen der QBBP somit das Ausmaß des Einflusses des *produktspezifischen Bearbeitungsprofils* auf die *taktspezifische Bestandskapazität*. Er gibt Aufschluss darüber, mit wie vielen Fertigungsanlagen die Kapazitätsbedarfe der bisher produzierten Erzeugnisse durchschnittlich bewältigt werden¹⁸. Der Wert spiegelt somit im Querschnitt die Produktion eines Unternehmens wieder. Alle Brach- und Störungszeiten sind rechnerisch bereits darin enthalten.

Die Güte des berechneten Zusammenhangs kann mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes¹⁹, beurteilt werden. Für die Berechnung werden erneut die Formelzeichen aus der grundlegenden Statistik (vgl. TOUTENBURG 2004) durch jene der QBBP ausgetauscht:

$$R^2 = \frac{(\sum_{j=1}^n (w_{N_j} \times k_{AT_{ij}}))^2}{\sum_{j=1}^n (w_{N_j})^2 \times \sum_{j=1}^n (k_{AT_{ij}})^2} \quad (4.10)$$

R^2 Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion

Dieser Wert beschreibt den Anteil der durch die Regression erklärten Streuung an der Gesamtstreuung (TUTZ 2000). Eine Aussage, bei welchem Wert des Bestimmtheitsmaßes sich der Regressionskoeffizient wie gut zu Vorhersagezwecken eignet, lässt sich nicht allgemeingültig herleiten. Die Bewertung ist stark von den Randbedingungen der fallspezifischen Analyse, wie Umfang und Qualität der Datenbasis, und dem späteren Genauigkeitsanspruch abhängig. In der Praxis kann beispielsweise für die sehr frühe Vorhersage von Betriebsmittelbedarfen bereits ein sehr schwacher Zusammenhang eine große Hilfe darstellen. Ein niedriges Bestimmtheitsmaß (z.B. 0,3) weist insbesondere auf zusätzliche, in der Kalkulation zu bedenkende Unsicherheiten hin. Zudem legt es eine Prüfung der Zweckmäßigkeit der zugrunde gelegten Annahmen wie der herangezogenen Normierung der Fertigungsinhalte nahe sowie möglicher Extremausprägungen der übrigen Bedarfstreiber in den analysierten Datensätzen. Die statistische Signifikanz des Zusammenhangs ist durch das Bestimmtheitsmaß noch nicht bewertet. Soll über diese eine valide Aussage getroffen werden, ist ein entsprechender Signifikanztest erforderlich. Im nachfolgend erläuterten Fallbeispiel wird ein solcher anhand eines Zahlenbeispiels veranschaulicht (vgl. Kapitel 5.2.4).

¹⁸ Vgl. Kapitel 5.2.4 zur praktischen Anwendung.

¹⁹ Das Bestimmtheitsmaß ist ein statistisches Maß für den erklärten Anteil der Varianz einer abhängigen Variablen durch ein statistisches Modell. Softwarelösungen zur (statistischen) Datenverarbeitung weisen R^2 standardmäßig aus, von der komplexen Herleitung dieser Größe wird an dieser Stelle daher abgesehen. Details sind beispielsweise LIPPE (1993) oder TOUTENBURG (2004) zu entnehmen.

4.3.4 Initiale Bedarfsschätzung

Auf Basis des berechneten Regressionskoeffizienten lassen sich erste Schätzungen über den Bedarf an *taktspezifischer Kapazität* in Abhängigkeit der *Fertigungsinhalte* anstellen:

$$\hat{k}_{BTij} = \beta_i \times w_{Nj} \quad (4.11)$$

$\hat{k}_{BTij}$ Schätzung des taktspezifischen Kapazitätsbedarfs k_{BT} von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j [s]

Anhand des in Formel (4.1) dargestellten Zusammenhangs lassen sich folglich erste Schätzungen des quantitativen Betriebsmittelbedarfs berechnen:

$$\hat{b}_{Bij} = \frac{\beta_i \times w_{Nj}}{t_{Tj}} \quad (4.12)$$

$\hat{b}_{Bij}$ Schätzung des Betriebsmittelbedarfs b_B von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

t_{Tj} Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]

Formel (4.12) bildet die Grundlage einer Berechnungsmethode für quantitative Betriebsmittelbedarfe für die getaktete Fließproduktion. Für die eine konkrete Methode sind jedoch weitere Planungsintelligenzen notwendig.

4.3.5 Veränderungen des Produktionssystems

Industrielle Produktionssysteme räumen den Planungsträgern ein unternehmensspezifisch individuelles Maß an Freiheitsgraden für die Ausgestaltung der Fertigungsanlagen ein. Dies kann im Rahmen eines Planungsprojektes zu unterschiedlich starken Abweichungen von denjenigen Werten führen, die der vorgelagerten Regressionsanalyse zugrunde gelegt wurden. Derartige Abweichungen sind im Wesentlichen auf eine Variation der auf das Produktionssystem bezogenen Bedarfstreiber bzw. Planungslogiken (vgl. Kapitel 4.2.1) zurückzuführen. Die darauf aufbauende Planungsintelligenz, projektspezifische *Veränderungen des Produktionssystems*, bündelt mehrere dieser Logiken, wie Abbildung 4-8 illustriert.

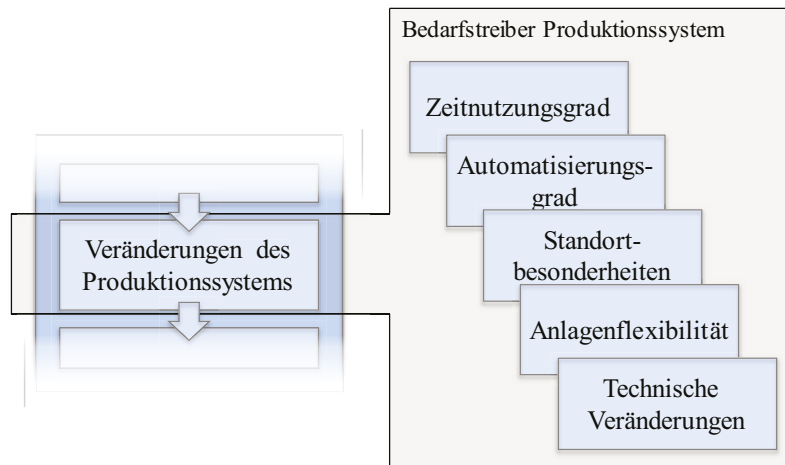


Abbildung 4-8: Planungsintelligenz zu Veränderungen des Produktionssystems

Im Rahmen der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1) konnte bestätigt werden, dass der Einfluss dieser Faktoren von Unternehmen zu Unternehmen variiert. Je nach Unterschiedlichkeit der in die Planung einbezogenen Betriebsmittel können auch betriebsmittelspezifische sowie fertigungsabschnittsspezifische Faktoren notwendig werden. Durch die Berücksichtigung der fünf dargestellten Bedarfstreiber kann ein zunächst geschätzter Betriebsmittelbedarf (vgl. Formel (4.12)) konkretisiert werden. Allerdings stellen die genannten Bedarfstreiber zum Teil Kriterien dar, die schwer quantifizierbar sind und subjektiven Einschätzungen unterliegen. Eine konkrete Quantifizierung auf Basis von Vergangenheitsdaten ist daher in der Regel ebenfalls nicht unter vertretbarem Aufwand möglich. Um dennoch eine objektivierte Bewertung dieser Faktoren zu ermöglichen, ist die in der vorangegangenen Regressionsanalyse bestimmte, durchschnittliche Ausprägung des Produktionssystems eines Unternehmens als Referenzpunkt heranzuziehen. Die Quantifizierung der einzelnen Bedarfstreiber auf dieser Basis wird nachfolgend thematisiert.

Mathematisch können diese Bedarfstreiber für die spätere Verwendung aggregiert werden:

$$\begin{aligned}\Delta_{PS} &= 1 + (\eta - 1) + (\alpha - 1) + (\sigma - 1) + (\varepsilon - 1) + (\tau - 1) \\ &= \eta + \alpha + \sigma + \varepsilon + \tau - 4\end{aligned}\tag{4.13}$$

Δ_{PS}	Faktor für projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems
η	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades (Standardwert: 1,00)
α	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades (Standardwert: 1,00)
σ	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten (Standardwert: 1,00)
ε	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität (Standardwert: 1,00)
τ	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen (Standardwert: 1,00)

Die Faktoren η und α sind mathematisch bestimmbar, da sie die prozentuale Veränderung von bekannten quantitativen Planungsgrößen beschreiben. Bei den Faktoren σ , ε und τ handelt es sich in erster Linie um Schätzfaktoren (vgl. Kapitel 4.1.4). Für die Festlegung dieser Schätzfaktoren sind dem Planungsträger Referenztabelle zur Verfügung zu stellen, die die Quantifizierung unternehmensspezifisch unterstützen und transparenter gestalten. Das Konzept der Referenztabelle wird anhand eines veranschaulichenden Praxisbeispiels in Kapitel 5.3.3 detailliert. Die Aggregation der dargestellten fünf Faktoren zu Δ_{PS} erfolgt additiv.

Für den Planungsgrundfall des Neubaus einer Fertigungsanlage (vgl. Kapitel 2.1.2) ergibt sich eine vorläufige Formel für die Berechnung des Betriebsmittelbedarfs unter Berücksichtigung der projektspezifischen *Veränderungen des Produktionssystems*:

$$b_{Bijneu}^{\sim} = \hat{b}_{Bij} \times \Delta_{PS} \quad (4.14)$$

$b_{Bijneu}^{\sim}$ Vorläufiger Betriebsmittelbedarf $b_B^{\sim}$ von BM-Typ i für den Neubau von Fertigungsabschnitt j

Die zugrunde gelegte Schätzung des Betriebsmittelbedarfs stellt eine rein lineare Extrapolation der Vergangenheitsdaten dar. Der Wert 1,00 als Standardwert der fünf betrachteten Bedarfstreiber repräsentiert den Mittelwert der Vergangenheitsdaten und somit das durchschnittliche Produktionssystem eines Unternehmens. Ist im Rahmen eines Planungsprojektes abzusehen, dass sich das Produktionssystem gegenüber dem ermittelten Querschnitt verändert, sind diese Abweichungen durch Modifikation der einzelnen Faktoren abzubilden. Da Zeitnutzungsgrad und Automatisierungsgrad metrisch skaliert sind, können Abweichungen bei diesen Faktoren direkt quantitativ bewertet werden.

Die übrigen drei Bedarfstreiber sind indes nominal skaliert und können somit nicht direkt in Zahlen ausgedrückt werden. Daher erfolgt eine individuelle Bewertung durch erfahrene Mitarbeiter, die mit den Details des jeweiligen Projektes vertraut sind. Die grafische Darstellung der analysierten Datensätze (vgl. Kapitel 4.3.3) kann hierfür als Hilfestellung herangezogen werden. Führt eine solche Betrachtung beispielsweise zu der Erkenntnis, dass die Erhöhung der Anlagenflexibilität projektspezifisch zu einer Steigerung des Betriebsmittelbedarfs von 20 Prozent gegenüber dem zugrunde gelegten Mittelwert führt, so ist der entsprechende Faktor mit 1,2 anzusetzen. Subjektive Einflüsse können darüber hinaus durch die Zurverfügungstellung von Empfehlungs- bzw. Erfahrungswerten minimiert werden, wie beispielhaft in Kapitel 5.3.3 vorgestellt.

4.3.6 Weiternutzung bestehender Anlagen

Formel (4.14) ermöglicht eine vorläufige Ermittlung der Betriebsmittelbedarfe für neue Fertigungsanlagen. Die Möglichkeit, bestehende Anlagenumfänge im Rahmen eines Planungsprojektes für eine Weiternutzung vorzusehen, findet darin keine Berücksichtigung²⁰. In der industriellen Praxis hat eine solche

²⁰ vgl. auch Abbildung 2-4: Lebenszyklusbetrachtung von Betriebsmitteln, S. 13

(Teil-)Integration neuer Produkte auf vorhandene Produktionslinien als Planungsgrundfall (vgl. Kapitel 2.1.2) allerdings eine große Bedeutung (vgl. MELING 2013). Dies konnte auch im Rahmen der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1) bestätigt werden. Wie in Abbildung 4-9 veranschaulicht, lässt sich eine zielgerichtete Planungsintelligenz zur Berücksichtigung von Integrationsumfängen direkt aus der entsprechenden Planungslogik herleiten.

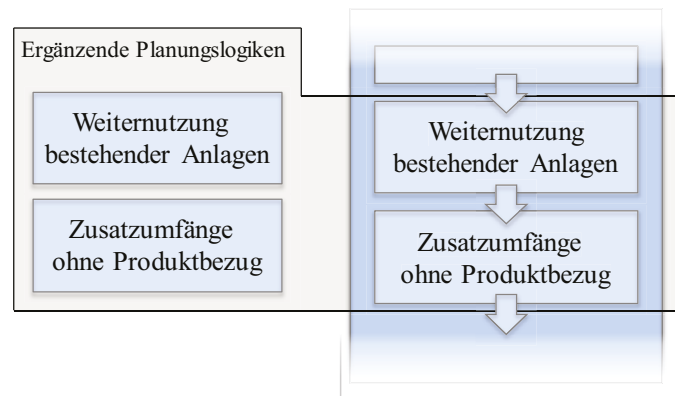


Abbildung 4-9: Planungsintelligenzen in Ableitung der ergänzenden Planungslogiken

Für die adäquate Berücksichtigung der Weinternutzung bestehender Anlagen ist der Soll-Ist-Abgleich maßgeblich, wie bereits in der gleichnamigen Planungslogik betont. Nach der Ermittlung der Soll-Umfänge müssen bestehende und weitergenutzte Betriebsmittel in dem betrachteten Fertigungsabschnitt abgezogen werden:

$$b_{Bij}^{\sim} = b_{Bijneu}^{\sim} - b_{Aij} \quad (4.15)$$

$b_{Bij}^{\sim}$ Vorläufiger Betriebsmittelbedarf $b_B^{\sim}$ von BM-Typ i für Fertigungsabschnitt j

b_{Aij} Weitergenutzter Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

Eventuelle technische Veränderungen können die Zahl der weiterverwendbaren Betriebsmittel reduzieren. Ist die genaue Anzahl der bestehenden und weitergenutzten Betriebsmittel nicht bekannt, kann auch ein prozentualer Schätzwert zum Einsatz kommen:

$$b_{Bij}^{\sim} = b_{Bijneu}^{\sim} \times (1 - \lambda_{Aij}) \quad (4.16)$$

λ_{Aij} Prozentualer Anteil λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j

Für die Festlegung eines solchen Schätzwertes können Erfahrungswerte des Planungsträgers entscheidend sein (vgl. Kapitel 4.1.4). Zur Verbesserung der Transparenz in der Planung empfiehlt sich analog

Kapitel 4.3.5 (vgl. auch Kapitel 5.3.3) zudem der Rückgriff auf Referenztabellen, die auch einem weniger erfahrenen Planungsträger Anhaltspunkte zur Quantifizierung dieser Größe liefern. Für den zuvor spezifizierten prozentualen Anteil weitergenutzter Betriebsmittel wäre dies beispielsweise eine Übersicht über die durchschnittliche prozentuale Verteilung eines Betriebsmitteltyps auf die einzelnen Fertigungsabschnitte.

4.3.7 Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug

Aus Abbildung 4-9 geht hervor, dass neben der *Weinternutzung bestehender Anlagen* eine weitere Planungsintelligenz benötigt wird, um *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug* in der Planung adäquat berücksichtigen zu können. Dies bedeutet Betriebsmittelbedarfe, die nicht direkt mit den fertigungstechnischen Eigenschaften eines Erzeugnisses im Verhältnis stehen, aber in der Planung dennoch berücksichtigt werden müssen. Beispiele für derartige Umfänge sind Test- oder Schulungsanlagen sowie Ersatzteile. Für die genaue Spezifizierung dieser Zusatzumfänge bieten die zuvor detaillierten Planungslogiken und -intelligenzen keine mathematisch-statistische Herangehensweise, da der Produktbezug fehlt. Ein solcher Berechnungsansatz für die indirekten Umfänge ist grundsätzlich denkbar. Davon ausgehend, dass der Großteil der Betriebsmittelbedarfe im direkten Bereich anfällt, wird hier auf eine Berechnung der Zusatzumfänge verzichtet. Stattdessen ist diesbezüglich eine Abschätzung durch erfahrene Mitarbeiter zu bevorzugen (vgl. Kapitel 4.1.4):

$$b_{Bij} = \tilde{b}_{Bij} + b_{Zi} \quad (4.17)$$

b_{Bij} Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

b_{Zi} Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug

Ist ein Absolutwert nicht zu bestimmen, lassen sich die Zusatzumfänge analog Formel (4.16) auch als prozentualer Aufschlag darstellen. Diese Abschätzung sollte durch erfahrene Mitarbeiter erfolgen (vgl. Kapitel 4.1.4).

$$b_{Bij} = \tilde{b}_{Bij} \times (1 + \zeta_{Zi}) \quad (4.18)$$

ζ_{Zi} Prozentualer Aufschlag für Zusatzumfänge BM-Typ i ohne Produktbezug

Dieser Schätzwert stellt eine schwierig zu bestimmende Größe dar, da er weit gefasst ist und damit die Abbildung über Referenztabellen (vgl. Kapitel 4.3.5 bzw. 5.3.3) erschwert wird. Der Faktor ζ_{Zi} kann daher auch als Sicherheitsbeiwert verstanden werden, um einer unklaren Prämissenlage in der frühen Planung Rechnung zu tragen. Die Festlegung dieses Schätzwertes ist im Zweifel mit denjenigen Planungsträgern abzustimmen, die sich für die Zusatzumfänge verantwortlich zeichnen. In der praktischen Anwendung ist ein konkreter Zahlenwert diesem Schätzwert gegenüber stets zu bevorzugen.

4.3.8 Datenausleitung

Im Zusammenspiel zahlreicher Teilprozesse der Produktentstehung sowie der Fabrikplanung nimmt die Informationsdichte mit dem Fortschreiten eines Projektes sukzessiv zu und das Maß an verbliebenen Unsicherheiten gleichermaßen ab. Gemäß Abbildung 4-2 (S. 48) kann die QBBP in den späteren Planungsphasen deshalb von dem zunächst mathematisch-statistisch geprägten Ansatz zu einer deterministischen Vorgehensweise übergehen. Viele Aspekte, deren Ausprägungen zuvor als Bedarfstreiber auf Basis statistischer Modelle geschätzt wurden, sind später im Prozess bereits festgelegt. Abbildung 4-10 verdeutlicht die Stellung der Datenausleitung als Planungsintelligenz zwischen der Betriebsmittelbedarfsplanung und verwandten Prozessen. Die zugrunde liegende Planungslogik ist um Regeln zu erweitern, wann welche Daten aus welcher Quelle zu beziehen sind.

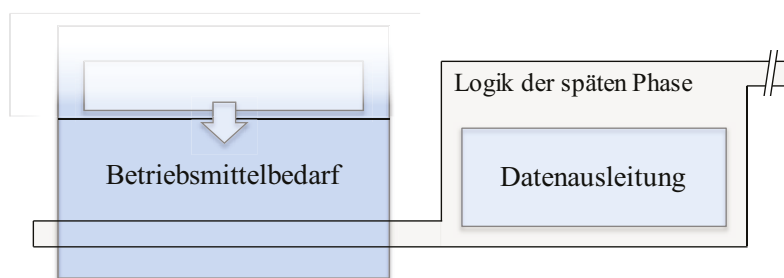


Abbildung 4-10: Planungsintelligenz der Datenausleitung

Ab der Phase der Grobplanung wird die Fabrikplanung zunehmend durch CAX-Systeme²¹ unterstützt. In diesen fließen über unterschiedliche Prozesse vielfältige projektspezifische Informationen zusammen. Dabei stehen die Betriebsmittel insbesondere bei der Anlagenkonstruktion und Layouterstellung im Fokus, da im Rahmen dieser Prozesse alle dafür relevanten Informationen verdichtet werden und die vollständige Detaillierung der Betriebsmittel bis zum Anlagenaufbau stattfindet (vgl. Kapitel 2.1.4). In Relation zur QBBP ist der Ressourceneinsatz für diese Planungsprozesse deutlich höher. Die resultierenden Planungsdaten unterliegen nicht der mathematisch-statistischen Unsicherheit, der der Ansatz der QBBP in den frühen Phasen unterliegt. Die digitalen Werkzeuge zur Unterstützung dieser Prozesse stellen daher eine wichtige Schnittstelle für die QBBP dar. Die Ausleitung von Werten für die einzelnen Bedarfstreiber ist ab der Verfügbarkeit der ersten detaillierten Fertigungslayouts allerdings nicht mehr zielführend. Die zuvor beschriebenen Planungsintelligenzen spielen ab dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit deterministischer Planungsdaten nur noch eine untergeordnete Rolle, da die Gesamtheit der in Kapitel 4.2.1 vorgestellten Bedarfstreiber bereits in die Prozesse der Anlagenkonstruktion und Layouterstellung eingeflossen sind. Aufgrund des deterministischen Charakters dieser Prozesse und des hohen Detaillierungsgrades ist die resultierende Datenqualität als gut bis sehr gut einzustufen. Von besonderem Interesse für die QBBP sind detaillierte Stücklisten, die aus den digitalen Werkzeugen auszuleiten sind. Dabei ist auf einen adäquaten Aggregationsgrad zu achten. Für derartige Anwendungen können digitale Betriebsmittel-Bibliotheken eine wesentliche Unterstützung darstellen (vgl. AZEVEDO & ALMEIDA

²¹ Die Detaillierung der einzubeziehenden Systeme und Schnittstellen ist stark unternehmensabhängig und wird daher in der hier dargelegten theoretischen Herleitung nur in allgemeingültiger Form dargestellt (vgl. auch Kapitel 4.1.3).

2011; BRACHT, KÖNIG & SPIES 2012). Im Rahmen der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1) wurde von Spezialisten aus der Industrie allerdings erwähnt, dass die kontinuierliche Pflege derartiger Stammdaten in der Praxis teilweise an unklaren Zuständigkeiten und dem hohen Aufwand scheitert.

Die eventuelle Weiternutzung bestehender Betriebsmittel muss auch bei der Ausleitung von Daten aus CAX-Systemen beachtet werden. In den ausgeleiteten Stücklisten enthaltene Quantitäten bestehender Betriebsmittel könnten andernfalls zu Fehlbestellungen führen. Die in Kapitel 4.2.2 vorgestellten ergänzenden Planungslogiken sind an dieser Stelle folglich nicht zu vernachlässigen. Auch Betriebsmittel, die nicht in den jeweiligen Fertigungslayouts abgebildet, aber möglicherweise dennoch zu berücksichtigen sind, müssen als Zusatzumfänge berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4.3.7). Die Relevanz der einzelnen Planungsintelligenzen in Abhängigkeit vom zeitlichen Fortschritt eines Planungsprojektes wird nachfolgend im Detail erarbeitet und in Abbildung 4-13 (S. 78) visuell verdeutlicht.

In der Ausführungsplanung eröffnet sich über die CAX-Systeme hinaus eine zusätzliche Möglichkeit der Vereinfachung der QBBP. Mit der Bestellung der Betriebsmittel über digitale Beschaffungswerkzeuge liegen die tatsächlich realisierten Bestellvolumina vor. Diese können insbesondere für den Informationsrückfluss im Prozess genutzt werden.

4.4 Berechnungsmethoden der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Mit dem Ziel valider Planungsergebnisse sind im nächsten Schritt detaillierte Methoden zu entwickeln, die die Planungsintelligenzen bündeln und ihre zielgerichtete, systematische Anwendung sicherstellen. Analog zu den Phasen des Fabrikplanungsprozesses entwickelt sich auch die QBBP mit Fortschreiten eines Projektes weiter. Die Methoden müssen sich daher phasenadäquat an den Reifegrad eines Projektes anpassen und der Informationsverfügbarkeit ebenso Rechnung tragen wie den Unsicherheiten, denen diese Informationen insbesondere in den frühen Phasen unterliegen.

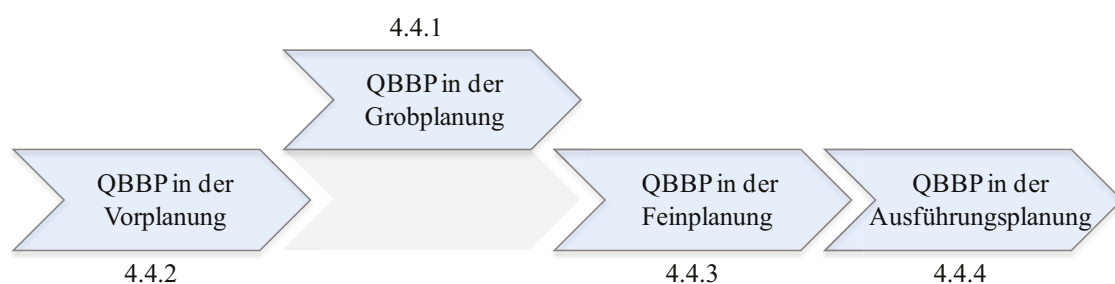


Abbildung 4-11: Vorgehen bei der Methodenentwicklung für die QBBP

Unter der Annahme, dass der Großteil der Einflussgrößen der QBBP erst zu Beginn der Grobplanung verfügbar ist, wird der Fokus der Methodenentwicklung zunächst auf diese Phase gelegt (4.4.1). Die resultierende Berechnungsmethode wird im Anschluss für die Vorplanung abstrahiert (4.4.2). Auf die Methoden der Fein- und Ausführungsplanung wird im Anschluss in Abschnitt 4.4.3 und 4.4.4 eingegangen. Abbildung 4-11 verdeutlicht dieses Vorgehen.

Für die im Folgenden erarbeiteten Methoden müssen die in Kapitel 4.1 erläuterten Randbedingungen erfüllt sein. Die beispielhafte Konkretisierung des temporalen Aspekts für die praktische Anwendung erfolgt im Rahmen der Instanziierung der Planungsmethodik in Kapitel 5.

4.4.1 QBBP in der Grobplanung

Für die Methoden zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung müssen die entsprechenden Planungsintelligenzen systematisch kombiniert werden. Die Bedarfsschätzung nach Formel (4.12) stellt den Grundstein für die QBBP in der Phase der Grobplanung dar. Unter Berücksichtigung von *Veränderungen des Produktionssystems* (vgl. Formel (4.13)), der *Weiternutzung bestehender Anlagen* (vgl. Formel (4.15) bzw. (4.16)) sowie eventueller *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug* (vgl. Formel (4.17) bzw. (4.18)) ergibt sich für die Berechnung des Betriebsmittelbedarfs eines Fertigungsabschnitts:

$$b_{Bij} = \frac{\beta_i \times w_{Nj}}{t_{Tj}} \times \Delta_{PSij} \times (1 - \lambda_{Aij}) \times (1 + \zeta_{zi}) \quad (4.19)$$

b_{Bij}	Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
β_i	Berechnungskonstante für BM-Typ i (vgl. Kapitel 4.3.3)
w_{Nj}	Normierte Fertigungsinhalte w_N in Fertigungsabschnitt j [NFI] (vgl. Kapitel 4.3.2)
t_{Tj}	Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]
Δ_{PSij}	Veränderungen des Produktionssystems Δ_{PS} in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend (vgl. Kapitel 4.3.5)
λ_{Aij}	Prozentualer Anteil λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j (vgl. Kapitel 4.3.6)
ζ_{zi}	Prozentualer Aufschlag für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug (vgl. Kapitel 4.3.7)

Für einen gesamten Fertigungsbereich, der mehrere Fertigungsabschnitte umfasst, ergibt sich in der Folge:

$$b_{Bi} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\beta_i \times w_{Nj}}{t_{Tj}} \times \Delta_{PSij} \times (1 - \lambda_{Aij}) \right) \times (1 + \zeta_{zi}) \quad (4.20)$$

bzw.

$$b_{B_i} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\beta_i \times w_{N_j}}{t_{T_j}} \times (\eta + \alpha + \sigma + \varepsilon + \tau - 4) - b_{A_{ij}} \right) + b_{Z_i} \quad (4.21)$$

b_{B_i}	Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i
η_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades in Fertigungsabschnitt j (vgl. Kapitel 4.2.1)
α_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades in Fertigungsabschnitt j (vgl. Kapitel 4.2.1)
σ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend (vgl. Kapitel 4.2.1)
ε_j	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität in Fertigungsabschnitt j (vgl. Kapitel 4.2.1)
τ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend (vgl. Kapitel 4.2.1)
$b_{A_{ij}}$	Weitergenutzter Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j (vgl. Kapitel 4.3.6)
b_{Z_i}	Zusatzumfänge b_Z von BM-Typ i ohne Produktbezug (vgl. Kapitel 4.3.7)

Die Anwendung der approximierten Faktoren $\lambda_{A_{ij}}$ und ζ_{Z_i} (vgl. Formel (4.20)) wird obsolet, sobald genaue Zahlenwerte für die bestehenden und weiterverwendeten Betriebsmittel und eventuelle Zusatzumfänge ohne Produktbezug verfügbar sind (vgl. Formel (4.21)). Auch die detaillierte Aufschlüsselung der Veränderungen im Produktionssystem bietet sich an, sobald die Informationsdichte dies zulässt.

Für den Planungsträger, der sich einem neuen Planungsprojekt gegenüber sieht, stellen diese Berechnungsformeln solitär noch keine Arbeitsgrundlage dar. So müssen für die Anwendung zunächst die in Kapitel 4.1 konkretisierten Randbedingungen erfüllt sein und der Betrachtungsumfang festgelegt werden. Je nachdem ob für den avisierten Betrachtungsumfang die notwendigen Berechnungskonstanten vorliegen, müssen diese möglicherweise zunächst ermittelt werden. Die Details zu diesen Schritten sowie zu allen Variablen des dargelegten Formelwerkes gehen aus den zuvor erläuterten Planungslogiken (Kapitel 4.2) und -intelligenzen (Kapitel 4.3) hervor. Sind alle erforderlichen Eingangsgrößen ermittelt, kann anhand der dargestellten Formeln der quantitative Betriebsmittelbedarf berechnet werden. Auf die Interpretation und Verwendung der resultierenden Zahlen wird nachfolgend bei der Ableitung der korrespondierenden Planungsmethodik und deren Integration in den übergeordneten Prozess eingegangen (vgl. Abbildung 4-14, S. 80).

4.4.2 QBBP in der Vorplanung

In der Phase der Vorplanung liegen in der Regel noch nicht viele Eingangsdaten vor, die zudem noch einer hohen Unsicherheit unterliegen (vgl. KUHN & SCHMAUBER 2007; SCHUH & GOTTSCHALK 2004). Einige der interviewten Planungsexperten aus der Industrie bestätigten dies indem sie betonen, dass in der frühen Planungsphase die Prämissen für die QBBP noch nicht stabil oder noch nicht vollständig bekannt sind (vgl. Kapitel 3.1). Für ein vorausschauendes und strategisch ausgerichtetes Agieren auf den globalen Beschaffungsmärkten ist die frühzeitige Gewissheit über künftig zu erwartende Betriebsmittelbedarfe jedoch eine Grundvoraussetzung. Deshalb ist für die Phase der Vorplanung eine Abstraktion der QBBP-Methode der Grobplanung notwendig. Als wesentlicher Unterschied sind die Fertigungsabschnitte in der Vorplanung nicht separat zu betrachten, sondern zusammengefasst in Fertigungsbereichen oder übergreifend für die gesamte Produktion, insofern dies mit der Normierung der Fertigungsinhalte vereinbar ist (vgl. Kapitel 4.3.2).

Wie in Kapitel 4.3 erläutert stellen die produktbedingten Fertigungsinhalte und die Taktzeit der Fertigungslinien die beiden maßgeblichen Einflussgrößen für Betriebsmittelbedarfe dar. So lässt sich bereits auf Basis dieser beiden Größen eine grobe Schätzung der künftigen Bedarfe abgeben (vgl. Kapitel 4.3.4). Ist die Taktzeit nicht bekannt, ist diese auf Basis der geplanten Produktionsstückzahlen zu ermitteln (vgl. Kapitel 2.1.3). Während sich die Taktzeit auf diese Weise berechnen lässt, ist eine rechnerische Bestimmung der Fertigungsinhalte in der Phase der Vorplanung für gewöhnlich nicht möglich, da der geringe Produktreifegrad in der Entwicklung eine Ableitung konkreter Zahlen noch nicht zulässt. Folglich müssen die heranzuziehenden Werte auf Basis begründeter Annahmen abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 4.1.4). Insbesondere angesichts der Tatsache, dass die Fertigungsinhalte in normierter Form eine synthetische Größe darstellen, unterläge deren freie Schätzung einer hohen Unsicherheit. Daher ist der Rückgriff auf Vergleichswerte anderer Produkte unabdingbar. Zu diesem Zweck sind die Planungsträger durch Tabellen mit Vergleichswerten aus Vergangenheitsprojekten zu unterstützen.

In Anlehnung an Formel (4.19) lässt sich der Betriebsmittelbedarf in der Phase der Vorplanung daher unter Rückgriff auf approximierte Werte bestimmen:

$$b_{Bi} = \frac{\beta_i \times \hat{w}_N}{t_T} \times \hat{\Delta}_{PS} \times (1 - \hat{\lambda}_{Ai}) \times (1 + \hat{\zeta}_{Zi}) \quad (4.22)$$

$\hat{w}_N$	Schätzung der normierten Fertigungsinhalte w_N [NFI]
t_T	Taktzeit [s]
$\hat{\Delta}_{PS}$	Schätzung der Auswirkungen durch projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems
$\hat{\lambda}_{Ai}$	Schätzung des prozentualen Anteils λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i
$\hat{\zeta}_{Zi}$	Schätzung des prozentualen Aufschlags für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug

Wie aus der Berechnungsformel hervorgeht, ist eine Schätzung des Anteils bestehender und weitergenutzter Betriebsmittel am Gesamtbedarf ebenfalls ein essentieller Teil der QBBP in der frühen Phase. Aufgrund der Tatsache, dass dieser Bedarfstreiber projektspezifisch einen hohen Prozentwert erreichen kann, darf er auch in der frühen Phase nicht vernachlässigt werden.

Mangels detaillierter, fertigungsspezifischer Produktdaten ist auf Basis der verfügbaren Informationen abzuschätzen, in welchem Ausmaß sich die fertigungstechnischen Anforderungen gegenüber Vergleichsprodukten verändern. Je stärker diese abweichen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für die Anschaffung neuer Betriebsmittel. Gleiches gilt für das Alter bestehender Anlagen. Je älter diese sind, desto wahrscheinlicher wird eine Neuanschaffung.

Weiterhin stellen *Veränderungen des Produktionssystems* einen Bedarfstreiber für die QBBP dar. Unternehmensübergreifend kann der Einfluss dieses Faktors stark variieren. Unter der in Kapitel 4.1 dargestellten Annahme, dass das Produktionssystem eines Unternehmens in der industriellen Großserienfertigung projektübergreifend nur verhältnismäßig geringen Veränderungen unterliegt, hat dieser Bedarfstreiber eine geringere Bedeutung für die QBBP. Demnach ist er in Rücksprache mit Projektverantwortlichen zu schätzen (vgl. Kapitel 4.1.4), um frühzeitig absehbare Mehrungen in die Planung einbeziehen zu können. Betrachtet man für die Schätzung jene Bedarfstreiber einzeln, die das Produktionssystem betreffen, lassen sich präzisere Werte erzielen²². Abschließend ist zu beachten, dass bereits in der Vorplanung *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug* abzusehen sein können. Diese sind bei Bedarf ebenfalls über eine Schätzung zu berücksichtigen. Dabei sind in besonderem Maße die Ausführungen in Kapitel 4.3.7 zu berücksichtigen, da die freie Schätzung solcher Zusatzumfänge über die Fertigungsanlagen hinaus gehen und daher die Konsultation anderer Planungsträger erforderlich machen kann. So können von einem zu berücksichtigenden Betriebsmitteltyp beispielsweise zusätzliche Quantitäten für Logistikumfänge erforderlich sein, die nicht Teil der Produktionsanlagen sind.

Analog der QBBP in der Grobplanung sind vorbereitende Schritte sowie die Interpretation der Berechnungsergebnisse auch in der Vorplanung ein wesentlicher Teil der Planungsaufgabe. Im Folgenden wird die dargestellte Berechnungsmethode daher in den planerischen Gesamtkontext gesetzt und damit für die praktische Anwendung vervollständigt (vgl. insb. Abbildung 4-14, S. 80).

4.4.3 QBBP in der Feinplanung

Der Grobplanung nachgelagert folgt in einem Projekt die Feinplanung (vgl. Abbildung 4-11, S. 70). Angesichts der signifikanten Veränderung der Informationsverfügbarkeit verändert sich die QBBP in diesem Abschnitt maßgeblich gegenüber den vorgelagerten Phasen. Zuvor dienten die noch unsicheren Eingangsdaten insbesondere als Grundlage für mathematisch-statistische Planungsmethoden und andere Schätzmethoden. Ist das Maß an inhärenter Unsicherheit mit dem Voranschreiten eines Planungsprojektes weit genug gesunken, werden die Eingangsdaten in der Grobplanung schließlich in konkrete Fertigungslayouts überführt. Wie Abbildung 4-2 (S. 48) verdeutlicht ist ab dieser Phase, der in Kapitel 4.3.8

²² Die Abschätzung der einzelnen Faktoren ist durch Referenztabelle zu unterstützen, die dem Planungsträger Anhaltspunkte zur Quantifizierung der einzelnen Faktoren geben und so die Transparenz der Ergebnisse steigern. In Kapitel 5.3.3 wird dieses Prinzip ausführlich anhand eines Praxisbeispiels erläutert und das Konzept der Referenztabelle detailliert.

beschriebenen Planungsintelligenz der *Datenausleitung* folgend, ein deterministischer Planungsansatz möglich. Die Detaillierung der Fertigungslayouts erfolgt deterministisch anhand der konkreten fertigungstechnischen Anforderungen des zu produzierenden Erzeugnisses. Darauf aufbauend nimmt somit auch die QBBP deterministischen Charakter an. Voraussetzungen für dieses Vorgehen sind ein funktionierendes Datenmanagement sowie abgestimmte Schnittstellen zwischen den digitalen Werkzeugen (vgl. Kapitel 4.1.3). Konkret bedeutet dies, dass jene Daten, die für die QBBP für einen beliebigen Betriebsmitteltyp notwendig sind, aus den Fertigungslayouts effizient ausleitbar sein müssen. Für die QBBP ist insbesondere die Stückliste eines Fertigungslayouts von großer Bedeutung. Je nach Granularität der Betrachtung liegt diese möglicherweise nur höher aggregiert, auf Baugruppen- bzw. Modulebene vor und muss auf die äquivalente Granularitätsebene heruntergebrochen werden. Auch die Zuordnung der Betriebsmittel zu den einzelnen Anlagenbereichen ist für die QBBP eine wichtige Eingangsinformation und darf bei einer Ausleitung nicht verloren gehen.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann der Betriebsmittelbedarf in der Feinplanung als Summe der in den Fertigungslayouts vorgesehenen Komponenten ermittelt werden, abzüglich bestehender und weitergenutzter Betriebsmittelumfänge:

$$b_{Bi} = \sum_{j=1}^n (b_{Lij} - b_{Aij}) + b_{Zi} \quad (4.23)$$

b_{Lij} Anzahl b_L der gemäß Fertigungslayout vorgesehenen Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j

Wie aus Formel (4.23) hervorgeht, kann es vorkommen, dass *Zusatzumfänge ohne Produktbezug* in den Fertigungslayouts nicht berücksichtigt sind und daher separat erfasst werden müssen (vgl. Kapitel 4.3.7 bzw. 4.4.2).

Vor der quantitativen Ermittlung der Betriebsmittelbedarfe nach der im Folgenden entwickelten Methodik muss auch in der Phase der Feinplanung zunächst sichergestellt werden, dass die notwendigen Randbedingungen für den Einsatz der QBBP erfüllt sind. Die Konkretisierung dieses Aspektes für die praktische Anwendung sowie der Interpretation von Berechnungsergebnissen erfolgt im Rahmen der Zusammenführung der Gesamtmethodik in Kapitel 4.5.

4.4.4 QBBP in der Ausführungsplanung

Sind gegen Ende eines Planungsprojektes die realisierten Bestellvolumina vollständig bekannt, stellen die entsprechenden Dokumentationssysteme des Beschaffungsmanagements die zuverlässigste Quelle für den Betriebsmittelbedarf dar (vgl. Kapitel 4.3.8). Die QBBP beschränkt sich damit vereinfachend auf:

$$b_{Bi} = \sum_{j=1}^n b_{Oij} \quad (4.24)$$

b_{Oij} Realisiertes Bestellvolumen b_O BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

Betriebsmittelbestände, die in der Feinplanung noch explizit berücksichtigt werden mussten, spielen für die Bestelldaten keine Rolle, da sie bereits zuvor abgezogen und nicht mehr berücksichtigt werden. Eventuelle Zusatzumfänge hingegen sind darin bereits enthalten. Aufgrund dessen beschränkt sich die Berechnungsformel auf die tatsächlich realisierten Bestellvolumina.

Auch in diesem Schritt ist ein funktionierendes Datenmanagement eine Grundvoraussetzung für eine valide quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung (vgl. Kapitel 4.1.3). Weiterhin kommt in der Phase der Ausführungsplanung das wichtige Element des Informationsrückflusses (vgl. Kapitel 4.1.2) zum Tragen. Zu diesem Zweck sind die in den frühen Phasen eines Projektes berechneten Werte den letztendlich realisierten Bestellvolumina gegenüber zu stellen und eventuelle Diskrepanzen zu untersuchen. Den Ursachen für Abweichungen ist gezielt auf den Grund zu gehen, um möglicherweise notwendige Anpassungen an den zugrunde gelegten Faktoren ableiten und die Tabellen mit den Hilfs- bzw. Vergleichswerten aktualisieren zu können.

4.5 Planungsmethodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung

Das proklamierte Ziel für die QBBP ist ein systematisches und durchgängiges Vorgehen, das phasenübergreifend zu validen Ergebnissen führt. Die vorangegangenen Unterkapitel haben dafür die Grundlage geschaffen. Für deren zielgerichtete Anwendung im Rahmen eines Fabrikplanungsprojektes müssen die einzelnen Methoden systematisiert werden. Die resultierende Methodik ist anschließend in die entsprechenden Planungsprozesse zu integrieren (vgl. Abbildung 2-1, S. 9).

4.5.1 Ableitung der Methodik

Fasst man die einzelnen Planungsmethoden zusammen, so ergibt sich eine gesamthafte Berechnungs- bzw. Planungsmethodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung. Eine wichtige Rolle spielt dabei der zeitliche Aspekt, da sich die QBBP im Verlauf der projektgebundenen Anwendung stark verändert. Abbildung 4-12 verdeutlicht in abstrahierter Form die Grundlagen für die Berechnung der Betriebsmittelbedarfe.

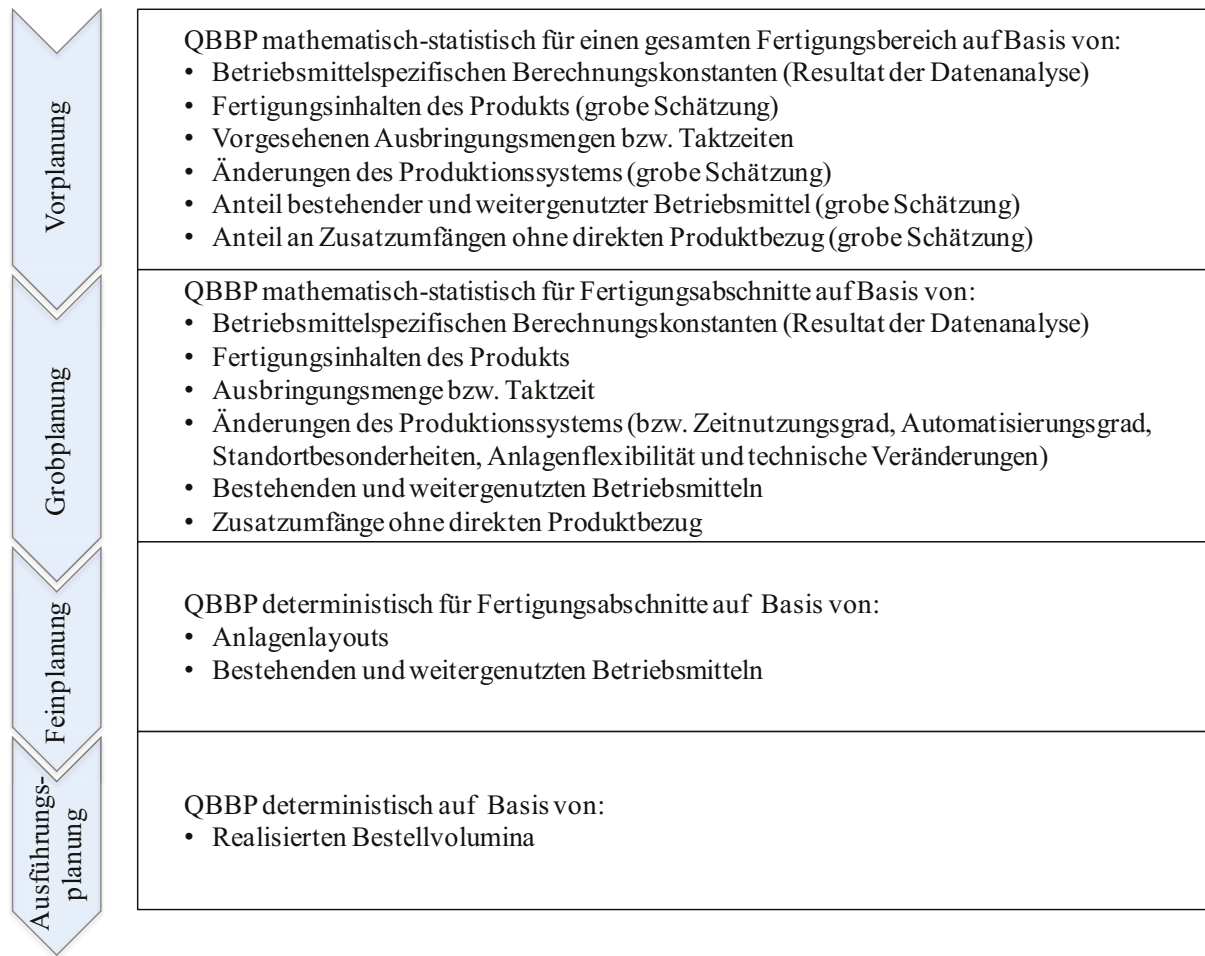


Abbildung 4-12: Textuelle Darstellung der Eingangsdaten für die phasenadäquaten QBBP

Die dargestellten Berechnungsgrundlagen je Planungsphase entsprechen den zuvor in Abschnitt 4.4.1 bis 4.4.4 erarbeiteten, phasenadäquaten Berechnungsmethoden, die wiederum auf den Planungsintelligenzen und -logiken der vorangegangenen Kapitel aufbauen. Eine beispielhafte Konkretisierung des temporalen Aspektes der einzelnen Planungsphasen erfolgt in Kapitel 5.1.3 anhand eines industriellen Anwendungsfalls.

Weiterführend stellt Abbildung 4-13 die Integration der phasenspezifischen Berechnungsmethoden für die Ermittlung der Betriebsmittelbedarfe gesamthaft dar und verdeutlicht das empfohlene Vorgehen in Abhängigkeit vom Fortschritt eines Planungsprojektes.

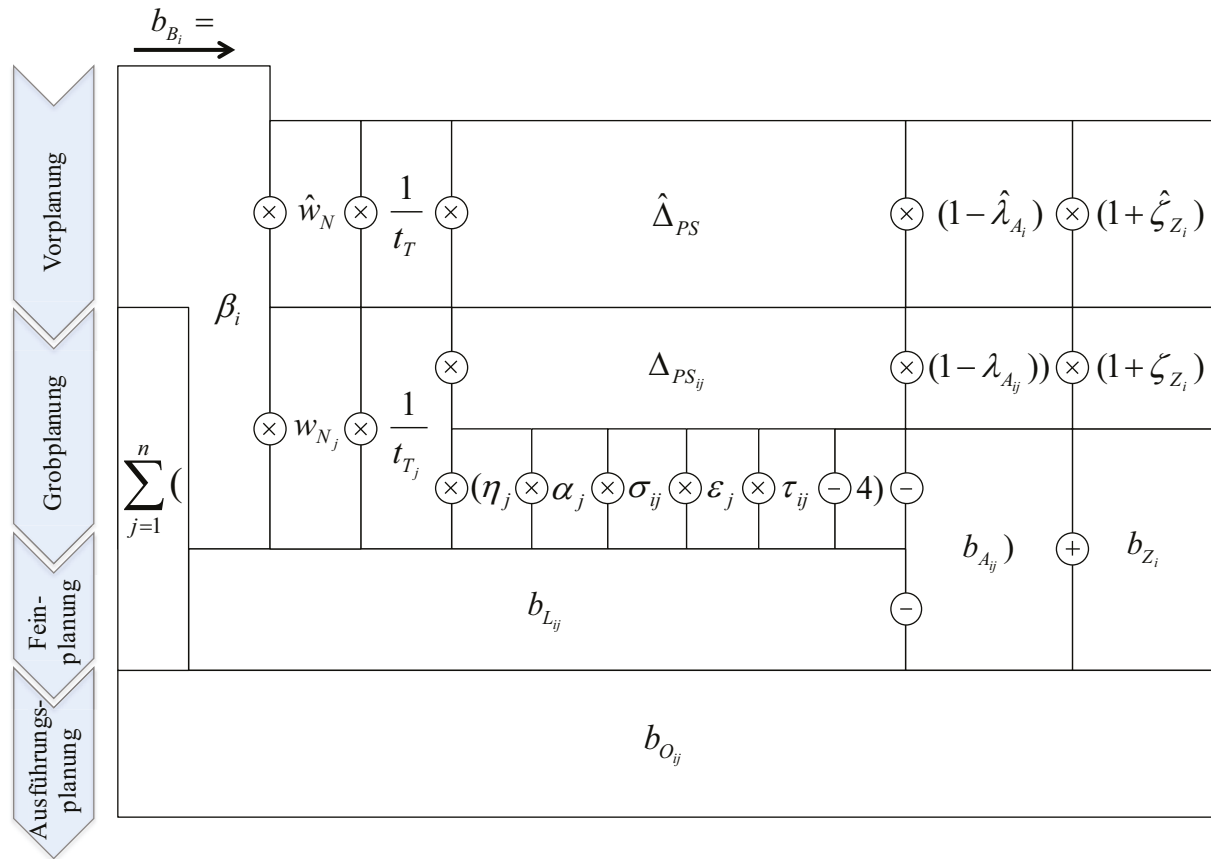


Abbildung 4-13: Phasenadäquate Berechnungsmethodik für die QBBP

Es gilt weiterhin:

- b_{B_i} Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i
- β_i Berechnungskonstante für BM-Typ i
- $\hat{w}_N$ Schätzung der normierten Fertigungsinhalte w_N [NFI]
- t_T Taktzeit [s]
- $\hat{\Delta}_{PS}$ Schätzung der Auswirkungen durch projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems
- $\hat{\lambda}_{A_i}$ Schätzung des prozentualen Anteils λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i
- $\hat{\zeta}_{Z_i}$ Schätzung des prozentualen Aufschlags für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug
- w_{N_j} Normierte Fertigungsinhalte w_N in Fertigungsabschnitt j [NFI]
- t_{T_j} Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]
- $\Delta_{PS_{ij}}$ Veränderungen des Produktionssystems Δ_{PS} in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend

λ_{Aij}	Prozentualer Anteil λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j
ζ_{zi}	Prozentualer Aufschlag für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug
η_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades in Fertigungsabschnitt j
α_j	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades in Fertigungsabschnitt j
σ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend
ε_j	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität in Fertigungsabschnitt j
τ_{ij}	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen in Fertigungsabschnitt j , BM-Typ i betreffend
b_{Aij}	Weitergenutzter Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j
b_{zi}	Zusatzumfänge b_Z von BM-Typ i ohne Produktbezug
b_{Lij}	Anzahl b_L der gemäß Fertigungslayout vorgesehenen Betriebsmittel vom Typ i in Fertigungsabschnitt j
b_{Oij}	Realisiertes Bestellvolumen b_O BM-Typ i in Fertigungsabschnitt j

Unter Beachtung der Prämissen für die Anwendung der Methodik (vgl. Kapitel 4.1.1), können auf dieser Grundlage in jeder Phase des Fabrikplanungsprozesses systematisch Werte für die zu erwartenden Betriebsmittelbedarfe ermittelt werden. Die resultierenden Werte sind ganzzahlig aufzurunden. Die dargestellten Übergänge und Datenverfügbarkeiten sind als Anhaltspunkte zu verstehen, in der Anwendung ist die Berechnungsmethodik an den vorliegenden Informationsstand anzupassen. Liegen zu einem der Faktoren bereits konkretere Werte vor, als dies in der Berechnungsmethodik veranschlagt ist, sind diese zu bevorzugen. Auch empfiehlt es sich im Einzelfall, geschätzte Faktoren wie *Veränderungen des Produktionssystems* in ihre einzelnen Einflussfaktoren zu zerlegen und diese separat zu betrachten, um so die Validität und Transparenz der Schätzung zu erhöhen.

In Abbildung 4-13 nicht explizit enthalten ist der Informationsrückfluss (vgl. Kapitel 4.1.2 bzw. 4.1.3), der einen wesentlichen Bestandteil der QBBP-Methodik darstellt und die Adaptionsfähigkeit des Ansatzes gewährleistet. Weichen die realisierten Bestellvolumina von den anfänglichen Planungszahlen signifikant ab, sind die Ursachen der Abweichungen zu identifizieren.

In der industriellen Praxis lässt es sich häufig nicht vermeiden, dass sich im Verlauf eines Projektes die Planungsprämissen ändern. Die QBBP vermag solche, von externen Märkten induzierte Volatilitäten wie auch unternehmensinterne Einflüsse (vgl. Abbildung 1-1, S. 3), zwar nicht auszugleichen, jedoch stellt sie ein adäquates Mittel zur schnellen Reaktion auf derartige Veränderungen dar. Liegt die Ursache

für eine signifikante Abweichung der realisierten Bestellvolumina in einer Änderung der Prämissen im Projektverlauf, wird in der Regel kein Anpassungsbedarf an den verwendeten Berechnungskonstanten und Referenztabellen bestehen. Vielmehr gilt es in einem solchen Fall zu reflektieren, ob die Prämissenänderung innerhalb eines angemessenen Zeitfensters auch zu einer Anpassung der Bedarfsprognosen aus der QBBP geführt hat. Andernfalls ist die prozessuale Verankerung der QBBP in der Fabrikplanung zu überprüfen (vgl. Kapitel 4.5.2).

Das Mittel des Informationsrückflusses wird im Wesentlichen dann relevant, wenn die Bedarfswerte aus der QBBP in den Phasen der Fein- oder Ausführungsplanung bei gleich bleibenden Planungsprämissen von den zuvor in der Vor- und Grobplanung ermittelten Werten wesentlich abweichen. Um derartige Unschärfen in der frühen Planung für künftige Projekte nach Möglichkeit zu minimieren, muss die QBBP adaptionsfähig bleiben. Somit sind die konkreten Ursachen der Abweichung zu erforschen, indem die zuvor zur Berechnung herangezogenen Parameter einzeln plausibilisiert werden. Ist der Grund auf einen oder mehrere Parameter eingegrenzt ist zu reflektieren, ob es sich um einen Sonderfall handelt oder ob Anpassungsbedarf besteht. Kann ein Sonderfall ausgeschlossen werden, sind die Berechnungskonstanten auf Basis der veränderten Datenlage für künftige Planungen zu aktualisieren sowie auch die Tabellen mit Hilfswerten für die einzelnen Berechnungsparameter.

Die konkrete Anwendung der QBBP-Berechnungsmethodik unter Berücksichtigung des Informationsrückflusses ist in Abbildung 4-14 dargestellt²³.

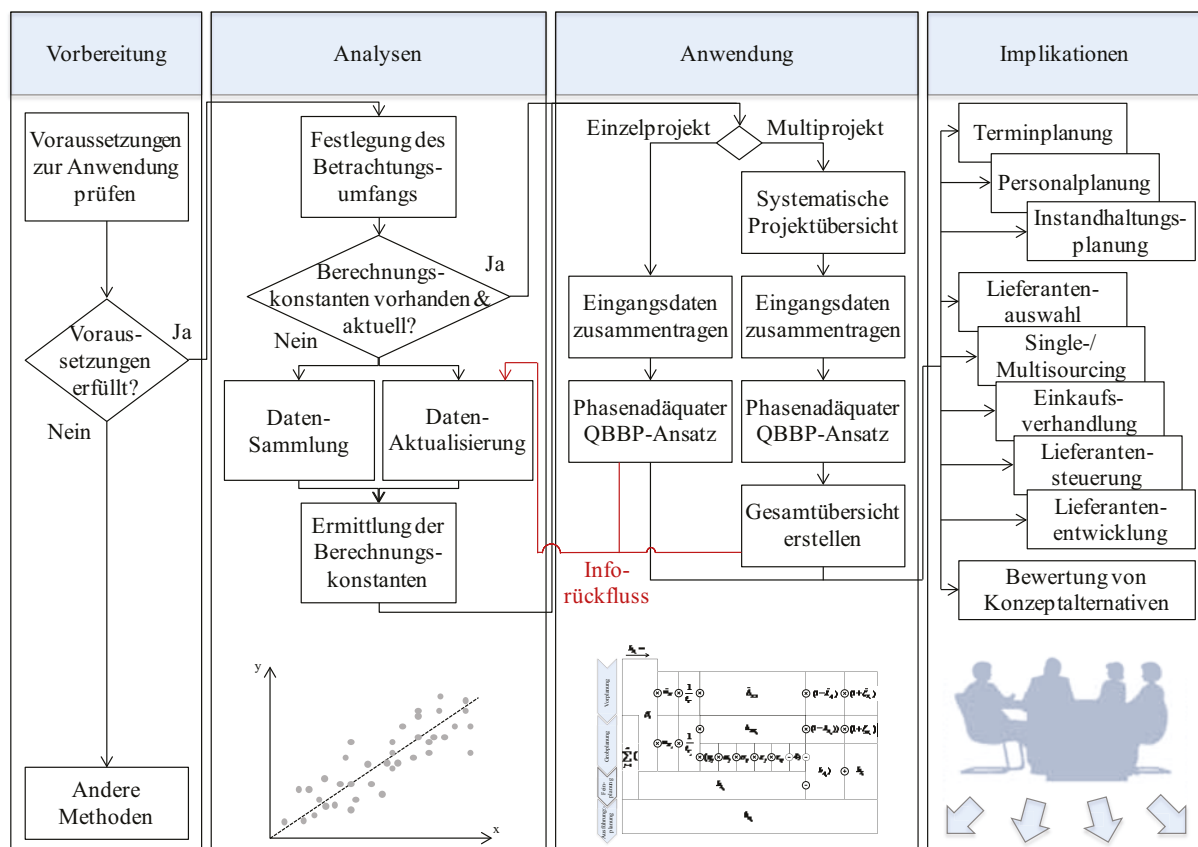


Abbildung 4-14: Gesamthafte QBBP-Methodik

²³ Struktur der Darstellung in Anlehnung an RUMPEL (2013)

Sind die Voraussetzungen (vgl. Kapitel 4.1) für die QBBP erfüllt, muss zunächst der Betrachtungsumfang festgelegt werden. Folglich ist zu bestimmen, welche Betriebsmitteltypen in welchen Fertigungsbereichen in die quantitative Planung einzubeziehen sind. Daraufhin gilt es zu prüfen, ob die notwendigen Berechnungskonstanten β_i bereits vorhanden sind und dem aktuellen Datenstand entsprechen. Dementsprechend folgt entweder direkt die QBBP-Anwendungsphase oder zunächst die Sammlung bzw. Aktualisierung der Datengrundlage für die darauffolgende Analyse gemäß Kapitel 4.3.3. Im Anschluss ist in der Anwendungsphase der QBBP die Berechnungsmethodik anzuwenden. Für diesen Schritt ist zunächst entscheidend, ob sich der zuvor abgegrenzte Betrachtungsumfang über eines oder mehrere Fabrikplanungsprojekte erstreckt. Im zweiten Fall ist zunächst zusätzlich eine Projektübersicht zu erstellen, um die systematische Sammlung der notwendigen Eingangsdaten (vgl. Kapitel 4.3) adäquat vorzubereiten. Bei der Erfassung der Einflussgrößen für die QBBP sind auch die darin enthaltenen Unsicherheiten zu berücksichtigen, deren Handhabung im Rahmen eines Fallbeispiels in Kapitel 5 erläutert wird (vgl. Kapitel 5.3.2). Sind die verfügbaren Informationen vollständig zusammengetragen, kommt die Berechnungsmethodik phasenadäquat zum Einsatz. Zu hinterlegen sind dabei auch die konkreten Bedarfszeitpunkte. Im Fall einer Multiprojekt-Betrachtung (vgl. WARNECKE, AURICH & HILLER 2003) ist im Anschluss daran zusätzlich eine projektübergreifende Bedarfsübersicht für die Betriebsmittel zu erstellen. Ist ein Projekt bereits weit genug fortgeschritten, dass für die QBBP auf die realisierten Bestellvolumina zurückgegriffen werden kann, sind diese Werte zudem als Datengrundlage für künftige Planungen zu hinterlegen.

Die Planzahlen der QBBP liefern essentielle Informationen für die Planung von Terminplänen und Ressourcen für die Realisierung eines Projektes. Auch für die langfristige Personalplanung der Instandhaltung sowie das Ersatzteilmanagement stellen valide Bedarfsvorhersagen einen großen Mehrwert dar. Mit den Ergebnissen der QBBP können letztlich auch auf fundierter Grundlage Lieferanten ausgewählt werden und es stehen verlässliche Daten für Einkaufsverhandlungen zur Verfügung. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse zu erwartende Bedarfsspitzen und damit potentielle Versorgungsschwierigkeiten auf und können daher auch als Instrument zur gezielten Steuerung und Entwicklung von Lieferanten genutzt werden. Schließlich kann die QBBP-Methodik auch zur validen Bewertung von Konzeptalternativen herangezogen werden. Die Verwendung der QBBP Ergebnisse wird im nachfolgend dargestellten Anwendungsbeispiel detailliert und veranschaulicht (vgl. Kapitel 5.4.1).

4.5.2 Integration in den Fabrikplanungsprozess

Für eine zielgerichtete, durchgängige und effiziente Anwendung der Methodik muss diese systematisch in den Fabrikplanungsprozess integriert werden. Dabei sind die einzelnen Prozessschritte so aufeinander abzustimmen, dass redundante Arbeitsschritte vermieden und Synergiepotentiale genutzt werden können (WIESINGER 2010). Allgemein ist daher eine frühestmögliche Vernetzung aller involvierten Abteilungen anzustreben (vgl. BOSSMANN 2007).

Durch die systematische QBBP soll unter anderem die Verhandlungsposition eines Unternehmens auf den globalen Beschaffungsmärkten gestärkt, die Versorgungssicherheit erhöht und gleichzeitig die Lieferantenbeziehung verbessert werden. Dies impliziert, dass viele Interessensgruppen an der QBBP beteiligt sind. Daher bestehen zahlreiche Schnittstellen für die Eingangsinformationen, aber auch für die

resultierenden Planungsdaten. Abbildung 4-15 stellt die QBBP im Zusammenhang mit den verwandten Unternehmensprozessen modellhaft dar²⁴.

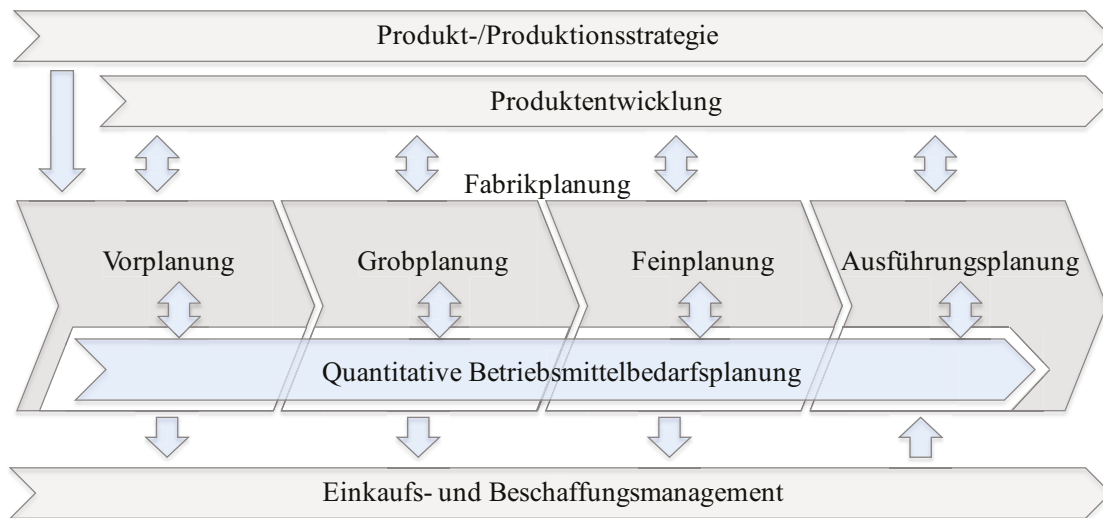


Abbildung 4-15: Modellhafte Darstellung der QBBP-Integration

In einer sehr frühen Phase der QBBP spielen qualitative Informationen zu der langfristigen Produkt- und Produktionsstrategie eine wichtige Rolle, da diese bereits frühzeitig Hinweise auf signifikante Veränderungen der *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* sowie des Produktionssystems geben können. Derartige Informationen liegen in diesem noch sehr frühen Planungsstadium im Normalfall noch als rein qualitative Aussagen vor und bedürfen daher der Beurteilung durch erfahrene Planungsträger.

Darüber hinaus spielt die enge Verzahnung der Produktentwicklung und der Fabrikplanung (vgl. DOMBROWSKI, QUACKS & TIEDEMANN 2003) auch für die QBBP eine wichtige Rolle. Beginnend in der Vorplanung werden Informationen zu den künftigen Produkten benötigt. Dies ändert sich auch im weiteren Verlauf eines Projektes nicht, da sich die Fabrikplanung mit allen Aspekten befasst, die die Fertigung eben dieser künftigen Produkte bedingt. Die in den vorangegangenen Kapiteln entwickelten Werkzeuge zur frühzeitigen Abschätzung künftiger Betriebsmittelbedarfe setzen insbesondere die *produktseitigen Bearbeitungsprofile* aus der Entwicklung als wesentliche Eingangsgröße voraus. Liegen für die QBBP in der frühen Phase noch keine belastbaren quantitativen Werte aus der Entwicklung vor, sind diese in Rücksprache mit den verantwortlichen Entwicklungsingenieuren begründet abzuschätzen (vgl. Kapitel 4.1.4 bzw. 4.4.2). Darüber hinaus müssen zusätzliche Informationen aus den Prozessen Fabrikplanung eingeholt werden (vgl. Kapitel 4.5.1). In der Phase der Grobplanung werden in der allgemeinen Fabrikplanung bereits Ideal- und Reallayouts auf Grundlage der Informationen aus der Produktentwicklung entwickelt (vgl. Kapitel 2.1.2). Die dafür erforderlichen, bereits deutlich konkreteren fertigungstechnischen Produktdaten können im Rahmen der QBBP für fundierte Bedarfsberechnungen herangezogen werden, vorausgesetzt die übrigen Eingangsdaten aus der allgemeinen Fabrikplanung liegen vor (vgl. Kapitel 4.4.1). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer engen Einbindung der QBBP in die übrigen Unternehmensprozesse wie in Abbildung 4-15 veranschaulicht. In der nachgelagerten Phase

²⁴ Die visuell exponierte Stellung, die die QBBP in der Abbildung einnimmt, dient dabei in erster Linie erklärenden Zwecken. In der industriellen Praxis wird sie stets ein untergeordneter Teilprozess der Fabrikplanung bleiben.

der Feinplanung erfahren die Eingangsdaten schließlich eine weitere Verfeinerung und der Charakter der erforderlichen Daten für die QBBP verändert sich analog Kapitel 4.4.3. Die bereits bis ins Detail ausgestalteten Fertigungslayouts ermöglichen eine konkrete, deterministische Bedarfsplanung anhand entsprechender Stücklisten, die systemische Datenverfügbarkeit vorausgesetzt (vgl. Kapitel 4.1.3). Die in Abbildung 4-15 modellhaft dargestellten Schnittstellen zwischen den Unternehmensprozessen verdeutlichen zudem den Informationsfluss in beide Richtungen. So ist die Produktentwicklung beispielsweise auf Informationen zur Herstellbarkeit oder zu den Investitions- bzw. Fertigungskosten angewiesen. In der Ausführungsplanung schließlich erfordern beispielsweise kleinere technische Anpassungen die enge Zusammenarbeit der Bereiche. Diese Integration der unterschiedlichen Unternehmensbereiche wird in der Industrie häufig noch nicht durchgängig gelebt. Produktionstechnische Aspekte werden vielfach nicht frühzeitig bedacht und so unnötige Kosten verursacht (MÜLLER 2007). Abbildung 4-15 verdeutlicht die Bedeutung einer engen Verknüpfung der QBBP mit der Fabrikplanung, da die Prozesse wechselseitig voneinander abhängen.

Von besonderem Interesse sind die Ergebnisse der QBBP, neben der Fabrikplanung selbst, auch für das Einkaufs- und Beschaffungsmanagement, beispielsweise zur Auswahl, Steuerung und Entwicklung der Betriebsmittellieferanten. Während die digitalen Werkzeuge im Beschaffungsmanagement in der Phase der Ausführungsplanung als wesentliche Informationsquelle für die QBBP dienen (vgl. Kapitel 4.4.4), stellen die ermittelten Betriebsmittelbedarfe in den vorgelagerten Phasen eine wesentliche Grundlage für die Tätigkeiten des Einkaufs- und Beschaffungsmanagements dar. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1). Die zuständigen Planungsträger der QBBP werden für die Verantwortlichen des Einkaufs- und Beschaffungsmanagement damit zu wesentlichen Ansprechpartnern. Für eine effiziente Zusammenarbeit ist eine vorangehende Abstimmung der Granularität der QBBP sowie der temporalen Ausgestaltung des Planungsprozesses zu empfehlen. Liegen schließlich die realisierten Bestellvolumina für die QBBP vor (vgl. Kapitel 4.4.4), lässt sich so auch der Informationsrückfluss (vgl. Kapitel 4.5.1) effizient gestalten.

In der Fabrikplanung sorgt die QBBP zudem allgemein für mehr Transparenz und unterstützt bzw. plausibilisiert die frühzeitige Planung von Investitions- und Flächenbedarfen. Als Teil der Fabrikplanung bilden die Ergebnisse der QBBP auch für zuvor nicht dargestellte Bereiche wie die Instandhaltungsplanung und das Ersatzteilmanagement eine Entscheidungsgrundlage.

4.6 Zwischenfazit

In diesem Kapitel wurde die Herleitung der Methodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung erläutert. Aufbauend auf einer Klarstellung der zugrunde gelegten Randbedingungen für die Anwendung wurde das in Kapitel 2.1 dargestellte Planungsverständnis systematisch auf die QBBP appliziert. Dieses Vorgehen führte zu einer klar strukturierten Planungsmethodik, die in die entsprechenden Unternehmensprozesse integriert werden kann. Darüber hinaus schaffen die detailliert erläuterten Planungslogiken und -intelligenzen Klarheit über die in der Praxis häufig heuristisch angewandten Grundlagen der quantitativen Bedarfsplanung.

Alles in allem bietet die resultierende Planungsmethodik eine fundiert hergeleitete Herangehensweise für eine durchgängige und damit phasenübergreifende Ermittlung quantitativer Betriebsmittelbedarfe. Dabei kommen mathematisch-statistische, expertenschätzungs-basierte und deterministische Ansätze in systematischer Kombination zum Einsatz. Die in Forschungshypothese II herausgestellte methodische Lücke der QBBP im Fabrikplanungsprozess konnte demnach in der Theorie geschlossen werden und die dafür notwendigen Grundlagen wurden umfassend formalisiert. Die Überprüfung, ob die entwickelte QBBP-Methodik die Zielsetzung der praktischen Anwendbarkeit und Ergebnisqualität (vgl. Forschungshypothese I) erfüllt, bleibt weiterhin ausstehend. Die hier untersuchte Forschungshypothese II kann daher nur unter Vorbehalt angenommen werden. Letztlich ist die Entstehung der dargestellten Methodik dahingehend kritisch zu hinterfragen, welche Aussagekraft die dargestellten Ergebnisse auf Basis des gewählten Vorgehens besitzen. Die aus den Analysen der bisherigen industriellen und wissenschaftlichen Ansätze (vgl. Kapitel 3) gezogenen Erkenntnisse sind unterschiedlichen Ebenen des zugrunde gelegten Planungsverständnisses (vgl. Kapitel 2.1.1) zuzuordnen. Aus diesem Grund wurde für die Entwicklung der QBBP-Methodik ein schrittweises Vorgehen gewählt, das die erforderlichen Planungslogiken, -intelligenzen und -methoden zunächst gezielt aggregiert. Dies steigert die Transparenz der dargestellten Planungsmethodik und stellt sicher, dass die Herleitung jedes einzelnen Aspektes nachvollzogen werden kann. Die methodische Lücke der QBBP im Fabrikplanungsprozess ist somit in der Theorie geschlossen. Die praktische Anwendung bleibt aufzuzeigen und zu validieren, die an dieser Stelle vorbehaltliche Bestätigung der Forschungshypothese II demnach später erneut zu reflektieren.

5 INSTANZIIERUNG DER PLANUNGSMETHODIK ANHAND EINES ANWENDUNGSBEISPIELS

In Kapitel 4 wurde die Planungsmethodik für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung hergeleitet. Das Resultat ist ein generischer, abstrahierter Ansatz. Um die Erfüllung der Zielsetzung der praktischen Anwendbarkeit zu überprüfen, wird für das weitere Vorgehen folgende Hypothese formuliert:

Forschungshypothese III:

Die generische QBBP-Methodik lässt sich ohne oder unter geringfügigen Anpassungen auf ein praktisches Anwendungsbeispiel übertragen und anhand dessen die Handhabung von Unsicherheitsfaktoren sowie die Potentiale der Digitalisierung aufzeigen.

Diese Hypothese ist im Folgenden zu überprüfen. Zu diesem Zweck wird in Kapitel 5.1 zunächst ein Fallbeispiel spezifiziert. Darauf folgen die vorgelagerte Analysephase für die QBBP (5.2) sowie die eigentliche Anwendung der Planungsmethodik (5.3). In diesem Schritt wird auch ein Konzept zur Handhabung von Unsicherheitsfaktoren im Rahmen der QBBP ausgearbeitet. Schließlich erfolgt in Abschnitt 5.4 die Diskussion des Planungsergebnisses und letztlich eine kurze Zusammenfassung (5.5).

Kapitel 5 dient allein dem Zweck, die QBBP-Methodik an die Anforderungen der Industrie anzupassen und die Anwendbarkeit aufzuzeigen. Die Ergebnisse des Methodeneinsatzes werden nicht diskutiert. Ein entsprechender Validierungsversuch erfolgt anschließend in Kapitel 6.

5.1 Konkretisierung des Anwendungsbeispiels

Soll ein adäquates Fallbeispiel für die QBBP für die Großserienproduktion gewählt werden, ist für die Fallstudie die Wahl eines Industriezweiges naheliegend, der eine anlagenintensive Fertigung aufweist. Die Automobilindustrie stellt einen solchen dar (vgl. JÜRGENS, MEIBNER & BOCHUM 2002) und wird daher im Folgenden zur Veranschaulichung herangezogen. Trotz der Tatsache, dass sich die Fertigung von Kraftfahrzeugen einer stetig steigenden Vielfalt an Produktderivaten gegenüber sieht (vgl. LÖFFLER, WESTKÄMPER & UNGER 2011), handelt es sich um eine variantenreiche Serienproduktion im klassischen Sinne (vgl. VOLLING 2009).

5.1.1 Automobilproduktion

Die Produktion moderner Kraftfahrzeuge bedingt einen vielschichtigen Produktionsprozess, der eine große Anzahl unterschiedlicher Fertigungsschritte umfasst. Allgemein ist die Automobilproduktion in der Großserie als Fließfertigung organisiert. Charakterisiert ist die Fließfertigung unter anderem dadurch, dass die Folge der Fertigungsvorgänge die räumliche Anordnung der Betriebsmittel maßgeblich beeinflusst (GRUNDIG 2009). Von großer Bedeutung ist dabei die erreichte Ausbringungsmenge, die durch die Taktzeit bestimmt wird, jedoch durch organisatorische und technische Stillstandszeiten gemindert wird (vgl. Kapitel 2.1.3 bzw. Abbildung 2-5, S. 14). Einen signifikanten Einfluss auf die Gestaltung der Produktionsanlagen hat darüber hinaus die Anzahl der Derivate, die auf einer Fertigungsline produziert werden sollen.

Die vier wesentlichen, auch als Kernfertigung bezeichneten Produktionsabschnitte in der Automobilfertigung sind:

- Presswerk,
- Karosseriebau,
- Lackiererei und
- Montage.

Ergänzt werden diese durch zahlreiche weitere Prozesse wie beispielsweise die Motorenfertigung. Abbildung 5-1 verdeutlicht diese Strukturierung.

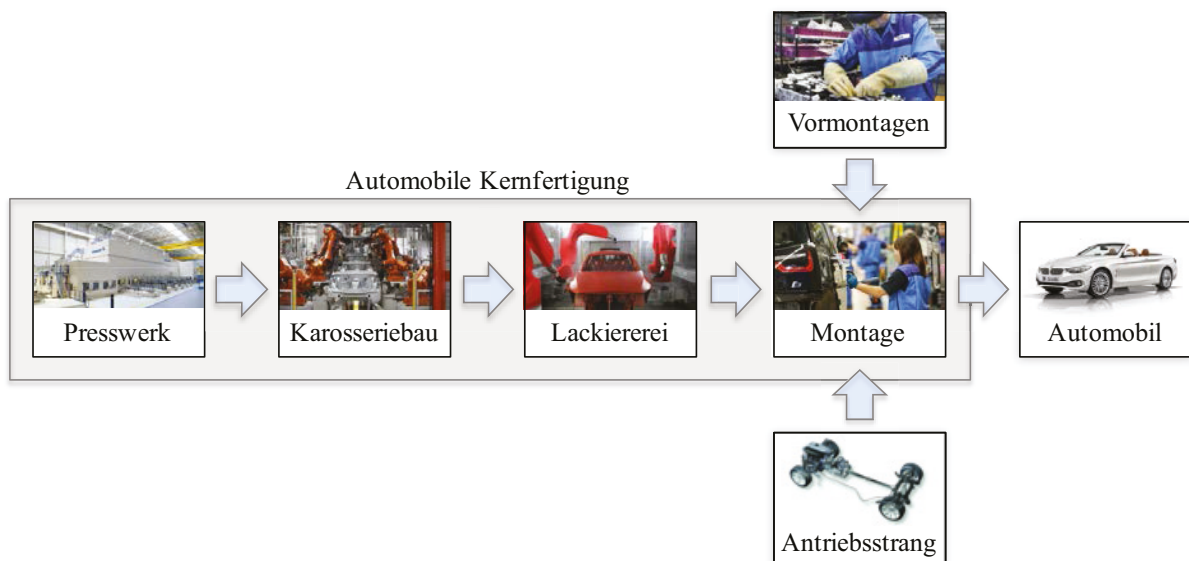


Abbildung 5-1: Modellhafte Darstellung des automobilen Produktionsprozesses (vgl. IHME 2006)

Im Presswerk werden Bandstahl- bzw. Aluminiumrollen (Coils) zu Blechteilen für den Karosseriebau weiterverarbeitet. Dabei werden nacheinander verschiedene umformtechnische Fertigungsschritte wie das Scherschneiden, Tiefziehen und Streckziehen vollzogen, bis die endgültige Form der späteren Struktur- und Außenhautteile der Karosserie vorliegt (vgl. BIRKERT, HAAGE & STRAUB 2013). Die wesentlichen Betriebsmittel im Presswerk stellen als hochaggregierte Gesamteinheiten die mehrstufigen Pressenstraßen dar.

Die einzelnen Blechteile werden im Karosseriebau anschließend mit Hilfe von unterschiedlichen thermischen, chemischen oder mechanischen Fügeverfahren wie Schweißen, Kleben oder Verschrauben sukzessive zu Unterbaugruppen, Baugruppen und schließlich der Karosserie zusammengesetzt (BRAESS & SEIFFERT 2000). Die Gliederung der Fertigungsanlagen folgt dieser Strukturierung. Dementsprechend besteht ein durchschnittlicher Karosseriebau für ein Fahrzeug aus ca. 30-40 miteinander verknüpften Produktionsabschnitten (MEICHSNER 2009). Dabei prägen Industrieroboter das Bild der Betriebsmittel, die die Applikation der unterschiedlichen Fügeverfahren sowie den Großteil der Bauteilhandhabung vollautomatisiert übernehmen.

In der Lackiererei werden nach einer Vorbehandlung mehrere Schutz- und Lackschichten auf die Rohkarosserie aufgetragen, um diese vor Umwelteinflüssen wie Korrosion oder Steinschlag zu schützen und ihr eine individuelle, hochwertige Optik zu verleihen (vgl. NÖMAYR 2002). In Bezug auf die Anlagentechnik ist die Lackiererei durch Sonderbetriebsmittel wie industrielle Lackierroboter, Trocknungsöfen und spezielle Fördertechnik geprägt.

Im Anschluss werden in der Montage das gesamte Interieur und die verbleibenden Exterieurumfänge sowie der Antriebsstrang samt Motor verbaut. Am Ende der Montagelinie verlässt das fertige Automobil fahrbereit das Produktionsband für die letzten Funktionstests. Viele der in der Montage zu bewerkstellenden Fügeprozesse bzw. Arbeitsvorgänge sind technisch noch nicht oder nicht unter betriebswirtschaftlich vertretbarem Aufwand automatisierbar, sodass der Anteil an manuellen Tätigkeiten in diesem Fertigungsabschnitt am höchsten ist. Wesentliche technische Betriebsmittel sind beispielsweise die fördertechnischen Anlagen sowie einzelne Prozessanlagen wie die robotergestützte Verklebung der Windschutzscheibe.

5.1.2 Betriebsmittelauswahl

Der komplexe Produktionsprozess moderner Automobile erfordert eine Vielzahl verschiedener Betriebsmittel. Ein charakteristisches Beispiel für ein solches Betriebsmittel ist der Industrieroboter, der aufgrund seiner hohen Flexibilität in allen vier Kern-Fertigungsbereichen (vgl. Abbildung 5-1) zum Einsatz kommt, insbesondere jedoch im Karosseriebau. Für die erste Anwendung der QBBP-Methodik und deren Detaillierung wird der Industrieroboter daher als Beispiel gewählt und der Betrachtungsumfang auf den Karosseriebau beschränkt. Die Roboter übernehmen dort unterschiedliche Füge-, Handhabungs- und Messaufgaben. Abbildung 5-2 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt aus einer Fertigungszelle im Karosseriebau.

Als Roboter bezeichnet man in der Industrie Manipulatoren, die durch eine Steuerung und einen anwendungsspezifischen Effektor (Werkzeug) ergänzt werden und damit für verschiedenste Einsatzzwecke genutzt werden können (vgl. SICILIANO & KHATIB 2008). Industrieroboter gibt es allgemein in vielfältigen Ausführungen von unterschiedlichen Herstellern. Im Automobilbau dominieren klassische einarmige Manipulatoren in verschiedenen Größen. Diese werden mit einer großen Vielzahl von Werkzeugen für Fügeoperationen, Mess- oder Handhabungsaufgaben kombiniert.



Abbildung 5-2: Beispielhafter Ausschnitt eines Karosseriebaus im Automobilbau (Quelle: BMW Group, 2014)

Der Industrieroboter selbst stellt bereits ein aus zahlreichen Einzelkomponenten zusammengesetztes technisches Produkt dar und ist als solches ein Betriebsmittel mit mittlerem bis hohem Aggregationsgrad. Theoretisch wäre es auch möglich, mit der Bedarfsplanung eine oder mehrere Aggregationsebenen tiefer anzusetzen und beispielsweise den Bedarf an elektrischen Antrieben abzuschätzen, die in den Robotern verbaut sind. Aufgrund der Tatsache, dass Industrieroboter von der weiterverarbeitenden Industrie stets als Gesamteinheiten beschafft werden, wäre ein solches Vorgehen allerdings nicht zielführend. Das folgende Fallbeispiel beschränkt sich deshalb auf das Betriebsmittel Roboter als Stückgut, das als Manipulator inklusive Steuerung eingekauft wird. Die anwendungsspezifischen Werkzeuge werden separat beschafft. Wegen der Vorlaufzeiten in der Produktion eines Industrieroboters ist die Bedarfsplanung für die langfristige Produktionsplanung des Roboterlieferanten essentiell. Demnach eignet sich dieses Betriebsmittel zur Veranschaulichung der Anwendung der QBBP.

In Bezug auf die unterschiedlichen verfügbaren Größen und Ausführungen der Industrieroboter spielen für die Einsatzzwecke des Automobilbaus insbesondere der Arbeitsraum und die Traglast der Manipulatoren eine entscheidende Rolle. Zur Reduzierung der Komplexität, des Instandhaltungsaufwands, der Ersatzteilbestände und der Einkaufspreise wird in der Praxis häufig eine gezielte Einschränkung auf möglichst wenige einzusetzende Robotertypen angestrebt. Dies führt für die Roboterlieferanten zu einer erhöhten Planungssicherheit, sodass in der Phase der Vorplanung für beide Seiten neben der qualitativen Festlegung auf die wesentlichen Robotertypen insbesondere die Gesamtanzahl der benötigten Roboter eine Rolle spielt. Die Verteilung dieser Quantitäten auf die verschiedenen Roboterklassen spielt in der frühen Planung noch keine Rolle, da sie projektübergreifend nicht signifikant variiert. Die Verteilung wird dementsprechend zunächst geschätzt. Mit der Verfügbarkeit der ersten Fertigungslayouts wird auch dieser Aspekt deterministisch bestimmt (vgl. Kapitel 4).

5.1.3 Fallstudienunternehmen

Für das Anwendungsbeispiel werden Werte aus der Industrie herangezogen. Als Datengrundlage konnten die Karosseriebauten verschiedener Fertigungsstandorte der BMW Group untersucht werden. Die BMW Group ist einer der weltweit führenden Automobil-Hersteller im Premiumsegment. Das Produktionsnetzwerk des Unternehmens erstreckt sich über zahlreiche internationale Standorte, um den Anforderungen der globalen Absatzmärkte gerecht zu werden. Da die Produktpalette und die Fertigungskapazitäten in diesem Produktionsnetzwerk kontinuierlich ausgebaut werden, existiert eine Vielzahl bereits realisierter sowie neuer Fabrikplanungsprojekte. Dies bedingt auch einen hohen Bedarf an neuen Fertigungsanlagen.

Zur nachfolgenden Einordnung von Planungsprojekten wird der generische Fabrikplanungsprozess (vgl. Kapitel 2.1.2) gemäß Abbildung 5-3 in Anlehnung an das Fallstudienunternehmen um eine konkrete Zeitschiene ergänzt.

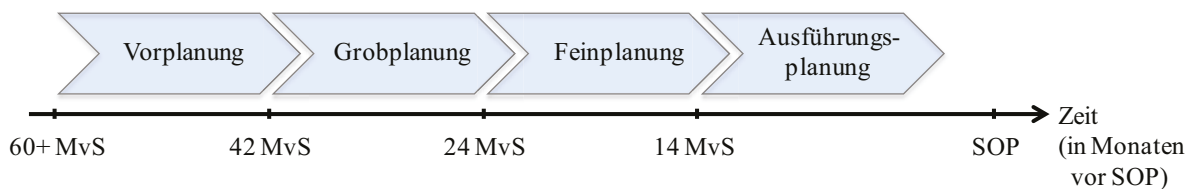


Abbildung 5-3: Fabrikplanungsprozess mit grober zeitlicher Einordnung im Fallstudienunternehmen

Um bei der Beschaffung der benötigten Betriebsmittel Skaleneffekte im Einkauf zu erzielen und die Versorgungssicherheit zu steigern, strebt die BMW Group langfristige Rahmenverträge und eine enge Zusammenarbeit mit einigen strategisch bedeutsamen Betriebsmittellieferanten an. Zu diesem Zweck werden analog den Ergebnissen der empirischen Studie (vgl. Kapitel 3.1) die künftigen Bedarfe in der frühen Planungsphase heuristisch und unter verhältnismäßig hohem Aufwand projektübergreifend abgeschätzt.

Das Fallbeispiel verdeutlicht das Fehlen einer systematischen Herangehensweise für die QBBP. Eine konkrete Methodik mit systematisch hergeleiteten und dokumentierten Methoden für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung fehlt bei der BMW Group. Planungslogiken hingegen, also folgerichtige Schlussfolgerungen, von welchen Faktoren die Anlagentechnikbedarfe abhängen (vgl. Kapitel 4.2), sind den Planungsträgern in vielfältiger Form bewusst, jedoch ist dieses Wissen dezentral verteilt und ebenfalls nicht dokumentiert. Die Ebene der Planungsintelligenzen (vgl. Kapitel 2.1.1), auf der aus den qualitativen Zusammenhängen durch zusätzliche Informationssätze quantitative Relationen hergestellt werden, ist von deduktiven und auch induktiven Heuristiken geprägt. Mangels prozessualer Integration ist die kontinuierliche Aktualisierung der Planungszahlen über die verschiedenen Phasen hinweg nicht gesichert. Dies kann dazu führen, dass neue Informationsstände nicht rechtzeitig an Lieferanten weitergegeben werden.

Aus planungstheoretischer Sicht sind folglich zunächst die relevanten Logiken zu überprüfen und gemäß der Vorgehensweise nach Kapitel 4 um zusätzliches Wissen anzureichern und so in zielgerichtete Planungsintelligenzen zu überführen. Deren Anwendung gilt es methodisch zu konkretisieren und sauber dokumentiert prozessual zu verankern.

Das Anwendungsbeispiel veranschaulicht gleichzeitig, in welcher Art und Weise ein systematischer Ansatz in der Industrie eine Unterstützung darstellen kann und unterstreicht damit den Forschungsbedarf.

5.1.4 Abgleich der Randbedingungen und Planungslogiken

Bevor die QBBP-Methodik zum Einsatz kommen kann, gilt es zunächst zu prüfen, ob die notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind (vgl. Abbildung 4-14, S. 80). Zwar produziert die BMW Group auch Fahrzeuge in Kleinserie, jedoch wird die Untersuchung auf jene Umfänge beschränkt, die gemäß Kapitel 4.1.1 als industrielle Großserienproduktion bezeichnet werden können und in einer getakteten Fließfertigung produziert werden. Dies trifft auf nahezu alle Derivate der Marken BMW und MINI zu und deckt daher den Großteil der Fertigungsanlagen der BMW Group ab. Die erforderliche Datengrundlage ist dementsprechend in ausreichender Breite vorhanden.

Zu erwähnen ist an dieser Stelle die Submarke BMW i, unter der mit dem im Jahr 2013 eingeführten BMW i3 ein grundlegend neues Produkt- und Produktionskonzept eingeführt wurde. Die tiefgreifenden Neuerungen betreffen nahezu die gesamte Fertigungskette (vgl. WALLENTOWITZ 2013). Damit handelt es sich bei dem Ansatz von BMW i um eine disruptive Innovation, auf die der entwickelte QBBP-Ansatz nicht ausgelegt wurde. Diese Umfänge werden daher im Folgenden aus der Betrachtung ausgeschlossen.

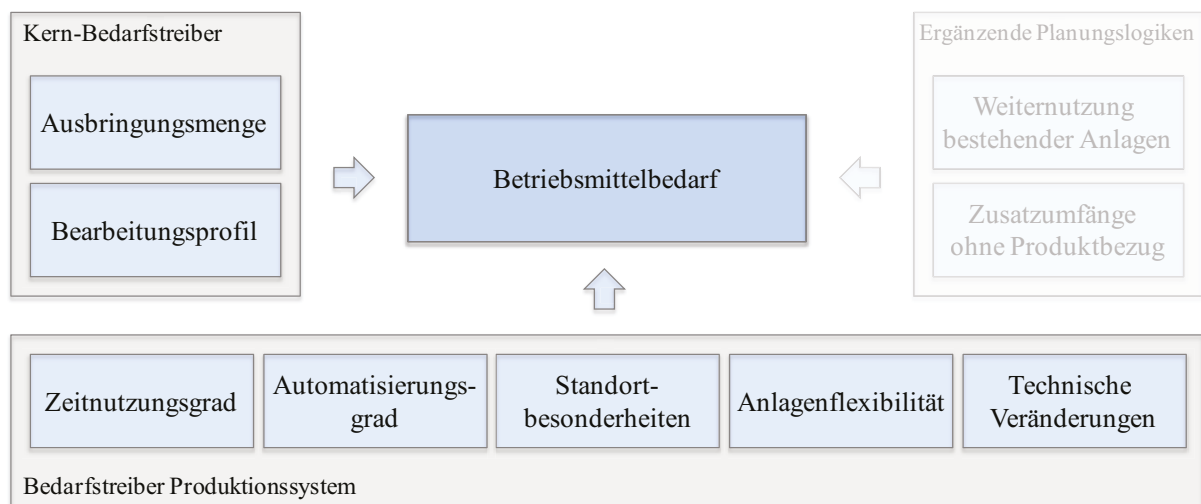


Abbildung 5-4: Zu überprüfende Bedarfstreiber der QBBP (vgl. Abbildung 4-4, S. 51)

Einige der Neuerungen, wie beispielsweise neue Materialkonzepte, werden allerdings auch sukzessive das restliche Produktportfolio des Unternehmens beeinflussen. Im Unterschied zur Produktion der Submarke BMW i geschieht dies jedoch schrittweise, weshalb nicht die gesamte Prozesskette betroffen ist. Derartige Innovationsschritte können über die Bedarfstreiber der QBBP abgebildet werden, die zur Verdeutlichung der Strukturierung erneut in Abbildung 5-4 dargestellt sind. Deren Eignung für die Umfänge des Fallbeispiels gilt es zunächst zu überprüfen.

Der Industrieroboter als Betriebsmittel dient im Karosseriebau in erster Linie der Durchführung der vielfältigen Fügeoperationen. Das für den Bedarf an Robotern relevante, *produktspezifische Bearbeitungsprofil* wird daher durch den Umfang an fügetechnischen Fertigungsinhalten bestimmt. Da in modernen Karosseriebauten für Großserienfahrzeuge praktisch alle Fügeoperationen robotergestützt durchgeführt werden (vgl. MORTIMER 2002; MORTIMER 2008), besteht folglich ein direkter Zusammenhang zwischen dem *produktspezifischen Bearbeitungsprofil* und dem Betriebsmittelbedarf. Unterstützende Prozessschritte wie die Handhabung der Bauteile oder automatische Messungen und Qualitätsprüfungen werden darüber hinaus ebenfalls mit Hilfe von Robotern durchgeführt, tauchen jedoch nicht im *produktspezifischen Bearbeitungsprofil* der Rohkarosserie auf. Es wird zunächst angenommen, dass die Korrelation zwischen den Umfängen an Füge- und Hilfsoperationen ausreichend stark ist, dass letztere nicht separat erfasst werden müssen. Diese Annahme ist in den folgenden Analysen zu prüfen und im Zweifel zu revidieren. An der starken Abhängigkeit des quantitativen Betriebsmittelbedarfs von dem *produktspezifischen Bearbeitungsprofil* als einer der Kern-Bedarfstreiber ändert dies allerdings nichts.

Als zweiter Kern-Bedarfstreiber wurde in Kapitel 4.2.1 die quantitative Dimension des Produktionsprogramms in Form der Ausbringungsmenge identifiziert. Diese bestimmt die Taktzeit der Fließfertigung und somit die maximale Zeit, die jedem einzelnen Roboter zur Durchführung der zugeteilten Prozessschritte pro Fahrzeug zur Verfügung steht. Eine Halbierung der Taktzeit würde beispielsweise bedeuten, dass pro Takt nur noch die Hälfte der Zeit zur Durchführung der Füge- und/oder Hilfsoperationen zur Verfügung steht. Werden die häufig impliziten Grundzüge des unternehmensspezifischen Produktionssystems beibehalten und die übrigen Parameter somit nicht signifikant variiert, bedeutet eine Halbierung der Taktzeit demnach, dass ca. doppelt so viele Roboter zur Erledigung der gleichen Quantität an Fertigungsinhalten notwendig wären. Der große Einfluss dieses Bedarfstreibers auf den Betriebsmittelbedarf lässt sich somit bestätigen.

Neben den Kern-Bedarfstreibern gilt es auch die Gültigkeit jener Bedarfstreiber zu prüfen, die der Abbildung von Veränderungen des Produktionssystems dienen (vgl. Abbildung 5-4). Als erster Aspekt ist der Zeitzutzungsgrad zu nennen. Dieser unterliegt in der industriellen Praxis zwar Schwankungen, neue Fertigungsanlagen im Karosseriebau werden im Fallstudienunternehmen jedoch stets auf den gleichen Zielwert ausgelegt. Dieser Bedarfstreiber spielt für das Anwendungsbeispiel dementsprechend keine Rolle.

Ein weiterer Bedarfstreiber ist der Automatisierungsgrad der Fertigungsanlagen. Dieser liegt im Karosseriebau in der Regel mit bis zu 95 Prozent generell auf sehr hohem Niveau (KLUG 2010). In Planungsprojekten wird dieser Wert bei der BMW Group meist nur innerhalb einer sehr geringen Bandbreite variiert²⁵, wirkt sich dann aber meist unmittelbar auf die Zahl der benötigten Roboter aus, da diese für verschiedenste Automatisierungsaufgaben eingesetzt werden. Der Bedarfstreiber kann daher in seiner Gültigkeit für das Fallbeispiel als bestätigt angesehen werden.

Als nächster Punkt ist der Einfluss von Standortbesonderheiten auf den Betriebsmittelbedarf im Anwendungsbeispiel zu überprüfen. Ein möglicherweise standortbedingt geringerer Automatisierungsgrad

²⁵ Das Produktionssystem und damit der Automatisierungsgrad werden standortübergreifend weitgehend konstant gehalten.

wird bereits durch den zuvor untersuchten Bedarfstreiber abgedeckt. Darüber hinaus konnten keine weiteren standortbedingten Einflüsse identifiziert werden, die sich auf den Roboterbedarf auswirken (vgl. Kapitel 3.1).

Die Anlagenflexibilität hingegen spielt als Bedarfstreiber für den Roboterbedarf im Karosseriebau des Fallstudienunternehmens eine wichtige Rolle. Werden mehrere Produkte auf einer Fertigungsline produziert, die untereinander signifikante fertigungstechnische Unterschiede aufweisen, werden möglicherweise zusätzliche Roboter in einem Fertigungsabschnitt benötigt, um die abweichenden Fertigungsinhalte zu realisieren. Weichen einzelne (Unter-)Baugruppen zwischen den Produkten zu stark voneinander ab, können auch zusätzliche Fertigungsanlagen für diese Baugruppen notwendig werden, auch wenn sich die Produkte die gleiche Haupt-Fertigungsline teilen. Der Bedarf an Robotern im Karosseriebau wird somit maßgeblich durch diesen Faktor beeinflusst.

Schließlich ist der Aspekt der technischen Veränderungen zu bewerten. Dieser kann mit dem technologischen Fortschritt oder der Veränderung technischer Standards wie Sicherheitsvorschriften oder vorkonfigurierten Anlagenmodulen einhergehen. Für den Bedarf des Betriebsmittels Industrieroboter können insbesondere die vorkonfigurierten Anlagenmodule von Bedeutung sein, wenn beispielsweise eine vorkonfigurierte Schweißzelle künftig standardmäßig einen zusätzlichen Roboter enthalten soll. Zudem kann der Aspekt des technologischen Fortschritts, der auch produktinduziert sein kann, einen wesentlichen Einfluss haben.

Die Ergänzenden Planungslogiken (vgl. Abbildung 5-4) bleiben unangetastet, da diese für jeden beliebigen Anwendungsfall Gültigkeit besitzen.

Zusammengenommen sind die Anforderungen für einen adäquaten Einsatz der entwickelten QBBP-Methodik erfüllt.

5.2 Vorgelagerte Analyse

Dem Vorgehensmodell der QBBP-Methodik (vgl. Kapitel 4.5.1) folgend steht vor der Anwendung die Analysephase. Für diese muss im ersten Schritt der Betrachtungsumfang abgegrenzt und anschließend die Normierung der Fertigungsinhalte vorgenommen werden. Liegen die betriebsmittelspezifischen Berechnungskonstanten nicht vor oder sind diese nicht auf dem aktuellen Stand, ist im nächsten Schritt zunächst die Datengrundlage zusammenzutragen oder zu aktualisieren. Daran schließt sich die eigentliche Analyse der Daten und damit die Ermittlung der Berechnungskonstanten an.

5.2.1 Abgrenzung des Betrachtungsumfangs

Der Festlegung des Betrachtungsumfangs wurde im vorangehenden Kapitel 5.1 bereits vorgegriffen, da der Fokus des Anwendungsbeispiels bereits auf das Betriebsmittel Industrieroboter im automobilen Ka-

rosseriebau festgelegt wurde. In diesem Kontext wird ein beispielhaftes Fahrzeugprojekt zur Instanziierung der QBBP-Methodik herangezogen. Dabei soll der Betriebsmittelbedarf für die gesamte Fertigungskette des Karosseriebaus geplant werden.

Für das Fallbeispiel, das sich an einem realen Fabrikplanungsprojekt der BMW Group orientiert, seien folgende Eckdaten festgelegt:

- Produktionsstart (SOP): in 48 Monaten;
- Ausbringungsmenge: 45 Einheiten pro Stunde, Taktzeit ca. 64 Sekunden;
- Produktspezifisches Bearbeitungsprofil (vgl. Kapitel 5.2.2): neue Produktgeneration, basierend auf Vorgänger, allerdings mit abweichendem Materialkonzept;
- Automatisierungsgrad: die Montage der Anbauteile (Türen, Motorhaube, Heckklappe und Kotflügel) soll im Gegensatz zu früheren Produktgenerationen vollautomatisiert durch Roboter erfolgen;
- Anlagenflexibilität: drei unterschiedliche Derivate (Limousine, Langversion der Limousine und Kombi) auf derselben (Haupt-)Fertigungslinie;
- Technische Veränderungen: Rückgriff auf bestehende Anlagen-Standards;
- Weiternutzung bestehender Anlagen: Fertigungsabschnitt für die Baugruppe B-2-2 (Boden Mitte) vollumfänglich integriert;
- Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug: für Logistikumfänge sind einige robotergetstützte Stationen zur automatisierten Handhabung von großen sequenzierten Zulieferteilen geplant.

Zudem liegen die Berechnungskonstanten zur Ermittlung des Roboterbedarfs im Karosseriebau nicht vor. Die dementsprechend vorgelagerte Analyse erstreckt sich über zahlreiche Fertigungsstationen bis zur fertigen Rohkarosserie. Als Grundlage für diese Analyse kommen die Zahlenwerte der entsprechenden Produktionsabschnitte bestehender Anlagen zum Einsatz.

5.2.2 Normierung der Fertigungsinhalte

Für die angestrebte lineare Regressionsanalyse (vgl. Kapitel 4.3.3) müssen die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* der Produkte für eine bessere Vergleichbarkeit einheitlich charakterisiert werden. Die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* im automobilen Karosseriebau sind durchgängig durch Fügeoperationen geprägt. Die zahlreichen thermischen, chemischen oder mechanischen Verfahren, die dabei zum Einsatz kommen, bringen jedoch unterschiedliche Anforderungen an die Betriebsmittel in Form der Roboter mit sich. Diese Anforderungen müssen zu Analysezielen vereinheitlicht werden. In Kapitel 4.3.2 wurde die Normierung von *Fertigungsinhalten (FI)* zur anwendungsorientiert komprimierten Beschreibung von *produktspezifischen Bearbeitungsprofilen* erläutert. Das Anwendungsbeispiel der Fügeverfahren im Karosseriebau eignet sich zur Veranschaulichung dieser Vorgehensweise. Dafür ist ein einzelnes Fügeverfahren als Referenzwert zu definieren und die übrigen eingesetzten Fügeverfahren nach einer einheitlichen Dimension relativ zu dieser Referenz zu bewerten. Im Fall des Karosseriebaus kann das am häufigsten eingesetzte Fügeverfahren, das Widerstandspunktschweißen (kurz: Punktschweißen), als Referenz gewählt werden (vgl. MÜLLER ET. AL. 2009; RICHTER 2007; TESCH 2010). Die

gewählte Normierung erfolgt im Folgenden über den Investitionsaufwand pro Fügevorgang. Dieses Vorgehen folgt der Logik nach Kapitel 4.3.2 und trägt den übrigen Prozessen des Fallstudienunternehmens durch die Nutzung eines bereits ermittelten Wertes Rechnung.

Für die Normierung findet die Planungsintelligenz aus Kapitel 4.3.2 Anwendung. Somit ist gemäß Formel (4.3) zunächst ein Referenzwert für die *normierten Fertigungsinhalte (NFI)* zu bestimmen. Hierfür wird das als Referenz-Fügeverfahren v^* bestimmte Punktschweißen herangezogen. Als Referenz-Zeitintervall t^* wird die Zeit von 60 Sekunden gewählt. Für eine Standard-Schweißzelle mit einem Industrieroboter und einem Durchsatz von 16 Schweißpunkten pro Minute bei hypothetisch optimalen Bedingungen wird ein Investitionsvolumen von 100 Prozent angenommen²⁶.

$$\mu^* = \frac{I_{\text{Punktschweißen}}}{w_{t^* \text{ Punktschweißen}}} = \frac{100 \%}{16 \text{ NFI}} = 6,25 \frac{\%}{\text{NFI}} \quad (5.1)$$

μ^*	Referenzwert für die Investitionen pro normiertem Fertigungsinhalt (hier in %/NFI, regulär in GE/NFI)
$I_{\text{Punktschweißen}}$	Investitionskosten für eine exemplarische Punktschweiß-Anlage (hier in %, regulär in GE)
$w_{t^* \text{ Punktschweißen}}$	Anzahl der Schweißpunkte, die auf einer exemplarischen Punktschweiß-Anlage im Zeitintervall $t^* = 60 \text{ s}$ ausgeführt werden können [NFI]

Für die übrigen Fügeverfahren sind im nächsten Schritt analog (vgl. Formel (4.4)) die entsprechenden Vergleichswerte zu berechnen. Als Zahlenbeispiel sei das Laserschweißen mit einer exemplarischen Applikationsanlage (Investitionskosten: 406%, relativ zu den Investitionskosten für eine Standard-Applikationsanlage für das Referenz-Fertigungsverfahren Punktschweißen, Durchsatz: 2.500 mm pro Minute²⁷) gewählt:

$$\mu'_{\text{Laserschweißen}} = \frac{I_{\text{Laserschweißen}}}{w_{t^* \text{ Laserschweißen}}} = \frac{406 \%}{2500 \text{ FI}} = 0,16 \frac{\%}{\text{FI}} \quad (5.2)$$

$\mu'_{\text{Laserschweißen}}$	Vergleichswert für die Investitionen pro Fertigungsinhalt des Fertigungsverfahrens Laserschweißen (hier in %/FI, regulär in GE/FI)
$I_{\text{Laserschweißen}}$	Investitionskosten für eine exemplarische Produktionsanlage für das Fertigungsverfahren Laserschweißen (hier in %, regulär in GE)
$w_{t^* \text{ Laserschweißen}}$	Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens Laserschweißen, die auf einer exemplarischen Produktionsanlage in dem Referenz-Zeitintervall $t^* = 60 \text{ s}$ ausgeführt werden können [FI]

²⁶ Zu Berechnungszwecken würde man regulär den tatsächlichen Investitionswert der Standard-Applikationsanlage heranziehen. Da dieser Wert im Fallbeispiel der Geheimhaltung des Unternehmens unterliegt, werden im vorliegenden Anwendungsbeispiel relative Werte verwendet.

²⁷ Werte aus Geheimhaltungsgründen abgeändert

Tabelle 5-1 stellt die Berechnungswerte für einige der im Automobilbau eingesetzten Fügeverfahren beispielhaft dar.

Verfahren	Einheit	Durchsatz Standard-Applikationsanlage	Invest. Standard-Applikationsanlage	Invest. pro Einheit d. Verfahrens	Faktor
<u>Punktschweißen (Stahl)</u>	<u>Stück</u>	<u>16</u>	<u>100%</u>	<u>6,25%</u>	<u>1,000</u>
Clinchpunkten	Stück	10	88%	8,75%	1,400
Stanznieten	Stück	10	138%	13,75%	2,200
Schrauben	Stück	10	106%	10,63%	1,700
Bolzenschweißen	Stück	10	75%	7,50%	1,200
Schutzgasschweißen (Stahl)	mm	600	113%	0,19%	0,030
Laserschweißen (Stahl)	mm	2500	406%	0,16%	0,026
Laserlöten (Stahl)	mm	2500	406%	0,16%	0,026
Bördeln	mm	5000	313%	0,06%	0,010
Festigkeitskleben	mm	8000	150%	0,02%	0,003
[...]					

Tabelle 5-1: Beispielhafte Normierung von Fügeverfahren für den automobilen Karosseriebau²⁸

Auf Basis der Vergleichswerte (den Investitionen pro Einheit je Fügeverfahren) lassen sich gemäß Formel (4.5) die unterschiedlichen *Fertigungsinhalte* anhand ihres Investitionsaufwands in eine einheitliche Größe umrechnen. Als Zahlenbeispiel sei erneut das Laserschweißen gewählt:

$$\mu_{\text{Laserschweißen}} = \frac{\mu'_{\text{Laserschweißen}}}{\mu^*} = \frac{0,16 \frac{\%}{FI}}{6,25 \frac{\%}{NFI}} = 0,026 \frac{NFI}{FI} \quad (5.3)$$

$\mu_{\text{Laserschweißen}}$ Umrechnungsfaktor für Fertigungsverfahren *Laserschweißen* [NFI/FI]

Anhand der sich ergebenden Faktoren können die verschiedenen fügetechnischen Fertigungsinhalte von Baugruppen oder ganzen Fahrzeugkarosserien in *normierte Fertigungsinhalte* umgerechnet werden (vgl. Formel (4.6)). Beinhaltet eine Baugruppe A beispielsweise 230 Schweißpunkte, 45 Schweißbolzen

²⁸ Werte aus Geheimhaltungsgründen abgeändert

und 2,6 Meter Laserschweißnaht, so lassen sich mit Hilfe der Faktoren aus Tabelle 5-1 die *normierten Fertigungsinhalte* für diese Baugruppe ermitteln:

$$w_{N_{Baugruppe\ A}} = w_{Punktschweißen\ Baugruppe\ A} + \sum_{v=1}^n (w_{v_{Baugruppe\ A}} \times \mu_v) \quad (5.4)$$

$w_{N_{Baugruppe\ A}}$	Normierte Fertigungsinhalte w_N der Baugruppe A [NFI]
$w_{P.schw.\ Bgr.A}$	Mit Baugruppe A einhergehende Fertigungsinhalte des Referenz-Fertigungsverfahrens <i>Punktschweißen</i> , der Anzahl an Schweißpunkten [NFI]
$w_{v_{Baugruppe\ A}}$	Mit Baugruppe A einhergehende Fertigungsinhalte des Fertigungsverfahrens v [FI]
μ_v	Umrechnungsfaktor für Fertigungsverfahren v [NFI/FI]

Somit ergibt sich:

$$w_{N_{Baugruppe\ A}} = 230\ NFI + 45\ FI * 1,2 \frac{NFI}{FI} + 2.600\ FI * 0,026 \frac{NFI}{FI} = 351,6\ NFI \quad (5.5)$$

Wie das Beispiel für die exemplarische Baugruppe A zeigt, lassen sich die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* von Fahrzeugkarosserien auf beliebiger Aggregationsebene durch eine einzige Zahl ausdrücken. Den Zusammenhang zwischen dem auf diese Weise ausgedrückten *produktspezifischen Bearbeitungsprofil* und dem Betriebsmittelbedarf zu ermitteln ist Gegenstand der späteren Regressionsanalyse.

5.2.3 Spezifizierung der Datengrundlage

Die Komplexität heutiger technischer Produkte, der damit verbundenen Fertigungsprozesse und der internationalen Produktionsnetzwerke vieler Industrieunternehmen machen eine systematische Vorgehensweise nicht nur bei der Analyse sondern bereits bei der Strukturierung der Datengrundlage notwendig. Die vielschichtigen Verflechtungen müssen zunächst adäquat abgebildet werden. So kann es vorkommen, dass ein Produkt auf mehreren Fertigungslinien an verschiedenen Standorten produziert wird, gleichzeitig aber auf einer Linie mehrere Produkte gefertigt werden. Derartige Verflechtungen erschweren eine klare Analyse. Zur adäquaten Aufbereitung solch verknüpfter Daten empfiehlt sich der Rückgriff auf ein relationales Datenmodell. Abbildung 5-5 schlägt beispielhaft ein solches vor.

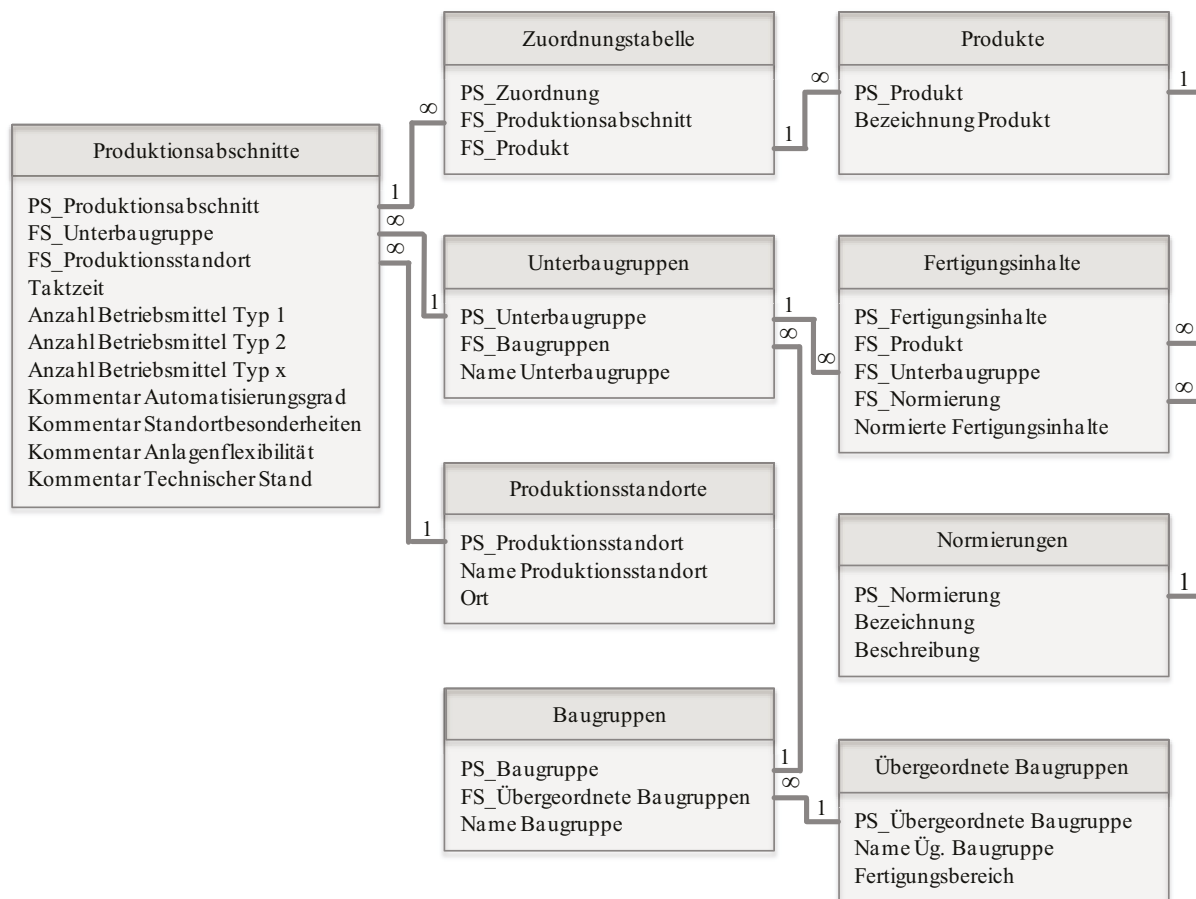


Abbildung 5-5: Exemplarisches physisches Datenmodell als Grundlage für die vorgelagerte Datenanalyse

Beginnend mit dem Primärschlüssel²⁹ (PS) werden als Ausgangspunkt die wesentlichen Informationen wie die Taktzeiten und die jeweilige Anzahl der Betriebsmittel aller zu untersuchenden Produktionsabschnitte benötigt. Dafür ist gemäß dem dargestellten Beispiel eine entsprechende Tabelle (Produktionsabschnitte) anzulegen, in der für die übrigen Bedarfstreiber Anmerkungen zu deren jeweiligen Ausprägungen hinterlegt werden können, da diese in der Regel nicht in quantifizierter Form vorliegen (vgl. Kapitel 4.3.5). Die benötigten Zahlenwerte sind den unternehmensspezifischen Systemen zur Produktionsüberwachung und Anlagendokumentation zu entnehmen, die optionalen Anmerkungen hingegen manuell durch Planungsexperten einzutragen. Der Logik relationaler Datenbanken folgend wird die Zuordnung der Produktionsabschnitte zu Standort und Unterbaugruppe, die in separaten Tabellen hinterlegt sind, über Fremdschlüssel (FS) realisiert. Die vorgeschlagene hierarchische Ordnung der Produkte und Produktionsabschnitte in Unterbaugruppen, Baugruppen und übergeordnete Baugruppen kann sich unternehmensspezifisch unterscheiden. Mit Hilfe einer separaten Zuordnungstabelle erfolgt die Verknüpfung zwischen den Fertigungsabschnitten und den in einer separaten Tabelle erfassten Produkten. Dies ist notwendig, da es sich dabei um eine n:n-Beziehung handelt, die datenbanktechnisch in anderer Form nicht referenziell integer abzubilden ist. Schließlich folgt eine Tabelle mit den eigentlichen Pro-

²⁹ Primär- und Sekundärschlüssel dienen in einer relationalen Datenbank dazu, die Datensätze einer Tabelle eindeutig identifizieren und verknüpfen zu können.

duktdaten, den Fertigungsinhalten, die den unternehmensspezifischen Produkt-Dokumentationssystemen zu entnehmen sind. Vereinfachend setzt die für das Datenmodell gewählte Darstellung bereits die Normierung der Fertigungsinhalte gemäß Kapitel 5.2.2 voraus. Zudem zeigt Abbildung 5-5 den datenbezogenen Umgang mit verschiedenen Normierungen der Fertigungsinhalte auf.

Die vorgeschlagene Strukturierung der Daten stellt die Grundlage für eine zielgerichtete Analyse dar. Für die Regressionsanalyse wird mit Hilfe einer Datenabfrage eine neue Tabelle generiert, die auf (Unter-)Baugruppenebene für jede tatsächlich bestehende Kombination aus Fertigungsabschnitt und produktspezifischen *normierten Fertigungsinhalten* einen eigenen Datensatz enthält. Während die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* an diesem Punkt bereits in verwendbarer Form vorliegen, ist gemäß Kapitel 4.3 außerdem die *taktspezifische Bestandskapazität* jedes Produktionsabschnitts zu ermitteln. Diese ergibt sich nach Formel (4.1) als Produkt aus Betriebsmittelbestand und Taktzeit in einem Fertigungsabschnitt. Darauf aufbauend kann im Anschluss die Regressionsanalyse durchgeführt werden, aus der die Berechnungskonstanten für die QBBP hervorgehen.

5.2.4 Regressionsanalyse der Bestandsdaten

Den Ausführungen in Kapitel 4.3.3 folgend ist im nächsten Schritt eine einfache lineare Regressionsanalyse durchzuführen. Dabei ist die Art der Abhängigkeit zwischen den beiden Variablen, der *taktspezifischen Bestandskapazität* sowie dem *produktspezifischen Bearbeitungsprofil*, anhand einer Stichprobe zu bestimmen, für die reale Daten herangezogen werden.

Wegen des großen Umfangs der analysierten Datenbasis ist diese in Tabelle 5-2 nur ausschnittsweise dargestellt. Eine vollständige Auflistung der analysierten Datensätze, aus denen sich der Wert des Regressionskoeffizienten ergibt, kann Anhang 8.4 entnommen werden.

Standort	Produkt	Baugruppe	Taktzeit [s]	BM-Typ Roboter [Stk.]	taktspez. Best.kap. ³⁰ [s]	NFI ³¹
Werk B	P13	B-2-1	96	112	10752	1431,00
Werk E	P08	B-2-2	53	81	4293	830,30
Werk F	P13	B-1-3	190	51	9690	1548,60
Werk A	P12	B-1-3	118	104	12272	2234,99
Werk B	P11	B-1-1	96	53	5088	472
[...]						

Tabelle 5-2: Ausschnitt aus der analysierten Datenbasis (vgl. Anhang 8.4)

Wie in Kapitel 4.3.1 erläutert, ergibt sich die hier angegebene *taktspezifische Bestandskapazität* aus dem Betriebsmittelbestand und der Taktzeit:

³⁰ *Taktspezifische Bestandskapazität*, vgl. insb. Kapitel 4.3.1

³¹ *Normierte Fertigungsinhalte*, vgl. Kapitel 5.2.2

$$k_{AT\text{Roboter},j} = b_{A\text{Roboter},j} \times \bar{t}_{Tj} \quad (5.6)$$

$k_{AT\text{Roboter},j}$	Taktspezifische Bestandskapazität k_{AT} des BM-Typs Industrieroboter in Fertigungsabschnitt j [s]
$b_{A\text{Roboter},j}$	Betriebsmittelbestand b_A des BM-Typs Industrieroboter in Fertigungsabschnitt j
$\bar{t}_{Tj}$	Durchschnittliche Taktzeit t_T in Fertigungsabschnitt j [s]

Gegeneinander aufgetragen werden die beiden Variablen *taktspezifische Bestandskapazität* sowie *normierte Fertigungsinhalte* aus Tabelle 5-2 (rot markierte Datenpunkte) bzw. Anhang 8.4 (übrige Datenpunkte) in einem Diagramm grafisch dargestellt, wie Abbildung 5-6 zeigt. Jeder Datenpunkt spiegelt eine reale Fertigungsanlage im Karosseriebau mit ihren Eckdaten wieder.

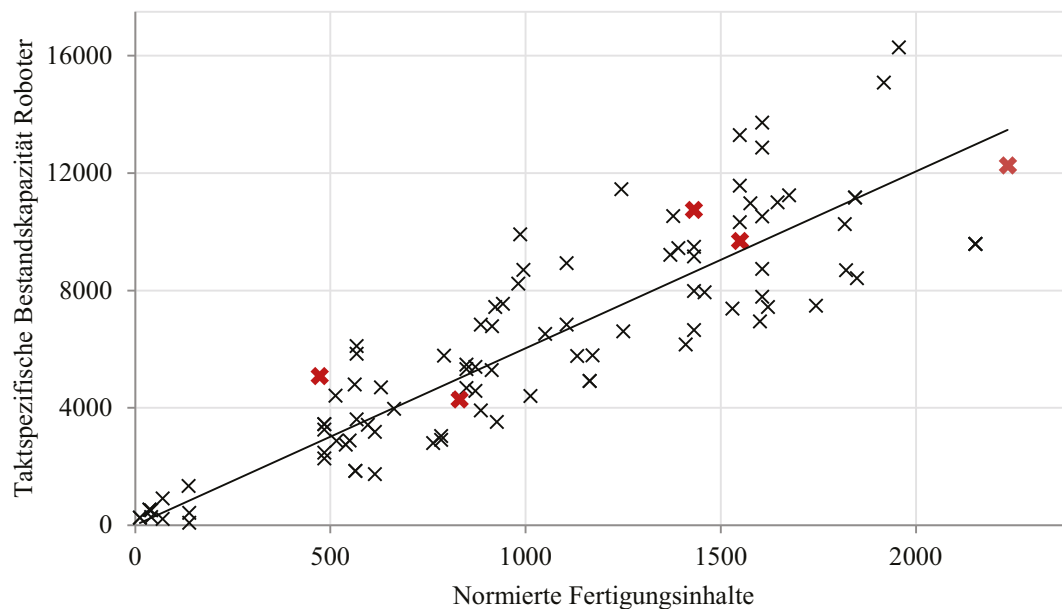


Abbildung 5-6: Lineare Regressionsanalyse zur Ermittlung der QBBP-Berechnungskonstante am Beispiel Roboter im Karosseriebau der BMW Group

Die Visualisierung der Daten bestätigt die approximiert lineare Abhängigkeit des Betriebsmittelbedarfs von den *normierten Fertigungsinhalten* (vgl. Kapitel 5.2.2). Zudem zeigen sich in der Datenreihe keine deutlichen Ausreißer, die das gesamte Modell grundsätzlich in Frage stellen könnten. Die eingezeichnete Trendlinie repräsentiert die durchschnittliche Ausprägung des Produktionssystems. Die fünf markierten Datenpunkte aus Tabelle 5-2 verdeutlichen beispielhaft, welche Schwankungsbreite in den Kennzahlen der einzelnen Produktionsanlagen dennoch möglich ist und gehandhabt werden muss. Der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ist im Folgenden mathematisch zu charakterisieren. Durch die Homogenisierung (vgl. Kapitel 4.3.3) vereinfacht sich dabei die Bestimmung des Regressionskoeffizienten (vgl. Formel (4.9)):

$$\beta_{Roboter} = \frac{\sum_{j=1}^n (w_{N_j} \times k_{AT_{Roboter,j}})}{\sum_{j=1}^n w_{N_j}^2} = 6,027 \frac{s}{NFI} \quad (5.7)$$

$\beta_{Roboter}$	Berechnungskonstante für den BM-Typ Industrieroboter im Karosseriebau
w_{N_j}	Normierte Fertigungsinhalte w_N in Fertigungsabschnitt j [NFI]

Der Regressionskoeffizient $\beta_{Roboter}$ beschreibt mathematisch das Ausmaß des Einflusses des *produkt-spezifischen Bearbeitungsprofils* auf die *taktspezifische Bestandskapazität*. Er gibt Aufschluss darüber, mit wie vielen Fertigungsanlagen die Kapazitätsbedarfe der bisher produzierten Erzeugnisse durchschnittlich bewältigt werden. Der Wert spiegelt somit im Querschnitt die Produktion des Unternehmens wieder. Alle Brach- und Störungszeiten sind rechnerisch bereits darin enthalten.

Um die Güte der zuvor dargestellten Regressionsfunktion bezüglich der Stichprobe statistisch bewerten zu können, kann das Bestimmtheitsmaß herangezogen werden (vgl. Formel (4.10)):

$$R^2 = \frac{(\sum_{j=1}^n (w_{N_j} \times k_{AT_{Roboter,j}}))^2}{\sum_{j=1}^n (w_{N_j})^2 \times \sum_{j=1}^n (k_{AT_{Roboter,j}})^2} = 0,773 \quad (5.8)$$

R^2	Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion
-------	--

Dieses Maß beschreibt den Anteil der durch die Regression erklärten Streuung an der Gesamtstreuung (TUTZ 2000). Für die Stichprobe lässt sich demnach aussagen, dass sich statistisch über 77 Prozent der gesamten Streuung der abhängigen Variable auf den linearen Einfluss der unabhängigen Variable zurückführen lassen. Wie in Kapitel 4.3.3 erläutert, ist eine generische Beurteilung der Güte eines untersuchten Zusammenhangs auf Basis dieser Größe grundsätzlich problematisch. Für die QBBP ist eine solche Bewertung für die Berücksichtigung der in einem späteren Planungsergebnis enthaltenen Unsicherheiten allerdings notwendig und wird für den ermittelten Berechnungskoeffizienten daher in Kapitel 5.3.2 erläutert.

5.3 Anwendung der Planungsmethodik

Liegen die Berechnungskonstanten vor, kann die eigentliche Methodenanwendung folgen. Für den Fall einer Multiprojekt-Betrachtung (vgl. WARNECKE, AURICH & HILLER 2003 und Abbildung 5-7) steht zunächst die Schaffung einer systematischen Projekt-Übersicht an erster Stelle. Darüber hinaus sind stets für jedes Projekt alle notwendigen Eingangsinformationen der Verfügbarkeit entsprechend zusammenzutragen (vgl. Abbildung 4-14, S. 80). Besonderer Beachtung bedarf dabei der Aspekt der Unsi-

cherheit, auf den im Folgenden ebenfalls eingegangen wird. Darauf aufbauend kann schließlich die zuvor entwickelte Berechnungsmethodik zum Einsatz kommen, um die Betriebsmittelbedarfe phasenadäquat zu ermitteln.

5.3.1 Schaffung einer systematischen Projektübersicht

Die zunehmende Variantenvielfalt gepaart mit der Globalisierung der Produktionsnetzwerke geht für die Fabrikplanung mit einer vielschichtigen (Multi-)Projektlandschaft einher. Als solche kann die Gesamtheit aller im Unternehmen ablaufenden Projekte verstanden werden (WARNECKE, AURICH & HILLER 2003). Die in Abbildung 5-7 gewählte, schematische Darstellung einer Multiprojektlandschaft ließe sich zur verbesserten Veranschaulichung der tatsächlichen Komplexität zusätzlich um eine Zeitachse erweitern, da jedes Planungsprojekt einen individuellen Zieltermin hat. Dabei kann ein einzelnes Fabrikplanungsprojekt mehrere Produkte umfassen. Soll die QBBP übergreifend für mehrere Projekte oder eine gesamte Planungslandschaft durchgeführt werden, befinden sich die einzelnen Projekte demnach meist in unterschiedlichen Planungsphasen. Als Grundlage für die adäquate Anwendung der entwickelten QBBP-Methodik ist daher eine systematische Übersicht der einzubeziehenden Projekte erforderlich.

Bei der systematischen Zusammenstellung ist darauf zu achten, dass diese planungsprojekt- und nicht produktspezifisch ist. Zudem empfiehlt sich eine zeitliche Sortierung der Projekte. Die konkrete Ausführung dieser Übersicht ist an die individuellen Gegebenheiten eines Unternehmens anzupassen. Sie sollte für die Planungsträger einfach zu lesen sein und die Möglichkeit bieten, dass die Ausprägungen der Bedarfstreiber sowie der ergänzenden Planungslogiken hinterlegt werden können. Zu diesem Zweck kann beispielsweise auf Tabellenkalkulations-Software zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 6.2.1).

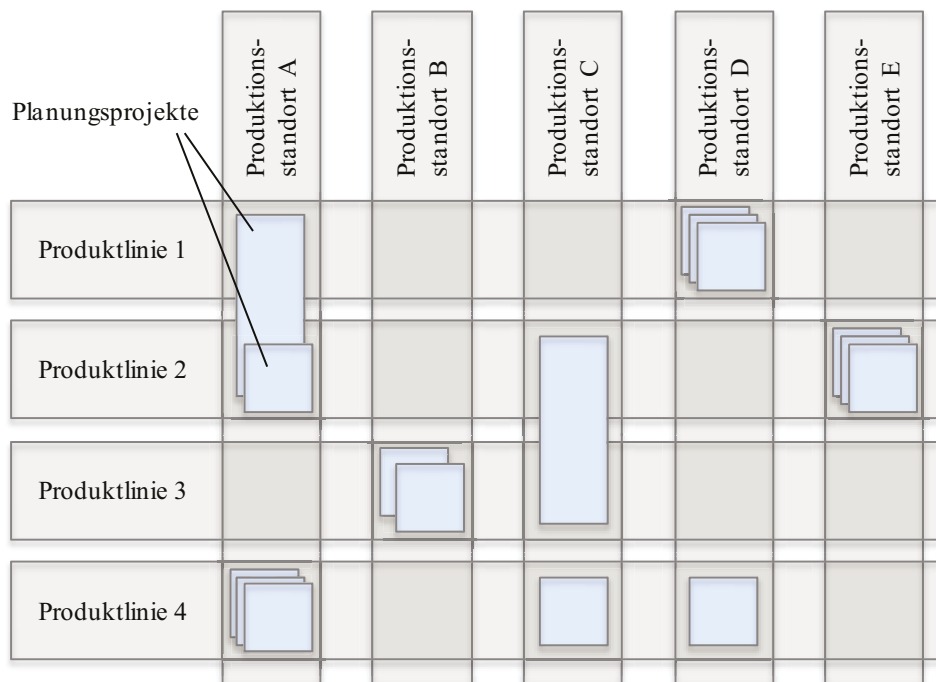


Abbildung 5-7: Modellhafte Darstellung einer Multiprojektlandschaft für die QBBP

Ein wesentlicher Aspekt ist darüber hinaus auch die kontinuierliche Aktualisierung dieser Projektübersicht. Ändern sich die Prämissen, muss sich auch die QBBP anpassen, um Fehlplanungen zu vermeiden. Insbesondere bei tiefgreifenden Veränderungen, wie der Verschiebung eines Projektes, ist dies von großer Bedeutung. Aufgrund der Tatsache, dass sich das gewählte Anwendungsbeispiel nicht über mehrere Projekte erstreckt, ist hier keine übergreifende Zusammenstellung erforderlich. Ein Beispiel für eine umfassende Projektübersicht wird in Kapitel 6.2.1 gegeben.

5.3.2 Handhabung von Unsicherheitsfaktoren

Insbesondere in der frühen Planungsphase können die für die QBBP herangezogenen Prämissen noch erheblichen Unsicherheiten unterliegen. Ändern sich die Prämissen in signifikantem Ausmaß, kann dies mit erheblichen Bedarfsmehrungen oder -minderungen sowie veränderten Bedarfszeitpunkten einhergehen. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass derartige Auswirkungen den Planungsträgern in der Industrie zwar implizit bewusst sind, sie jedoch häufig dennoch nicht entsprechend bewertet werden (WEIG 2008). Grundsätzlich jedoch empfehlen sich insbesondere für Entscheidungssituationen unter Unsicherheit detaillierte Bewertungen (REINHART ET. AL. 2008). Demzufolge ist der Aspekt der Unsicherheit bei den Eingangsdaten systematisch zu berücksichtigen. Bei der Zusammenstellung der Daten für die QBBP empfiehlt es sich daher, die enthaltenen Unsicherheiten zu dokumentieren. In Anlehnung an das klassische Risikomanagement³² lassen sich diese anhand einer mehrstufigen Matrix aus (Eintritts-)Wahrscheinlichkeit und Auswirkungsstärke bewerten. Im Rahmen der QBBP wird zu diesem Zweck vereinfachend eine 3x3-Matrix vorgeschlagen. Eine differenziertere Risikobetrachtung ist nach dem gleichen Prinzip gleichermaßen möglich.

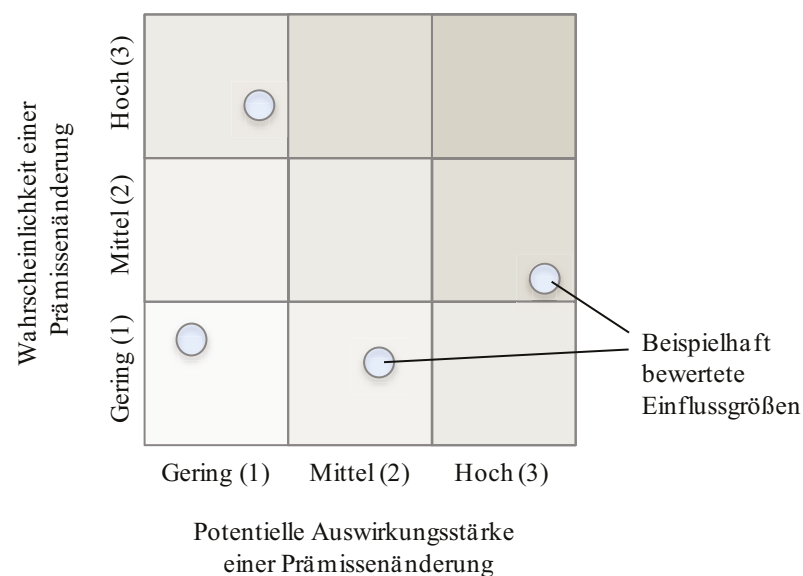


Abbildung 5-8: Matrix zur Bewertung der in den Eingangsgrößen der QBBP enthaltenen Unsicherheiten

³² vgl. insb. HILLSON, GRIMALDI & RAFFALE (2006), MCNEIL, FREY & EMBRECHTS (2010) und STROHMEIER (2007)

Das Maß an Unsicherheit je Eingangsgröße lässt sich durch eine Multiplikation der Werte beider in Abbildung 5-8 dargestellten Dimensionen zu einer einzelnen Größe verdichten. Zuvor müssen die Einflussfaktoren in beiden Dimensionen einzeln bewertet werden.

Einfluss auf den kumulierten Betriebsmittelbedarf	Potentielle Auswirkungsstärke einer Prämissenänderung
0 bis 5%	Gering (1)
6 bis 19%	Mittel (2)
ab 20%	Hoch (3)

Tabelle 5-3: Bewertung der potentiellen Auswirkungsstärke einer Prämissenänderung

Die Auswirkungsstärke einer möglichen Prämissenänderung bemisst sich nach der potentiell auf das Gesamtergebnis induzierten Schwankungsbreite. Der Einfluss kann dabei grundsätzlich positiv wie negativ ausgeprägt sein. Tabelle 5-3 gibt eine beispielhafte Orientierungshilfe für die Bewertung dieser Dimension im Fallbeispiel. Die unternehmensspezifische Konkretisierung solcher Grenzwerte ist wie im dargestellten Anwendungsbeispiel mit erfahrenen Planungsträgern und Projektmanagern abzustimmen.

Als zweite Dimension bleibt die Wahrscheinlichkeit der jeweiligen Prämissenänderung einzustufen. Wie auch bei der Auswirkungsstärke einer Prämissenänderung unterläge eine freie Bewertung einer hohen Subjektivität. Tabelle 5-4 verdeutlicht daher die für das Anwendungsbeispiel gewählte und zuvor unternehmensintern abgestimmte Beurteilungshilfe für diese Dimension.

Erfahrungsgemäße Häufigkeit einer signifikanten Prämissenänderung (in x von 10 Projekten)	Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit einer Prämissenänderung
$x \leq 2$	0 bis 20%	Gering (1)
$2 < x \leq 5$	21 bis 50%	Mittel (2)
$x > 5$	ab 51%	Hoch (3)

Tabelle 5-4: Bewertung der Wahrscheinlichkeit einer signifikanten Prämissenänderung

Zusammengefasst ergibt sich als Produkt der Werte beider Dimensionen ein Unsicherheitsmaß zwischen eins und neun. Dieses Prinzip wird bei der folgenden Sammlung und Bewertung der Eingangsinformationen für die QBBP im Fallbeispiel verdeutlicht.

Ein hohes Unsicherheitsmaß einer Eingangsgröße verdeutlicht, dass dieser verstärkte Aufmerksamkeit zukommen zu lassen ist. Dies bedeutet eine zusätzliche Plausibilisierung des zur Berechnung herangezogenen Wertes sowie ein häufigeres Monitoring des Wertes im Projektverlauf, sodass eventuelle Veränderungen unmittelbar in die QBBP einfließen und resultierende Mehr- oder Minderbedarfe direkt weitergegeben werden können. Für Eingangsdaten mit einem hohen Unsicherheitsmaß ist daher die in Kapitel 4.5.2 beschriebene Integration der QBBP in den Fabrikplanungsprozess von entscheidender Bedeutung. Bei einer mittleren Unsicherheit empfiehlt sich ebenfalls ein regelmäßiges Monitoring bzw.

eine Abwägung der Handhabung des Einzelfalles. Tabelle 5-5 verdeutlicht die Implikationen der verschiedenen Unsicherheitsmaße für die QBBP.

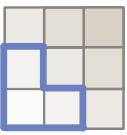
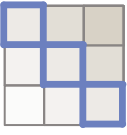
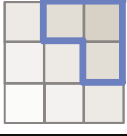
	Unsicherheitsmaß x	Implikationen
	$x \leq 2$	<u>Geringe Unsicherheit</u> keine besonderen Vorkehrungen
	$2 < x \leq 5$	<u>Mittlere Unsicherheit</u> Regelmäßiges Monitoring bzw. Einzelfallbetrachtung
	$5 < x$	<u>Hohe Unsicherheit</u> Erneute Plausibilisierung der Werte und Monitoring der Eingangsgrößen intensivieren; evtl. Sicherheitsvorhalt in der Planung

Tabelle 5-5: Implikationen des Unsicherheitsmaßes der Eingangsgrößen für die QBBP

Veranschaulicht werden kann dieses Prinzip zur Bewertung von Unsicherheiten anhand der in Kapitel 5.2.4 ermittelten betriebsmittelspezifischen Berechnungskonstante.

5.3.3 Eingangsdaten für die QBBP

Ein weiterer Aspekt, der bei der Einzel- wie bei der Multiprojekt-Betrachtung gleichermaßen von großer Bedeutung für die QBBP ist, ist das Zusammentragen der erforderlichen Eingangsdaten, die aus den in Kapitel 4.2 erläuterten Planungslogiken hervorgehen. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.1.4 getroffenen Einschränkungen sind die Folgenden Eingangsinformationen für die QBBP zu spezifizieren:

- Kern-Bedarfstreiber (*Ausbringungsmenge* und *Bearbeitungsprofil*),
- Bedarfstreiber Produktionssystem (*Automatisierungsgrad*, *Anlagenflexibilität* und *technische Veränderungen*),
- Ergänzende Planungslogiken (*Weiternutzung bestehender Anlagen* und *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug*).

Gemäß dem in Abbildung 5-3 (S. 89) dargestellten Fabrikplanungsprozess lässt sich das für die Fallstudie gewählte Projekt, das sich 48 Monate vor Produktionsstart befindet (vgl. Kapitel 5.2.1), klar der Phase der Vorplanung zuordnen. Der entwickelten Methodik folgend (vgl. Kapitel 4.5.1), ist die QBBP somit nicht auf Ebene der Fertigungsabschnitte sondern kumuliert für den gesamten Fertigungsbereich des Karosseriebaus durchzuführen. Dafür sind einige der nötigen Eingangsinformationen abzuschätzen (vgl. Kapitel 4.1.4), da sie noch nicht konkret feststehen. Zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit der Schätzungen der Berechnungsfaktoren können diese teilweise in ihre Planungslogiken zerlegt werden. Liegen zudem zu einem der herangezogenen Faktoren bereits konkretere Informationen vor, als dies in der Methodik veranschlagt ist, sind diese Werte zu bevorzugen.

Für die anschließende Bedarfsplanung ist zu beachten, dass der Anlagenaufbau 12 bis 14 Monate vor Beginn der Serienproduktion startet. Zu diesem Zeitpunkt werden die Betriebsmittel bereits auf der Baustelle benötigt. Soll der Produktionsstart im Fallbeispiel in 48 Monaten erfolgen, liegt der reale Bedarfszeitpunkt folglich ca. 35 Monate in der Zukunft. Auch wenn der zeitliche Aspekt die Quantität des Betriebsmittelbedarfs nicht unmittelbar beeinflusst empfiehlt es sich dennoch, ihm ein Unsicherheitsmaß zuzuordnen. Insbesondere eine kurzfristige Verschiebung des Bedarfszeitpunktes kann in der operativen Produktionsplanung eines Betriebsmittellieferanten möglicherweise nicht mehr vollständig umgesetzt werden. Lieferengpässe können die Folge sein. Im Fallstudienunternehmen sind Anlaufverschiebungen wegen der vielfältigen prozessualen Abhängigkeiten nahezu ausgeschlossen. Die Wahrscheinlichkeit einer Terminverschiebung kann daher als *gering* eingestuft werden. Aufgrund der Tatsache, dass eine solche Verschiebung andernfalls auf ein möglichst geringes Maß beschränkt werden würde, kann die Auswirkungsstärke als *mittel* betrachtet werden. Das Unsicherheitsmaß beträgt demnach *zwei*.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, sind die zu erreichende Ausbringungsmenge und das Bearbeitungsprofil der herzustellenden Produkte die Kern-Bedarfstreiber der QBBP und sie stellen bereits quantifizierte Größen dar, die direkt zu Berechnungszwecken herangezogen werden können. Die Ausbringungsmenge ergibt sich zunächst aus der strategischen Absatzplanung und bestimmt für die Fließfertigung gemäß Kapitel 2.1.3 mittelbar die Taktzeit. Diese Zeitgröße spielt für die Fabrikplanung allgemein eine wichtige Rolle, da sie praktisch alle Fertigungsanlagen und -prozesse beeinflusst. Für die QBBP sind es dementsprechend der aktuelle Planungsstand und somit die digitalen Werkzeuge der Fabrikplanung, auf die als Datenquelle zurückzugreifen ist. In der Praxis wird die Taktzeitberechnung unternehmensspezifisch teils leicht angepasst, so auch im Fallstudienunternehmen. Für das Anwendungsbeispiel ergibt sich gemäß den Daten der allgemeinen Vorplanung, wie in Kapitel 5.2.1 dargestellt, ein Takt von ca. 64 Sekunden. Die darin bereits enthaltenen Abzüge für technische und organisatorische Stillstandszeiten können als stabil angesehen werden. Die zugrunde gelegte zu erreichende Ausbringungsmenge hingegen könnte sich je nach Marktentwicklung theoretisch noch verändern. Eine Variation der zu erreichenden Ausbringungsmenge im Fallbeispiel würde mit erheblich reduzierten oder gesteigerten Betriebsmittelbedarfen einhergehen. Die Auswirkungsstärke einer Änderung dieser Prämisse ist daher als *hoch* einzustufen. Die Wahrscheinlichkeit hingegen ist hierfür zum Zeitpunkt von 48 Monaten vor Produktionsstart bereits als *gering* anzusetzen. Für das Unsicherheitsmaß (vgl. Kapitel 5.3.2) ergibt sich somit ein Wert von *drei*, der eine mittlere Unsicherheit widerspiegelt (vgl. Tabelle 5-5). Für diesen Kern-Bedarfstreiber ist somit insbesondere wegen des starken Einflusses auf das Planungsergebnis ein regelmäßiges Monitoring durchzuführen.

Die Produktentwicklung ist für das zur Veranschaulichung herangezogene Produkt im Fallstudienunternehmen zum Zeitpunkt von 48 Monaten vor Produktionsstart längst nicht abgeschlossen. Folglich ist das *produktspezifische Bearbeitungsprofil* noch nicht abschließend bestimmt. Demnach ist die Fabrikplanung in der Phase der Vorplanung auf möglichst fundierte Annahmen über das zukünftige Produkt angewiesen (vgl. WEIG 2008). Selbiges gilt auch für die QBBP. Im Fallbeispiel ist zu beachten, dass die neue Produktgeneration, für die die Fertigungsanlagen auszulegen sind, drei unterschiedliche Derivate umfasst (vgl. Kapitel 5.2.1). Demnach ist in der Planung zunächst das umfangreichste *produktspezifische Bearbeitungsprofil* heranzuziehen und den übrigen Derivaten durch den Faktor Anlagenflexibilität Rechnung zu tragen.

In Kapitel 4.4.2 wurde bereits darauf hingewiesen, dass Tabellen mit Vergleichswerten aus Vergangenheitsprojekten als Anhaltspunkt zur Förderung der Transparenz und Reproduzierbarkeit der Planungsergebnisse sowie zur Unterstützung der Planungsträger hilfreich sein können. Im vorliegenden Fall ist bekannt, dass die zukünftige Produktgeneration auf der vorherigen basiert, wegen eines abgeänderten Materialkonzeptes jedoch zusätzliche Fertigungsinhalte in signifikantem Ausmaß zu erwarten sind. Sind die Daten aktueller und früherer Produktgenerationen in einer entsprechenden Tabelle hinterlegt, kann eine systematische Ableitung auf Basis des *produktspezifischen Bearbeitungsprofils* des Vorgängers getroffen werden. Aus den Vergangenheitsdaten lässt sich für jede Produktgeneration eine Mehrung der *normierten Fertigungsinhalte (NFI)* im Karosseriebau von fünf bis zehn Prozent herleiten. Derartige Abschätzungen oder konkretere Werte sind für die QBBP durch die Entwicklungsabteilung oder die allgemeine Fabrikplanung zu liefern. Stehen solche Werte beispielsweise aus Zeitgründen nicht zur Verfügung, muss der Planungsträger für die QBBP selbst eine grobe Schätzung aufstellen und sich dabei an den durchschnittlichen Mehrungen vergangener Projekte orientieren. Die Karosserie des Vorgängerproduktes für das Anwendungsbeispiel beinhaltete 9.400 *normierte Fertigungsinhalte* für jenes der drei Derivate mit dem umfangreichsten *produktspezifischen Bearbeitungsprofil*. Gespräche mit Produktentwicklern und Fertigungsplanern ergaben darüber hinaus, dass durch das abgeänderte Materialkonzept mit erheblichen Mehrungen der Fertigungsinhalte zu rechnen ist. Für die zu beplanende Produktgeneration wird entwicklungsseitig ein Wert von 10.450 NFI (+11,2%) veranschlagt. Dieser Wert ist als Schätzung grundsätzlich noch mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die potentielle Schwankungsbreite dieses Wertes bei der sukzessiven entwicklungsseitigen Konkretisierung des Produktes eher gering ist, da das grobe Produkt- sowie Materialkonzept im Fallbeispiel bereits durch die zugrunde liegende Fahrzeugarchitektur festgelegt sind. Grundlegende Veränderungen dieser Konzepte sind in Anbetracht der allgemein sehr engen Terminpläne der Automobilindustrie nicht zu erwarten, eine Veränderung des *produktspezifischen Bearbeitungsprofils* durch dessen Konkretisierung aber nahezu sicher. Beispielsweise können sich die gewählten Fügeverfahren noch verändern, was direkte Auswirkungen auf die Zahl der *normierten Fertigungsinhalte* und damit das *produktspezifische Bearbeitungsprofil* hat. Die Auswirkungsstärke einer Prämissenänderung kann daher als *gering bis mittel*, deren Wahrscheinlichkeit als *hoch* eingeschätzt werden. Das Unsicherheitsmaß beläuft sich folglich auf einen Wert zwischen *drei* und *sechs*, was im Durchschnitt noch einer mittleren Unsicherheit entspricht und so die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit mit der Entwicklungsabteilung unterstreicht. In diesem Fall ist zu erwägen, Vorkehrungen analog einer hohen Unsicherheit zur adäquaten Handhabung dieses Faktors entsprechend Tabelle 5-5 zu treffen. Zudem ist ein regelmäßiges Monitoring anzustreben.

Analog den Ausführungen in Kapitel 4.3.5 sind im nächsten Schritt jene Bedarfstreiber zu spezifizieren, die das Produktionssystem eines Unternehmens betreffen. Da diese teilweise schwer zu quantifizieren sind, kann die grafische Darstellung der zuvor analysierten Daten (vgl. Abbildung 5-6, S. 99) eine Hilfestellung sein. So repräsentiert die Regressionsgerade die kumulierte durchschnittliche Ausprägung der jeweiligen Faktoren. Der erste zu betrachtende Bedarfstreiber aus dieser Reihe ist der Automatisierungsgrad der Anlagen. Gemäß den Eckdaten des beispielhaft herangezogenen Planungsprojektes (vgl. Kapitel 5.2.1) konnte nach Rücksprache mit den zuständigen Prozessplanern festgestellt werden, dass die Montage der Anbauteile (Türen, Motorhaube, Heckklappe und Kotflügel) vollautomatisiert durch Roboter erfolgen soll. In den bestehenden Karosseriebauten des Unternehmens ist dies bisher nur teilweise

umgesetzt und bedeutete gemäß den Vergangenheitsdaten im Umsetzungsfall einen Mehrbedarf von vier bis sechs Prozent. Diese Mehrbedarfe sind in geringem Ausmaß bereits in die Datenanalyse eingeflossen. Durch derartige Analysen lassen sich Referenztabellen wie Tabelle 5-6 herleiten, die auf Vergangenheitswerten beruhen und durch Rücksprache mit erfahrenen Planungsträgern zu validieren sind.

Typische Einflussfaktoren für Veränderungen des Automatisierungsgrades der Karosseriebauanlagen	Potentielle Bandbreite der Ausprägung	Standardwert zur Berechnung	Wert bei Nicht-Umsetzung
Automatisierte Montage der Anbauteile	+4% bis +6%	+5%	-0,5%
Verstärkt automatisierte Teilebereitstellung	+1% bis +3%	+1%	-
Verstärkt automatisierte Ab stapelung der Baugruppe Seitenrahmen	+0,5% bis +1%	+0,5%	-
Automatisierung sonstiger zusätzlicher Handhabungsumfänge	+0,5% bis +2%	+1%	-
Deautomatisierung von Fertigungsinhalten	-0,5% bis -8%	-2%	-

Tabelle 5-6: QBBP-Referenztable zur Bestimmung des zusätzlichen Roboterbedarfs durch den Bedarfstreiber Automatisierungsgrad im automobilen Karosseriebau bei der BMW Group

Im Anwendungsbeispiel ist der Aspekt der automatisierten Montage der Anbauteile zu berücksichtigen. Für die übrigen gelisteten Punkte sind im Projekt keine nennenswerten Veränderungen gegenüber den Vergangenheitswerten vorgesehen. Bei der Montage der Anbauteile muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass vier Türen und zwei grundlegend unterschiedliche Varianten der Heckkappe zu montieren sind. Aus diesem Grund ist ein Wert leicht über dem Standard zu wählen. Somit ergibt sich für den Bedarfstreiber Automatisierungsgrad ein Mehrbedarf von sechs Prozent für die QBBP. Da dieser Wert mit der Automatisierung der Montage der Anbauteile die Modernisierung des Produktionssystems des Fallstudienunternehmens widerspiegelt, kann es als unwahrscheinlich angesehen werden, dass diese Entscheidung revidiert wird. Dass sich für einen oder mehrere der anderen in Tabelle 5-6 genannten Aspekte im weiteren Projektverlauf geringfügige Anpassungen ergeben ist jedoch durchaus möglich. Zudem ist stets zu bedenken, dass auch die Referenztabellen selbst Unschärfen enthalten. Sie dienen daher als Orientierungshilfe, können eine individuelle Einzelfallbeurteilung durch Experten allerdings nicht ersetzen. Für den Bedarfstreiber Automatisierungsgrad kann auf dieser Grundlage mit einer *geringen* Auswirkungsstärke bei *mittlerer* Wahrscheinlichkeit kalkuliert werden. Somit ergibt sich ein geringes Unsicherheitsmaß von *zwei*, das keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich macht.

Für den nächsten zu betrachtenden Bedarfstreiber, die Anlagenflexibilität, ist die Diversität der gefertigten Produkte entscheidend. Die Diversität der Erzeugnisse wird durch die Anzahl der Varianten und deren Unterschiedlichkeit bestimmt. Im Fallbeispiel sollen auf einer Hauptfertigungslinie drei unterschiedliche Derivate produziert werden: die Limousine, deren Langversion und der Kombi. Während sich die Unterschiedlichkeit zwischen Limousine und deren Langversion auf einige wenige Baugruppen wie das Bodenblech, den Seitenrahmen und das Dach beschränkt, bestehen zum Kombi größere fertigungstechnische Differenzen. Beispielsweise ist in diesem Fall ein grundlegend anderer Heckaufbau notwendig. Dies kann zu erheblichen Zusatzbedarfen führen, wenn für eine solche Baugruppe zwei se-

parate Produktionsanlagen notwendig sind. Im Fall weniger tiefgreifender Unterschiede wird eine Anlage um modulare Fertigungszellen erweitert oder gezielt einzelne Betriebsmittel ergänzt. Letztere Herangehensweise wird insbesondere auch für den Fall nur geringfügig unterschiedlicher *produktspezifischer Bearbeitungsprofile* angewendet. Auch für diesen Bedarfstreiber ist die Erstellung einer entsprechenden Tabelle mit Referenzwerten zur Unterstützung der Planungsträger empfehlenswert. Tabelle 5-7 verdeutlicht die exemplarische Quantifizierung des Bedarfstreibers Anlagenflexibilität für das Anwendungsbeispiel. Die Werte basieren zum Großteil auf einer Analyse der Bestandsdaten und wurden in Zusammenarbeit mit Spezialisten aus der Fabrikplanung ergänzt und verifiziert. Ein solches Vorgehen eignet sich allgemein zur Erstellung derartiger Referenztabellen.

	Empfohlene Werte je nach maximalem <u>Unterschied</u> der Derivate		
	<u>Gering</u> (z.B. klassisches Antriebskonzept $\Leftrightarrow$ Plug-In-Hybrid)	<u>Mittel</u> (z.B. Limousine $\Leftrightarrow$ deren Langversion)	<u>Groß</u> (z.B. Limousine $\Leftrightarrow$ Cabrio oder unterschiedliche Produktlinien)
1 Derivat	-	-	-
2 Derivate	+2%	+4%	+9%
3 Derivate	+2%	+5%	+10%
4 Derivate	+3%	+6%	+10%
5+ Derivate	+3%	+6%	+11%

Tabelle 5-7: QBBP-Referenztable zur Bestimmung des zusätzlichen Roboterbedarfs durch den Bedarfstreiber Anlagenflexibilität im automobilen Karosseriebau bei der BMW Group

Das Fallbeispiel umfasst drei Derivate, von denen sich zwei signifikant unterscheiden. Die notwendige Anlagenflexibilität kann gemäß Tabelle 5-7 somit als groß eingestuft werden. Für die Berechnung bedeutet dies, dass für den untersuchten Bedarfstreiber ein Mehrbedarf bei den Industrierobotern von 10 Prozent angenommen werden kann. In der strategischen Planung des Fallstudienunternehmens ist es angesichts der Zeitachse im Fallbeispiel unwahrscheinlich, dass sich die Verteilung der Produkte auf die Fertigungsstandorte noch dahingehend verändert, dass sich für das Projekt Änderungen bei der zu berücksichtigenden Anzahl an Derivaten ergeben. Allerdings stellt der beschriebene Flexibilitätsvorhalt von zusätzlichen 10 Prozent lediglich eine Schätzung für die drei Derivate dar und wird sich mit dem Fortschritt des Projektes noch verändern. Mit *hoher* Wahrscheinlichkeit wird sich der Bedarfstreiber Anlagenflexibilität daher in *geringem* Ausmaß auf das Gesamtergebnis auswirken. Das Unsicherheitsmaß für diesen Bedarfstreiber liegt folglich bei *drei*. Dies entspricht einer mittleren enthaltenen Unsicherheit und spricht für ein regelmäßiges Monitoring.

In Bezug auf potentielle Veränderungen des Produktionssystems ist darüber hinaus der Bedarfstreiber *technische Veränderungen* zu untersuchen. Wie aus der Abgrenzung des Betrachtungsumfangs hervorgeht, wird im dargestellten Fabrikplanungsprojekt auf bestehende technische Standards zurückgegriffen. Daher fließt dieser Aspekt nicht weiter in die Berechnung ein. Da tiefgreifende technische Änderungen im Produktionssystem des Fallstudienunternehmens lange Vorlaufzeiten bedingen würden, können diese im Anwendungsbeispiel praktisch ausgeschlossen werden. Die Wahrscheinlichkeit eventuel-

ler Veränderungen dieses Bedarfstreibers kann daher als *gering* eingeschätzt werden mit *geringen* Auswirkungen auf das Planungsergebnis. Dies führt zu einem Unsicherheitsmaß von *eins*. Folglich bedarf der Aspekt der technischen Veränderungen im Fallbeispiel keiner weiteren Betrachtung.

Im Rahmen der ergänzenden Planungslogiken ist auch der konkrete Umfang an bestehenden und weitergenutzten Fertigungsanlagen zu bestimmen. Aus den in Kapitel 5.2.1 angeführten Eckdaten geht hervor, dass der Fertigungsabschnitt für die Baugruppe B-2-2 (Boden Mitte) vollumfänglich integriert werden soll. Eine Analyse der Bestandsdaten (vgl. Anhang 8.4) ergibt, dass in einem durchschnittlichen Karosseriebau der BMW Group knapp sieben Prozent der Industrieroboter diesem Fertigungsabschnitt zugordnet werden können. Im vorliegenden Fall ist gemäß der bisherigen Planung bereits konkret festgelegt, dass ausschließlich dieser eine Fertigungsabschnitt ohne Veränderungen weitergenutzt werden soll. Folglich kann anstelle des approximierten auf den tatsächlichen Wert zurückgegriffen werden. Der somit aus den Bestandsdaten auszuleitende Roboterbestand in diesem Fertigungsabschnitt beträgt 81. Verändert sich die Planung im Projektverlauf dahingehend, dass die betrachtete Anlage doch ersetzt werden muss, steigt der Betriebsmittelbedarf ca. um den Betrag der andernfalls integrierten Betriebsmittel. Im Projektstadium des Fallbeispiels, in dem die Entwicklung des Fahrzeugs noch lange nicht abgeschlossen ist, sind derartige Veränderungen nicht auszuschließen. Die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung dieser Prämisse muss demnach als *hoch* eingeschätzt werden. In Bezug auf die Auswirkungsstärke einer Prämissenänderung besteht auch die Möglichkeit, dass anstelle eines kompletten Neubaus die Fertigungsanlagen weiterer Baugruppen integriert werden können. Das potentielle Ausmaß auf das Planungsergebnis muss gemäß Tabelle 5-3 (S. 103) als *mittel* bewertet werden. Für das Unsicherheitsmaß ergibt sich infolgedessen ein Wert von *sechs*. Dies entspricht einer hohen Unsicherheit und erfordert daher besondere Aufmerksamkeit. Der Integrationsgrad wirkt sich unmittelbar auf den Gesamtbedarf aus und sollte folglich interdisziplinär zwischen Fabrikplanung und Entwicklung plausibilisiert und regelmäßig in kurzen Abständen reflektiert werden.

Weiterhin sind für die QBBP eventuelle *Zusatzbedarfe ohne direkten Produktbezug* zu ermitteln. Gemäß der Abgrenzung des Betrachtungsumfangs sind im beispielhaft herangezogenen Projekt im Zuständigkeitsbereich der Logistik einige robotergestützte Stationen zur Handhabung von Einzelteilen geplant. Nach den Aussagen der zuständigen Logistikexperten beläuft sich der einzuplanende Zusatzbedarf auf eine einstellige Zahl. Zu Berechnungszwecken wird daher von acht zusätzlichen Robotern ausgegangen. Eine genauere Spezifizierung dieses Wertes ist mangels konkreteren Informationen zu diesem Zeitpunkt im Planungsprozess nicht möglich. Eine signifikante Veränderung des Wertes ist daher durchaus möglich, deren Auswirkungen allerdings marginal und daher praktisch ohne Auswirkungen für das Gesamtergebnis. Dem kann mit einem Unsicherheitsmaß von *zwei* Rechnung getragen werden, das sich aus einer *mittleren* Wahrscheinlichkeit für eine Prämissenänderung und einer *geringen* Auswirkungsstärke zusammensetzt.

Zuletzt muss bei der Bewertung der Unsicherheiten auch die in Kapitel 5.2.4 bestimmte, betriebsmittelspezifische Berechnungskonstante bedacht werden. Diese ist nicht mit einer projektspezifischen, sondern herleitungsbedingt mit einer allgemeinen, statistischen Unsicherheit behaftet. Somit kann bei diesem Faktor nicht von einer Wahrscheinlichkeit für eine Prämissenänderung gesprochen werden. Vielmehr muss die Wahrscheinlichkeit dafür beurteilt werden, dass die herangezogene Berechnungskonstante für den individuellen Anwendungsfall zu Ergebnissen mit einer reduzierten Genauigkeit führt.

Das Bestimmtheitsmaß der Regression sowie ein weiterführender Signifikanztest können darüber Aufschluss geben. Eine systematische Unsicherheitsbewertung auf Grundlage von Signifikanztests ist dabei deutlich aufwändiger. Zur groben Einschätzung der in dem Regressionskoeffizienten enthaltenen Ungenauigkeit kann in der Praxis daher vereinfachend das Bestimmtheitsmaß herangezogen werden. Dieses lässt neben der zuvor beschriebenen Wahrscheinlichkeit auch unmittelbar Schlüsse auf die Stärke potentieller Abweichungen zu. Diese Arbeit empfiehlt daher, bei einem Bestimmtheitsmaß kleiner 0,3 das Unsicherheitsmaß der Berechnungskonstante β als *hoch* einzustufen und ab einem Wert von 0,7 als *gering*. Für das Betriebsmittel *Industrieroboter* mit dem Wert von $R^2 = 0,773$ bedeutet dies ein *geringes* Maß an enthaltener Unsicherheit.

Zusammenfassend ergeben sich die in Tabelle 5-8 dargelegten Werte für die konkrete Berechnung des Betriebsmittelbedarfs.

	Ausprägung	Unsicherheitsmaß
Bedarfszeitpunkt	in ca. 35 Monaten	2
Taktzeit	64 s	3
Produktspezifisches Bearbeitungsprofil	10.450 NFI	4,5
Automatisierungsgrad	+6%	2
Anlagenflexibilität	+10%	3
Technische Veränderungen	-	1
Weiternutzung bestehender Anlagen	81 Roboter	6
Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug	8 Roboter	2
Berechnungskonstante β	6,027	1

Tabelle 5-8: Eingangsdaten für die QBBP im Fallbeispiel

5.3.4 Methodenapplication

Nachdem alle Anwendungsparameter für das Fallbeispiel konkretisiert sind kann der resultierende Betriebsmittelbedarf auf Basis der QBBP-Methodik berechnet werden. Das dargestellte Fabrikplanungsprojekt befindet sich in der Phase der Vorplanung. Demnach gestaltet sich die rechnerische Bedarfsermittlung phasenadäquat gemäß den Vorgaben der entwickelten Methodik. Die Berechnungsformel wird dafür gemäß den Ausführungen in Kapitel 4.5.1 dem Informationsstand angepasst:

$$b_{B_{Roboter}} = \frac{\beta_{Roboter} \times \hat{w}_N}{t_T} \times \hat{\Delta}_{PS} - b_{A_{Roboter}} + b_{Z_{Roboter}} \quad (5.9)$$

bzw.

$$b_{B_{Roboter}} = \frac{\beta_{Roboter} \times \hat{w}_N}{t_T} \times (\eta + \alpha + \sigma + \varepsilon + \tau_{Roboter} - 4) - b_{A_{Roboter}} + b_{Z_{Roboter}} \quad (5.10)$$

$b_{B_{Roboter}}$	Betriebsmittelbedarf b_B vom BM-Typ Industrieroboter
$\beta_{Roboter}$	Berechnungskonstante für BM-Typ Industrieroboter
$\hat{w}_N$	Schätzung der normierten Fertigungsinhalte w_N [NFI]
t_T	Taktzeit [s]
$\hat{\Delta}_{PS}$	Schätzung der Auswirkungen durch projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems Δ_{PS}
$b_{A_{Roboter}}$	Weitergenutzter Betriebsmittelbestand b_A von BM-Typ Industrieroboter
$b_{Z_{Roboter}}$	Zusatzumfänge b_Z von BM-Typ Industrieroboter ohne Produktbezug
η	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Zeitnutzungsgrades ³³
α	Faktor zur Berücksichtigung einer Veränderung des Automatisierungsgrades
σ	Faktor zur Berücksichtigung abweichender Standortbesonderheiten ³⁴
ε	Faktor zur Berücksichtigung einer abweichenden Anlagenflexibilität
$\tau_{Roboter}$	Faktor zur Berücksichtigung technischer Veränderungen, BM-Typ Industrieroboter betreffend

Somit ergibt sich für den Roboterbedarf:

$$b_{B_{Roboter}} = \frac{6,027 \frac{s}{NFI} \times 10.450 NFI}{64 s} \times (1,0 + 1,06 + 1,0 + 1,10 + 1,0 - 4) - 81 + 8 = 1.068,55 \approx 1.069 \quad (5.11)$$

Durch die QBBP kann somit ein Bedarf von 1.069 Industrierobotern festgestellt werden, die für den Karosseriebau im Fallbeispiel zu einem Zeitpunkt von 12 bis 14 Monaten vor Produktionsbeginn benötigt werden. Für eine Bewertung derartiger Berechnungsergebnisse sei auf Kapitel 6 verwiesen.

5.4 Planungsergebnis

Die Planzahlen der QBBP können einer vielfältigen Verwendung zugeführt werden. In dem berechneten Ergebnis sind allerdings verschiedene Unsicherheitsfaktoren enthalten, auf die im Folgenden zunächst

³³ Standardwert: 1,0; im Anwendungsbeispiel konstant (vgl. Kapitel 5.1.4)

³⁴ Standardwert: 1,0; im Anwendungsbeispiel kein Einfluss (vgl. Kapitel 5.1.4)

eingegangen wird. Anschließend wird auf die unterschiedlichen Implikationen des Ergebnisses eingegangen.

5.4.1 Interpretation der im Ergebnis enthaltenen Unsicherheiten

Die für die Berechnung des Betriebsmittelbedarfs herangezogenen Eingangsgrößen können sich, dem Projektstand entsprechend, teils noch deutlich verändern (vgl. Tabelle 5-8). Abbildung 5-9 verdeutlicht die enthaltenen Unsicherheitsmaße durch eine Matrixdarstellung.

Im Planungsergebnis ist somit ein Maß an Ungewissheit enthalten, das zum Durchführungszeitpunkt der QBBP unter vertretbarem Ressourceneinsatz nicht weiter verringert werden kann. Demnach bleibt die auf den Betriebsmittelbedarf induzierte, potentielle Schwankungsbreite als zu berücksichtigender Aspekt für die Fabrikplanung bestehen. In der Regel reduziert sich das Maß an zu beachtender Unsicherheit mit dem Fortschritt eines Planungsprojektes. Um die unmittelbaren Auswirkungen einer Prämissenänderung direkt zu erfassen und so die mittelbaren negativen Effekte zu minimieren, sind in der QBBP insbesondere die Faktoren mit einem hohen Unsicherheitsmaß regelmäßig im Laufe des Projektfortschritts auf eventuelle Veränderungen zu prüfen (vgl. Kapitel 5.3.3). Für das Anwendungsbeispiel bedeutet dies, dass das *produktspezifische Bearbeitungsprofil* und der Umfang bestehender und weitergenutzter Fertigungsanlagen besonderer Aufmerksamkeit durch die Planungsträger bedürfen. Dies bedeutet insbesondere ein regelmäßiges Monitoring und eine zusätzliche Plausibilisierung der Werte in Rücksprache mit erfahrenen Planungsträgern.

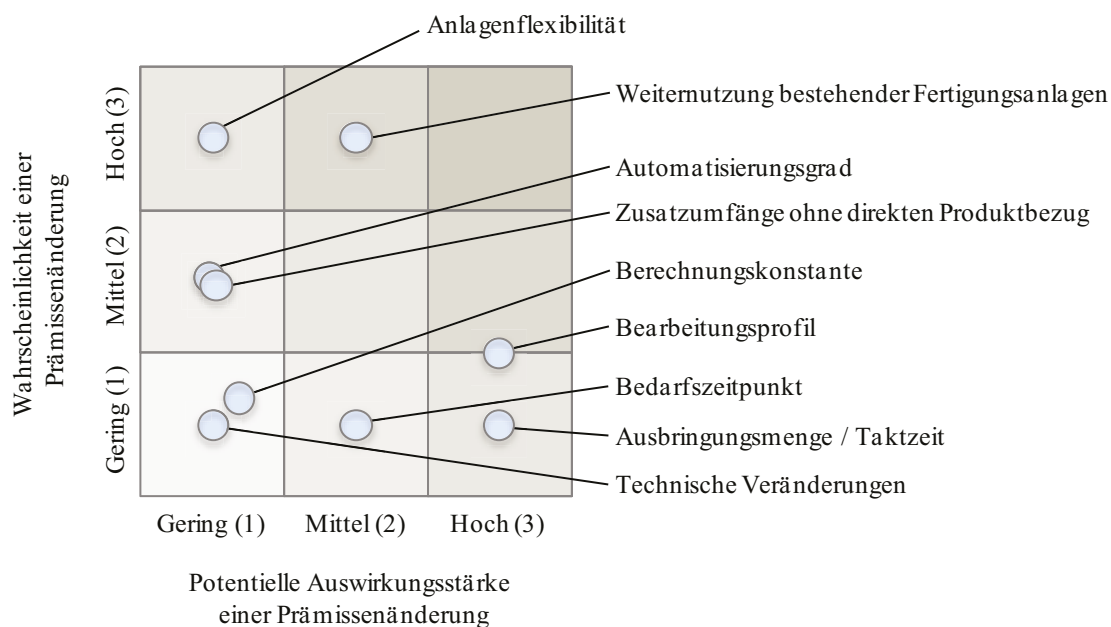


Abbildung 5-9: Grafische Darstellung der im Planungsergebnis enthaltenen Unsicherheiten

5.4.2 Implikationen des Planungsergebnisses

Eine systematische QBBP sorgt in Planungsprojekten zunächst allgemein für eine gesteigerte Transparenz. Der ermittelte Betriebsmittelbedarf plausibilisiert die Investitions-, Termin- und Flächenplanung und lässt Rückschlüsse auf andere Ressourcen wie den Personalbedarf für die späteren Phasen eines Fabrikplanungsprojektes zu. Darüber hinaus können die Werte der QBBP auch für die langfristige Instandhaltungsplanung genutzt werden, da die Umfänge an zu wartenden Produktionsanlagen bzw. Betriebsmitteln den Ressourcenbedarf der Instandhaltung maßgeblich mitbestimmen (vgl. SCHRÖDER 2010; TSANG 2002). Beispielsweise für die strategisch auszulegende Personalplanung oder die kurz- bis mittelfristige Planung im Ersatzteilmanagement lassen sich die zukünftig zu erwartenden Instandhaltungsumfänge aus den Ergebnissen der QBBP ableiten.

Die Erläuterungen und Darstellungen der allgemeinen QBBP-Methodik in Kapitel 4.5 und deren Einbindung in die Prozesslandschaft eines Unternehmens verdeutlichen darüber hinaus die Bedeutung der QBBP für die vielfältigen Belange des Einkaufs- und Beschaffungsmanagements. Im Fallstudienunternehmen werden zur Erzielung von Skaleneffekten im Einkauf langfristige Rahmenverträge mit strategisch wichtigen Betriebsmittellieferanten angestrebt. Eine solche Herangehensweise unterstreicht die Notwendigkeit einer frühzeitigen und projektübergreifenden QBBP. Für die Auswahl der passenden langfristigen Partner sind die quantitativen Betriebsmittelbedarfe von großer Bedeutung. Darüber hinaus ist die QBBP gleichermaßen für Einzelprojekte entscheidend, da sie die frühzeitige Entscheidung zwischen Single- und Multi-Sourcing sowie Einkaufsverhandlungen auf valider Grundlage ermöglicht. Schließlich bilden die Ergebnisse der QBBP ein wichtiges Instrument für die kurz- bis mittelfristige Lieferantensteuerung sowie deren langfristige Entwicklung. Durch all diese Maßnahmen kann die Versorgungssicherheit signifikant erhöht werden.

Der im Fallbeispiel berechnete Bedarf von 1.069 Industrierobotern, die in ca. 35 Monaten benötigt werden, kann folglich dazu genutzt werden, die Investitions-, Flächen- und Terminplanung im Projekt zu plausibilisieren sowie in der Instandhaltung frühzeitig Anpassungen anzustoßen. Da im Anwendungsbeispiel ein Nachfolgeprodukt zu beplanen ist, ist allerdings mit keinem signifikanten Anpassungsbedarf seitens der Instandhaltung zu rechnen. Unter der Annahme, dass im Fallstudienunternehmen kein weiteres Fabrikplanungsprojekt mit einer ähnlichen Terminierung ansteht, erscheint ein Single-Sourcing-Ansatz für die Industrieroboter sinnvoll, insbesondere aus Gründen der technischen Komplexitätsbeherrschung. Bei der Wahl eines Lieferanten ist folglich darauf zu achten, dass dieser die nötigen Kapazitäten zur Deckung des Bedarfs besitzt. Ist dies gewährleistet, kann man sich bei der Lieferantenentscheidung auf deren technische und wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit konzentrieren und in den Einkaufsverhandlungen möglicherweise Vorteile aus der bereits sehr konkreten quantitativen Planung ziehen. Im weiteren Projektverlauf liefert die QBBP die Grundlage zur Lieferantensteuerung.

5.4.3 Digitalisierungspotentiale der QBBP-Methodik

Die Rückmeldungen aus der Industrie (vgl. Kapitel 3.1) verdeutlichen, dass die Planungsträger in einer Unterstützung der QBBP durch digitale Werkzeuge signifikante Verbesserungspotentiale sehen. Insbe-

sondere die Automatisierung einzelner Planungsschritte, die Reproduzierbarkeit von Planungsergebnissen und eine Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit sprechen für eine Digitalisierung (vgl. MBANG & HAASIS 2004; WIRTH & GÄSE 2003; WÖHLKE & SCHILLER 2005).

Eine Grundvoraussetzung für die zügige Digitalisierung ist ein funktionierendes Datenmanagement (vgl. Kapitel 4.1.3). Davon hängt ab, mit welchem Aufwand die vorgelagerten Analysen für die QBBP verbunden sind. Ist beispielsweise die Verfügbarkeit aktueller Bestandsdaten der Betriebsmittel nicht gegeben, werden die notwendigen Datenanalysen signifikant erschwert. Dies kann dazu führen, dass die methodisch fundierte Ermittlung von Betriebsmittelbedarfen angesichts des Aufwands in einem solchen Fall verworfen wird und stattdessen ausschließlich auf heuristische Expertenschätzungen zurückgegriffen wird. Aus diesem Grund ist ein adäquates Datenmanagement proaktiv sicherzustellen und die QBBP idealerweise durch ein praxistaugliches digitales Planungswerkzeug zu unterstützen. Abbildung 5-10 verdeutlicht modellhaft die Kernaspekte eines solchen Werkzeugs.

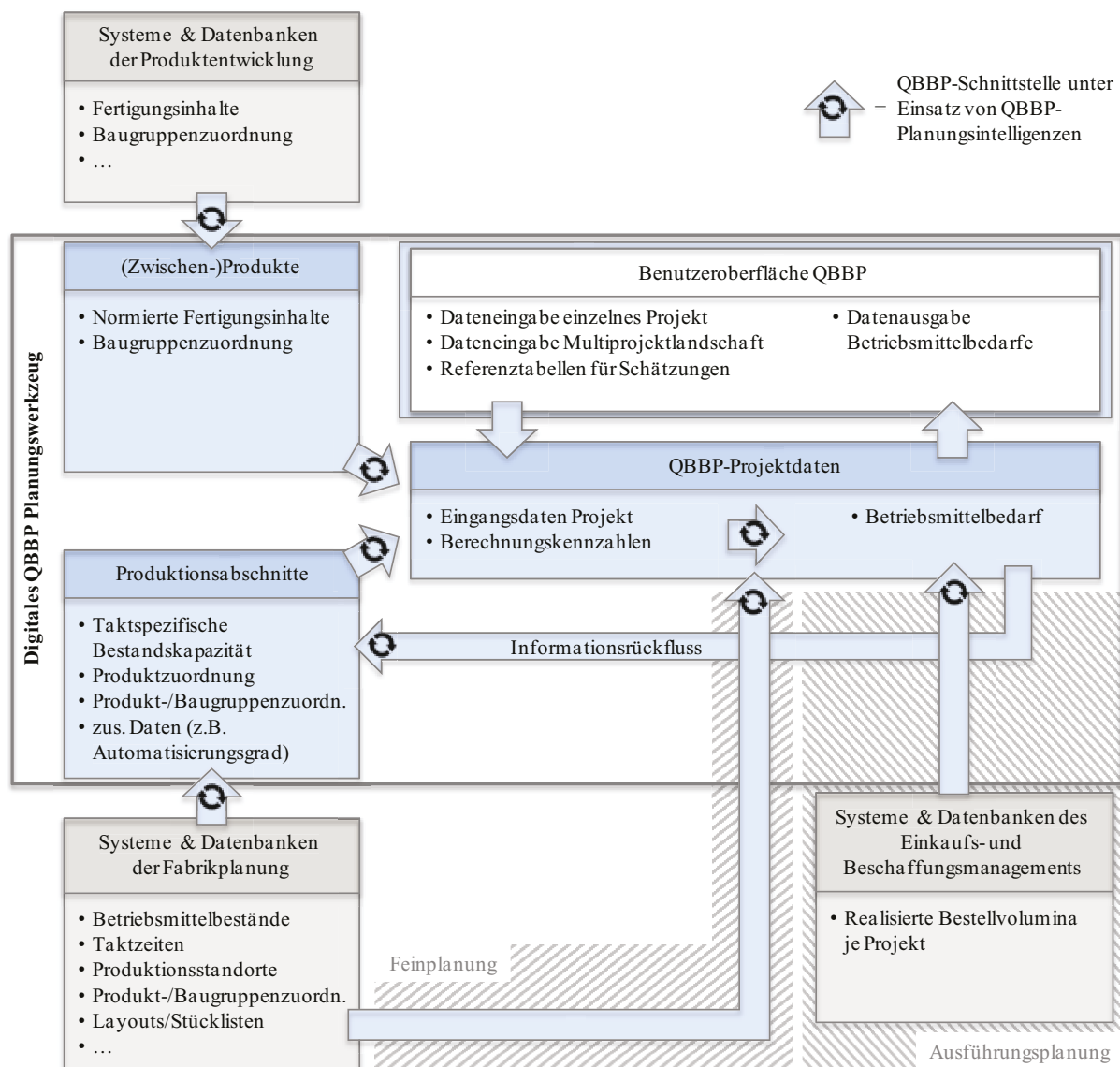


Abbildung 5-10: Modellhafte Darstellung eines digitalen Planungswerkzeugs für die QBBP

Auch das dargestellte Modell zeigt, dass funktionierende Schnittstellen zu den angrenzenden Systemen und Datenbanken unabdingbar für eine effiziente QBBP sind. Dies betrifft insbesondere die digitalen Werkzeuge der Produktentwicklung sowie der allgemeinen Fabrikplanung und darüber hinaus auch partiell jene des Einkaufs- und Beschaffungsmanagements. Konkret bedeutet dies für die Produktentwicklung, dass Daten zu den Fertigungsinhalten eines Produktes auf Baugruppenebene zunächst in systematischer Form vorhanden sein müssen. Darüber hinaus muss die Möglichkeit des direkten Zugriffs gegeben sein, um digitale Verknüpfungen schaffen zu können und so auch die Aktualität der Daten für die QBBP gewährleisten zu können. Zu diesem Zweck sind eine klare Datenstruktur und offene Schnittstellen notwendig. Diese Voraussetzungen lassen sich auf die digitalen Werkzeuge der allgemeinen Fabrikplanung übertragen, die für die QBBP insbesondere den Bestand an Betriebsmitteln sowie die Taktzeiten der Fertigungslinien liefern müssen. Anhand dieser Daten können auf Basis der Planungsintelligenzen gemäß Kapitel 4.3 sowohl die *normierten Fertigungsinhalte* als auch die *taktspezifischen Bestandskapazitäten* systemisch errechnet werden. Der daraufhin folgende Schritt der Regressionsanalyse zum Zweck der Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen den zuvor berechneten Parametern (vgl. Kapitel 4.3.3) ist hier nicht näher dargestellt. Die Datenanalyse und Kennzahlenermittlung erfolgt nach Möglichkeit direkt in dem dargestellten digitalen Werkzeug. Insbesondere bei Betrachtung neuer Betriebsmittelumfänge kann darüber hinaus ein vorgefertigtes Template in einem Tabellenkalkulationsprogramm eine Hilfestellung sein. Darin sind zwei Spalten für die x- und y-Achse (vgl. Kapitel 5.2.4) mit einem entsprechenden Punktediagramm (vgl. Abbildung 5-6, S. 99) vorzusehen sowie ein Berechnungsalgorithmus zur Ermittlung des Regressionskoeffizienten β , der späteren Berechnungskonstante. Als Hilfestellung zur Einschätzung der späteren Prognosegenauigkeit kann darüber hinaus das Bestimmtheitsmaß ermittelt werden (vgl. Kapitel 5.2.4). Ergänzt um eine kompakte Beschreibung kann die Analyse auf diese Weise bereits mit einfachen Mitteln digital unterstützt werden. Des Weiteren wird für die Phase der Feinplanung eine Schnittstelle zu den Stücklisten der Anlagenlayouts der Fabrikplanung benötigt. Für eine effiziente QBBP ist dabei entscheidend, dass die Zuordnung zu den Planungsumfängen nicht durch abweichende Nomenklaturen oder Aggregationsebenen erschwert wird oder diese Hürden mit Hilfe bereits hinterlegter, digitaler Bibliotheken (vgl. Kapitel 3.2.2 bzw. 4.1.3) aufwandsarm gelöst werden können. Gleiches gilt für die Systeme und Datenbanken des Einkaufs- und Beschaffungsmanagements, die insbesondere für die Phase der Ausführungsplanung eng eingebunden werden müssen.

Den Kern des im Fallstudienunternehmen prototypisch umgesetzten digitalen Planungswerkzeugs bilden die QBBP-Projektdaten sowie die dazugehörige Benutzeroberfläche. Die Projektdaten sind beispielsweise im Rahmen einer relationalen Datenbank in einer Tabelle zu speichern. An dieser Stelle laufen alle Informationen für die QBBP zusammen. Neben den aus Bestandsdaten ermittelten und automatisch zugeführten Berechnungskennzahlen werden durch den Planungsträger die Daten eines oder mehrerer Projekte über die Benutzeroberfläche eingespeist. Daraufhin erfolgt der Einsatz der digitalisierten QBBP-Berechnungsmethodik (vgl. Kapitel 4.5.1) vollständig im Hintergrund. Daraus resultieren die zeitlich zugeordneten Betriebsmittelbedarfe, die entsprechend über die Benutzeroberfläche ausgegeben werden können. Als wesentlichem Arbeitsinstrument für den Planungsträger ist dieser Benutzeroberfläche eine hohe Bedeutung beizumessen. Die Akzeptanz einer Software hängt neben der Ergebnisqualität insbesondere von ihrer Benutzerfreundlichkeit ab (vgl. CALISIR & CALISIR 2004; MORRIS &

DILLON 1997; WEIYIN ET. AL. 2002). Aus diesem Grund muss für den Anwender ein unternehmensspezifisch angepasstes Werkzeug geschaffen werden, mit dessen Hilfe selbst komplexe Multiprojektlandschaften effizient abgebildet werden können. Selbst einfache Mittel wie das gesamthafte Kopieren von Projektdaten unter anschließender, selektiver Anpassung können an dieser Stelle bereits eine Arbeitserleichterung darstellen. Muss in der frühen Planungsphase auf Expertenschätzungen zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 4.1.4 und 4.4.2) sind diese anhand des Konzeptes von QBBP-Referenztabellen mit Orientierungswerten (vgl. Kapitel 5.3.3) ebenfalls digital zu unterstützen. Zu diesem Zweck bietet sich eine Einbindung in die Benutzeroberfläche an. Für alle Eingaben ist eine Berücksichtigung der in den Werten enthaltenen Unsicherheiten gemäß Kapitel 5.3.2 vorzusehen. Auch eine anschließende Exportmöglichkeit der Ergebnisdaten ist für ein solches Planungswerkzeug unabdingbar. Die resultierenden Planzahlen sind mit dem zu erwartenden Bedarfsdatum und unter Angabe der wesentlichen Unsicherheitsfaktoren in Tabellenform auszugeben, um eine projektübergreifende Aggregation der Bedarfe zu vereinfachen.

Darüber hinaus ist der in Abbildung 5-10 ebenfalls dargestellte Aspekt des Informationsrückflusses als wesentliches Element der QBBP zu verankern. Dieser sollte, wie in Kapitel 4.5.1 detailliert beschrieben, insbesondere dann erfolgen, wenn der in der Ausführungsphase eines Projektes realisierte Betriebsmittelbedarf beträchtlich von den zuvor geplanten Werten ohne eine signifikante Veränderung der Planungsprämissen im Projektverlauf abweicht.

Grundsätzlich fördert die Digitalisierung in der hier vorgestellten Form insbesondere die Standardisierung der Planungstätigkeit, den durchgängigen Methodeneinsatz sowie die Agilität der Planung durch die Automatisierung einzelner Tätigkeitsschritte. Im vorgestellten Anwendungsfall bei der BMW Group konnte die prototypische Realisierung eines solchen Werkzeugs allerdings noch nicht ihr volles Potential entfalten. Der wesentliche Grund hierfür waren die noch nicht vollumfänglich funktionierenden Schnittstellen in der digitalen Systemwelt sowie Ungenauigkeiten in den digitalen Bibliotheken. Damit einher geht für die QBBP zunächst ein erhöhter Aufwand zur Datenbeschaffung und -aufbereitung. Perspektivisch wird sich diese Einschränkung aufheben. In Bezug auf die QBBP lässt sich daraus allgemein die Bedeutung der digitalen Schnittstellen sowie der Datenqualität ableiten.

Letztlich birgt die QBBP somit das Potential, sich komplikationslos in den Ordnungsrahmen der Digitalen Fabrik eingliedern zu lassen. Auch eine Integration in bestehende digitale Fabrikplanungswerkzeuge wäre ein naheliegender und weiterführender Schritt, der als zusätzlicher Forschungsbedarf identifiziert werden kann.

5.5 Zusammenfassung und vorläufige Beurteilung des entwickelten Ansatzes

Im zurückliegenden Kapitel 5 konnte die praktische Anwendung der zuvor entwickelten QBBP-Methodik anhand eines Fallbeispiels verdeutlicht werden. Es hat sich gezeigt, dass keine grundlegenden Anpassungen notwendig waren. Die Regressionsanalyse der Vergangenheitsdaten zeigt im Anwendungsbeispiel einen eindeutigen Zusammenhang, der zu Planungszwecken unter geringer Unsicherheit heran-

gezogen werden kann. Die übrigen Einflussfaktoren der Berechnung weisen im Wesentlichen ein höheres Maß an potentieller Schwankungsbreite auf. Die damit einhergehende Unsicherheit kann insbesondere in den frühen Planungsphasen unter vertretbarem Aufwand nicht signifikant reduziert werden. Infolgedessen spielt die adäquate Handhabung dieser Unsicherheiten eine entscheidende Rolle. So ist auf einzelne Eingangsgrößen gezieltes Augenmerk seitens der Planungsträger zu richten, um wahrscheinliche und/oder starke Veränderungen dieser Faktoren möglichst zeitnah in der QBBP zu berücksichtigen und an Lieferanten und andere Beteiligte weitergeben zu können. Aus diesem Grund wurde im zurückliegenden Fallbeispiel das enthaltene Maß an Unsicherheit für jeden Faktor untersucht und beispielhafte Handlungsempfehlungen gegeben. Abschließend konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass eine Integration der QBBP in den Ordnungsrahmen und in die Werkzeuge der Digitalen Fabrik als nächster Schritt naheliegt. Eine solche Digitalisierung der QBBP stellt weitere Verbesserungen in Aussicht, insbesondere hinsichtlich der Effizienz und praktischen Anwendbarkeit. Die einleitend aufgestellte Forschungshypothese III wird auf Grundlage dieser Erkenntnisse angenommen.

Insgesamt ist festzustellen, dass die QBBP bei der Anwendung, insbesondere der Erstanwendung, mit einem relativ hohen Aufwand verbunden ist und das resultierende Planungsergebnis zunächst rein numerisch ist und aufgrund dessen möglicherweise in seiner Bedeutung unterschätzt werden kann. Dementsprechend ist die potentielle Tragweite der Implikationen der QBBP (vgl. Abbildung 4-14, S. 80 und Kapitel 5.4.2) für die gesamte Produktion zu betonen. In Bezug auf den zeitlichen Aufwand ist es vorstellbar, die QBBP in der dargestellten Form lediglich für einzelne Referenzkomponenten durchzuführen und sich darüber hinaus die Abhängigkeiten der Betriebsmittel untereinander zu Planungszwecken zunutze zu machen. So wäre es im Fallbeispiel vorstellbar, die Anzahl der Schweißzangen für das Fügeverfahren Punktschweißen anhand ihrer Vergangenheitsbedarfe in Relation zur Zahl der Industrieroboter zu schätzen. Obgleich damit eine zusätzliche Unschärfe Einzug in die Planung hält, kann ein solches Vorgehen in der Praxis Ressourcen sparen. Die gesteigerte Unsicherheit ist in der frühen Planung möglicherweise hinnehmbar. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

Abschließend ist hinsichtlich der gezogenen Schlüsse kritisch zu hinterfragen, welches Ausmaß an Repräsentativität das forschungsmethodische Vorgehen des Kapitels zulässt. Es wurde ein stark an die Realität angelehntes Anwendungsbeispiel gewählt, das zunächst präzise spezifiziert wurde und mit den Randbedingungen und Planungslogiken der QBBP-Methodik abgeglichen wurde. Die herangezogene Normierung der Fertigungsinhalte sowie die analysierten Bestandsdaten entsprechen vollumfänglich der industriellen Realität im Fallstudienunternehmen. Die gezogenen Schlüsse basieren demnach auf der industriellen Praxis, jedoch auf einem einzigen Anwendungsbeispiel, dem Roboter im automobilen Karosseriebau. Inwieweit für die QBBP-Methodik der Anspruch der Validität und tatsächlichen Praxisauglichkeit erfüllt ist, ist auf Basis dieses Anwendungsbeispiels allerdings noch nicht festzustellen. Kapitel 6 befasst sich aus diesem Grund mit der Validierung des gezeigten Ansatzes.

6 VALIDIERUNG DER METHODIK

Auf Basis der Erkenntnisse aus Theorie und Praxis konnte in den vorhergehenden Kapiteln eine durchgängige Planungsmethodik zur Ermittlung quantitativer Betriebsmittelbedarfe entwickelt und anhand eines Fallbeispiels die Anwendung im Detail veranschaulicht werden. Die reine Applizierbarkeit lässt allerdings noch keine Rückschlüsse auf die Validität der Vorgehensweise zu. Aufbauend auf den Ergebnissen des Anwendungsbeispiels wird folgende Hypothese aufgestellt:

Forschungshypothese IV:

Die entwickelte QBBP-Methodik ermöglicht eine phasenübergreifend valide Planung quantitativer Betriebsmittelbedarfe für einzelne und gleichermaßen für mehrere parallele Fabrikplanungsprojekte.

Die Bewertung dieser Hypothese erfordert einen methodisch fundierten Validierungsansatz. Aus diesem Grund wird die QBBP-Methodik anhand von zwei weiteren industriellen Anwendungsfällen erprobt. Nach Lektüre der Grundlagen sowie dem Vorgehen erfolgt die Anwendung durch unabhängige Planungsspezialisten im Unternehmen der beiden im Folgenden dargestellten Szenarien. Die anschließende Bewertung der Ergebnisse wird im Rahmen von Workshops (vgl. Anhang 8.3) mit mehreren erfahrenen Planungsträgern vorgenommen, die teilweise bereits in der Vergangenheit mit Bedarfsabschätzungen und der Lieferantensteuerung betraut waren.

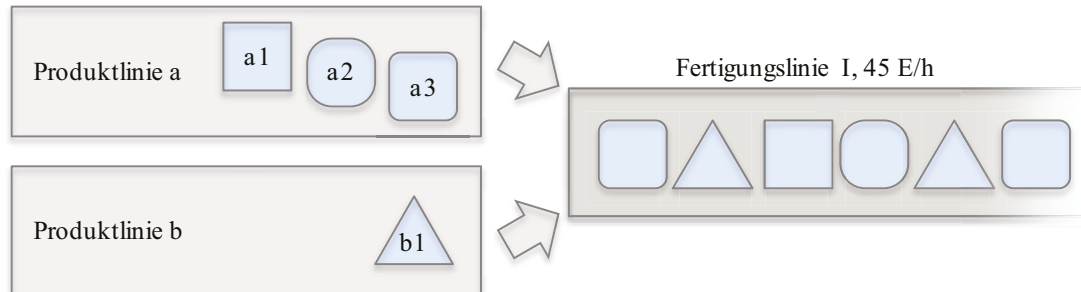
Das Kapitel gliedert sich in erster Linie in die beiden Anwendungsszenarien. Im ersten Szenario (6.1) sollen für ein Projekt zwei Konzeptalternativen in der Phase der Vorplanung miteinander verglichen werden. Das zweite Szenario (6.2) hat die Betrachtung einer komplexen Multiprojektlandschaft zum Inhalt und das Ziel, durch die QBBP eine valide Lieferantenauswahl und -steuerung zu ermöglichen. Abschließend werden die Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung in Kapitel 6.3 diskutiert und die Forschungshypothese IV bewertet.

6.1 Szenario 1: Bewertung von Konzeptalternativen, Einzelprojekt

Als erstes Szenario für die Validierung wurde ein Fabrikplanungsprojekt aus dem Fallstudienunternehmen gewählt, für das in einer sehr frühen Planungsphase zwei Konzeptalternativen für den Karosseriebau miteinander verglichen werden sollten. Durch die QBBP sollte zu diesem Zweck je Alternative der Betriebsmittelbedarf für die lieferkritische und investitionsintensivste Anlagenkomponente, den Industrieroboter, abgeschätzt werden.

Das betrachtete Projekt erstreckt sich über vier verschiedene Fahrzeugmodelle zweier unterschiedlicher Produktlinien, für die alternativ eine oder zwei Fertigungslinien vorzusehen sind. Abbildung 6-1 verdeutlicht diesen Sachverhalt grafisch.

Alternative A:



Alternative B:

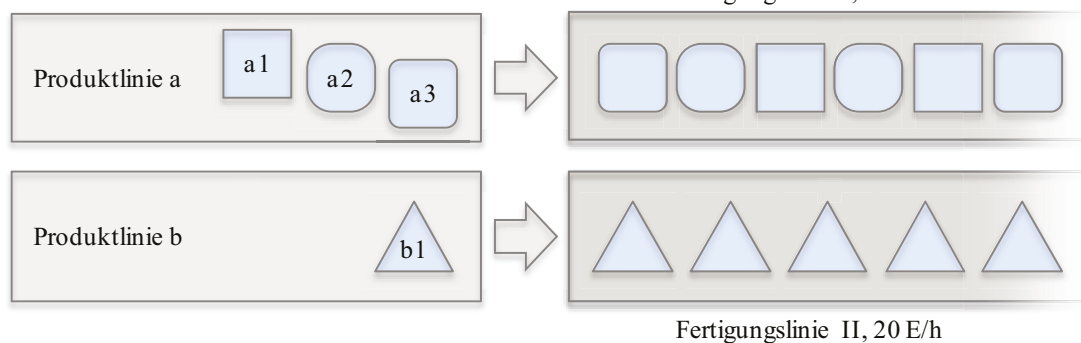


Abbildung 6-1: Konzeptalternativen des ersten Validierungsszenarios

Während die Fahrzeugderivate a1, a2 und a3 sich untereinander nur geringfügig unterscheiden, besteht zum Derivat b1 der zweiten Produktlinie aufgrund eines abweichenden Aufbaus eine deutlich größere technische Abweichung. Die unterschiedlichen kumulierten Ausbringungsmengen, angegeben in Einheiten pro Stunde (E/h), spiegeln die Unsicherheit wider, der die angenommene Nachfrageverteilung auf die vier Modelle zum Betrachtungszeitpunkt noch unterliegt.

6.1.1 Vorbereitung, Analysen und Eingangsdaten

Analog dem Anwendungsbeispiel aus Kapitel 5 konnten die Rahmenbedingungen für die QBBP (vgl. Kapitel 5.1.4) von dem ausführenden Planungsträger als erfüllt und die erforderlichen Berechnungskennzahlen ebenfalls als gegeben (vgl. Kapitel 5.2.4) betrachtet werden. Gemäß den Vorgaben der Planungsmethodik (vgl. Kapitel 4.5.1) mussten demnach zunächst die Eingangsdaten zusammengetragen werden und der Betriebsmittelbedarf anhand der Berechnungsmethodik phasenadäquat ermittelt werden. Eine Unterstützung des Planungsträgers durch digitale Planungswerkzeuge war in diesem Anwendungsszenario nicht vorgesehen.

Die einzelnen Einflussgrößen wurden zunächst gemäß Tabelle 6-1 bestimmt. Für diese Größen waren analog Kapitel 5.3.3 unter Berücksichtigung des Untersuchungszweckes jeweils ein Unsicherheitsmaß anzugeben, um die Sensitivitäten des Planungsergebnisses aufzuzeigen.

	Ausprägung	Unsicherheitsmaß
Taktzeit bei 45 E/h	64 s	9
Taktzeit bei 30 E/h	96 s	9
Taktzeit bei 20 E/h	144 s	9
Produktspezifisches Bearbeitungsprofil Produkt a1	9.400 NFI	3
Produktspezifisches Bearbeitungsprofil Produkt a2	9.520 NFI	3
Produktspezifisches Bearbeitungsprofil Produkt a3	9.440 NFI	3
Produktspezifisches Bearbeitungsprofil Produkt b1	10.040 NFI	3
Veränderungen des Produktionssystems Alt. A	+14%	2
Veränderungen des Produktionssystems Alt. B	+9% / +5%	2
Weiternutzung bestehender Anlagen	-	1
Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug	-	1
Berechnungskonstante β	6,027	1

Tabelle 6-1: Eingangsgrößen für die QBBP im ersten Validierungsszenario

Das hohe Unsicherheitsmaß der Taktzeitangaben deutete sich bereits in der Tatsache an, dass die kumulierten Ausbringungsmengen der beiden zu untersuchenden Alternativen aufgrund unsicherer Absatzprognosen und der daher produktspezifisch erforderlichen Mengenflexibilität voneinander abweichen. Die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der zu erreichenden Ausbringungsmengen wurde deshalb und angesichts des sehr frühen Planungsstadiums von dem ausführenden Planungsträger als hoch eingestuft. Im Zusammenspiel mit der großen Auswirkungsstärke einer potentiellen Variation dieser Werte ergab sich daher ein sehr hohes Unsicherheitsmaß. Die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* der einzelnen Fahrzeugmodelle würden sich im Zuge der fortschreitenden Produktentwicklung ebenfalls noch mit großer Wahrscheinlichkeit verändern, jedoch mit deutlich geringeren Auswirkungen auf das Planungsergebnis. Die *Veränderungen des Produktionssystems* ergaben sich nach Schätzung des ausführenden Planungsträgers durch einen gesteigerten Automatisierungsgrad und die Produktdiversität in Anlehnung an Tabelle 5-6 (S. 107) und Tabelle 5-7 (S. 108). Die Unsicherheitsmaße dieser und der übrigen Faktoren spielten für die angestrebte Bewertung der Konzeptalternativen eine untergeordnete Rolle. Eine Weiternutzung bestehender Anlagen oder sonstige Zusatzumfänge waren gemäß den Projektverantwortlichen nicht zu berücksichtigen. Das Hauptaugenmerk musste der Planungsträger folglich auf die geplante Ausbringungsmenge richten und man müsste diesen Wert somit im weiteren Projektverlauf regelmäßig auf eventuelle Veränderungen hin überprüfen.

6.1.2 Methodenapplication und Implikationen des Ergebnisses

Mit Tabelle 6-1 lagen dem ausföhrenden Planungsträger alle erforderlichen Informationen zur Methodenapplication vor. Folglich konnte die für die Phase der Vorplanung vorgesehene Berechnungsformel (4.22) gemäß Abbildung 4-13 (S. 78) Anwendung finden:

$$b_{B_i} = \frac{\beta_i \times \hat{w}_N}{t_T} \times \hat{\Delta}_{PS} \times (1 - \hat{\lambda}_{A_i}) \times (1 + \hat{\zeta}_{Z_i}) \quad (6.1)$$

b_{B_i}	Betriebsmittelbedarf b_B von BM-Typ i
β_i	Berechnungskonstante für BM-Typ i
$\hat{w}_N$	Schätzung der normierten Fertigungsinhalte w_N [NFI]
t_T	Taktzeit [s]
$\hat{\Delta}_{PS}$	Schätzung der Auswirkungen durch projektspezifische Veränderungen des Produktionssystems Δ_{PS}
$\hat{\lambda}_{A_i}$	Schätzung des prozentualen Anteils λ_A der weitergenutzten Betriebsmittel vom Typ i
$\hat{\zeta}_{Z_i}$	Schätzung des prozentualen Aufschlags ζ_Z für Zusatzumfänge von BM-Typ i ohne Produktbezug

Mit der produktionslinienspezifischen Maximalausprägung des *produktspezifischen Bearbeitungsprofils* ergibt sich daher für Alternative A:

$$b_{B_{Roboter, Alt. A}} = \frac{6,027 \frac{s}{NFI} \times 10.040 NFI}{64 s} \times 1,14 = 1077,85 \approx 1078 \quad (6.2)$$

sowie für Alternative B:

$$b_{B_{Roboter, Alt. B}} = \frac{6,027 \frac{s}{NFI} \times 9.520 NFI}{96 s} \times 1,09 + \frac{6,027 \frac{s}{NFI} \times 10.040 NFI}{144 s} \times 1,05 = 651,46 + 441,27 \approx 1092 \quad (6.3)$$

Der Zweck der Anwendung der QBBP-Methodik war im vorliegenden Fall die Bewertung zweier Konzeptalternativen hinsichtlich des Betriebsmittelbedarfs. Im Ergebnis zeigen sich ähnliche Bedarfsschätzungen für die beiden Alternativen (A: 1.078 Industrieroboter, B: 1.092 Industrieroboter). Trotz der kumuliert höheren maximalen Ausbringungsmenge für den Fall der Aufteilung auf zwei separate Fertigungslinien, ist der berechnete Roboterbedarf nur geringfügig höher. Dies verdeutlicht den großen Einfluss der Anlagenflexibilität.

Der Betriebsmittelbedarf alleine erlaubt allerdings noch keine valide Aussage über die wirtschaftliche oder technische Vorteilhaftigkeit der beiden Konzeptalternativen. Um diese umfassend bewerten zu

können, bedarf es einer detaillierteren Betrachtung. So geht Alternative A zwar gemäß QBBP mit einem etwas geringeren Roboterbedarf einher, Aspekte wie der Flächenbedarf oder die Fördertechnik sind dabei allerdings noch nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der QBBP haben für die Bewertung der Konzeptalternativen daher in erster Linie unterstützenden Charakter, indem sie Planungen plausibilisieren und die Informationsdichte eines Projektes erhöhen. Im dargestellten Fall konnte dieser Zweck erfüllt werden, da sich aus dem Planungsergebnis eine klare Aussage hinsichtlich des Betriebsmittelbedarfs ableiten lässt. Auch hinsichtlich der Sensitivität des Planungsergebnisses gegenüber Unsicherheitsaspekten verdeutlicht der Methodeneinsatz jene Einflussgrößen, denen der Planungsträger besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen sollte.

6.1.3 Beurteilung des Ergebnisses und der Methodik

Abschließend war das Planungsergebnis auf Plausibilität zu prüfen und die angewandte Methodik dahingehend kritisch zu beurteilen, inwieweit auf diese Weise nach Meinung von Experten durchgängig valide Planungsergebnisse erzielt werden können. Für das vorliegende Anwendungsszenario erfolgte diese Bewertung im Rahmen eines Expertenworkshops mit mehreren erfahrenen Planungsträgern aus dem Tätigkeitsfeld der Fabrikplanung im Fallstudienunternehmen (vgl. Anhang 8.3).

Der geringfügige Unterschied zwischen den berechneten Betriebsmittelbedarfen beider Alternativen wurde im Rahmen des Workshops intensiv diskutiert. Nach anfänglicher Skepsis einiger erfahrener Mitarbeiter konnte das Ergebnis in der Diskussion bestätigt werden. Dabei wurde unterstrichen, dass eine hohe Produktdiversität eine starke Flexibilisierung der Fertigungsanlagen bedingt und nach Aussage der Experten in der Umsetzung deshalb zu erheblichen Mehrbedarfen führt. Dies zeigt sich im dargestellten Szenario daran, dass für die Alternative B trotz der komplett zweigeteilten Ausführung der Produktion und der höheren Gesamtausbringungsmenge nur ein geringfügig höherer Betriebsmittelbedarf errechnet wurde. Alternative A bringt dafür den Vorteil einer höheren Abtauschflexibilität mit sich. Dies bedeutet, dass flexibler auf unerwartete Schwankungen der modellspezifischen Nachfrageverteilung reagiert werden kann und damit eine gleichmäßigere Auslastung der Produktion erreicht werden kann.

Zur Bewertung des entwickelten Ansatzes wurden die Erfahrungen des ausführenden Planungsträgers bei der Anwendung der QBBP-Methodik im Rahmen des Workshops vorgestellt, diskutiert und dabei die in Kapitel 2.2 erarbeiteten Anforderungen an die Planungsmethodik reflektiert. In erster Linie wurde dabei die Systematisierung der QBBP positiv hervorgehoben und die damit gesteigerte Transparenz und Reproduzierbarkeit der Planungsergebnisse. Kritisiert wurden hingegen die Komplexität und Theorielastigkeit der erläuternden Ausführungen sowie der hohe Aufwand im Falle nicht gegebener Berechnungskonstanten. Dies geht im dargestellten Anwendungsszenario 1 auch mit dem Mangel an Unterstützung durch digitale Werkzeuge einher, die für dieses Szenario nicht vorgesehen waren.

Hinsichtlich der Erfüllung der an die Planungsmethodik gestellten Anforderungen (vgl. Kapitel 2.2) konnten aus dem Workshop zahlreiche Erkenntnisse gezogen werden (vgl. Anhang 8.3). Den Aussagen der Experten folgend konnte die Validität der QBBP durch die methodische Standardisierung erreicht werden, wohingegen die technische Standardisierung noch nicht betrachtet wurde. Daher ist auch die Automatisierung einzelner Planungsschritte nicht gegeben. Die Skalierbarkeit der Planungsumfänge

deutet sich hingegen bereits in der Ausgestaltung der Berechnungsmethodik (vgl. Abbildung 4-13, S. 78) an, wird für eine fundierte Aussage im Rahmen von Szenario 1 ebenso wie die Flexibilität der gesamten Methodik allerdings nicht ausreichend überprüft. Zur adäquaten Handhabung von Unsicherheitsfaktoren leistet die entwickelte Planungsmethodik nach Meinung der involvierten Experten nur einen kleinen Beitrag, da die Ermittlung eines Unsicherheitsmaßes erfahrenen Planungsträgern aufgrund impliziten Wissens überflüssig erscheinen kann. Für weniger erfahrene Mitarbeiter und zugunsten der Transparenz stellt dieses Vorgehen allerdings einen Mehrwert dar, so einige der Workshopteilnehmer. Die signifikant verbesserte Unterstützung der frühzeitigen Bedarfsplanung wurde einhellig bestätigt. Die durchgängige Anwendbarkeit der Methodik wurde auf Grundlage der Erfahrungen des mit der Umsetzung der QBBP betrauten Planungsträgers zwar vermutet, für eine aussagekräftige Bewertung jedoch nicht ausreichend überprüft.

Alles in allem wurde die entwickelte Methodik als Verbesserung gegenüber dem bisherigen, rein heuristisch geprägten Vorgehen bewertet. Weiteres Verbesserungspotential wurde insbesondere hinsichtlich der Unterstützung durch digitale Werkzeuge gesehen.

6.2 Szenario 2: Lieferantenauswahl und -steuerung, Multiprojektlandschaft

Im Mittelpunkt des zweiten Validierungsszenarios stand die Unterstützung der Lieferantenauswahl, -entwicklung und -steuerung in der komplexen Multiprojektlandschaft des Fallstudienunternehmens. Die Betrachtung wurde dabei erneut auf den Industrieroboter als lieferkritisches und investitionsintensivstes Betriebsmittel im automobilen Karosseriebau beschränkt. Folglich wurde für die Lieferantenauswahl eine Übersicht benötigt, wann welche Quantitäten an Robotern an welchem Standort benötigt werden.

Nachdem die mangelnde Hilfestellung durch digitale Werkzeuge im ersten Validierungsszenario als größter Kritikpunkt der QBBP-Methodik identifiziert werden konnte, wurde dem Planungsträger für das zweite Anwendungsszenario eine prototypische IT-Unterstützung auf Basis einer einfachen Datenbankanwendung zur Seite gestellt.

6.2.1 Vorbereitung, Analysen, Projektübersicht und Eingangsdaten

Analog zu Szenario 1 konnten die erforderlichen Rahmenbedingungen als erfüllt angesehen werden und die Berechnungskennzahlen lagen vor. Da es sich in Szenario 2 um eine Multiprojekt-Betrachtung handelt, war gemäß den Vorgaben der Planungsmethodik zunächst eine systematische Projektübersicht zu erstellen. In Tabelle 6-2 sind für den gewählten Ausschnitt aus der Projektlandschaft des Fallstudienunternehmens die einzubeziehenden Fertigungslinien und Produkte dargestellt.

Werk	Fertigungs- linie	E/h ³⁵	Produktlinie	E-Code Produkt ³⁶	SOP ³⁷	Beginn Anla- genbau	
E	E1	35	c	c-01	09/2015	09/2014	
				c-02	10/2015	09/2014	
			f	f-01	06/2018	06/2017	
				f-02	02/2018	02/2017	
				f-03	12/2018	06/2017	
				f-011	02/2019	06/2017	
				f-021	02/2019	06/2017	
				f-031	08/2019	06/2017	
	E2	45	e	e-01	03/2020	03/2019	
				e-02	10/2020	03/2019	
				e-03	03/2021	01/2020	
				e-011	01/2021	01/2020	
			d	d-01	03/2016	03/2015	
				d-011	05/2017	05/2016	
				d-03	07/2016	03/2015	
				d-04	03/2016	03/2015	
D	D1	45	d-01	03/2016	03/2015		
			d-02	04/2016	03/2015		
	D2		45	g-01	11/2018	11/2017	
				g-02	12/2018	11/2017	
C	C1	60		g-01	11/2018	11/2017	
				g-03	07/2019	07/2018	
F	F1		15	g	g-01	01/2019	01/2018

Tabelle 6-2: Systematische Übersicht der zu beplanenden Produkt-/Produktionsstruktur für das zweite Validierungsszenario

Diese Übersicht konnte durch den ausführenden Planungsträger systematisch um die Eingangsdaten für die QBBP erweitert werden. Aus Gründen der Geheimhaltung wurden Produktbezeichnungen in den dargestellten Tabellen unkenntlich gemacht, die Zahlenwerte leicht und die Datumsangaben stark abgeändert. Für die Anwendung der QBBP-Methodik ergab sich aus diesen Veränderungen kein Unterschied.

³⁵ Ausbringungsmenge in Einheiten pro Stunde (E/h)

³⁶ Entwicklungscodes des Produktes (unternehmensinterne Bezeichnung)

³⁷ *Start of Production* (Beginn der Serienfertigung)

Fertigungs- linie ³⁸	Weiterv. Anlagen ³⁹	Änd. Prod.sys. ⁴⁰	E-Code Derivat	SOP	Beginn Anla- genbau ⁴¹	MvS ⁴²	NFI ⁴³	Nachtr. Integr. ⁴⁴	Zusatz- umf. ⁴⁵
E1, 35 E/h	20%	+17% ⁴⁶	c-01	09/2015	09/2014	14	12.114	-	24 ⁴⁷
			c-02	10/2015	09/2014	15	<u>12.348</u>	-	
			f-01	06/2018	06/2017	47	12.800	x	-
			f-02	02/2018	02/2017	43	13.000	x	-
			f-03	12/2018	06/2017	53	13.050	x	-
			f-011	02/2019	06/2017	55	12.900	x	-
			f-021	02/2019	06/2017	55	13.100	x	-
			f-031	08/2019	06/2017	61	<u>13.150</u>	x	-
E2, 45 E/h	0%	+19% ⁴⁸	e-01	03/2020	03/2019	68	10.200	x	-
			e-02	10/2020	03/2019	75	<u>10.450</u>	x	-
			e-03	03/2021	01/2020	80	<u>10.500</u>	x	-
			e-011	01/2021	01/2020	78	10.300	x	-
			d-01	03/2016	03/2015	20	11.011	-	-
			d-011	05/2017	05/2016	34	11.200	x	-
			d-03	07/2016	03/2015	24	11.452	-	-
			d-04	03/2016	03/2015	20	<u>11.898</u>	-	-
D1, 45 E/h	0%	+10% ⁴⁹	d-01	03/2016	03/2015	20	11.011	-	6 ⁵⁰
			d-02	04/2016	03/2015	21	<u>11.167</u>	-	
D2, 45 E/h	35%	+4% ⁵¹	g-01	11/2018	11/2017	52	7.900	-	-
			g-02	12/2018	11/2017	53	<u>8.050</u>	-	-
C1, 60 E/h	30%	+9% ⁵²	g-01	11/2018	11/2017	52	<u>7.900</u>	-	-
			g-03	07/2019	07/2018	60	<u>8.200</u>	x	-
F1, 15 E/h	60%	-0,5% ⁵³	g-01	01/2019	01/2018	54	<u>7.900</u>	-	-

Tabelle 6-3: Eingangsgrößen für die QBBP im zweiten Validierungsszenario – gegliedert nach Fertigungslinien

Tabelle 6-3 zeigt die durch den Planungsträger erweiterte Übersicht mit den Eingangsdaten. Aus dieser Aufstellung gehen die einzelnen Fabrikplanungsprojekte allerdings noch nicht klar hervor.

³⁸ Bezeichnung der Fertigungslinie, ergänzt um die Ausbringungsmenge in Einheiten pro Stunde (E/h)

³⁹ Weiterverwendung bestehender Anlagen (vgl. Kapitel 4.3.6)

⁴⁰ Änderungen des Produktionssystems (vgl. Kapitel 4.3.5), vorläufiger Wert für gesamthafte Fertigungslinie

⁴¹ Beginn des Anlagenaufbaus (=Bedarfszeitpunkt)

⁴² Monate vor SOP (*Start of Production*)

⁴³ Produktspezifisches Bearbeitungsprofil in NFI (vgl. Kapitel 4.3.2 bzw. 5.2.2), unterstrichene Werte stellen jeweils die für die Berechnung zu nutzenden Maximalwerte für den Neubau bzw. die Integration dar

⁴⁴ Nachträgliche Integration der zusätzlichen Umfänge in eine bestehende Fertigungslinie

⁴⁵ Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug in Stück (vgl. Kapitel 4.3.7)

⁴⁶ Produktdiversität (5+ Derivate, hohe Unterschiedlichkeit), Automatisierung d. Türen- und Klappen-Montage,

⁴⁷ Zusatzbedarf an Robotern aufgrund struktureller Umbaumaßnahmen in Lackiererei und Presswerk

⁴⁸ Produktdiversität (5+ Derivate, hohe Unterschiedlichkeit), Automatisierung der Türen- und Klappen-Montage, verstärkt automatisierte Teilebereitstellung

⁴⁹ Produktdiversität (2 Deriv., mittlere Unterschiedlichkeit), Automatisierung der Türen- und Klappen-Montage

⁵⁰ Zusatzbedarf an Robotern für Logistikumfänge

⁵¹ Produktdiversität (2 Deriv., mittl. Unterschiedlichkeit), Anlagen zur autom. T&K-Montage bereits vorhanden

⁵² Produktdiversität (2 Deriv., hohe Unterschiedlichkeit), Anlagen zur autom. T&K-Montage bereits vorhanden

⁵³ manuelle Türen- und Klappen-Montage (vgl. Tabelle 5-6, S. 107)

Infolgedessen wurde daraus im nächsten Schritt eine zeitlich sortierte Projektübersicht abgeleitet, wie Tabelle 6-4 veranschaulicht.

FaPla-Projekt ⁵⁴	Erster SOP ⁵⁵	Bedarfszeitpunkt ⁵⁶	MvS min ⁵⁷	Takt ⁵⁸	NFI max ⁵⁹	Änd. Prod.sys. ⁶⁰	Weiterv. Anlagen ⁶¹	Zusatzumf. ⁶²	Derivate ⁶³
pE1-1	09/2015	09/2014	14 ⁶⁴	82	12.348	+10% ⁶⁵	20%	24	c-01/02
pE2-1	03/2016	03/2015	20 ⁶⁶	64	11.898	+18% ⁶⁷	0%	-	d-01/03/04
pD1	03/2016	03/2015	20	64	11.167	+10%	0%	6	d-01/02
pE2-2	05/2017	05/2016	34 ⁶⁸	64	11.898 ⁶⁹	0% ⁷⁰	E2 ⁷¹	-	d-011
pE1-2	02/2018	02/2017	43 ⁷²	82	13.150 ⁷³	+7% ⁷⁴	E1 ⁷⁵	-	f-01, u.a. ⁷⁶
pD2	11/2018	11/2017	52	64	8.050	+4%	35%	-	g-01/02
pC1-1	11/2018	11/2017	52	48	7.900	0% ⁷⁷	30%	-	g-01
pF1	01/2019	01/2018	54	192	7.900	-0,5%	60%	-	g-01
pC1-2	07/2019	07/2018	60	48	8.200	+9% ⁷⁸	C1 ⁷⁹	-	g-03
pE2-3	03/2020	03/2019	68	64	11.898	+1% ⁸⁰	E2	-	e-01/02
pE2-4	01/2021	01/2020	78	64	11.898	0% ⁸¹	E2	-	e-011/03

Tabelle 6-4: Übersicht der resultierenden Fabrikplanungsprojekte für das zweite Validierungsszenario

⁵⁴ interne Bezeichnung des jeweiligen Fabrikplanungsprojektes

⁵⁵ frühester SOP (*Start of Production*) eines Derivates des jeweiligen Fabrikplanungsprojektes

⁵⁶ Bedarfszeitpunkt ist Beginn des Anlagenaufbaus

⁵⁷ zum Planungszeitpunkt verbleibende Zeit bis zum frühesten SOP (Minimum), in MvS (Monaten vor SOP)

⁵⁸ Taktzeit der Fertigungslinie in Sekunden

⁵⁹ Maximalausprägung des produktspezifischen Bearbeitungsprofils je Fabrikplanungsprojekt in NFI

⁶⁰ Änderungen des Produktionssystems (vgl. Kapitel 4.3.5); planungsprojektspezifischer Wert für nachträgliche Integrationen muss mit Werten der Vorgängerprojekte multipliziert werden (vgl. Kapitel 6.2.2)

⁶¹ Weiterverwendung bestehender Anlagen (vgl. Kapitel 4.3.6)

⁶² Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug (vgl. Kapitel 4.3.7)

⁶³ Derivate, die in dem jeweiligen Fabrikplanungsprojekt zu beplanen sind

⁶⁴ Projekt pE1-1 befindet sich zu 14 MvS in der Phase der Ausführungsplanung (vgl. Abbildung 5-3, S. 89)

⁶⁵ Produktdiversität (2 Deriv., mittlere Unterschiedlichkeit), Automatisierung der Türen- und Klappen-Montage

⁶⁶ Projekte pE2-1 und pD1 befinden sich zu 20 MvS in der Phase der Feinplanung (vgl. Abbildung 5-3, S. 89)

⁶⁷ Produktdiversität (3 Derivate, hohe Unterschiedlichkeit), Automatisierung der Türen- und Klappen-Montage, verstärkt automatisierte Teilebereitstellung

⁶⁸ Projekt pE2-2 befindet sich zu 34 MvS in der Phase der Grobplanung (vgl. Abbildung 5-3, S. 89)

⁶⁹ NFI-Wert von Fabrikplanungsprojekt pE2-1, da dieser weiterhin das Maximum für die Fertigungslinie darstellt; Projekte pE2-3 und pE2-4 analog

⁷⁰ in Anlehnung an Tabelle 5-7, S. 108 keine Veränderung durch viertes Derivat

⁷¹ vollständige Weiterverwendung d. Roboterbestandes d. Fertigungslinie E2, Projekte pE2-3 und pE2-4 analog

⁷² Projekt pE1-2 (sowie fortfolgende) befindet sich in der Phase der Vorplanung

⁷³ NFI-Wert des integrierten Derivates f-031 ist neuer Maximalwert der Fertigungslinie; Projekt pC1-2 analog

⁷⁴ erhebliche zusätzliche Flexibilitätsanforderungen an die Produktionslinie (5 zusätzliche Derivate, hohe Unterschiedlichkeit)

⁷⁵ vollständige Weiterverwendung des Roboterbestandes der Fertigungslinie E1

⁷⁶ Derivate f-01, f-02, f-03, f-011, f-021 und f-031

⁷⁷ keine Produktdiversität (1 Derivat) und eine bereits bestehende automatisierte Türen- und Klappen-Montage

⁷⁸ gestiegene Flexibilitätsanforderungen (zweites Derivat, hohe Unterschiedlichkeit)

⁷⁹ vollständige Weiterverwendung des Roboterbestandes der Fertigungslinie C1

⁸⁰ geringfügige Anpassung des Produktionssystems durch zwei zusätzliche Derivate

⁸¹ keine zusätzlichen Anpassungen des Produktionssystems

Diese Zusammenstellung zeigt, dass eine Fertigungslinie im Fallstudienunternehmen mehrere Planungsprojekte bedingen kann, wenn die jeweiligen Daten für den Start der Serienproduktion der darauf zu fertigenden Derivate zu weit auseinander liegen. Anhand dieser Übersicht konnten im nächsten Schritt die Betriebsmittelbedarfe je Fabrikplanungsprojekt ermittelt werden.

6.2.2 Methodenanwendung und Implikationen des Ergebnisses

Die einzelnen Projekte befanden sich in unterschiedlichen Planungsphasen und erforderten daher jeweils ein angepasstes methodisches Vorgehen (vgl. Kapitel 4.5.1). Für das am weitesten fortgeschrittene Projekt pE1-1 bedeutete dies den Rückgriff auf die bereits vorliegenden Bestelldaten. Zur Vereinfachung dieses Schrittes wurden dem Planungsträger digitale Standard-Routinen für den Datenexport aus dem Bestellsystem sowie für den Datenimport in das exemplarische digitale QBBP-Werkzeug zur Verfügung gestellt. Für den projektspezifischen Betriebsmittelbedarf ergab dies einen Wert von 787 Industrierobotern.

Die Projekte pE2-1 und pD1 befanden sich in der Phase der Feinplanung. Demnach waren die damit einhergehenden Roboterbedarfe anhand der Fertigungslayouts und der zugehörigen Stücklisten zu ermitteln. Zu diesem Zweck waren gemäß der QBBP-Methodik die Bedarfe je Fertigungsabschnitt mit Hilfe digitaler Planungsbibliotheken aus den Produktionslayouts auszuleiten. Die Umfänge an weitergenutzten Fertigungsanlagen mussten anschließend subtrahiert werden. Im vorliegenden Fall waren für die beiden betrachteten Projekte keine Integrationsumfänge vorgesehen. Die virtuelle Schnittstelle zwischen der QBBP und den im Fallstudienunternehmen eingesetzten digitalen Werkzeugen (insbesondere *Tecnomatix Process Designer*, vgl. FALKMAN, WESTMAN & MODIG 2009) wurde als einfacher tabellarischer Datenexport realisiert und mit einem aggregierenden Datenimport kombiniert. Auf diese Weise wurde für das Projekt pE2-1 ein Bedarf von 1.330 und für pD1 von 1.202 Robotern ermittelt.

Für das Projekt pE2-2, das sich in der Phase der Grobplanung befand, ergab sich bei einer Einzelbetrachtung der Fertigungsabschnitte kein zusätzlicher Bedarf gegenüber dem bis dahin geplanten Bestand. Hierfür wurde die Bedarfsberechnung gemäß der mathematisch-statistischen Planungsmethode softwareseitig unterstützt. Durch diese exemplarische, phasenadäquate Unterstützung durch ein digitales Werkzeug konnte der Planungsträger erheblich entlastet werden.

Die Gesamtheit der übrigen Fabrikplanungsprojekte befand sich zum Planungszeitpunkt in der Phase der Vorplanung. Folglich konnte die Berechnung analog Kapitel 6.1.2 erfolgen, ebenfalls digital unterstützt und unter Verwendung der zuvor zusammengetragenen Eingangsdaten. Tabelle 6-5 fasst die Betriebsmittelbedarfe der betrachteten Projektlandschaft zusammen.

Die Übersicht verdeutlicht die zeitliche und quantitative Verteilung des kumulierten Betriebsmittelbedarfs von insgesamt 4.907 Industrierobotern. Für die Projekte pE1-1, pE2-1 und pD1 lag auf Basis des deterministischen Planungsansatzes zudem die Verteilung des absoluten Bedarfs auf die einzelnen Robotertypen⁸² vor.

⁸² vgl. auch Kapitel 5.1.2

FaPla-Projekt ⁸³	Derivate	Beginn Anlagenbau	Bedarf Roboter [Stk.]	
pE1-1	c-01/02	09/2014	787	
pE2-1	d-01/03/04	03/2015	1.330	2.532
pD1	d-01/02	03/2015	1.202	
pE2-2	d-011	05/2016	0	
pE1-2	f-01, u.a. ⁸⁴	02/2017	139	
pD2	g-01/02	11/2017	512	1.206
pC1-1	g-01	11/2017	694	
pF1	g-01	01/2018	99	
pC1-2	g-03	07/2018	130	
pE2-3	e-01/02	03/2019	13	
pE2-4	e-011/03	01/2020	0	
			4.907	

Tabelle 6-5: Ermittelte Betriebsmittelbedarfe für das zweite Validierungsszenario

Als wesentlicher Aspekt für den Planungsträger zeigten sich zwei Bedarfsspitzen⁸⁵, die die monatliche Produktionskapazität eines einzelnen Lieferanten überstiegen. Der frühere der beiden Bedarfstermine lag zum Planungszeitpunkt für eine angepasste Lieferantenauswahl oder zielgerichtete Lieferantenentwicklung bei einem hochkomplexen Produkt wie dem Industrieroboter bereits zu nahe, da nur noch acht Monate bis zum gewünschten Liefertermin verblieben. Angesichts einer Festlegung auf einen einzelnen Roboterlieferanten war dessen gezielte Steuerung somit von großer Bedeutung. Um die Versorgungssicherheit bei diesem Betriebsmittel gewährleisten zu können, zeichnete sich eine Vorproduktion durch den Hersteller als unausweichlich ab. Durch die systematische QBBP konnten für eine derartige Steuerung valide Zahlen als Grundlage zur Verfügung gestellt werden.

Die zweite Bedarfsspitze (Projekte D2 und C1-1) liegt zum Planungszeitpunkt noch über drei Jahre in der Zukunft. Folglich bestanden grundsätzlich noch die Möglichkeiten einer Veränderung der Sourcing-Strategie sowie der gezielten Lieferantenauswahl oder -entwicklung. Aufgrund von Synergieeffekten bei der Anlagenkonstruktion und Roboterprogrammierung wird für ähnliche oder gleiche Derivate im Fallstudienunternehmen eine einheitliche Anlagentechnik angestrebt. Demzufolge ist der ermittelte Betriebsmittelbedarf für die beiden betrachteten Projekte durch einen einzelnen Hersteller zu decken, der auf Grundlage der Zahlen aus der QBBP auszuwählen bzw. gezielt zu entwickeln ist.

Die Industrieroboter für Projekt E1-1 befanden sich zum Zeitpunkt der Planung herstellerseitig bereits in der Vorproduktion. Die verhältnismäßig geringen und gleichmäßig verteilten Bedarfszahlen der übrigen gelisteten Fabrikplanungsprojekte legen nahe, dass sich deren Beschaffung grundsätzlich ohne zusätzliche Maßnahmen realisieren lässt. Für die QBBP im zweiten Validierungsszenario wurde allerdings nur ein Teilausschnitt der Projektlandschaft des Fallstudienunternehmens in Betracht gezogen. Das zeitliche Zusammenfallen von Bedarfszeitpunkten und damit die Entstehung lokaler Maxima in der

⁸³ interne Bezeichnung des jeweiligen Fabrikplanungsprojektes

⁸⁴ Derivate f-01, f-02, f-03, f-011, f-021 und f-031

⁸⁵ Als Bedarfsspitze wird hier ein Bedarf von über 1.000 Industrierobotern bezeichnet.

Bedarfskurve können folglich nicht ausgeschlossen werden. Somit können auch die geringen Bedarfszahlen der übrigen Projekte im Rahmen der QBBP nicht außer Acht gelassen werden.

Eine Unsicherheitsbetrachtung für die einbezogenen Fabrikplanungsprojekte könnte analog Kapitel 5.3.3 bzw. 6.1.1 durchgeführt und in einer entsprechenden Matrix für die betrachtete Projektlandschaft dargestellt werden.

6.2.3 Beurteilung des Ergebnisses und der Methodik

Analog dem ersten Validierungsszenario ist neben der Plausibilität der Planungsergebnisse abschließend insbesondere die angewandte QBBP-Methodik zu beurteilen. Diese Bewertung erfolgte ebenfalls im Rahmen eines Expertenworkshops (vgl. Anhang 8.3).

Nachdem die ermittelten Zahlen die Zustimmung der anwesenden Planungsspezialisten erhielten, wurden insbesondere die Methodik und ihre Anwendung besprochen. Zu diesem Zweck wurde in dem Workshop diskutiert, inwieweit die QBBP-Methodik die in Kapitel 2.2 dargestellten Anforderungen erfüllt. Die Validität der Planungsergebnisse konnte bereits im ersten Schritt bestätigt werden. Als zweiter wesentlicher Aspekt waren die Agilität der Methodik sowie die Skalierbarkeit der Planungsumfänge zu bewerten. Dank unterstützender Eingabemasken und der Automatisierung der Berechnungsschritte wurde die Agilität durch den ausführenden Planungsträger als positiv bewertet. Durch die Hilfestellung eines prototypischen digitalen Werkzeugs konnte somit eine Verbesserung gegenüber dem ersten Validierungsszenario erreicht werden. Auch die Skalierbarkeit der Planungsumfänge wird durch Szenario 2 untermauert, da Projekte mit stark unterschiedlichen Parametern berücksichtigt werden konnten. In Hinblick auf die geforderte Flexibilität der QBBP-Methodik ergaben sich keine neuen Erkenntnisse, weshalb dieser Aspekt von den Workshopteilnehmern intensiv diskutiert wurde. Aufgrund der Möglichkeiten zur Anpassung der Berechnungskennzahl sowie zur flexiblen Ausgestaltung der Faktoren für Veränderungen des Produktionssystems wurde die Flexibilitätsanforderung schließlich als grundsätzlich erfüllt anerkannt, eine weiterführende Untersuchung allerdings empfohlen. Die adäquate Handhabung von Unsicherheitsfaktoren wurde im dargestellten zweiten Validierungsszenario aus Zeitgründen nicht näher untersucht. Daher blieben die Experten bei ihrer vorherigen Aussage, dass die Methodik diesbezüglich insbesondere für weniger erfahrene Planungsträger eine Verbesserung darstellt. Die frühzeitige Bedarfsplanung wurde insbesondere mit der digitalen Unterstützung der Berechnungsschritte weiter verbessert und von den Workshopteilnehmern als deutlichste Verbesserung hervorgehoben. Darüber hinaus konnte durch das zweite Validierungsszenario die phasenübergreifend durchgängige Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes bestätigt werden. Abschließend kamen die Experten zu dem Fazit, dass die QBBP-Methodik eine deutliche Verbesserung zu den bislang verwendeten Heuristiken darstellt, da diese mit einer großen Abhängigkeit von einzelnen Planungsträgern einhergehen.

6.3 Zusammenfassung und Bewertung

Im zurückliegenden Kapitel wurde die QBBP-Methodik zu Validierungszwecken anhand zweier unterschiedlicher Szenarien im Fallstudienunternehmen erprobt. Die Durchführung wurde jeweils durch einen erfahrenen Planungsträger übernommen. Im ersten Validierungsszenario konnte gezeigt werden, dass mithilfe der QBBP Konzeptalternativen verhältnismäßig aufwandsarm hinsichtlich ihres Betriebsmittelbedarfs verglichen werden können. Dabei wurde insbesondere der Kritikpunkt angeführt, dass die Berechnungsschritte manuell durchgeführt werden mussten. Diese mangelnde Hilfestellung durch digitale Werkzeuge wurde daraufhin durch eine prototypische Software-Lösung behoben. Das zweite Validierungsszenario hatte die Planung der Betriebsmittelbedarfe für einen Teil der Projektlandschaft des Fallstudienunternehmens zum Inhalt. Dabei zeigte sich, dass die QBBP-Methodik ein adäquates Werkzeug für verschiedenste Planungsumfänge darstellt. Im Rahmen zweier Workshops mit erfahrenen Planungsträgern wurde der methodische Ansatz vor diesem Hintergrund positiv bewertet und die Vorteile gegenüber den bislang angewandten Heuristiken betont.

Nach der erfolgreichen Anwendung der QBBP-Methodik ist abschließend die Forschungshypothese IV auf Basis der gewonnen Erkenntnisse zu bewerten. Im zurückliegenden Kapitel konnte gezeigt werden, dass der vorgestellte Ansatz phasenübergreifend anwendbar ist und durchgängig zu Planungsergebnissen geführt hat, die durch Planungsspezialisten bestätigt wurden. Zudem eignet sich die Methodik gleichermaßen für Einzel- wie für Multiprojektbetrachtungen. Demzufolge kann die Forschungshypothese angenommen werden. Darüber hinaus kann somit auch die zuvor nur vorbehaltlich bestätigte Forschungshypothese II als abschließend verifiziert angesehen werden. Einschränkend ist anzumerken, dass die Validierung der Methodik auf Anwendungsszenarien basiert, die denselben Betriebsmitteltyp in einem einzigen Industriezweig zum Inhalt haben. Nach Aussage einiger erfahrener Planungsträger im Rahmen der durchgeführten Expertenworkshops (vgl. Anhang 8.3) steht der Roboter als wesentliches Betriebsmittel im automobilen Karosseriebau repräsentativ für einige weitere Betriebsmittel, beispielsweise Schweißzangen oder induktive Sensoren, deren Bedarfe sich analog berechnen ließen. Die Übertragung der QBBP-Methodik auf weitere Anwendungsfälle mit abweichend berechneten *normierten Fertigungsinhalten* bleibt demnach als Forschungsbedarf festzuhalten.

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

7.1 Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit wird die systematische Entwicklung und Instanziierung einer Methodik zur quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung (QBBP) für die getaktete Fließfertigung behandelt. Dafür wurde zunächst ein klares Planungsverständnis erarbeitet. Mit Hilfe des resultierenden Konzepts lassen sich Planungsaufgaben strukturieren und bis in die ihnen zugrunde liegenden Planungslogiken zerlegen. Dieses Planungsverständnis diente im Folgenden der Strukturierung und systematischen Entwicklung der Planungsaufgaben der QBBP. Nach der darauffolgenden Präzisierung der Grundlagen und Anforderungen wurde zunächst untersucht, mit welchen praktischen und theoretischen Ansätzen der Herausforderung der QBBP bislang begegnet wird. Zu diesem Zweck wurde der Stand der Technik im Rahmen zweier wissenschaftlicher Studien erhoben. Als Ergebnis der ersten, industriellen Studie konnten im Wesentlichen vereinzelte Heuristiken, jedoch keine Referenzlösung identifiziert werden. Darüber hinaus ließen sich allerdings ein klarer Verbesserungsbedarf in der Industrie sowie zahlreiche Anregungen für eine dafür notwendige Planungsmethodik ableiten. Die zweite Studie, eine systematische Literaturrecherche, ergab zudem, dass die Thematik der QBBP in der jüngeren Wissenschaft keine Rolle spielt und die intensivere Auseinandersetzung mit dem Themenfeld auf die achtziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts zurückgeht. Die vereinzelt identifizierten, übertragbaren Ansätze wurden daraufhin analysiert und die Implikationen aus diesem Schritt flossen in das weitere Vorgehen ein.

Für die QBBP galt es, von Grund auf eine neue Methodik zu entwickeln, unter Berücksichtigung der Anregungen aus Wissenschaft und Praxis. Dafür wurde mit der systematischen Herleitung an der Basis der grundlegenden Planungslogiken begonnen und darauf aufbauend wurden Schritt für Schritt zielgerichtete Planungsintelligenzen sowie einzelne Methoden entwickelt. Diese Methoden sind zunächst auf die reine Berechnung quantitativer Betriebsmittelbedarfe ausgelegt und decken die unterschiedlichen Phasen der Fabrikplanung ab. Die Methoden werden schließlich in einer phasenübergreifenden Berechnungsmethodik zusammengefasst und diese in den Gesamtkontext einer umfassenden Planungsmethodik eingebettet, wie in Abbildung 7-1 (vgl. Kapitel 4.5.1) dargestellt.

Diese Methodik wird der Zielsetzung, ein phasenübergreifend durchgängiges und systematisches Planen von Betriebsmittelbedarfen zu ermöglichen, grundsätzlich gerecht. Den bis dahin rein theoretischen Ansatz galt es an die Erfordernisse der Praxis anzupassen und dementsprechend zu erweitern. Aus diesem Grund wurde die QBBP-Methodik anhand eines Anwendungsbeispiels instanziiert. Dabei wird die Normierung der Fertigungsinhalte exemplarisch dargelegt und die Durchführung der vorgelagerten Datenanalysen für die QBBP veranschaulicht. Darüber hinaus wird im Detail auf die Handhabung von Unsicherheitsfaktoren eingegangen und die Methodik damit für die praktische Anwendung abgerundet. Auf dieser Grundlage wird die QBBP-Methodik anschließend auf ein Anwendungsbeispiel appliziert. Anhand dessen wird auch auf die Verwendung der Planungsergebnisse eingegangen.

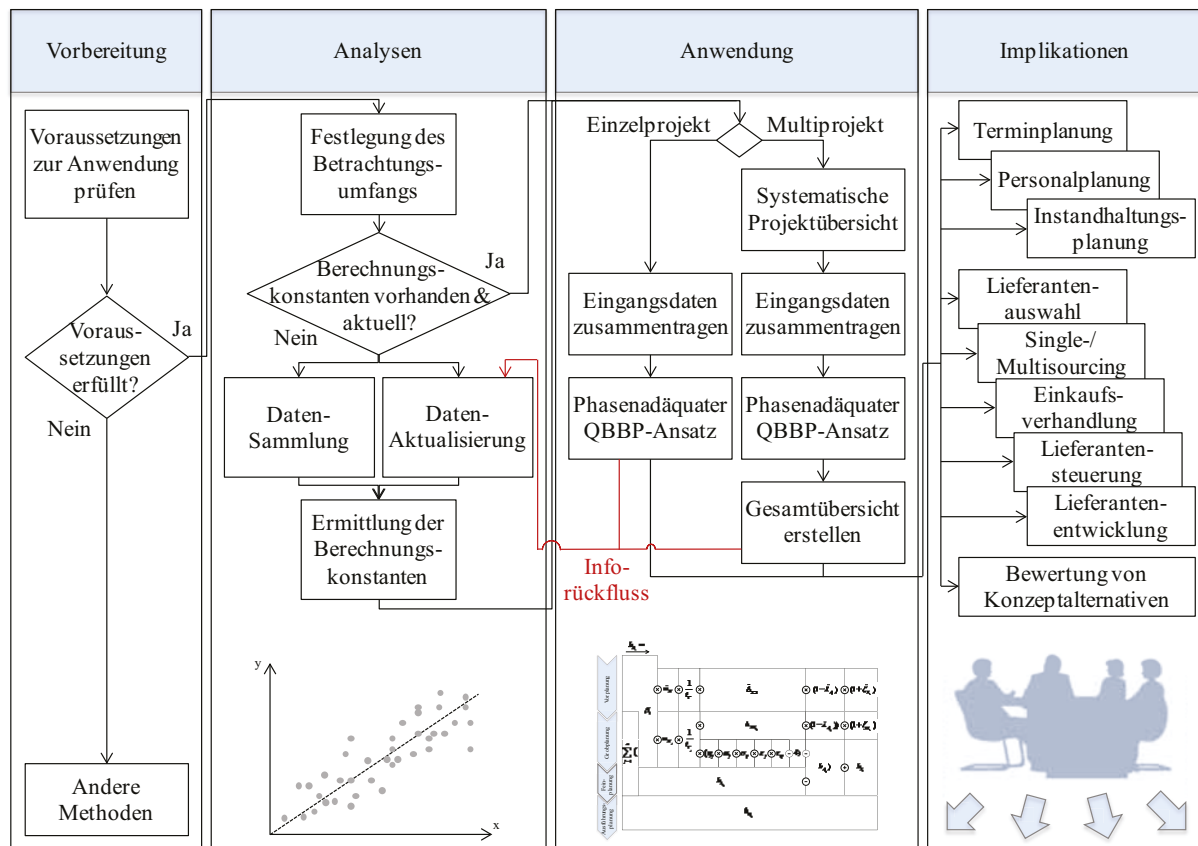


Abbildung 7-1: Gesamthafte QBBP-Methodik (analog Abbildung 4-14, S. 80)

Die praktische Anwendung wurde schließlich im Rahmen der Validierung der Planungsmethodik vertieft. Zu diesem Zweck wurde die QBBP-Methodik durch einen erfahrenen Planungsträger auf zwei unterschiedliche Szenarien angewendet und die gewonnen Erkenntnisse im Anschluss jeweils in Expertenworkshops analysiert und bewertet. Im Ergebnis erfüllt der entwickelte Ansatz die einleitend erarbeiteten Anforderungen (vgl. Kapitel 2.2), da die QBBP-Methodik

- klar definiert und systematisch dokumentiert ist (vgl. Kapitel 4), wenn auch die Dokumentation für die praktische Anwendung noch zu komprimieren ist (vgl. Anhang 8.3),
- eine digitale Unterstützung problemlos möglich ist, wie prototypisch aufgezeigt (vgl. Kapitel 5.4.3 bzw. 6.2),
- die Erkenntnisse aus Expertenwissen und Datenanalysen gezielt zusammengeführt werden (vgl. insb. Kapitel 4.1.4 bzw. 5.2.4),
- variabel skalierbare Planungsumfänge abgebildet werden können (vgl. Kapitel 6.2),
- durch gezielte Automatisierung (Digitalisierung) eine Beschleunigung der Planung bewirkt wird (vgl. Kapitel 6.2.3),
- der Informationsrückfluss aus dem Planungsprozess sichergestellt ist (vgl. Kapitel 4.5.1),
- die Methodik an zahlreichen Stellhebeln anpassbar ist (vgl. Kapitel 6.1 und 6.2),
- der phasenadäquate Aggregationsgrad einen der Kernaspekte der Methodik darstellt (vgl. Kapitel 4.5.1),
- die Berücksichtigung von Unsicherheitsfaktoren vorgesehen ist (vgl. Kapitel 5.3.2),

- die frühzeitige und phasenübergreifend durchgängige Planung unterstützt wird (vgl. Kapitel 4.5.1 bzw. 6.2) und
- die Methodik in bestehende Planungsprozesse integriert werden kann (vgl. Kapitel 4.5.2).

Die einleitend vorgestellte Leithypothese, kann auf Basis dieser Erkenntnisse abschließend bewertet werden.

Leithypothese:

Die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung lässt sich, über die unterschiedlichen Planungsphasen hinweg, in erster Linie mit Hilfe einer durchgängigen und systematisch integrierten Planungsmethodik nachhaltig valide gestalten.

So wurde der Aspekt der phasenübergreifenden Planung zunächst als Anforderung identifiziert, im Rahmen der industriellen Studie bestätigt und daher auch als wesentlicher Eckpunkt der QBBP-Methodik thematisiert. Im Rahmen der Forschungstätigkeiten konnte gezeigt werden, dass durch den entwickelten, systematischen Ansatz eine durchgängige Planung auch über Phasengrenzen hinweg möglich ist. Die Vorteilhaftigkeit der Planungsmethodik wurde diesbezüglich auch von erfahrenen Planungsträgern bestätigt. Gegenüber den zuvor angewandten Heuristiken bietet eine solche Methodik allerdings nur nachhaltige Vorteile, wenn sie sauber dokumentiert und damit reproduzierbar ist. Im vorliegenden Fall ist auch dieser Aspekt erfüllt. Da die Planungsergebnisse in den Workshops im Rahmen der Validierung bestätigt wurden, kann auch der Aspekt der Validität als erfüllt angesehen werden. Die Leithypothese wird daher angenommen. Es bleibt allerdings anzumerken, dass eine weiterführende praktische Erprobung der Methodik empfohlen wird, da sich die vorangehenden Ausführungen auf einen einzelnen Betriebsmitteltyp beschränken.

Zusammenfassend konnte das einleitend entwickelte Planungsverständnis sehr gut auf die Herausforderung der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung angewendet werden. Mit Hilfe der klaren Systematik der Planungslogiken, -intelligenzen, -methoden, -methodiken und -prozesse (vgl. Kapitel 2.1.1) konnte die Problemstellung klar strukturiert werden. Beginnend bei den Planungslogiken (Kapitel 4.2) konnte darauf aufbauend die Entwicklung der QBBP-Methodik anhand einer klaren Struktur verfolgt werden. Die darauf aufbauenden Planungsintelligenzen (Kapitel 4.3) erweitern diese Grundlage um jene quantitativen oder qualitativen Regeln, die zur Anwendung der zuvor dargelegten Logiken notwendig sind. Für den gezielten Einsatz der Planungsintelligenzen werden diese in Methoden gebündelt (Kapitel 4.4) und diese wiederum in einer gesamthaften Methodik zusammengefasst (Kapitel 4.5.1). Letztlich bleibt die Integration dieser Methodik in die Planungsprozesse eines Unternehmens (Kapitel 4.5.2). Die abschließende Validierung der QBBP-Methodik und Annahme der Leithypothese unterstreicht die Eignung des zugrunde gelegten Planungsverständnisses zur konsequenten Aufarbeitung von Planungsaufgaben.

7.2 Ausblick

Der Trend zu einer zunehmenden Produktdiversifikation sowie zu verkürzten Produktlebens- und Innovationszyklen wird sich weiter fortsetzen. Die Anforderung an die Fabrikplanung, schneller und effizienter zu werden, wird somit auch in Zukunft bestehen bleiben. Die vorliegende Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zu dieser Geschwindigkeits- und Effizienzsteigerung und damit potentiell zur Stärkung der Wettbewerbsposition von Industrieunternehmen.

Es bleibt festzuhalten, dass die praktische Erprobung der entwickelten QBBP-Methodik weiter ausgebaut werden und auf weitere Betriebsmitteltypen übertragen werden sollte. Wie groß der Nutzen der im Rahmen dieser Arbeit empfohlenen Planungsmethodik in der industriellen Anwendung schließlich ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Neben der intensiv behandelten methodischen Ebene, sind es insbesondere technische und organisatorische Aspekte, die für die quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung ausschlaggebend sind. Abbildung 7-2 verdeutlicht dieses Zusammenspiel modellhaft und zeigt darüber hinaus den Fokus des vorliegenden Forschungsprojektes sowie den verbleibenden Forschungsbedarf auf. Während die Methodik der QBBP sehr umfassend behandelt wurde, sind in Bezug auf die technische Umsetzung und insbesondere die organisatorischen Facetten einige wesentliche Themenfelder offen geblieben.

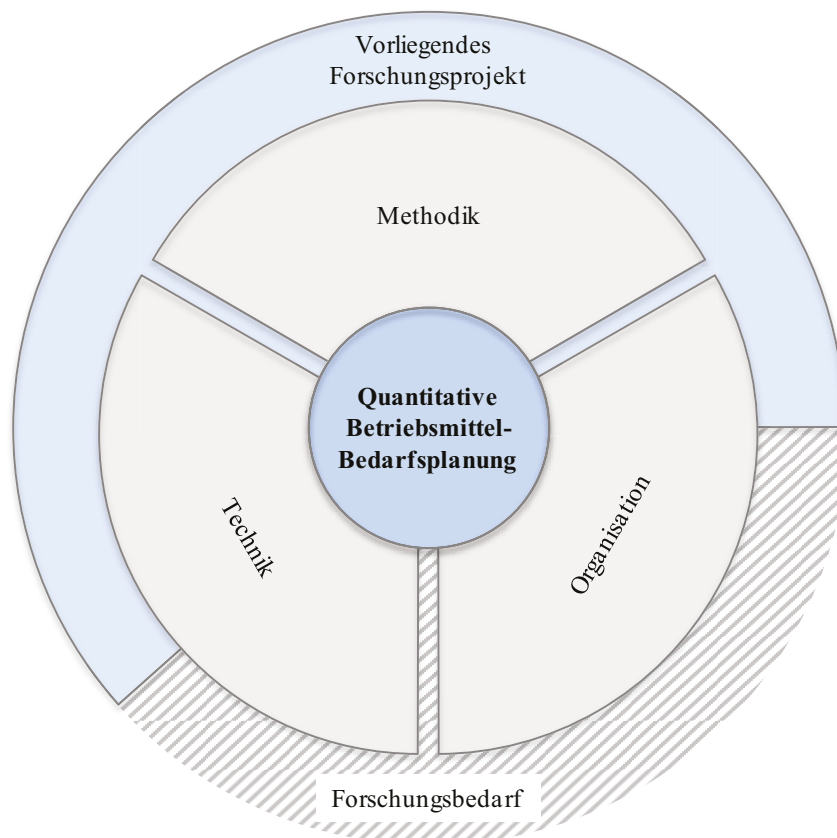


Abbildung 7-2: Verbleibender Forschungsbedarf im Themenfeld der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung

Da der Ansatz der QBBP für die Planungsträger eines Unternehmens zunächst mit einem Mehraufwand einhergeht, stellt die organisatorische Verankerung und Unterstützung einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar, um die Betriebsmittelbedarfe nach den anfänglich erhöhten Aufwendungen effizienter und transparenter planen zu können. Da sich erfahrene Planungsträger teilweise bevorzugt auf ihre eigenen Einschätzungen statt auf eine festgeschriebene Methodik verlassen, kann diese organisatorische Hürde in erster Linie durch eine klare Positionierung des Managements genommen werden. Wie eine Planungsmethodik wie die der QBBP organisatorisch allerdings optimal verankert werden kann, wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes lediglich angeschnitten und nicht im Detail ergründet. Dies kann daher als weiterer Forschungsbedarf ausgemacht werden. So gilt es zu identifizieren, welche Aspekte der Schlüssel für eine erfolgreiche organisatorische Integration einer solchen Planungsmethodik sind. Darüber hinaus sind auch Fragestellungen zu klären, wie sich eine Organisation aufstellen muss, um nach einer erfolgreichen Implementierung einer solchen Planungsmethodik deren dauerhafte sowie durchgängige Anwendung und ihre Weiterentwicklung nachhaltig sicherzustellen.

Unabdingbarer Erfolgsfaktor für die QBBP ist auch die möglichst intuitive und zügige Anwendbarkeit für den Planungsträger. Dieser Punkt wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes mehrfach von potentiellen Anwendern als essentiell hervorgehoben. Die Benutzerfreundlichkeit als solches fällt in die Domäne der technischen Umsetzung, die zuvor intensiv, nicht jedoch erschöpfend thematisiert wurde. So bleiben auch in diesem Feld erhebliche Forschungsbedarfe bestehen. Neben dem Erfordernis der einfachen Anwendbarkeit bergen insbesondere die Integration des QBBP-Ansatzes in bestehende digitale Werkzeuge der Fabrikplanung sowie ein durchgängiges Datenmanagement das Potential, die Arbeit der Planungsträger effizienter zu gestalten. Die Durchgängigkeit des Datenmanagements sowie der Rückgriff auf digitale Bibliotheken wurde in diesem Forschungsprojekt als Voraussetzung genannt und als solche auch explizit thematisiert, eine umfassende Lösung wurde hingegen nicht erarbeitet. Diese Lücke ist in vergleichbaren Kontexten bereits Gegenstand zahlreicher aktueller Forschungsprojekte, sollte darüber hinaus aber mit dem Fokus auf die Betriebsmittelbedarfsplanung ergründet werden. In Hinsicht auf holistische, digitale Werkzeuge der Fabrikplanung bestehen bereits einige Ansätze. Diese unterstützen insbesondere die für die QBBP in der Vor- und Grobplanung erforderlichen mathematisch-statistischen Ansätze, allerdings bislang nicht in ausreichendem Maße. Daher ist auch diesbezüglich weiterer Handlungsbedarf zu sehen.

Wie Abbildung 7-2 verdeutlicht, wird das methodische Vorgehen für die QBBP durch die vorliegende Arbeit umfassend behandelt. Zur Interpretation dieser modellhaften Darstellung ist allerdings der Gültigkeitsbereich der entwickelten Methodik zu reflektieren. Wenngleich die methodische Lücke der QBBP für die getaktete Fließfertigung geschlossen wird, sind auch weitere Forschungstätigkeiten denkbar, deren Schwerpunkt auf dem grundsätzlichen Vorgehen in der Planung quantitativer Betriebsmittelbedarfe liegt. Eine weiterführende Untersuchung zur Ausweitung der vorgestellten Planungsmethodik insbesondere auf andere Fertigungsformen als die getaktete Fließfertigung kann ebenfalls als weiteres Forschungsfeld identifiziert werden.

Darüber hinaus birgt die QBBP weitere Potentiale. So wäre es denkbar, den Betriebsmittelbedarf beispielsweise im Verhältnis zu den *normierten Fertigungsinhalten* auch als Zielgröße zu verwenden. Da Industrieunternehmen die Ausplanung, den Aufbau und die Inbetriebnahme ihrer Produktionsanlagen

meist an externe Firmen aus dem Bereich des Anlagenbaus auslagern, könnte der quantitative Betriebsmittelbedarf im Verhältnis zu den *normierten Fertigungsinhalten* auch als Mess- und Zielwert für die Qualität der Auftragsarbeit herangezogen werden. Diese Relation kann als Maß für die effiziente Nutzung der Betriebsmittel verstanden werden. Da für die QBBP die entsprechenden Vergleichswerte bestehender Anlagen bereits zusammengetragen werden und das entsprechende arithmetische Mittel für das besagte Verhältnis ohnehin berechnet wird, kann es aufwandsarm für weitere Zwecke verwendet werden. Auch dieser Aspekt kann im Ergebnis dieser Arbeit als Schwerpunkt für weitere Forschungsprojekte empfohlen werden.

Alles in allem ist abzusehen, dass das globale Marktumfeld der Fertigungsindustrie auch in Zukunft durch eine hohe Dynamik geprägt sein wird. Die Fähigkeit, sich in der Fabrikplanung schnell auf unerwartet eintretende Entwicklungen einstellen und an nachhaltig veränderte Randbedingungen anzupassen zu können, kann im internationalen Wettbewerb ein entscheidender Vorteil sein. Systematisch in bestehende digitale Werkzeuge und Prozesse integriert ist eine funktionierende quantitative Betriebsmittelbedarfsplanung hierfür als wichtiger Teilaspekt zu sehen. So können Industrieunternehmen einerseits ihre Verhandlungsposition gegenüber ihren Lieferanten stärken und gleichzeitig die Zusammenarbeit mit diesen verbessern. Auf diese Weise lässt sich die Versorgungssicherheit bei den Betriebsmitteln nachhaltig verbessern und marktinduzierte Volatilitäten können schneller ausgeglichen werden. Darüber hinaus wird die Fabrikplanung transparenter und die Abhängigkeit von einzelnen Experten wird reduziert. Die nachhaltige Umsetzung der vorgestellten QBBP-Methodik verspricht demnach mittel- bis langfristig deutliche Verbesserungen für die Fabrikplanung. Obgleich einige Themenfelder als Forschungsbedarfe offen bleiben, kann die Weiterentwicklung und Digitalisierung der Fabrikplanung mit Hilfe der QBBP-Methodik weiter voranschreiten.

8 ANHANG

8.1 Interviewleitfaden

IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?

IF2: Was ist der Auslöser für die Bedarfsplanung?

- Neues Produkt
- Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen
- Regelmäßig ablaufender Prozess
- Sonstige

IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?

IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Anlagenkomponenten?

- Produktionskapazität (Einheiten/Zeit)
- Produktbedingte Arbeitsinhalte
- Zeitnutzungsgrad/Anlagenverfügbarkeit
- Automatisierungsgrad
- Standortbesonderheiten
- Produktdiversität
- Sonstige

IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?

IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?

IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Anlagenkomponenten?

IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?

IF9: Gibt es IT-Werkzeuge zur Unterstützung der Bedarfsplanung?

IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung?

- Organisatorisch
- Methodisch
- IT-technisch

8.2 Interviewnotizen

8.2.1 Interview 1

	Experte Standardisierung Sensorik & Sicherheitstechnik
	Automobilindustrie
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Langfristige Forecasts für Kleinteile werden nur zur Aushandlung neuer Verträge benötigt; ansonsten beginnt man projektspezifisch ca. 20 MvS, für Großkaufteile teilweise auch langfristiger
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Bedarfsplanung nur im Rahmen von Neuanläufen (Fzg. x in Werk y); Instandhaltungsmaßnahmen werden bei zentraler Bedarfsplanung nicht berücksichtigt („Grundrauschen“); kein regelmäßig ablaufender Prozess, aber teilweise Anfragen des Einkaufs
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	Langfristprognose nur auf Basis von Expertenschätzungen; in Grob-/Feinplanung für Kleinteile gibt es nur Ausleitungen aus Process Designer (Mengengerüste), diese jedoch nicht in der frühen Phase; später im Projekt werden Bestellungen direkt durch Anlagenbauer ausgeführt, eine zentrale Planung findet dann nicht mehr statt
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad variiert nicht, hätte aber Einfluss; Automatisierungsgrad spiegelt sich in Ausbringungsmenge wieder; Standortbesonderheiten „spielen inzwischen keine Rolle mehr“; Produktdiversität kann starken Einfluss haben; technische Standards können Bedarf zusätzlich beeinflussen
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	QBBP ist nicht genau definiert, nur die Ausleitung von Mengengerüsten für Ausschreibungen; Anlagendokumentation zur Übergabe
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	bei Kleinteilen: 18 MvS KickOff mit Anlagenbauern und Lieferanten, ansonsten keine zentrale Koordination von Bedarfen; die Pflege der Mengengerüste erfolgt durch die Anlagenbauer
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, insb. 2009/2010 im Zuge der Wirtschaftskrise bei zahlreichen Komponenten, insb. auch bei Sublieferanten
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Geringe Lagerhaltung bei Lieferanten, mangelnde Bedarfsplanung, keine zentrale Koordination der Bedarfe/Lieferzeiten
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Process Designer (in früher Phase aber zu aufwändig), Excel
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Organisatorisch: Kommunikation/Koordination BMW/Anlagenbauer/ Lieferanten verbessern; eine klare Methodik wäre hilfreich und müsste eine flexible/schnelle Prognose grober Werte ermöglichen; Prozessintegration muss verbessert werden

Tabelle 8-1: Interviewnotizen Interview 1

8.2.2 Interview 2

	Spezialist Best Practice Steuerungstechnik
	Automobilindustrie
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Für Steuerungstechnik frühestens 24 MvS in einem Projekt, verlässliche Zahlen sind 18 MvS verfügbar; langfristige & projektübergreifende Planung für Einkaufsverhandlungen ist zeitlich schwer einzugrenzen, da v. Projekt zu Projekt unterschiedlich
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Bei den meisten Projekten ist ein neues oder geändertes Produkt der Auslöser, in Ausnahmefällen auch Generalüberholungen (Großreparaturen), die jedoch meist mit geringeren Bedarfen einhergehen; kein regelmäßig (z.B. quartalsweise) ablaufender Prozess
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	In der frühen Phase werden die Steuerungstechnikbedarfe häufig in Abhängigkeit von den geplanten Roboterbedarfen (also anderen Betriebsmitteln) abgeschätzt; später erfolgt die Planung händisch (deterministisch) mit viel Aufwand und unter Einbeziehung zahlreicher Stellen
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad wird nicht variiert; Automatisierungsgrad von Fertigungsbereich abhängig - zunehmende Tendenz, hat also leichten Einfluss; Standortbesonderheiten z.B. durch gesetzliche Importreglementierungen müssen techn. Änderungen vorgenommen werden; Derivateanzahl hat starken Einfluss
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Ansätze zur Formalisierung des Prozesses; ansonsten ist die zentrale Koordination der Bedarfe problematisch da nicht konkret definiert bzw. geregelt
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Ca. 18-15 MvS für die Steuerungstechnik-Komponenten; für Einkaufsverhandlungen werden frühzeitige Abschätzungen gemacht und den Lieferanten für die Angebotserstellung mitgeteilt
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, insb. in der Wirtschaftskrise, da die gesamte anlagenintensive Industrie gleichzeitig neue Anlagen bestellt hat
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	QBBP ist aufwändig, da anfallenden Bedarfe von vielen Stellen einzeln „eingesammelt“ werden müssen; Bestellzeitpunkte werden oft so spät wie möglich gelegt
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Sharepoint, ProcessDesigner, Eplan, Excel
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Informationsfluss intern sowie von und zu Anlagenbauern müsste verbessert werden, um Aufwand bei QBBP zu reduzieren und so flexibler zu werden; erste „Gehversuche“ in Sharepoint zeigen Erfolge; evtl. Outsourcing der QBBP zum Lieferanten

Tabelle 8-2: Interviewnotizen Interview 2

8.2.3 Interview 3

	Senior Expert Planning Processes
	Chemieindustrie
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Bei komplett neuen Großanlagen (Ausnahme) plant man mit bis zu 10 Jahren Vorlaufzeit, die Bedarfsplanung beginnt dann bereits 5 JvS, ansonsten deutlich später (36 MvS bei Integration); allein der Anlagenaufbau dauert min. 18 Monate
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Erneuerung/Anpassung von Anlagen häufigster Auslöser, d.h. primär für neue Produkte oder auch wegen des Anlagenalters; vollständiger Neubau selten, da enorm teuer; kein regelmäßig ablaufender Prozess, stets nur projektspezifisch ausgelöst
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	Vergangene Projekte werden als Grundlage herangezogen; zu Anfang eines Projektes wird auf Modulebene geplant (Konfiguration d. künftigen Anlage mit vorgefertigten Modulen, notwendige Änderungen an Modulen werden durch Experten bewertet); enge Zusammenarbeit mit Lieferanten
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad kein Einfluss, da nicht variiert; Automatisierungsgrad konstant auf Maximum; Standortbesonderheiten kein Einfluss (einheitliche Blockfelder in Verbundproduktion, standortübergreifend identisch); Anlagenflexibilität kann durchaus Einfluss haben bei erhöhter Produktdiversität
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Prozesse im Unternehmen sind allgemein sehr genau definiert, QBBP in der frühen Phase jedoch relativ frei, da von Expertenwissen abhängig
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Bei Spezialequipment frühzeitig Zusammenarbeit mit Lieferanten; bei Großkaufteilen ca. 1 Jahr vor Anlagenaufbau, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten; Katalogware ohne Vorankündigung
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, hohe Stahlpreise haben in der Vergangenheit zu Liefer Schwierigkeiten einiger (Sub-)Lieferanten geführt
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	„Späte“ Umplanungen in Projekten (zu geringe Prämissenstabilität), allerdings waren die Anpassungen unvermeidlich
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	SAP, CAx, Excel
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Stabilität der Planungsprämissen müsste verbessert werden; Planungsprozess mit Verankerung einer regelmäßigen Daten-/Standardpflege würde helfen sowie klar definierte/ dokumentierte Verantwortlichkeiten

Tabelle 8-3: Interviewnotizen Interview 3

8.2.4 Interview 4

	Key Account Manager Automotive
	Anlagenbau
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Planung ist sehr eng an den Planungsprozess des Auftraggebers gekoppelt; die Bedarfsplanung startet somit erst ab Einbindung in ein Projekt
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Auslöser ist Beauftragung für neues Anlagenbauprojekt (Integration oder Neubau), grobes Mengengerüst steht zu diesem Zeitpunkt i.d.R. bereits fest; die weitere Pflege des Mengengerüsts ist vertraglich vereinbart
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	Als Grundlage bei der Planung werden vergangene Projekte also Referenz herangezogen; das Mengengerüst entspricht somit zunächst auch dem des Referenzprojektes und wird parallel zum Planungsfortschritt manuell mitgepflegt und verfeinert
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad wird nicht variiert, hätte aber Einfluss; Automatisierungsgrad hat Einfluss, wird aber ebenfalls kaum variiert; Standort fließt nur in Form der Fläche ein; Anlagenflexibilität hat starken Einfluss; Qualitätsanforderungen können Bedarf zusätzlich beeinflussen
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Prozess ist eng an Auftraggeber gekoppelt und damit sehr genau definiert, allerdings erst in der späten Planungsphase
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Bedarfsmeldung bei Großkaufteilen an Lieferanten sobald bekannt, um Lieferfähigkeit sicherzustellen; Kleinumfänge erst, wenn die Anlage auskonstruiert ist
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, deshalb hält man bei einigen wesentlichen Komponenten Inhouse-Bestände vor
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Enger werdende Zeitschiene in Planungsprojekten; Projektüberlagerungen (auftraggeberspezifisch und -übergreifend)
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Analog Auftraggeber (insb. Process Designer); firmeneigenes Bestellsystem
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Zeitdruck in Projekten verringern; Zentrale Koordination der Bedarfe; Technische Standards (bei Einschränkung auf einen Lieferanten) können hinderlich sein, offenere Standards vorgeschlagen

Tabelle 8-4: Interviewnotizen Interview 4

8.2.5 Interview 5

	Projektleiter Anlagenbau
	Anlagenbau
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Planung ist sehr eng an den Planungsprozess des Auftraggebers gekoppelt; die Bedarfsplanung startet somit erst ab Einbindung in ein Projekt
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Auslöser ist Beauftragung für neues Anlagenbauprojekt (Integration oder Neubau), grobes Mengengerüst steht zu diesem Zeitpunkt i.d.R. bereits fest; die weitere Pflege des Mengengerüsts ist vertraglich vereinbart
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	Mengengerüst wird parallel zum sukzessiven Planungsfortschritt manuell mitgepflegt; hoher manueller Aufwand aber gute Erfahrungen damit, da zuverlässig
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad hätte Einfluss, wird aber nicht variiert; Automatisierungsgrad hätte Einfluss, wird aber nicht variiert; Standort marginal, z.B. bei Arbeitssicherheit; Anlagenflexibilität hat Einfluss; technische Standards/Veränderungen haben Einfluss
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Prozess ist eng an Auftraggeber gekoppelt und damit sehr genau definiert, allerdings erst in der späten Planungsphase
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Großkaufteilübersicht wird als wichtiger Anhaltspunkt herangezogen, Komponenten mit langen Lieferzeiten werden priorisiert und die Bedarfe frühzeitig an die Lieferanten gemeldet
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, deshalb wurde die Zusammenarbeit mit den Lieferanten intensiviert (Lieferantentag)
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Technischer Produktreifegrad bei Lieferkomponente lag teilweise hinter Plan; Projektüberlagerungen; mangelnde Prämissenstabilität
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Analog Auftraggeber (insb. Process Designer)
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Offenere Standards, genauere Bedarfsplanung beim Auftraggeber; Stabilität der Prämissen verbessern; bessere IT-Unterstützung (automatisierte Ausleitung v. Mengengerüsten)

Tabelle 8-5: Interviewnotizen Interview 5

8.2.6 Interview 6

	Leiter Automatisierungstechnik Standards
	Automobilindustrie
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Langfristig erfolgt die Planung nur grob auf Basis von Erfahrungswerten (da nicht für Verhandlungen o.ä. notwendig); erst 24-30 MvS dedizierte Planung
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Auslöser: Neue Produkte auf anzupassenden bestehenden oder neuen Anlagen; altersbedingte Erneuerung der Anlagen wird in Bedarfsplanung nur teilweise berücksichtigt, Großteil geht als „Grundrauschen“ in Instandhaltungsumfängen unter
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	In der frühen Phase verlässt man sich auf grobe Expertenschätzungen ohne konkrete Methodik; im späteren Projektverlauf zunächst Vorkonfiguration auf Basis vorgefertigter Module mit anschließender Ausleitung von Mengengerüsten
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad variiert nicht, hätte aber Einfluss; Automatisierungsgrad spiegelt sich in Ausbringungsmenge wieder; Standortbesonderheiten haben kaum Einfluss; Produktdiversität kann starken Einfluss haben; zusätzlich technische Veränderungen (z.B. neue Visualisierungssysteme)
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Frühe QBBP ist nicht genauer definiert; spätere Planung konkreter mit genau definiertem Prozess
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Lieferanten erhalten i.d.R. keine frühzeitigen Zahlen aus der Planung sondern erst im Vorfeld zu Einkaufsverhandlungen; Meldung erfolgt erst wenn Anlagenplanung fortgeschritten und Mengengerüste vorhanden
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Nur bei einzelnen Komponenten, allerdings nicht als größere Problematik wahrgenommen
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Multisourcing von Vorteil um Lieferengpässe zu vermeiden - aufgrund der geringen Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten konnten Versorgungsschwierigkeiten meist vermieden werden
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Process Designer, Excel
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Keine

Tabelle 8-6: Interviewnotizen Interview 6

8.2.7 Interview 7

	Key Account Manager Automotive
	Anlagenbau
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Planung ist sehr eng an den Planungsprozess des Auftraggebers gekoppelt; die Bedarfsplanung startet somit erst ab Einbindung in ein Projekt
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Auslöser ist Beauftragung für neues Anlagenbauprojekt (Integration oder Neubau), grobes Mengengerüst steht zu diesem Zeitpunkt i.d.R. bereits fest; die weitere Pflege des Mengengerüsts ist vertraglich vereinbart
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	Projekte aus der Vergangenheit werden teilweise zur Orientierung herangezogen; die Ausleitung von Bedarfen erfolgt aus dem Process Designer, Kleinteile werden in dem resultierenden Mengengerüst allerdings nicht explizit ausgewiesen
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad wird nicht variiert, hätte aber Einfluss; Automatisierungsgrad hat Einfluss, wird aber auch kaum variiert; Standort fließt in Form der Fläche ein; Anlagenflexibilität hat starken Einfluss
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Prozess ist eng an Auftraggeber gekoppelt und damit sehr genau definiert, allerdings erst in der späten Planungsphase
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	„So früh wie möglich“; bei Großkaufteilen funktioniert dies bereits, bei Kleinteilen ist es noch nicht durchgängig umgesetzt aber angedacht
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, Lieferengpässe (2009/2010) haben in der Vergangenheit zu erheblichem Aufwand geführt
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Projektüberlagerungen ohne zentrale Koordination v. Bestellungen; Abweichungen v. Start-Mengengerüsten wg. Prämissenänderungen
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Analog Auftraggeber (insb. Process Designer)
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Prämissenstabilität; IT-Unterstützung für Ausleitung aus Layouts bzw. bessere Schnittstellen zwischen IT-Systemen

Tabelle 8-7: Interviewnotizen Interview 7

8.2.8 Interview 8

	Automatisierungstechnik Karosseriebau, Standards
	Automobilindustrie
IF1: Wann setzen Sie mit der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung ein?	Langfristige (sehr grobe) Planung bis zu 5 JvS, konkreter aber erst ab Investplanung ca. 40 MvS
IF2: Was ist der Auslöser für die QBBP? Neues Produkt? Altersbedingte Erneuerung der Produktionsanlagen? Regelmäßig ablaufender Prozess? Sonstige?	Ausschließlich Neubau, die Instandhaltung kümmert sich um Erneuerung selbst (andere Organisationseinheit), Abteilung des Interviewpartners nur involviert wenn neuer Standard umgesetzt wird; Einkauf stellt regelmäßig 5-Jahres-Vorschau für Bedarfe zusammen
IF3: Wie geht man methodisch konkret vor?	In der frühen Phase werden Infos aus Projekten zusammengetragen (Schätzwerte); danach wird die Planung konkreter auf Basis Process Designer (Vorkonfiguration) mit konkreten Mengengerüsten aus Projekten; Bedarfsplanung erfolgt zusammen mit Investitionsplanung
IF4: Welche der folgenden Punkte beeinflussen für Ihre Produktionslinien den Bedarf an Betriebsmitteln? Bearbeitungsprofil der Produkte? Ausbringungsmenge? Zeitnutzungsgrad/ Anlagenverfügbarkeit? Automatisierungsgrad? Standortbesonderheiten? Produktdiversität/ Anlagenflexibilität? Sonstige?	Bearbeitungsprofil und Ausbringungsmenge klar bestätigt; Zeitnutzungsgrad projektübergreifend konstant, Einfluss ansonsten schwer abzuschätzen; Automatisierungsgrad hat geringen Einfluss, wird auch kaum variiert; Standort ebenfalls nur kleinen Einfluss; Anlagenflexibilität kann Bedarf „durchaus um 20% steigern“
IF5: In welchem Umfang und welcher Detailtiefe ist dieser Planungsprozess definiert?	Frühe QBBP ist nicht definiert - projektspezifische Bedarfe müssen einzeln von Experten geschätzt werden; die spätere Planung ist genauer definiert
IF6: An welcher Stelle im Prozess melden Sie Ihren Lieferanten die voraussichtlichen Bedarfe weiter?	Verhandlungen erfolgen stets projektspezifisch, Lieferanten erhalten Bedarfe erst vor Verhandlungen; später genaue Mengengerüste; Unternehmen verfolgt Multisourcing-Ansatz
IF7: Gab es in der Vergangenheit Lieferengpässe bei den Betriebsmitteln?	Ja, insb. 2009/2010 bei verschiedenen Komponenten bzw. (Sub-) Lieferanten
IF8: Worin sehen Sie die Ursachen, dass es in der Vergangenheit (keine) Lieferengpässe gab?	Marktnappheit (Stichwort „Fukushima“); teilweise keine Vorschauplanung, da aufwändig (Mengengerüste müssen von SE-Partnern zusammengetragen werden)
IF9: Welche IT-Werkzeuge nutzen Sie zur Unterstützung der Bedarfsplanung?	Process Designer, Stücklisten, kein spezielles Tool
IF10: Sehen Sie Verbesserungspotentiale für die Bedarfsplanung? Organisatorisch? Methodisch? IT-technisch?	Unterstützung für frühe Phase; standardisierte Prozesse; Planungsansatz/-tool muss praxistauglich sein und Arbeitserleichterung darstellen

Tabelle 8-8: Interviewnotizen Interview 8

8.3 Expertenworkshops zur Beurteilung der QBBP-Methodik

Die Beurteilung der QBBP-Methodik sowie der resultierenden Ergebnisse im Rahmen ihrer Anwendung in Kapitel 6 erfolgte für die Szenarien durch je einen Expertenworkshop. Zu diesem Zweck kamen jeweils vier bis sechs erfahrene Planungsträger sowie derjenige Planungsträger zusammen, der zuvor die Anwendung der QBBP-Methodik übernommen hatte.

Für beide Workshops war eine Dauer von zwei Stunden veranschlagt und es wurde jeweils auf dieselbe Agenda zurückgegriffen:

1. Begrüßung und Einleitung
(Moderator, 5 Minuten)
2. Vorstellung der QBBP und des jeweiligen Anwendungsszenarios
(Moderator, 25 Minuten)
3. Bericht zur Methodenanwendung und Vorstellung des Ergebnisses
(ausführender Planungsträger, 30 Minuten)
4. Diskussion von Ergebnis und Methodik
(Plenum, 60 Minuten)

Die im Folgenden dargestellten Protokollnotizen beschränken sich auf die wesentlichen Aussagen im Rahmen der Agendapunkte 3 und 4.

Szenario 1

In dem Workshop anwesend waren der ausführende Planungsträger (APT), vier weitere erfahrene Planungsträger sowie ein Moderator. Der Zeitplan konnte eingehalten werden.

Der APT berichtete, dass die Einarbeitungszeit und Durchführung insgesamt ca. drei Stunden in Anspruch nahm, verteilt auf mehrere Arbeitstage. Die Rahmenbedingungen wurden durch den APT nach gründlicher Überlegung und Rücksprache als erfüllt angesehen. Die Berechnungskennzahlen wurden zur Verfügung gestellt. Der APT merkte an, dass er die Erstellung der Berechnungskennzahlen ansonsten für sehr aufwändig halte. Das Zusammentragen der Eingangsgrößen fiel dem APT nach eigener Aussage nicht schwer. Auf Grund seiner Erfahrung konnte er den verschiedenen potentiellen Ausbringungsmengen direkt entsprechende Taktzeiten zuordnen. Das Unsicherheitsmaß dieser Werte wurde wegen des hohen Einflusses und der Wahrscheinlichkeit einer Veränderung im Projektverlauf als sehr hoch eingestuft. Bereits die Stückzahlschwankung in dem Bewertungsauftrag unterstreicht dies. Die Ermittlung der NFI-Werte für die *produktspezifischen Bearbeitungsprofile* erfolgte in telefonischer Ab-

sprache mit einem erfahrenen Entwickler unter Zuhilfenahme von Vergleichswerten aus Vorgängerprojekten. Trotz des großen Einflusses auf das Gesamtergebnis wurde das Unsicherheitsmaß als mittelmäßig eingeschätzt, da die Wahrscheinlichkeit einer deutlichen Veränderung der Werte im Projektverlauf durch den Entwickler als sehr gering eingeschätzt wurde. Die *Veränderungen des Projektionssystems* wurden durch den APT anhand der in Kapitel 5.3.3 dargestellten Referenztabelle spezifiziert. Das Unsicherheitsmaß wurde insbesondere auf Grund des geringen Einflusses für gering befunden. Die *Weinternutzung bestehender Anlagen* schloss der APT aus, da es sich bei beiden potentiellen Alternativen um einen Neubau handelt. *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug* waren zum Zeitpunkt der Planung ebenfalls nicht bekannt. Ein digitales Werkzeug wurde nicht zur Verfügung gestellt, daher wurde ein Tabellenkalkulationsprogramm zur Dokumentation und Berechnung verwendet. Der APT kritisierte im Rahmen des Workshops, dass in diesem Schritt zunächst die Berechnungsformel gemäß Kapitel 4.5.1 in eine entsprechende Form überführt werden musste. Die anschließende Ermittlung der unterschiedlichen Betriebsmittelbedarfe konnte daraufhin ohne Umschweife erfolgen. Die errechneten Bedarfe an Industrierobotern von 1.078 für Alternative A sowie 1.092 für Alternative B wurden vorgestellt und ein positives Schlussfazit durch den APT gezogen. Eine Bewertung der Vorteilhaftigkeit der beiden Alternativen in Bezug auf den Betriebsmittelbedarf konnte nach Meinung des APT auf Basis der QBBP-Zahlen fundiert erfolgen.

Daraufhin wurden die übrigen anwesenden Planungsträger gebeten, eine Bewertung der Ergebnisse vorzunehmen. Unter den Workshopteilnehmern gab es daraufhin zunächst deutlich unterschiedliche Aussagen. Während ein Teilnehmer direkt zustimmte, kritisierte ein anderer das Ergebnis als praxisfern, da Alternative A nach seiner Auffassung mit einem wesentlich geringeren Betriebsmittelbedarf als Alternative B einhergehen würde. In der darauffolgenden Diskussion wurden von den Teilnehmern zahlreiche abgeschlossene Planungsprojekte als Vergleich angeführt und diese bis in technische Einzelheiten miteinander verglichen. So wurde unter anderem betont, dass eine hohe Produktdiversität eine starke Flexibilisierung der Fertigungsanlagen bedingt und zu erheblichen Mehrbedarfen führt. So kam man zu der Einigung, dass die Unterschiedlichkeit zwischen den beiden Produktlinien als Hauptursache für den geringen Unterschied der Bedarfswerte beider Alternativen ausgemacht werden kann, trotz der verschiedenen Gesamtausbringungsmengen. Des Weiteren wurde die mangelnde Genauigkeit der angewendeten QBBP-Methodik kritisiert, da Fabrikplanungsprojekte nach Meinung zweier Teilnehmer stets sehr individuell sind und nicht pauschal über Kennzahlen abgebildet werden können. Diskutiert wurde daraufhin intensiv das Thema der Phasenadäquatheit in Hinblick auf die Planungsgenauigkeit. Der Teilnehmerkreis einigte sich daraufhin, dass in einer sehr frühen Planungsphase die Prämissenlage noch zu unsicher ist, um den Aufwand für ein detaillierteres Vorgehen zu rechtfertigen. Das vorgestellte Ergebnis wurde letztlich als valide angenommen.

Schließlich sollte neben dem Ergebnis die eigentliche QBBP-Methodik durch die Teilnehmer beurteilt werden. Zwei der Teilnehmer hoben die Systematisierung und methodische Standardisierung der QBBP positiv hervor, ebenso wie die gesteigerte Transparenz und Reproduzierbarkeit der Planungsergebnisse. Die Handhabung von Unsicherheitsfaktoren wurde grundsätzlich gelobt, sie stelle für einen erfahrenen Planungsträger allerdings keinen großen Nutzen dar, so die Mehrheit der Teilnehmer. Als Grund wurde insbesondere Erfahrungswissen angeführt, auf dessen Grundlage die Beurteilung der wesentlichen Unsicherheitsfaktoren nach Meinung dreier Teilnehmer implizit erfolgen kann. Für weniger erfahrene Mit-

arbeiter hingegen und zugunsten der Transparenz kann die systematische Bewertung der zu berücksichtigenden Unsicherheiten einen Mehrwert darstellen, so einige der Workshopteilnehmer. Kritisch gesehen wurden insbesondere vom APT die Komplexität und Theorielastigkeit der erläuternden Ausführungen sowie der hohe Aufwand im Falle nicht gegebener Berechnungskonstanten. Darüber hinaus wurde die mangelnde technische Standardisierung negativ angemerkt sowie die fehlende Automatisierung einfacher Tätigkeitsschritte. Zusammenfassend wurde insbesondere die klare Struktur für die hier vorgestellte frühe Planung als positiv hervorgehoben, die Frage nach der Durchgängigkeit der Planungsmethodik blieb unbeantwortet, da sie in diesem Szenario nicht thematisiert wurde. Das Abschlussfazit zu der vorgestellten QBBP-Methodik war positiv.

Szenario 2

Der APT in Szenario 2 war identisch zu Szenario 1. Zu dem Workshop kamen sechs weitere erfahrene Planungsträger, von denen drei bereits im Workshop zu Szenario 1 anwesend waren. Unterstützt wurde die Durchführung des Workshops erneut durch einen Moderator. Der Zeitplan konnte angesichts intensiver Diskussionen zu einigen Punkten nicht eingehalten werden und wurde um knapp 45 Minuten überschritten.

Der APT berichtete, dass die exemplarische Anwendung der QBBP im Rahmen von Szenario 2 insgesamt ca. fünf Stunden in Anspruch nahm, verteilt auf mehrere Arbeitstage. Dabei wirkte sich die bereits im Rahmen von Szenario 1 erfolgte Einarbeitung in die Theorie der QBBP positiv aus. Die Rahmenbedingungen wurden auf Grund der thematischen Analogie zu Szenario 1 als erfüllt angesehen. Die Berechnungskennzahlen wurden zur Verfügung gestellt.

Der APT begann seinen Bericht bei der Erstellung einer strukturierten Übersicht über die zu betrachtende Multiprojektlandschaft. Zu diesem Zweck wurde eine Tabellenkalkulationssoftware verwendet. Die nötigen Daten lagen dem APT bereits vor und mussten im vorliegenden Fall daher lediglich zweckgerecht strukturiert bzw. formatiert werden. Daraufhin wurden sukzessiv für die einzelnen Fertigungslinien bzw. Derivate die Eingangsdaten für die QBBP zusammengetragen und die vorliegende Tabelle entsprechend angepasst und ergänzt. Hierfür war die Konsultation zahlreicher Prozesspartner notwendig. Dieses Zusammentragen der nötigen Eingangsdaten wurde vom APT als aufwändig aber notwendig eingeschätzt. Angesichts der knappen Rückmeldungen zu *Zusatzumfängen ohne direkten Produktbezug* und des als sehr gering eingeschätzten Einflusses dieser Einflussgröße schlug der APT vor, diesen Bedarfstreiber künftig außer Acht zu lassen. Im Folgenden wurde erläutert, wie die Daten strukturiert wurden und aus welchen Quellen die Werte im Einzelnen kamen (vgl. Tabelle 6-2, Tabelle 6-3 und Tabelle 6-4). Das Resultat war schließlich eine kompakte Übersicht der zu berücksichtigenden Fabrikplanungsprojekte mit allen notwendigen Eingangsdaten für die QBBP. Auf dieser Grundlage konnte die Anwendung der phasenadäquaten Berechnungsmethodik erfolgen. Zu diesem Zweck wurde dem APT ein prototypisches digitales Werkzeug zur Verfügung gestellt, das ebenfalls kurz vorgestellt wurde. Zum einen waren auf diese Weise alle benötigten Berechnungsformeln hinterlegt und zum anderen die Schnittstellen zu den Bestellsystemen und Stücklisten beispielhaft realisiert. Diese digitale Unterstützung wurde im Rahmen der Vorstellung insbesondere im Vergleich zu Szenario 1 als positiv hervorgehoben. Die betrachteten Projekte befanden sich in unterschiedlichen Planungsphasen. Dies erforderte unter anderem

den Rückgriff auf bereits vorliegende Bestelldaten bzw. die Fertigungslayouts und die zugehörigen Stücklisten. Der APT empfand dies als zielführend, erwähnte allerdings, dass das Zusammentragen der vollständigen Bedarfstreiber für die einzelnen betroffenen Projekte damit kaum einen Mehrwert mit sich gebracht hätte. Darüber hinaus wurden jene Fabrikplanungsprojekte, die sich in der Grob- oder Vorplanung befanden, mit Hilfe der digitalisierten Berechnungsmethodik in die Planung einbezogen. Abschließend stellte der APT das Ergebnis vor.

Daraufhin wurden die übrigen anwesenden Planungsträger gebeten eine Bewertung der Ergebnisse vorzunehmen. Die Workshopteilnehmer waren sich zunächst nicht einig. Insbesondere jene Teilnehmer, die im Workshop zu Szenario 1 nicht anwesend waren, brachten ihre Vorbehalte gegenüber dem Vorgehen und demnach auch den Ergebnissen zum Ausdruck. So wurde zunächst über den Einfluss der, nach Meinung eines Teilnehmers zu unpräzisen, Eingangsgrößen im Detail diskutiert. An dieser Stelle traten zwei der Planungsträger, die bereits am Workshop zu Szenario 1 teilgenommen hatten, vermittelnd auf und brachten ihre Erfahrungen ein. Einer der beiden neu hinzugekommenen Workshopteilnehmer blieb dennoch bei seinem Standpunkt, dass der Ansatz selbst für eine sehr frühe Planung zu pauschal und ungenau sei. Die Argumente der anderen Teilnehmer, dass ein deterministischer Ansatz insbesondere in der Vorplanung zu aufwändig und wegen der meist volatilen Prämissenlage nicht zielführend sei, konnten an dieser Stelle ebenfalls nicht überzeugen. Die übrigen Teilnehmer nahmen das Ergebnis nach ausgiebigen Detail-Diskussionen an. Weiterhin wurde über die *Zusatzumfänge ohne direkten Produktbezug* diskutiert, die der Großteil der Teilnehmer als zusätzlichen Bedarfstreiber zunächst als verzichtbar einstufte. Der durch den Moderator eingeworfenen Tatsache, dass der Bedarfstreiber in Einzelfällen den Fokus der QBBP erweitern und damit Fehlplanungen vermeiden könne, widersprach daraufhin dennoch keiner der Teilnehmer grundsätzlich. Um die verbliebenen Vorbehalte zu überprüfen, wurden die hinterfragten Planungsprojekte schließlich unter den interessierten Teilnehmern aufgeteilt, um den Ergebnissen der QBBP im Nachgang des Workshops Werten erfahrener Planungsträger gegenüberstellen zu können.

Schließlich sollte neben dem Ergebnis die eigentliche QBBP-Methodik durch die Teilnehmer beurteilt werden. Die Bewertung der Planungsergebnisse auf Validität wurde zunächst zurückgestellt, um die nachgelagerte Überprüfung abzuwarten. In Hinsicht auf die Agilität und Skalierbarkeit der Methodik wurde das prototypische digitale Werkzeug als hilfreich bewertet, da veränderte Planungsprämissen schnell eingearbeitet werden und die Planungsumfänge ebenfalls problemlos skaliert werden können. Nach Auffassung der Teilnehmer zeigte sich dies sehr deutlich am Beispiel der vielfältigen Multiprojektlandschaft, die im Rahmen von Szenario 2 betrachtet wurde. Das Thema Flexibilität der QBBP-Methodik wurde von den Workshopteilnehmern zunächst intensiv diskutiert. Die Anpassbarkeit der Berechnungskennzahl und der einzelnen Bedarfstreiber anhand des Informationsrückflusses wurde als positiv, jedoch aufwändig bewertet. Einige der anwesenden Planungsträger würden es ihrer Aussage nach bevorzugen, die Werte selbst und nach eigener Einschätzung anpassen zu können. Die folgende Diskussion über Transparenz, Durchgängigkeit und ein unternehmensweit einheitliches Vorgehen war ausgiebig und führte zu der gemeinsamen Erkenntnis, dass im Zweifel das Management zwischen einem etwas schnelleren und einem unternehmensweit einheitlichen Vorgehen entscheiden muss. Grundsätzlich wurde die QBBP-Methodik durch die Teilnehmer schließlich als flexibel akzeptiert, einige Vorbehalte hinsichtlich des Aufwands für den Informationsrückfluss blieben jedoch bestehen. Ein Teilnehmer schlug daher vor, das Thema weiter zu untersuchen. Die frühzeitige Bedarfsplanung wurde insbesondere

mit der digitalen Unterstützung der Berechnungsschritte von den Workshopteilnehmern als deutlichste Verbesserung hervorgehoben. Auch die phasenübergreifend durchgängige Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes wurde insbesondere durch den APT gelobt. Alles in allem wurde die QBBP-Methodik als Unterstützung bestätigt und der einheitliche sowie durchgängige Ansatz positiv hervorgehoben. Der weiterführenden Frage des Moderators nach der Übertragbarkeit des vorgestellten Vorgehens auf weitere Betriebsmittel wurde von der Mehrheit der Teilnehmer positiv beantwortet, allerdings mit der Einschränkung, dass dies für einige Betriebsmittel noch zu untersuchen wäre.

Die dem Workshop nachgelagerte Überprüfung der Zahlen durch einzelne Planungsträger ergab darüber hinaus keinen Widerspruch zu den Werten der QBBP. Die heuristisch generierten Planzahlen zu einigen Projekten schwankten in einer Bandbreite von sieben Prozent über und vier Prozent unter denjenigen Werten, die zuvor mit Hilfe der QBBP ermittelt wurden. Die einzige Ausnahme, die über diese Schwankungsbreite hinausging, hatte veränderte Planungsprämissen als Ursache und konnte dementsprechend geklärt werden. Die erfahrenen Planungsträger bestätigten die Ergebnisse der QBBP somit als valide.

8.4 Datengrundlage für die QBBP

Standort	Produkt	Baugruppe	Taktzeit [s]	BM-Typ Roboter [Stk.]	taktspez. Best.kap. ⁸⁶ [s]	NFI ⁸⁷	Derivate auf Li- nie ⁸⁸
Werk B	P13	B-2-1	96	112	10752	1431	3
Werk A	P12	B-2-1	118	56	6608	1250,24	1
Werk E	P05	B-2-1	53	181	9593	2152,23	5
Werk F	P13	B-2-1	190	35	6650	1431	1
Werk E	P10	B-2-1	53	181	9593	2152,23	5
Werk E	P09	B-2-1	53	181	9593	2152,23	5
Werk C	P13	B-2-1	65	146	9490	1431	1
Werk D	P13	B-2-1	190	42	7980	1431	2
Werk G	P13	B-2-1	65	141	9165	1431	3
Werk E	P06	B-2-1	126	69	8694	1820,8	3
Werk H	P14	B-2-1	64	155	9920	986	3
Werk E	P08	B-2-2	53	81	4293	830,3	5
Werk F	P13	B-2-2	190	12	2280	484	1
Werk A	P12	B-2-2	118	27	3186	614,12	1
Werk B	P13	B-2-2	96	34	3264	484	3
Werk D	P13	B-2-2	190	13	2470	484	2
Werk H	P14	B-2-2	64	75	4800	562	3
Werk G	P13	B-2-2	65	53	3445	484	3
Werk C	P13	B-2-2	65	53	3445	484	1
Werk E	P07	B-2-2	53	81	4293	830,3	5
Werk E	P06	B-2-2	126	35	4410	1012,2	3
Werk E	P06	B-2-3	138	118	16284	1955,9	2
Werk F	P13	B-2-3	190	41	7790	1605,8	1
Werk C	P13	B-2-3	65	198	12870	1605,8	1
Werk D	P13	B-2-3	190	46	8740	1605,8	2
Werk E	P09	B-2-3	343	44	15092	1917,81	3
Werk E	P07	B-2-3	73	154	11242	1674,9	1
Werk G	P13	B-2-3	65	162	10530	1605,8	3
Werk E	P04	B-2-3	151	74	11174	1843,98	2
Werk H	P14	B-2-3	64	179	11456	1245	3
Werk B	P13	B-2-3	96	143	13728	1605,8	3
Werk A	P12	B-2-3	118	87	10266	1817,58	1
Werk E	P03	B-2-3	151	74	11174	1843,98	2
Werk G	P11	B-2-4	65	83	5395	871	3
Werk H	P14	B-2-4	64	106	6784	914	3
Werk D	P13	B-2-4	96	57	5472	848	2

⁸⁶ Taktspezifische Bestandskapazität, vgl. insb. Kapitel 4.3.1

⁸⁷ Normierte Fertigungsinhalte, vgl. Kapitel 5.2.2

⁸⁸ Anzahl der Derivate (Produktvarianten), die auf der betrachteten Fertigungslinie produziert werden; ein Maß für die erforderliche Flexibilität der Fertigungsanlagen

Standort	Produkt	Baugruppe	Taktzeit [s]	BM-Typ Roboter [Stk.]	taktspez. Best.kap. [s]	NFI	Derivate auf Linie
Werk B	P11	B-2-4	58	79	4582	871	3
Werk D	P02	B-2-4	96	78	7488	1743,42	1
Werk C	P13	B-2-4	65	72	4680	848	1
Werk F	P13	B-2-4	190	28	5320	848	1
Werk E	P06	B-2-4	126	46	5796	1171,6	3
Werk A	P12	B-2-4	118	29	3422	595,92	1
Werk E	P05	B-2-4	343	24	8232	980,804	3
Werk E	P07	B-2-4	60	82	4920	1164,2	2
Werk E	P08	B-2-4	60	82	4920	1164,2	2
Werk C	P13	B-1-1	65	94	6110	566,764	1
Werk A	P12	B-1-1	118	63	7434	922,28	1
Werk E	P10	B-1-1	588	9	5292	913,264	1
Werk E	P09	B-1-1	588	8	4704	629,276	1
Werk E	P05	B-1-1	686	11	7546	941,752	1
Werk B	P11	B-1-1	96	53	5088	472	2
Werk F	P13	B-1-1	190	19	3610	566,764	1
Werk E	P06	B-1-1	126	75	9450	1390,9	3
Werk D	P02	B-1-1	190	47	8930	1104,84	3
Werk E	P08	B-1-1	60	145	8700	994,3	2
Werk G	P13	B-1-1	65	90	5850	566,764	3
Werk B	P01	B-1-1	240	12	2880	515	1
Werk B	P02	B-1-1	118	58	6844	1104,84	1
Werk H	P14	B-1-3	64	172	11008	1645	3
Werk B	P11	B-1-3	58	159	9222	1370,2	2
Werk E	P08	B-1-3	60	123	7380	1529,3	2
Werk C	P13	B-1-3	65	159	10335	1548,602	1
Werk F	P13	B-1-3	190	51	9690	1548,602	1
Werk G	P13	B-1-3	65	178	11570	1548,602	3
Werk A	P12	B-1-3	118	104	12272	2234,99	1
Werk E	P10	B-1-3	479	22	10538	1378,18	2
Werk E	P06	B-1-3	126	59	7434	1620,8	3
Werk E	P05	B-1-3	686	16	10976	1575,92	1
Werk B	P01	B-1-3	408	16	6528	1050	1
Werk D	P13	B-1-3	190	70	13300	1548,602	3
Werk B	P02	B-1-3	73	79	5767	1132,15	2
Werk C	P13	B-1-2	85	5	425	138,17	1
Werk B	P11	B-1-2	268	5	1340	136,3	1
Werk G	P13	B-1-2	89	1	89	138,17	3
Werk H	P14	B-3-1	64	124	7936	1458	2
Werk D	P02	B-3-1	190	36	6840	885,36	3
Werk E	P08	B-3-1	56	124	6944	1600	2
Werk B	P02	B-3-1	112	35	3920	885,36	1

Standort	Produkt	Baugruppe	Taktzeit [s]	BM-Typ Roboter [Stk.]	taktspez. Best.kap. [s]	NFI	Derivate auf Linie
Werk H	P16	B-3-1	64	62	3968	663	1
Werk E	P04	B-3-1	162	52	8424	1848,6	2
Werk E	P06	B-3-1	280	22	6160	1410,2	1
Werk G	P13	B-3-1	65	89	5785	791,04	2
Werk E	P03	B-3-2	170	17	2890	548,6	2
Werk E	P06	B-3-2	280	10	2800	762,7	1
Werk G	P13	B-3-2	46	38	1748	613,51	1
Werk H	P16	B-3-2	64	69	4416	513	1
Werk B	P02	B-3-2	112	26	2912	783,77	1
Werk D	P02	B-3-2	190	16	3040	783,77	3
Werk H	P14	B-3-2	64	55	3520	926	2
Werk E	P07	B-3-2	53	35	1855	563,6	2
Werk G	P11	B-3-2	86	32	2752	539,3	2
Werk E	P08	B-3-2	53	35	1855	563,6	2
Werk C	P13	B-3-3	54	4	216	70	1
Werk E	P08	B-3-3	53	10	530	36,5	2
Werk G	P13	B-3-3	65	14	910	70	3
Werk E	P06	B-3-3	280	1	280	40,8	1
Werk E	P07	B-3-3	53	10	530	36,5	2
Werk H	P16	B-3-3	64	4	256	12	3
Werk H	P15	B-3-3	64	4	256	12	3
Werk E	P03	B-3-3	170	3	510	40,8	2

Tabelle 8-9: Zu Analysezwecken herangezogene Datengrundlage zur Bedarfsplanung für Roboter im automobilen Karosseriebau des Fallstudienunternehmens

9 LITERATUR

- AGGTELEKY, B. (1971): *Fabrikplanung: Optimale Projektierung, Planung und Ausführung von Industrieanlagen*. 2. Auflage. München: Hanser.
- AHUJA, I. (2012): Exploring the impact of effectiveness of total productive maintenance strategies in manufacturing enterprise. *International Journal of Productivity and Quality Management* 9(4), 486.
- ANDERL, R., MOSCH, C. & REZAEI, M. (2011): Untersuchung der Notwendigkeit eines Fabrikdatenmanagements in der industriellen Praxis. *Industrie Management* 27(1), 43–46.
- APICS (1991): *Material and capacity requirements planning reprints: Certified in production and inventory management*. Falls Church, VA: APICS.
- AZEVEDO, A. & ALMEIDA, A. (2011): Factory Templates for Digital Factories Framework. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27(4), 755–771.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (2006): *Multivariate Analysemethoden: eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer.
- BAUMGÄRTEL, H. (1999): *Verteiltes Lösen von Constraint-Problemen in Multiagenten-Systemen zur optimierten Planung in einer Fließfertigung. Dissertation*. Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft AKA.
- BEHRENS, A. & HANISCH, M. (2008): Detailed Planning of Plant Configurations Increases Investment Security. *Metallurgical Plant and Technology International* 31(1), 56–59.
- BERGHOLZ, M. (2006): *Objektorientierte Fabrikplanung*. Aachen: Shaker. (31).
- BIRKERT, A., HAAGE, S. & STRAUB, M. (2013): Verfahrenstechnische Grundlagen der Karosserieteilherstellung. In: BIRKERT, A., HAAGE, S. & STRAUB, M. (Hg.): *Umformtechnische Herstellung komplexer Karosserieteile*. Berlin, Heidelberg: Springer, 195–316.
- BLEY, H. & BOSSMANN, M. (2005): Skelettmodelle in der Produktentwicklung und Produktionsplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 100(9), 477–480.

- BLEY, H. & FRANKE, C. (2004): Integration of Product Design and Assembly Planning in the Digital Factory. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 53(1), 25–30.
- BLOHM, H. & BEER, T. (1988): *Produktionswirtschaft*. 2. Auflage. Herne [u.a.]: Verl. Neue Wirtschafts-Briefe.
- BÖCK, J. (2013): *Methode zur Integration nicht-konventioneller Verfahren in flexible Fertigungs- und Montagelinien*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- BOSSMANN, M. (2007): *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, Produktionstechnik.
- BRACHT, U. & KAPPLER, J. (2011): Bedarfsplanung in der Automobilindustrie: Ein Verfahren zur Absatz- und Teilebedarfsplanung bei volatilen Marktverhältnissen. *Werkstattstechnik* 101(3), 115–121.
- BRACHT, U., KÖNIG, A. & SPIES, J. (2012): Integration des Fabrik-DMU in die Planungsprozesse der Fabrikstrukturplanung: Elemente für das Erstellen von gewerke-übergreifenden virtuellen Gesamtfabrikmodellen. *Werkstattstechnik* 102(3), 103–108.
- BRACHT, U., SCHLANGE, C., ECKERT, C. & MASURAT, T. (2005): Datenmanagement für die digitale Fabrik. *Fachzeitschrift Werkstattstechnik* 95, 197–204.
- BRACHT, U. & SPILLNER, A. (2009): Die Digitale Fabrik ist Realität: Ergebnisse einer Umfrage zum Umsetzungsstand und zu weiteren Entwicklungen der Digitalen Fabrikplanung bei deutschen OEM. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104(7-8), 648–653.
- BRACHT, U., WENZEL, S. & GECKLER, D. (2009): *Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele*. 1. Auflage. Berlin: Springer.
- BRAESS, H.-H. & SEIFFERT, U. (2000): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- BRAMALL, D., MCKAY, K., ROGERS B. C., CHAPMAN, P., CHEUNG, W. & MAROPOLOUS P. G. (2003): Manufacturability Analysis of Early Product Designs. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 16(7-8).
- BURDORF, A. (2005): *Extended Equipment-Modelling für die rechnergestützte Aufstellungsplanung von Chemieanlagen*. Dissertation. Universität Dortmund.
- BURGGRÄF, P. (2012): *Wertorientierte Fabrikplanung*. Aachen: Apprimus-Verlag.

- CALISIR, F. & CALISIR, F. (2004): The relation of interface usability characteristics, perceived usefulness, and perceived ease of use to end-user satisfaction with enterprise resource planning (ERP) systems. *Computers in Human Behavior* 20(4), 505–515.
- CASE, J. & LIGHT, G. (2011): Emerging Research Methodologies in Engineering Education Research. *Journal of Engineering Education* 100(1), 186–210.
- CHEUNG, W., BRAMALL, D., MAROPOULOS, P., GAO, J. & AZIZ, H. (2006): Organizational knowledge encapsulation and re-use in collaborative product development. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 19(7), 736–750.
- CHIANG, C. (2003): *Statistical methods of analysis*. River Edge, N.J.: World Scientific.
- CLAUß, M. & MÜLLER, E. (2011): Towards a Recommendation System for the Use of Web-based Collaborative Tools in Factory Planning. In: SPATH, D., ILG, R. & KRAUSE, T. (Hg.): *Proceedings of the 21st International Conference on Production Research (ICPR)*.
- CONSTANTINESCU, C., WESTKÄMPER & ENGELBERT (2010): A Reference Model for Factory Engineering and Design. In: HUANG, G., MAK, K. & MAROPOULOS P. G. (Hg.): *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1551–1564.
- DAGDEVIREN, M. (2008): Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing* 19, 397–406.
- DENKENA, B., EIKÖTTER, M., NYHUIS, P., WULF, S. & KLEMKE, T. (2010): Softwareunterstützung zur Erstellung integrativer Roadmaps: Synchronisation von Fabrik-, Technologie- und Produktplanung. *Werkstattstechnik* 100(4), 226–233.
- DEUSE, J., EROHIN, O., SCHALLOW, J. & SCHÄFER, P. (2011): Intelligente Nutzung von implizitem Planungswissen der Digitalen Fabrik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106(6), 433–437.
- DISPAN, J. (2009): *Werkzeugmaschinenbau 2009: Krisenwirkungen und aktuelle Herausforderungen*. München: IMU-Institut. (5).
- DÖBELE, M. (2010): *Informationsmodell für die Planung und die Ausschreibung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen*. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier.
- DOMBROWSKI, U., HENNERSDORF, S. & PALLUCK, M. (2007): Die wirtschaftliche Bedeutung der Fabrikplanung am Standort Deutschland. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 102(1-2), 14–18.

- DOMBROWSKI, U., QUACKS, S. & TIEDEMANN, H. (2003): Digitale Vernetzung von Produktentwicklung und Fabrikplanung. *Wissenschaftliche Schriftenreihe IBF, Sonderheft 7, TU Chemnitz*, 32–46.
- DOWIE, U. & HERZWURM, G. (2007): Systematische Auswahl einer Methode zur Aufwandschätzung in der Softwareentwicklung. In: OBERWEIS, A. (Hg.): *eOrganisation: Service-, Prozess-, Market-Engineering: 8. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 289–306.
- DREHER, S. & EBER, G. (2009): Verteilte und modulare Anlagenplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104(7-8), 654–658.
- ELLIS, D. & HAUGAN, M. (1997): Modelling the information seeking patterns of engineers and research scientists in an industrial environment. *Journal of Documentation* 53(4), 384–403.
- ENGEL, M., BUERKNER, S. & GÜNTHER, U. (2010): Referenzmodell zur durchgängigen Planung komplexer Produktionssysteme: Ein Drei-Säulen-Konzept: Modell - Methode - System. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105(3), 173–177.
- ERLACH, K. (2010): *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*. 2. Auflage. Berlin, New York: Springer.
- EVERSHEIM, W. (1989): *Organisation in der Produktionstechnik Band 4: Fertigung und Montage*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- EVERSHEIM, W. (2002): *Organisation in der Produktionstechnik 3: Arbeitsvorbereitung*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer.
- FALKMAN, P., WESTMAN, F. & MODIG, C. (2009): Verification of operation sequences in process simulate by connecting a formal verification tool. In: XIE, L. (Hg.): *IEEE International Conference on Control and Automation, 2009 (ICAA 2009)*. Piscataway, NJ, 1207–1212.
- FENG, S. & SONG, E. (2002): Preliminary Design and Manufacturing Planning Integration Using Intelligent Agents. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, 270–275.
- FENG, S., STOUFFER, K. & JURRENS, K. (2005): Manufacturing planning and predictive process model integration using software agents. *Advanced Engineering Informatics* 19(2), 135–142.
- FLEISCHER, J., WEISMANN, U., SCHMALZRIED, M. & WAWERLA, M. (2005): Bewertung der Life-Cycle-Performance: Eine Methode zum lebenszyklusorientierten Angebotsvergleich bei produktionstechnischen Anlagen. *Werkstattstechnik* 95(7-8), 559–563.
- FREUND, C. (2010): Die Instandhaltung im Wandel. In: SCHENK, M. (Hg.): *Instandhaltung technischer Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-22.

- GRANIERI, M. & RENDA, A. (2012): *Innovation Law and Policy in the European Union: Towards Horizon 2020*. Milano: Springer.
- GRUNDIG, C.-G. (2009): *Fabrikplanung: Planungssystematik - Methoden - Anwendungen*. 3. Auflage. München: Hanser.
- GU, Q. & LAGO, P. (2009): Exploring service-oriented system engineering challenges: a systematic literature review. *Service Oriented Computing and Applications* 3(3), 171-188.
- HAB, G. & WAGNER, R. (2013): *Projektmanagement in der Automobilindustrie: Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette*. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- HARMS, D., HANSEN, E. & SCHALTEGGER, S. (2011): Sustainable Supply Chains im globalen Kontext – Lieferantenmanagement in DAX- und MDAX-Unternehmen. In: BOGASCHEWSKY, R., EBIG, M., LASCH, R. & STÖLZLE, W. (Hg.): *Supply Management Research*. Wiesbaden: Gabler, 231-244.
- HAUNSTETTER, T. (2010): *Methoden des Data Mining in Anwendung an die Flexibilitätsattribute des automobilen Karosseriebaus zur strategischen Investitionsplanung*. Dissertation. Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.
- HAYES JR., G., DAVIS, R. & WYSK, R. (1981): A Dynamic Programming Approach to Machine Requirements Planning. *AIIE Transactions* 13(2), 175–181.
- HECKMANN, R. (2010): Produktionsanlagen für volatile Märkte. *ATZ Produktion* 3(4).
- HEILALA, J., MONTONEN, J. & HELIN, K. (2007): Selecting the right system - assembly system comparison with total cost of ownership methodology. *Assembly Automation* 27(1), 44–54.
- HEINEN, T., PETER, K., ERLACH, K., NYHUIS, P., LANZA, G. & WESTKÄMPER, E. (2010): Zukunftsthemen der Fabrikplanung: Wohin geht der Trend? - Ergebnisse einer umfangreichen Online-Umfrage des VDI-Fachausschusses „Fabrikplanung“. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105(5), 405–409.
- HERKOMMER, O., OTT, A. & SPEIDEL, A. (2008): Rapid Factory Planning: Die Antwort auf schnellere Innovationsrhythmen, kürzere Produktlebenszyklen und größere Variantenvielfalt. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 103(1-2), 80–82.
- HERNÁNDEZ, R. & WIENDAHL, H.-P. (2005): Die wandlungsfähige Fabrik - Grundlagen und Planungsansätze. In: KALUZA, B. & BEHRENS, S. (Hg.): *Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin: Schmidt, 203–227.

- HERTZ, P., BUNSE, K., HELMDACH, M., SOMMER-DITTRICH & THOMAS (2011): Unterstützung des Design von Produktionssystemen durch Operations Research: Erweiterung der Planungsmethoden der Digitalen Fabrik eines Automobilherstellers. *Industrie Management* 27(3), 21–24.
- HERZOG, W. (2012): *Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Psychologie*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- HILCHNER, R. (2012): *Typenorientiertes Lösungsraum-Management in der Fabrikplanung*. 1. Auflage. Aachen: Apprimus-Verlag.
- HILLSON, D., GRIMALDI, S. & RAFELE, C. (2006): Managing Project Risks Using a Cross Risk Break-down Matrix. *Risk Management* 8(1), 61–76.
- HIRSCH, B., KLEMKE, T., WULF, S. & NYHUIS, P. (2010): Digitale Werkzeuge in der Fabrikplanung: Bewertung und Auswahl. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105(3), 151–156.
- HOHWIELER, E., FEITSCHER, R. & UHLMANN, E. (2013): Mobile Camera for Measuring and Testing in the Working Area of Machine Tools. In: SCHUH, G., NEUGEBAUER, R. & UHLMANN, E. (Hg.): *Future trends in production engineering: Proceedings of the first conference of the German Academic Society for Production Engineering (WGP), Berlin, Germany, 8th - 9th June 2011*. Berlin: Springer, 209–220.
- HOLTZE, P. (2000): *Data Mining in der Bedarfsprognose von Komponenten und Teilen: Neue Ansätze zur Planung einer variantenreichen Serienfertigung*. Aachen: Shaker.
- HORBACH, S., ACKERMANN, J., MÜLLER, E. & SCHÜTZE, E. (2011): Building Factory Blocks for Adaptable Factory Systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27, 735–740.
- HOYNINGEN-HUENE, P. (1998): *Formale Logik: Eine philosophische Einführung*. Stuttgart: Reclam.
- HUBER, M. (2011): *Verfahren zur Grobplanung bei Einzel-, Serien-, und Massenfertigung sowie die Integration in PPS-Systemen*. 1. Auflage. Norderstedt: Grin.
- HUDSON, M., SMART, A. & BOURNE, M. (2001): Theory and practice in SME performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management* 21(8), 1096–1115.
- IGBAL, M. & HASHMI, M. (2001): Design and analysis of a virtual factory layout. *Journal of Materials Processing Technology* 118, 403–410.
- IHME, J. (2006): *Logistik im Automobilbau: Logistikkomponenten und Logistiksysteme im Fahrzeugbau*. 1. Auflage. München: Carl Hanser Verlag.

- JAKOBY, W. (2010): *Projektmanagement für Ingenieure: Gestaltung technischer Innovationen als systemische Problemlösung in strukturierten Projekten*. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- JANNACK, R. (1959): *Studien über die betriebliche Planung*. Lörrach: Buchdruck K. Schahl.
- JÜRGENS, U., MEIßNER, H.-R. & BOCHUM, U. (2002): Innovation und Beschäftigung im Fahrzeugbau: Chancen und Risiken. *Veröffentlichungsreihe der Abteilung Regulierung von Arbeit des Forschungsschwerpunkts Technik-Arbeit-Umwelt des Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung* FS II 02-202.
- KETTNER, H., SCHMIDT, J. & GREIM, H.-R. (1984): *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München: Hanser.
- KIM, G., LEE, J., KANG, H. & NOH, S. (2011): Digital Factory Wizard: An Integrated System for Concurrent Digital Engineering in Product Lifecycle Management. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 23(11), 1028–1045.
- KLUG, F. (2010): *Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau*. Berlin: Springer.
- KREBS, P. (2012): *Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten*. München: Utz-Verlag.
- KROPIK, M. (2009): *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- KUHN, A., TURGUT, S. & TOTH, M. (2008): Effektiver Einsatz elektronischer Kataloge in der Anlagenplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 103(1-2), 71–75.
- KUHN, H. & SCHMAUBER, T. (2007): Strategische Flexibilitäts- und Technologieplanung in der Automobilproduktion. *Industrie Management* 23(3), 39–42.
- KÜHN, W. (2006): Digital Factory - Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process. In: PERRONE, L., WIEL, F., LIU, J., LAWSON, B., NICOL, D. & FUJIMOTO, R. (Hg.): *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*: IEEE, 1899–1906.
- KULTUREL-KONAK, S. (2007): Approaches to Uncertainties in Facility Layout Problems: Perspectives at the beginning of the 21. Century. *Journal of Intelligent Manufacturing* 18(2), 273–284.
- KÜPPER, H.-U. & ZHANG, S. (1991): Der Verlauf anlagenabhängiger Kosten als Bestimmungsgröße variabler Abschreibungen. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 61(1), 109–126.
- LAMNEK, S. & KRELL, C. (2010): *Qualitative Sozialforschung*. 5. Auflage. Weinheim: Beltz.

- LEVY, Y. & ELLIS, T. (2006): A Systematic Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. *Informing Science Journal* 9, 181–212.
- LIEGERT, F. (1960): *Die Substitution menschlicher Arbeit durch Betriebsmittel: Ihre Problematik im Rahmen industrieller Investitionsentscheidungen*. München.
- LIN, T., LEE, J.-W. & BOHEZ, E. (2012): New integrated model to estimate the manufacturing cost and production system performance at the conceptual design stage of helicopter blade assembly. *International Journal of Production Research* 50(24), 7210–7228.
- LIPPE, P. (1993): *Deskriptive Statistik*. Stuttgart: Fischer.
- LÖFFLER, C., WESTKÄMPER, E. & UNGER, K. (2011): Method for analysis and dynamism of factory structure in automotive manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27(4), 741–745.
- MAAS, C. (2012): Europas Bildverarbeiter wachsen weiter. *Optik & Photonik* 7(3), 28–29.
- MANGAN, J., LALWANI, C. & GARDNER, B. (2004): Combining quantitative and qualitative methodologies in logistics research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34(7), 565–578.
- MARCZINSKI, G. (2006): Zur Bedeutung der Digitalen Fabrik: Ergebnisse einer aktuellen Umfrage. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 101(4).
- MBANG, S. & HAASIS, S. (2004): Automation of the computer-aided design: computer-aided quality assurance process chain in car body engineering. *International Journal of Production Research* 42(17), 3675–3689.
- MCKAY, K., BRAMALL, D., ROGERS, B., CHAPMAN, P., CHEUNG, W. & MAROPOULOS, P. (2003): Design change impact analysis during early design specification. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 16(7-8), 598–604.
- MCNEIL, A., FREY, R. & EMBRECHTS, P. (2010): *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques, and Tools*. Princeton: Princeton University Press.
- MEICHSNER, T. (2009): Migration Manufacturing: A New Concept for Automotive Body Production. In: ELMARAGHY, H. (Hg.): *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. London: Springer, 373–388.
- MEIERLOHR, C. (2003): *Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung*. München: Utz-Verlag.

- MELING, F. (2013): *Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik*. München: Utz-Verlag.
- MILBERG, J. (1992): *Werkzeugmaschinen - Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- MORRIS, M. & DILLON, A. (1997): The Influence of User Perceptions on Software Utilization: Application and Evaluation of a Theoretical Model of Technology Acceptance. *IEEE Transactions on Software Engineering* 14(4), 58–65.
- MORTIMER, J. (2002): Multi-tasking robots are central to new Range Rover bodyshop. *Industrial Robot: An International Journal* 29(3), 228–233.
- MORTIMER, J. (2008): BMW lifts robot total to 500 at Plant Oxford. *Assembly Automation* 28(1), 27–35.
- MÜLLER, E., ENGELMANN, J., JÖRG, S. & LÖFFLER, T. (2009): *Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- MÜLLER, P., SCHULZ, F. & STARK, R. (2010): Guideline to elicit requirements on industrial product-service systems. In: SAKAO, T. (Hg.): *Industrial product-service systems (IPS²): Proceedings of the 2nd CIRP IPS² Conference, Linköping, 14-15 April 2010*. Linköping: Linköping University, 109–116.
- MÜLLER, S. (2007): *Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen*. München: Utz-Verlag.
- NEBL, T. (2007): *Produktionswirtschaft*. 6. Auflage. München, Wien: Oldenbourg.
- NGUYEN, H., MÜLLER, P. & STARK, R. (2013): Transformation Towards an IPS² Business: A Deployment Approach for Process-based PSS Development Projects. In: SHIMOMURA, Y. & KIMITA, K. (Hg.): *The Philosopher's Stone for Sustainability*. Berlin, Heidelberg: Springer, 251–256.
- NIGHTINGALE, A. (2009): A guide to systematic literature reviews. *Surgery (Oxford)* 27(9), 381–384.
- NOBLE, J. & TANCHOCO, J. (1993): Design justification of manufacturing systems? A review. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 5(1), 5–25.
- NÖMAYR, R. (2002): *Einfluss von physikalisch-chemischen Parametern auf das farbliche Erscheinungsbild von Lackierungen*. Dissertation. Universität Regensburg.
- NYHUIS, P., HIRSCH, B., KLEMKE, T. & WULF, S. (2009): Bewertung und Auswahl digitaler Werkzeuge in der Fabrikplanung. In: SCHENK, M. (Hg.): *Digital Engineering - Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation*. Berlin: Gito-Verlag, 127–150.

- OLIVER WYMAN (2009): *Studie zur Rezession im Maschinen- und Anlagenbau: Zeit zu handeln*. München.
- PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J. & GROTE, K.-H. (2007): *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- PAWAR, K. & DRIVA, H. (1999): Performance measurement for product design and development in a manufacturing environment. *International Journal of Production Economics* 60–68.
- PAWELLEK, G. (2008): *Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- PRÜß, H. & NEBL, T. (2006): Investitionspolitik im Rahmen einer ganzheitlichen Anlagenwirtschaft. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 101(5), 277–281.
- REFA (1984): *Methodenlehre der Arbeitsstudiums Teil 1: Grundlagen*. München: Hanser.
- REFA (1985a): *Methodenlehre der Planung und Steuerung Teil 2*. 4. Auflage. München: Hanser.
- REFA (1985b): *Methodenlehre des Arbeitsstudiums Teil 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*. 7. Auflage. München: Hanser.
- REFA (2002): *Ausgewählte Methoden zur Prozessorientierten Arbeitsorganisation*. Darmstadt: REFA-Sonderdruck Methodenteil.
- REINHART, G. & VON BREDOW, M. (2008): Bewertung von Kunden-Lieferanten-Beziehungen in der Automobilindustrie. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 103(12), 832–836.
- REINHART, G., KREBS, P., HAAS, M. & ZÄH, M. (2008): Monetäre Bewertung von Produktionssystemen: Ein Ansatz zur Integration von qualitativen Einflussfaktoren in die monetäre Bewertung unter Unsicherheit. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 103(12), 845–850.
- RICHTER, A. R. (2007): *Entwicklung und Umsetzung eines Kennzahlensystems zur Leistungsmessung im Karosseriebau*. Dissertation. Technische Universität Dresden.
- ROBSON, C. (2011): *Real world research*. 3. Auflage. Chichester: Wiley.
- ROCKSTROH, W. (1985): *Die technologische Betriebsprojektierung, Band 1: Grundlagen und Methoden der Projektierung*. 2. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik.
- RODDECK, W. (2006): *Einführung in die Mechatronik*. 3. Auflage. Wiesbaden: Teubner.

- ROGALSKI, S. (2012): Factory design and process optimisation with flexibility measurements in industrial production. *International Journal of Production Research* 50(21), 6060–6071.
- ROSCHER, J. (2008): *Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie*. Dissertation. Universität Stuttgart.
- ROSENKRANZ, F. & MISSLER-BEHR, M. (2005): *Unternehmensrisiken erkennen und managen: Einführung in die quantitative Planung*. Berlin: Springer.
- ROWE, G. & WRIGHT, G. (1999): The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting* 15(4), 353–375.
- RUDOLF, H. (2007): *Wissensbasierte Montageplanung in der digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie*. München: Utz-Verlag.
- RUMPEL, G. (2013): *Entscheidungshilfe zur Auswahl schlanker Produktionssysteme für die Montage von Werkzeugmaschinen*. Aachen, Darmstadt: Shaker.
- SAKAO, T., NAPOLITANO, N., TRONCI, M., SUNDIN, E. & LINDAHL, M. (2008): How are product-service combined offers provided in Germany and Italy? Analysis with company sizes and countries. *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 17(3), 367–381.
- SALEESHYA, P., AUSTIN, D. & VAMSI, N. (2013): A model to assess the lean capabilities of automotive industries. *International Journal of Productivity and Quality Management* 11(2), 195.
- SAUER, O. (2004): Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. *Werkstattstechnik* 94(1-2), 31–34.
- SAUER, O., SCHLEIPEN, M. & AMMERMAN, C. (2010): Digitaler Fabrikbetrieb. In: ZÜLCH, G. & STOCK, P. (Hg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 559–566.
- SAUNDERS, M., LEWIS, P. & THORNHILL, A. (2012): *Research methods for business students*. 6. Auflage. Harlow: Pearson.
- SCHACHOW, S. (2009): Erhöhte Wirtschaftlichkeit durch höhere Planungsqualität in der Projektierung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104(6), 450–453.
- SCHACK, R. (2007): *Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik*. München: Utz-Verlag.
- SCHADY, R. (2008): *Methode und Anwendungen einer wissensorientierten Fabrikmodellierung*. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

- SCHALTEGGER, S. & WAGNER, M. (2008): Types of sustainable entrepreneurship and conditions for sustainability innovation: From the administration of a technical challenge to the management of an entrepreneurial opportunity. In: WÜSTENHAGEN, R. (Hg.): *Sustainable innovation and entrepreneurship*. Cheltenham, UK, Northampton, MA: Edward Elgar, 27–48.
- SHELLMANN, H. (2012): *Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz*. München: Utz-Verlag.
- SCHENK, M. & WIRTH, S. (2004): *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- SCHLEGEL, A. (2001): *Konzeption und Einsatzvorbereitung eines Werkzeugs für die Bestimmung der Prozessqualität mittels Kennzahlenüberwachung und wissensbasierter Simulation*. Dissertation. Technischen Universität Chemnitz.
- SCHMIDL, M., BENDER, M., MATT & DOMINIK (2006): Nutzeneffekte von digitalen Planungstools in Bereichs- und Betriebsmittelplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 101(12), 719–722.
- SCHMIDT, K. (2002): *Methodik zur integrierten Grobplanung von Abläufen und Strukturen mit digitalen Fabrikmodellen*. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- SCHOLL, A. (2001): *Robuste Planung und Optimierung: Grundlagen - Konzepte und Methoden - experimentelle Untersuchungen*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- SCHRÖDER, W. (2010): *Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement*. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- SCHUH, G. & GOTTSCHALK, S. (2004): Skalierbare Produktionslinien in der Automobilindustrie. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 99(7-8), 376–380.
- SCHUH, G., KAMPKER, A. & WESCH-POTENTE, C. (2011): Condition based factory planning. *Production Engineering - Research and Development* 5(1), 89–94.
- SICILIANO, B. & KHATIB, O. (2008): *Springer Handbook of Robotics*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- STARK, R. (2012): Kollaboration und digitale Werkzeuge in der Entwicklung. *ATZextra* 5, 20–25.
- STARK, R., HAYKA, H., ISRAEL, J., KIM, M., MÜLLER, P. & VÖLLINGER, U. (2011): Virtuelle Produktentstehung in der Automobilindustrie. *Informatik-Spektrum* 34(1), 20–28.

- STARK, R., KIM, M. & ROTHENBURG, U. (2010): Vom Virtuellen Produkt zur Digitalen Fabrik: Potentiale und Herausforderungen. In: SELIGER, G. & UHLMANN, E. (Hg.): *PTK 2010, XIII. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin, 4. - 5. Oktober 2010: Produktionstechnik - Motor aus der Krise: Proceedings*, 87–98.
- STARK, R. & MÜLLER, P. (2009): Product-service system methodologies in research and industry. In: MEIER, H. (Hg.): *Proceedings of the 2nd International Seminar on IPS2, 23 - 24 March 2009, Berlin, Germany*. Aachen: Shaker, 5–11.
- STROHMEIER, G. (2007): *Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben*. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- SUNDIN, E., ÖHRWALL RÖNNBÄCK, A. & SAKAO, T. (2010): From component to system solution supplier: Strategic warranty management as a key to efficient integrated product/service engineering. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2(3), 183–191.
- TESCH, F. (2010): *Bewertung der Strukturvariabilität von Pkw-Karosseriederivaten*. 1. Auflage. München: Dr. Hut Verlag.
- THANKACHAN, T., BHASI, M. & MADHU, G. (2010): Application of Concurrent Engineering in Manufacturing Industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 23(5), 425–440.
- THIA, C., CHAI, K.-H., BAULY, J. & XIN, Y. (2005): An exploratory study of the use of quality tools and techniques in product development. *The TQM Magazine* 17(5), 406–424.
- TONG, J., VAN LUTTERVELT, C., WEDMAN, F. & BIKKER, H. (2003): Computer-guided System for Design of Factories. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 16(7-8), 571–585.
- TOUTENBURG, H. (2004): *Deskriptive Statistik: Eine Einführung mit Übungsaufgaben und Beispielen mit SPSS*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- TSANG, A. (2002): Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 8(1), 7–39.
- TURNER, M., KITCHENHAM, B., BRERETON, P., CHARTERS, S. & BUDGEN, D. (2010): Does the technology acceptance model predict actual use? A systematic literature review. *Information and Software Technology* 52(5), 463–479.
- TUTZ, G. (2000): *Die Analyse kategorialer Daten: Anwendungsorientierte Einführung in Logit-Modellierung und kategoriale Regression*. München: Oldenbourg.
- VAHRENKAMP, R. (2008): *Produktionsmanagement*. 6. Auflage. München: Oldenbourg.

- VOLLING, T. (2009): *Auftragsbezogene Planung bei variantenreicher Serienproduktion: Eine Untersuchung mit Fallstudien aus der Automobilindustrie*. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- WALLENTOWITZ, H. (2013): Innovation in Automotive Engineering: A look into the future. *Journal Of Automotive Safety And Energy* 4(2), 95–108.
- WARNECKE, G., AURICH, J. & HILLER, M. (2003): Multiprojektmanagement - Synergien in der Vielfalt. In: REINHART, G. & ZÄH, M. (Hg.): *Marktchance Individualisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 129-140.
- WEBSTER, J. & WATSON, R. (2002): Guest Editorial: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a literature Review. *MIS Quarterly* Vol. 26(2), xiii–xxiii.
- WEIG, S. (2008): *Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten*. 1. Auflage. München: Utz-Verlag.
- WEIß, G. & JAKOB, R. (2005): *Agentenorientierte Softwareentwicklung: Methoden und Tools*. Berlin: Springer.
- WEIYIN, H., JAMES, Y., THONG, W.-M. & WONG, K.-Y. (2002): Determinants of User Acceptance of Digital Libraries: An Empirical Examination of Individual Differences and System Characteristics. *Journal of Management Information Systems* 18(3), 97–124.
- WEMHÖNER, N. (2006): *Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau*. Aachen: Shaker.
- WENZEL, S., JESSEN, U. & BERNHARD, J. (2005): Classifications and conventions structure the handling of models within the Digital Factory. *Computers in Industry* 56(4), 334–346.
- WESTKÄMPER, E. (2002): Die Digitale Fabrik - Kontinuierliche und Partizipative Planung. In: MILBERG, J. & SCHUH, G. (Hg.): *Erfolg in Netzwerken*. Berlin, Heidelberg: Springer, 245-260.
- WIENDAHL, H.-P., REICHARDT, J. & NYHUIS, P. (2009): *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. München: Hanser.
- WIESINGER, G. (2010): *Prozessorientierte Konstruktionsmethode für Industrieparks der Automobilindustrie*. Dissertation. Technische Universität Dortmund.
- WIRTH, S. & GÄSE, T. (2003): Optimierung des Planungsprozesses durch den Einsatz moderner Informationstechnologien. In: KERSTEN, W. (Hg.): *E-Collaboration: Prozessoptimierung in der Wertschöpfungskette*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 251-277.

- WÖHLKE, G. & SCHILLER, E. (2005): Digital Planning Validation in Automotive Industry. *Computers in Industry - special issue: The Digital Factory: An Instrument of the Present and the Future* 56(4), 393–405.
- ZIEGENER, E. (1959): *Berechnung und Konstruktion von Vorrichtungen*. 2. Auflage. Berlin: Verlag Technik.
- ZIMMERMANN, W., FRIES, H.-P. & HOCH, G. (2003): *Betriebliches Rechnungswesen: Bilanz und Erfolgsrechnung, Kosten- und Leistungsrechnung, Wirtschaftlichkeits- und Investitionsrechnung*. 8. Auflage. München: Oldenbourg.
- ZÜRN, M. (2010): *Referenzmodell für die Fabrikplanung auf Basis von Quality Gates*. Heimsheim: Jost-Jetter-Verlag.

Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin

Wissensbasierte Diagnose technischer Systeme mit konnektionistischen Modellen
Hartwig Weber. 201 Seiten, 46 Abb., 7 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4496-6

Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten industrieller Qualitätstechniken im Dienstleistungsbereich
Alexander Gogoll. 173 Seiten, 71 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4498-2

Perforierschneiden mit Nd:YAG-Festkörper hoher Impulsenergien
Jürgen Betz. 167 Seiten, 97 Abb., 5 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4499-0

Analyse der Werkstückhaltekräfte am Dreibackenfutter im Rahmen einer Maschinen- und Prozeßüberwachung
Rolf Thiel. 130 Seiten, 69 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4495-8

Gestaltung von Entscheidungsstrukturen zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen
Florian Golm. 173 Seiten, 83 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4497-4

Fehlersensitive Produktgestaltung in integrierten Systemarchitekturen
Michael Stephan. 164 Seiten, 58 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4512-1

Wirtschaftliche Einführung der rechnerintegrierten Produktion in kleinen Unternehmen mit komplexer Produktionsstruktur
Wolfgang Bilger. 174 Seiten, 42 Abb., 1 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4511-3

Beitrag zur Organisation von Demontagesystemen
Claudia Hentschel. 160 Seiten, 54 Abb., 16 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4513-X

Entwicklung eines Modells für eine rechnerunterstützte Qualitätswissensbasis
Jörg-Peter Brauer. 150 Seiten, 40 Abb., 2 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4520-2

Kühlschmierung beim Schleifen keramischer Werkstoffe
Thomas Brücher. 330 Seiten, 124 Abb., 17 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4523-7

Einführen und Umsetzen von Total Quality Management
Christian Malorny. 310 Seiten, 68 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4524-5

Qualitätsmanagement für die Einführung bestandsarmer Produktionskonzepte
Torsten Walter. 143 Seiten, 37 Abb., 13 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4525-3

Virtuelle Tonmodellierung zur skizzierenden Formgestaltung im Industriedesign
Jörg Lüddemann. 166 Seiten, 76 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4519-9

Konzept zur Steigerung der Effektivität von Produktionsanlagen
Mehdi Al-Radhi, 165 Seiten, 45 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4528-8

Produktionsstrukturierung auf der Basis strategischer Eigenfertigungskomponenten
Olaf Sauer, 144 Seiten, 62 Abb. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4532-6

Auswahl und Konditionierung von Werkzeugen für das Außenrund-Profilschleifen technischer Keramiken
Ingo Liebe, 170 Seiten, 79 Abb., 16 Tab. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4509-1

Automatisiertes Nähen von Zuschnitten ungleicher Kontur

Thomas Gottschalk, 140 Seiten, 70 Abb. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4531-8

Featureintegrierte Fertigungsplanung

Armin Ulbrich, 209 Seiten, 93 Abb. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4529-6

Aufgabenbezogene Anordnung und Programmierung von Laserscannern für die 2D-Geometrieinspektion

Heinrich Schuler, 148 Seiten, 81 Abb. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4530-X

Arbeitsgestaltung zur Fehlervermeidung bei der SMD-Elektronikmontage

Stephan Krüger, 173 Seiten, 51 Abb., 22 Tab. 1996. Kartoniert.

ISBN 3-8167-4540-7

Modell der zyklischen Prozeßrestrukturierung als Teil des Total Quality Managements

Timo Füermann, 176 Seiten, 79 Abb., 10 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4545-8

Analyse der Rentabilität von Qualitätstechniken

Philipp Theden, 158 Seiten, 50 Abb., 10 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4544-X

Thermisch beschichtete CFK-Wellen im Maschinenbau

Andreas Kranz, 148 Seiten, 76 Abb., 12 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4547-4

Integrativer Produktentwicklungsarbeitsplatz mit Multimedia- und Breitbandkommunikationstechnik

Thomas Kieseewetter, 169 Seiten, 60 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4548-2

Verbesserung der Planung von Produktionsprozessen im Werkzeugbau durch Qualitätsplanung mittels Quality Function Deployment (QFD)

Manfred Zoschke, 140 Seiten, 14 Abb., 7 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4546-6

Flexibel anpaßbare Softwaresysteme zur rechnerunterstützten Fertigungssteuerung

Harald Krause, 148 Seiten, 89 Abb., 27 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4551-2

Anpassung des Qualitätswesens bei Total Quality Management

Frank Krämer, 262 Seiten, 75 Abb., 40 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4558-X

Integration von Qualitäts- und Umweltmanagementsystemen und ihre betriebliche Umsetzung

Detlev Butterbrodt, 240 Seiten, 60 Abb., 12 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4559-8

Die Entwicklung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus in der Zeit von 1930 bis 1960

René Haak, 225 Seiten, 30 Abb., 9 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4556-3

Fertigungsintegrierte Instandhaltung

Ralf Jagodejkin, 195 Seiten, 55 Abb., 21 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4557-1

Analyse der Prozeßkette Pulverspritzgießen

Peter Merz, 165 Seiten, 78 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4629-2

Bearbeitung von metallischen Gasturbinenwerkstoffen durch Tiefschleifen und Drahterodieren

Achim Meier, 220 Seiten, 80 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4627-6

Drehzahlsynchronisation der Wirkpartner beim Abrichten und Schleifen

Holger Eichhorn, 200 Seiten, 86 Abb., 13 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4630-6

Läppen von einkristallinem Silicium

Hendrik Engel, 200 Seiten, 85 Abbildungen, 13 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4631-4

Verschleißverhalten von polykristallinem Diamant bei instationärer Beanspruchung

Uwe Lachmund, 210 Seiten, 100 Abb., 15 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4632-2

Feature-basierte Meßplanung für Koordinatenmeßmaschinen

Michael Ciesla, 162 Seiten, 79 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4613-6

Informationssystem für heterogen verteilte Qualitätsinformationen

Volker Kleinhans, 150 Seiten, 67 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4612-8

Untersuchung und Interpretation der beim Schleifen der Nickelbasislegierung IN 738 LC induzierten Gefügeänderungen in der Randzone

Pengxi Li, 147 Seiten, 135 Abb., 19 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4634-9

Thermische Stabilisierung von Werkzeugmaschinen-Spindelkästen durch Carbonfaserverbundkunststoffe

Matthias Liebetrau, 200 Seiten, 122 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4638-1

Kooperationsentwicklung mit Zulieferern in der Automobilindustrie Indonesien

Ida-Bagus Kesawa Narayana, 214 Seiten, 95 Abb., 11 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4642-X

Flexible On-line-Prozeßoptimierung mit integrierten adaptiven Modellen

Martin Bauer, 160 Seiten, 55 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4622-5

Einsatz eines Mobilrobotersystems in der Endmontage des Schiffsstahlkörperbaus

Henning Müller, 170 Seiten, 62 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4552-0

Prozeßmodell für die Kraftübertragung durch neue Wirkflächen zur Entwicklung geometrietoleranter Demontagewerkzeuge

Martin Wagner, 170 Seiten, 100 Abb., 12 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5130-X

Honen keramischer Werkstoffe

Uwe-Peter Weigmann, 250 Seiten, 103 Abb., 15 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4639-X

Modellierung und Vermessung linearer Gelenkbewegungen bei Industrierobotern

Michael Grethlein, 154 Seiten, 56 Abb., 5 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4644-6

Globalisierungspotentiale im Maschinenbau

Jens Nackmayr, 174 Seiten, 68 Abb., 5 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5132-6

Entwicklung und praktische Erprobung eines Kennzahlensystems für das Total Quality Management

Olaf Wolter, 190 Seiten, 52 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5136-9

Prozeßorientierte Techniken zur systematischen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes

Ulrich Tammler, 185 Seiten, 72 Abb., 25 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5134-2

Eine Methode zur automatischen Strukturinterpretation in digitalisierten technischen Zeichnungen

Nailja Luth, 150 Seiten, 76 Abb., 10 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4646-2

Ganzheitliches Modell zur Umsetzung von Total Quality Management

Philipp Radtke, 180 Seiten, 50 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5148-2

Ein methodischer Ansatz zum Strukturvergleich technischer Objekte

Matthias Müller, 245 Seiten, 54 Abb., 11 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5160-1

Prozeßparameter beim Scherschneiden von Karosserieblechteilen

Andreas Pöllmann, 154 Seiten, 80 Abb., 11 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5150-4

Biologisch basierte Verfahren zur Objekterkennung und Texturanalyse

Javier Ruiz-del-Solar, 145 Seiten, 98 Abb., 8 Tab. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4647-0

Methodisches Konstruieren als Mittel zur systematischen Gestaltung von Dienstleistungen

Wolfgang Schwarz, 130 Seiten, 80 Abb. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5140-7

Techniken zur Entwicklung von Führungsqualität im Total Quality Management

Claudia Kostka, 200 Seiten, 30 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5165-2

Metamodellierung als Instrument der Verknüpfung von Unternehmensmodellen

Wolfgang Müller, 170 Seiten, 61 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5164-4

Entwicklung und Realisierung einer Methode für die flexible Auswertung von Profillinien

Lorenz Voit, 145 Seiten, 75 Abb., 20 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5174-1

Gewichts- und Lärminderung von Laufrädern für Schienenfahrzeuge durch Einsatz von Faserverbundwerkstoffen

Frank Warmuth, 130 Seiten, 110 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5173-3

Prozeß-Benchmarking – Methode zum branchenunabhängigen Vergleich von Prozessen

Gunnar Siebert, 130 Seiten, 45 Abb., 21 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5182-2

Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen

Martin Schwermer, 160 Seiten, 54 Abb., 6 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5163-6

Bewertung und Verkürzung von Anlaufprozessen für Betriebsmittel

Ronald Fritsche, 135 Seiten, 71 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5169-5

Analyse des Drehens duktiler Werkstoffe mit der Finite-Elemente-Methode

Steffen Gerloff, 272 Seiten, 116 Abb., 7 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5161-X

Prozeßorientierte Auswahl von PPS-Systemen

Georg Neubauer, 146 Seiten, 85 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5184-9

Featurebasiertes Gestalten von Produkten mit Freiformgeometrien

Christiane Stiel, 153 Seiten, 50 Abb., 1 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5170-9

Entwicklung und Verifizierung eines Prozeßmodells für das Einzelpunktlöten in der Elektronikfertigung

Jörg Niemeier, 120 Seiten, 75 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5177-6

Beschleunigte Evolutionsstrategie zur Optimierung von Fertigungsprozessen

Jürgen H. Bremer, 125 Seiten, 38 Abb., 23 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5183-0

Konfigurierbares, multimediales Fernbetreuungssystem für rechnergesteuerte Fertigungseinrichtungen

Zaharya Menevidis, 155 Seiten, 51 Abb., 9 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5171-7

Funkenerosive Bearbeitung von polykristallinem Diamant

Steffen Appel, 150 Seiten, 62 Abb., 10 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5162-8

Analyse und Simulation des Laserstrahlschneidens von Faserverbundkunststoffen
Stefan Liebelt, 180 Seiten, 70 Abb., 12 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5190-3

Flexible Spannbacken für die Drehbearbeitung
Udo Bahrke, 168 Seiten, 120 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5193-8

Controlling des Fabrikbetriebes auf der Basis des Total Quality Managements (TQM)
Dirk Wilmes, 195 Seiten, 51 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5194-6

Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen
Sven-Norman Gembrys, 120 Seiten, 48 Abb.. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5199-7

Konzept eines Modells zur Produktentwicklung
Hanno Weber, 160 Seiten, 85 Abb. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5205-5

Entwicklung einer handlungsorientierten Interaktionsmethode zur Benutzung produktionstechnischer Datenbanken
Regine Gernert, 168 Seiten, 40 Abb., 15 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5213-6

Modell zur Gestaltung und Auswahl von CAQ-Lösungen
Thomas Konert, 172 Seiten, 68 Abb., 5 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5207-1

Globales Produktdatenmanagement zur Verbesserung der Produktentwicklung
Matthias Doblies, 139 Seiten, 49 Abb., 21 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5224-1

Designintegrierte Produktplanung und Produktkonzeption
Timm Kehler, 158 Seiten, 78 Abb.. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5237-3

Verkürzung der Produktentwicklungszeit durch Parallelverarbeitung
Haygazun Hayka, 175 Seiten, 46 Abb., 13 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5228-4

Analyse der Schnitt- und Kerbgeometrie sowie des Strahls beim Abrasivwasserstrahlschneiden
Bernhard Axmann, 199 Seiten, 100 Abb., 20 Tab. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5236-5

Anwendung neuronaler Netze zur Werkzeugverschleißerkennung beim Fräsen
Edgar Fries, 200 Seiten, 106 Abb., 14 Tab. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5244-6

Konzept zur lebenszyklusorientierten Verbesserung der Effektivität von Produktionseinrichtungen
Ulf Perlewitz, 162 Seiten, 75 Abb., 6 Tab. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5260-8

Methoden zur Verbesserung der Fehlererkennung an Antriebsstrecken
Jörg Krüger, 170 Seiten, 101 Abb., 21 Tab. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5268-3

Beitrag zur Entwicklung eines modularen TQM-Modells für das Krankenhauswesen
Bettina Hahne, 180 Seiten, 50 Abb., 5 Tab. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5290-X

Steuerungsintegriertes Prozeßüberwachungssystem für Drehmaschinen
Ireneus Suwalski, 167 Seiten, 106 Abb., 13 Tab. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5286-1

Montagesystemplanung und -steuerung für die variantenreiche Serienmontage
Kuo-Wen Chang, 148 Seiten, 59 Abb. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5294-2

Werkstückspannsysteme aus faserverstärkten Kunststoffen für die Hochgeschwindigkeitsdrehbearbeitung

Uwe Mette, 227 Seiten, 106 Abb., 27 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5271-3

Bildanalysesystem zur robusten Erkennung von Kennzeichen an Fahrzeugen

Lutz Lohmann, 184 Seiten, 81 Abb., 18 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5534-8

Planung und marktorientierter Betrieb von Demontagefabriken

Holger Perlewitz, 180 Seiten, 72 Abb., 53 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5538-0

Simulation von Produktentwicklungsprozessen

Hans-Christoph Raupach, 150 Seiten, 60 Abb., 4 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5544-5

Induktive Wegsensoren zur Überwachung und Regelung des Blecheinzugs beim Tiefziehen

Ute Forstmann, 110 Seiten, 59 Abb., 2 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5547-X

Konstruktive Berechnungsmodelle auf Basis Neuronaler Netze

Alexander Carl, 135 Seiten, 53 Abb., 2 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5568-2

Konzeption eines webbasierten Beratungs-Unterstützungs-Systems am Fallbeispiel einer PDM-Systemauswahl

Toralf Kahlert, 140 Seiten, 50 Abb., 4 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5569-0

Ein Ansatz zum Konstruieren mit Lösungsräumen

Petrik Ziebeil, 155 Seiten, 44 Abb., 6 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5577-1

Rapid Styling Validation - Berechnung und Simulation in der Konzeptphase der Produktentwicklung

Yasmina Bock, 150 Seiten, 57 Abb., 5 Tab. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5592-5

Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik

Thomas Ardel, 200 Seiten, 102 Abb., 19 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5609-3

Beitrag zum Greifen von Textilien

Jörg Stephan, 140 Seiten, 100 Abb., 20 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5622-0

Integrierte Unternehmensplanung auf der Basis von Unternehmensmodellen

Roland Jochem, 170 Seiten, 77 Abb. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5623-9

Wege zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen

Katrin Müller, 177 Seiten, 45 Abb., 46 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5884-3

Business-Exzellenz als qualitätsorientierter Entwicklungsansatz für Gründungsaktivitäten

Gunter Busch. 199 Seiten, 46 Abb., 4 Tab., 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6045-7

Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service

Andreas Edler. 131 Seiten, 64 Abb., 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5902-5

Package-Features für die Kommunikation in den frühen Phasen der Automobilentwicklung

Karsten Gessner. 154 Seiten, 39 Abb., 6 Tab., 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5636-0

System zur sicherheitsgerechten Konstruktion von Werkzeugmaschinen

Michael Ising, 200 Seiten, 101 Abb., 5 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5890-8

Verteilte Simulation des Materialversorgungsprozesses in Produktionsverbünden
Dirk Krützfeld, 141 Seiten, 78 Abb., 13 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6035-X

Integration eines visuellen Lageregelungssystems für sechs Freiheitsgrade in Industrieroboter
Yong-Uk Kwon, 161 Seiten, 63 Abb., 9 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6044-9

Magnetische Flüssigkeiten als Schmierstoff in hydrodynamischen Gleitlagern
Reiner Patzwald, 176 Seiten, 148 Abb., 27 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5892-4

Beitrag zum flexiblen Greifen in der Demontage
Alexander Stenzel, 129 Seiten, 66 Abb., 6 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5885-1

Strategische Unternehmensprozessgestaltung mit der Methode des Target Processing
Florian Weymar. 170 Seiten, 59 Abb. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5898-3

Beitrag zur Innovationsentwicklung in indonesischen Unternehmen durch kompetenzorientierte Netzwerkbildung
Agung Budi Utomo Halim. 206 Seiten, 73 Abb., 53 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6065-1

Fehlerbeseitigungsmanagement unter Berücksichtigung der Plattformstrategie am Beispiel der Automobilindustrie
Daniel Schukraft. 137 Seiten, 87 Abb. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6079-1

Auslegung magnetumgeformter Verbindungen durch Simulation
Stefan Mehnert. 141 Seiten, 118 Abb., 17 Tab. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6086-4

Statistische Prozessregelung bei administrativen Prozessen im Rahmen eines ganzheitlichen Prozesscontrollings
Thomas Gerboth. 123 Seiten, 46 Abb., 12 Tab., 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6080-5

Sichere synchrone Telekooperation zur Optimierung der verteilten Produktentstehung
Ralf Schultz. 150 Seiten, 61 Abb., 4 Tab. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6088-0

Verbesserte Anpassungsfähigkeit des Änderungsmanagements durch komplementäre Selbstorganisation
Ralf Brunken. 134 Seiten, 52 Abb., 2 Tab. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6144-5

Durchlaufzeitreduzierung durch Harmonisierung von Belegungszeiten und Einführung flexibler Prozeßteams
Reiner Friedland. 170 Seiten, 47 Abb., 13 Tab. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6139-9

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen durch eine Life Cycle Unit
Waldemar Grudzien. 170 Seiten, 75 Abb., 33 Tab. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6174-7

Beitrag zum Variantenmanagement und zur Prozessoptimierung im Wagenkastenbau von Schienenfahrzeugen
Holger Schmidt. 170 Seiten, 84 Abb., 10 Tab. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6178-X

Modellierung von Layout und Steuerungsregeln für die Materialfluss-Simulation
Markus Rabe. 222 Seiten, 135 Abb. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6262-X

CVD-Diamant als Schneidstoff
Marcus Brücher. 187 Seiten, 87 Abb., 18 Tab. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6280-8

Berechnungsmodell zur Ermittlung von Spannkraften bei Backenfuttern
Pingfa Feng. 213 Seiten, 203 Abb., 17 Tab. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6371-5

Beitrag zur Entwicklung modularer Demontagewerkzeuge
Uwe Rebafka. 138 Seiten, 78 Abb., 28 Tab. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6381-2

Beitrag zur voxelbasierten Simulation des fünfachsigigen NC-Fräsens
Zengxuan Hou. 160 Seiten, 80 Abb., 3 Tab. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6401-0

Aufbau hierarchiearmer Produktionsnetzwerke – Technologiestrategische Option und organisatorische Gestaltungsaufgabe
Carsten S. Schröder, 210 Seiten, 59 Abb., 1 Tab. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6398-7

Sprache zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen
Roland Heimann, 158 Seiten, 55 Abb., 6 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6456-8

Beitrag zur dynamischen Prozessplanung und Generierung von Steuerungssequenzen für flexible Demontagesysteme
Hyung-Ju Kim. 164 Seiten, 75 Abb., 19 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6559-9

Öko-Effizienz durch Nutzenverkauf am Beispiel der Automobilindustrie
Gitta Vischer. 193 Seiten, 62 Abb., 42 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6561-0

Applications of Subdivision Techniques in Product Development
Nele Gross. 136 Seiten, 51 Abb. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6576-9

Werkzeuge zum impuls-magnetischen Warmfügen von Profilen aus Aluminium- und Magnesiumlegierungen
Robert Hahn. 209 Seiten, 95 Abb., 18 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6642-0

Ultraschallunterstütztes Quer-Seiten-Schleifen
Nikolai-Alexander Daus. 145 Seiten, 78 Abb., 5 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6657-9

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen durch Anpassen von Mobiltelefonen
Bahadır Basdere. 208 Seiten, 77 Abb., 26 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6662-5

Informationstechnische Integration hybrider Demontagesysteme
Thomas Keil. 183 Seiten, 79 Abb., 15 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6688-9

Soft Data Fusion for Computer Vision
Aureli Soria-Frisch. 242 Seiten, 118 Abb., 7 Tab. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6689-7

Trennende Schutzeinrichtungen für Werkzeugmaschinen zur Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
Jörg Bold. 220 Seiten, 99 Abb., 39 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6697-8

Auslegung dünner Hartstoffschichten für Zerspanwerkzeuge
Karsten Klein. 172 Seiten, 88 Abb., 17 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6700-1

Methode zur Komplexitätsreduzierung der Auftragssteuerung in der Elektronikmontage
Dietrich Fischer. 202 Seiten, 97 Abb., 6 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6729-X

Sicherheitszentrierte Architektur für Internet-basierte Dienste im Maschinen- und Anlagenbau
Ralf Berger. 120 Seiten, 70 Abb., 16 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6777-X

Methodische Entwicklung von modularen IT-Dienstleistungen

Klaus Herbst. 219 Seiten, 63 Abb. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6778-8

Flexible Integration von Rapid Prototyping Prozessketten in die Produktentwicklung

Stefan Dreher. 139 Seiten, 54 Abb., 10 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6843-1

Risikominimierung bei der Beschaffung investiver Dienstleistungen durch den Einsatz von Methoden des Qualitätsmanagements

Marc Bockschecker. 195 Seiten, 36 Abb., 6 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6900-4

Verfahren zum Einzelpunktlöten von elektrischen Anschlusskontakten mit getrennter Erwärmung von Lötstelle und Lot

Andreas Frenzke. 140 Seiten, 69 Abb., 17 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6919-5

Adaptive Modellierung und Simulation von Produktentwicklungsprozessen

Johannes Voigtberger. 174 Seiten, 58 Abb. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6929-2

Konditionieren von Diamantschleifscheiben

Frank Sroka. 229 Seiten, 111 Abb., 7 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6937-3

Zustandsorientierte Instandhaltung von Standardkomponenten mit Life Cycle Units

Alexander Buchholz. 200 Seiten, 99 Abb., 9 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6938-1

Beitrag zur Gestaltung horizontaler Innovationskooperationen in Klein- und Mittelbetrieben am Beispiel Schienengüterverkehr

Ulrich Kroß. 166 Seiten, 56 Abb., 11 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6962-4

Verfahren und Systeme zur Demontage komplexer technischer Gebrauchsgüter

Jens-Peter Härtwig. 242 Seiten, 108 Abb., 19 Tab. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6963-2

Neue Einsatzmöglichkeiten von Ferrofluiden in technischen Systemen mit relativ zueinander bewegten Komponenten

Nayim Bayat. 175 Seiten, 113 Abb., 19 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7014-2

Wissensbilanzen für mittelständische Organisationen

Kay Alwert. 181 Seiten, 65 Abb., 25 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7033-9

Entwicklung eines lernfähigen Bildverarbeitungssystems unter Einsatz von Verfahren des Soft Computing

Mario Köppen. 158 Seiten, 56 Abb., 7 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7056-8

Hochleistungsfräsen von Superlegierungen

Eric Wiemann. 239 Seiten, 124 Abb., 34 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7082-7

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität durch Anpassungsprogrammplanung

Carsten Franke. 220 Seiten, 82 Abb., 34 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7095-9

Beitrag zur simulationsgestützten Planung von Demontagefabriken für Elektro- und Elektronikaltgeräte

Markus Ciupek. 179 Seiten, 77 Abb., 26 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7112-2

Management von Ingenieurkompetenzen im Spannungsfeld beruflicher Arbeitsteilung

Matthias Patrick Meyer. 180 Seiten, 31 Abb., 7 Tab. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7127-0

Approach of Integrated Order Scheduling and Flexible Resource Planning for Mass Customization

Ingo Lümke mann. 193 Seiten, 38 Abb., 10 Tab. 2006. Kartoni ert. ISBN 3-8167-7223-4

Entwicklung von Hartmetallwerkzeugen für die Mikrozerspannung mit definierter Schneide

Kai Schauer. 178 Seiten, 107 Abb., 15 Tab. 2006. Kartoni ert. ISBN 3-8167-7245-5

Informationssystemische Prozessorganisation mit sozioorientierter Transformation

Dieter Schacher. 163 Seiten, 65 Abb. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7285-9

Eigenschaften und Einsatzverhalten CVD-diamantbeschichteter Hartmetallwerkzeuge

Rouven Kott. 166 Seiten, 84 Abb., 7 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7323-8

Grundlagen und Prozessstrategien der Mikrofunktenerosion für die Bearbeitung von Rotationsbauteilen

Sascha Piltz. 266 Seiten, 139 Abb., 27 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7345-0

Verfahrensgrundlagen und Technologie des Hubschleifens mit viskosen Schleifmedien

Hubert Szulczynski. 175 Seiten, 87 Abb., 13 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7379-5

Modellierung und Analyse verteilter Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme

Chris Biantoro. 174 Seiten, 102 Abb. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7406-8

Beitrag zum Vereinzeln flächiger biegeschlaffer Bauteile

Frank Szimmat. 177 Seiten, 106 Abb., 19 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7424-2

Kompetenzabhängiges Simulationsverfahren zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen

Matthias Strebel. 132 Seiten, 33 Abb., 1 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7432-7

Integriertes Benchmarking für kleine und mittlere Unternehmen

Holger Kohl. 166 Seiten, 41 Abb., 19 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7439-6

Informationsmanagement zur Planung und Verfolgung von Produktlebenszyklen

Holger Jungk. 147 Seiten, 72 Abb., 5 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7461-7

Beitrag zum wirtschaftlichen Betrieb von Recyclingnetzwerken

Monica Vanegas. 174 Seiten, 65 Abb., 41 Tab. 2007. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7558-4

Eine Ontologie-basierte Methode zur Entscheidungsunterstützung in der Produktentwicklung

Hauke Arndt. 193 Seiten, 59 Abb. 2008. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7641-3

Analyse der Effekte beim Trockeneisstrahlen

Mark Claudius Krieg. 144 Seiten, 60 Abb., 27 Tab. 2008. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7625-3

Optimierte Zulieferintegration in der Produktentwicklung durch Ad-hoc-Kooperationswerkzeuge

Hendrik Gärtner. 166 Seiten, 61 Abb. 2008. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7655-0

Zerspanungssimulationen für die Werkzeugkonstruktion und Prozessauslegung beim Fräsen

Alexander Marc Mattes. 169 Seiten, 79 Abb., 20 Tab. 2008. Kartoni ert. ISBN 978-3-8167-7847-9

Aerodynamische Trenn- und Förderprozesse zur Steigerung der Demontageflexibilität bei Automobilkomponenten

Stefano Consiglio. 154 Seiten, 71 Abb., 13 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7955-1

Planung der Wiederverwendung von Elektro(nik)altgeräten

Sebastian Kernbaum. 236 Seiten, 87 Abb., 19 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7966-7

Verfahren zur ad hoc-Modellierung und -Simulation räumlicher Feder-Masse-Systeme für den Einsatz in Virtual Reality-basierten Handhabungssimulationen

Jens Neumann. 226 Seiten, 106 Abb., 27 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7955-1

Beeinflussung des Vorbehandlungszustandes der Substratrandzone durch Trockeneisstrahlen am Beispiel von Klebverbindungen

Adil El Mernissi. 157 Seiten, 72 Abb., 21 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7980-3

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität durch Modularisierung von Produkten

Marco Zettl. 236 Seiten, 65 Abb., 18 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7986-5

Herstellung und Einsatz CVD-diamantbeschichteter Bohrgewindefräser

Jens König. 188 Seiten, 65 Abb., 18 Tab. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0025-2

Akzeptanzförderung bei der Einführung von Wissensmanagement - Ein Methodenbaukasten für kleine und mittlere Unternehmen

Ina Kohl. 178 Seiten, 30 Abb., 13 Tab., 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0050-4

Technisch-wirtschaftliche Bewertung von Flexibilität in Rohbaunebenlinien

Arne Lambertz. 240 Seiten, 164 Abb., 10 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0117-4

Charakterisierung und Auslegung der Grenzschicht PVD-beschichteter Schneidkeramiken.

Tom Hühns. 179 Seiten, 72 Abb., 11 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0132-7

Virtuelle Rekonstruktion von Innenräumen basierend auf Messdaten von Tiefenkameras

Alexander Sabov. 174 Seiten, 86 Abb., 10 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0144-0

Ermittlung, Berechnung und Optimierung des strukturmechanischen Verhaltens am Beispiel von Fräsmaschinen

Carsten Mense. 169 Seiten, 58 Abb., 11 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0156-3

Beitrag zur nachhaltigen industriellen Wertschöpfung durch multiattributive Bewertung von Montageanlagen

Timo Fleschutz. 193 Seiten, 62 Abb., 8 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0171-6

Vorgehensweise für Planung und Betrieb energieeffizienter Produktionssysteme

Nils Weinert. 174 Seiten, 52 Abb., 16 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0173-0

Semantic-Web-Wissensbank für Planungsprozesse bei der Wiederverwendung von Produktionsanlagen

Robert Harms. 210 Seiten, 93 Abb., 11 Tab. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0180-8

Einsatzverhalten genuteter CBN-Schleifscheiben mit keramischer Bindung beim Außenrund-Einstechschleifen

Mathias Kirchgatter. 173 Seiten, 85 Abb., 19 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0211-9

Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Semantik-Web-Wissensbanken

Carsten Reise. 178 Seiten, 61 Abb., 26 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0217-1

Development of an Intellectual Capital-Based Management System for Science Parks
Hamad Al Hashemi. 154 Seiten, 54 Abb., 7 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0218-8

Adaptive physikbasierte Modelle für die interaktive Deformationssimulation in der Virtuellen Realität

Ulrike Völlinger. 222 Seiten, 109 Abb., 25 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0273-7

Beitrag zu verteilten technischen Innovationsprozessen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien

Semih Severengiz. 208 Seiten, 35 Abb., 15 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0232-4

Hybride Interaktionstechniken des immersiven Skizzierens in frühen Phasen der Produktentwicklung

Johann Habakuk Israel. 389 Seiten, 120 Abb., 26 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0330-7

Depth Data based Determination of Gait Parameters of Subjects after Stroke for the Use in Clinical Gait Rehabilitation

Jochen Radmer. 152 Seiten, 84 Abb., 14 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0332-1

Integration von Modellkonzeption und Management der Unternehmensmodellierung

Thomas Knothe. 190 Seiten, 48 Abb., 32 Tab. 2011. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0355-0

Wissensgenerierung in hybriden Leistungsbündeln durch die Virtual Life Cycle Unit

René Gegusch. 184 Seiten, 81 Abb. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0371-0

Strategische Unternehmensentwicklung auf Basis immaterieller Werte in KMU

Markus Will, 219 Seiten, 56 Abb., 31 Tab. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0376-5

Modellbasierte Prozessauslegung des Druckfließlappens am Beispiel keramischer Werkstoffe

Vanja Mihotovic, 166 Seiten, 65 Abb., 5 Tab. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0390-1

Schleifen von Hartmetall- und Vollkeramik-Schaftfräsern

Christoph Hübert, 154 Seiten, viele Abb. und Tab. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0393-2

A haptic control framework for end-effector based gait simulation interfaces and its application in patient-adaptive rehabilitation training

Sami Hussein, 160 Seiten, viele Abb. und Tab. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0464-9

Auditierung von Wissensbilanzen. Eine Methode zur Qualitätssicherung von Bilanzen des Intellektuellen Kapitals

Wen-Huan Wang, 200 Seiten, viele Abb. und Tab. 2012. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0490-8

Einsatzverhalten von PKD und Bor-dotiertem CVD-Diamant bei der Mikrofunktenerosion

Markus Röhner, 224 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0497-7

Effective Motion Design Applied to Energy-Efficient Handling Processes

Tobias Brett, 205 Seiten, 84 Abb. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0511-0

Fortschrittsbewertung von Fabrikplanungsprojekten

Sven Glinitzki, 230 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0520-2

Kompensation der Verlagerung an nachgiebigen Werkzeugmaschinenstellen am Beispiel von Fräsmaschinen für die Mikrobearbeitung

Jörg Eßmann, 164 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0565-3

Approach for Integrating Predictive-Reactive Job Shop Scheduling with PLC-Controlled Material Flow

Azrul Azwan Abdul Rahman, 168 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0622-3

Product-Service Systems Enabling for Sustainable City Mobility

Jialiang Hu, 167 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0632-2

Integration optischer Messtechnik in Ultrapräzisionsmaschinen für die Korrekturbearbeitung beim Drehen mit Slow-Slide-Servo

Martin Kurz, 213 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0630-8

Contribution to efficient water use and reducing environmental impact of wastewater in industry

Chenqing Wang, 213 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0637-7

Patientengerechte Gestaltung computerbasierter Anwendungen in der gerätegestützten, motorischen Therapie nach Schlaganfall

Simone Schmid, 182 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0634-6

Einfluss der Oberflächenstrukturierung und -texturierung eines Kunststoffsubstrats auf die Anhaftung von Zellen

Quang Ut Huynh, 193 Seiten, viele Abb. und Tab. 2013. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0631-5

Modellierung und Simulation des thermischen Verhaltens einer Werkzeugmaschine mit der Finite-Elemente-Methode

Jiangmin Hu, 191 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0660-5

Möglichkeiten und Grenzen des Strahlspanens mittels CO₂ Hochdruckstrahlen

Martin Bilz, 170 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0661-2

Nachhaltige Technologiepfade für unterschiedliche Entwicklungsniveaus

Pia Gausemeier, 247 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0670-4

Enabling sustainable value creation by engineering capacity building

Sadiq Ahmad Muhammad Abd Elall, 161 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0687-2

Verwendung von Traceability-Modellen zur Unterstützung der Entwicklung technischer Systeme.

Grischa Beier, 378 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0681-0

Effiziente Erfassung und Pflege von Traceability-Modellen zur Entwicklung technischer Systeme

Asmus Figge, 311 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0705-3

Steigerung der Wirtschaftlichkeit beim Mikrofräsen durch Schneidkantenpräparation mittels Tauchgleitlappen.

Armin Löwenstein, 222 Seiten, viele Abb. und Tab. 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0652-0

Integrated Engineering of Products and Services

Patrick Müller, 366 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0549-3

Konzeption und Realisierung einer Methode zur templategestützten Systementwicklung

Simon Frederick Königs, 258 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0652-0

Community-Based Design of Process Chains for Manufacturing and Recycling
Steffen Heyer, 189 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0731-2

Werker-Assistenz und -Qualifizierung für manuelle (De-)Montage durch bild- und schrift-gestützte Visualisierung am Arbeitsplatz
Aleksandra Barbara Postawa, 206 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert.
ISBN 978-3-8396-0733-6

Vereinfachung der Systemmontage von metalloptischen IR-Spiegelteleskopen
Sebastian Scheiding, 163 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0774-9

Geschäftsmodelle der Wiederaufbereitung für Hersteller von Originalteilen
Henry Widera, 218 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0820-3

Verfahren zur mechanischen Erzeugung periodischer nanooptischer Strukturen mit monokristallinen Diamantwerkzeugen am Beispiel von Blazegittern
Kurt Haskic, 196 Seiten, viele Abb. und Tab., 2014. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0859-3

Absicherung des Innovationserfolgs unter Berücksichtigung des Open-Innovation-Ansatzes
Manuel Rothe, 184 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0861-6

Steigerung der Nutzungspotenziale von CVD-diamantbeschichteten Werkzeugen
Fiona Sammler, 164 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0906-4

Prozessstrategien beim NC-Formschleifen mit Schleifstiften
Tiago Borsoi Klein, 164 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0943-9

Netzfrie Zerspanungssimulation mit der Finite-Pointset-Methode
Robert Gerstenberger, 164 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0946-0

Untersuchung des Einflusses von Dreh-, Drehfräs-, Glattwalz- sowie Schleifprozessen auf das tribologische Einsatzverhalten von Stahl am Beispiel des Rad-Schiene-Kontakts
Stefan Gebhard, 164 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0955-2

Keramische Schaftfräswerkzeuge für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung von Nickelbasis-Legierungen
Manuel Wacinski, 148 Seiten, viele Abb. und Tab., 2015. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0965-1

Additive Fertigung von Nickelbasis-Superlegierungen mittels Laserstrahlschmelzens am Beispiel von Diamalloy 4004NS.
Kamilla König-Urban, 190 Seiten, viele Abb. und Tab., 2016 Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0978-1

Modellbasierte Prozessoptimierung für das Mikrofräsen.
Frederik Felix Mahr, 234 Seiten, viele Abb. und Tab., 2016 Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0986-6

Angesichts zahlreicher Unbekannter sind frühe Planungsstadien – gleich welcher Disziplin – in der Industrie häufig durch heuristische Vorgehensweisen geprägt. Ein Maß an Transparenz zu gewährleisten, das der strategischen Bedeutung einer langfristigen Planung gerecht wird, ist auf einer solchen Grundlage kaum möglich. Als Gegengewicht zur zunehmenden Volatilität von Prämissen werden durchgängig systematisierte Methoden benötigt, um bereits in der Planung ein wettbewerbsfähiges Effizienzniveau erreichen zu können. Während in der allgemeinen Fabrikplanung bereits große Fortschritte erzielt werden konnten, kann im Teilbereich der quantitativen Betriebsmittelbedarfsplanung diesbezüglich ein Aufholbedarf ausgemacht werden. Auf Basis einer umfassenden Analyse der wissenschaftlichen Theorie sowie der angewandten Praxis wird dieser Aufholbedarf im Rahmen dieses Buches systematisch adressiert. So wird sukzessiv eine generische Planungsmethodik hergeleitet und diese auf exemplarische industrielle Anwendungsfälle übertragen. Es wird gezeigt, dass eine durchgängige und systematisch integrierte Planungsmethodik ein probates Mittel für die Herausforderungen der Industrie darstellt.

ISBN 978-3-8396-0951-4



9

FRAUNHOFER VERLAG