

Marius Indorf

Entwicklung einer Methode zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten



ENTWICKLUNG EINER METHODE ZUR KOOPERATIVEN NUTZUNG VON FERTIGUNGSKAPAZITÄTEN

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von
Marius Indorf

aus
Hamburg

2020

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten
Institut für Logistik und Unternehmensführung
Technische Universität Hamburg

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding
Institut für Produktionsmanagement und -technik
Technische Universität Hamburg

Tag der mündlichen Prüfung: 30.06.2020

GELEITWORT

Die zunehmende Volatilität der Märkte ist ein wesentliches Merkmal der Rahmenbedingungen unternehmerischen Handelns in dieser Zeit. Wie groß diese Schwankungen ausfallen können, hat uns die Corona-Krise gerade schmerzlich vor Augen geführt. Viel häufiger kommen im Unternehmensalltag jedoch kurzfristige Schwankungen vor, die zu wechselnden Kapazitätsbedarfen und damit zu einer Über- oder Unterauslastung der vorhandenen Fertigungskapazität führen. Es liegt also nahe, einen unternehmensübergreifenden Ausgleich der Kapazitätssituation anzustreben. Die fortschreitende Implementierung von Industrie 4.0 lässt im Hinblick auf diese Fragestellung erwarten, dass der angestrebte Kapazitätsausgleich durch die verbesserten Möglichkeiten zum Austausch von Daten und die steigende Flexibilität in den Produktionsbereichen vereinfacht bzw. überhaupt erst ermöglicht wird. Allerdings müssen hierzu nicht nur methodische Vorgehensweisen erarbeitet, sondern auch die erforderlichen Voraussetzungen definiert und geschaffen werden.

Genau in diesem Forschungsfeld ist die vorliegende Dissertation von Herrn Marius Indorf zum Thema „Entwicklung einer Methode zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten“ angesiedelt. Die von ihm entwickelte Methode soll Unternehmen dabei unterstützen, nicht genutzte Kapazitäten automatisiert anzubieten bzw. zusätzlich benötigte Kapazitäten nachzufragen. Die übergeordnete Forschungsfrage lautet: „Wie kann die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten bei Unter- bzw. Überbelastung im Kontext von Industrie 4.0 effizienter und effektiver gestaltet werden?“

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage ist die vorliegende Untersuchung in insgesamt acht Kapitel strukturiert, die zunächst sehr systematisch die theoretischen Grundlagen sowie den wissenschaftlichen und praktischen State-of-the-Art behandeln. Auf dieser Grundlage wird ein umfassendes, methodisch neuartiges Konzept zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten entwickelt und erfolgreich evaluiert.

Zum Stand der Forschung wird eine umfangreiche Literaturanalyse durchgeführt, mit deren Hilfe zunächst sehr systematisch übergeordnete Konzepte wie „Distributed Manufacturing“, „Manufacturing Grid“ oder „Cloud Manufacturing“ identifiziert werden. Im Anschluss an die inhaltliche Abgrenzung dieser Konzepte werden die zugrundeliegenden methodischen Ansätze mithilfe einer strukturierten Literaturanalyse ermittelt. Methodisch betritt der Verfasser insofern an dieser Stelle Neuland, als er in dieses Verfahren eine auf Text Mining gestützte Identifikation von Literaturclustern einführt. Im weiteren Verlauf werden insgesamt 33 zu differenzierende Ansätze identifiziert und mit dem Fokus der vorliegenden Arbeit verglichen. Insgesamt gelingt dem Verfasser mit der strukturierten Literaturanalyse eine exzellente Systematisierung des Forschungsfelds, die sehr hilfreiche Hinweise zur Konzeption eines eigenen Lösungsansatzes liefert.

Methodisch innovativ ist auch die Analyse des aktuellen Stands der Praxis zu der in der Dissertation betrachteten Thematik. Im Rahmen einer Vorstudie werden mithilfe einer semi-strukturierten Webrecherche die in diesem Feld von Unternehmen nutzbaren Plattformen bzw. Websites identifiziert. Diese werden in die drei Gruppen „Kontaktbörsen“, „Webshops“ sowie „Auftrags- und Kapazitätsbörsen“ eingeteilt und geordnet nach dem betrachteten

Technologiespektrum und der gewährten Prozessunterstützung übersichtlich dargestellt. Die folgende Detailstudie analysiert Nutzer und Kooperationsgegenstände von Auftrags- und Kapazitätsbörsen am Beispiel der Börse „Techpilot“ mithilfe von Web Content Mining. Insgesamt konnten auf diesem Wege Datensätze von mehr als 10.000 Unternehmen gewonnen werden. Die Ergebnisse liefern Aussagen hinsichtlich der Unternehmensgrößen, der Beziehungen zwischen den Branchen sowie der Fertigungsbereiche, Fertigungstechnologien und Werkstoffe. Im Ergebnis gelingt dem Verfasser eine sehr eindrucksvolle Aufarbeitung des Angebots- und Anwendungsstands der Praxis, die eine bislang nicht vorliegende Transparenz zum betrachteten Forschungsfeld schafft.

Aufbauend auf den reichhaltigen Erkenntnissen der wissenschaftlichen und praktischen Analyse richtet sich der Blick auf die Entwicklung und Ausgestaltung eines Methodenkonzpts zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten. Dieses methodische Gesamtkonzept stützt sich auf die mithilfe von 21 Experteninterviews gewonnenen Anforderungen und wird in die folgenden fünf Module strukturiert: „Initialisierung“ (Modul A), „Anbahnung und Konfiguration“ (Modul B), „Bedarfsidentifikation“ (Modul C), „Anfrage und Verhandlung“ (Modul D) sowie „Bewertung und Beauftragung“ (Modul E). Jedes dieser Module wird sorgfältig mit methodischen Ansätzen hinterlegt. Die übersichtliche Darstellung verdeutlicht einerseits die hohe Komplexität von Problem und Lösung, zeigt andererseits aber auch, dass diese durch eine strukturierte Vorgehensweise beherrschbar wird.

Im Rahmen einer sorgfältig durchgeführten Verifikation und Validierung werden sowohl die Gesamtmethodik als auch die einzelnen Module bestätigt. Zudem kann aufgezeigt werden, dass der Koordinationsmechanismus den Anforderungen entspricht und sich ein positiver Einfluss auf Logistikleistung und -kosten ergibt.

Herrn Marius Indorf gelingt mit seiner Dissertation die absolut überzeugende Entwicklung einer Methode zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten. Beeindruckend ist nicht nur das umfangreiche, gut strukturierte Gesamtkonzept und die konkrete Ausarbeitung sämtlicher Methodenbausteine, sondern auch die konkrete Verankerung hinsichtlich der Anforderungen aus der Praxis. Gerade diese ist ein Schlüsselkriterium für die praktische Nutzbarkeit der Ergebnisse der Dissertation. Bestechend ist auch die Breite und Tiefe der Anwendung methodischer Ansätze in der Dissertation. Diese reichen von Experteninterviews und Fokusgruppen, über Web-Analysen und Text Mining bis hin zu Simulationsstudien. Diese Breite der Methodik ist außergewöhnlich und bewegt sich dennoch jeweils auf dem State of the Art.

Vor diesem Hintergrund sei die vorliegende Dissertation sowohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als auch Praktikerinnen und Praktikern uneingeschränkt zur Lektüre empfohlen. Beide Gruppen können mit Sicherheit mannigfaltigen Erkenntnisgewinn aus dieser Arbeit für eine zukunftsorientierte kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten im Rahmen der Industrie 4.0 schöpfen.

Hamburg, Dezember 2020

Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen	2
1.3 Abgrenzung und Struktur der Arbeit	3
2 Theoretische Grundlagen	8
2.1 Supply Chain Management und Logistik	8
2.1.1 Begriffe und Grundkonzepte	8
2.1.2 Ziele und Aufgaben	11
2.1.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	12
2.2 Kapazitätsmanagement	14
2.2.1 Begriffe und Grundkonzepte	15
2.2.2 Ziele und Maßnahmen	17
2.2.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	19
2.3 Digitale Transformation und Industrie 4.0	20
2.3.1 Begriffe und Grundkonzepte	21
2.3.2 Abgrenzung des Anwendungsszenarios	24
3 Stand der Forschung	27
3.1 Analyse übergeordneter Konzepte	27
3.1.1 Relevanz und zeitliche Entwicklung	27
3.1.2 Charakterisierung ausgewählter übergeordneter Konzepte	30
3.2 Analyse bestehender Ansätze mittels strukturierter Literaturanalyse	34
3.2.1 Methodischer Überblick und Vorgehensweise	35
3.2.2 Datenerhebung und -auswertung	37
3.2.3 Ergebnisse	42
3.3 Diskussion und Kernerkenntnisse	55
4 Stand der Praxis	57
4.1 Konzeption der Praxisanalyse	57

4.2	Vorstudie – Analyse vorhandener Lösungen mittels semi-strukturierter Webrecherche	58
4.3	Detailstudie – Analyse des aktuellen Stands mittels Web Content Mining	61
4.3.1	Methodischer Überblick und Vorgehensweise	61
4.3.2	Datenerhebung und -auswertung	63
4.3.3	Ergebnisse	65
4.4	Diskussion und Kernerkenntnisse	72
5	Methodenkonzept	74
5.1	Analyse der Rahmenbedingungen mittels Experteninterviews	74
5.1.1	Methodischer Überblick und Vorgehensweise	75
5.1.2	Datenerhebung und -auswertung	77
5.1.3	Ergebnisse	81
5.2	Vorgaben für die Methodenausgestaltung	93
5.3	Spezifikation der Anwendung	94
5.4	Entwicklung des Grobkonzepts	97
5.4.1	Bestimmung relevanter Einflussfaktoren	98
5.4.2	Ableitung der Methodenarchitektur	102
5.4.3	Inhalt und Abgrenzung der Module	103
6	Methodenentwicklung	106
6.1	Modul A – Initialisierung	107
6.1.1	Identifikation und Bewertung geeigneter Produkte und Teile	108
6.1.2	Identifikation geeigneter Fertigungs- und Montageverfahren	110
6.2	Modul B – Anbahnung und Konfiguration	111
6.2.1	Produktbezogene Identifikation und grundsätzliche Partnerauswahl	112
6.2.2	Prozessbezogene Identifikation und grundsätzliche Partnerauswahl	112
6.2.3	Bedarfsorientierte Auswahl der Partner	113
6.3	Modul C – Bedarfsidentifikation	113
6.3.1	Einführung der Reichweite als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation	114
6.3.2	Ableitung der situativen Kooperationsbereitschaft	117
6.3.3	Analyse der Voraussetzungen für eine aktive Kooperation	121
6.4	Modul D – Anfrage und Verhandlung	123
6.4.1	Agentenbasierte Modellierung und Simulation als Basis	123

6.4.2	Ableitung eines geeigneten Koordinationsmechanismus.....	127
6.4.3	Simulationsbasierte Validierung des abgeleiteten Koordinationsmechanismus	131
6.5	Modul E – Bewertung und Beauftragung	137
6.5.1	Bewertung aus Perspektive des Auftraggebers.....	138
6.5.2	Bewertung aus Perspektive des Auftragnehmers.....	140
6.6	Gesamtübersicht	140
7	Evaluation der Methode	142
7.1	Verifikation	142
7.2	Validierung	144
7.2.1	Teil 1 – Validierung mittels Fokusgruppen	144
7.2.2	Teil 2 – Validierung mittels Demonstrator.....	146
7.3	Kritische Würdigung der Ergebnisse.....	150
8	Schlussbetrachtung.....	152
8.1	Zusammenfassung.....	152
8.2	Limitationen und Ausblick.....	153
	Anhang.....	XIV
	Literaturverzeichnis.....	XL

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	4
Abbildung 2: Struktur der vorliegenden Arbeit	7
Abbildung 3: Modell eines Wertschöpfungsnetzwerks mit integrierten Supply Chains	9
Abbildung 4: Planungsaufgaben der Logistik.....	11
Abbildung 5: Mögliche Richtungen unternehmensübergreifender Kooperation.....	13
Abbildung 6: Kapazitäts- und Belastungsprofil	16
Abbildung 7: Analyse des Kapazitäts- und Belastungsprofils.....	17
Abbildung 8: Zielgrößen der Logistikleistung und Logistikkosten.....	18
Abbildung 9: Kapazitätsflexibilität in wandelbaren Produktionsnetzen	19
Abbildung 10: Rahmenwerk für die Industrie 4.0	23
Abbildung 11: Anwendungsszenarien der Industrie 4.0.....	24
Abbildung 12: Entwicklungsstufen hin zu einer auftragsgesteuerten Produktion	26
Abbildung 13: Anzahl wissenschaftlicher Publikationen je Konzept und Jahr	29
Abbildung 14: Ablauf der strukturierten Literaturanalyse	37
Abbildung 15: Suchbegriffe und Suchanfragen der strukturierten Literaturrecherche	39
Abbildung 16: Einträge und Schnittmengen der Datenbanken.....	40
Abbildung 17: Filterstufen der strukturierten Literaturanalyse	41
Abbildung 18: Anzahl relevanter Publikationen nach Jahr	43
Abbildung 19: Gegenüberstellung von Hauptfachbereich und -methode	44
Abbildung 20: Durch Text Mining identifizierte Literaturcluster	46
Abbildung 21: Systematisierung von Forschungsarbeiten zur kooperativen Nutzung von Fertigungsressourcen	49
Abbildung 22: Aufbau der Praxisanalyse	57
Abbildung 23: Ausgewählte elektronische Plattformen zur Unterstützung der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit	59
Abbildung 24: Ablauf des Web Content Mining	64
Abbildung 25: Mitarbeiter und Umsatz der Kapazität anbietenden Unternehmen	65
Abbildung 26: Beziehungen zwischen den angegebenen Zielbranchen	67
Abbildung 27: a) Anzahl der durch die Kapazitätsanbieter angegebenen Fertigungsbereiche, b) Durch die Kapazitätsanbieter angegebene Fertigungsbereiche	68
Abbildung 28: Durch die Kapazitätsanbieter ausgewählte Fertigungstechnologien (Top 20) und deren Zuordnung zu einem Fertigungsbereich	69
Abbildung 29: a) Anzahl der durch die Kapazitätsanbieter angegebenen Werkstoffkategorien, b) Durch die Kapazitätsanbieter angegebene Werkstoffkategorien.....	70
Abbildung 30: Durch die Kapazitätsanbieter ausgewählte Werkstoffe (Top 20) und deren Zuordnung zu einer Werkstoffkategorie	71
Abbildung 31: Vorgehensweise zur Herleitung des Methodenkonzepts.....	74
Abbildung 32: Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse.....	79

Abbildung 33: Defizite von Auftrags- und Kapazitätsbörsen aus Nutzersicht	82
Abbildung 34: Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten	86
Abbildung 35: Anforderungen an die zu entwickelnde Methode	90
Abbildung 36: Vorgaben für die Methodenausgestaltung	93
Abbildung 37: Kooperationsstufen der übergreifenden Nutzung von Ressourcen	94
Abbildung 38: Produkt- und prozessbezogene Kooperation	95
Abbildung 39: Funktionsskizze der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten	96
Abbildung 40: Vorgehensweise zur Entwicklung des Grobkonzepts	97
Abbildung 41: Relevante Einflussfaktoren der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten	98
Abbildung 42: Phasenmodell und abgeleitete Methodenarchitektur	102
Abbildung 43: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Modulen	104
Abbildung 44: Gesamtstruktur der Methode	106
Abbildung 45: Bestimmung des Anwendungsfalls	107
Abbildung 46: Schema für die Bewertung der Eignung anhand eines beispielhaften Produktprofils	109
Abbildung 47: Eignungsmatrix für beispielhafte Produkte und Teile	110
Abbildung 48: Selektion der Kooperationspartner	111
Abbildung 49: Reichweite als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation	116
Abbildung 50: Akzeptables Höchstgebot des Auftraggebers in Abhängigkeit der Reichweite	118
Abbildung 51: Akzeptables Mindestgebot des Auftragnehmers in Abhängigkeit der Reichweite	120
Abbildung 52: Beispielkonstellation für eine aktive Kooperation	121
Abbildung 53: Sequenzdiagramm des entwickelten Koordinationsmechanismus	130
Abbildung 54: Auszug aus den Ergebnissen der 32 Simulationsexperimente	135
Abbildung 55: Normierte Haupteffekte und 2-Faktor-Wechselwirkungen	136
Abbildung 56: Checkliste zur Prüfung der logistischen Durchführbarkeit	138
Abbildung 57: Analytischer Hierarchieprozess zur Bewertung der Alternativen	139
Abbildung 58: Erweiterte Gesamtstruktur der Methode	141
Abbildung 59: Verifikation der entwickelten Methode	142
Abbildung 60: Evaluationsergebnis der qualitativen Methodenbestandteile	145
Abbildung 61: Szenarien der Simulationsstudie	146
Abbildung 62: Beispielhafte Nachfrage zweier Kunden unterschiedlicher Unternehmen	147
Abbildung 63: Screenshots des simulationsbasierten Demonstrators	148
Abbildung 64: Logistische Zielgrößen für Szenario 1 und 2 im Vergleich	149

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Verwendete Suchanfragen und resultierende Treffer.....	28
Tabelle 2:	Übersicht über die Teilnehmer der Interviewstudie	77
Tabelle 3:	Checkliste der internen Studiengüte	80
Tabelle 4:	Beispielhafte Auslöser einer Unter- bzw. Überbelastung der Kapazitäten	114
Tabelle 5:	Auktionstypen und ihre wichtigsten Charakteristika	128
Tabelle 6:	Klassifizierung der Variablen	132
Tabelle 7:	Faktorstufen der Simulationsexperimente.....	132
Tabelle 8:	Versuchsplan für das 2 ⁵ -Faktor-Design	133
Tabelle 9:	Mittelwert und Variationskoeffizient in Abhängigkeit der Simulationsläufe	134
Tabelle 10:	Inputparameter für den simulationsbasierten Demonstrator.....	148

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Anforderung
AGP	Auftragsgesteuerte Produktion
AHP	Analytic Hierarchy Process (dt. Analytischer Hierarchieprozess)
ANOVA	Analysis of Variance
ATR	Automatic Term Recognition
B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAD	Computer-aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
CPS	Cyber-physisches System
D	Defizit
dt.	deutsch
eng.	englisch
FMCG	Fast Moving Consumer Goods
H	Hindernis
HTML	Hypertext Markup Language
IoT	Internet of Things (dt. Internet der Dinge)
KE	Kernerkenntnis
KMU	kleines oder mittleres Unternehmen
o. S.	ohne Seite
OEM	Original Equipment Manufacturer
MAS	Multi-Agenten-System
n/s	nicht spezifiziert
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RT	Retrograde Terminierung
SCM	Supply Chain Management
SCD	Supply Chain Design
SCP	Supply Chain Planning
SCE	Supply Chain Execution
SCMo	Supply Chain Monitoring
SOA	Service-orientierte Architektur
Std.	Stunde
Stk.	Stück
TEMA	Technik und Management
TF-IDF	Term Frequency Inverse-Document Frequency
tsd.	tausend
V	Vorgabe
XPath	XML Path Language
XML	Extensible Markup Language

SYMBOLVERZEICHNIS

%	Prozent
AB	Auftragsbestand
AB _{RW}	Auftragsbestand zur Reichweite
AT	Anzahl der Teile im Auftrag
AZ	Auszahlung
c _v	Variationskoeffizient
df	Degrees of Freedom (Freiheitsgrade)
GE	Geldeinheiten
HG	Höchstgebot
HG _{max}	maximales Höchstgebot
HG _{min}	minimales Höchstgebot
HG _{RW}	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite
HG _{RW} ^r	Höchstgebot zur aktuellen Reichweite (resultierend)
HG _{RW} ⁱ	Höchstgebot zur reduzierten Reichweite nach Fremdvergabe von Teil i
HG _{RW} ^k	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert)
i	Zählvariable
K	Konkavität der Präferenz
KAP	Kapazität
Ku	Kundenagent
Ko	Koordinationsagent
L	Leistung
μ	arithmetisches Mittel
M	Maschinenagent
MG	Mindestgebot
MG _{max}	maximales Mindestgebot
MG _{min}	minimales Mindestgebot
MG _{RW}	Mindestgebot in Abhängigkeit der Reichweite
MG _{RW} ^r	Mindestgebot zur aktuellen Reichweite (resultierend)
MG _{RW} ⁱ	Mindestgebot zur reduzierten Reichweite nach Fremdvergabe von Teil i
MG _{RW} ^k	Mindestgebot in Abhängigkeit der Reichweite (korrigiert)
MP	Marktpreis
O	Operatoragent
Phi	Effektstärke
RW	Reichweite
RW _{akt}	aktuelle Reichweite
RW _{akt} ^r	aktuelle Reichweite (resultierend)
RW _{max}	maximale Reichweite
RW _{opt}	optimale Reichweite
RW _{opt} ^o	optimale Reichweite obere Grenze
RW _{opt} ^u	optimale Reichweite untere Grenze
s	Standardabweichung
χ ²	Chi-Quadrat
ZE	Zeiteinheiten

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Das verarbeitende Gewerbe zählt zu den bedeutendsten Wirtschaftszweigen der deutschen Volkswirtschaft. Mit einem Umsatz von rund 1.800 Mrd. EUR und 6,2 Mio. Beschäftigten in 2016 (vgl. Statistisches Bundesamt 2017, S. 543) tragen die hierin tätigen Betriebe wesentlich zum Wohlstand der Gesellschaft bei. Das verarbeitende Gewerbe ist, wie viele andere deutsche Wirtschaftszeige ebenfalls, mit einem Anteil von 97,4 % überwiegend von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägt (vgl. Statistisches Bundesamt 2017, S. 520). Für den wirtschaftlichen Erfolg dieser Unternehmen ist es entscheidend, dass sie ihre kapitalintensiven Fertigungsressourcen möglichst hoch und gleichmäßig auslasten. Gleichzeitig müssen jedoch intern kurze und stabile Durchlaufzeiten eingehalten werden, um extern kurze Lieferzeiten und eine hohe Liefertermintreue für die Kunden realisieren zu können. Vor diesem Hintergrund gelingt es beispielsweise dem deutschen Maschinenbau als Vertreter des verarbeitenden Gewerbes, langfristig eine mittlere Kapazitätsauslastung von 85,9 % zu erzielen (vgl. VDMA 2018, S. 10).

Eine weit größere Herausforderung besteht für die Unternehmen jedoch darin, auch kurzfristig Kapazität und Nachfrage aufeinander abzustimmen. In diesem Zusammenhang geben 85,8 % der Teilnehmer einer empirischen Studie an, mindestens gelegentlich von einer Unter- oder Überbelastung ihrer Maschinen betroffen zu sein und schätzen diese am häufigsten auf einen Umfang von 21 bis 30 % (vgl. Dörries 2017, S. 58 f.). Auf der Nachfrageseite können beispielsweise spontane Zusatzaufträge die Flexibilität der Produktion übersteigen oder ein Maschinenausfall kann auf der Kapazitätsseite einen kritischen Engpass erzeugen. Verstärkend kommt hinzu, dass viele Unternehmen aufgrund des zunehmend globalen Wettbewerbs gezwungen sind, Produktlebenszyklen zu kürzen und die Produktvielfalt zu erhöhen (vgl. Merschmann/Thonemann 2011, S. 43). Diese Entwicklung induziert eine zusätzliche Dynamik in das Spannungsfeld aus wirtschaftlichem Betrieb einerseits und kundengerechter Leistung andererseits. Es überrascht deshalb nicht, dass in einer Befragung des verarbeitenden Gewerbes etwa zwei Drittel der Teilnehmer (67,3 %) einer schwankenden Kundennachfrage eine hohe bis sehr hohe Relevanz für ihr Unternehmen zuschreiben. Gleichzeitig attestiert etwa die Hälfte der Teilnehmer (48,4 %) ihrem Unternehmen höchstens eine mittelmäßige Fähigkeit, mit dieser Herausforderung umzugehen (vgl. Kersten et al. 2017)¹ und bekräftigt damit deren Relevanz.

Eine sehr wirksame Maßnahme zur Abstimmung des Kapazitätsangebots auf die Kapazitätsnachfrage ist die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungsressourcen (vgl. Mahjoub/Hennet 2013, S. 3568). Hierdurch können kurzfristig entweder zusätzliche Kapazitäten akquiriert oder freie Kapazitäten an andere Unternehmen verkauft werden. Dies

¹ Die Erhebung der Daten fand im Rahmen der Studie „Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management – Chancen der digitalen Transformation“ in 2016 statt. Die Auswertung erfolgte spezifisch für die vorliegende Arbeit (Verarbeitendes Gewerbe: n = 159).

schafft die Voraussetzungen dafür, spontane Zusatzaufträge rechtzeitig liefern bzw. vorhandene Kapazitäten besser auslasten zu können. Vor dem Hintergrund sich schnell verändernder Marktbedingungen lassen sich so die Wettbewerbsfähigkeit des einzelnen Unternehmens steigern und gleichzeitig seine Kosten reduzieren (vgl. Archimede et al. 2014, S. 1077 f.). Unter den befragten Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes misst fast die Hälfte (39,0 %) der unternehmensübergreifenden Nutzung von Kapazitäten eine große bis sehr große Relevanz bei. Eine umfassende Umsetzung dieser Maßnahme kann jedoch lediglich ein Bruchteil (4,4 %) für sich in Anspruch nehmen (vgl. Kersten et al. 2017), woraus sich weiterer Handlungsbedarf ergibt.

Die aktuelle Entwicklung im Zuge einer digitalen Transformation der Unternehmen schafft neue Möglichkeiten, die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in Produktions- und Logistiknetzwerken zu verbessern (vgl. Becker/Kück/Hardemann 2015, S. 25). Die Vision einer Industrie 4.0, in der Cyber-Physische Systeme und leistungsstarke Cloud Services die unternehmensübergreifende Kooperation unterstützen und sich ausgerichtet am momentanen Bedarf ad-hoc Wertschöpfungsnetzwerke konfigurieren lassen, rückt damit immer näher (vgl. Freitag/Lappe 2015, S. 41). Die Zurverfügungstellung und Nutzung von Fertigungs- und/oder Transportressourcen über die Grenzen einer Wertschöpfungskette hinweg kann im Zuge dieser Entwicklung zur gängigen Praxis avancieren (vgl. Kusiak 2017, S. 8). Erwartungsgemäß stimmen deshalb etwa drei Viertel der Befragten der Aussage zu, dass die Digitalisierung die übergreifende Nutzung von Ressourcen vereinfacht (vgl. Kersten et al. 2017). KMU können von einer solchen Entwicklung insbesondere profitieren, indem sie sich in leistungsfähigen Kooperationen zusammenschließen, ohne ihre Selbstbestimmtheit zu verlieren.

Bevor eine solche Vision jedoch Realität werden kann, muss zunächst die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungsressourcen zur Abfederung von Unter- und Überkapazitäten als Zwischenschritt breiten Einzug in die Praxis halten. In dieser Entwicklungsstufe geht es zunächst um Situationen, in denen die Unternehmen ihre Maschinen entweder zu wenig auslasten oder sich Arbeit anstaut. Der Fokus liegt damit vor allem auf Aufträgen, die entweder zusätzlich (Unterbelastung) oder nicht wie geplant (Überbelastung) bearbeitet werden können. Folglich ist es von besonderem Interesse, wie die Verteilung von Aufträgen in solchen Situationen über die Unternehmensgrenzen hinweg effizient und effektiv verlaufen kann. Gleichzeitig müssen die technischen und organisatorischen Voraussetzungen einer solchen Verteilung Berücksichtigung finden. Derzeit wird dieses Vorgehen, wie bereits oben dargestellt, lediglich partiell und sehr selektiv eingesetzt, sodass viel Potenzial ungenutzt bleibt. Dieser Problemstellung widmet sich die vorliegende Arbeit.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur kooperativen Nutzung freier Fertigungskapazitäten. Die Methode soll Unternehmen dabei unterstützen, nicht genutzte Kapazitäten automatisiert anzubieten und/oder zusätzlich benötigte Kapazitäten nachzufragen. Somit soll die zu erarbeitende Lösung die Unternehmen in die Lage versetzen, ihre

Wertschöpfungsstrukturen besser an sich wandelnde Markt- und Auftragsbedingungen anzupassen. Insbesondere KMU können hiervon profitieren und durch die Anwendung die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungsressourcen als wichtige Maßnahme zur Abstimmung von Kapazitätsangebot und -bedarf systematisch sowie mit geringem Aufwand einsetzen.

In Anbetracht der festgelegten Zielsetzung liegt der vorliegenden Arbeit folgende Hauptforschungsfrage zugrunde:

F₀: Wie kann die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten bei Unter- bzw. Überbelastung im Kontext von Industrie 4.0 effizienter und effektiver gestaltet werden?

Um diese weitreichende Fragestellung zu beantworten, sind zunächst geeignete Unterfragen zu definieren. Deren Beantwortung erlaubt wichtige Rückschlüsse und ermöglicht letztendlich die Klärung der Hauptforschungsfrage. Zu diesem Zweck widmet sich die vorliegende Arbeit insbesondere den folgenden Fragen:

F₁: Welche Ansätze zur unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten existieren bereits in der *Theorie*?

F₂: Welche Lösungen zur unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten finden sich bereits heute in der *Praxis*?

F₃: Welche *Anforderungen* werden von Unternehmen an eine Methode zur unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten gestellt?

F₄: Welche *Einflussfaktoren* sind bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten auf welche Weise zu berücksichtigen?

F₅: Wie sollte eine *Methode* zur dezentralen und unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten gestaltet sein, sodass der Prozess möglichst automatisiert ablaufen kann?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen bedarf es eines forschungsmethodischen Rahmens sowie einer geeigneten Struktur der Arbeit. Beides erläutert der nachstehende Abschnitt.

1.3 Abgrenzung und Struktur der Arbeit

Für eine zielgerichtete Bearbeitung ist eine präzise Abgrenzung der untersuchten Problemstellung gegenüber ähnlichen und verwandten Forschungsbereichen zwingend erforderlich. Dies hilft insbesondere bei der Festlegung des Anwendungs- bzw. Geltungsbereichs der zu erarbeitenden Methode. Konkret erfolgt die Abgrenzung der Arbeit über die Bereiche *Zielgruppe*, *Betrachtung* und *Ansatz*, die jeweils mehrere Merkmale mit entsprechenden Merkmalsausprägungen umfassen. Die einzelnen für die Arbeit zutreffenden Merkmalsausprägungen sind in Abbildung 1 grau hervorgehoben.

	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Zielgruppe	Unternehmensbereich ¹	Forschung und Entwicklung	Finanzen	Marketing und Vertrieb	Beschaffung	Supply Chain Management	Produktion
	Geschäftsprozess ²	Innovation	Produktplanung	Produktentwicklung	Distribution	Service	Auftragsabwicklung
	Planungshorizont ³	strategisch		taktisch	operativ		
	Auftragsstrategien ⁴	Lagerfertigung	Variantenmontage	Auftragsfertigung		kundenspezifische Einmalfertigung	
Betrachtung	Leistungsobjekt/Hauptprodukte ⁵	Dienstleistungen			Erzeugnisse		
	Wiederholungsgrad (Repetitionstyp) ⁵	Massenproduktion		Serienproduktion		Einzelproduktion/Projektproduktion	
	Produktionsverfahren ⁵	biologisch	chemisch	elektronisch	kalorisch	mechanisch	
	Vergenz/ Struktur des Materialflusses ⁵	umgruppierend	divergierend	konvergierend	durchgängig		
	Prinzip der Ressourcennutzung ⁶	Eigenfertigung		Ressourcenteilung		verlängerte Werkbank	
	Produktionsfaktoren (Elementarfaktoren) ⁷	Arbeitskräfte	Rohstoffe	Hilfsstoffe	Betriebsstoffe	Betriebsmittel	
Ansatz	Modellart ⁸	Beschreibungsmodell		Erklärungsmodell		Entscheidungsunterstützungsmodell	
	Zeitbezug ⁹	statisch			dynamisch		
	Supply Chain Management-Kategorie ¹⁰	funktionsintern		unternehmensweit		unternehmensübergreifend	
	Koordinationsprinzip ²	zentral		hybrid		dezentral	

Abbildung 1: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs (Merkmalsausprägungen in Anlehnung an: ¹Lambert/Cooper/Pagh 1998, S. 2; ²Uygun 2012, S. 9; ³Fleischmann 2008, S. 9; ⁴Wiendahl/Reichardt/Nyhuis 2014, S. 48; ⁵Dyckhoff/Spengler 2007, S. 15 ff.; Küpper 1977, S. 497 f.; ⁶Becker/Kück/Hardemann 2015, S. 27; ⁷Zapfel 2001, S. 17; Corsten/Gössinger 2009, S. 7; ⁸Thommen/Horn 2016; ⁹Ostertag 2008, S. 93; ¹⁰Thonemann/Papier 2008, S. 21)

Aufgrund ihrer Vielzahl werden nur ausgewählte, erklärungsbedürftige Merkmale und deren Ausprägungen im Folgenden näher erläutert. Die detaillierten Erläuterungen der Merkmale und Merkmalsausprägungen finden sich in der angegebenen Literatur.

Der zugrunde gelegte Planungshorizont der Untersuchung entspricht einer *operativen bis taktischen Perspektive* des Supply Chain Managements (SCM), da kapazitive Unter- bzw. Überbelastungen in Zeiträumen von einigen Wochen bis zu mehreren Monaten eine besonders große Herausforderung für die Unternehmen darstellen. Langfristig lässt sich die Kapazität durch die Beschaffung neuer oder Abstoßung bestehender Betriebsmittel wirksam erhöhen bzw. reduzieren. Bei den Auftragsstrategien beschränkt sich die vorliegende Arbeit im Wesentlichen auf Unternehmen, die eine *Auftragsfertigung* oder eine *kundenspezifische Einmalfertigung* verfolgen. Das bedeutet nicht, dass Unternehmen mit einer Lagerfertigung oder einer Variantenmontage nicht ebenfalls Nutzen aus den erarbeiteten Inhalten gewinnen können, sondern dass diese lediglich bei der Ausgestaltung nicht im Zentrum der Überlegungen stehen. Grund hierfür ist, dass bei einer Produktion auf Vorrat kurzfristige Nachfrageschwankungen weniger stark ins Gewicht fallen, da der Lagerbestand als Puffer fungiert.

Als Leistungsobjekt oder auch Hauptprodukt stehen *Erzeugnisse* und keine Dienstleistungen im Zentrum der Betrachtung. Die Akquise zusätzlicher Kapazitäten von anderen bzw. die Zurverfügungstellung freier Kapazitäten an andere Unternehmen kann zwar als Dienstleistung verstanden werden, jedoch stehen Prozesse zur Herstellung materieller Güter im Fokus dieser Arbeit. Immaterielle Services reiner Dienstleistungsunternehmen werden hiervon abgegrenzt. Bei hybriden Gütern, die sowohl materielle als auch immaterielle Bestandteile aufweisen, beschränkt sich die Betrachtung ebenfalls auf die gegenständliche Wertschöpfung.

Grundsätzlich soll die zu entwickelnde Methode einen universellen Charakter aufweisen. Zur Reduzierung der Komplexität liegt das Hauptaugenmerk jedoch auf *kalorischen und mechanischen Produktionsverfahren*, da sie einerseits breite Anwendung finden und andererseits die niedrigsten Hürden bei der Umsetzung erwarten lassen. Durch diese Abgrenzung rücken bestimmte Branchen und Unternehmen in den Fokus, auf die im Verlauf der Arbeit detailliert eingegangen wird. Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal bei der Betrachtung ist die Art der Ressourcennutzung. Im Gegensatz zur Eigenfertigung lassen sich im Kooperationsfall die beiden Prinzipien Ressourcenteilung und verlängerte Werkbank unterscheiden. Bei der Teilung erwerben zwei oder mehr Unternehmen Eigentum an einer gemeinsam genutzten Ressource. Diese Konstellation unterscheidet sich grundlegend von dem Prinzip der *verlängerten Werkbank*, bei dem nur ein Unternehmen die Ressource besitzt und einem oder mehreren anderen zur Verfügung stellt. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf den letzteren Fall, da nur hier die Unternehmen unabhängig voneinander sind und die größte Flexibilität besteht. Besitzen zwei oder mehr Unternehmen gemeinsam eine Ressource, sind sie längerfristig miteinander verbunden und die Allokation der Kapazität unterliegt anderen Voraussetzungen.

Die im Rahmen der Methode entwickelte Modellart lässt sich der Klasse der *Entscheidungsunterstützungsmodelle* zuordnen, da es dem Anwender bei der Erreichung seiner Zielvorstellungen hilft. Charakteristisch ist hierbei die Tatsache, dass die Methode den Entscheidungsraum strukturiert und zur bestmöglichen Abwägung beiträgt.

Nachdem der Betrachtungsrahmen der Arbeit feststeht, soll vor dem Hintergrund der Zielsetzung und der abgeleiteten Forschungsfragen auf die Struktur der Arbeit eingegangen werden. Insgesamt gliedert sich die Untersuchung in acht Kapitel. Beginnend mit dem zweiten Kapitel erfolgt nachstehend die Darlegung ihrer Zusammenhänge sowie zentralen Inhalte.

Das *Kapitel 2* beinhaltet kurze Erläuterungen der theoretischen Grundlagen, die für das weitere Verständnis des Forschungsprozesses und der zu erarbeitenden Lösungsansätze erforderlich sind. Aufgrund der Interdisziplinarität und der damit einhergehenden breiten thematischen Verankerung des betrachteten Themenkomplexes erhebt dieser Abschnitt keinen Anspruch auf eine vollständige Aufbereitung und Wiedergabe aller theoretischen Bezüge. Vielmehr werden ausgewählte Begriffe und Aspekte in den Kontext der vorliegenden Forschungsfragen gestellt. Inhaltlich lassen sich die beschriebenen Aspekte

den Bereichen SCM, Kapazitätsmanagement sowie Digitalisierung und Industrie 4.0 zuzuordnen. Die ausgeführten Inhalte bilden die Basis für die beiden folgenden Kapitel.

Als zentraler Anknüpfungspunkt wird in *Kapitel 3* untersucht, welche Arbeiten zur unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten bereits in der Forschung existieren und inwiefern diese zur Bearbeitung der vorliegenden Problemstellung nutzbar sind. Im Wesentlichen erfolgt dies durch die Identifikation und Abgrenzung bestehender übergeordneter Konzepte sowie durch die Analyse relevanter Ansätze in der Forschung. Das erlangte Verständnis bildet neben den theoretischen Grundlagen die Voraussetzung für das nachstehende Kapitel.

In *Kapitel 4* erfolgt die Erhebung des aktuellen Stands der Praxis und die Identifikation von Potenzialen für die zu entwickelnde Methode. Die empirische Erhebung stützt sich auf eine Vor- und eine Detailstudie. Die Vorstudie untersucht relevante und bereits am Markt verfügbare Werkzeuge und schafft darüber hinaus ein grundsätzliches Verständnis über deren Anwendungsmöglichkeiten. Die Detailstudie erhebt empirische Daten und ermöglicht über deren Auswertung ein tiefgehendes Verständnis über die Nutzung von Auftrags- und Kapazitätsbörsen. Die gewonnenen theoretischen und praktischen Erkenntnisse stellen die Basis für die beiden folgenden Kapitel dar.

Das *Kapitel 5* bildet durch die Ausgestaltung des Methodenkonzepts die Voraussetzung für eine anschließende, zielgerichtete Methodenentwicklung. Aufgrund der komplexen Problemstellung wird auf Basis der Anforderungen im Rahmen eines Grobkonzeptes der Methodeninhalt in mehrere inhaltliche Abschnitte, sog. Module, untergliedert. Neben der Abgrenzung dieser Module zueinander findet in diesem Kapitel eine Skizzierung der jeweiligen Modul Inhalte statt. Das Ergebnis ist der Strukturrahmen für die zu entwickelnde Methode. Weiterhin wird der Anwendungsbereich der Methode spezifiziert.

Ausgehend von der zuvor entwickelten Struktur erfolgt in *Kapitel 6* die inhaltliche Ausgestaltung der Module. Diese umfassen detaillierte Vorgehensweisen und Ansätze zur Umsetzung einer unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten bei Unter- und Überbelastung. Entsprechend stellt dieser Abschnitt das Kernergebnis der Arbeit dar.

In *Kapitel 7* wird die entwickelte Methode hinsichtlich ihres logischen Aufbaus, inhaltlicher Ausgestaltung und ihrer praktischen Anwendbarkeit evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluation werden im Rahmen einer kritischen Würdigung wiedergegeben und diskutiert. Die Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit, die Beschreibung bestehender Limitationen und die Formulierung weiterer Forschungsaktivitäten in Form eines Ausblicks erfolgt abschließend in *Kapitel 8*. Die gesamte Struktur der Arbeit ist in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

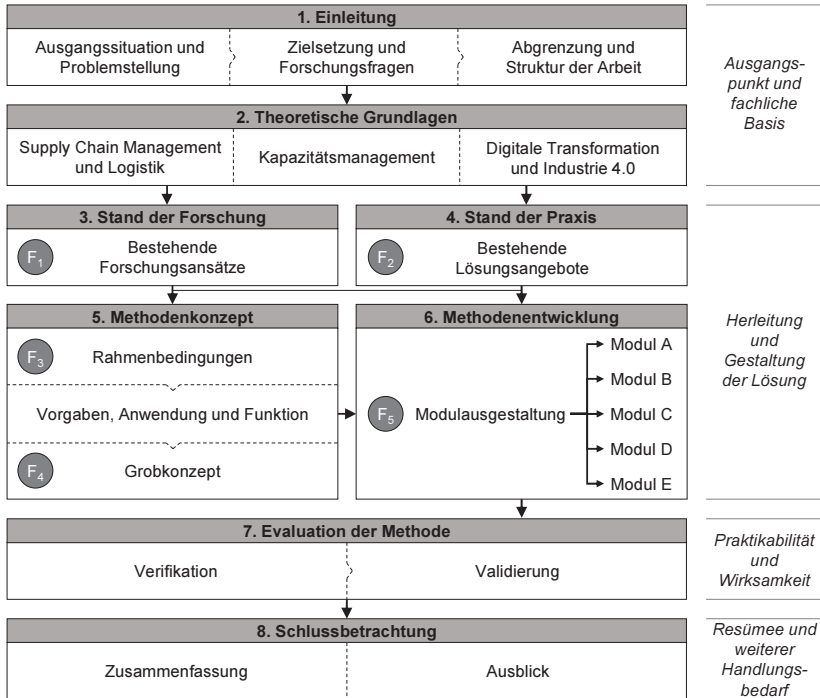


Abbildung 2: Struktur der vorliegenden Arbeit

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Bevor die Arbeit auf die zu beantwortenden Forschungsfragen eingehen kann, sind wesentliche Grundlagen in relevanten Themenfeldern als Basis für das weitere Vorgehen darzulegen. Das vorliegende Kapitel gliedert sich hierzu in drei Abschnitte. Zunächst behandelt Abschnitt 2.1 die erforderlichen Begrifflichkeiten und Zusammenhänge des SCM und der Logistik. Anschließend geht Abschnitt 2.2 analog auf das Kapazitätsmanagement ein. In Abschnitt 2.3 erfolgt eine Verortung der Arbeit im Kontext der digitalen Transformation und Industrie 4.0.

2.1 Supply Chain Management und Logistik

Für die Betrachtung unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozesse liefert das SCM unterschiedliche Ansätze. Auch die Logistik besitzt bei der Herstellung industrieller Erzeugnisse eine Schnittstellenfunktion zwischen den Unternehmen und ist deshalb für die Arbeit von Bedeutung. Abschnitt 2.1.1 erläutert zunächst zentrale Begriffe und grundlegende Konzepte beider Disziplinen. Anschließend geht Abschnitt 2.1.2 auf die hierbei verfolgten Ziele und bestehenden Aufgaben ein. Der letzte Abschnitt 2.1.3 betrachtet in diesem Kontext die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit und legt die begriffliche Basis für den weiteren Verlauf der Arbeit.

2.1.1 Begriffe und Grundkonzepte

Der Begriff *Supply Chain* ist bereits seit Mitte der 1980er Jahre Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten (vgl. Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann 2012, S. 25) und erfährt heute sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis vielfach Verwendung. In der deutschsprachigen Literatur finden sich darüber hinaus Begriffe wie Logistikkette, Lieferkette oder Wertschöpfungskette, die mit ausreichender Näherung als Synonyme aufgefasst werden können (vgl. Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann 2012, S. 25). Getrieben durch die häufige Nutzung und praktische Relevanz finden sich in der Literatur diverse Bestrebungen den Supply Chain-Begriff umfassend zu definieren. Mentzer et al. (2001, S. 4) verstehen unter einer Supply Chain etwa drei oder mehr Organisationen bzw. Individuen, die miteinander bezüglich des Flusses von Produkten, Services, Finanzen und Informationen von einer Quelle bis zu einem Kunden interagieren. Zu einer ähnlichen Charakterisierung gelangen auch Chopra/Meindl (2016, S. 1), indem sie unter dem Begriff alle direkt oder indirekt an der Erfüllung einer Kundennachfrage beteiligten Unternehmen zusammenfassen. In der Definition von Aitken (1998, S. 1 f.) stellt dieser zusätzlich noch den Netzwerkaspekt in den Vordergrund: „A network of connected and interdependent organisations mutually and cooperatively working together to control, manage and improve the flow of materials and information from suppliers to end users.“

Tatsächlich findet die Wertschöpfung häufig eher in netzwerkartigen Strukturen und weniger in streng sequenziellen Gliedern wie bei einer Kette statt, sodass die Bezeichnung Supply Chain irreführend erscheint (vgl. Christopher 2011, S. 3). Diese begriffliche

Unschärfe führt zu einer häufig synonymen Verwendung der beiden Ausdrücke Wertschöpfungsnetzwerk und Supply Chain.

Die vorliegende Arbeit unterscheidet jedoch zwischen diesen beiden Begriffen. Während ein Wertschöpfungsnetzwerk ein vollständiges Abbild aller bei der (direkten) Wertschöpfung beteiligten Partner eines fokalen Unternehmens ist, sind Supply Chains Zusammenschlüsse innerhalb dieses Netzwerks, die für den Endkunden ein bestimmtes Erzeugnis oder eine spezielle Dienstleistung produzieren. Die beteiligten Unternehmen können dabei teilweise auf einer Stufe (eng. Tier) liegen, zeitgleich mehreren Supply Chains angehören oder mit mittelbaren Partnern aus der übernächsten Stufe kooperieren. Abbildung 3 fasst dieses Verständnis des Wertschöpfungsnetzwerks mit integrierten Supply Chains in einer allgemeinen Form bildlich zusammen.

Die Unternehmen eines Wertschöpfungsnetzwerks lassen sich aus Perspektive des fokalen Unternehmens nicht immer eindeutig einer Stufe zuweisen, woraus sich Kritik an dem Stufenmodell ableiten lässt. Grundsätzlich liefert diese Form der Darstellung jedoch ein übersichtliches Abbild der Wertschöpfung und der Beziehungen der Unternehmen zueinander, sodass diese Strukturierungsweise sowohl in der Theorie als auch in der Praxis vielfach Anwendung findet. Im Fall von materiellen Gütern sind neben den wertschöpfenden Unternehmen häufig Logistikdienstleister in den Ablauf der Leistungserstellung involviert. Diese stellen folglich wichtige Bindeglieder zwischen den Stufen der produzierenden Unternehmen eines Wertschöpfungsnetzwerks bzw. einer Supply Chain dar.

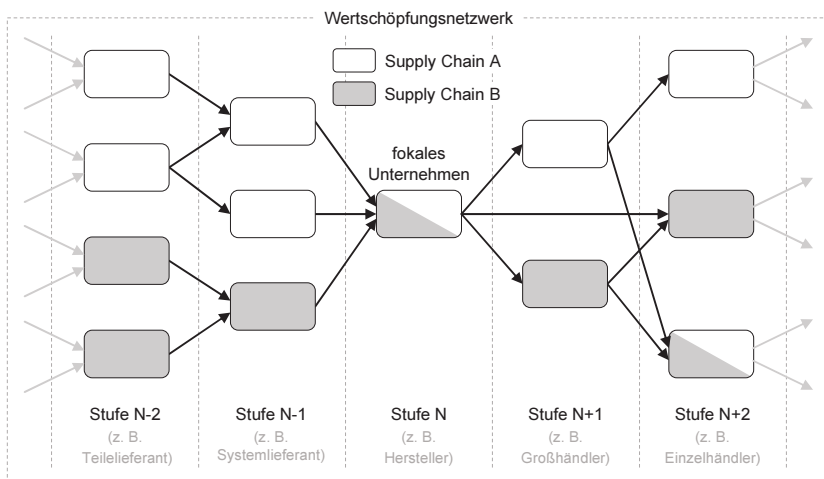


Abbildung 3: Modell eines Wertschöpfungsnetzwerks mit integrierten Supply Chains (auf Basis von Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann 2012, S. 27)

Um die Prozesse innerhalb des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks bzw. innerhalb der einzelnen Supply Chains bestmöglich zu gestalten und aufeinander abzustimmen, bedarf es eines SCM. Dieses nimmt eine übergreifende Perspektive ein und führt die Koordination zwischen den beteiligten Unternehmen durch. Sind diese Bemühungen erfolgreich, lassen sich entscheidende Wettbewerbsvorteile gegenüber konkurrierenden Netzwerken und Supply Chains erzielen. Das SCM als Managementphilosophie besitzt dabei gemäß Mentzer et al. (2001, S. 7) folgende Eigenschaften: Das SCM ...

1. ... verfolgt einen Systemansatz, der die Supply Chain als Ganzes betrachtet und alle Warenflüsse vom Lieferanten zum Endkunden steuert.
2. ... besitzt eine strategische Orientierung bezüglich der kooperativen Anstrengungen, die darauf abzielen, operative und strategische Fähigkeiten innerhalb und zwischen den Unternehmen zu synchronisieren und in einem großen Ganzen zusammenzuführen.
3. ... fokussiert den Kunden und ist darauf ausgerichtet, einzigartigen und individuellen Kundennutzen zu kreieren, der wiederum zu Kundenzufriedenheit führt.

Für Thonemann/Papier (2008, S. 21) besteht der wesentliche Auftrag des SCM in der Koordination aller Aktivitäten entlang der Supply Chain. Als Beispiele nennen sie die Abstimmung von Entwicklungskooperationen mit Lieferanten und das Beziehungsmanagement von Händlern. In der Literatur findet sich darüber hinaus eine Vielzahl an Definitionen für das SCM. Eine Übersicht enthält die Arbeit von Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann (2012, S. 26). Für die vorliegende Untersuchung sei auf die Definition von Christopher (2011, S. 3) verwiesen, dessen Verständnis für den weiteren Verlauf der Arbeit herangezogen wird:

„[SCM is] the management of upstream and downstream relationships with suppliers and customers in order to deliver superior customer value at less cost to the supply chain as a whole“.

Seit der erstmaligen Verwendung des SCM-Begriffs, besteht eine Diskussion über dessen korrekte Abgrenzung zur klassischen Logistik. Beide Termini bezeichnen sowohl einen Managementansatz als auch eine Unternehmensfunktion und widmen sich unternehmensübergreifenden Prozessen. Allgemein beinhaltet die Logistik „die Gestaltung logistischer Systeme sowie die Steuerung der darin ablaufenden logistischen Prozesse“ (Fleischmann 2008, S. 3 f.), was eine Abgrenzung der beiden Begriffe nicht vereinfacht. In diesem Kontext ist die Arbeit von Larson/Poist/Halldórsson (2007, S. 3) hilfreich, die unterschiedliche Sichtweisen auf die Abgrenzung diskutiert. Als Ergebnis identifizieren die Autoren vier Perspektiven. Die „Traditionalisten“ begreifen SCM als Teil der Logistik, während die „Unionisten“ ein reziprokes Verständnis besitzen. Für die „Umetikettierer“ löst das SCM die Logistik ab und für die „Intersektionisten“ haben beide Begriffe eine Schnittmenge. Die vorliegende Arbeit folgt dem Verständnis der Unionisten, das Logistik als Bestandteil des SCM begreift.

2.1.2 Ziele und Aufgaben

Für das SCM besteht das übergeordnete Ziel darin, die Kundenwünsche in bestmöglicher Art zu befriedigen und unterdessen das Wertschöpfungsnetzwerk hinsichtlich Beständen, Ressourcen und Prozessen optimal zu steuern (vgl. Hellingrath et al. 2008, S. 460). Darüber hinaus werden dem SCM eine Verbesserung hinsichtlich der unternehmensübergreifenden Produktionssteuerung und Kapazitätsplanung, eine schnelle Anpassung an sich verändernde Marktbedingungen sowie die Vermeidung von Lieferengpässen als Ziele gesetzt (vgl. Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann 2012, S. 26).

Für die Logistik fassen die „7 R“ die verfolgten Ziele aus einer operativen Sichtweise treffend zusammen: das richtige Produkt, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten (vgl. Shapiro/Heskett 1985, S. 6). Die Ausrichtung der Aktivitäten anhand dieser Prämissen führt – wie beim SCM – zu einer optimalen Befriedigung der Kundenwünsche.

Entsprechend schwierig stellt sich, wie bereits in Abschnitt 2.1.1 diskutiert, die Abgrenzung der Zielstellungen der beiden Disziplinen dar. Vor dem Hintergrund einer unionistischen Sichtweise wird deshalb auf eine weitere diesbezügliche Diskussion verzichtet. Neben der tatsächlichen Durchführung von Transport- und Umschlagsarbeiten besteht ein wesentliches Aufgabengebiet der Logistik in der Planung der Leistungserstellung. Abbildung 4 zeigt die entsprechenden Planungsgebiete, die je nach Verständnis auch dem SCM zugeordnet werden können.

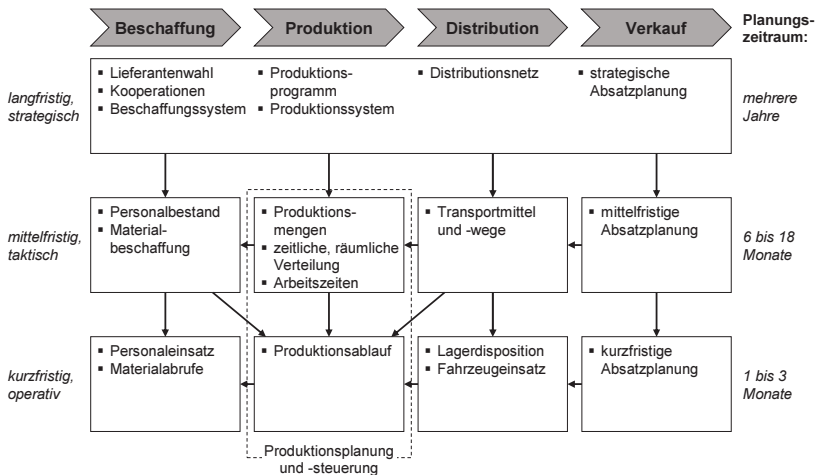


Abbildung 4: Planungsaufgaben der Logistik (leicht modifiziert nach Fleischmann 2008, S. 9)

Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Planungsaufgaben der Logistik aus allen vier Phasen der Leistungserstellung bzw. des Leistungsabsatzes resultieren. Konkret reichen die Anforderungen von der Planung der anfänglichen Materialbeschaffung bis hin zur finalen Absatzplanung. Darüber hinaus ist die Unterscheidung nach dem Planungszeitraum ein wichtiger Aspekt zur Gliederung der Aufgaben. Hier lassen sich ein *langfristiger/strategischer*, ein *mittelfristiger/taktischer* und ein *kurzfristiger/operativer Planungshorizont* abgrenzen. Die Pfeile in der Abbildung 4 zeigen, dass die Planung grob von lang- nach kurzfristig sowie von Absatz nach Beschaffung erfolgt.

Im SCM wird ebenfalls zwischen diesen Betrachtungszeiträumen unterschieden, woraus sich die Aufgabenbereiche *Supply Chain Design* (SCD), *Supply Chain Planning* (SCP) und *Supply Chain Execution* (SCE) ergeben (vgl. Engelhardt-Nowitzki/Nowitzki/Zsifkovits 2010, S. 53). Gemäß Engelhardt-Nowitzki/Nowitzki/Zsifkovits (2010, S. 53 f.) legt das SCD seinen langfristigen Fokus auf die Ausgestaltung des Wertschöpfungsnetzwerks mit den erforderlichen Transport-, Produktions- und Lagerprozessen. Das SCP umfasst hingegen mittelfristig die Planung von Materialflüssen, Beständen und Kapazitäten innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks. Das SCE beinhaltet die operative, kurzfristige Abwicklung der zur Leistungserstellung erforderlichen Prozesse. Die Autoren beschreiben darüber hinaus noch das *Supply Chain Monitoring* (SCMo), das in allen Betrachtungszeiträumen die Logistikkosten und -leistungen dokumentiert und überwacht. Zu einer analogen Gliederung der Aufgaben des SCM in Gestaltung, Planung und Steuerung kommen auch Kuhn/Hellingrath (2002, S. 13).

Neben einer Unterscheidung der Betrachtungszeiträume lassen sich auch mehrere Kategorien des SCM auf Basis des Betrachtungsgegenstandes ableiten. Thonemann/Papier (2008, S. 21) differenzieren hierzu das funktionsinterne, unternehmensweite und unternehmensübergreifende SCM. Charakteristisches Merkmal der Kategorien ist der für die Optimierung gewählte Bereich, der von einer Funktion über das gesamte Unternehmen bis zu einem Unternehmensnetzwerk reichen kann. Für die vorliegende Arbeit ist überwiegend die unternehmensübergreifende Perspektive relevant, weshalb der nachstehende Abschnitt kurz auf die diesbezügliche Zusammenarbeit eingeht.

2.1.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit

Bei der Beschreibung der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit finden häufig die beiden Begriffe Kooperation und Koordination Verwendung. Eine allgemein anerkannte und eindeutige Definition dieser Begriffe findet sich aktuell in der Literatur jedoch nicht. Um dennoch eine einheitliche Basis für den weiteren Verlauf der Arbeit zu schaffen, werden beide Ausdrücke nachstehend beschrieben und gegeneinander abgegrenzt.

Der Begriff *Kooperation* kann zunächst definiert werden als eine „Zusammenarbeit unterschiedlicher Intensität, zeitlicher Dauer und Zielsetzung zwischen rechtlich selbstständigen Unternehmen“ (Weerth/Mecke 2018, o. S.). Eine hierzu vergleichbare Definition für den Kooperationsbegriff findet sich bei Rupprecht-Däullary (1994, S. 18). Darüber hinaus betonen Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann (2012, 17f.), dass eine Kooperation auf die

Optimierung einzelner Funktionen abzielt und auf eine längere Dauer ausgerichtet ist. Unstrittig ist, dass eine Kooperation grundsätzlich allen involvierten Partnern Vorteile verschaffen sollte. Weitere Dimensionen einer Kooperation sind der Hierarchiegrad, die Stabilität, die Bindungsdauer, die vertragliche Regelung, der involvierte Unternehmensbereich, die Intensität und der räumliche Bezug (vgl. Killich 2011, S. 18; Picot/Wolff 2005, S. 387; Rupprecht-Däullary 1994, S. 19). Anhand dieser Dimensionen lässt sich eine Kooperation ausgestalten und verschiedene Grundformen ableiten. Die Bandbreite reicht hier von Strategischen Netzwerken, Joint Ventures, Franchisesystemen, Strategischen Allianzen bis hin zu Virtuellen Unternehmen (zum Begriff „Virtuelles Unternehmen“ vgl. Abschnitt 3.1.2.2).

Darüber hinaus ist die Richtung der Kooperation ein wichtiges Charakteristikum. Demnach kann eine Kooperation erstens horizontal, also zwischen Unternehmen derselben Supply Chain-Stufe, erfolgen. Zweitens kann die Zusammenarbeit vertikal und damit zwischen Unternehmen unterschiedlicher Stufen stattfinden. Drittens können auch Unternehmen unterschiedlicher Wertschöpfungsstufen diagonal miteinander kooperieren. Viertens können ebenfalls Partner aus unterschiedlichen Branchen gemeinsame Interessen verfolgen, was üblicherweise und unabhängig von der Wertschöpfungsstufe als laterale Kooperation bezeichnet wird (vgl. Weerth/Mecke 2018, o. S.; Vahrenkamp/Kotzab/Siepermann 2012, S. 18; Killich 2011, S. 18; Eßig 2008, S. 997; Rupprecht-Däullary 1994, S. 20 f.). Die sich aus der Kooperationsrichtung ergebenden Varianten stellt Abbildung 5 dar.

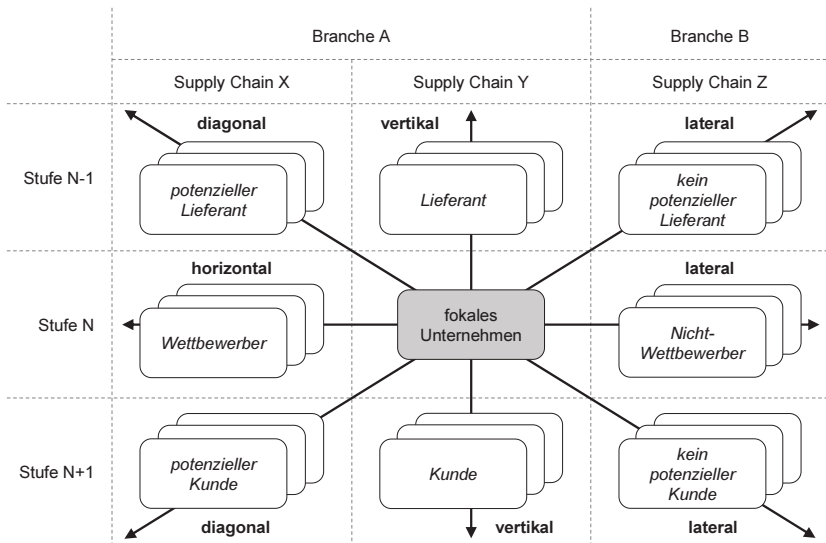


Abbildung 5: Mögliche Richtungen unternehmensübergreifender Kooperation

Die Verwendung des Begriffs *Koordination* ist hingegen sehr uneinheitlich. Die bei Hieber (2002, S. 98) angeführte Definition der Supply Chain-Koordination ähnelt sogar stark dem zuvor erläuterten Kooperationsbegriff. Im Gegensatz hierzu fasst Sucky (2004, S. 31) die unternehmensübergreifende Koordination als notwendig auf, um Entscheidungen auf bzw. zwischen den einzelnen Planungsebenen des SCM in geeigneter Weise abzustimmen. Zwar gliedert Sucky die Koordination hier auch in horizontal und vertikal, was sich aber auf die Planungsebenen bezieht und nicht im Widerspruch zu den oben genannten Kooperationsrichtungen steht. Vergleichbar hierzu begreift Zimmer (2001, S. 32) die Koordination von Entscheidungen innerhalb der Supply Chain als Planungsproblem zwischen vertraglich verbundenen, grundsätzlich jedoch unabhängigen Unternehmen. Die vorliegende Arbeit lehnt sich hieran an und versteht Koordination als „Abstimmung von Teilaktivitäten in Hinblick auf ein übergeordnetes Ziel“ (Ramb et al. 2018, o. S.). Im Unterschied zur Kooperation unterstreicht dieses Verständnis den aktiven und wiederkehrenden Charakter sowie die Orientierung an einem übergeordneten Zweck. Im zugrunde gelegten Verständnis schafft die Kooperation den Handlungsraum, in dem die Umsetzung der einzelnen und erforderlichen Aktivitäten jeweils durch eine Koordination erfolgt. Die Kooperation ist damit der Koordination übergeordnet und bestimmt ihren Handlungsspielraum sowie ihr avisiertes Ziel.

Ein wichtiges Ausgestaltungsmerkmal der Koordination ist das verwendete Prinzip. Hier lassen sich grundsätzlich die zentrale (hierarchische) und die dezentrale (heterarchische) Variante unterscheiden (vgl. Ostertag 2008, S. 93; Zäpfel 2000, S. 5). Während bei der zentralen Koordination die Abstimmung über einen zentralen und bedeutenden Akteur verläuft, erfolgt diese bei der dezentralen Variante direkt zwischen den oft gleichberechtigten Entitäten. Die fehlende zentrale Instanz und die infolgedessen asymmetrisch verteilten (Planungs-)Informationen sind damit Besonderheiten der dezentralen Koordination (vgl. Zimmer 2001, S. 34) und stellen zugleich die wesentlichen Herausforderungen dieser Variante dar. Der Vorteil liegt wiederum in der Möglichkeit, auch zwischen gleichberechtigten Partnern zu koordinieren. Aus den genannten Gründen erfordert das nicht-hierarchische Prinzip einen Mechanismus, der den dezentralen und eigennützigen Entitäten zu einem abgestimmten Ergebnis verhilft (vgl. Albrecht 2010, S. 22). Der nachstehende Abschnitt geht auf den hier betrachteten Gegenstand der Koordination bzw. Kooperation ein und erläutert die Grundlagen des Kapazitätsmanagements.

2.2 Kapazitätsmanagement

Für die Betrachtung von Kapazitäten im betrieblichen Kontext ist es zunächst erforderlich, bestehende Ansätze des Kapazitätsmanagements einzuführen. Zu diesem Zweck werden in Abschnitt 2.2.1 wichtige Begriffe definiert und grundlegende Konzepte erläutert. Weiterhin geht Abschnitt 2.2.2 auf die verfolgten Ziele und mögliche Maßnahmen des Kapazitätsmanagements ein. Der letzte Abschnitt 2.2.3 fokussiert die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit innerhalb des Kapazitätsmanagements.

2.2.1 Begriffe und Grundkonzepte

Die zur Verfügung stehende Kapazität ist für die Leistungserstellung in wirtschaftlich agierenden Unternehmen eine wichtige Größe, da sie maßgeblich die Ausbringungsmenge an Fertigerzeugnissen bestimmt. Generell beschreibt Kapazität dabei „das Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit in einem Zeitabschnitt“ (Müller 2013, S. 266). Neben der häufigen Verwendung für Maschinen und Anlagen ist diese allgemeine Definition auf verschiedenste Betrachtungsgegenstände wie beispielsweise Personal, Werkzeuge oder Transportfahrzeuge übertragbar (vgl. Schuh/Brandenburg/Cuber 2012, S. 49). Die Berechnung und Überwachung der Kapazität ist dabei sowohl auf der Ebene einer einzelnen Ressource als auch auf der aggregierten Ebene eines vollständigen Systems möglich. Als Maßeinheit für die Kapazität wird häufig eine Zeiteinheit angegeben (vgl. Schönsleben 2016, S. 24).

Bei der Planung und Steuerung einer Produktion gilt es, im Rahmen der Kapazitätsplanung „zu jedem Zeitpunkt und für jede knappe Ressource [zu prüfen], ob die Kapazitätsnachfrage das verfügbare Kapazitätsangebot überschreitet und somit ein unzulässiger Produktionsablaufplan vorliegt“ (Dyckhoff/Spengler 2007, S. 280). Sollte dies der Fall sein, sind Maßnahmen zur kurzfristigen Kapazitätserhöhung oder -verminderung einzuleiten (vgl. Abschnitt 2.2.2 und 2.2.3). Die Kapazitätsplanung bzw. das Kapazitätsmanagement sind Teil der innerbetrieblichen Produktionsplanung und -steuerung (PPS), welche die Material- und Zeitwirtschaft in produzierenden Unternehmen in einem übergreifenden Konzept zusammenfasst (vgl. Schuh/Stich/Runge 2012, S. 4). Die PPS wird üblicherweise von einem IT-System vorgenommen, welches die Abläufe nach definierten Kriterien optimiert. Das Ergebnis prüfen die Planer regelmäßig und geben die Aufträge entsprechend für die Fertigung frei. Ohne die umfangreichen Aufgaben der PPS detailliert zu erläutern, sei an dieser Stelle auf das Aachener PPS-Modell (vgl. Schuh/Brosze/Brandenburg 2012, S. 11 ff.) und die frühe Arbeit von Hackstein (1989) verwiesen. Beide Konzepte beschreiben die Aufgaben, Prozesse und deren Zusammenhänge der PPS ausführlich.

Ein wichtiges Instrument zum Planen von Kapazitäten ist das Kapazitäts- bzw. Belastungsprofil, da es Unter- oder Überbelastungen der betrachteten Einheit offenlegt. Darüber hinaus ist es auf verschiedenen Betrachtungsebenen, wie Maschine oder Fertigungslinie, einsetzbar. Abbildung 6 zeigt ein solches Beispielprofil nach Wiendahl (2010, S. 317; 1997, S. 17).

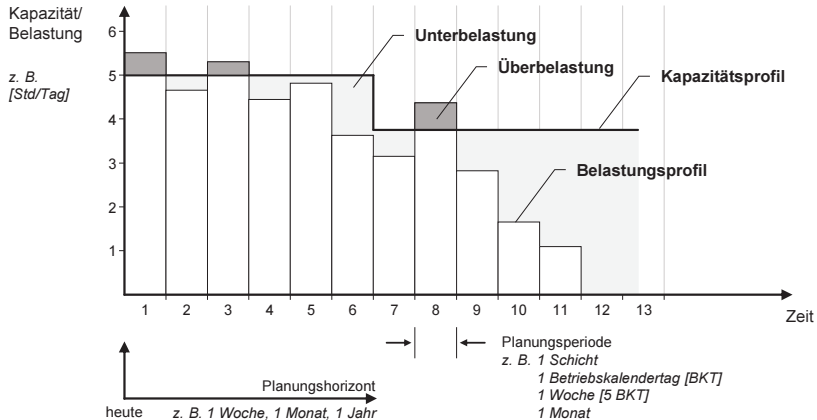


Abbildung 6: Kapazitäts- und Belastungsprofil (übernommen von Wiendahl 2010, S. 317; 1997, S. 17)

Je Planungsperiode werden die eingeplanten bzw. zu bearbeitenden Aufträge in ihrer Belastung kumuliert und in einem Diagramm eingetragen. Die Aneinanderreihung ergibt das Belastungsprofil, welches häufig mit zunehmender Zeit abfällt, da zum Planungszeitpunkt für spätere Perioden meist weniger Aufträge vorliegen. Das Kapazitätsprofil ergibt sich aus der je Planungsperiode zur Verfügung stehenden Kapazität, die in gewissen Grenzen – wie hier beim Übergang von Periode 6 zu 7 – anpassbar ist. Durch den Abgleich von Belastungs- und Kapazitätsprofil können Unterbelastungen bzw. Überbelastungen leicht erkannt und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden (vgl. Abschnitt 2.2.2 und 2.2.3).

Das Belastungsprofil lässt sich darüber hinaus in einer kumulierten Darstellung der Belastungen eingehender analysieren. Die Abbildung 7 zeigt ein entsprechendes Beispiel von Schönsleben (2016, S. 577). Die Belastung einer Periode und die Belastungen der vorherigen Perioden werden hierzu summiert und der ebenfalls kumulierten Normkapazität gegenübergestellt. Im Ergebnis lassen sich fehlende Belastungsstunden ablesen bzw. ermitteln, wie weit ein Auftrag vorgezogen werden kann, sofern die Belastung unter der Kapazität liegt. Analog verhält es sich für den Fall einer Überbelastung.

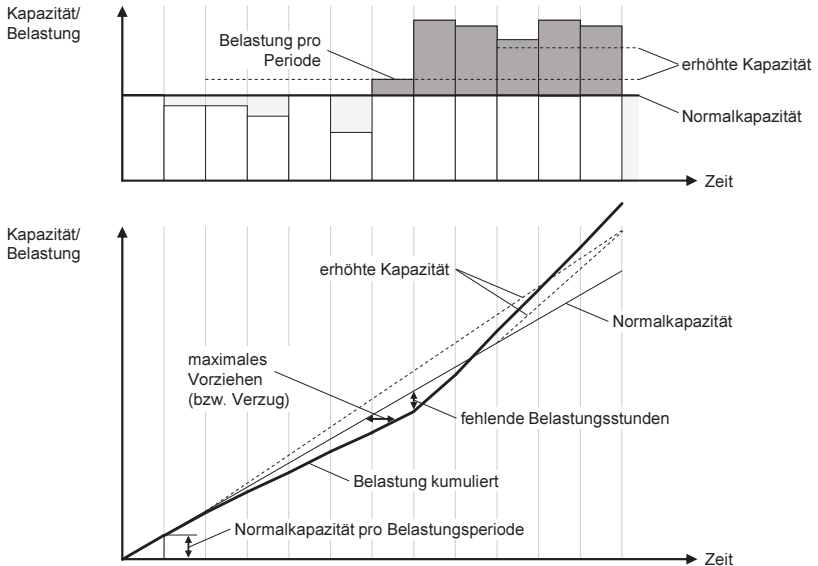


Abbildung 7: Analyse des Kapazitäts- und Belastungsprofils (übernommen von Schönsleben 2016, S. 577)

Nachdem zentrale Begriffe und grundlegende Konzepte des Kapazitätsmanagements kurz erläutert wurden, geht der nachfolgende Abschnitt vertiefend auf Ziele und Maßnahmen in diesem Bereich ein.

2.2.2 Ziele und Maßnahmen

Die Leistungserstellung physischer Produkte muss sich zur Einhaltung bzw. Erreichung von Effizienz und Effektivität an konkreten Zielen orientieren. Das Zielsystem der PPS differenziert zunächst grundsätzlich zwischen der jeweiligen vom Markt wahrgenommenen (*Logistik-*)Leistung und den hierdurch erzeugten (*Logistik-*)Kosten (vgl. Wiendahl 2010, S. 252). Beide Elemente bilden die übergeordneten Determinanten, die es bei der Produktion und Distribution physischer Produkte zu berücksichtigen gilt. Gemäß ihrer Wirkung auf die Logistikleistung und die Logistikkosten lassen sich, wie in Abbildung 8 dargestellt, externe und interne Zielgrößen unterscheiden (vgl. Wiendahl 1997, 136ff.).

	Logistikleistung	Logistikkosten
extern	Auftragsfertigung Lieferzeit Lieferterminabweichung Liefertreue	Preis
	Lagerfertigung Servicegrad	
intern	Durchlaufzeit Terminabweichung Termintreue	Bestand Auslastung Verzugskosten

Abbildung 8: Zielgrößen der Logistikleistung und Logistikkosten (übernommen von Lödning 2016, S. 22; vgl. zusätzlich Schuh/Brandenburg/Cuber 2012, S. 29; Wiendahl 2010, S. 252; Thorn 2002, S. 31; Wiendahl 1997, S. 136)

Nach Lödning (2016, S. 21 ff.) stellen im Fall der Auftragsfertigung die *Lieferzeit*, die *Lieferterminabweichung* sowie die *Liefertreue* gegenüber dem Kunden zentrale Gradmesser für die Logistikleistung dar. Fertigen Unternehmen auf Lager, ist der *Servicegrad* das entsprechende Pendant. Aus der gegenüber dem Kunden zu erbringenden Logistikleistung lassen sich die Zielgrößen für die innerbetriebliche Fertigung ableiten. Hier bilden die *Durchlaufzeit*, die *Terminabweichung* und die *Termintreue* die wichtigsten Werte. Bezüglich der Logistikkosten betrachtet der Kunde den berechneten *Preis*; innerbetrieblich sind der *Bestand*, die *Auslastung* sowie die *Verzugskosten* zu betrachten.

Zur Erreichung der Zielgrößen ist es notwendig sowohl die Unterbelastung aufgrund der Kosten als auch die Überbelastung aufgrund der Leistung möglichst gering zu halten. Hierzu bedarf es regelmäßig bestimmter *Maßnahmen*, die eine Kapazitätsanpassung oder einen Belastungsabgleich herbeiführen. Generell lassen sich diese Aktivitäten entsprechend ihrer Reaktionszeit in kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen unterteilen. In der Literatur finden sich umfangreiche Auflistungen solcher Maßnahmen (vgl. Schönsleben 2016, S. 578; Wiendahl 2010, S. 323; Thonemann/Papier 2008, S. 33; Thorn 2002, S. 130).

Gemäß Wiendahl (2010, S. 323) ist es zur langfristigen Kapazitätsanpassung je nach Auftragslage zum einen möglich, Personal einzustellen bzw. abzubauen und zum anderen Maschinen/Anlagen zu beschaffen bzw. abzustoßen. Kurz- bis mittelfristig können flexible Arbeitszeitmodelle bzw. zusätzliche Schichten und Kurzarbeit wirkungsvolle Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung aufseiten des Personals sein. Die Kapazität der installierten Betriebsmittel lässt sich kurz- und mittelfristig mit konventionellen Maßnahmen nur sehr eingeschränkt erhöhen oder verringern. Zum Abgleich der Belastung können Aufträge beispielsweise zeitlich verschoben oder auf alternativen Betriebsmitteln hergestellt werden. Die Belastungsanpassung kann nur durch eine mittelfristige Fremdvergabe bzw. Annahme

von Aufträgen erfolgen. Das Instrument der Fremdvergabe bzw. der Akquise von Zusatzaufträgen hat dabei gleichermaßen positive Auswirkungen auf die Auslastung von Personal sowie Betriebsmitteln. Außerdem bietet eine unternehmensübergreifende Kooperation meist deutlich mehr Potenzial, Belastung und Kapazität aufeinander abzustimmen als die meisten innerbetrieblichen Maßnahmen. Der nachstehende Abschnitt geht deshalb vertiefend auf die Möglichkeiten einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit ein.

2.2.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit

Die innerbetrieblichen Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung bzw. zum Belastungsabgleich sind in der Regel beschränkt und so lässt sich nicht jede Unter- oder Überbelastung ausgleichen. In diesem Kontext ist die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit eine wirkungsvolle Ergänzung zur Erhöhung des Handlungsspielraums. Durch die Ausweitung der Betrachtung auf mehrere Unternehmen ist es möglich, die Kapazitätsflexibilität der einzelnen Unternehmen zu steigern. Windt (2001, S. 97) hat in ihrer Arbeit Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazitätsflexibilität in wandelbaren Produktionsnetzen dargestellt. Im Rahmen solcher Kooperationen unterscheidet sie die Kategorien Kapazitätsanpassung, Fremdvergabe und Belastungsabgleich, die jeweils mehrere Maßnahmen zur Kapazitätsflexibilisierung umfassen. Die Abbildung 9 enthält die Gesamtübersicht der möglichen Maßnahmen.

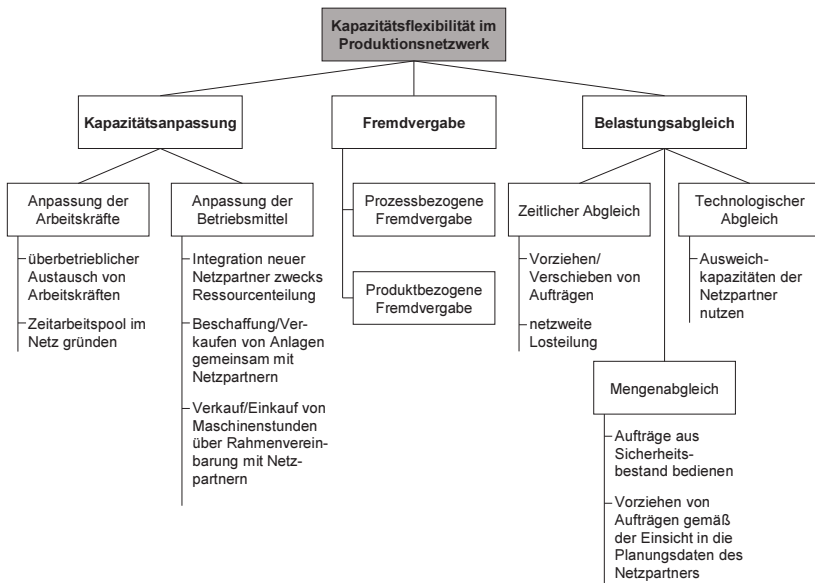


Abbildung 9: Kapazitätsflexibilität in wandelbaren Produktionsnetzen (übernommen von Windt 2001, S. 97)

Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die *Fremdvergabe* von Aufträgen relevant. Hierbei kann zwischen einer prozess- und produktbezogenen externen Vergabe differenziert werden (vgl. Abbildung 9). Erfolgt die Durchführung einzelner Arbeitsschritte der gesamten Wertschöpfung bei einem Partnerunternehmen, so handelt es sich um eine prozessbezogene Fremdvergabe. Werden hingegen ganze Produkte, Module oder Komponenten, die für sich abgrenzbare Erzeugnisse darstellen, bei einem Partnerunternehmen hergestellt, liegt eine produktbezogene Fremdvergabe vor. In der Unternehmenspraxis kommt der Begriff der *verlängerten Werkbank* dieser Form der prozess- und produktbezogenen Zusammenarbeit am nächsten (vgl. Windt 2001, S. 32 und Abbildung 1). Auch Begriffe wie Outsourcing (vgl. Bruch 1998, S. 16) oder Make or Buy (vgl. Irle 2011, S. 8 f.) erfahren eine synonyme Verwendung zur Fremdvergabe.

Neben der Fremdvergabe als hilfreiches Instrument bei Überbelastung wird hierbei aus Sicht des Auftragnehmers zusätzliches Auftragsvolumen generiert, wodurch dieser wiederum einer bestehenden Unterbelastung entgegengewirkt. Im Gegensatz zum häufig langfristigen Planungshorizont von Fremdvergaben legt die vorliegende Arbeit besonderes Augenmerk auf einen kurz- bis mittelfristigen Betrachtungshorizont bei der unternehmensübergreifenden Kooperation. Hierdurch soll die Flexibilität der Unternehmen insbesondere für spontane Veränderungen und Ereignisse erhöht werden.

Eine besondere Herausforderung bei der Durchführung unternehmensübergreifender Maßnahmen zur Kapazitätsflexibilisierung ist, dass grundsätzlich eine unternehmensübergreifende sowie unternehmensinterne Planungsebene vorhanden sind (vgl. Eggert 2006, S. 76). Beide Planungsebenen besitzen gegenseitige Abhängigkeiten, sodass eine rein sequenzielle Planung oft ausscheidet. Vielmehr ist eine rolierende Abstimmung beider Ebenen erforderlich, die einen Zirkelbezug entstehen lässt. Dieser aufwendige Abstimmungsprozess ist daher zu vereinfachen und zu automatisieren, damit auch KMU das Potenzial einer unternehmensübergreifenden Kooperation ausschöpfen können. Die derzeitige Digitalisierung von Produktion und Logistik kann hierbei neue Möglichkeiten eröffnen. Der nachstehende Abschnitt gibt deshalb einen Überblick über die digitale Transformation und Industrie 4.0.

2.3 Digitale Transformation und Industrie 4.0

Die zunehmende Digitalisierung nahezu aller Bereiche hat auch zu einer vielschichtigen Diskussion über die digitale Transformation von Unternehmen geführt. Insbesondere das Schlagwort „Industrie 4.0“ hat diesbezüglich in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit erfahren. Die uneinheitliche Verwendung wichtiger Begriffe sowie die Relevanz für die vorliegende Arbeit erfordern zunächst eine Erläuterung der wesentlichen Zusammenhänge in Abschnitt 2.3.1. Anschließend greift der Abschnitt 2.3.2 ein relevantes Anwendungsszenario der Industrie 4.0 auf und grenzt die vorliegende Arbeit hiervon ab.

2.3.1 Begriffe und Grundkonzepte

Die fortwährende Entwicklung leistungsfähigerer Informations- und Kommunikationstechnologien führt zu einer digitalen Durchdringung der Gesellschaft. Moderne Technologien, wie beispielsweise mobile Endgeräte, Cloud Services und Social Media, bilden dabei lediglich die offenkundigsten Veränderungen eines viel gravierenderen Wandels. Die massenhafte Speicherung von Daten, die globale bzw. lokale Vernetzung von Endgeräten, eine rasant wachsende Rechenleistung und die Ausbreitung von künstlicher Intelligenz – um nur einige Beispiele zu nennen – verändern zusehends nahezu alle Bereiche des täglichen Lebens.

Dieser Trend erfasst auch die Industrie und stellt die Unternehmen einerseits vor beträchtliche Potenziale und andererseits vor große Herausforderungen. Die Überführung modernster Informations- und Kommunikationstechnik in die Produktion und die Logistik wird dabei vor allem im deutschen Sprachraum unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammengefasst. Der Begriff wurde 2011 im Rahmen der Hannover Messe geprägt und steht für die Bestrebungen der Bundesregierung, die informationstechnische Durchdringung der deutschen Industrie durch ihre Hightech-Strategie voranzutreiben (vgl. Siepermann 2016, S. 20). Eine der ersten Erläuterungen des Konzepts findet sich bei Schlick/Stephan/Zühlke (2012, S. 31), welche die beschriebene Entwicklung in bereits zurückliegende industrielle Revolutionen einreihen. Nach der Einführung von mit Wasser- sowie Dampfkraft betriebener mechanischer Produktionsanlagen, arbeitsteiliger Massenproduktion mithilfe elektrischer Energie und dem Einsatz von Elektronik und Informationstechnologie zur Automatisierung der Produktion prognostizieren die Autoren eine vierte industrielle Revolution. Die technologische Basis für diese Veränderung bilden sogenannte *Cyber Physische Systeme* (CPS). Nach Geisberger/Broy (2012, S. 22) umfassen diese CPS wiederum eingebettete Systeme², Sensoren und Aktoren, mit deren Hilfe sie physikalische Daten ihrer Umgebung erfassen bzw. auf physikalische Abläufe einwirken können. Darüber hinaus besitzen CPS die Fähigkeit, die erhobenen Daten zu speichern, diese auszuwerten und entsprechend der Resultate mit der Umwelt zu interagieren. Außerdem sind CPS über drahtgebundene und/oder drahtlose digitale Netzwerke miteinander verbunden und können so über kurze bzw. lange Distanzen Informationen austauschen.

Der Begriff *Industrie 4.0* erhielt seit seiner erstmaligen Verwendung sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis beträchtliche Aufmerksamkeit. Seither wurde das Konzept entscheidend weiterentwickelt und erstreckt sich inzwischen nicht mehr ausschließlich auf die Verwendung von CPS. Veranlasst durch eine Vielzahl an politischen Initiativen, Forschungs- und Industrieprojekten steht das Schlagwort *Industrie 4.0* heute generell für die Implementierung fortschrittlicher digitaler Technologien in alle relevanten Unternehmensbereiche. Um diesen Aktivitäten einen Rahmen zu geben und die große Anzahl möglicher Anwendungsfälle zu ordnen, wurde die „*Plattform Industrie 4.0*“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft

² Eine ausführliche Begriffsbeschreibung findet sich bei Marwedel 2008, S. 1 ff.

und Energie (BMW) im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 initiiert. Diese Plattform bietet den teilnehmenden Akteuren aus Unternehmen, Verbänden, Gewerkschaften, Wissenschaft und Politik die Möglichkeit zu einer ideellen und thematischen Zusammenarbeit (vgl. BMWi/Plattform Industrie 4.0 2018b, o. S.). Aufgrund der breiten Anwendbarkeit und großen Relevanz für unterschiedliche Bereiche und Disziplinen existieren bereits viele Versuche, eine allgemeingültige Definition für Industrie 4.0 zu formulieren (vgl. beispielsweise Obermaier 2016, S. 8; Bischoff et al. 2015, S. 12; Anderl et al. 2014, S. 64; Hirsch-Kreinsen/Weyer 2014, S. 5). Dabei konnte sich jedoch keine Variante vollumfänglich durchsetzen, sodass an dieser Stelle aufgrund seiner Bekanntheit exemplarisch auf das Verständnis der Plattform Industrie 4.0 verwiesen sei:

„In der Industrie 4.0 verzahnt sich die Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik. Treibende Kraft dieser Entwicklung ist die rasant zunehmende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft. [...] Technische Grundlage hierfür sind intelligente, digital vernetzte Systeme, mit deren Hilfe eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich wird: Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren und kooperieren in der Industrie 4.0 direkt miteinander.“ (BMWi/Plattform Industrie 4.0 2018a, o. S.)

Dieser technologische Wandel kann zu weitreichenden Veränderungen führen. Einerseits resultiert eine verbesserte (unternehmensübergreifende) Zusammenarbeit innerhalb der Produktions- und Logistikprozesse in höherer Effizienz sowie gesteigerter Flexibilität. Die selbstorganisierte Produktion kann somit umgehend auf veränderte Marktbedingungen reagieren. Andererseits spielt auch die Individualisierung der Produkte eine entscheidende Rolle. Durch intelligente Wertschöpfungsketten, welche sich über alle Phasen des Produktlebenszyklus erstrecken, können den Kunden individuellere Produkte angeboten werden, als dies bisher der Fall war³. Außerdem sieht die Vision vor, dass sich trotz der breiten Individualisierung durch die effizienteren und flexibleren Prozesse die Produktionskosten senken lassen (vgl. Kagermann 2014). Der Zielkonflikt zwischen hoher Produktvielfalt und wirtschaftlichem Betrieb könnte damit der Vergangenheit angehören.

Zur Erreichung der skizzierten Vision müssen bestehende Unternehmen mitunter weitreichende Veränderungen vornehmen. Der Wandel betrifft dabei teilweise das Kerngeschäft der Unternehmen und stellt etablierte Vorgehensweisen infrage. Die nachstehende Abbildung 10 setzt die Vision einer Industrie 4.0 in den Kontext und verdeutlicht die Zusammenhänge. Das hierin gefasste Verständnis stellt auch die Basis für den weiteren Verlauf der Arbeit dar.

³ Vgl. hierzu auch den Begriff „Mass Customization“ bei Piller 2008, S. 154 ff.

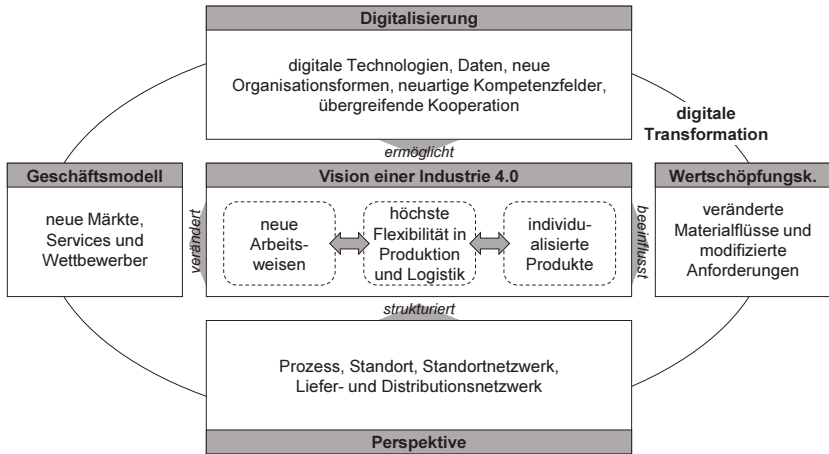


Abbildung 10: Rahmenwerk für die Industrie 4.0 (in Anlehnung an Indorf/Kersten/Schröder 2016, S. 189)

Aus der Abbildung geht hervor, dass die Digitalisierung als Wegbereiter für die Vision einer Industrie 4.0 fungiert. Die Vision selbst ist im Wesentlichen durch höchste Flexibilität in Produktion und Logistik, neue Arbeitsweisen und individualisierte Produkte charakterisiert. Wie bereits erläutert, gehen mit der Umsetzung grundlegende Veränderungen für die Wertschöpfungskette einher, die transparenter, flexibler und kostengünstiger wird. Gleichzeitig sind jedoch vielfach auch die traditionellen Geschäftsmodelle betroffen, indem sich neue Märkte bilden bzw. bestehende erodieren, neuartige Services von den Kunden verlangt oder zuvor unbekannte Wettbewerber etablierte Unternehmen unter Druck setzen. Darüber hinaus ist es im Hinblick auf mögliche Umsetzungsprojekte auf dem Weg zur Industrie 4.0 entscheidend, zwischen den möglichen Perspektiven zu unterscheiden. Grundsätzlich kann die beschriebene Entwicklung auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden. Das Spektrum reicht hier von einem einzelnen isolierten Fertigungsprozess bis zu Anwendungen, welche das gesamte Liefer- und Distributionsnetzwerk eines Unternehmens restrukturieren.

Neben den Begriffen Industrie 4.0 und Digitalisierung findet in der wissenschaftlichen und praxisorientierten Literatur häufig der Begriff „digitale Transformation“ Erwähnung. Der Definition von Kersten/Schröder/Indorf (2017, S. 51) folgend, beschreibt dieser vor allem den Veränderungsprozess:

„Die digitale Transformation beschreibt auf Unternehmensebene die Veränderung von Wertschöpfungsprozessen durch die Weiterentwicklung bestehender und Implementierung neuer digitaler Technologien, Anpassungen der Unternehmensstrategien auf Basis neuer digitalisierter Geschäftsmodelle sowie den Erwerb der dafür erforderlichen Kompetenzen bzw. Qualifikationen. Die verfolgten Ziele sind eine Erhöhung der Flexibilität und der Produktivität im Unternehmen bei gleichzeitiger Fokussierung auf den Kunden und seine Bedürfnisse nach digitalen Produkten und Services.“

Die Definition greift zusätzlich zu den technologischen Entwicklungen weitere Elemente wie Geschäftsmodelle und Kompetenzen auf. Die verfolgte Zukunftsvision kann im Rahmen dieses Prozesses jedoch nur mit der Digitalisierung als Wegbereiter erreicht werden (vgl. hierzu auch Kersten/See/Indorf 2018, S. 4). Durch exemplarische Anwendungen lässt sich in diesem Zusammenhang die Eintrittsbarriere absenken. Nachdem zentrale Begrifflichkeiten und wichtige Grundkonzepte feststehen, verortet der folgende Abschnitt deshalb die vorliegende Arbeit innerhalb der Anwendungsszenarien der Industrie 4.0.

2.3.2 Abgrenzung des Anwendungsszenarios

Aufgrund der Vielschichtigkeit des Themenkomplexes kann die Umsetzung der Vision nicht in einem einzelnen Schritt erfolgen. Aus diesem Grund hat die Plattform Industrie 4.0 mehrere Anwendungsszenarien definiert (vgl. Anderl et al. 2016b, S. 6). Diese sollen dabei helfen, das oft noch diffuse Bild zu konkretisieren und die Vorteile der Zukunftsvision anhand unterschiedlicher Fälle zu verdeutlichen. Auf diese Weise wird es Unternehmen erleichtert, Zugang zu diesem Themenkomplex zu finden und eigene Initiativen zu lancieren. Die nachstehende Abbildung 11 gibt einen Überblick über die von der Plattform Industrie 4.0 definierten Anwendungsszenarien. Die vorliegende Arbeit fokussiert das Anwendungsszenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ (AGP), welches im Folgenden kurz vorgestellt wird. Außerdem erfolgt über das Aufzeigen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden die Abgrenzung der Arbeit von diesem Szenario.

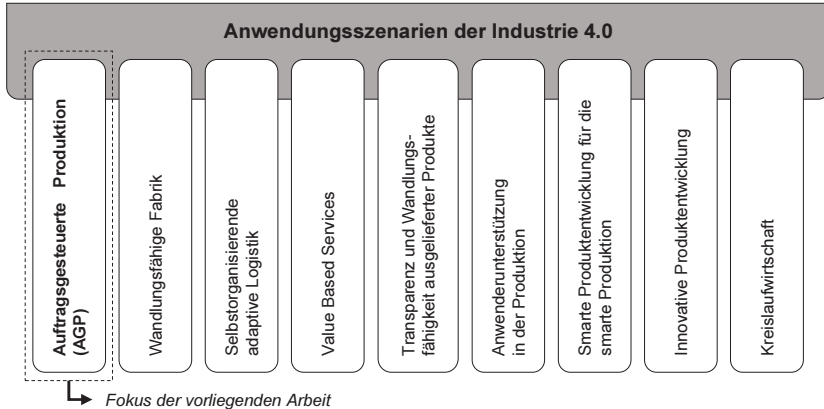


Abbildung 11: Anwendungsszenarien der Industrie 4.0 (in Anlehnung an Anderl et al. 2016b, S. 6)

Kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen sowie eine zunehmende Individualisierung verursachen eine höhere Komplexität in den produzierenden Unternehmen. Gleichzeitig verlangt die Verwendung innovativer Werkstoffe und anspruchsvoller Produktionsverfahren den Unternehmen zusätzliche Investitionen und eine zunehmende Spezialisierung ab. Im Zuge dieser beiden Trends steigt auch die Dynamik der Nachfrage und stellt die Unternehmen vor große Herausforderungen. Der inhaltliche Fokus des Anwendungsszenarios

AGP liegt auf einer flexiblen Fertigungskonfiguration, die auf einer werks- und unternehmensübergreifenden Vernetzung von Produktionsfähigkeiten und Kapazitäten beruht. Ausgerichtet an den Markt- und Auftragsbedingungen wird das Wertschöpfungsnetzwerk ad-hoc zusammengestellt und ermöglicht es den Unternehmen so, sehr flexibel auf Veränderungen zu reagieren (Anderl et al. 2016b, S. 8). Trotz volatiler Nachfrage wird es so möglich, die eigenen Produktionsfähigkeiten optimal auszunutzen.

Das einzelne Unternehmen kann in Abhängigkeit der jeweiligen Auslastung entweder temporär die Kapazitäten anderer Unternehmen in Anspruch nehmen oder nicht benötigte Kapazitäten nach außen vergeben. Um solch eine dynamische Konfiguration umsetzen zu können, ist ein hohes Maß an Prozessautomatisierung erforderlich (Bauer et al. 2017, 3 f.). Eine schriftliche Anfrage mit anschließender Angebotsabgabe, -auswertung und -vergabe wird einer derart dynamischen Konfiguration nicht gerecht. Der zeitliche Aufwand wäre zu groß, sodass sich aus diesem Umstand umfassender Forschungsbedarf ergibt.

Die Autoren des Anwendungsszenarios identifizieren diverse Herausforderungen, welche es bei einer Umsetzung zu überwinden gilt. Beispielsweise muss ein selbstkonfigurierendes SCM etabliert werden, das auf nachvollziehbaren Algorithmen zum autonomen Abschluss von Verträgen beruht. Außerdem erfordert das Szenario standardisierte Verfahren zur Beschreibung von Produkten und Prozessen, um eine fehlerfreie Kommunikation zwischen den Unternehmen zu ermöglichen. Darüber hinaus sind Datensicherheit und rechtliche Fragen in einem solchen Szenario aktuell noch weitestgehend ungeklärt. Auch gilt es, eine geeignete (virtuelle) Umgebung zu schaffen, in der die Unternehmen vertrauensvoll Daten austauschen und zusammenarbeiten können (Anderl et al. 2016a, S. 4).

Um die bestehenden Herausforderungen nicht in Gänze bewältigen zu müssen, nimmt die vorliegende Arbeit eine Zwischenposition auf dem Weg zu einer praktischen Umsetzung ein. Die Abbildung 12 verbildlicht die Zusammenhänge zwischen dem heutigen Stand, der vorliegenden Arbeit und dem Anwendungsszenario AGP.

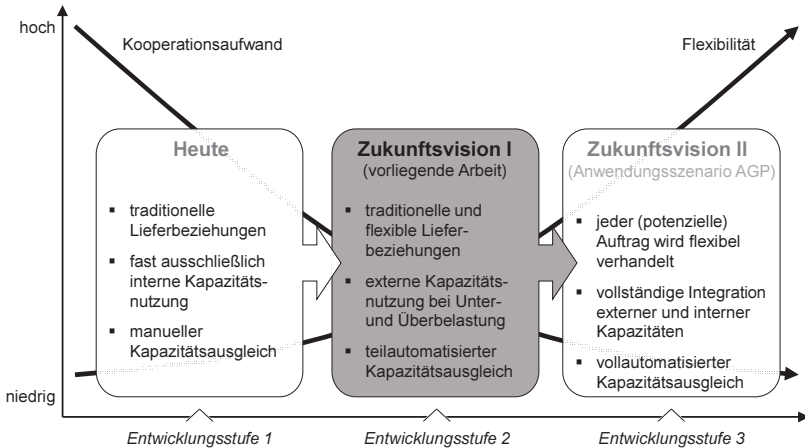


Abbildung 12: Entwicklungsstufen hin zu einer auftragsgesteuerten Produktion

Bevor eine vollständige Integration externer und interner Kapazitäten angestrebt wird, ist es sinnvoll, zunächst über die Hinzunahme externer Kapazitäten in Sonderfällen nachzudenken und hierfür eine praktikable Lösung zu schaffen. Unter- und Überbelastungen stellen für die Unternehmen angesichts der beschriebenen Marktdynamik eine wesentliche Herausforderung dar, sodass eine praktische Bedeutung unbestritten vorliegt. Gleichzeitig sind die Hürden einer vollständigen Integration mit unternehmensübergreifender Transparenz ungleich größer, sodass die Zukunftsvision I aus heutiger Perspektive erreichbarer erscheint.

Ferner sieht die Vision I vor, dass die traditionellen Lieferbeziehungen in ihrer bisherigen Form erhalten bleiben und durch flexible Arrangements ergänzt werden. Auch dies erscheint im Hinblick auf eine zeitnahe Umsetzung realistischer. Zudem wird der Anspruch einer Vollautomatisierung der Prozesse relativiert, sodass die Veränderungen weniger drastisch ausfallen. In Anbetracht der geschilderten Zusammenhänge orientiert sich die vorliegende Arbeit an dem Anwendungsszenario AGP, strebt jedoch nicht danach, dieses in der von der Plattform Industrie 4.0 beschriebenen Form umzusetzen. Vielmehr stellt die Arbeit aufgrund ihrer praktischen Orientierung ein Bindeglied dar, das den Weg zur Umsetzung einer Industrie 4.0 ebnet.

3 STAND DER FORSCHUNG

Die Erfassung des aktuellen Stands der Forschung im Rahmen des vorliegenden Kapitels erfolgt in drei Schritten. Zur Aufbereitung des Kontextes und der bisherigen Entwicklung analysiert Abschnitt 3.1 übergeordnete Konzepte zur kooperativen Nutzung von Fertigungsressourcen. Anschließend untersucht Abschnitt 3.2 systematisch bestehende Forschungsansätze und grenzt die vorliegende Arbeit von diesen ab. Die gewonnenen Einblicke werden in Abschnitt 3.3 diskutiert und bedeutende Kernerkenntnisse herausgestellt.

3.1 Analyse übergeordneter Konzepte

Getrieben durch gesellschaftliche und technologische Veränderungen werden bereits seit den 1960er Jahren immer fortschrittlichere Fertigungssysteme und -paradigmen entwickelt (vgl. Tao et al. 2017, S. 1079). Im Zuge dieser Bestrebungen sind in den letzten Jahrzehnten ebenfalls verschiedene Konzepte für die unternehmensübergreifende Koordination von Kapazitäten, wie z. B. das „*Virtuelle Unternehmen*“, entstanden. Die vorliegende Arbeit bezeichnet diese relevanten Paradigmen als *übergeordnete Konzepte*. Im Gegensatz zu den in Abschnitt 3.2 analysierten Ansätzen sind übergeordnete Konzepte weniger spezifisch und besitzen eher skizzenhaften Charakter. Dennoch prägen sie eine Vielzahl der Arbeiten im Untersuchungsfeld und besitzen folglich hohe Relevanz für die vorliegende Arbeit. Aus diesem Grund gibt Abschnitt 3.1.1 eine Übersicht über diese übergeordneten Konzepte im Zeitverlauf und leitet daraus deren jeweilige aktuelle Relevanz ab. Eine detaillierte Betrachtung ausgewählter Konzepte schließt sich mit Abschnitt 3.1.2 daran an.

3.1.1 Relevanz und zeitliche Entwicklung

Um die Vielzahl der übergeordneten Konzepte im Kontext zu verstehen und übergreifend zu vergleichen, ist deren Betrachtung im Zeitverlauf hilfreich. Zu diesem Zweck erfolgt eine Erhebung und Auswertung der Publikationsanzahl je Konzept und Jahr. Als Datenquelle wird hierfür die Scopus-Datenbank⁴ herangezogen, die sehr umfangreiche bibliographische Angaben und eine entsprechende Exportfunktion für die spätere Analyse zur Verfügung stellt. Die ausgewählten Suchbegriffe stammen aus einer vorgeschalteten semi-strukturierten Webrecherche. Die Suchanfragen kombinieren inhaltlich nahe oder synonyme Begriffe in einer Anfrage – beispielsweise *Virtual Enterprise* und *Virtual Organization* (dt. Virtuelle(s) Unternehmen/Organisation). Die Anfragen durchsuchen den Titel aller in der Datenbank enthaltenen englischsprachigen Publikationen nach den inhaltlichen Begriffen. Die Fokussierung der Anfragen auf den Titel der Dokumente sichert zum einen eine hohe Validität der Ergebnisse und zum anderen eine hohe Relevanz der übergeordneten Konzepte innerhalb der identifizierten Arbeiten. Diese beiden Aspekte sind für den Vergleich der Konzepte im Zeitverlauf wichtig, da dieses Vorgehen den Schwerpunkt auf die zentralen Arbeiten zu den betrachteten übergeordneten Konzepten legt. Die verwendeten Suchanfragen und die resultierenden Treffer sind je Konzept in Tabelle 1 dargestellt.

⁴ <https://www.scopus.com>

Tabelle 1: Verwendete Suchanfragen und resultierende Treffer (Stand: Mai 2019)

Konzept	Verwendete Suchanfragen in der datenbankspezifischen Syntax	Treffer
Virtual Enterprise	TITLE (" <i>Virtual Enterprise</i> " OR " <i>Virtual Organi</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	2.258
Cloud Manufacturing	TITLE (" <i>Cloud Manufacturing</i> " OR " <i>Cloud-based Manufacturing</i> " OR " <i>Cloud-sourced Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	546
Distributed Manufacturing	TITLE (" <i>Distributed Manufacturing</i> " OR " <i>Distributed Production</i> " OR " <i>Decentrali</i> " Manufacturing" OR " <i>Decentrali</i> " Production" OR " <i>Dispersed Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	500
Manufacturing Grid	TITLE (" <i>Manufacturing Grid</i> " OR " <i>Grid Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	157
Networked Manufacturing	TITLE (" <i>Networked Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	155
Social Manufacturing	TITLE (" <i>Social Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	48
Dynamic Manufacturing Networks	TITLE (" <i>Dynamic Manufacturing Network</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	25
Open Manufacturing	TITLE (" <i>Open Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	18
Remote Manufacturing	TITLE (" <i>Remote Manufacturing</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	7
Manufacturing as a Service	TITLE (" <i>Manufacturing-as-a-service</i> " OR " <i>Manufacturing as a service</i> ") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	4

Die Tabelle zeigt, dass die Anfragen sehr unterschiedliche Trefferzahlen generieren und damit die Intensität der wissenschaftlichen Diskussion je nach Konzept erkennbar abweicht. Das Konzept der *Virtual Enterprise* liefert mit großem Abstand die meisten Treffer (2.258) und das des *Manufacturing as a Service* mit einigem Abstand die wenigsten (4). Die übrigen Anfragen ergaben jeweils einige Dutzend bis mehrere Hundert relevante Datenbankeinträge. Neben der Diskussionsintensität und damit der Relevanz ist die Anzahl der Treffer auch ein Hinweis darauf, wie lange ein Konzept bereits beforscht wird.

Um die übergeordneten Konzepte gegeneinander abzugrenzen und deren aktuelle Relevanz präziser abzuschätzen, ist deren Betrachtung im Zeitverlauf sehr aufschlussreich. Die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen je Konzept und Jahr ist deshalb in Abbildung 13 dargestellt. Eine Einschränkung gegenüber der initialen Suche erfolgt dahingehend, dass nur Konzepte mit einer gewissen Bedeutung in der Literatur weiter analysiert werden. Als Maß wird hierfür eine Mindestanzahl von 30 Publikationen festgesetzt, die sich mit dem jeweiligen Konzept befassen. Dementsprechend enthält die nachfolgende Abbildung die ersten sechs übergeordneten Konzepte aus Tabelle 1.

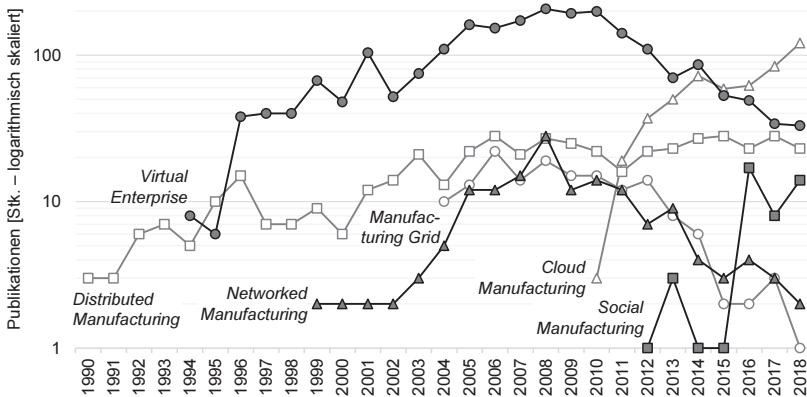


Abbildung 13: Anzahl wissenschaftlicher Publikationen je Konzept und Jahr

Die Abbildung stellt die Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen zu den genannten übergeordneten Konzepten beginnend mit dem Jahr 1990 im Zeitverlauf dar. Aus Gründen der Leserlichkeit besitzt die Ordinate mit der Publikationsanzahl eine logarithmische Skalierung. Die Daten geben Aufschluss darüber, wann die Konzepte ihren Ursprung haben und wie sich das wissenschaftliche Interesse seitdem entwickelte.

Das *Distributed Manufacturing* erfährt seit Mitte der 1980er⁵ Jahre Beachtung und verzeichnet seitdem steten Zuwachs. Das Konzept der *Virtual Enterprise* hingegen zeigt in der Mitte der 1990er Jahre einen sehr steilen Anstieg, der Ende der 2000er seinen Höhepunkt erreicht. Seitdem befindet sich die jährlich veröffentlichte Anzahl an Publikation auf einem hohen Niveau, weist jedoch eine abnehmende Tendenz auf. Das *Networked Manufacturing*, das Ende der 1990er seinen Ursprung hat, erfuhr – ähnlich der *Virtual Enterprise* – bis Ende der 2000er einen Anstieg und seither einen erkennbaren Rückgang. Auch für das *Manufacturing Grid*, das Mitte der 2000er auf zunehmendes Interesse stoß, nehmen die Publikationen pro Jahr mit fortschreitender Zeit ab. Im Gegensatz hierzu erhalten sowohl das *Social Manufacturing* als auch *Cloud Manufacturing* seit ihrer Vorstellung mit zunehmender Tendenz großes Interesse. Im Vergleich erschienen jedoch deutlich mehr Publikationen das *Cloud Manufacturing* betreffend.

Der Verlauf zeigt, dass mit einem gewissen Abstand über die letzten Jahrzehnte immer wieder neue Konzepte entstanden, die eine unternehmensübergreifende und dezentrale Koordination von Kapazitäten und/oder von Know-how zum Gegenstand haben. Während einige Konzepte in der wissenschaftlichen Literatur nur noch mit abnehmender Häufigkeit referenziert werden (z. B. *Networked Manufacturing*), befinden sich andere derzeit in einer „Hype-Phase“ (beispielsweise *Cloud Manufacturing*). Teilweise existieren die inhaltlich verwandten Konzepte sogar zeitgleich im wissenschaftlichen Dialog. Auffällig ist auch, dass

⁵ Die Werte für die Jahre vor 1990 sind in Abbildung 13 nicht abgebildet.

die wissenschaftliche Literatur seit Anfang der 1990er von dem Konzept der *Virtual Enterprise* dominiert wurde, dieses jedoch in den kommenden Jahren möglicherweise von neueren Konzepten wie *Cloud Manufacturing* und *Social Manufacturing* abgelöst werden könnte.

Konzeptübergreifend zeigt sich eine evolutionäre Entwicklung des Forschungsfeldes durch das zeitlich versetzte Entstehen neuer Ideen und Paradigmen. Inhaltlich bauen die Konzepte teilweise aufeinander auf, sodass mit zunehmender Zeit ein höherer Reifegrad der vorgeschlagenen Lösungen und übergeordneten Konzepte erwartet werden kann. Aktuell bleibt jedoch festzuhalten, dass nach bisherigem Stand kein Konzept alle Herausforderungen lösen und die ambitionierten Ziele in die Unternehmenspraxis überführen konnte. Der nachstehende Abschnitt erweitert die zeitliche Perspektive um eine inhaltliche Charakterisierung ausgewählter übergeordneter Konzepte.

3.1.2 Charakterisierung ausgewählter übergeordneter Konzepte

Die Betrachtung von Relevanz und zeitlicher Entwicklung gibt zwar einen groben Überblick und erlaubt es, die Entstehung der einzelnen übergeordneten Konzepte in den Kontext zu setzen, eine inhaltliche Auseinandersetzung liefert dies jedoch nicht. Der vorliegende Abschnitt diskutiert deshalb die zuvor ausgewählten übergeordneten Konzepte inhaltlich und grenzt die Begriffe – soweit möglich – voneinander ab. Die Reihenfolge der Unterabschnitte richtet sich dabei nach der zuvor in Abbildung 13 aufgezeigten Chronologie.

3.1.2.1 Distributed Manufacturing

Die Literatur um den Begriff *Distributed Manufacturing* (deutsch: verteilte oder dezentralisierte Fertigung) ist aufgrund seiner vielfältigen Verwendung und Übertragungsmöglichkeiten sehr fragmentiert (vgl. Srari et al. 2016, S. 6922). Seit den 1980er Jahren finden sich deshalb viele wissenschaftliche Publikationen aus diversen Disziplinen unter diesem Schlagwort, in denen sich jedoch kein einheitliches Verständnis manifestieren konnte (vgl. Kohtala 2015, S. 654). Eine eindeutige Bestimmung des Begriffsursprungs erweist sich deshalb als schwierig. Die Idee einer dezentralisierten Fertigung lehnt sich an das Konzept *Distributed Computing* bzw. *Distributed Information Systems* (kurz: Distributed Systems) an, das ein Netzwerk örtlich verteilter, unabhängiger Kommunikationssysteme zum elektronischen Datenaustausch beschreibt (vgl. Pallot/Bergmann 2010, S. 88). Eine Definition hierzu liefern Kühnle/Bitsch (2015, S. 5). Sie beschreiben Distributed Manufacturing als ein Fertigungsnetzwerk, dessen Funktionalität und Leistung unabhängig ist von der physischen Distanz zwischen den involvierten Systemen, Einheiten und Elementen. Diese Charakterisierung wird von Windt (2016, S. 400) aufgegriffen und von dem Begriff der *Distributed Manufacturing Systems* abgegrenzt. Dieser bezeichnet eine Klasse von Fertigungs-/Produktionssystemen, die sich auf die interne Fertigungssteuerung fokussieren und Eigenschaften wie beispielsweise Autonomie, Anpassungsfähigkeit, Flexibilität, Agilität und Dezentralisierung teilen. Eine eindeutige, disziplinübergreifende Festsetzung für das Konzept des Distributed Manufacturing findet sich, wie bereits erwähnt, jedoch nicht.

Eine Schlüsseltechnologie für das Distributed Manufacturing ist die Additive Fertigung (3D-Druck). Wie kaum eine andere ermöglicht diese Technologie eine Fertigung auf Abruf, die nah am Bedarfsort und in kleinen Mengen stattfindet (vgl. Srari et al. 2016, S. 6922). Anwendungsbeispiele aus der Ersatzteilversorgung finden sich für dieses übergeordnete Konzept bereits heute in der Praxis.

Die räumliche Verteilung von Produktionssystemen erfordert eine angepasste Form der Steuerung. Distributed Manufacturing Systems profitieren hier entscheidend vom software-technologischen Paradigma der Objektorientierung, das die Verteilung und Kapselung von Steuerungsentscheidungen für mechatronische Fertigungseinheiten unterstützt (vgl. Wünsch/Lüder/Heinze 2010, S. 64). Die Objektorientierung in der Programmierung von Steuerungssoftware fungiert also als Wegbereiter für die praktische Umsetzung verteilter Produktionssysteme.

3.1.2.2 Virtual Enterprise

Um der wachsenden Marktdynamik und der zunehmenden Unternehmensspezialisierung Rechnung zu tragen, entstand Mitte der 1990er Jahre das Konzept der *Virtual Enterprise*. Grundgedanke ist hier der zeitlich befristete Zusammenschluss mehrerer rechtlich unabhängiger Unternehmen zu einem Konsortium zwecks gemeinsamer Produkt- oder Dienstleistungserstellung (vgl. Camarinha-Matos/Afsarmanesh 1999a, S. 16). Dem Kunden gegenüber treten die Partner als ein Unternehmen auf. Die Zusammensetzung des Verbunds orientiert sich stets an den für das Projekt erforderlichen Kompetenzen. Nach Abschluss der Leistung wird der Zusammenschluss alsbald gelöst. In der Literatur finden sich viele – diese Punkte aufgreifende – Definitionen: beispielsweise bei Schönsleben 2016, S. 98; Huang/Wong/Wang 2004, S. 294; Martinez et al. 2001, S. 225; Camarinha-Matos/Afsarmanesh 1999b, S. 4; Hardwick et al. 1996, S. 47. Häufig wird in den Ausführungen der dynamische Charakter sowie die erforderliche Unterstützung durch innovative Informations- und Kommunikationstechnologien hervorgehoben. Camarinha-Matos/Afsarmanesh (1999a, S. 16) führen dies auch als Differenzierungsmerkmal zu früheren Kooperationsformen an. Um möglichst schnell in geeigneten Konsortien zusammenfinden zu können, betont Schönsleben (2016, S. 98) die Notwendigkeit eines langfristig angelegten Netzwerks, das den Rahmen für die Zusammenarbeit vorgibt und aus dem im Bedarfsfall die Partner rekrutiert werden.

Ähnliche Begriffe zur Virtual Enterprise sind *Extended Enterprise*, *Virtual Organization* oder *Networked Organization*, die nach Camarinha-Matos/Afsarmanesh (1999b, S. 6) einen spezielleren bzw. erweiterten Fokus haben. Außerdem weist das Konzept der *Virtual Factory* je nach Auslegung eine erkennbare Nähe zur Virtual Enterprise auf. Allerdings existieren für dieses Konzept sehr gegensätzliche Definitionen, für die sich eine Gegenüberstellung bei Jain et al. (2001, S. 596 f.) findet.

3.1.2.3 Networked Manufacturing

Das Konzept des *Networked Manufacturing* (deutsch: vernetzte Fertigung) erfährt sowohl im akademischen als auch im industriellen Kontext seit einigen Jahren große Aufmerksamkeit. Infolgedessen sind viele Strategien, systematische Rahmenkonzepte und Methoden für dessen Umsetzung entwickelt worden (vgl. Jiang et al. 2007, S. 128). Das Konzept greift Entwicklungen wie Globalisierung, Kollaboration, Individualisierung, Digitalisierung und Agilität auf und schafft (konzeptionell) eine Umgebung für die kollaborative Zusammenarbeit von Kunden, Herstellern und Lieferanten (vgl. Zhou/Jiang/Huang 2009, S. 972). Der Begriff findet sich in der Literatur seit Ende der 1990er Jahre. Dan et al. (2005, S. 2632) beschreiben *Networked Manufacturing* lediglich als Methode, um Fertigungsressourcen zwischen Unternehmen, Universitäten und sonstigen Forschungseinrichtungen zu teilen. Fan et al. (2005, S. 2617) hingegen gestalten das Konzept präziser aus und erläutern es als Schema hochentwickelter Fertigung, das die Trends hin zu einer wissensbasierten Wirtschaft und einer globalverteilten Fertigung unterstützt. Als primäres Ziel sehen sie eine beschleunigte Reaktion der Unternehmen auf veränderte Marktanforderungen und infolgedessen deren verbesserte Wettbewerbsfähigkeit. Darüber hinaus soll das Konzept die Unternehmen dabei unterstützen, die Nachteile geographisch verteilter Standorte auszugleichen und alle anfallenden Geschäftsprozesse im Zuge des Produktlebenszyklus zu unterstützen.

Eine scharfe Abgrenzung zu anderen übergeordneten Konzepten lässt sich vor dem Hintergrund einer ähnlichen Motivation, einer vergleichbaren technologischen Basis, analoger Lösungsstrategien und begrifflicher Überschneidungen nicht herbeiführen. Aus diesem Grund wird das *Networked Manufacturing* als evolutionäre Weiterentwicklung und komplementäres Konzept für die unternehmensübergreifende Koordination von Fertigungskapazitäten und Fertigungswissen verstanden. Ein teilweise synonym verwendeter Begriff zum *Networked Manufacturing* ist *Extended Enterprise*, welcher die unternehmensübergreifende Perspektive besonders hervorhebt (vgl. Jiang et al. 2007, S. 127).

3.1.2.4 Manufacturing Grid

Inspiriert durch das Konzept des verteilten Rechnens (eng. *Grid Computing*), bei dem viele Einzelcomputer gemeinsam eine rechenintensive Aufgabe lösen, überträgt das *Manufacturing Grid* (dt. Fertigungsnetz oder -raster) dieses Prinzip auf verteilte Fertigungsmaschinen, Materialien, Produkte, Daten, Werkzeuge und Arbeitskräfte (vgl. Qiu 2004, S. 4668). Durch die Anwendung der *Grid-Technologie* soll die räumliche Entfernung zwischen den Unternehmen für die Zusammenarbeit überwunden und alle Ressourcen vollständig vernetzt werden (vgl. Tao/Hu/Zhou 2008b, S. 1023; Tao/Hu/Zhou 2008a, S. 38). Dies versetzt beispielsweise ein KMU in die Lage, eine fremde Produktionsanlage zu nutzen, um schnell auf Veränderungen am Markt reagieren zu können und gleichzeitig kostenintensive Investitionen in zusätzliche eigene Kapazitäten einzusparen (vgl. Liu/Shi 2008, S. 210). Um sich an die Marktdynamik anzupassen, ist es erforderlich, dass die Teilung der Ressourcen zwischen beliebigen Partnern und über verschiedene Plattformen, Sprachen sowie Softwareumgebungen hinweg erfolgen kann (vgl. Liu/Shi 2008, S. 207).

Das Funktionsprinzip des Manufacturing Grid sieht vor, dass alle Teilnehmer (Fabriken) innerhalb des „Netzes“ produktionsbezogene Services für die Herstellung unterschiedlicher Produkte zur Verfügung stellen. Diese Services lassen sich vor Produktionsstart konfigurieren und währenddessen rekonfigurieren (vgl. Qiu 2004, S. 4668). Die so entstehende Virtual Enterprise erlaubt es den teilnehmenden Unternehmen, integraler Bestandteil vieler Supply Chains zu werden und die eigenen Kompetenzen optimal einzusetzen. Das übergeordnete Konzept greift also die Idee der Virtuellen Unternehmung auf und versucht, bestehende Barrieren durch neue technologische Ansätze zu überwinden. Das Manufacturing Grid hat seinen Ursprung in China und wird auch überwiegend im asiatischen Raum von der Wissenschaft diskutiert.

3.1.2.5 Cloud Manufacturing

Das *Cloud Manufacturing* oder auch Cloud-based Manufacturing lehnt sich an das Konzept des *Cloud Computing* an (vgl. Xu 2012, S. 76) und überträgt dessen Prinzipien in das Produktionsumfeld. Das Cloud Computing ermöglicht einen allgegenwärtigen, einfachen und bedarfsgerechten Zugriff auf gemeinsam genutzte Computerressourcen (vgl. Mell/Grance 2011, S. 2). Entsprechend zielt das Cloud Manufacturing darauf ab, ein uneingeschränktes Teilen, eine hohe Auslastung sowie eine bedarfsgerechte Nutzung verschiedenster Produktionsressourcen als Service zu ermöglichen (Wu et al. 2013b, S. 565; Wu et al. 2013a, S. 1; Xu 2012, S. 79; vgl. Tao et al. 2011, S. 1971). Der Begriff Cloud Manufacturing wird seit 2010 diskutiert und erhält seitdem viel Aufmerksamkeit in der wissenschaftlichen Literatur (vgl. Abbildung 13).

Gemäß Talhi et al. (2015, S. 188) umfassen die im Rahmen des Cloud Manufacturing genutzten Ressourcen bzw. Fähigkeiten das Produktdesign, die Fertigung, das Testen, das Management sowie alle übrigen Phasen des Produktlebenszyklus, die in Services gebündelt zur Verfügung gestellt und in einer „Pay as you go“-Form genutzt werden können. Ein Produzent kann also ihm fehlende Kompetenzen über Service-Angebote nach Bedarf in seine Leistungserstellung integrieren und dafür bezahlen. Nach Wu et al. (2014, S. 94) und Tao et al. (2014, S. 1437) greift das Cloud Manufacturing neben dem Cloud Computing auf viele weitere unterstützende Technologien wie beispielsweise das Internet der Dinge⁶ (eng. Internet of Things – IoT) und eine Service-orientierte Architektur⁷ (eng. Service-oriented Architecture – SOA) zurück und entwickelt so vorangegangene Produktionskonzepte auf Basis aktueller technologischer Fortschritte konsequent weiter. Als Teilnehmer des Cloud Manufacturing werden drei Gruppen unterschieden: die Nutzer mit einem Bedarf nach Ressourcen oder Fähigkeiten, die Betreiber der Cloud Manufacturing-Plattform und die Anbieter der physischen Infrastruktur bzw. des Know-hows (Wu et al. 2013b, S. 565 f.; vgl. Tao et al. 2011, S. 1971).

⁶ Für den Begriff des IoT vgl. Bullinger/Hompel 2007.

⁷ Hintergründe zum SOA finden sich bei Erl 2006.

3.1.2.6 Social Manufacturing

Verglichen mit den übrigen Konzepten stellt das *Social Manufacturing* (deutsch: Soziale Fertigung) den sozialen Charakter bei der übergreifenden Ressourcennutzung ins Zentrum. Eine erste Diskussion um den Begriff findet sich in der Literatur ab 2010 (vgl. Abbildung 13). Zwecks Abgrenzung bezeichnen Cao/Jiang/Jiang (2015, S. 1276) *Social Manufacturing* als eine „Light-Version“ von *Cloud Manufacturing*, die sich insbesondere auf die „Sozialisierung“ von Ressourcen für kleinere und mittlere Unternehmen fokussiert. Als Resultat sehen Jiang/Ding/Leng (2016, S. 20) eine verbesserte Verhandlungsposition für die Anbieter von Produktionsservices, die ihre Leistungen durch *Social Manufacturing* auch über die Sozialen Medien anbieten können. In der Literatur finden sich darüber hinaus weitere Definitionen, beispielsweise bei: Shang et al. (2013, S. 220), Cao/Jiang (2012, S. 61) und Leng et al. (2013, 498 f.). Eine tabellarische Gegenüberstellung von *Social Manufacturing* zu anderen Produktionsparadigmen liefern Jiang/Ding/Leng (2016, S. 18).

Trotz mehrerer Definitionen ist eine inhaltliche Abgrenzung insbesondere zum *Cloud Manufacturing* (vgl. Kapitel 3.1.2.4) nur schwer herbeizuführen, da sich vor allem die skizzierten technologischen Fundamente sehr ähneln. Als Unterscheidungsmerkmal lassen sich – getrieben durch die Diskussion um Industrie 4.0 – CPS identifizieren, die teilweise in den oben genannten Ausführungen im Zusammenhang mit *Social Manufacturing* diskutiert werden. Auch der Begriff des „Prosumers“, eine Verschmelzung der englischen Begriffe *Producer* und *Consumer*, wird häufiger erwähnt und betont die ambivalente Rolle der zukünftigen Verbraucher. Insgesamt eignet sich jedoch die gesamtgesellschaftliche und soziale Perspektive am besten zur Abgrenzung des *Social Manufacturing* von den übrigen bestehenden übergeordneten Konzepten.

3.2 Analyse bestehender Ansätze mittels strukturierter Literaturanalyse

Nachdem die bedeutendsten übergeordneten Konzepte eingeführt wurden, untersuchen die nachstehenden Abschnitte spezifischere wissenschaftliche Ansätze mit Relevanz für das untersuchte Themenfeld mittels einer strukturierter Literaturrecherche und -analyse. Die Erkenntnisse hieraus werden zusammen mit denen der Analyse der übergeordneten Konzepte in Abschnitt 3.3 diskutiert.

Ziel der nachfolgenden strukturierter Literaturanalyse ist es, durch einen systematischen Ansatz alle für die Arbeit relevanten Publikationen zu identifizieren und so die Aufarbeitung des aktuellen Stands der Forschung zu vervollständigen. Abschnitt 3.2.1 diskutiert hierzu die für das weitere Vorgehen erforderlichen Grundlagen einer strukturierter Literaturanalyse und leitet angelehnt an die einschlägige Methodenliteratur eine geeignete Vorgehensweise für die vorzunehmende Analyse ab. Einen detaillierten Überblick über die anschließende Datenerhebung und -auswertung liefert Abschnitt 3.2.2. Die Ergebnisse der strukturierter Literaturanalyse betrachtet Abschnitt 3.2.3 in wiederum drei weiteren Unterabschnitten.

3.2.1 Methodischer Überblick und Vorgehensweise

Die Anfertigung einer wissenschaftlichen Literaturanalyse (eng. Review) ist eine systematische, eindeutige und reproduzierbare Methode für die Identifizierung, Evaluierung und Zusammenfassung des bereits bestehenden Literaturkörpers (vgl. Fink 2014, S. 3). Die Anwendung einer solchen Methode dient dabei mehreren Zwecken: u. a. generiert diese einen Überblick über den Kontext der Arbeit, beschreibt vorangegangene Forschungsergebnisse und zeigt bestehende Forschungslücken auf (vgl. Ridley 2012, S. 24; Blumberg/Cooper/Schindler 2008, 106 f.; Hart 2005, S. 27). Für die vorliegende Arbeit bilden diese drei Intentionen die zentrale Motivation zur Durchführung einer umfassenden Literaturanalyse. Das angestrebte Ergebnis ist eine Gegenüberstellung sowie eine Abgrenzung der vorliegenden, zu relevanten bereits in der Literatur existierenden Arbeiten.

Im Allgemeinen erfolgt die Erstellung eines wissenschaftlichen Literaturüberblicks in drei übergeordneten Phasen: (1) der Suche, (2) der Bewertung und (3) dem Zusammenfassen der relevanten Literatur (vgl. Blumberg/Cooper/Schindler 2008, 114 ff.). Im Speziellen sind diese Phasen je nach Ziel und Art der Fragestellung für eine belastbare und transparente Analyse erheblich weiter zu differenzieren. Die einschlägige Methodenliteratur unterscheidet grundsätzlich zwei Typen von wissenschaftlichen Literaturstudien: die traditionelle und die systematische Literaturanalyse (vgl. Jesson/Matheson/Lacey 2011, S. 10). Der traditionelle Ansatz ist weniger systematisiert und hat eher narrativen Charakter. Der systematische Ansatz wird regelmäßig auch als strukturierte Literaturanalyse bezeichnet, entsprechend werden beide Begriffe hier synonym verwendet. In der Wissenschaftspraxis lassen sich beide Typen mitunter weniger scharf voneinander abgrenzen und deren Anwendung geht teilweise ineinander über.

Ursprünglich stammt die Methode der systematischen Literaturanalyse aus der medizinischen Forschung. Ihre Übertragung auf den Bereich der Managementforschung wurde erstmals von Tranfield/Denyer/Smart (2003) diskutiert und dort im Vergleich zur traditionellen, narrativen Variante als exaktere sowie objektivere Forschungsmethode vorgeschlagen. Gleichzeitig zeigen die Autoren Unterschiede zwischen medizinischer und managementorientierter Forschung auf, wodurch sich gewisse Limitationen für die Übertragbarkeit ergeben. Auch wenn die traditionelle Art der Literaturstudie nach wie vor sehr verbreitet ist, hat sich die systematische Variante innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte entwickelt und spielt inzwischen aufgrund ihrer universellen Herangehensweise in der evidenzbasierten Praxis eine tragende Rolle (vgl. Tranfield/Denyer/Smart 2003, S. 209). In einigen Fachbereichen hat sich der systematische Ansatz auch als Standardmethode etablieren können (vgl. Denyer/Tranfield 2011, S. 673). Je nach Frage- und Zielstellung der Literaturstudie können die beiden Typen auch komplementär innerhalb einer Arbeit Anwendung finden.

Dem systematischen Paradigma folgend stützt sich die vorliegende Arbeit auf eine systematisierte bzw. strukturierte Herangehensweise. Das Verständnis basiert dabei auf der Definition von strukturierten Literaturanalysen nach Denyer/Tranfield (2011, S. 671):

„Systematic review is a specific methodology that locates existing studies, selects and evaluates contributions, analyses and synthesizes data, and reports the evidence in such a way that allows reasonably clear conclusions to be reached about what is and is not known.“

Der systematische Ansatz eignet sich aus verschiedenen Gründen für das vorliegende Forschungsvorhaben. Zunächst ist der systematische und strukturierte Ansatz ein nützliches Werkzeug, um Defizite in der Forschungslandschaft zu identifizieren und Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten offenzulegen. Ein zusätzlicher Aspekt ist, dass dieser Typ von Literaturstudie für sich beanspruchen kann, durch einen rationalen und standardisierten Prozess neutraler zu sein und dem Leser Objektivität und Transparenz des Vorgehens zu vermitteln (vgl. Jesson/Matheson/Lacey 2011, S. 15). Erreicht werden diese Eigenschaften durch das Befolgen von vier Kernprinzipien, gemäß derer eine systematische Literaturanalyse replizierbar, anspruchsvoll, aggregierend und algorithmisch⁸ sein sollte (vgl. Denyer/Tranfield 2011, S. 674 ff.). Im Gegensatz zur traditionellen Literaturanalyse lässt sich so ein Bias der Untersuchung vorbeugen. Diese Eigenschaften und Maßgaben bilden die Prämisse für die Anwendung des Verfahrens in der vorliegenden Arbeit.

Zur Durchführung von systematischen Literaturstudien finden sich in der Methodenliteratur mehrere Prozessmodelle mit einer abweichenden Anzahl von Schritten oder Phasen (vgl. Fink 2014, S. 3 ff.; Denyer/Tranfield 2011, S. 681 ff.; Jesson/Matheson/Lacey 2011, S. 104). Die interdisziplinäre Verwendung dieser Methode fördert diese Vielfalt und führt zu Modellen mit unterschiedlicher Spezialisierung und abweichendem Detaillierungsgrad. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist jedoch modellübergreifend vergleichbar und folgt einer ähnlichen Abfolge logischer und inhaltlicher Schritte.

Entscheidend für die Aussagekraft einer strukturierten Literaturrecherche und -analyse sind die Festlegung einer fundierten Methodik, deren stringente Befolgung sowie eine umfassende Dokumentation der Schritte. Darüber hinaus sollte das Vorgehen darauf ausgelegt sein, eine subjektive Beeinflussung des Prozesses zu minimieren und eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Die für die vorliegende Studie entwickelte *Vorgehensweise* wird deshalb nachfolgend dargelegt. Sie orientiert sich an dem etablierten Verfahren von Fink (2014, S. 3 ff.), das sieben Schritte vorsieht: (1) Forschungsfrage auswählen, (2) Datenbanken auswählen, (3) Suchbegriffe auswählen, (4) praktische Filterkriterien anwenden, (5) methodische Filterkriterien anwenden, (6) Analyse durchführen, (7) Ergebnisse synthetisieren. Das Verfahren von Fink hat seinen Ursprung in der medizinischen Forschung, wie die systematische Literaturanalyse als wissenschaftliche Methode insgesamt. Aufgrund seines universellen Charakters lässt es sich jedoch auf eine große Bandbreite an Themen und Fragestellungen anwenden.

Um die Vorgehensweise auf die vorliegende Fragestellung anzupassen, wird die ursprüngliche Variante geringfügig modifiziert und umfasst nunmehr fünf Phasen: (1) *Untersuchungsfeld definieren*, (2) *Datenbanken identifizieren*, (3) *Suchbegriffe definieren* und

⁸ Im englischsprachigen Original lauten die Begriffe: „replicable“, „exclusive“, „aggregative“ und „algorithmic“.

Daten abrufen, (4) *Literatur filtern* und (5) *Literatur analysieren und aufbereiten*. Da die Forschungsfrage bereits feststeht, widmet sich die erste Phase der Konkretisierung des untersuchten Themenbereichs. Darüber hinaus werden einige Phasen in dem Schema von Fink zusammengefasst; die logischen und inhaltlichen Schritte sind jedoch weitestgehend identisch mit der ursprünglichen Variante. Der nachstehende Abschnitt erläutert die einzelnen Phasen ausführlich.

3.2.2 Datenerhebung und -auswertung

Bei der Durchführung einer strukturierten Literaturanalyse bieten sich – auch bei der Orientierung an einem standardisierten Schema – innerhalb der einzelnen Phasen viele Gestaltungsmöglichkeiten. Der konkrete Ablauf der durchgeführten strukturierten Literaturanalyse ist deshalb übersichtshalber in Abbildung 14 dargestellt und wird nachstehend detailliert erläutert.

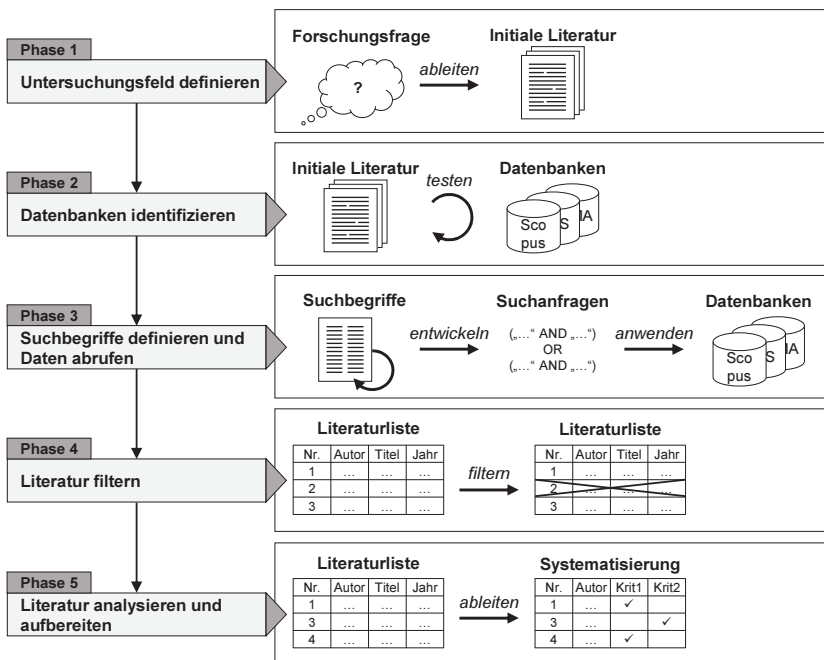


Abbildung 14: Ablauf der strukturierten Literaturanalyse (Phasen in Anlehnung an Fink 2014, 3 ff.; eigene grafische Aufbereitung)

Ausgehend von der Forschungsfrage (vgl. Kapitel 1.2) beinhaltet *Phase 1* die Zusammenstellung eines initialen Satzes an relevanter Literatur. Hierzu werden breit angelegte Suchbegriffe für eine weitestgehend unstrukturierte Online-Recherche verwendet und die identifizierten Veröffentlichungen wiederum auf Verweise auf weitere relevante Literatur

und Themenbereiche untersucht. Das Ergebnis ist eine überschaubare Sammlung bedeutsamer Quellen. Die Auswertung dieser Zusammenstellung erlaubt es, Rückschlüsse über die Art der Veröffentlichungen zu ziehen, in denen die untersuchte Fragestellung thematisiert wird. Wichtiger ist jedoch, dass die Dokumente außerdem in diesem Kontext verwendete Schlagwörter und Formulierungen liefern.

In *Phase 2* steht die Identifikation geeigneter Datenbanken im Vordergrund. Als Kriterium für die Zweckmäßigkeit der Datenbanken für die vorliegende Analyse wird der initiale Satz an relevanter Literatur herangezogen. Trotz der überschaubaren Anzahl an Dokumenten hierin ist eine Evaluation der jeweiligen Datenbank über eine Verfügbarkeitsprüfung der initialen Publikationen möglich. Als Ergebnis dieser Phase werden die elektronischen Literaturdatenbanken Scopus⁹, TEMA¹⁰ (Technik und Management) und Web of Science¹¹ selektiert. Insgesamt bietet die Kombination dieser drei Datenbanken eine sehr breite Abdeckung der potenziell relevanten Literatur. Gleichzeitig erlauben die ausgewählten Datenbanken das Exportieren der Suchergebnisse in tabellarischer Form zur weiteren Analyse.

Ausgehend von der initial zusammengestellten Literatur generiert *Phase 3* eine Liste von Suchbegriffen. Der erste Schritt hierzu ist die Zusammenstellung infrage kommender deutscher sowie englischer Begriffe bzw. Formulierungen. Diese Sammlung wird um alternative Schreibweisen sowie Synonyme ergänzt und anschließend in thematische Blöcke unterteilt. Zur Identifikation sinnvoller Kombinationen der Begriffsblöcke zu einer Suchanfrage erfolgt die Pilotierung diverser Kombinationen an den in Phase 2 ausgewählten Datenbanken. Die Testanfragen werden für einen übergeordneten Vergleich mit ihren wichtigsten Eigenschaften in einem Protokoll festgehalten. Das erste Kriterium zur Evaluierung der Suchanfrage ist die Anzahl der Treffer. Umfasst die Datenbankausgabe beispielsweise mehrere Tausend Dokumente, ist die Suchanfrage vermutlich zu breit und eine Weiterverarbeitung erscheint zu aufwendig. Liefert die Anfrage nur wenige Treffer, ist sie zu spezifisch und eine möglichst vollständige Abdeckung der relevanten Dokumente ist wahrscheinlich nicht gegeben. Das zweite Kriterium zur Beurteilung einer Suchanfrage ist das Verhältnis von relevanten zu irrelevanten Treffern. Dieses lässt sich näherungsweise durch eine stichprobenartige Analyse bestimmen und sollte weder zu klein (zu hoher Aufwand) noch zu groß (zu geringe Abdeckung) sein. Insgesamt beinhalten diese Schritte gewisse Freiheitsgrade bzw. Ermessensspielräume und sind darüber hinaus eher iterativer als sequenzieller Natur.

Eine schematische Aufbereitung der finalen Anfragen findet sich in Abbildung 15. Die schlussendlich verwendeten Anfragen in der datenbankspezifischen Syntax sind in Anhang A dargestellt.

⁹ www.scopus.com

¹⁰ <http://wtiweb.wti-frankfurt.de>

¹¹ www.webofknowledge.com

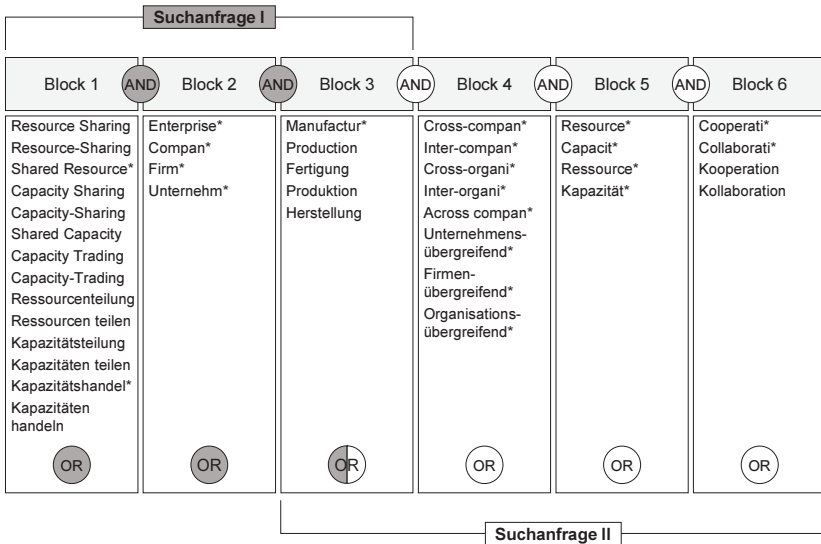


Abbildung 15: Suchbegriffe und Suchanfragen der strukturierten Literaturrecherche („*“ interpretieren die Datenbanken als Stellvertretersymbol für beliebige Zeichen)

Für die vorliegende Studie wurden zwei Suchanfragen mit insgesamt sechs Begriffsblöcken entwickelt. Synonyme und alternative Schreibweisen sind mit dem logischen Operator „OR“, Begriffsblöcke mit dem Operator „AND“ verknüpft. Beide Suchanfragen werden jeweils auf die zuvor ausgewählten Datenbanken angewendet und liefern insgesamt 626 Treffer. Hiervon stammen 321 aus der Scopus-, 167 aus der TEMA- und 138 aus der Web of Science-Datenbank. Zusätzlich zu diesen Treffern werden vier manuell identifizierte Artikel dem Literaturpool hinzugefügt, welche aufgrund des Veröffentlichungstyps nicht in den Datenbanken enthalten sind. Insgesamt ergeben sich damit 630 Einträge für die weitere Analyse. In einem ersten Schritt sortiert eine Vorfilterstufe offensichtlich doppelte und unvollständige Einträge innerhalb der drei Datensätze heraus, wodurch sich die Anzahl der Dokumente auf 608 reduziert. Die Verteilung der verbleibenden Treffer auf die drei Datenbanken sowie die jeweiligen Schnittmengen sind in Abbildung 16 dargestellt.

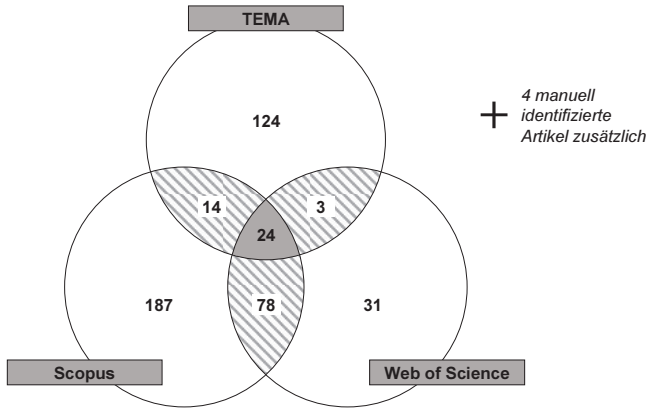


Abbildung 16: Einträge und Schnittmengen der Datenbanken

In *Phase 4* wird die aus den Abfragen erstellte Literaturliste konsolidiert und weiter gefiltert. Nach der bereits erwähnten Filterstufe 1 identifiziert Filterstufe 2 die Duplikate, welche aus der partiellen Überschneidung der Literaturdatenbanken resultieren und schließt diese von der weiteren Betrachtung aus. Als nächstes erfolgt die Anwendung der Filterstufe 3, die aus einem Titel- und Abstract-Screening mit definierten Filterkriterien besteht. Um weiterhin in der Analyse berücksichtigt zu werden, müssen sich die Artikel demnach erstens auf produzierende Unternehmen beziehen und zweitens unternehmensübergreifende Prozesse thematisieren. Als Zwischenergebnis liegt damit ein umfangreicher Literaturpool vor, der für die vorliegende Forschungsarbeit im weiteren Sinne relevant ist. Eine Liste dieser Publikationen findet sich in Anhang B.

Zur Herstellung einer Übersicht definiert eine Clusteranalyse inhaltliche Gruppen der Dokumente. Auf Basis dieser Auswertung lassen sich einige Cluster und damit Dokumente von der weiteren Betrachtung ausschließen (Filterstufe 4). Im Rahmen der Filterstufe 5 erfolgt die Auswertung der Volltexte aller verbleibenden Dokumente. Die Differenzierung beruht dabei auf vier von den Ansätzen zu erfüllenden Kriterien:

- (1) industrielle Fertigung¹²,
- (2) temporäre, kurzfristige Zusammenarbeit,
- (3) alleiniges Eigentum der Ressourcen¹³ und
- (4) Umsetzungscharakter.

Am Ende der Phase 4 steht eine Liste mit im engeren Sinn relevanten Ansätzen. Die Filterstufen sowie die jeweilige sich ergebende Dokumentanzahl sind in Abbildung 17 dargestellt.

¹² Ausschluss beispielsweise von Fast Moving Consumer Goods (FMCG)

¹³ Einige der Ansätze diskutieren den Fall einer gemeinsamen Anschaffung und Nutzung einer Ressource durch mehrere Unternehmen. Diese Artikel weisen ein ähnliches Vokabular auf, unterscheiden sich inhaltlich jedoch elementar von dem hier untersuchten Feld (vgl. Abschnitt 1.3).

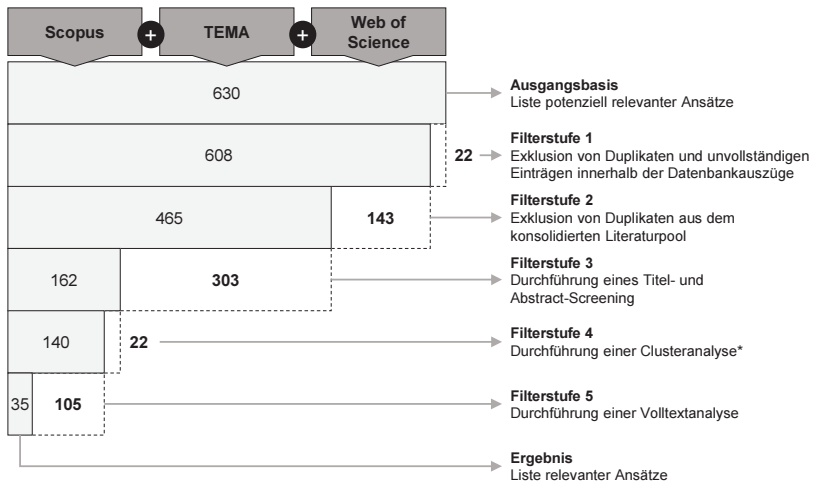


Abbildung 17: Filterstufen der strukturierten Literaturanalyse

In *Phase 5* erfolgt die eingehende Analyse und Aufbereitung der im weiteren und engeren Sinne relevanten Literatur. Ziel ist es dabei, den aktuellen Stand der Forschung in Ergänzung zu den bereits in Abschnitt 3.1 gewonnenen Erkenntnissen umfassend abzubilden. Zusätzlich zu einer qualitativen Systematisierung und inhaltlichen Betrachtung der Literatur wird in dieser Phase das quantitative Verfahren des *Text Mining* angewendet. Primäre Intention des Text Mining ist es, Informationen automatisiert aus unstrukturierten Texten zu extrahieren und diese in einer komprimierten Form darzustellen (vgl. Thomas/McNaught/Ananiadou 2011, S. 2). Folglich eignet sich das Verfahren insbesondere für die Verarbeitung einer großen Anzahl an Dokumenten und stellt damit eine sinnvolle Ergänzung im Rahmen strukturierter Literaturanalysen dar.

Grundsätzlich greift das Text Mining auf unterschiedliche Methoden zurück, von denen vor allem die automatische Begriffserkennung (eng. Automatic Term Recognition – ATR), das Dokument-Clustering, die Dokumentklassifizierung sowie die Dokumentzusammenfassung praktische Bedeutung besitzen (vgl. Thomas/McNaught/Ananiadou 2011, S. 2). Im vorliegenden Fall ist das Ziel der Analyse, inhaltlich nahe Dokumente in einem Cluster zu aggregieren, die unübersichtliche Forschungslandschaft zu strukturieren und diese außerdem grafisch zu veranschaulichen.

Die Zuordnung zu einem Cluster erfolgt auf Basis der berechneten Ähnlichkeit (eng. Similarity) zwischen den erzeugten Wortvektoren zweier Dokumente, die aus den automatisiert extrahierten Wörtern und Begriffen bestehen. Zur Bildung einer Rangfolge der Wörter innerhalb des Vektors eines Dokuments wird das relative Häufigkeitsmaß TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) berechnet. Anschließend werden häufige Terme genutzt, um den Inhalt eines Dokuments zu charakterisieren und die Ähnlichkeit

zwischen Dokumenten zu quantifizieren (vgl. Ananiadou et al. 2009, S. 512). Da die Sprache einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Analyse hat, beschränkt sich das Vorgehen auf die überwiegende Menge an verfügbarer englischsprachiger Literatur, sodass insgesamt 145 Dokumente in der Analyse betrachtet werden.

Zur Umsetzung der oben beschriebenen Vorgehensweise kommen zwei Softwares zum Einsatz. Als erstes wird Rapidminer¹⁴ für die Dokumentverarbeitung, die Erzeugung der Wortvektoren und die Berechnung der Ähnlichkeiten eingesetzt. Als zweites wird Gephi¹⁵ für die Visualisierung des Netzwerks und die Identifikation von Clustern verwendet. Die Verarbeitung in Rapidminer erfolgt in mehreren, sequenziellen Schritten: der Text wird fragmentiert (Tokenize), vollständig in Kleinbuchstaben umgewandelt (Transform Cases), Wörter mit weniger als drei Zeichen herausgefiltert (Filter by Length), ähnliche Wörter als Wortstamm aggregiert (Stem), Stoppwörter herausgefiltert (Filter Stopwords) und zusammengesetzte Wörter identifiziert (Generate n-Grams). Das Ergebnis sind Wortvektoren je Dokument, die nach Häufigkeit der jeweiligen Worte geordnet werden können. Als nächstes erfolgt die Berechnung der Ähnlichkeit zwischen Dokumenten mithilfe der Cosine Similarity (vgl. Theodoridis/Koutroumbas 2009, S. 606), die in der Wissenschaftspraxis regelmäßig bei Text Mining-Projekten zum Einsatz kommt.

Die Berechnungsergebnisse werden daraufhin in Tabellenform ausgegeben, gespeichert und zur weiteren Analyse in Gephi geladen. Die untersuchte Literatur wird hier als ungerichteter Graph mit Knoten (Dokumente) und gewichteten Kanten (Ähnlichkeitsmaß) dargestellt. Das Layout des Netzwerks wird mithilfe des Algorithmus Force Atlas 2 nach Jacomy et al. (2014) erzeugt, der eine interpretierbare und differenzierte Darstellung des Graphen liefert. Die Zuordnung der Dokumente zu geeigneten Clustern erfolgt auf Basis der Ergebnisse des Modularity-Algorithmus nach Blondel et al. (2008). Die entwickelten Prozesse, alle relevanten Parameter der Analysen sowie eine Auflistung der in die Untersuchung eingegangenen Publikationen finden sich in Anhang C. Der ausführlichen Darlegung konkreter Ergebnisse im Zuge des Text Mining sowie der übrigen Datenerhebung und -auswertung widmet sich der nachstehende Abschnitt.

3.2.3 Ergebnisse

Die Erläuterung der Ergebnisse gliedert sich in drei Abschnitte. Abschnitt 3.2.3.1 umfasst eine Meta-Analyse der im weiteren Sinne relevanten Publikationen und Abschnitt 3.2.3.2 eine Systematisierung der im engeren Sinne relevanten Ansätze als merkmalsbezogene Gegenüberstellung. Basis für diesen Vergleich sind für die Untersuchung wesentliche Merkmale der wissenschaftlichen Arbeiten. Das Ergebnis ist eine Systematisierung der charakteristischen Merkmale aller relevanten Ansätze in Form einer Matrix. Diese Darstellungsweise ist geeignet, um Schwerpunkte und Defizite innerhalb des aktuellen

¹⁴ <https://rapidminer.com/>

¹⁵ <https://gephi.org/>

Stand der Forschung offenzulegen. Abschnitt 3.2.3.3 beinhaltet eine detaillierte Betrachtung ausgewählter Ansätze, welche die aktuelle Forschung im besonderen Maße charakterisieren.

3.2.3.1 Meta-Analyse der identifizierten Publikationen

Bei der Durchführung strukturierter Literaturrecherchen und -analysen ist es üblich, die identifizierte Literatur auch deskriptiv in Rahmen einer Meta-Analyse zu betrachten. Für diesen Zweck wird die Literatur nach der zweiten Filterstufe herangezogen, also alle im weiteren Sinne relevanten Dokumente. Auf diese Weise kann ein umfassender Überblick über die aktuelle Forschungslandschaft gewonnen werden, bevor eine detailliertere und auf das Forschungsvorhaben bezogene Fokussierung erfolgt (vgl. Abschnitt 3.2.3.2).

Insgesamt beziehen sich die nachstehenden Angaben auf 162 wissenschaftliche Dokumente (vgl. Anhang B), von denen 147 (ca. 90,7 %) in englischer und 15 (ca. 9,3 %) in deutscher Sprache verfasst sind. Arbeiten in anderen Sprachen wurden sofern nicht ohnehin durch die Suchbegriffswahl bedingt von der Betrachtung ausgeschlossen. In Abbildung 18 ist die Anzahl der Publikationen im Zeitverlauf dargestellt.

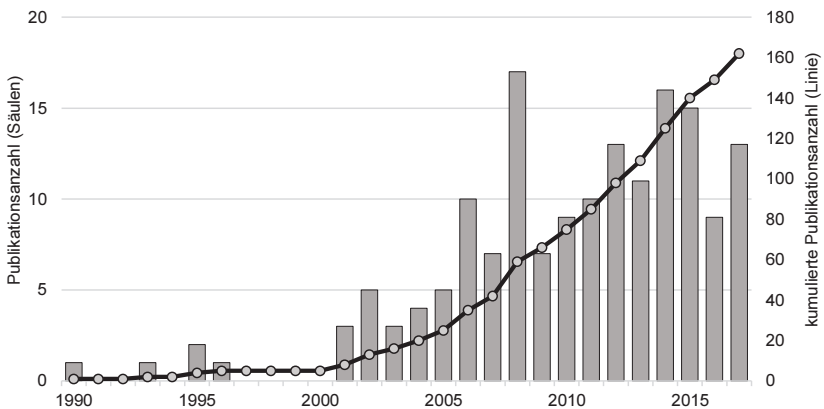


Abbildung 18: Anzahl relevanter Publikationen nach Jahr

Die Abbildung zeigt, dass sich erste Arbeiten zu dem betrachteten Forschungsbereich bereits ab dem Jahr 1990 finden. Diese Arbeiten erschienen jedoch eher vereinzelt und waren in keine umfassende Diskussion eingebettet. Zu diesem Zeitpunkt wurde das übergeordnete Konzept des *Distributed Manufacturing* bereits diskutiert und wenige Jahre später kam auch das der *Virtual Enterprise* hinzu. Kurz vor der Jahrtausendwende wurde darüber hinaus der Begriff des *Networked Manufacturing* zunehmend populärer (vgl. Abschnitt 3.1). Deshalb überrascht es nicht, dass auch das Interesse an dem untersuchten Themenbereich und damit die Anzahl der als relevant eingestuft Publications am Anfang der 2000er Jahre erkennbar ansteigt. Seit diesem Zeitpunkt wächst die Zahl der

Veröffentlichungen kontinuierlich an und unterstreicht somit die steigende Relevanz des untersuchten Themenbereichs.

Zusätzlich zu einer zeitbezogenen Betrachtung der bestehenden Literatur geben auch die gewählten Forschungsmethoden Aufschluss über bisherige Lösungsstrategien sowie Herangehensweisen und helfen so, den Literaturkörper weiter zu charakterisieren. Außerdem lässt sich über den Fachbereich einer Publikation auf deren ungefähren Fokus bzw. die eingenommene Perspektive schließen. Aus diesem Grund stellt die nachstehende Abbildung 19 die gewählte *Methode* dem *Fachbereich* der Publikation in einer Matrix gegenüber, sodass sich ein differenzierter Überblick über die analysierte Literatur ergibt.

Für die Zuordnung des Fachbereichs orientiert sich die Darstellung an den Kategorien der Scopus-Datenbank (Subject Areas). Für 38 von 162 Veröffentlichungen, die nicht in dieser Datenbank enthalten sind, erfolgt die Zuweisung des Fachbereichs manuell und in Anlehnung an bereits klassifizierte Artikel. Aufgrund regelmäßiger Mehrfachzuweisungen einer Veröffentlichung zu mehr als einem Fachbereich weicht die Gesamtzahl der Datenpunkte (272) von der Anzahl der Dokumente (162) ab. Die Fläche der Kreise korrespondiert mit der Anzahl der Publikationen je Fachbereich und methodischer Herangehensweise.

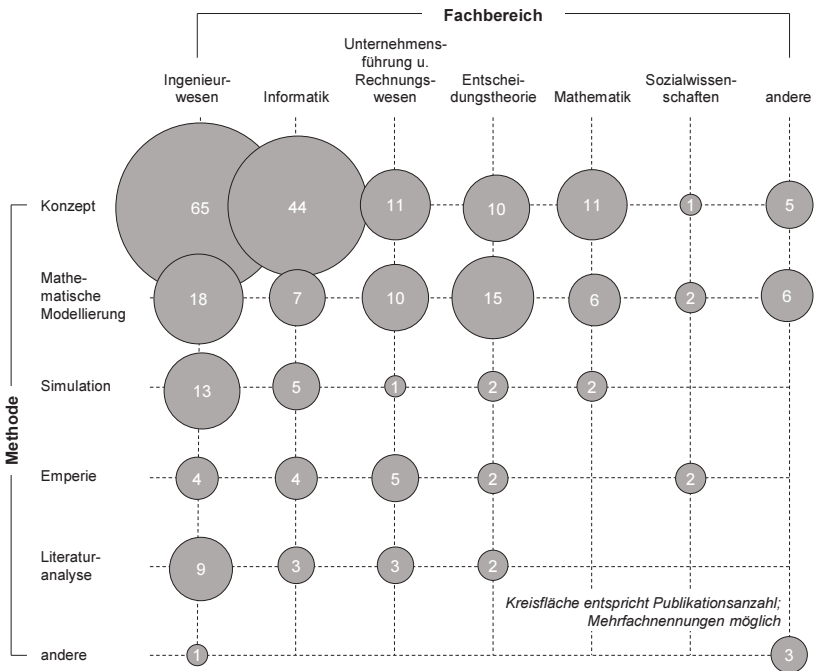


Abbildung 19: Gegenüberstellung von Hauptfachbereich und -methode

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass das Ingenieurwesen im Untersuchungsfeld der am häufigsten vertretene Fachbereich ist. Die zweitgrößte Disziplin ist die Informatik, gefolgt von der Unternehmensführung und dem Rechnungswesen sowie der Entscheidungstheorie. Die Gebiete Mathematik und Sozialwissenschaften sowie andere Fachbereiche spielen eher eine untergeordnete Rolle. Im Ingenieurwesen und der Informatik setzen die Autoren am häufigsten auf konzeptionelle Herangehensweisen, während im Bereich Unternehmensführung und Rechnungswesen sowohl konzeptionelle als auch analytisch-mathematische Arbeiten einen Schwerpunkt ausmachen. Im Fachbereich Entscheidungstheorie verfolgen die Autoren ebenfalls diese beiden Herangehensweisen, wobei ein leichter Überhang aufseiten der analytisch-mathematischen Arbeiten besteht.

Simulation wird als Werkzeug vor allem im Ingenieurwesen und der Informatik eingesetzt. Empirische Erhebungen finden sich bis auf in der Mathematik und anderen Fachbereichen – wenn auch in geringer Stückzahl – in allen Disziplinen. Insgesamt ist auffällig, dass keine Methode in nur einem Themenbereich zur Anwendung kommt und sich der vorliegende Forschungsbereich somit als sehr interdisziplinär darstellt. Zwar liefert das Ingenieurwesen die meisten Beiträge, die Anzahl an Dokumenten aus den übrigen Fachbereichen lässt jedoch auch dort auf eine fundierte Diskussion schließen. Als Ergebnis der Gegenüberstellung kann festgehalten werden, dass die Fachbereiche *Ingenieurwesen*, *Informatik*, *Unternehmensführung* und *Rechnungswesen* sowie *Entscheidungstheorie* den größten Bezug zur vorliegenden Arbeit besitzen. Darüber hinaus offenbart die Systematisierung einen konzeptionellen Schwerpunkt bei der methodischen Herangehensweise.

Neben der übergeordneten Kategorisierung der Literatur nach Forschungsmethode und Fachbereich, erfolgt außerdem eine inhaltliche Auseinandersetzung mit den identifizierten Artikeln. Problematisch ist hierbei jedoch die relativ große Anzahl an auszuwertenden Dokumenten, weshalb eine zumindest in Teilen automatisierte Auswertung der Datenbasis notwendig erscheint. Die Zielsetzung besteht demnach darin, die analysierte Literatur zu strukturieren und so das weitere Filtern zu erleichtern. Hierfür greift die vorliegende Arbeit auf die Methode des Text Mining in der in Abschnitt 3.2.2 ausgeführten Vorgehensweise zurück.

Die Zuordnung eines Dokuments zu einem Cluster erfolgt dabei, wie bereits in Abschnitt 3.2.2 erwähnt, durch den Modularity-Algorithmus nach Blondel et al. (2008). Dieser eignet sich insbesondere für das Erfassen von Strukturen in großen Netzwerken. Das Netzwerk besteht im vorliegenden Fall aus den Dokumenten (Knoten) und dem beschriebenen Ähnlichkeitsmaß als Relation zweier Dokumente (Kanten). Einer der Vorteile des Modularity-Algorithmus besteht darin, dass die Clusteranzahl nicht a priori explizit festgelegt werden muss. Die Festlegung der Clusteranzahl erfolgt lediglich indirekt durch einen Parameter, welcher die Neigung zu mehr oder weniger Clustern steuert. Folglich ist das Resultat nicht – wie häufig bei anderen Clustermethoden – durch die vordefinierte Anzahl beeinflusst. Das Ergebnis der Analyse sind zehn Cluster inhaltlich ähnlicher Dokumente (vgl. Abbildung 20).

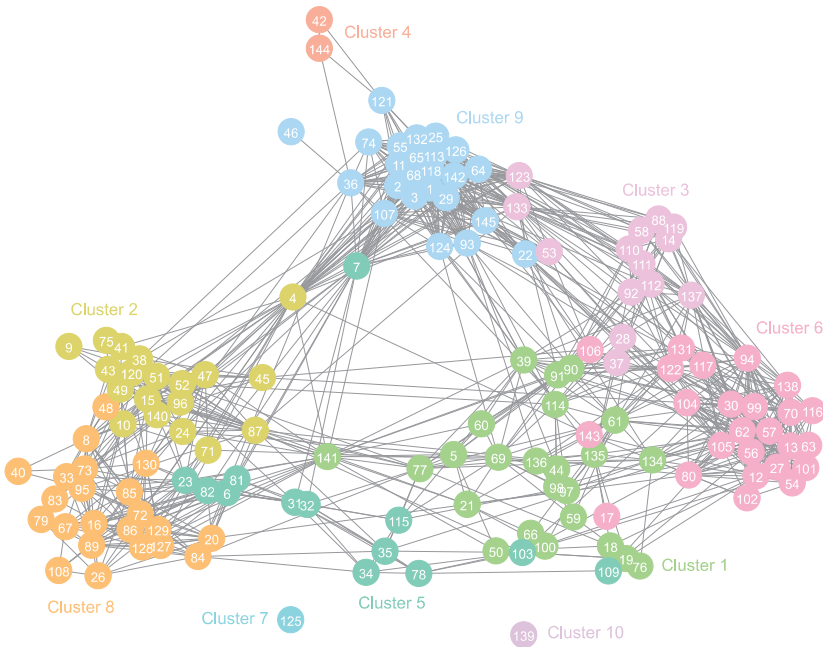


Abbildung 20: Durch Text Mining identifizierte Literaturcluster

Die resultierenden Cluster unterscheiden sich erkennbar in ihrer Größe. Die kleinsten Cluster (7 und 10) enthalten lediglich ein Dokument während das größte Cluster (6) 25 Dokumente umfasst. Insgesamt fällt auf, dass drei Cluster (4, 7 und 10) sich in ihrer geringen Größe deutlich vom Rest der Cluster unterscheiden, welche 13 Dokumente und mehr enthalten. Insbesondere die Cluster 7 und 10 besitzen keine Verbindung zu anderen Dokumenten, sodass hier von Nischenthemen innerhalb des Betrachtungsfeldes ausgegangen werden kann. Die Cluster 2, 6, 8 und 9 umfassen deutlich mehr Dokumente und besitzen gleichzeitig eine relativ hohe lokale Konzentration. Dies lässt auf eine vergleichsweise hohe Homogenität innerhalb der Cluster schließen und thematisch stark verwandte Dokumente erwarten. Im Gegensatz hierzu sind vor allem die Cluster 1 und 5 räumlich stärker verteilt, sodass in diesen Fällen von einer geringeren Ähnlichkeit zwischen den Dokumenten ausgegangen werden muss. Das Cluster 3 besitzt partiell ebenfalls eine gute lokale Konzentration und damit eine hohe Homogenität. Zusätzlich zur grafischen Interpretation des Gesamtnetzwerks, soll über eine Charakterisierung der Cluster eine inhaltliche Differenzierung der Dokumentgruppen erzeugt werden. Zur Beschreibung und zielgerichteten Interpretation dienen die jeweils enthaltenen Titel der Dokumente sowie die Worthäufigkeiten innerhalb des Clusters.

Cluster 1 enthält Arbeiten, die sich überwiegend mit dem *Terminplanungsproblem* (eng. Scheduling) befassen und dafür häufig auf agentenbasierte Modellierung zurückgreifen. Ferner nehmen die Publikationen oftmals die Perspektive von KMU ein und liefern auf diese Unternehmensgruppe zugeschnittene Lösungen. Die Arbeiten in *Cluster 2* betrachten das Forschungsfeld vielfach aus einer Supply Chain- bzw. Netzwerkperspektive und thematisieren *Allianzen als Kooperationsform*. Kennzeichnend in diesem Zusammenhang sind die häufig verwendeten Begriffe „Co-Creating“ und „Co-Production“. *Cluster 3* umfasst überwiegend Dokumente, die eine Integration der physischen Fertigungsmaschinen und -anlagen in *virtuelle Services* anstreben. Entsprechend häufig sind Begriffe wie „Web-Service“, „semantisches Web“ oder „Ontologie“ innerhalb der Dokumente. *Cluster 4* setzt sich aus zwei Dokumenten zusammen, in denen sich die Autoren mit der Ressourcenteilung in Fertigungssystemen befassen und methodisch auf *Petri-Netze* zurückgreifen.

In *Cluster 5* wird die *Virtual Enterprise* (vgl. Kapitel 3.1.2.2) von den Autoren aus unterschiedlichen Sichtweisen diskutiert. Ein Sub-Cluster der Arbeiten adressiert die Partnerauswahl in einem solchen Verbund, während andere spieltheoretische oder agentenbasierte Ansätze entwickeln. *Cluster 6* beinhaltet Publikationen, die sich mit dem Konzept des *Manufacturing Grid* (vgl. Abschnitt 3.1.2.4) auseinandersetzen. Die Arbeiten entwickeln dabei sowohl konzeptionelle Rahmenmodelle als auch Lösungen für einen sicheren Zugriff. *Cluster 7* umfasst ein Dokument, das ein *Reifegradmodell für die Ressourcenkoordination* in Unternehmensnetzwerken herleitet. Die in *Cluster 8* enthaltenen Dokumente greifen den Begriff *Ressourcenteilung* (eng. *Resource Sharing*) auf und liefern beispielsweise Ansätze zur Entscheidungsunterstützung, Algorithmen sowie Protokolle für die Koordination in diesem Feld. *Cluster 9* enthält überwiegend Arbeiten zum *Cloud Manufacturing* (vgl. Kapitel 3.1.2.4). Die Autoren entwickeln hier beispielsweise mehrschichtige Architekturen oder Rahmenwerke für das Cloud Manufacturing, liefern aber teilweise auch empirische Daten zum aktuellen Stand der Umsetzung. Das in *Cluster 10* enthaltene Dokument beschreibt eine *Architektur*, welche die Produktentwicklung sowie Fertigung integriert und damit die *Basis für eine kollaborative Fertigung und Ressourcenteilung* schafft.

Über die grafische Darstellung und inhaltliche Charakterisierung hinaus bietet die Analyse die Möglichkeit, das Feld relevanter Arbeiten weiter einzugrenzen und auf diese Weise die Auswertung zu fokussieren. Auf Basis der inhaltlichen Beschreibung können die Cluster 4, 7 und 10 von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden (vgl. Filterstufe 4 in Abbildung 17). Die jeweiligen Dokumente behandeln aus Sicht der vorliegenden Arbeit Randthemen und tragen nicht zur Beantwortung der Forschungsfragen bei. Darüber hinaus wird das Cluster 3 ebenfalls von weiteren Analysen ausgenommen, da die Kapselung von physischen Maschinen und Anlagen in virtuellen Services zwar wichtig ist, aber nicht im Zentrum des vorliegenden Forschungsinteresses liegt. Insgesamt kann der weiter zu analysierende Literaturkörper auf diese Weise um 18 Dokumente verkleinert werden.

3.2.3.2 Systematisierung relevanter Ansätze

Über die Aufbereitung des Forschungsfeldes hinaus steht als zentrales Ergebnis der strukturierten Literaturanalyse eine abschließende Übersicht über alle relevanten wissenschaftlichen Ansätze. Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, erfolgt die Identifikation dieser Dokumente mithilfe einer detaillierten Volltextanalyse und entsprechender Filterkriterien. Als Ergebnis dieser Vorgehensweise können 35 unmittelbar für die vorliegende Forschungsarbeit relevante Dokumente aus der Grundgesamtheit extrahiert werden. Die identifizierten Ansätze beinhalten in zwei Fällen jeweils zwei inhaltlich nahezu identische Dokumente, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten und in verschiedenen Journals publiziert wurden. Diese Publikationen werden als ein Ansatz behandelt, sodass die tatsächliche Anzahl an zu differenzierenden Ansätzen damit 33 beträgt. Diese sind in Abbildung 21 aufgelistet und nach verschiedenen übergeordneten Dimensionen und untergeordneten Kriterien systematisiert. Eine Erläuterung sowie eine Interpretation der Aufstellung erfolgt nachstehend.

Ansatz	Hauptmethode(n)						Kooperation						Einflussfaktoren							
							Objekt		Prinzip		Richtung									
	Konzeptionelles Vorgehen	Lineare Optimierung	Analytisches Vorgehen	Spieltheoretische Modellierung	Agentenbasierte Modellierung	Simulation	Produkt	Prozess	zentral	dezentral	horizontal	vertikal	diagonal	lateral	Produkteigenschaften	Produktionsprozess	Kooperationspartner	Termin- und Kapazitätsplanung	Logistik	Wirtschaftlichkeit
<i>n/s = nicht spezifiziert</i>																				
Archimede et al. (2014)					x	x	x			x	x	x	x	x						
Argoneto/Renna (2013)					x	x	x		x	x	x									
Argoneto/Renna (2016)					x	x		x	x	x	x									
Becker/Stern (2016)						x	x	x		x	x									
Chakravarty/Zhang (2007)				x				x	x	x			x							
Chan et al. (2008)		x						x	x			x	x	x	x					
Chen et al. (2008a)		x						x	x		x	x								
Cheng et al. (2013)		x						n/s	x				n/s							
Eggert (2006)		x						x		x		x								
Feng/Yamashiro (2003, 2006)		x						x		x		x	x	x	x					
Gao/Zhang/Cao (2007)			x					x		x		x								
Hao et al. (2003)					x			x		x		x								
Liesebach (2015)	x							x			x	x	x	x						
Lin/Zhang (2013)		x						x		x				n/s						
Liu et al. (2004b)	x							x		x		x								
Miller/Simon (2014)						x		x		n/s		x								
Moghaddam/Nof (2016)		x						x		x	x	x								
Mohebbi/Li (2015)				x				x			x	x								
Qiu (2004)			x					x			x	x								
Renna/Argoneto (2008)					x	x		x	x	x	x	x								
Schleich/Yoon (2014)					x	x				n/s				x						
Seok/Nof (2012)			x						x		x	x								
Seok/Nof (2014)			x						x		x	x								
Shao (2017)			x					x			x	x								
Shen et al. (2007b)					x			x			x	x								
Tao et al. (2009)		x						x		x				n/s						
Uygun (2012)					x				x	x					x					
Wang (2014)						x		n/s		x				n/s						
Windt (2001)	x							x	x		x	x								
Wu/Fuh/Nee (2002)	x								x		x			n/s						
Wu et al. (2005)					x				x	x				n/s						
Yoon/Nof (2009, 2010)			x					x			x	x								
Yoon/Nof (2011)			x					x			x	x								
Vorliegende Arbeit	x				x	x	x	x		x	x	x	x	x	x					

Abbildung 21: Systematisierung von Forschungsarbeiten zur kooperativen Nutzung von Fertigungsressourcen

Prägendes Element einer wissenschaftlichen Ausarbeitung ist die methodische Herangehensweise. Die Bewertungsdimension *Hauptmethode(n)* greift dies auf und ermöglicht einen übergreifenden Vergleich. Wichtig für die Interpretation der Angaben ist, dass die Arbeiten durchaus auf mehrere Methoden zurückgreifen, aus Übersichtsgründen hier aber lediglich die zentrale Herangehensweise genannt wird. Bei Ansätzen, die sich zur Lösung der Fragestellung auf Multi-Agenten-Systeme stützen, lassen sich rein konzeptionelle Arbeiten (agentenbasierte Modellierung) und evaluierende Arbeiten (agentenbasierte Modellierung und Simulation) unterscheiden. Letztere unterwerfen die konzipierten Mechanismen zusätzlich einer simulationsgestützten Analyse. Spieltheoretische Ansätze stellen eher die Ausnahme unter den verglichenen Ansätzen dar. Eine relativ große Gruppe bilden hingegen Ansätze, deren zentrales methodisches Element die lineare Optimierung darstellt. Diese Arbeiten besitzen überwiegend eine holistische Perspektive auf das übergeordnete Problem, formulieren umfangreiche lineare Programme und erläutern deren Verhalten anhand numerischer Beispiele. Konzeptionelle Arbeiten sind nur in der Auswahl enthalten, sofern diese einen deutlichen Bezug zur Implementierung der Lösung erkennen lassen.

Die Dimension *Kooperation* umfasst die Kriterien Kooperationsobjekt, Koordinationsprinzip und Koordinationsrichtung. Bei dem Kooperationsobjekt differenziert die vorliegende Arbeit zwischen den beiden Ausprägungen Produkt und Prozess (vgl. Abschnitt 2.2.3 zu produkt- und prozessbezogene Fremdvergabe). Diese unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Gestaltung der Anfrage zur Initiierung der kooperativen Nutzung. Während die Anfrage bei einer Produktkooperation detaillierte Teilespezifikationen, meist in Form technischer Zeichnungen, beinhaltet, stehen bei der Prozesskooperation Maschinen- sowie Prozessspezifikationen im Vordergrund. Die infrage kommenden Bieter erstellen dann ein Angebot für die vollständige Herstellung des spezifizierten Teils in der gewünschten Menge bzw. ein Angebot für die Nutzung der geforderten Maschine/Anlage für eine definierte Dauer. Die untersuchten Ansätze lassen sich überwiegend in diese beiden Gruppen einteilen. Einige wenige Ansätze versuchen beide Varianten abzubilden. Lediglich zwei Arbeiten gehen nicht auf diesen Punkt ein bzw. lassen sich nicht entsprechend interpretieren.

Ein zusätzlicher Aspekt für den Vergleich der Lösungsansätze ist das zugrunde gelegte Koordinationsprinzip. Dieses kann entweder zentral, dezentral oder als Kombination dieser beiden Möglichkeiten ausgestaltet sein (vgl. Kapitel 2.1.3). Bei einem zentralen Prinzip findet die Koordination über eine Zwischeninstanz statt, die alle Akteure indirekt miteinander verbindet. Häufig wird diese Funktion von einer virtuellen Plattform oder Cloud in den Konzepten übernommen. Bei einer dezentralen Koordination sind die Akteure direkt miteinander vernetzt und darüber hinaus auch gleichberechtigt. Die Partner sind dadurch unabhängig und entscheiden auf Basis ihrer individuellen Ziele; eine hierarchische Supply Chain-Struktur existiert also nicht. Zur Charakterisierung der Zusammenarbeit ist weiterhin die Kooperationsrichtung ein wichtiges Kriterium. Möglich sind hier allgemein vertikale, horizontale, diagonale und laterale Beziehungen (vgl. Kapitel 2.1.3). In den analysierten Ansätzen dominiert die horizontale Kooperation, also die Zusammenarbeit zwischen

Unternehmen derselben Supply Chain-Stufe. Diagonale und laterale Prinzipien liegen nur in einer geringen Anzahl von Arbeiten vor. Diagonale Kooperationen setzen voraus, dass Unternehmen zusammenarbeiten, die vergleichbare Fertigungsprozesse besitzen, aber keine direkten Wettbewerber sind. Aus praktischer Perspektive ist diese Konstellation die Ausnahme, sodass der Pool an potenziellen Partnern in diesem Fall eher klein ausfällt. Um diese Problematik zu umgehen, stellen vor allem flexible Konzepte eine Lösung dar. Hier können sowohl sehr ähnliche Unternehmen (Wettbewerber) als auch branchenfremde Partner (Nicht-Wettbewerber) für die Kooperation in Betracht gezogen werden, sodass der Pool größer wird.

Als letzte Dimension betrachtet die Systematisierung die berücksichtigten *Einflussfaktoren* der analysierten Ansätze. Ein Einflussfaktor wird im Rahmen der Arbeit definiert als ein Aspekt, der die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten maßgeblich bestimmt und damit bei der Durchführung berücksichtigt werden sollte. Die Übersicht stellt hierzu die aus der Literatur abgeleiteten Faktoren Produkteigenschaften, Produktionsprozess, Kooperationspartner, Termin- und Kapazitätsplanung, Logistik und Wirtschaftlichkeit gegenüber. Die genannten Einflussfaktoren sind bei der unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten sehr bedeutsam und sollten idealerweise alle von einem integrierten Ansatz berücksichtigt werden. In welchem Umfang die in der letzten Filterstufe identifizierten und extrahierten Ansätze diese tatsächlich einbeziehen, visualisieren die sog. Harvey Balls auf der rechten Seite von Abbildung 21. Die jeweilige Bewertung ist eines der Ergebnisse der Volltextanalyse und der Suche nach entsprechenden Schlagworten in den Dokumenten.

Der Einflussfaktor Produkteigenschaften bringt zum Ausdruck, inwiefern die Ansätze unterschiedliche Produkttypen und -charakteristika in Betracht ziehen. Die Produkte bzw. Bauteile, die ein Unternehmen fertigt, eignen sich aller Voraussicht nach aufgrund ihrer technischen und nicht-technischen Eigenschaften nicht in gleicher Art und Weise für eine unternehmensübergreifende Kooperation. Ein idealer Ansatz sollte diesbezüglich eine Möglichkeit zur differenzierten Betrachtung bieten. Eine Zwischenstufe zu einer vollumfänglichen Unterscheidung ist die Beschreibung, für welche Produkte und Bauteile sich der Ansatz insbesondere eignet. Die Systematisierung zeigt, dass kein Ansatz dieses Kriterium vollumfänglich erfüllt. Einige der Autoren präzisieren lediglich das produkttechnische Anwendungsfeld ihres Ansatzes und viele liefern diesbezüglich überhaupt keine Informationen.

Ähnlich verhält es sich bei dem Einflussfaktor Produktionsprozess. Die Produkte und Bauteile erfordern für gewöhnlich mehrere Prozessschritte, die gegebenenfalls ihrerseits wiederum eine separate Bewertung im Hinblick auf die unternehmensübergreifende Nutzung der Fertigungskapazitäten erfordern. Im Unterschied zum ersten Kriterium berücksichtigen einige wenige Ansätze dieses Erfordernis bereits in einem guten Umfang. Die meisten der Ansätze beziehen dieses Kriterium nur sehr wenig oder sogar überhaupt nicht mit ein.

Bei der Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg ist die Auswahl der richtigen Kooperationspartner für den Erfolg wesentlich. Entsprechend veranschaulicht dieser Einflussfaktor, inwieweit die Autoren in ihren Ausführungen hierauf eingehen und Lösungsvorschläge liefern. Die Bewertungen in der Abbildung zeigen, dass im Vergleich einerseits mehr Ansätze diesen Aspekt überhaupt behandeln und andererseits der Erfüllungsgrad oftmals höher ist als bei den beiden vorherigen Einflussfaktoren. Die Auswahl der Kooperationspartner wird also zumindest in einem gewissen Umfang bereits in der Literatur behandelt. Die Termin- und Kapazitätsplanung als weiteren Einflussfaktor beziehen im Gegensatz hierzu nahezu alle Ansätze mit ein. Auch der Erfüllungsgrad erscheint im Vergleich zu den übrigen Kriterien recht hoch. Viele der Arbeiten erkennen die unterschiedlichen Auslastungsgrade der Kooperationspartner als wesentlichen Ansatzpunkt und erstellen hierzu mehr oder weniger detaillierte Vorgehensweisen.

Bei der Herstellung physikalischer Güter ist die Logistik ein bedeutender Aspekt und wird deshalb als Einflussfaktor in der Systematisierung angeführt. Die Bewertung zeigt jedoch, dass die analysierten Ansätze logistische Faktoren – wenn überhaupt – nur sehr oberflächlich in ihre Betrachtung einfließen lassen. In den meisten Fällen treffen die Autoren praxisferne Annahmen wie beispielsweise, dass Transportzeit null oder die notwendige Ausrüstung an jedem Standort vorhanden ist. Auch etwa die Bereitstellung von Werkstoffen wird kaum thematisiert, obwohl dies eine Grundvoraussetzung für die Produktion ist und pauschale Lösungen nicht infrage kommen. Der Wirtschaftlichkeit als letzten untersuchten Einflussfaktor der Bewertung schenken die Autoren hingegen verhältnismäßig viel Aufmerksamkeit. Nahezu jeder Ansatz beinhaltet diesen Aspekt in einem gewissen Umfang und einige wenige Publikationen betrachten diesen sogar in einem hohen bis sehr hohen Maße. In vielen der Fälle reicht der entwickelte Ansatz jedoch nicht aus, um stets eine unternehmerisch sinnvolle Entscheidung zu treffen.

Bei der übergeordneten Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren fällt auf, dass die Ansätze überwiegend die Termin- und Kapazitätsplanung sowie die Wirtschaftlichkeit ins Kalkül ziehen. Etwas weniger ausgeprägt ist die wissenschaftliche Diskussion hingegen bei der Auswahl der Kooperationspartner. Die übrigen Einflussfaktoren werden dagegen nur ansatzweise betrachtet. Über eine kriterienbasierte Bewertung hinaus beinhalten die identifizierten Ansätze oftmals keine Möglichkeit, situative Begebenheiten in einem ausreichenden Maße in die unternehmerische Entscheidung miteinzubeziehen. Insbesondere die Gegenüberstellung von Handlungsalternativen bezüglich einer Fremdvergabe oder einer Nicht-Fremdvergabe, die für die Praxis große Bedeutung hat, wird von den Arbeiten nicht aufgegriffen. Insgesamt berücksichtigt keine der identifizierten wissenschaftlichen Publikationen alle Einflussfaktoren in ausreichendem Maße, sodass diesbezüglich eine Lücke in der aktuellen Forschungsliteratur besteht. Die vorliegende Arbeit adressiert dieses Defizit.

3.2.3.3 Detaillierte Betrachtung ausgewählter Ansätze

Während die voranstehenden Abschnitte einen Überblick über die im Rahmen der strukturierten Literaturanalyse identifizierten Artikel geben, greift dieser Abschnitt exemplarische Ansätze aus dieser Grundgesamtheit zur differenzierteren Betrachtung heraus. Die ausgewählten Arbeiten stellen unter den bereits existierenden Ansätzen sehr weitreichende Lösungen für das Untersuchungsfeld dar, sodass eine detaillierte Betrachtung dieser den aktuellen Stand der Forschung adäquat wiedergibt. Durch das Hinzufügen dieser Detailebene werden bisherige methodische sowie konzeptionelle Herangehensweisen im Bereich der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten noch transparenter. Außerdem erlaubt die detaillierte Aufarbeitung der Ansätze eine bessere Abgrenzung der vorliegenden Arbeit von bisherigen Lösungen. Gleichzeitig lässt sich so die Verankerung dieser in der Forschungslandschaft vervollständigen.

Ansatz nach Argoneto/Renna (2016; 2013)

Die Autoren adressieren in ihren aufeinander aufbauenden Arbeiten zentrale Fragen im Hinblick auf die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten. Beispielsweise wird untersucht, ob das Teilen von Kapazitäten immer für alle Unternehmen vorteilhaft ist. Ebenfalls beleuchten sie, ob das Teilen der Kapazitäten zu einer Reduzierung der Kosten im Gesamtsystem führt. Zu diesem Zweck entwickeln die Autoren einen Rahmen (eng. Framework) für einen Verbund kooperativer und unabhängiger Unternehmen. Darüber hinaus formulieren Argoneto/Renna ein kooperatives Spiel nach Gale-Shapley (Stable Marriage Problem), das Paare zwischen jeweils einem Kapazität nachfragenden und einem Kapazität anbietenden Unternehmen ermittelt. Die Autoren weisen nach, dass das Modell für die Unternehmen stets die vorteilhafteste Allokation findet.

Als weiteren Beitrag formalisieren die Autoren ein Multi-Agenten-System (MAS), welches auf dem zuvor vorgestellten Rahmenwerk basiert. Der tatsächliche Einfluss des Modells wird in einer ereignisdiskreten Simulation untersucht und der Mehrwert der kooperativen Strategie hervorgehoben. Als wesentlichen Beitrag des entworfenen Lösungsansatzes sehen die Autoren die reduzierte Menge sowie die Art der Informationen, welche eine Kooperation zwischen den Unternehmen im vorgestellten Modus erfordert. Diese Reduzierung erhöht die Praktikabilität und trägt zum Abbau der Hürden einer Einführung in die Unternehmenspraxis bei.

Ansatz nach Cheng et al. (2013)

Der Ansatz widmet sich dem Cloud Manufacturing (vgl. Kapitel 3.1.2.4) und entwirft für dieses neue Produktionsparadigma ein generelles, auf Ressourcen ausgelegtes Terminplanungsmodell. Hierbei werden die Kriterien Energieverbrauch, Kosten und Risiken für die beteiligten Anwender zur Erfassung des Nutzens herangezogen. Als Nutzer unterscheiden die Autoren grundsätzlich Anbieter, Konsumenten und Betreiber innerhalb des Cloud Manufacturing-Systems und beschreiben ein abstraktes Architekturmodell. Die Terminplanung für die Ressourcen der Cloud Manufacturing-Plattform wird als mathematisches Optimierungsproblem formuliert.

Die Lösung dieses Problems führt zu einer optimalen Zuordnung der Aufgaben zu den verfügbaren Ressourcen. Als Kriterium für die Entscheidung berechnet der Ansatz darüber hinaus den individuellen Nutzen der Anwender je Lösung. Die zu maximierende Zielgröße für die Optimierung ist hingegen der Nutzen des Gesamtsystems. Zur Analyse des Systemverhaltens werden vier Planungsmodi untersucht, die jeweils einen Akteur sowie das System selbst in das Zentrum stellen und dessen jeweiligen Nutzen maximieren. Die Analyse zeigt, dass sich bei der Variante zur Maximierung des Nutzens im System nicht nur der größte Gesamtnutzen einstellt, sondern sich auch ein hoher individueller Nutzen ergibt. Folglich wird diese Planungsvariante von den Autoren favorisiert.

Ansatz nach Eggert (2006)

Ausgehend von einem erhöhten Bedarf an unternehmensübergreifender Kooperation stellt die Arbeit KMU in das Zentrum der Betrachtung und widmet sich der Ausgestaltung der erforderlichen Koordinationsprozesse. Die übergeordnete Zielsetzung ist dabei, ein Konzept für ein PPS zur Koordination kooperativer Leistungserstellungsprozesse in dynamischen Produktionsnetzwerken zu entwickeln. Neben den theoretischen Betrachtungen erarbeitet der umfangreiche Ansatz eine auf dynamische Produktionsnetzwerke zugeschnittene PPS-Systemarchitektur. Den Kern des Ansatzes zur Netzwerkplanung und -steuerung dynamischer Produktionsnetzwerke bildet die Retrograde Terminierung (RT), insbesondere im Hinblick auf die Aufgabenbereiche Termin-, Kapazitäts- und Ablaufplanung. Das RT-Konzept wird um die Minimierung bestimmter Kostenarten erweitert und resultiert in der exemplarischen Anwendung eines Modells zur Kostenminimierung auf Basis der Planungsergebnisse der RT. Eine weitere Ausbaustufe ist die Übertragung auf dynamische Produktionsnetzwerke. Der Ansatz nach Eggert (2006) ist geprägt von einer mathematischen Optimierung und zeichnet sich insbesondere durch die detaillierte Berücksichtigung diverser Zeit- und Kostenarten aus.

Ansatz nach Moghaddam/Nof (2016)

Die Motivation der Arbeit von Moghaddam/Nof (2016) ist es, die Auswirkungen einer volatilen Nachfrage und unvorhergesehener Lieferunterbrechungen abzuschwächen. Hierzu präsentieren die Autoren einen neuen Mechanismus für die Allokation von Ressourcen innerhalb kooperativer Unternehmensnetzwerke. Die Kooperation der Unternehmen wird anhand von den vier Entscheidungskriterien Gesamtkosten, Erfüllungsgrad der Nachfrage, Ressourcenauslastung und Stabilität des Netzwerks betrachtet. Zentrales Element des Ansatzes ist ein Auftragsverwaltungsprotokoll, das die prioritätsbasierte Allokation bzw. Reallokation von Ressourcen vornimmt und eine Echtzeitüberwachung der Prozesse erlaubt. Dieses Protokoll wird darüber hinaus um ein prädiktives Protokoll erweitert, welches die Zuordnungsentscheidung in Erwartung potenzieller Ereignisse optimiert. Die Funktionalität sowie Vorteilhaftigkeit des Ansatzes demonstrieren mehrere Experimente, deren Ausgangspunkt vier Szenarien mit unterschiedlichen Allokationsmechanismen sowie Kooperationsniveaus sind. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mithilfe statistischer Tests. Die Ergebnisse der Analyse untermauern die Vorteile von kooperativen gegenüber traditionellen Strategien.

Ansatz nach Uygun (2012)

Das Ziel der Arbeit ist es, dem steigenden Bedarf an unternehmensübergreifender Koordination gerecht zu werden und für KMU eine Lösung zur schnellen und aufwandsarmen Anpassung der Kapazitäten zu liefern. Der Autor entwickelt hierfür ein neuartiges technisches sowie organisatorisches Konzept: die integrierte Kapazitätsbörse. Diese soll es den beteiligten Unternehmen erlauben, bedarfsgerecht und kurzfristig zusätzliche Kapazitäten außerhalb des Unternehmens zu finden und zu nutzen. Auf diese Weise kann Engpässen, Störungen oder unerwartet hoher Nachfrage flexibel begegnet werden. Neben der Einordnung der integrierten Kapazitätsbörse in das Feld der PPS werden zu berücksichtigende Anforderungen sowie Rahmenbedingungen eruiert. Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist darüber hinaus die Modellierung der Kooperationsprozesse. Bestandteil sind hierbei die Partnerbewertung sowie eine Methode zur Preisbestimmung bei der Angebotsabgabe. Zur methodischen Umsetzung zieht der Autor die agenten-basierte Modellierung heran und entwickelt umfangreiche Prozesse sowie Abläufe. Das Konzept wird in einem Softwareprototypen implementiert und mit beispielhaften Daten verifiziert sowie validiert.

3.3 Diskussion und Kernerkenntnisse

Die Betrachtung von übergeordneten Konzepten im Zeitverlauf (vgl. Abschnitt 3.1) zeigt, dass bereits seit Jahrzehnten umfangreiche wissenschaftliche Bestrebungen zur kooperativen Nutzung von Ressourcen in Unternehmensnetzwerken bestehen. Die fortschreitende Entwicklung neuer und leistungsstarker Informations- sowie Kommunikationstechnologien hat diese Bemühungen stets angetrieben. Folglich unterscheiden sich die Konzepte in ihren technologischen Fundamenten, verfolgen dabei jedoch vergleichbare Zielstellungen. Das Resultat sind mit etwas zeitlichem Abstand neu aufkommende Konzepte. Dennoch adressieren diese theoretischen übergeordneten Konzepte viele Herausforderungen der praktischen Umsetzung nicht und entsprechend niedrig ist die Anzahl an ausgereiften Prototypen und produktiven Implementierungen. Auch die Anzahl der sich hiermit auseinandersetzenenden Publikationen geht nach einer Hype-Phase bei einigen übergeordneten Konzepten wieder erkennbar zurück – beispielsweise beim Manufacturing Grid oder beim Networked Manufacturing. Ungeachtet dessen sind die übergeordneten Konzepte eine bedeutsame Grundlage für die Umsetzungsbestrebungen und dienen sowohl der wissenschaftlichen als auch praxisorientierten Diskussion als Kristallisationspunkt.

Die strukturierte Analyse bestehender Forschungsansätze (vgl. Abschnitt 3.2) zeigt, dass aktuell insbesondere die Konzepte Cloud Manufacturing (vgl. Abschnitt 3.1.2.4), Manufacturing Grid (vgl. Abschnitt 3.1.2.4) und der universelle Begriff der Ressourcenteilung (eng. Resource Sharing) für die Arbeit relevant sind. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Resource Sharing oder Shared Resources oft auch im Kontext von stationären, ausschließlich unternehmensintern genutzten Fertigungssystemen verwendet werden und das Teilen einer Ressource durch mehrere Produkte beschreibt (vgl. beispielsweise Boutin et al. 2011; Jiao/Huang/Cheung 2008). Unter den Treffern finden sich außerdem zahlreiche Arbeiten zum unternehmensübergreifenden Teilen von Ressourcen und dem damit verbundenen

Informations- und Wissensaustausch im Rahmen von Innovations- und Produktentwicklungsprozessen (vgl. beispielsweise Huber/Nohammer/Stummer 2011; Lucena 2011). Diese Arbeiten nutzten zwar ähnliche Begriffe, sind aber von den relevanten Dokumenten zu separieren und von der Betrachtung auszuschließen.

Die Systematisierung der für die vorliegende Arbeit insbesondere relevanten Publikationen zeigt, dass die meisten der Ansätze lediglich einen Teil der relevanten Einflussfaktoren einer kooperativen Nutzung von Fertigungsressourcen über Unternehmensgrenzen betrachten (vgl. Abschnitt 3.2.3.2). Außerdem treffen die Arbeiten vereinfachende Annahmen, welche die Übertragbarkeit in die unternehmerische Praxis erkennbar erschweren. In diesem Zusammenhang lässt sich das Koordinationsprinzip anführen, bei dem viele der Autoren auf ein zentrales Paradigma setzen. Bei der Kooperation von eigenständigen Unternehmen sind zentralisierte Lösungen jedoch stets problematisch, da die Daten oft nicht für Dritte zugänglich sein sollen. Aus der Analyse der Literatur lassen sich folgende Kernerkenntnisse (KE) für den zu entwickelnden Lösungsansatz ableiten:

- **[KE1] Einflussfaktoren der Kooperation:** Keiner der identifizierten Ansätze berücksichtigt die relevanten Einflussfaktoren vollumfänglich, sodass sich hieraus eine Lücke in der Forschung ergibt. Die vorliegende Arbeit sollte daher die genannten Einflussfaktoren möglichst umfassend einbeziehen und diese weiter aufschlüsseln.
- **[KE2] Dezentrales Koordinationsprinzip:** Bei der Kooperation rechtlich unabhängiger Unternehmen geht eine zentralisierte und damit hierarchische Koordination stets mit einem Ungleichgewicht der Einflussnahme einher. Da die Unternehmen jedoch aus eigenem Antrieb an der Kooperation teilnehmen sollen, ist eine dezentrale Koordination der zentralen Alternative vorzuziehen. Eine zentrale Plattform – sofern überhaupt erforderlich – sollte lediglich dem Austausch von Informationen dienen, ohne Daten vorzuhalten und das Ergebnis der Koordination zu beeinflussen.
- **[KE3] Kooperation im B2B-Bereich:** Es empfiehlt sich aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, Sharing-Modelle mit dem Endkunden (B2C) von der Betrachtung auszuschließen und Kooperationen zwischen Unternehmen (B2B) in den Vordergrund zu stellen. Die „Prosumers“ wie sie im Bereich des Social Manufacturing teilweise diskutiert werden (vgl. Abschnitt 3.1.2.6), finden damit in den weiteren Ausführungen keine Beachtung.
- **[KE4] Fertigungskapazitäten von Betriebsmitteln:** Für die unternehmensübergreifende Nutzung von Ressourcen ergeben sich die erwachsenen Anforderungen vor allem aus dem herangezogenen Kooperationsgegenstand. Das Hauptaugenmerk sollte daher auf Kooperationen mit Bezug zu Betriebsmitteln und deren Kapazitäten liegen und andere Ressourcen exkludieren, die nicht direkt mit der Fertigung zusammenhängen wie etwa die Konstruktionsabteilungen.

Nachdem der Stand der Forschung vollständig erfasst ist, wird im nachstehenden Kapitel der Stand der Praxis betrachtet und so der Bezugsrahmen für die vorliegende Arbeit komplettiert.

4 STAND DER PRAXIS

Die Erfassung des aktuellen Stands der Praxis erfolgt in vier Abschnitten. Zunächst beschreibt Abschnitt 4.1 die Konzeption der empirischen Praxisanalyse. Anschließend behandeln Abschnitt 4.2 und Abschnitt 4.3 in einer Vor- bzw. einer Detailstudie den aktuellen Stand der Praxis. Das Kapitel schließt mit Abschnitt 4.4, der eine Diskussion der zentralen Ergebnisse sowie eine Ableitung resultierender Kernerkenntnisse für die Ausgestaltung der zu entwickelnden Methode enthält.

4.1 Konzeption der Praxisanalyse

Um ein tiefgreifendes Verständnis über den Untersuchungsbereich zu erlangen und den aktuellen Stand der Praxis umfassend darzulegen, wird eine empirische Praxisanalyse durchgeführt. Ausgangspunkt für diese Analyse ist die in Abschnitt 1.2 vorgestellte Forschungsfrage 2 und das hieraus abgeleitete Erkenntnisinteresse. Zur Erschließung der geforderten Inhalte folgt die Praxisanalyse einer zweistufigen Vorgehensweise, die aus einer Vor- und einer Detailstudie besteht. Beide Studien werden nachfolgend ausführlich beschrieben. Eine grafische Aufbereitung des Konzepts der Praxisanalyse findet sich in Abbildung 22.

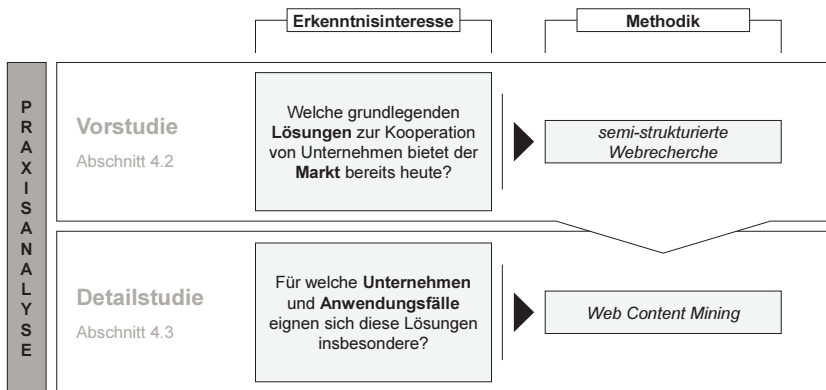


Abbildung 22: Aufbau der Praxisanalyse

Ziel der *Vorstudie* ist es, einen praxisbezogenen Überblick über die bereits heute am Markt zur Verfügung stehenden Lösungen für eine unternehmensübergreifende Koordination von Fertigungskapazitäten bereitzustellen. Zur Erhebung dieser Lösungen wird eine semi-strukturierte Webrecherche eingesetzt. Im Fokus stehen dabei im Internet verfügbare Angebote, die Unternehmen bei der übergreifenden Koordination unterstützen. Die ausgewählten Lösungen werden anhand ihrer Prozessunterstützung und des angebotenen Technologiespektrums gegenübergestellt. Darüber hinaus diskutiert dieser Abschnitt deren Vor- und Nachteile für den untersuchten Bereich.

Die *Detailstudie* baut auf den Ergebnissen der Vorstudie auf und vertieft diese, um die verfolgte Forschungsfrage abschließend beantworten zu können. Die Detailstudie stellt bezüglich Inhalt und Umfang den Kern der Praxisanalyse dar. Das Erkenntnisinteresse besteht insbesondere darin, zu ermitteln, für welche Unternehmen und Anwendungsfälle sich die in der Praxis vorhandenen Lösungen besonders eignen. Aufschluss hierüber liefern vor allem Daten über potenzielle Anwenderunternehmen, die mithilfe des sog. Web Content Mining erschlossen werden sollen. Dieses Verfahren findet beim strukturierten Auslesen und Speichern von auf Internetseiten verfügbaren Informationen Anwendung (vgl. Liu 2008, S. 7). Eine vertiefte Vorstellung der Methodik und der gewählten Vorgehensweise erfolgt in einem separaten Abschnitt. Die hierbei gewonnenen Daten erlauben einen noch detaillierteren Einblick in die Unternehmenspraxis und die unternehmensübergreifende Koordination von Fertigungskapazitäten. Insgesamt ergänzt die Praxisanalyse die Aufbereitung des aktuellen Stands der Forschung um die Praxisperspektive, sodass ein vollumfänglicher Überblick über den theoretischen und praktischen Rahmen der Arbeit entsteht.

4.2 Vorstudie – Analyse vorhandener Lösungen mittels semi-strukturierter Webrecherche

Im Kontext einer zunehmenden Dynamisierung der Märkte und daraus resultierenden Flexibilisierungsanforderungen wird es für Unternehmen zunehmend wichtiger, kurzfristig auf veränderte Kapazitätsbedarfe zu reagieren. Steht ein Unternehmen temporär einer Unter- oder Überbelastung einer oder mehrerer Maschinen gegenüber, sind zwei Aspekte wesentlich. Erstens mit wem eine Kooperation stattfinden soll und zweitens wie die Koordination genau erfolgen kann. Um in diesen Fällen als Anbieter bzw. Nachfrager von Kapazität mit anderen Unternehmen zu kooperieren und so die Auswirkungen zu reduzieren, findet sich in der Praxis bereits heute ein Angebot an Websites und elektronischen Plattformen, welche die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit unterstützen. Diese Lösungen beruhen auf verschiedenen Konzepten und verfolgen unterschiedliche Geschäftsmodelle. Ihnen ist jedoch gemein, dass sie das Angebot und die Nachfrage von bzw. nach Maschinenkapazitäten direkt oder indirekt unternehmensübergreifend koordinieren.

Eine Übersicht über die von den Unternehmen nutzbaren Plattformen bzw. Websites ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Aufstellung ist das Ergebnis einer semi-strukturierten Webrecherche und stellt einen bereiten Querschnitt über die bestehenden Angebote dar, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die identifizierten Plattformen lassen sich gemäß ihrer Konzeptionierung in drei Gruppen klassifizieren: *Kontaktbörsen*, *Webshops* sowie *Auftrags- und Kapazitätsbörsen*. Die Einordnung entlang der Skalen Prozessunterstützung sowie Technologiespektrum basiert dabei auf einer im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgenommenen qualitativen Bewertung. Die Prozessunterstützung bringt zum Ausdruck, in welchem Umfang eine Plattform notwendige Aktivitäten zur Befriedigung des Bedarfs nach Aufträgen bzw. Kapazitäten unterstützt. Das Technologiespektrum hingegen ist ein Gradmesser für die angebotenen bzw. verfügbaren Fertigungsverfahren.

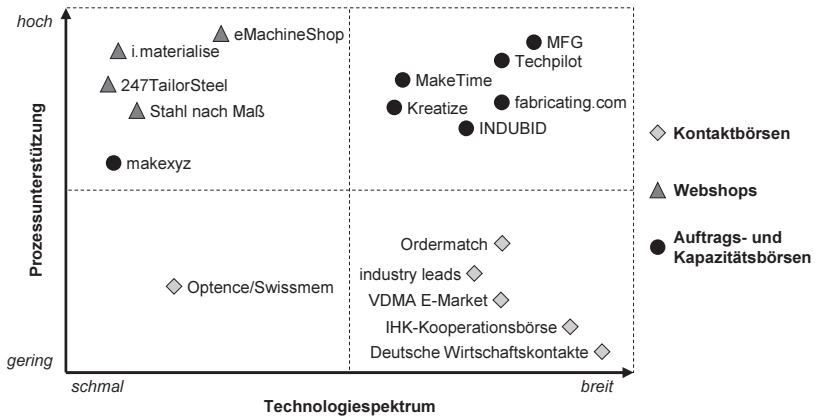


Abbildung 23: Ausgewählte elektronische Plattformen zur Unterstützung der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit (Stand: August 2018)

Die erste Gruppe der Plattformen sind *Kontaktbörsen*. Diese werden häufig von Verbänden (z. B. VDMA E-Market) oder Interessensvertretungen (z. B. IHK-Kooperationsbörse und Optence/Swissmem) betrieben und bieten für ein breites Technologiespektrum ein Unternehmensregister, welches Nachfrager nach geeigneten Lieferanten durchsuchen können. Auch speziell ausgerichtete Dienstleister bieten solche Kontaktlisten für registrierte Benutzer an (z. B. Ordermatch, industry leads und Deutsche Wirtschaftskontakte), wobei teilweise Gebühren für die Nutzung anfallen. Charakteristisches Merkmal von diesen Plattformen ist die vergleichsweise geringe Prozessunterstützung, welche sowohl Anbietern als auch Nachfragern von Kapazitäten geboten wird. Bis auf die Kontaktvermittlung finden alle Interaktionen meist außerhalb der Plattform direkt zwischen den Unternehmen statt. Weder die Preisfindung noch die Anfrage und Angebotsübermittlung wird von reinen Kontaktbörsen unterstützt.

Die zweite Gruppe der identifizierten Lösungen, die *Webshops*, werden von Unternehmen betrieben, die sich auf eine bestimmte Fertigungstechnologie oder eine kleine Gruppe verwandter Fertigungsverfahren spezialisiert haben. Diese Unternehmen besitzen folglich mehrere Maschinen für ähnliche Anwendungszwecke, deren Kapazität sie über einen selbstbetrieblenen Webshop anbieten. Die Fertigungsverfahren reichen beispielsweise von 3D-Druck verschiedener Werkstoffe (z. B. i.materialise) über die Bearbeitung von Blechen, Rohren und Kanteilen (z. B. 247TailorSteel und Stahl nach Maß) bis hin zur Zerspaltung komplizierter CNC-Teile (z. B. eMachineShop). Aufgrund ihrer Spezialisierung ist das angebotene Technologiespektrum als eher schmal zu bewerten. Die Prozessunterstützung für die Anbahnung, Spezifizierung und Abwicklung des Geschäfts ist hingegen als eher hoch einzuschätzen. Dies äußert sich vor allem in einem selbsterklärenden Aufbau der Website und Zusatzfunktionen wie z. B. integrierter CAD-Software, die für die Erstellung von 3D-Modellen kostenfrei zur Verfügung steht. Der Webshop stellt häufig nur einen von

mehreren Vertriebskanälen dar, auf welche die Unternehmen zurückgreifen. Das originäre und nach wie vor wichtigste Geschäft sind konventionelle Kunden-Lieferanten-Beziehungen im verarbeitenden Gewerbe. Die Webshops stellen komplementäre Auftragsquellen für die Betreiber dar. Eine Funktion für den Fall einer Unterbelastung der Fertigungsressourcen des Betreibers besitzen die Webshops nicht.

Die dritte Gruppe, die *Auftrags- und Kapazitätsbörsen*, kombinieren die Grundprinzipien der beiden bereits vorgestellten Gruppen. Diese spezielle Art der Kooperationsplattformen stellt ein umfangreiches Register an anbietenden Unternehmen zur Verfügung und bietet darüber hinaus weitreichende Prozessunterstützung. Generell besitzen Auftrags- und Kapazitätsbörsen zwei Anwendungsfälle für ihre Kunden, indem sie – je nach Situation – entweder als Anbieter oder als Nachfrager auf der Plattform auftreten können. Eine treffende Definition für solche Plattformen findet sich bei Syska (2006, S. 25):

„Eine Auftrags- und Kapazitätsbörse lässt sich als elektronischer Markt definieren, auf dem freie Kapazitäten und Produktionsaufträge ausgetauscht werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Austausch von Produktionsleistungen zwischen einem Hersteller und seinem Fremdfertiger (Auftragsproduzent bzw. verlängerte Werkbank) oder seinem Lieferanten. Dabei wird ein unternehmensübergreifender Abgleich der Produktionskapazitäten angestrebt.“

Eine weitere ähnliche Definition liefert Uygun (2012, S. 8), der eine integrierte Kapazitätsbörse konzipiert und damit die Prozessunterstützung weiter vorantreibt. Kühling/Housein (2000, S. 32) fokussieren in ihrer Arbeit mithilfe einer Kapazitätsbörse die Feinplanung und -steuerung in dezentralen Produktionsstrukturen, wobei sich dieses Konzept nicht auf die unternehmensübergreifende, sondern auf die unternehmensinterne Koordination bezieht.

Gemäß Liesebach (2015, S. 40) sind die Nutzer von Auftrags- und Kapazitätsbörsen sowohl auf der Nachfrager- als auch auf der Anbieterseite überwiegend KMU aus dem Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau. Der Nutzen für die Unternehmen ist dabei sehr umfangreich. Nach Agthe/Lenkewitz (2001, S. 16) profitieren sie vor allem von niedrigeren Transaktionskosten durch eine hohe Prozessunterstützung, niedrigeren Fremdbezugskosten durch ein sehr hohes Maß an Markttransparenz, einer verbesserten Kapazitätsauslastung, einer reduzierten Bearbeitungsdauer und vor allem einer Flexibilitätszunahme. Darüber hinaus nennt Syska (2006, S. 25) weitere Vorteile: beispielsweise die Erschließung neuer Märkte durch strategische Kooperationen zwischen den Unternehmen, eine höhere Investitionsbereitschaft infolge einer möglichen Risikodiversifizierung sowie die Förderung der Entwicklung und Produktion innovativer Produkte.

Die am Markt agierenden Anbieter von Auftrags- und Kapazitätsbörsen verfolgen – insbesondere bei der Vergütung der angebotenen Dienstleistungen – unterschiedliche Strategien. Die meisten der Plattformen erfordern für die Nutzung eine Mitgliedschaft, die unabhängig von den umgesetzten Teilen und/oder Produkten ist (z. B. MFG.com, Techpilot und fabricating.com). Andere erheben eine Gebühr je Auftrag, wodurch sich der zu entrichtende Betrag direkt aus dem Umsatz ergibt (z. B. MakeTime und INDUBID). Darüber hinaus handelt es sich in der Praxis überwiegend um Auftrags- und keine Kapazitätsbörsen. Der

Unterschied besteht darin, dass üblicherweise ganze Teile nachgefragt sowie angeboten werden und nicht die tatsächliche Kapazität an einer oder an mehreren Maschine(n) gehandelt wird.

Aufgrund ihres breiten Technologiespektrums sowie ihrer guten Prozessunterstützung besitzen Auftrags- und Kapazitätsbörsen die größte Relevanz für die vorliegende Untersuchung. Im Vergleich zu anderen Lösungen in der Praxis bieten sie den weitreichendsten Ansatz, sodass Informationen über ihre Verwendung und ihre Nutzer weiteren Aufschluss über den aktuellen Stand der Praxis geben können. Ferner lassen sich hieraus wichtige Rückschlüsse für den eigenen und im Verlauf der Arbeit zu entwickelnden Ansatz gewinnen. Aus diesem Grund sollen im Rahmen der Detailstudie Daten zu den Nutzern und den Kooperationsgegenständen erhoben werden. Zu diesem Zweck kommt im nachstehenden Abschnitt das Web Content Mining zu Einsatz, das eine systematische Erhebung relevanter Daten ermöglicht.

4.3 Detailstudie – Analyse des aktuellen Stands mittels Web Content Mining

Für die Detailstudie steht das Erkenntnisinteresse über Nutzer und Kooperationsgegenstände von Auftrags- und Kapazitätsbörsen im Vordergrund. Aufschluss hierüber soll eine vertiefte Analyse einer ausgewählten Auftrags- und Kapazitätsbörse liefern. Die Detailstudie gliedert sich hierzu in drei Abschnitte. Zunächst erläutert Abschnitt 4.3.1 die methodischen Grundlagen des Web Content Mining und legt die generelle Vorgehensweise dar. Anschließend beschreibt Abschnitt 4.3.2 die genaue Datenerhebung und -auswertung. Die ermittelten Ergebnisse enthält der abschließende Abschnitt 4.3.3.

4.3.1 Methodischer Überblick und Vorgehensweise

Das Internet umfasst eine enorme Menge an unstrukturierten Daten wie beispielsweise Texte, semi-strukturierte Daten wie HTML¹⁶-Dokumente und sehr strukturierte Daten in Form von Tabellen oder datenbankengenerierten HTML-Seiten (vgl. Kosala/Blocheel 2000, S. 3). Damit enthält es eine nahezu unermessliche Informationsfülle, die jedoch aufgrund ihrer Heterogenität nicht einfach zu erschließen ist. Manuelle Methoden der Auswertung sind aufgrund des Umfangs dieser Daten nur begrenzt anwendbar. Dieses Problem adressiert das *Web Mining*, welches Technologien des Data Mining nutzt, um automatisiert Informationen aus Dokumenten und Diensten des World Wide Web offenzulegen bzw. zu extrahieren (vgl. Etzioni 1996, S. 1).

Die Detailstudie hat zum Gegenstand, den aktuellen Stand der Praxis aus einer Makroperspektive zu untersuchen und Hintergrundwissen über den beforschten Bereich offenzulegen. Auftrags- und Kapazitätsbörsen bieten in diesem Zusammenhang eine wertvolle Informationsquelle. Die Informationen liegen teilweise in datenbankgenerierten HTML-Seiten vor, sodass sie sich für die Anwendung von Web Mining gut eignen. Ziel ist es, relevante Daten von bestimmten Seiten einer Auftrags- und Kapazitätsbörse zu gewinnen

¹⁶ HTML = Hypertext Markup Language

und für die weitere Auswertung strukturiert zu speichern. Ausgewählte Teile der Webseite werden also in ein Datenbankformat transformiert und für die spätere Auswertung in einer solchen festgehalten. Die generierten Daten erlauben im Anschluss wichtige Rückschlüsse bezüglich Ausrichtung und Nutzung dieser Auftrags- und Kapazitätsbörse und damit auf den aktuellen Stand der Praxis. Zur Erläuterung der gewählten Vorgehensweise ist es zunächst erforderlich, kurz auf die methodischen und technischen Hintergründe des Web Mining und seiner speziellen Ausprägungen einzugehen.

Das Web Mining lässt sich grob in drei Kategorien unterteilen: das *Web Structure Mining*, das *Web Content Mining* und das *Web Usage Mining* (vgl. Liu 2008, S. 7; Kosala/Blocheel 2000, S. 3; Etzioni 1996, S. 1). Diese Unterteilung ist nicht völlig überschneidungsfrei, liefert jedoch eine hinreichend genaue Abgrenzung der unterschiedlichen Varianten. Während das Web Structure Mining seitenübergreifende Verlinkungen analysiert und das Web Usage Mining die Nutzung einzelner Webseiten untersucht, extrahiert das Web Content Mining nützliche Informationen oder Wissen aus den Inhalten einer Website (vgl. Liu 2008, S. 7; Lihui/Wai Lian 2005, S. 1226). Damit erscheint das *Web Content Mining* für die hier verfolgte Zielsetzung als vielversprechend. Kosala/Blocheel (2000, S. 4 ff.) unterscheiden innerhalb dieser Variante zum einen den „Information Retrieval View“ und den „Database View“. Während ersterer unstrukturierte oder semi-strukturierte Dokumente analysiert, fokussiert der Database View strukturiertere Dokumente bis hin zu Webseiten als Datenbank. Im vorliegenden Fall erfolgt aus Gründen der Zugänglichkeit eine Einschränkung auf sehr strukturierte Inhalte und damit den Database View.

Offensichtlich sind Webseiten und damit auch Auftrags- und Kapazitätsbörsen unterschiedlich aufgebaut und strukturiert. Aus diesem Grund ist es je nach Aufgabenstellung erforderlich, einen sogenannten *Wrapper* zu entwickeln. Ein Wrapper ist ein Verfahren, das Inhalte aus einer bestimmten Informationsquelle – hier HTML-Dokumente einer Website – extrahiert und in einer Datenbankstruktur zur weiteren Auswertung speichert (vgl. Eikvil 1999, 12 f.). Ein fertiger Wrapper akzeptiert Abfragen über Informationen in den Unterseiten einer Website, ruft die jeweils relevanten auf, extrahiert die geforderten Informationen und gibt diese als Ergebnis aus. Dabei besteht der Wrapper aus einem Set an Extraktionsregeln und Programmcode, der zur Anwendung dieser Regeln erforderlich ist (vgl. Eikvil 1999, S. 13). Durch die spezifischen Extraktionsregeln ist der Wrapper stets nur auf eine definierte Informationsquelle anwendbar.

Aufgrund der anwendungsspezifischen Ausrichtung des Web Content Mining und des großen Aufwands für die Entwicklung des jeweiligen Wrapper konzentriert sich das entwickelte Verfahren auf den europäischen Marktführer unter den Auftrags- und Kapazitätsbörsen: „Techpilot“¹⁷ (vgl. auch Abbildung 23). Die Website bietet ein Verzeichnis von Unternehmen, die ihre Kapazität zur Herstellung von Zeichnungsteilen anbieten.

¹⁷ Techpilot ist der führende Online-Marktplatz für Zeichnungsteile in Europa mit über 12.000 angemeldeten Einkäufern und knapp 20.000 angemeldeten Zulieferern (vgl. DynamicMarkets GmbH 2016).

Dieses Verzeichnis besteht aus einer Übersichtsseite mit Suchfunktion sowie einer Profilseite je Unternehmen. Diese strukturierten HTML-Dokumente sollen durch gezieltes Web Content Mining erfasst und auswertbar gemacht werden, um Rückschlüsse über Art und technologische Ausrichtung der Unternehmen zu gewinnen.

Zur Entwicklung des Wrapper wird auf die Software RapidMiner¹⁸ zurückgegriffen. Diese Entwicklungsumgebung liefert eine Vielzahl vordefinierter Operatoren sowie passende Schnittstellen zur Entwicklung des benötigten Prozesses. Der Wrapper für die strukturierte Abfrage der relevanten Informationen nutzt die standardisierten „Tags“ der Unternehmensprofile, um über diverse XPath¹⁹-Abfragen die gewünschten Attribute, wie beispielsweise den Unternehmensnamen, zu finden und zu extrahieren. Ein Ausschnitt des Prozesses in seiner XML²⁰-Darstellung findet sich in Anhang D.

4.3.2 Datenerhebung und -auswertung

Bevor die eigentliche *Datenerhebung* durchgeführt werden kann, sind einige Vorarbeiten notwendig. Zunächst ist es erforderlich, die Struktur der HTML-Dokumente eingehend zu analysieren. Anschließend können gezielt XPath-Abfragen für die jeweiligen Inhalte entwickelt und auf ihre Funktion getestet werden. Sobald die Abfragen fehlerfrei sind, liefern diese den gewünschten Inhalt in textueller oder numerischer Form. Liegen alle gewünschten XPath-Abfragen vor, kann die Entwicklung des Wrappers beginnen, der wiederum an mehreren HTML-Dokumenten getestet wird. Schließlich wird der fertige Wrapper für die Datenerhebung genutzt. Die strukturierte Speicherung der abgerufenen Daten erfolgt in einer MS Excel-Datei (Datenbank) und steht für die zielgerichtete Auswertung zur Verfügung. Abbildung 24 stellt diesen Ablauf grafisch dar.

¹⁸ <https://rapidminer.com>

¹⁹ XPath = XML Path Language

²⁰ XML = Extensible Markup Language

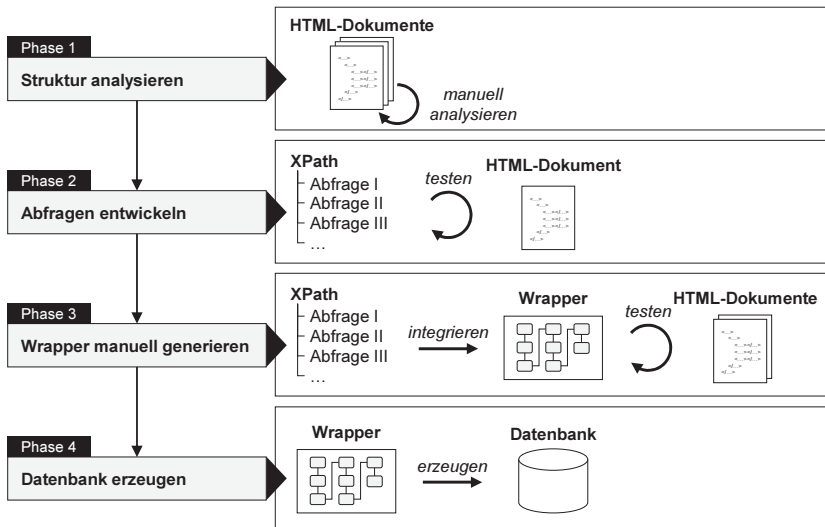


Abbildung 24: Ablauf des Web Content Mining

Der entwickelte Wrapper wird über einen längeren Zeitraum immer wieder erweitert und getestet, bis er das gewünschte Ergebnis liefert. Letztendlich erfolgte die Datenerhebung im Mai 2017 und dieser Stand bildet auch die Basis für die weitere Auswertung. Das Sample beinhaltet Datensätze von 10.256 Unternehmen mit Firmensitz in Deutschland (8.928), Österreich (649) und der Schweiz (679). Da die Auftrags- und Kapazitätsbörse Techpilot ihren Kundenschwerpunkt in diesen drei Ländern hat und die Datenbasis hier am besten ist, beschränkt sich die Analyse auf diese Regionen. Nicht alle Unternehmensprofile sind vollständig, sodass die Fallzahlen in den einzelnen Auswertungen von der oben genannten Gesamtzahl teilweise abweichen.

Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, sind bereits Fälle mit nur einer fehlenden Variablen nicht Gegenstand der jeweiligen Auswertung. Insgesamt enthält die Datenbank folgende Informationen: Adresse und Kontaktdaten, Unternehmensform, Gründungsjahr, Anzahl Mitarbeiter, Umsatz, Mitgliedschaftsstatus, Kundenbranchen, verfügbare Fertigungsbereiche, verfügbare Fertigungstechnologien, verwendete Werkstoffkategorien, verwendete Werkstoffe und vorhandene Zertifikate. Der erzeugte Datensatz wird mithilfe der Statistik- und Analysesoftware IBM SPSS Statistics 23²¹ ausgewertet. Im Ergebnisteil werden jedoch nicht alle Informationen dargestellt und diskutiert.

²¹ <https://www.ibm.com/analytics/de/de/technology/spss/>

4.3.3 Ergebnisse

Die Darlegung der gewonnenen Ergebnisse gliedert sich in drei für das weitere Verständnis der Arbeit relevante Abschnitte: Unternehmensgrößen und Branchen (Abschnitt 4.3.3.1), Fertigungsbereiche und -technologien (Abschnitt 4.3.3.2) sowie Werkstoffkategorien und Werkstoffe (Abschnitt 4.3.3.3). Die Einteilungen in die jeweiligen Kategorien, wie beispielsweise Umsatzklasse oder Fertigungsbereich, auf denen die dargestellten Daten beruhen, entstammen dabei der Auftrags- und Kapazitätsbörse. Eine auswertungsspezifische Anpassung wurde folglich nicht vorgenommen.

4.3.3.1 Unternehmensgrößen und Branchen

Demografische Angaben liefern allgemeine Informationen über die untersuchte Zielgruppe und erlauben wichtige Rückschlüsse auf deren Merkmale sowie Zusammensetzung. Im vorliegenden Fall stehen Unternehmen im Fokus, die ihre Fertigungskapazität auf der Plattform zur Verfügung stellen, also als Anbieter auftreten, und folglich potenzielle Anwender des in den späteren Kapiteln entwickelten Ansatzes darstellen. Diese Nutzer der Plattform sind also von besonderem Interesse für die vorliegende Arbeit. Ein wesentlicher Aspekt zur Beschreibung der Nutzerunternehmen ist die Eingruppierung in verschiedene Größen- und Umsatzklassen. Die in der Datenbank gespeicherten Unternehmensprofile ermöglichen eine solche Klassifizierung. Abbildung 25 stellt die beiden Dimensionen für das vorliegende Sample grafisch gegenüber.

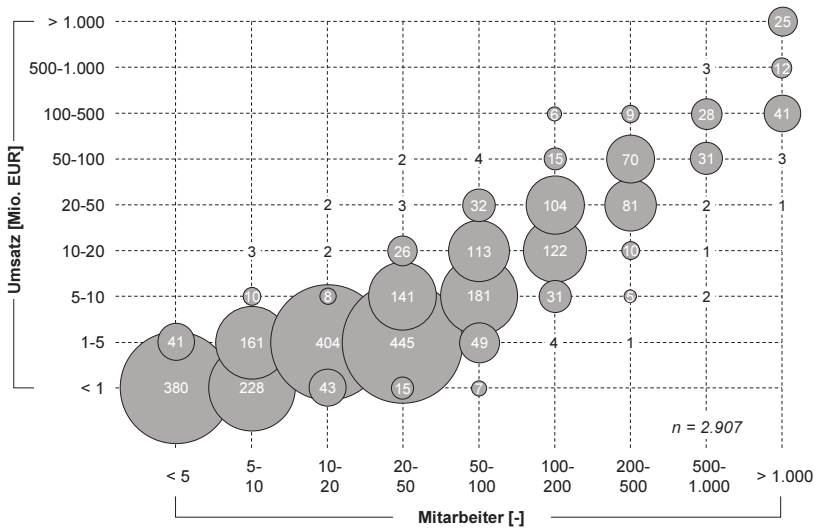


Abbildung 25: Mitarbeiter und Umsatz der Kapazität anbietenden Unternehmen (Kreisfläche entspricht Unternehmensanzahl)

Insgesamt haben 2.920 Unternehmen sowohl ihre Mitarbeiteranzahl als auch ihre Umsatzklasse angegeben. Bei der Betrachtung der Werte mithilfe von hier nicht dargestellten Boxplots in SPSS fallen die Angaben von 13 Unternehmen in die Kategorie extremer Ausreißer und werden deshalb von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Kreisfläche gibt die absolute Anzahl der Unternehmen in der jeweiligen Kategorie an. Beispielsweise fallen 404 Unternehmen in die Kategorien 10 bis 20 Mitarbeiter und 1 bis 5 Mio. EUR Umsatz.

In Anlehnung an die Klassifizierung des Statistischen Bundesamts (2018, o. S.) lässt sich festhalten, dass der Datensatz etwa zu einem Drittel Kleinstunternehmen (< 9 Mitarbeiter), zu einem Drittel kleine Unternehmen (10 bis 49 Mitarbeiter) und zu einem Viertel mittlere Unternehmen (50 bis 249 Mitarbeiter) enthält. Der kleine verbleibende Rest entfällt auf Großunternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern. Dies unterscheidet sich erkennbar von der Grundgesamtheit aller Unternehmen in Deutschland, wo 89,3 % der Kategorie der Kleinstunternehmen entstammt (vgl. Statistisches Bundesamt 2018, o. S.). Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass die Anbieter von Fertigungskapazität überwiegend kleinste, kleine und mittlere Unternehmen – also KMU – sind. Einen Rückschluss darauf, ob diese Gruppe der Unternehmen gleichzeitig auch die Nachfrager der angebotenen Kapazität sind, lassen die verfügbaren Daten nicht zu.

Ein weiterer Aspekt zur Charakterisierung der Unternehmen sind die von ihnen angegebenen Branchen. Hierbei handelt es sich um die potenziellen Kundenbranchen, in denen die Anbieter auf der Plattform Erfahrungen besitzen bzw. üblicherweise agieren. Aus einer Liste von 34 Einträgen können die Unternehmen mehrere Branchen auswählen, was im vorliegenden Datensatz insgesamt 6.728 aus der Gesamtstichprobe vorgenommen haben. Während 1.855 Unternehmen lediglich eine Zielbranche angegeben haben, liegt der Median der angegebenen Anzahl bei neun Branchen. Die Unternehmen fokussieren also eine eher geringe Anzahl an Branchen.

Außerdem lässt sich insgesamt eine Konzentration auf bestimmte Branchen erkennen. Beispielsweise geben 67,5 % der Unternehmen an, für den allgemeinen Maschinenbau zu liefern. Weitere wichtige Branchen sind die Automobilindustrie und der Fahrzeugbau (57,8 %), der Sondermaschinenbau (55,9 %), der Anlagenbau (51,9 %) und der Werkzeugmaschinenbau (50,6 %), die von jeweils mehr als der Hälfte der Unternehmen angegeben werden. Die Schlusslichter dieser Betrachtung bilden die Telekommunikationstechnik (28,2 %), die Reinraumtechnik (26,5 %) und die Informationstechnik (25,9 %). Die vollständigen Angaben zu den Branchen der Unternehmen lassen sich in tabellarischer Form Anhang D entnehmen. Die Konzentration der Nutzerunternehmen auf bestimmte Branchen lässt den Rückschluss zu, dass sich diese insbesondere für eine unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten eignen.

Ein weiterer zu untersuchender Aspekt ist die Kombination unterschiedlicher Branchen bei der Auswahl durch die Kapazitätsanbieter. Eine solche Betrachtung liefert Anhaltspunkte über die fertigungstechnische Kompatibilität der Branchen und ist ein maßgeblicher

Indikator dafür, welche Branchen sich für eine übergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten eignen. Zur Auswertung der Daten nach diesem Gesichtspunkt wird der Chi-Quadrat-Test nach Pearson in Anlehnung an das Vorgehen von Field (2011, 692 ff.) durchgeführt. Dieser Test überprüft die stochastische Unabhängigkeit bzw. Abhängigkeit zweier Variablen (hier: der Branchen). Die Daten liegen als dichotome Variablen (2x2-Kontingenztafeln) vor. Die berechneten Prüfgrößen (χ^2), Freiheitsgrade (df), Signifikanzwerte (Exakter Fisher-Test) sowie Effektstärken (Phi) aller Tests finden sich im Anhang D. Die auffälligsten Zusammenhänge der 34 Branchen sind in Abbildung 26 dargestellt.

Die Effektstärken werden in der Abbildung durch die Stärke der Kanten zwischen den Branchen illustriert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur stochastische Abhängigkeiten mit einem hohen Signifikanzniveau ($p < 0,01$) und mindestens einer mittleren Effektstärke (Phi $\geq 0,4$) dargestellt. Beispielsweise besitzt der Effekt zwischen den Branchen *Hauswirtschaftstechnik* und *Informationstechnik (Hardware)* eine mittlere Stärke (Phi = 0,404), während zwischen den Branchen *Verpackungsindustrie* und *Papier- und Druckereimaschinenbau* ein sehr starker Effekt vorliegt (Phi = 0,575). Die übrigen Werte für die Effektstärke liegen zwischen diesen beiden Extremen. Darüber hinaus signalisiert der Durchmesser der Branchen die Anzahl der absoluten Nennungen durch die Unternehmen – je größer der Durchmesser, desto relevanter die Branche. Der Graph wurde mithilfe der Software Gephi nach dem Yifan-Hu-Proportional-Algorithmus erstellt. Die Position der Kreise in der Fläche ergibt sich aus der Abhängigkeit zu den anderen Branchen (Effektstärke bzw. Dicke der Linien). Die zur Erzeugung des Layouts verwendeten Parameterwerte finden sich in Anhang D.

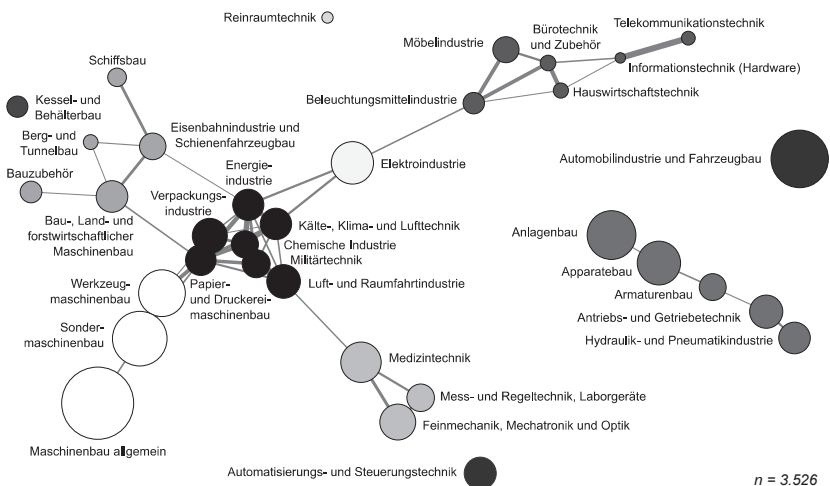


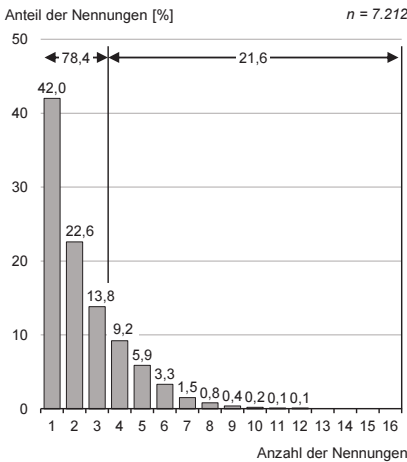
Abbildung 26: Beziehungen zwischen den angegebenen Zielbranchen (Phi $\geq 0,4$)

In der Darstellung fallen insbesondere Gruppen auf, die durch relativ dicke Linien verbunden sind. So bilden die Branchen 1) *Mess- und Regeltechnik, Laborgeräte*, 2) *Medizintechnik* und 3) *Feinmechanik, Mechatronik und Optik* eine Gruppe mit einer erkennbaren Nähe. Darüber hinaus finden sich sehr starke bipolare Beziehungen, beispielsweise zwischen dem *Sondermaschinenbau* und dem *Werkzeugmaschinenbau*. Auch die *Luft- und Raumfahrtindustrie* sowie die *Militärtechnik* weisen eine starke Bindung auf. Auffällig ist zudem, dass sehr häufig ausgewählte Branchen wie *Maschinenbau allgemein* oder *Automobilindustrie und Fahrzeugbau* verhältnismäßig weniger stark mit anderen Branchen in Zusammenhang stehen. Dies lässt auf eine eher geschlossene Branchenstruktur schließen. Insgesamt zeigt die Darstellung der Effektstärken, dass Gruppen bestimmter Branchen existieren, in denen eine unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten sinnvoll erscheint.

4.3.3.2 Fertigungsbereiche und -technologien

Neben den demographischen Angaben und den Zielbranchen der anbietenden Unternehmen sind insbesondere die Fertigungsbereiche und die untergeordneten Fertigungstechnologien bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten relevant. Über die Angaben der Anbieter sind Rückschlüsse auf die geeigneten Verfahren und Technologien möglich. Im vorliegenden Datensatz haben 7.212 Unternehmen Informationen zu den von ihnen verwendeten und beherrschten Fertigungsbereichen hinterlegt. Die Angaben der Kapazitätsanbieter zu den Fertigungsbereichen sind in Abbildung 27 dargestellt.

a) Anzahl der durch die Kapazitätsanbieter angegebenen Fertigungsbereiche



b) Durch die Kapazitätsanbieter angegebene Fertigungsbereiche (Mehrfachnennungen möglich)

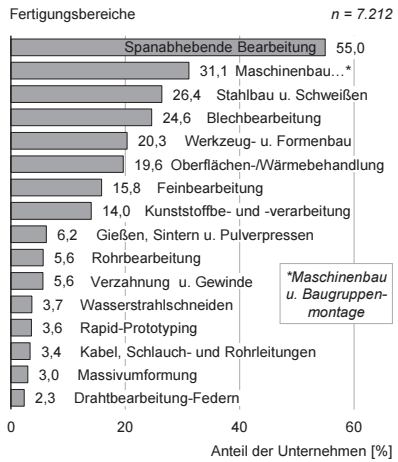


Abbildung 27: a) Anzahl der durch die Kapazitätsanbieter angegebenen Fertigungsbereiche, b) Durch die Kapazitätsanbieter angegebene Fertigungsbereiche

Die Abbildung verdeutlicht, dass 42,0 % der Anbieterunternehmen nur einen und 78,4 % sogar nicht mehr als drei der zur Auswahl stehenden Fertigungsbereiche selektiert haben. Infolgedessen liegt der Median für die Anzahl der ausgewählten Fertigungsbereiche bei zwei. Dies zeigt eine relativ starke Fokussierung der Unternehmen auf wenige Fertigungsbereiche und erscheint vor der oftmals geringen Unternehmensgröße als plausibel. Analog zu den Branchen lässt sich ebenfalls eine Konzentration auf bestimmte Fertigungsbereiche feststellen. Mit 55,0 % gibt etwa die Hälfte der Unternehmen an, die spanabhebende Bearbeitung zu beherrschen. Danach folgen die Fertigungsbereiche Maschinenbau und Baugruppenmontage (31,1 %), Stahlbau und Schweißen (26,4 %), sowie Blechbearbeitung (24,6 %). Die vollständigen Daten finden sich in Anhang D.

Neben den Fertigungsbereichen enthält der vorliegende Datensatz detaillierte Informationen zu den angegebenen Fertigungstechnologien. Insgesamt haben 6.992 der Unternehmen mindestens eine von 235 Fertigungstechnologien ausgewählt. Ein Auszug der Ergebnisse findet sich in Abbildung 28 und die vollständigen Daten in tabellarischer Form in Anhang D.

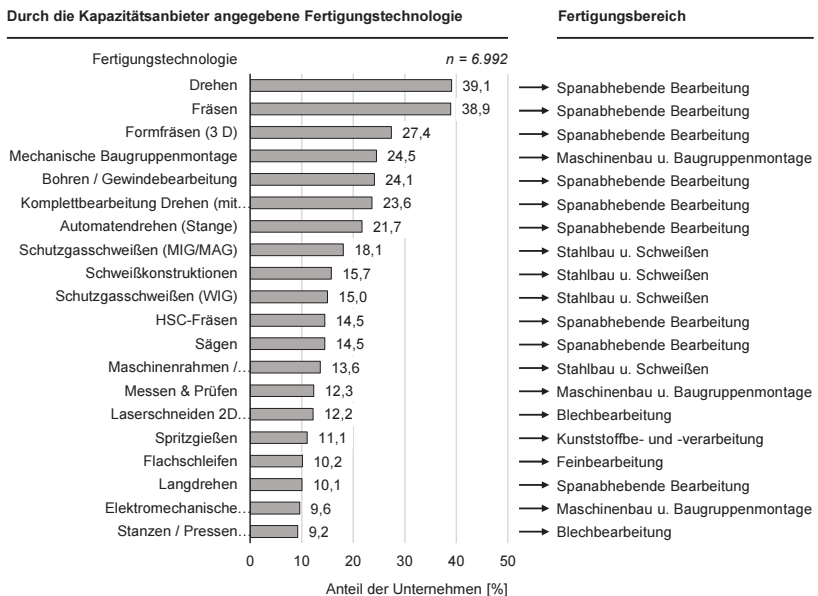


Abbildung 28: Durch die Kapazitätsanbieter ausgewählte Fertigungstechnologien (Top 20) und deren Zuordnung zu einem Fertigungsbereich

Die Abbildung zeigt, dass Drehen und Fräsen mit 39,1 % bzw. 38,9 % die am häufigsten von den Unternehmen genannten Fertigungstechnologien darstellen. Hierin sind ähnliche oder spezifischere Fertigungstechnologien, wie z. B. Automatendrehen oder HSC-Fräsen,

die ebenfalls oft ausgewählt wurden, noch nicht berücksichtigt. Neben diesen spanabhebenden Verfahren sind die Mechanische Baugruppenmontage (24,5 %) und verschiedene Schweißverfahren (z. B. MIG/MAG und WIG mit 18,1 % bzw. 15,0 %) verhältnismäßig weit verbreitet. Insgesamt spiegeln sich bei den Angaben zu den Fertigungstechnologien auch die häufigen Fertigungsbereiche, wie Spanabhebende Bearbeitung, Maschinen und Baugruppenmontage sowie Stahlbau und Schweißen wider. Zusätzlich zu den Fertigungsbereichen bzw. -technologien bietet der vorliegende Datensatz Informationen zu den Werkstoffkategorien und Werkstoffen, die der nachstehende Abschnitt behandelt.

4.3.3.3 Werkstoffkategorien und Werkstoffe

Ein weiteres zentrales Merkmal zur Charakterisierung der Fertigung sind die verwendeten Werkstoffe. Im vorliegenden Datensatz haben 7.336 Unternehmen angegeben, welche Werkstoffkategorien bzw. Werkstoffe sie einsetzen. In Abbildung 29 sind die Angaben der Werkstoffkategorien dargestellt.

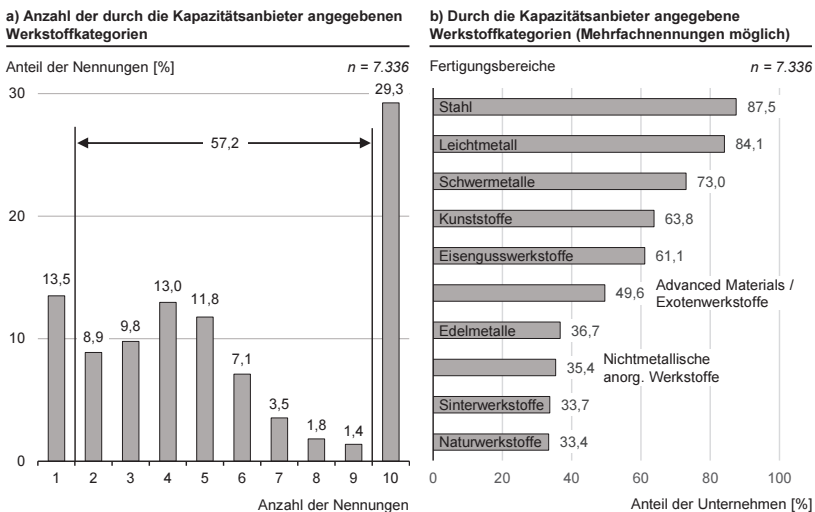


Abbildung 29: a) Anzahl der durch die Kapazitätsanbieter angegebenen Werkstoffkategorien, b) Durch die Kapazitätsanbieter angegebene Werkstoffkategorien

Im Gegensatz zu den Fertigungsbereichen zeigt sich hier eine nicht ganz so deutliche Konzentration auf wenige Werkstoffkategorien, sodass der Median der angegebenen Anzahl an Werkstoffkategorien bei fünf von insgesamt zehn liegt. Auffällig ist, dass 29,3 % der Unternehmen auflisteten, alle zehn Werkstoffkategorien zu beherrschen. Am zweithäufigsten – jedoch mit großem Abstand – nannten die Unternehmen lediglich eine Werkstoffkategorie (13,5 %). In Bezug auf die Werkstoffkategorien scheinen drei Gruppen innerhalb der Nutzerunternehmen zu bestehen. Die erste Gruppe fokussiert sich auf eine

bestimmte Werkstoffkategorie, während die zweite eine eher mittlere Flexibilität hinsichtlich der Verarbeitung unterschiedlicher Werkstoffe angibt. Die dritte Gruppe gibt keinerlei Einschränkungen an, was abgesehen von einer tatsächlich vollständigen Flexibilität durchaus auch auftragstaktische Gründe haben kann.

Darüber hinaus verteilen sich die Angaben gleichmäßiger über die Werkstoffkategorien als bei den Fertigungsbereichen. Dennoch besteht eine erkennbare Konzentration. Der höchste Wert findet sich bei Stahl, den 87,5 % der Unternehmen bearbeiten können. Dicht dahinter folgen die Leichtmetalle mit 84,1 %, die Schwermetalle mit 73,0 % und die Kunststoffe mit 63,8 %. Selbst bei der am seltensten genannten Werkstoffkategorie, der Naturwerkstoffe, geben immer noch 33,4 % der Unternehmen an, diese bearbeiten zu können. Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang D. Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Unternehmen verglichen mit den Fertigungsbereichen eine größere Flexibilität bei den Werkstoffkategorien erkennen lassen.

Neben den relativ groben Werkstoffkategorien ist es wichtig, die tatsächlichen Werkstoffe zu betrachten, um einen detaillierten Überblick über das Untersuchungsfeld zu erhalten. Im vorliegenden Datensatz sind die Angaben von 7.336 Unternehmen zu 45 Werkstoffen erhalten. Einen Auszug der Ergebnisse zeigt Abbildung 30. Die vollständigen Angaben finden sich in Anhang D.

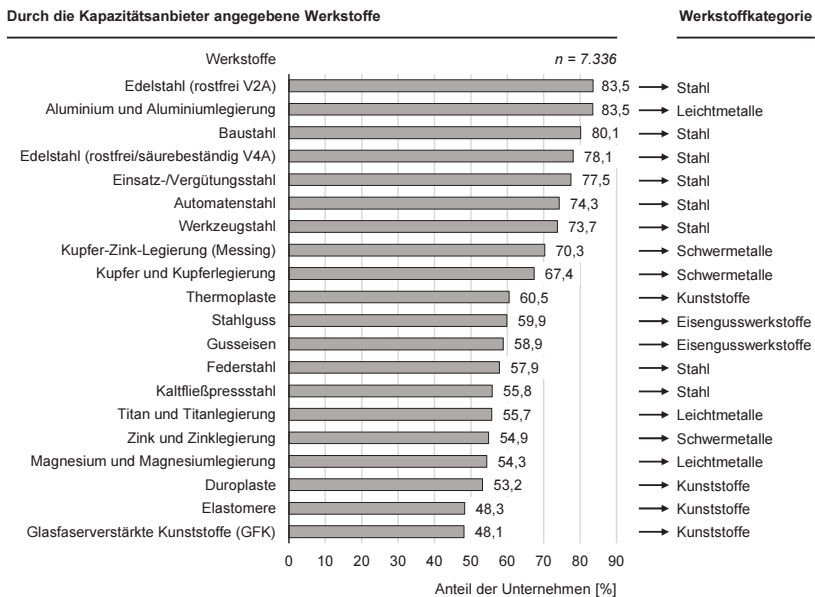


Abbildung 30: Durch die Kapazitätsanbieter ausgewählte Werkstoffe (Top 20) und deren Zuordnung zu einer Werkstoffkategorie

Die Abbildung zeigt, dass ein Großteil der kapazitäts anbietenden Unternehmen die gängigen Stahlsorten offerieren bzw. bearbeiten kann. Im Fall von Edelstahl (V2A) sind dies 83,5 %, bei Baustahl 80,1 % und bei Werkzeugstahl sogar noch 73,7 % der Firmen. Auch die Bearbeitung von Aluminium und Aluminiumlegierungen kann die Mehrheit der Unternehmen laut der erhobenen Daten übernehmen (83,5 %). Gleiches gilt für gängige Legierungen wie Messing oder andere Kupferlegierungen (70,3 % bzw. 67,4 %). Analog zu den Werkstoffkategorien zeigt sich auch bei den Werkstoffen im Vergleich zu den Fertigungsbereichen bzw. -technologien eine weniger starke Spezialisierung der Unternehmen.

Nachdem die Detailstudie tiefe Einblicke hinsichtlich der auf einer der größten Auftrags- und Kapazitätsbörsen agierenden Unternehmen geliefert hat, fasst der nachstehende Abschnitt die Diskussion zusammen und stellt die Kernerkenntnisse für die im weiteren Verlauf zu entwickelnde Methode noch einmal überblickshalber heraus.

4.4 Diskussion und Kernerkenntnisse

Im Rahmen der *Vorstudie* zeigt die Analyse des aktuellen Stands der Praxis, dass bereits jetzt verschiedene Lösungen am Markt vorhanden sind, welche die unternehmensübergreifende Kooperation und Koordination von Fertigungsressourcen unterstützen. Im Hinblick auf die Prozessunterstützung und das abgedeckte Technologiespektrum heben sich diesbezüglich die Auftrags- und Kapazitätsbörsen von den Kontaktbörsen sowie den Webshops deutlich ab. Die Auftrags- und Kapazitätsbörsen stellen damit im Vergleich die weitreichendste und praktikabelste Lösung dar. Bei näherer Betrachtung fällt außerdem auf, dass die betrachteten Plattformen auf die Koordination von Produkten ausgelegt sind und nicht auf die von Kapazität.

Die *Detailstudie* legt des Weiteren offen, dass insbesondere kleine bis mittlere Unternehmen an einer unternehmensübergreifenden Kooperation bezüglich ihrer Fertigungskapazitäten interessiert sind (vgl. Abschnitt 4.3.3.1). Dies kann auf zwei möglichen Ursachen beruhen: einerseits besitzen diese Unternehmen die notwendige Flexibilität und andererseits den Bedarf infolge extern induzierter Bedarfsschwankungen. Kleinere Unternehmen liefern häufig größeren Herstellern bzw. OEMs (Original Equipment Manufacturer) zu und sind entsprechend stärker von einem Aufschaukeln der Nachfrage entlang der Supply Chain (Bullwhip-Effekt) betroffen. Im SCM ist dieses Phänomen bereits seit Jahrzehnten Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (vgl. Arnold et al. 2008, 29f.). Außerdem zeigt die Analyse, dass die interessierten Unternehmen branchenübergreifenden Kooperationen offen gegenüberstehen (vgl. Abschnitt 4.3.3.1). Die Auswahl der möglichen Kooperationspartner muss sich folglich nicht auf einen kleinen Kreis von Unternehmen beschränken. Dennoch lassen sich Branchencluster erkennen, innerhalb derer sich eine Kooperation natürlicher darstellt. Hierzu zählen jeweils etwa der Maschinen-, Anlagen- oder Fahrzeugbau.

Die erhobenen Daten der Detailstudie zeigen außerdem, dass die Unternehmen eine relativ starke Spezialisierung bezüglich der Fertigungsbereiche besitzen. Am häufigsten geben die Unternehmen die spanabhebende Bearbeitung als primären Fertigungsbereich an. Eingesetzte Fertigungstechnologien innerhalb dieses Bereichs sind z. B. Drehen, Fräsen und Bohren (vgl. Abschnitt 4.3.3.2). Diese technologische Fokussierung sollte bei der Auswahl der Kooperationspartner zwingend Beachtung finden. Gleichzeitig verstärkt die Spezialisierung die Auswirkungen von Nachfrageschwankungen und unterstreicht damit die Relevanz eines unternehmensübergreifenden Ansatzes. Bei den verarbeitbaren Werkstoffen lässt sich im Gegensatz hierzu keine so starke Spezialisierung erkennen, sodass diesbezüglich größere Flexibilität besteht (vgl. Abschnitt 4.3.3.3). Aus der Analyse der Praxis lassen sich folgende Kernerkenntnisse (KE) für den zu entwickelnden Lösungsansatz ableiten:

- **[KE5] Produkt- und prozessbezogen:** Die am Markt vorhandenen Auftrags- und Kapazitätsbörsen koordinieren Aufträge über eine bestimmte Anzahl definierter Bauteile und keine Maschinenkapazität. Die Unternehmen mit einer Unterbelastung, die einen solchen Auftrag entgegennehmen, tragen damit auch alleinig die Verantwortung für dessen vereinbarungsgemäße Fertigstellung. Um jedoch die größtmögliche Flexibilität zu erreichen, ist auch die Koordination von Kapazität hilfreich. Der Lösungsansatz der vorliegenden Arbeit sollte deshalb beide Alternativen unterstützen.
- **[KE6] Fokus auf KMU:** Vor allem kleinere und mittlere Unternehmen sind als Anbieter und vermutlich auch als Nachfrager auf der untersuchten Auftrags- und Kapazitätsbörse vorhanden. Entsprechend groß stellt sich der Bedarf dieser Unternehmensgruppe nach einem unternehmensübergreifenden Austausch dar, sodass diese auch im Weiteren besondere Berücksichtigung finden sollte.
- **[KE7] Bezug auf Branchencluster:** Die Analyse zeigt, dass die Unternehmen aus dem erhobenen Datensatz unterschiedliche Schwerpunkte bezüglich der von ihnen belieferten Branchen besitzen. Für eine Kooperation bietet sich damit eine Zusammenarbeit zwischen Unternehmen derselben oder zumindest verwandter Branche(n) eher an. Zwei kooperierende Unternehmen müssen demnach zwar nicht aus der identischen Branche stammen, sollten aber ihren Schwerpunkt in ähnlichen Sektoren haben, um die Erfolgsaussicht auf eine reibungsfreie Zusammenarbeit möglichst hoch zu halten. Die identifizierten Cluster geben Aufschluss darüber, welche Branchen sich in diesem Kontext ähneln.
- **[KE8] Unterschiedliche Spezialisierung:** Die Unternehmen weisen bei den Fertigungsbereichen und -technologien eine deutliche höhere Spezialisierung als bei den Werkstoffkategorien und Werkstoffen auf. Infolgedessen sollte der zu entwickelnde Ansatz diesen Aspekt entsprechend berücksichtigen.

Nachdem der Stand der Praxis vollständig erfasst ist, wird im nachstehenden Kapitel das Methodenkonzept entwickelt und so der Rahmen für die spätere Ausgestaltung der hier zu erarbeitenden Lösung definiert.

5 METHODENKONZEPT

Den ersten Schritt zur Entwicklung der Methode stellt dessen Vorkonzeptionierung dar. Das Methodenkonzept sichert eine zielgerichtete Ausgestaltung und garantiert, dass die erarbeitete Lösung auf die Bedürfnisse der potenziellen Anwender zugeschnitten ist. Deshalb erhebt Abschnitt 5.1 zunächst die Defizite der zuvor diskutierten Auftrags- und Kapazitätsbörsen, die generellen Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination und vor allem die Anforderungen an die zu entwickelnde Methode. Anschließend überführt Abschnitt 5.2 die von den Praktikern genannten Anforderungen in handhabbare Vorgaben für die Methodenausgestaltung. Danach wird die Anwendung der Methode in Abschnitt 5.3 näher spezifiziert. Das Grobkonzept zur inhaltlichen Ausgestaltung der Methode ist das zentrale Ergebnis des vorliegenden Kapitels und wird in Abschnitt 5.4 hergeleitet. Die Vorgehensweise zur Herleitung des Methodenkonzepts unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kapitel 3 und 4 visualisiert Abbildung 31.

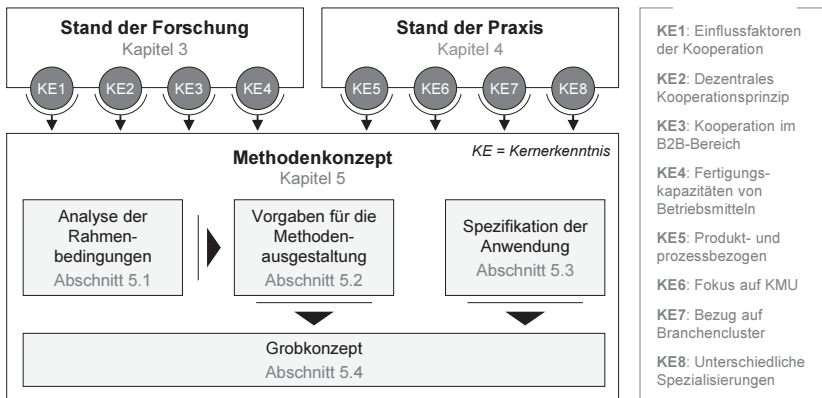


Abbildung 31: Vorgehensweise zur Herleitung des Methodenkonzepts

Die aus der Analyse der aktuellen Forschung und Praxis gewonnenen Kernkenntnisse sind bei der Konzeptionierung der Methode hilfreich. Einerseits können sie zur Bestimmung geeigneter Gesprächspartner eingesetzt (KE3, KE6, und KE7) und andererseits als Diskussionsgegenstand zur weiteren Konkretisierung mit den Experten herangezogen werden (KE1, KE2, KE4, KE5 und KE8).

5.1 Analyse der Rahmenbedingungen mittels Experteninterviews

Die Analyse der Rahmenbedingungen soll die Erkenntnisse aus Kapitel 4 erweitern und durch eine tiefgreifende Betrachtung des Untersuchungsbereichs das Gesamtverständnis über den Stand der Praxis vervollständigen. Vor diesem Hintergrund erscheint ein *qualitativer Forschungsansatz* besonders geeignet (vgl. Creswell 2009, S. 40). Im Gegensatz zu

quantitativen Untersuchungen resultieren die erarbeiteten Ergebnisse nicht aus statistischen Verfahren oder anderen Methoden der Quantifizierung (vgl. Strauss/Corbin 1990, S. 17), sondern aus der Analyse nicht-numerischer Materialien, wie beispielsweise Texten, Bild- oder Audioaufzeichnungen (vgl. Kuckartz 2014b, S. 14). Für die Erhebung von qualitativen Daten steht ein Kanon an unterschiedlichen Methoden zur Verfügung, auf die an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Eine Zusammenstellung von qualitativen Methoden mit entsprechenden Literaturverweisen findet sich bei Bortz/Döring (2006, S. 307).

Qualitativ geprägte Untersuchungen können auch mit quantitativen Verfahren gewinnbringend kombiniert werden. Ausführliche Auseinandersetzungen mit dem Ansatz der sogenannten Mixed Methods finden sich beispielsweise bei Creswell/Plano Clark (2011, 69f.), Kuckartz (2014a, 65ff.) und Flick (2011, 23ff.). Ein besonderer Vorteil qualitativer Forschung ist gemäß Mayring (2002, S. 65) die Modifizierbarkeit der Methode in Anbetracht der jeweiligen Fragestellung und des entsprechenden Untersuchungsgegenstands. Diese Flexibilität trägt im hohen Maße dazu bei, dass die Ergebnisse gegenstandsadäquater werden und die Untersuchung in ihrer Aussagekraft gestützt wird. Auf übergeordneter Ebene lassen sich qualitative Studien anhand ihres Forschungsdesigns differenzieren. Flick (2010, S. 257) definiert fünf Basisdesigns (1. Fallstudien, 2. Vergleichsstudien, 3. retrospektive Studien, 4. Momentaufnahmen und 5. Längsschnittstudien), welche für die jeweilige Anwendung modifiziert werden können (vgl. hierzu auch Creswell 2009; Mayring 2002, S. 40 ff.). Die Analyse der Rahmenbedingungen besitzt anknüpfend an diese Klassifizierung vergleichenden Charakter, da mehr als ein Unternehmen befragt wird. Gleichzeitig verfolgt die Analyse das Ziel, den Ist-Stand in den Betrieben zu erfassen und dort relevante Prozesse offenzulegen, sodass sich für die vorliegende Untersuchung eine Kombination dieser beiden Basisdesigns ergibt.

5.1.1 Methodischer Überblick und Vorgehensweise

Methodisch fußt die Analyse der Rahmenbedingungen auf *Experteninterviews* als Instrument zur qualitativen Datenerhebung. Diese erlauben es, besonderes Wissen der befragten Person über Ereignisse und Prozesse zu externalisieren (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 13; Patton 2002, 340 f.). Außerdem ermöglicht diese Form der Datenerhebung, subjektive Sichtweisen und Meinungen der Interviewpartner über bestimmte Sachverhalte offenzulegen (vgl. Bortz/Döring 2006, S. 308), sodass diese Methodik vor dem Hintergrund des Erkenntnisinteresses als gut geeignet erscheint.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Unterformen und Varianten für die Forschungsmethode der qualitativen Interviews, die entweder für spezielle Kontexte entwickelt wurden oder als breit angelegter Sammelbegriff fungieren. Eine umfassende Übersicht liefern Bortz/Döring (2006, S. 315). Eines der markantesten Unterscheidungsmerkmale bei Interviews ist der Grad der Standardisierung. Das Spektrum reicht von nicht-standardisierten, über halbstandardisierte, bis hin zu vollständig standardisierten Interviews und bezieht sich jeweils auf die Freiheitsgrade des Interviewers beim Fragen bzw. des Interviewpartners

beim Antworten (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 41; Mayring 2002, S. 66). Dem Verständnis von Gläser/Laudel (2010, S. 111) folgend, werden die Experteninterviews im Rahmen der vorliegenden Arbeit als nicht-standardisierte Leitfadenterviews durchgeführt, die im Sinne von Bogner/Menz (2002, S. 37) sowohl explorative als auch systematisierende Elemente aufweisen.

Nach Festlegung der Interviewform als Erhebungsinstrument gilt es darüber hinaus, den Gegenstand des Erkenntnisinteresses konkreter zu definieren. Zur Differenzierung des Expertenwissens unterscheiden Meuser/Nagel (2009, 470 ff.) hierzu das *Betriebs-* und das *Kontextwissen*. Während das Kontextwissen die Rahmenbedingungen und Entwicklungen aus dem Umfeld der Experten subsumiert (explizites Wissen), beinhaltet das Betriebswissen viel vortheoretisches Erfahrungswissen und kann beispielsweise in Form von Entscheidungsfällen artikuliert werden (explizites und implizites Wissen). Für die vorliegende Untersuchung liegt der Schwerpunkt erkennbar auf dem Betriebswissen der Experten, indem diese nach Prozessen, Entscheidungen und Handlungen im relevanten Themenbereich gefragt werden. Generell gilt als Experte, wer über spezielles Wissen im Untersuchungsbereich verfügt, das nur ihm zugänglich ist (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 12; Meuser/Nagel 2009, S. 470; Bogner/Menz 2002, S. 46).

Der *Interviewleitfaden* beinhaltet die für das Interview relevanten Fragen, die in jedem Interview beantwortet werden müssen. Die genaue Formulierung sowie die Reihenfolge der Fragen ist hierbei nicht zwingend vorgeschrieben und kann dem Gesprächsverlauf angepasst werden (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 41 f.). Darüber hinaus ist es möglich, zusätzliche Fragen zu stellen, sollten sich interessante und zuvor nicht absehbare Aspekte ergeben. Der Erstellung des Leitfadens geht eine intensive Analyse des Problems voraus, aus der die relevanten Themenbereiche für das Interview abgeleitet werden (vgl. Mayring 2002, S. 69). Dies ist erforderlich, weil der Interviewer eine thematische Kompetenz im Untersuchungsbereich benötigt, um die Fragen in den richtigen Kontext stellen und so ein ertragreiches Interview erzeugen zu können (vgl. Meuser/Nagel 2009, S. 461).

Aufgrund des bewusst offenen Charakters qualitativer Forschung ist grundsätzlich eine Anpassung des Leitfadens in der Phase der Datenerhebung möglich. In der vorliegenden Studie wird hiervon jedoch weitestgehend abgesehen, um eine Vergleichbarkeit der Datensätze beizubehalten. Zur Sicherstellung einer gewissen Reife und Praxistauglichkeit des Leitfadens, ist es üblich, diesen vor Beginn der eigentlichen Erhebung zu testen (vgl. Blumberg/Cooper/Schindler 2008, S. 74). Im vorliegenden Fall erfolgte dies in einer Pilotphase durch Probeinterviews, welche von der späteren Auswertung ausgenommen sind. Die Probeinterviews legen jedoch Schwachstellen des Leitfadens offen, sodass dieser entsprechend modifiziert werden kann. Der erprobte, finale Interviewleitfaden ist in Anhang E abgebildet. Inhaltlich gliedert sich dieser in die folgenden Abschnitte: A) Einstiegsfragen, B) Ist-Prozess/Status Quo, C) Chancen und Hindernisse, D) Anforderungen, E) Einflussfaktoren, F) Weiteres Vorgehen und Abschluss.

Ein bedeutender Arbeitsschritt bei der Durchführung von Interviews ist das sogenannte *Sampling*, also die Auswahl der Gesprächspartner. Die Literatur unterscheidet hierbei oft das „Theoretical Sampling“ (vgl. Strauss/Corbin 1990, S. 176) und das „Purposeful Sampling“ (vgl. Patton 2002, 230 ff.). Das Theoretical Sampling gilt dabei in der qualitativen Forschung häufig als bevorzugte Variante. Liegt das Ziel der Studie jedoch nicht in der Theoriebildung, sondern eher – wie im vorliegenden Fall – in der „Evaluation institutioneller Praxis“ (Flick 2010, S. 262), erscheinen andere Strategien geeigneter. Patton (2002, S. 230 ff.; 1990, S. 169 ff.) unterscheidet in diesem Kontext mehrere Strategien, von denen sich insbesondere das *Purposeful Random Sampling* für die betrachtete Fragestellung als zweckdienlich darstellt. Die Kontaktaufnahme zu potenziellen Interviewpartnern erfolgt basierend auf dem Datensatz des Web Content Mining der Detailstudie und definierten Auswahlkriterien. Um als Experte infrage zu kommen, müssen die Kandidaten folgende Kriterien erfüllen: beschäftigt in einem kleinen bis mittelgroßen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, Erfahrung in Produktions- bzw. Supply Chain-Prozessen und Inhaber einer leitenden Position mit Entscheidungsbefugnis.

5.1.2 Datenerhebung und -auswertung

Im Rahmen der *Datenerhebung* sind die Bedingungen, unter denen diese zustande gekommen sind, ausreichend genau zu beschreiben (vgl. Mayring 2010, S. 53). Für die vorliegende Untersuchung erfolgte die Kontaktaufnahme mit den potenziellen Teilnehmern zunächst per E-Mail und sofern erforderlich anschließend per Telefon. Die Interviews wurden zwischen August 2016 und Juni 2017 geführt. Der Großteil der Interviews fand dabei telefonisch statt, ein kleinerer Teil persönlich. Die Gesprächsdauer lag zwischen 40 und 110 Minuten und im Mittel betrug die Interviewzeit etwas mehr als eine Stunde. Zur Vorbeugung von Informationsverlusten bei einer handschriftlichen Protokollierung wurden alle Gespräche digital aufgezeichnet (vgl. hierzu auch Gläser/Laudel 2010, S. 157). Die Teilnehmer der Interviewstudie sind übersichtshalber und in anonymisierter Form in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht über die Teilnehmer der Interviewstudie

Nr.	Position	Mitarbeiter	Nr.	Position	Mitarbeiter
1	Teamleiter SCM/Logistik	3.900	12	Geschäftsführer	70
2	Leiter Logistik	2.200	13	Kaufmännischer Direktor	50
3	Leiter Produktionssteuerung	1.300	14	Geschäftsführer	25
4	Geschäftsführer	26	15	Leiter Vertrieb/Projektmanagement	45
5	Geschäftsführer	40	16	Technischer Leiter	400
6	Prokurist und Gesellschafter	54	17	Geschäftsführer	50
7	Geschäftsführer	50	18	Geschäftsführer	20
8	Geschäftsführer	30	19	Geschäftsführer	200
9	Geschäftsführer	80	20	Leiter Vertrieb	50
10	Leiter IT/Logistik/Arbeitsvorbereitung	150	21	Geschäftsführer	500
11	Betriebsleiter	260			

Für die sorgfältige *Datenauswertung* der Interviews ist eine vollständige Verschriftlichung in Form von sogenannten Transkripten unabdingbar (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 193; Mayring 2002, S. 89; Strauss/Corbin 1990, S. 30). Nur so können relevante Aussagen extrahiert, systematisiert und verglichen werden. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie für alle Gespräche eine wörtliche Abschrift angefertigt. Da es bei Experteninterviews vornehmlich um die inhaltlich-thematische Ebene und weniger um das Gespräch als Gesamtkonstrukt geht, werden der Auffassung von Meuser/Nagel (2002, S. 83) folgend keine nonverbalen Elemente wie Pausen oder Stimmlagen mitnotiert. Darüber hinaus erfolgt eine Übersetzung des gesprochenen Wortes in normales Schriftdeutsch, eine Neutralisierung des Dialekts, die Behebung von Satzbaufehlern und die Vereinheitlichung des Stils (vgl. Mayring 2002, S. 90). Die angefertigten Transkripte bilden die Datenbasis für die weitere Auswertung.

Zur Analyse von Daten in Textform existieren unterschiedliche Vorgehensweisen, die sich je nach Zielsetzung und Ausgangsmaterial unterschiedlich gut eignen. Eine Übersicht findet sich u. a. bei Gläser/Laudel (2010, S. 44). Für die Auswertung von Experteninterviews eignet sich vor allem die *Qualitative Inhaltsanalyse* (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 47). Ein großer Vorteil dieser Auswertungsmethodik ist ihr systematisches Vorgehen, das eine gleichmäßige Behandlung des gesamten Materials erzwingt und so den subjektiven Einfluss bei der Gewichtung der Aussagen kontrolliert (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 204): jedes Interview wird mit derselben Sorgfalt und mit denselben Schritten ausgewertet. Zur Durchführung der Qualitativen Inhaltsanalyse existieren verschiedene Ablaufmodelle. Insbesondere die Herangehensweise von Mayring (2010; 2002) findet hierbei viel Beachtung. Dieser stellte die Methode Anfang der 1980er in Deutschland erstmalig vor und prägt sie bis heute (vgl. Gläser/Laudel 2010, S. 198).

Trotz seiner breiten Verwendung wird auch Kritik am Mayring'schen Verfahren geübt, weil dieses ein starres Kategoriensystem²² zur Anwendung auf die Texte vorsieht (vgl. Gläser/Laudel 2010, 198 f.). Dies liegt in der starken Orientierung Mayrings an der quantitativen Inhaltsanalyse begründet, bei der nach der Codierung der Texte mit den zuvor definierten Kategorien eine Häufigkeitsanalyse im Zentrum steht. Da eine Quantifizierung des qualitativen Materials hier nicht im Fokus steht und eine vollständige Herleitung der Kategorien ex ante ebenfalls als nicht sinnvoll erscheint, folgt die Auswertung der Transkripte der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2014b). Generell beschreibt dieser die Phasen Textarbeit, Kategorienbildung, Codierung, Analyse und Ergebnisdarstellung, betont aber deren iterativen, zirkulären Charakter (vgl. Kuckartz 2014b, S. 50). Eine strenge Sequenzierung in disjunkte Schritte findet also nicht statt.

Kuckartz (2014b, 77ff.) unterscheidet darüber hinaus die inhaltlich strukturierende, die evaluierende und die typenbildende Qualitative Inhaltsanalyse als die drei wesentlichen

²² Unter dem Begriff Kategorie wird eine Klasse ähnlicher Einheiten verstanden. Eine Kategorie wird also zur Klassifizierung (hier von Aussagen) genutzt (vgl. Kuckartz 2014b, S. 41).

Basismethoden. In Anbetracht der Zielsetzung eignet sich insbesondere die inhaltlich strukturierende Variante für die Auswertung der Transkripte. Die Kategorienbildung kombiniert hier im Gegensatz zum Mayring'schen Ansatz ein deduktives und ein induktives Vorgehen. Der zur Analyse verwendete vollständige Ablauf der Qualitativen Inhaltsanalyse ist in Abbildung 32 dargestellt.

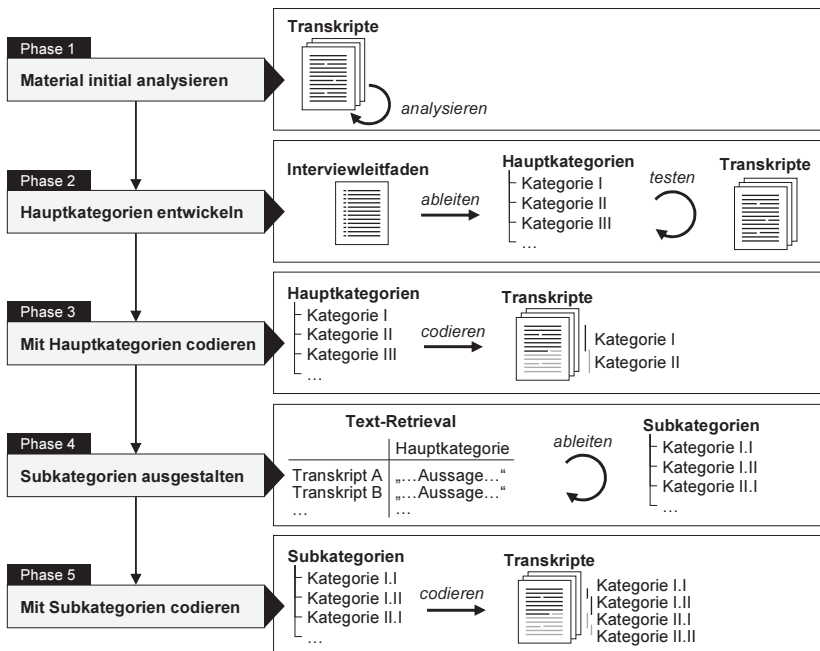


Abbildung 32: Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse (in Anlehnung an Kuckartz 2014b, 77ff.)

Die Analyse sieht ein mehrstufiges Verfahren für die Kategorienbildung sowie für das Codieren vor. Nach einer initialen Analyse des Materials zur Schaffung eines groben Überblicks folgt die Ableitung der Hauptkategorien direkt aus den Themenblöcken und zentralen Fragen des Leitfadens (deduktiv). Diese werden iterativ an einigen Transkripten getestet und modifiziert, bis alle relevanten Abschnitte einer Kategorie zugeordnet sind. Anschließend findet das Codieren aller Transkripte mit den finalen Hauptkategorien statt. In der nächsten Phase werden je Hauptkategorie die codierten Aussagen über alle Transkripte in einem Text zusammengetragen und ein sogenanntes Text-Retrieval erzeugt, das verwandte Aussagen übergreifend darstellt. Anhand dieses spezifischen Materialausschnitts erfolgt durch Ordnen und Systematisieren die Ableitung von Subkategorien und Sub-Subkategorien (induktiv), bis eine ausreichende Granularität erreicht ist. Abschließend werden die Transkripte mit den entwickelten Subkategorien codiert. Ein Beispiel in Form

eines Auszugs aus einem codierten Interviewtranskript enthält der Anhang F. Die vollständig codierten Transkripte können schlussendlich themenspezifisch auf unter- und übergeordneter Ebene ausgewertet und die Ergebnisse dargestellt werden.

Im Hinblick auf die Güte einer Qualitativen Inhaltsanalyse unterscheidet Kuckartz (2014b, S. 166) Kriterien für die *interne* und für die *externe Studiengüte*. Während die interne Studiengüte die „Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit“ der Vorgehensweise beschreibt, betrachtet die externen Studiengüte die „Übertragbarkeit und Verallgemeinbarkeit“ der Ergebnisse. Beides sind auch für die vorliegende Arbeit wichtige Aspekte. Für die Überprüfung der internen Studiengüte stellt Kuckartz (2014b, S. 167) ferner eine Checkliste mit Fragen zur Verfügung, für die Tabelle 3 Antworten im Hinblick auf die vorliegende Untersuchung enthält.

Tabelle 3: Checkliste der internen Studiengüte (übernommen von Kuckartz 2014b, S. 167) und Beurteilung in Bezug auf die vorliegende Untersuchung

Kriterium/ Frage	Beurteilung
Wie wurden die Daten fixiert?	Die Fixierung der Daten erfolgte per Audioaufnahme.
Wurden <i>Transkriptionsregeln</i> benutzt und werden diese offengelegt?	Die angewendeten Regeln sind dem Absatz „Datenauswertung“ in diesem Abschnitt zu entnehmen.
Wie sah der <i>Transkriptionsprozess</i> konkret aus?	Die Transkription der Interviews erfolgte direkt nach der Aufzeichnung.
Wer hat transkribiert?	Die Transkription erfolgte über einen Dienstleister.
Wurde eine <i>Transkriptionssoftware</i> benutzt?	Für die Transkription kam die Software f4transkrip ²³ zum Einsatz.
Ist das <i>synchrone Arbeiten</i> mit Audioaufnahme und Transkription möglich?	Die Auswertungssoftware MaxQDA ²⁴ bietet diese Funktion.
Wurden die <i>Transkriptionsregeln</i> befolgt und entspricht die <i>verschriftliche Fassung</i> dem Gesagten?	Die Transkripte wurden durch den Forschenden jeweils auf Konsistenz und Inhalt geprüft.

Die in den Interviews gewonnenen Ergebnisse sollen auch eine Übertragbarkeit auf andere Unternehmen besitzen, weshalb auch die externe Studiengüte von Bedeutung ist. Kuckartz (2014b, S. 169) nennt hierfür eine Reihe von Strategien, die grundsätzlich geeignet sind, die Verallgemeinerbarkeit von empirischen Befunden zu erhöhen. Von diesen Strategien finden in der vorliegenden Untersuchung das „Peer Debriefing“ und die „Triangulation bzw. der Einsatz von Mixed Methods“ Anwendung. Das Peer Debriefing, welches den regelmäßigen Austausch mit fachkundigen Personen außerhalb des jeweiligen Forschungsprojektes zur Diskussion der Ergebnisse beschreibt, fand mit wissenschaftlichen Mitarbeitern der Technischen Universität Hamburg statt. Des Weiteren wird angestrebt, die Schlussfolgerungen in der Ergebnisdiskussion in einem ausreichenden Umfang mit Zitat

²³ <https://www.audiotranskription.de/f4>

²⁴ <https://www.maxqda.de/>

zu belegen. Eine Triangulation ergibt sich für einen Teil der Ergebnisse durch den Abgleich mit den Erkenntnissen aus dem Kapitel 4 und der darin enthaltenen Praxisanalyse.

5.1.3 Ergebnisse

Die Darlegung der Ergebnisse erfolgt in drei Abschnitten. Anknüpfend an die Vorstudie in Abschnitt 4.2 untersucht Abschnitt 5.1.3.1 die Nutzung von Auftrags- und Kapazitätsbörsen in der Unternehmenspraxis. Anschließend beschreibt Abschnitt 5.1.3.2 die generell bestehenden Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination. Die Anforderungen an die zu entwickelnde Methode aus Sicht der Unternehmen betrachtet darauffolgend Abschnitt 5.1.3.3.

5.1.3.1 Nutzung von Auftrags- und Kapazitätsbörsen

Auftrags- und Kapazitätsbörsen weisen im Vergleich zu anderen Plattformlösungen sowohl eine hohe Prozessunterstützung als auch ein breites Technologiespektrum auf (vgl. Abbildung 23). Sie stellen somit derzeit die vollwertigste Lösung für die unternehmensübergreifende Kooperation hinsichtlich Fertigungskapazitäten am Markt dar. Folglich stellt sich anknüpfend an die makroskopisch angelegte Vorstudie die Frage, welche Rolle Auftrags- und Kapazitätsbörsen tatsächlich in der unternehmerischen Praxis einnehmen. Im Rahmen der Interviewstudie werden die Experten deshalb zu unterschiedlichen Aspekten von Auftrags- und Kapazitätsbörsen befragt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt nachstehend.

Obwohl Auftrags- und Kapazitätsbörsen bereits seit Anfang der 2000er Jahre am Markt sind, kennen viele der befragten Unternehmen diese nicht. Alle befragten Unternehmen sind dabei Teil der Zielgruppe solcher Plattformen und würden für die Nutzung als Anbieter und/oder als Nachfrager von Kapazität infrage kommen. Von den Unternehmen, die solche Plattformen als Anbieter nutzen, ist die Motivation hierzu sehr ähnlich und es bestehen vergleichbare Anwendungsfälle. Zunächst versuchen die Unternehmen ihren Kundestamm über die Plattform zu erweitern und neue Kunden zu akquirieren. Dies erfolgt zum einen eher kurzfristig im Fall einer geringen Auslastung und zum anderen eher langfristig mit dem Ziel ggf. auch außerhalb der Plattform die neugewonnenen Kundenbeziehungen weiterzuführen. Diese Vorgehensweise eignet sich insbesondere für Unternehmen, die ein sehr breites Angebot an Fertigungs- und Montagetechnologien anbieten können und infolgedessen zahlreiche Anfragen erhalten. Die Plattformen sind damit Bestandteil des jeweiligen Vertriebskonzepts und tragen zur Flexibilisierung der Unternehmen bei.

Darüber hinaus ist es für die anbietenden Unternehmen ein geeignetes Tool, um indirekt ein breites Benchmarking mit dem Wettbewerb durchzuführen. Hierbei kalkulieren die Anbieter von Kapazitäten ihre jeweiligen Kosten, leiten daraus ihren Preis für eine bestimmte Anfrage ab und warten dann auf die Angebote der Konkurrenten. Auf diese Weise können sie ihre eigenen Kosten bzw. Preise im Kontext der Wettbewerber evaluieren.

Unternehmen, die (auch) als Nachfrager auf einer solchen Plattform aktiv sind, suchen häufig nicht direkt nach bestimmten Fertigungskapazitäten, sondern fragen in der Regel ganze Zeichnungsteile mit definierten Spezifikationen an (vgl. auch Abschnitt 4.2 und 4.4). Die zur Herstellung der nachgefragten Teile erforderlichen Fertigungsschritte sind also nicht explizit festgelegt, sodass der Anbieter zunächst ein Bearbeitungskonzept als Basis für ein kommerzielles Angebot ausarbeiten muss. Aus Sicht des Nachfragers ergeben sich zwei Anwendungsfälle, in denen die Plattform nützlich erscheint. Im ersten Fall ist der Anwender für gewöhnlich Einkäufer und auf der Suche nach neuen Zulieferern. Eigene Fertigungsexpertise für das angefragte Teil ist bei den Nachfragern in einer solchen Situation entweder nicht vorhanden oder es wird die Auslagerung des Bauteils erwogen. Der zweite Anwendungsfall ist das Nachfragen bestimmter Fertigungskapazitäten im Fall eines Engpasses. Die Anfrage selbst erfolgt auch dann über eine Zeichnung oder ein 3D-Modell. Die Unternehmen verfügen selbst über das spezifische Fertigungswissen und benötigen zur termingerechten Belieferung des Kunden lediglich zusätzliche Kapazitäten. Die Anwender sind in diesem Fall Personen aus der Produktion oder der Arbeitsvorbereitung.

Trotz der langen Marktpräsenz, der großen Anzahl an potenziellen Nutzern und dem umfangreichen Angebot an Funktionalitäten ist die Nutzungsintensität von Auftrags- und Kapazitätsbörsen unter den befragten Unternehmen eher gering. Die meisten Unternehmen geben an, dass sie – sofern sie die Plattformen überhaupt nutzen – auch über längere Zeiträume weder als Anbieter noch als Nachfrager große Auftragsvolumina realisieren konnten. Dies führt dazu, dass die Unternehmen ihre Mitgliedschaft beenden und sich von den Plattformen zurückziehen.

Die Gründe, welche zu einer Nicht-Nutzung der Plattform führen, sind dabei sehr divers. Die von den Unternehmen genannten Defizite sind in Abbildung 33 nach Anbieter und Nachfrager gruppiert aufgelistet und werden im Anschluss auf Basis der Interviews detailliert erläutert.

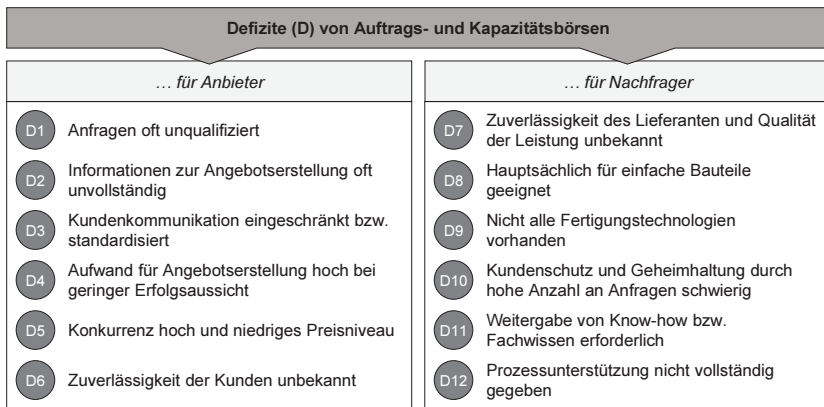


Abbildung 33: Defizite von Auftrags- und Kapazitätsbörsen aus Nutzersicht

Aufgrund der großen Teilnehmerzahl und der oft kostenfreien Nutzung für Nachfrager von Zeichnungsteilen bzw. Kapazität erreicht die registrierten Anbieter eine große Anzahl an Anfragen. Diese geringe Eintrittsbarriere führt jedoch auch dazu, dass Anfragen oft unqualifiziert sind (D1), d. h. nicht auf einem echten Kaufinteresse beruhen. Für die Nachfrager sind es Benchmark-Anfragen, die eine gewisse Preis- und Markttransparenz erzeugen sollen. Diese unqualifizierten Anfragen sind meist nicht sofort von fundierten zu unterscheiden. Da die Angebotsausarbeitung in der Regel einen nennenswerten Aufwand verursacht, reduzieren solche Anfragen die Bereitschaft der Anbieter, den erforderlichen Aufwand zu betreiben und belastbare Angebote anzufertigen.

Ein weiterer der Angebotserstellung erschwerender Aspekt ist der Umstand, dass Informationen zur Angebotserstellung oft unvollständig sind (D2). Die Zeichnungen bzw. 3D-Modelle reichen in vielen Fällen nicht aus, um zweifelsfrei alle notwendigen Arbeitsschritte detailliert zu kalkulieren, sodass der Anbieter weitere Informationen von den Nachfragern einholen muss. Das erschwert nicht nur die Angebotserstellung, sondern verlängert auch den Gesamtprozess.

Es ist sehr schwierig. Es sind zwar Anfragen drin, die sind aber teilweise noch rudimentärer als wir sie manchmal von unseren Stammkunden bekommen. Da heben wir auch schon mal den Zeigefinger und sagen: „Hier, die, die und die Informationen brauchen wir noch.“ Und das ist sehr, sehr langwierig. Interview 15

Wie beschrieben erfordern für die Angebotserstellung fehlende Informationen vielfache Rückfragen. In diesem Zusammenhang wird die Kommunikation häufig als ein weiteres Defizit von den anbietenden Unternehmen genannt, weil über die Plattform die Kundenkommunikation eingeschränkt bzw. standardisiert ist (D3). Teilweise sind es auch nicht nur klärende Nachfragen, sondern zusätzliche Dienstleistungen, welche der Anbieter als attraktiveres Gesamtpaket anbieten könnte. Die Plattformen lassen diese Art der Kommunikation jedoch häufig nicht zu.

Ich als Anbieter mache alles über diese Plattform. Ich kann dem Kunden nicht deutlich machen, wo meine Stärken liegen. Vielleicht kann ich ihm noch ganz andere Aspekte bieten? Er fragt bei mir vielleicht ein Teil an, ich könnte ihm aber auch die Komponente 3, 4 und 5 oder die ganze Baugruppe anbieten, die dann günstiger wäre. Kann ich aber nicht, weil das Portal das nicht zulässt. Interview 12

Ein weiteres Defizit, das von den Unternehmen genannt wird, ist, dass der Aufwand für die Angebotserstellung hoch und gleichzeitig die Erfolgsaussicht gering ist (D4). Die Gründe hierfür sind zum einen die teilweise unspezifischen Zeichnungen, die zu vielen Rückfragen führen und zum anderen die oft sehr große Anzahl an anbietenden Unternehmen. Für deutsche Unternehmen stellen insbesondere die Anbieter aus Niedriglohnländern eine nicht zu unterschätzende Konkurrenz bei der Fertigung einfacherer Teile und Produkte dar. Dieser Aspekt steht auch im direkten Zusammenhang mit der Tatsache, dass die Konkurrenz hoch und das Preisniveau niedrig ist (D5). Sofern der Preis das einzige Kriterium für die Vergabe eines Teileumfangs ist, wird die Anfrage für Unternehmen mit einem gewissen Know-how, Leistungsumfang und Infrastruktur uninteressant.

Ganz viele Angebote schenken wir uns. Wir haben auch Leute herausgefiltert, wo immer wieder Anfragen kamen. Da haben wir gesagt, die löschen wir sofort, die Anfragen brauchen wir uns gar nicht anzugucken. Das war dann nur billig und noch billiger und in diesem Niveau bewegen wir uns einfach nicht. Wir können uns schon in Preismärkten bewegen, aber wir sind nie der „Low Cost-Anbieter“. Interview 12

Grundkonzept einer Auftrags- und Kapazitätsplattform ist, dass durch eine Anfrage eine sehr große Anzahl an potenziellen Lieferanten erreicht werden kann und dass die Unternehmen sich meist vor der Geschäftsanbahnung nicht kennen. Infolgedessen ist für die Anbieter die Zuverlässigkeit der Kunden unbekannt (D6). In extremen Fällen kann dies sogar dazu führen, dass Teile geordert und versendet, aber nie bezahlt werden.

Auf Seiten der Nachfrager besteht das Problem, dass die Zuverlässigkeit des Lieferanten und die Qualität seiner Leistung unbekannt sind (D7). Wird eine Anfrage für ein Teil oder eine Kapazität erstellt und es kommt zur Beauftragung eines Anbieters über die Plattform, ist der Nachfrager auf eine vollständige, termingerechte und qualitativ einwandfreie Lieferung angewiesen. Seine eigenen vor- und nachgelagerten Prozesse hängen von der Bereitstellung der Teile ab und damit auch die Einhaltung des Liefertermins. Bei Stammlieferanten besteht dieser Zusammenhang ebenso, allerdings liegen hier Erfahrungen und eine bereits länger bestehende Lieferbeziehung vor, die in der Regel eine gewisse Absicherung gegen dieses Risiko bietet.

Als weiteres Defizit von Auftrags- und Kapazitätsbörsen wird von den Unternehmen genannt, dass diese hauptsächlich für einfache Bauteile geeignet sind (D8). Komplizierte Fertigungsteile und Baugruppen erfordern eine höhere Abstimmung zwischen Nachfrager und Anbieter und eignen sich deshalb oft nicht für die Vergabe über eine Auftrags- und Kapazitätsbörse. Gleichzeitig sind nicht alle Fertigungstechnologien vorhanden (D9), wodurch nicht jede Anfrage trotz der großen Anzahl an registrierten Unternehmen bedient werden kann. Insgesamt bieten die Plattformen jedoch sehr diversifizierte Fertigungstechnologien an.

Sollte ein Unternehmen Unterstützung bei der Fertigstellung eines Kundenauftrags benötigen und einen Teilumfang über eine Plattform anfragen, ist der Kundenschutz und die Geheimhaltung durch die hohe Anzahl an Anfragen schwierig (D10). Häufig unterschreiben die Unternehmen Geheimhaltungsvereinbarungen mit ihren Kunden, sodass Kundenzeichnungen nicht ohne Weiteres an potenzielle Zulieferer übermittelt werden dürfen. Vor dem Hintergrund der großen Anbieterzahl einer solchen Plattform vergrößert sich diese Schwierigkeit zusätzlich.

Für die korrekte und qualitative Bearbeitung von Teilen ist die Weitergabe von Know-how bzw. Fachwissen von dem Nachfrager an den Anbieter vielfach erforderlich (D11), was über eine Plattform mit standardisierter Kommunikation und darüber hinaus mit häufig unbekanntem Unternehmen schwierig ist. Dies ist vollständig analog zu den fehlenden Informationen, die von den Anbietern bemängelt werden. Einige der Unternehmen sehen hierin ein Defizit von Auftrags- und Kapazitätsbörsen. Dieser Aspekt wird auch darüber

deutlich, dass die Prozessunterstützung nicht vollständig gegeben ist (D12). Die Plattformen leisten zwar in einigen Schritten sowohl bei den anbietenden als auch bei den nachfragenden Unternehmen eine sehr gute Unterstützung, letztendlich sind der Nutzung der Plattform jedoch weitere Unternehmensprozesse vor- und nachgelagert. Auftrags- und Kapazitätsbörsen stellen somit immer eine Teillösung für das eigentliche Problem dar.

Ich glaube das Hindernis ist, dass es eine super starke Lösung ist, aber es ist eben nur eine Teillösung. Der ganze Einkauf bis Zulieferprozess ist ja ein sehr langer, wir spielen da nur in das Finden von passenden Lieferanten, der Preisfindung und der Kommunikation über Angebote mit herein. Das ist nur ein Teil vom Prozess. Interview 4

Die Nutzung von Auftrags- und Kapazitätsbörsen stellt ein spezielles, aber nicht das einzige Werkzeug zur Flexibilisierung der Kapazitäten dar. Für die vorliegende Arbeit ist von übergeordnetem Interesse, welche Hindernisse bei der Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen im betrachteten Feld bestehen, um diese bei der Ausgestaltung der zu erarbeitenden Methode zu adressieren. Der nachstehende Abschnitt schafft deshalb eine Übersicht über die aktuellen Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination der Fertigungskapazitäten.

5.1.3.2 Hindernisse der unternehmensübergreifenden Koordination

Um die unternehmensübergreifende Koordination von Fertigungskapazitäten zu vereinfachen, gilt es zunächst, bestehende Hindernisse offenzulegen, welche diesem Ziel entgegenstehen. Die in den Expertengesprächen genannten Hindernisse lassen sich den drei Kategorien Technik, Prozess und Kultur zuordnen. Das Ergebnis der Datenerhebung und -auswertung ist in Abbildung 34 dargestellt.

Hindernisse (H)		
Technik	Prozess	Kultur
<p>H1 Unterschiedliche IT-Systeme in den Unternehmen vorhanden</p> <p>H2 Verlagerung von Vorrichtungen/Werkzeugen erforderlich</p> <p>H3 Weitergabe von Know-how bzw. Fachwissen erforderlich</p>	<p>H4 Höherer Transaktionsaufwand erforderlich</p> <p>H5 Produkt-/Prozessfreigabe durch Kunden notwendig</p> <p>H6 Unternehmensprozesse für alternative Beschaffungswege fehlen</p> <p>H7 Geeignete Partnerunternehmen fehlen</p> <p>H8 Kundenschutz und Geheimhaltung schwierig</p>	<p>H9 Bereitschaft zur Teilnahme an Plattformen fehlt</p> <p>H10 Entscheidungsträger sehr konservativ</p> <p>H11 Erfolg von Motivation/Qualifikation der Mitarbeiter abhängig</p> <p>H12 Keine Partnerschaft mit Wettbewerbern gewünscht</p> <p>H13 Verlagerung von Kernkompetenzen nicht gewünscht</p> <p>H14 Vertrauen und partnerschaftliches Verhältnis erforderlich</p>

Abbildung 34: Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten

In der Kategorie Technik benennt lediglich eine kleine Anzahl der Experten das Hindernis Unterschiedliche IT-Systeme in den Unternehmen (H1), welche die Zusammenarbeit erschweren. Die Erforderlichkeit von Vorrichtungen bzw. Werkzeugen zur Teilefertigung (H2) wurde hingegen regelmäßig in den Gesprächen zum Ausdruck gebracht. Hierunter werden beispielsweise Spannvorrichtungen zur Fräsbearbeitung oder Stantztische in der Blechbearbeitung verstanden. In manchen Fällen wurden diese individuell für bestimmte Teile bzw. Kunden konstruiert und gefertigt, sodass bei einer übergreifenden Koordination eine Verlagerung dieser zwingend erforderlich ist. Weitere Herausforderungen können in diesem Zusammenhang außerdem sein, dass die Verlagerung der Vorrichtungen bzw. Werkzeuge aus Eigentumsgründen eine Involvierung des Kunden sowie erhebliche Transportaufwendungen erfordert.

Ein Thema sind dann auch Werkzeuge und Vorrichtungen, die müsste man sich dann ja auch gegenseitig zur Verfügung stellen, sonst geht das ja gar nicht. Interview 8

Dieses Hindernis steht auch im Zusammenhang mit der erforderlichen Weitergabe von Know-how bzw. Fachwissen (H3). Die Bedienung der Vorrichtungen und Werkzeuge ist meistens nicht vollständig dokumentiert, sondern häufig an bestimmte Mitarbeiter und deren Erfahrung gebunden. Im Fall einer Verlagerung wird es deshalb gelegentlich erforderlich, auch die jeweiligen Mitarbeiter an dem Prozess beispielsweise durch Schulungen und Einweisungen zu beteiligen. Dies trifft in gleicher Weise häufig auf kompliziertere Zeichnungsteile und Baugruppen zu. Auch hier sind in der Regel nicht alle technischen Aspekte eindeutig in der Dokumentation beschrieben, sodass Rückfragen innerhalb des Bearbeitungsprozesses und dessen Vorbereitung zu erwarten sind.

In die Kategorie Prozess fallen Hindernisse mit unterschiedlicher Tragweite. Bei der Zusammenarbeit/Koordination über mehrere Instanzen entsteht grundsätzlich ein höherer Transaktionsaufwand (H4) – so auch bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten. Beispiele für zusätzliche Arbeitsschritte sind ergänzende Wareneingangsprüfungen, die Erhöhung der logistischen Aufwendungen sowie das Anfallen weiterer Abstimmungsprozesse. Als kritischen Punkt sehen die Experten erforderliche Produkt-/Prozessfreigaben durch den Kunden (H5). Insbesondere in der Automobilindustrie sind in vielen Fällen die Lieferantenqualifizierungsbestrebungen stark ausgeprägt. Zum einen werden infolgedessen die vom Lieferanten herzustellenden Produkte zur Sicherung der Qualität anhand von Mustern freigegeben. Zum anderen unterliegen die Prozesse zur Erstellung ebendieser Produkte genauso umfangreichen Prüfungen und werden letztendlich detailliert dokumentiert sowie vertraglich fixiert. Etwaige Abweichungen von diesen Vereinbarungen wären durch den Lieferanten zumindest beim Kunden anzuzeigen und gegebenenfalls sogar neu zu qualifizieren.

Gerade auch für den Automobilbereich muss man jede Änderung, die man am Fertigungsprozess vornimmt, anmelden. Und bis das vom Lieferanten von OEM1, von OEM2, von OEM3²⁵ freigegeben wird, haben Sie dieses Kapazitätsloch mindestens 3-mal überwunden.
Interview 4

Mitunter liegt ein Hindernis auch in der Verantwortung eines einzelnen Unternehmens. Liegen keine Prozesse für alternative Beschaffungswege vor (H6), müssen diese bei Eintritt einer Unter- oder Überbelastung zunächst geschaffen werden. Eine schnelle Reaktion beispielsweise auf eine spontan veränderte Auftragslage ist somit nicht möglich. Ein weiteres regelmäßig genanntes Hindernis ist das Fehlen geeigneter Partnerunternehmen für eine unternehmensübergreifende Koordination (H7). Dies liegt zum einen darin begründet, dass diese Partnerunternehmen häufig aus dem direkten Umfeld stammen sollen, um durch geringere geografische Entfernungen eine leichtere Abstimmung sowie niedrigere Transportkosten und -zeiten sicherzustellen. Zum anderen fehlen die Kapazitäten teilweise in sehr spezialisierten Fertigungsverfahren, wodurch die Anzahl an infrage kommenden Unternehmen deutlich reduziert wird. Ferner stellen auch geforderte Zertifikate in einigen Fällen ein Hindernis dar und führen so zur weiteren Reduzierung der möglichen Partner.

Ein relativ häufig genanntes Hindernis ist der Kundenschutz und die erforderliche Geheimhaltung (H8). Wenn Zeichnungen des Kunden herausgegeben werden, um dessen Teile anzufragen, werden diese üblicherweise so gut es geht anonymisiert. Dennoch können erfahrene Anbieter die Teile häufig bestimmten Kunden zuordnen, weil der entsprechende Markt überschaubar ist und die Akteure sich aus wiederkehrenden Bieterverfahren kennen. Als Resultat verletzt das herausgebende Unternehmen gegebenenfalls seine Geheimhaltungspflichten. Es besteht dann die Gefahr, dass die Anbieter von zusätzlicher Kapazität künftig direkt auf die Endkunden zugehen und die Kunden für sich gewinnen. Dieser

²⁵ Namen der Hersteller aus Datenschutzgründen verfremdet.

Umstand lässt einige Unternehmen einer Fremdvergabe von Teilen im Engpassfall kritisch gegenüberstehen.

Der Markt ist ja auch teilweise sehr klein. Selbst wenn man eine Zeichnung anonymisiert, ist das Problem der Geheimhaltung nicht gleich gelöst. Interview 9

Bei der Betrachtung von größeren Unternehmen im Kontext einer unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten besteht darüber hinaus das Hindernis, dass die Prozesse für die Beschaffung in der Regel lediglich die Standardlieferanten berücksichtigen. Alternative Beschaffungswege beispielweise im Engpassfall können deshalb oft nicht berücksichtigt werden, sodass die mögliche Flexibilität nicht oder nur teilweise genutzt werden kann. Gleichzeitig ist bei zunehmender Unternehmensgröße von ausgeprägten Produkt- und Prozessfreigabeprozessen auszugehen, die eine kurzfristige Verlagerung zusätzlich erschweren. Dieses Hindernis wurde jedoch nur von einem Experten genannt.

Die Kategorie Kultur enthält zahlenmäßig die meisten Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten. Diese haben ihren Ursprung entweder in der Unternehmenskultur oder in der Einstellung der Entscheider im Unternehmen. Das erste Hindernis ist die bei manchen nach wie vor anhaltende Skepsis gegenüber Online-Plattformen und ihrer Beteiligung hieran (H9). Auch wenn sich bereits seit vielen Jahren unterschiedlichste Anbieter für verschiedenste Anwendungsfälle am Markt finden, besteht bei einigen wenigen Unternehmen nach wie vor eine erkennbare Zurückhaltung. Auch spielt die Sorge vor dem Verlust des persönlichen Kontaktes eine gewisse Rolle. Die Anonymität einer Plattform sowie die teilweise eingeschränkten Möglichkeiten zur Präsentation der eigenen Fähigkeit und Fertigkeiten stützen dieses Hindernis insbesondere für spezialisierte Präzisionsunternehmen. Gleichzeitig ist in einigen Transkripten erkennbar, dass mittelfristig ein gewisser Wandel hin zu mehr Offenheit erwartet wird. Dieser Aspekt hängt direkt mit dem Hindernis konservativer Entscheidungsträger zusammen (H10), das sich ebenfalls in der Kategorie Kultur findet.

Ich hör' halt jetzt schon die Mitbewerber, wenn ich in der Umgebung rumfragen würde: „Wollt ihr euch da an so eine Plattform anschließen?“, dass ich da nicht viel Zuspruch finden werde, momentan. Interview 6

Ein weiteres Hindernis, welches von einem Unternehmen genannt wurde, ist die Tatsache, dass der Erfolg einer unternehmensübergreifenden Koordination von der Motivation bzw. Qualifikation der Mitarbeiter abhängt (H11). Wesentlich häufiger wurde von den Experten genannt, dass eine Partnerschaft mit Wettbewerbern in den meisten Fällen nicht gewünscht ist (H12). Die Gründe hierfür sind, dass erstens detaillierte Einblicke in die eigenen Produktionsprozesse gewährt werden müssten und zweitens ein Konkurrent am eigenen Umsatz beteiligt werden würde. Deshalb ist ein längerfristiger Bezug von Teilen oder Fertigungsschritten von Wettbewerbern nicht im Interesse vieler Unternehmen. Problematisch ist hierbei, dass in vielen Fällen aus technischer Sicht die geeignetsten Partner jedoch die Wettbewerber wären. Vergleichbare Fertigungsverfahren lassen sich naturgemäß bei Anbietern finden, die mit dem verlagernden Unternehmen um ähnliche

Kunden konkurrieren. Dies trifft vor allem auf besonders spezialisierte Verfahren und Teile zu. Deshalb stellt dieses Hindernis eine zentrale Schwierigkeit bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Fertigungskapazitäten dar.

Wir geben auch am liebsten an Firmen heraus, mit denen wir überhaupt nicht im Wettbewerb stehen. Das heißt, die eigentlich für andere Branchen arbeiten. Wir wollen ja nicht den eigenen Wettbewerb „aufschlauen“. Das ist nicht unser Plan. Das heißt, wir selektieren schon genau mit wem wir uns zusammenschließen. Interview 7

Die, die das verlagern könnten, also die Marktbegleiter, die wollen das nicht verlagern, weil es halt Marktbegleiter sind (im Sinne von Konkurrenz). Interview 4

Ferner ist die strategische Relevanz von Kernkompetenzen ein Hindernis (H13), das einer Verlagerung bestimmter Teile oder Fertigungsschritte entgegensteht. Eine Fremdvergabe einfacher Bauteile oder Prozesse halten die Unternehmen für durchführbarer als bei hochkomplizierten Verfahren, die unter Umständen Alleinstellungsmerkmale darstellen. Hierbei ist besonders auffällig, dass eine pauschale Aussage für bestimmte Fertigungstechnologien, Werkstoffe oder Verfahrensweisen nicht möglich ist. Welche Teile oder Fertigungsschritte sich aufgrund der strategischen Relevanz eignen bzw. nicht eignen, muss unternehmens- und situationsspezifisch bewertet werden.

Bei Produkten, die die Kernkompetenzen berühren, wie Gießen und Galvanik, möchte man natürlich auch nur bedingt mit anderen Unternehmen zusammenarbeiten. Interview 4

Die Schweißteile würden wir schon hierlassen, weil das unsere Kompetenz ist. Interview 13

Bei der (kurzfristigen) Verlagerung von ganzen Bauteilen oder einzelnen Fertigungsschritten kommt dem Vertrauen zwischen den Partnern erhebliche Bedeutung zu (H14). Dieses wurde von den Unternehmen mehrfach direkt oder indirekt zum Ausdruck gebracht. Dieser Aspekt steht auch im Zusammenhang mit einigen der bereits genannten Hindernisse. Beispiele hierfür sind der zu vereinbarende Kundenschutz oder die Zusammenarbeit mit Wettbewerbern. Entscheidend ist, dass keines der Unternehmen im Engpassfall gerne mit unbekanntem Partnern zusammenarbeiten möchte. Geht es hingegen um neue Aufträge – also den Unterbelastungsfall – messen die Unternehmen diesem Aspekt keine große Bedeutung bei.

Geschäftsführer von so Unternehmen sind immer ein bisschen eigensinnig. Jeder hat so seine Vorstellung und Ideen. [...] Deswegen funktioniert sowas nur über einen langen vertrauensbildenden Prozess. Interview 15

Nach der umfassenden Darlegung der Hindernisse diskutiert der anschließende Abschnitt, welche Anforderungen die Experten an die zu entwickelnde Methode stellen. Im Unterschied zu den aktuellen Hindernissen, welche die Unternehmen derzeit einschränken, richten sich die Anforderungen konkreter auf die auszuarbeitende Lösung und deren zukünftige Anwendung.

5.1.3.3 Anforderungen an die zu entwickelnde Methode

Zur zielgerichteten Ausgestaltung der Methode ist es erforderlich, die bestehenden Anforderungen zusammenzutragen und eingehend zu analysieren. Neben den Kernerkennnissen aus der Analyse des aktuellen Stands der Forschung und Praxis (vgl. Abschnitt 3.3 und 4.4) soll hier die Unternehmensperspektive auf die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten Eingang finden. Die Diskussionen mit den Experten ergaben Anforderungen, welche ein Ansatz zur unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten erfüllen muss. Zur ausführlichen Aufbereitung wurden diese Anforderungen entsprechend dem in Abschnitt 5.1.2 beschriebenen Verfahren systematisch erfasst und strukturiert. Die vorliegende Arbeit unterscheidet dazu zwischen konzeptionellen und inhaltlichen Anforderungen. Die Abbildung 35 fasst die Ergebnisse übersichtlich zusammen und eine detaillierte Beschreibung der Anforderungen erfolgt nachstehend.

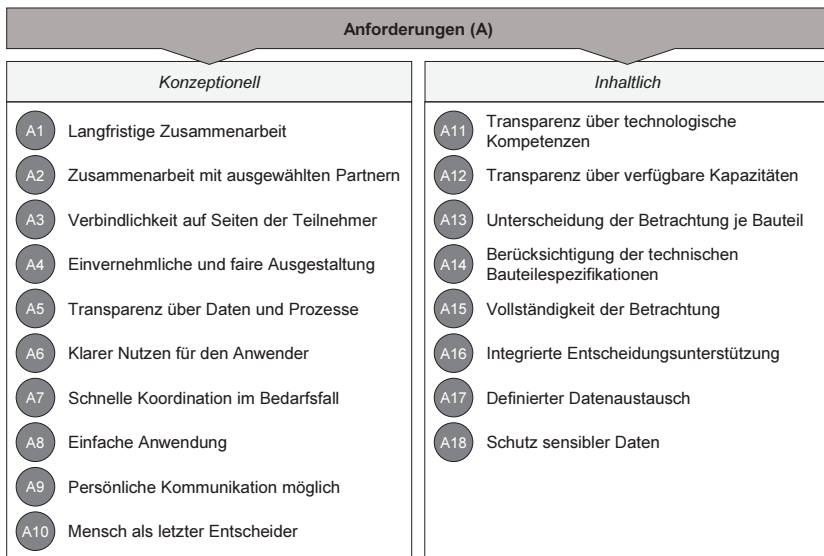


Abbildung 35: Anforderungen an die zu entwickelnde Methode

Im Hinblick auf die *konzeptionellen Anforderungen* bestehen die Experten auf eine langfristige Ausrichtung der Zusammenarbeit (A1) mit ausgewählten Unternehmen (A2). Eine spontane Partnerschaft mit einem unbekanntem Unternehmen können sich die meisten Entscheider insbesondere als Auftraggeber nur sehr bedingt vorstellen. Dies erscheint in Anbetracht der bestehenden Defizite von Auftrags- und Kapazitätsbörsen nachvollziehbar (vgl. Abschnitt 5.1.3.1). Außerdem sollte im Rahmen einer soliden Kooperation eine gewisse Verbindlichkeit bei allen Partnern herrschen (A3). Im Falle einer Vergabe eines

Auftrags muss sich der Auftraggeber auf den Auftragnehmer verlassen können, was ebenfalls für eine vertrauensbasierte und langfristige Zusammenarbeit spricht.

Irgendwer muss es ja fertigen, aber wenn alle sagen, sie würden es doch nicht wollen, dann steht man auch wieder wie ein begossener Pudel beim Kunden. Eine gewisse Verbindlichkeit muss auf Seiten der Teilnehmer auch da sein. Interview 8

Darüber hinaus benötigt der operative Anwender eine ausreichende Transparenz über die Daten und ablaufenden Prozesse der Kooperation (A5). Die Basis für eine Entscheidungsfindung sowie die Abläufe sollten jederzeit ersichtlich sein. Dies trägt zur Akzeptanz der Lösung bei und bedeutet einen klaren Nutzen für den Anwender (A6).

Bezüglich der Praktikabilität ist eine schnelle Koordination im Bedarfsfall eine bedeutende Anforderung (A7). Sollte eine Unter- oder Überbelastung durch die Stornierung eines Auftrags oder den Ausfall einer Maschine spontan auftreten, muss die Abstimmung mit dem Kooperationspartner möglichst schnell erfolgen. Ein konventioneller Beschaffungsprozess wird dieser Anforderung nicht gerecht, sodass eine automatisierte oder eine durch automatisierte Bestandteile unterstützte Lösung ideal wäre. Eine einfache Anwendung der Methode stellt ebenfalls eine wichtige Maßgabe dar, um die Akzeptanz in den Unternehmen zu sichern (A8).

Was für uns immer ganz wichtig ist, ist, dass es ‚schlank‘ sein muss. Wir können uns nicht sieben Stunden am Tag mit Verwaltung oder Organisation beschäftigen. Interview 8

Die Experten betrachten trotz einer Beschleunigung der Abläufe mithilfe einer Automatisierung die persönliche Kommunikation weiterhin als erforderlich (A9). Die Fertigung vieler Bauteile ist zu komplex, um die Abstimmung allein auf eine softwaregestützte und somit standardisierte Kommunikation reduzieren zu können. Kurze Rückfragen insbesondere bei technischen Details zur Fertigung müssen auch weiterhin möglich sein, sodass sich die maschinelle, automatisierte Kommunikation auf die Abstimmung der situationsspezifischen Konditionen konzentrieren kann. Außerdem soll der Mensch nach Auffassung der Experten weiterhin der finale Entscheider bleiben (A10). Das Vertrauen der Geschäftsführer und Mitarbeiter in eine vollautomatisierte Lösung in diesem Bereich wäre zum aktuellen Zeitpunkt nicht groß genug.

Wir haben selbst bei den Schnittstellen mit unseren Kunden immer noch die Möglichkeit gelassen, dass der Mensch noch eingreifen kann. Das Vertrauen in die digitalisierten Prozesse ist noch nicht soweit, dass man die Verantwortung jetzt völlig in die Hand des Algorithmus gibt. Im Moment würde ich sagen, – kann natürlich sein, dass sich das in den nächsten Jahren noch wandelt – dass es wichtig ist, dass der Mensch noch die letzte Entscheidung hat. Interview 1

Bei den *inhaltlichen Anforderungen* ist die Transparenz über die technologischen Kompetenzen der Kooperationspartner sehr bedeutend (A11). Es muss bekannt sein, welche Bauteile oder Prozessschritte ein Kooperationspartner grundsätzlich übernehmen kann. Nur so kann im Bedarfsfall zielgerichtet agiert werden. Die Informationen sind diesbezüglich sehr umfangreich und bedürfen einer durchdachten Struktur.

[Die] Technologie, die ein Unternehmen beherrscht, die muss beschrieben sein. Denn wenn man auf diese Industrie draufguckt, denkt man, die sind alle gleich. Sind sie aber gar nicht. Die sind hochgradig unterschiedlich. Man muss genau wissen, was ist eigentlich die Kernkompetenz dieses Unternehmens und von welchem Kerngeschäft leben die eigentlich. Weil jeder sagt, ja klar, kann ich. Und dann macht der irgendwas. Aber ich denke die Transparenz über die tatsächliche Leistungsfähigkeit einer Firma, die spielt für mich eine große Rolle. Interview 9

Gleichzeitig wird von den Unternehmensvertretern eine gewisse Transparenz über verfügbare Kapazitäten gefordert, aus der hervorgeht, ob ein Partner einen Auftrag übernehmen kann (A12). Dies steht jedoch im Widerspruch zur konzeptionellen Anforderung nach dem Schutz sensibler Daten. Sollte ein Partner vollständige Transparenz über die Belastungsprofile seiner Maschinen und Anlagen herstellen, wäre die Verfügbarkeit leicht zu ermitteln. Allerdings könnten diese Informationen auch gegen ihn verwendet und die anderen Kooperationspartner zu opportunistischem Verhalten motiviert werden. Für die zu entwickelnde Methode erwachsen daraus die Herausforderungen, einerseits die Verfügbarkeit von Kapazitäten kurzfristig zu ermitteln und andererseits die sensiblen Informationen zur Auslastung ausreichend zu schützen.

Die Experten haben außerdem erkannt, dass die Eignung von Bauteilen für die unternehmensübergreifende Kooperation variieren kann. Entsprechend muss die Methode eine Unterscheidung der Betrachtung je Bauteil zulassen (A13).

D.h., man braucht erst mal vernünftige Stammdaten, die das beschreiben, was wir gerade diskutiert haben. Zum Beispiel: „Was haben wir für Kapazitäten?“, „Welche Teile sind schwierig?“, „Welche Teile einfach?“. Interview 2

Eng hiermit verbunden ist die Anforderung, die technischen Bauteilspezifikationen zu berücksichtigen (A14). Weiterhin muss die Methode eine vollständige Betrachtung aller relevanten Aspekte zulassen (A15). Die unternehmensübergreifende Kooperation zur Kapazitätsflexibilisierung besitzt viele Dimensionen sowie Wechselwirkungen, die es fall-spezifisch zu betrachten gilt. Die Entscheidung über eine Maßnahme kann daher erst durch die vollumfängliche Analyse aller Einflussfaktoren getroffen werden. Hieraus ergibt sich die Anforderung nach einer integrierten Entscheidungsunterstützung (A16). Außerdem gilt es, den Datenaustausch zwischen den Kooperationspartnern genau zu definieren (A17), damit keine Unklarheiten entstehen, die den Prozess gefährden könnten. Gleichmaßen ist der Schutz sensibler Daten (A18) ein wichtiger Aspekt bei der unternehmensübergreifenden Kooperation. Nur wenige Unternehmen sind dazu bereit, aktuelle Angaben zur Auslastung ihrer Maschinen auf einer Plattform zur Verfügung zu stellen. Dasselbe gilt für Daten über die Kostenstruktur der Partner.

Nach der umfassenden Darlegung der Anforderungen diskutiert der anschließende Abschnitt, wie sich die umfangreichen Anforderungen in handhabbare und definierte Vorgaben für die Methodenausgestaltung überführen lassen.

5.2 Vorgaben für die Methodenausgestaltung

Ausgehend von den umfangreichen konzeptionellen und inhaltlichen Anforderungen als ein Ergebnis der Datenerhebung (vgl. Abschnitt 5.1.3.3) sind wesentliche Vorgaben als Pflichtenheft für die weitere Ausgestaltung der Methode zu definieren. Diese Vorgaben bieten Orientierung bei der Festlegung der Funktionsweise und fördern eine zielgerichtete Entwicklung von Methodenbestandteilen. Die umfassenden und nicht vollständig widerspruchsfreien Anforderungen werden zu diesem Zweck bis auf eine handhabbare Anzahl aggregiert. Die sich für die weitere Ausgestaltung ergebenden Vorgaben stellt Abbildung 36 dar.

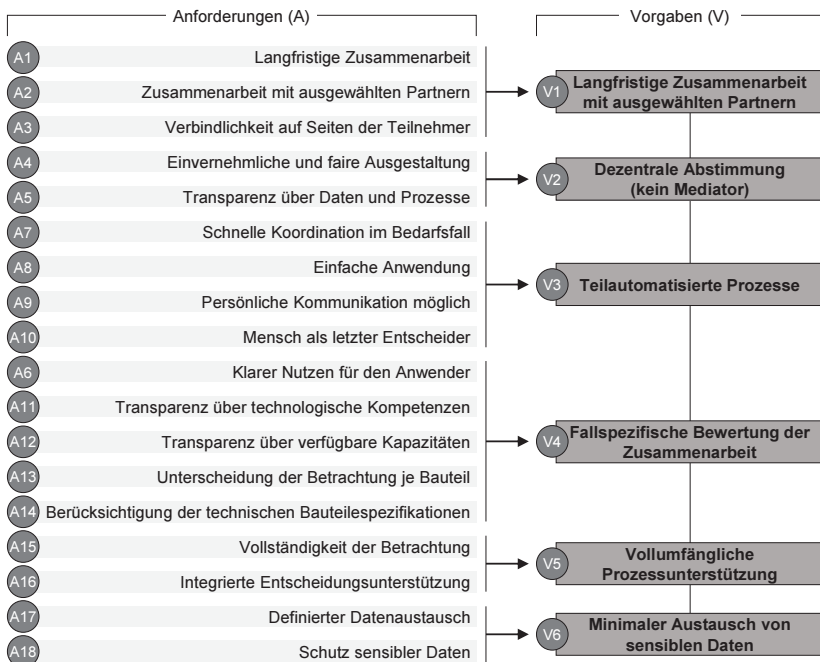


Abbildung 36: Vorgaben für die Methodenausgestaltung

Aufgrund des hohen Initialaufwands und der Notwendigkeit einer vertrauensvollen Kooperation bedarf es einer langfristigen Zusammenarbeit mit ausgewählten Partnern (V1). Innerhalb dieses Rahmens muss jedoch eine fallspezifische Bewertung der Zusammenarbeit möglich sein (V4). Je nach aktueller Auslastung und Berücksichtigung weiterer Faktoren müssen die Unternehmen situativ entscheiden, ob eine Zusammenarbeit für sie von Vorteil wäre. Außerdem sollte die Methode nur teilautomatisierte Abläufe anstreben und die Verantwortung nicht vollständig den Entscheidern im Unternehmen entziehen (V3). Dies fördert die Akzeptanz bei den Unternehmen ebenso wie ein minimaler Austausch von

sensiblen Daten (V6). Eine faire Ausgestaltung kann erreicht werden, indem die Abstimmung dezentral und ohne einen Mediator erfolgt (V2). Jedes Unternehmen kommuniziert folglich direkt mit seinen Partnern, ohne dass eine zentrale Instanz zwischen diesen vermittelt. Die letzte Vorgabe besteht in einer vollumfänglichen Prozessunterstützung (V5). Die Methode muss also sowohl den kurz- bis mittelfristigen als auch den langfristigen Planungshorizont unterstützen. Dies stellt ein wesentliches Differenzierungsmerkmal zu bisherigen Ansätzen in der Literatur dar.

5.3 Spezifikation der Anwendung

Für eine erfolgreiche Umsetzung der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten mithilfe der hier entwickelten Methode ist es notwendig, deren Anwendungsbereich präzise zu beschreiben. Wie bereits in Abschnitt 1.3 erwähnt, richtet sich die vorliegende Arbeit an Unternehmen, die als Strategie die Auftragsfertigung oder kundenspezifische Einmalfertigung verfolgen. Insbesondere sollen die erarbeiteten Prozesse das Prinzip der verlängerten Werkbank unterstützen und ausweiten. Im Fall einer Überbelastung soll es den Unternehmen ermöglicht werden, mit möglichst geringem Aufwand einen unterstützenden Kooperationspartner zu finden, der aufgrund einer Unterbelastung zusätzliche Kapazitäten zur Verfügung stellen kann. Hieraus ergibt sich ein kurz- bis mittelfristiger Betrachtungshorizont im Hinblick auf die betriebsinterne PPS.

Auch die infrage kommenden Partner einer Kooperation sind eine wichtige Bestimmungsgröße und sollten bei der Festlegung des Anwendungsbereichs aufgegriffen werden. In Abbildung 37 sind zur transparenten Abgrenzung die allgemeinen Kooperationsstufen der übergreifenden Nutzung von Ressourcen dargestellt.

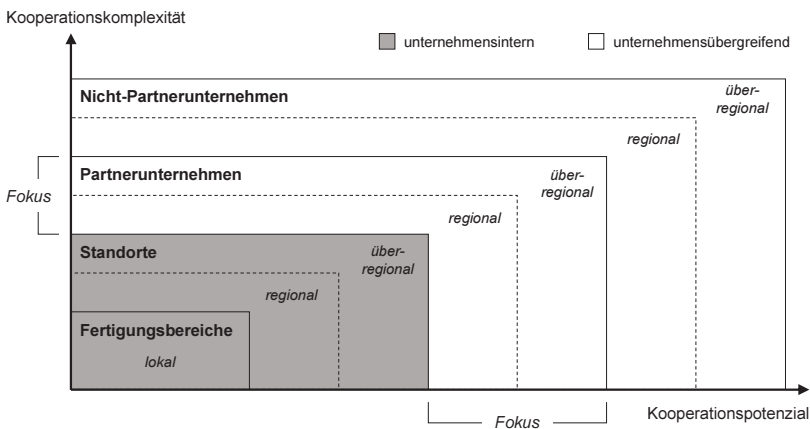


Abbildung 37: Kooperationsstufen der übergreifenden Nutzung von Ressourcen (weiterentwickelt in Anlehnung an Tao et al. 2017, S. 1084)

Die in der Abbildung festgelegten Stufen reichen von einer einfachen Kooperation über mehrere Fertigungsbereiche bis hin zu einer anspruchsvollen Ad-hoc-Zusammenarbeit mit bisherigen Nicht-Partnerunternehmen. Die Kooperationskomplexität sowie das Kooperationspotenzial nehmen dabei von der niedrigsten zur höchsten Stufe sukzessive zu. Während die Komplexität die Vielschichtigkeit der zu beachtenden Merkmale beschreibt und damit die Schwierigkeit determiniert, drückt das Potenzial die Möglichkeiten zur Zusammenarbeit aus, welche mit zunehmender Partneranzahl ebenfalls steigt. Außerdem muss stringent zwischen einer unternehmensinternen sowie -übergreifenden Kooperation differenziert werden. Für eine unternehmensübergreifende Kooperation sind deutlich mehr Unternehmensbereiche zu involvieren, Prozessschritte zu durchlaufen sowie Aspekte zu beachten. Darüber hinaus spielt innerhalb der Stufen die räumliche Entfernung der Unternehmen zueinander eine gewisse Rolle. Je weiter zwei Partner voneinander entfernt sind, desto aufwendiger sind mitunter die Abstimmungs- und Transportprozesse.

Aus der Analyse in Abschnitt 5.1 geht unter anderem hervor, dass sich die Unternehmen eine Zusammenarbeit zur kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten heute vielfach ausschließlich mit ausgewählten Unternehmen vorstellen können. Im Hinblick auf die verschiedenen Stufen bedeutet dies, dass zunächst regionale oder überregionale Partnerunternehmen für die Kooperation infrage kommen. Die Ad-hoc-Zusammenarbeit mit bis dato unbekanntenen Unternehmen findet derzeit in der Praxis keine breite Akzeptanz. Diese Erkenntnis soll der zu entwickelnden Methode zugrunde gelegt und der Anwendungsbereich insbesondere auf diese Art der Kooperation ausgerichtet werden.

Neben den avisierten Kooperationsstufen ist auch der Kooperationsgegenstand festzulegen. Generell lassen sich diesbezüglich die produkt- und prozessbezogene Kooperation unterscheiden, welche Abbildung 38 zur Verdeutlichung schematisch darstellt.

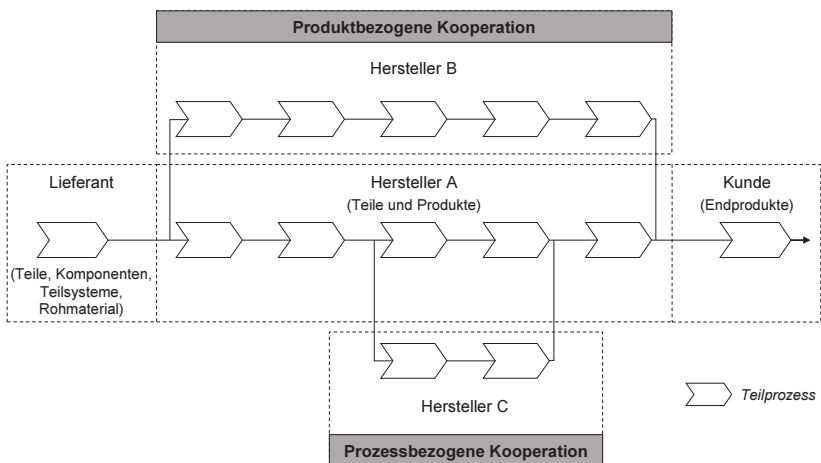


Abbildung 38: Produkt- und prozessbezogene Kooperation (in Anlehnung an Windt 2001, S. 33)

Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 beschrieben, übernimmt der Kooperationspartner bei der produktbezogenen Variante die Herstellung des gesamten Bauteils bzw. Produkts. Im Gegensatz hierzu verantwortet der Kooperationspartner bei einer prozessbezogenen Kooperation lediglich einen oder mehrere Teilprozess(e) der gesamten Herstellung. Den Erkenntnissen in Abschnitt 4.4 folgend, soll die zu entwickelnde Methode sowohl die produkt- als auch die prozessbezogene Kooperation unterstützen, sodass die Anwendung dahingehen möglich sein muss.

Zusätzlich zur Festschreibung des Anwendungsbereichs ist auch die Funktionsweise ein wesentlicher Bestandteil der Anwendung. Zur zielgerichteten Ausgestaltung der Methode bedarf es einer konkreten Zielvorstellung, wie die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten prinzipiell ablaufen soll. Mithilfe dieser Zielvorgabe ist es wiederum möglich, das Problem in Teilbereiche zu untergliedern und die Ausgestaltung der Methode anhand dieser auszurichten. Für die Herleitung der Zielvorstellung finden außer den Richtlinien ebenfalls die in Abschnitt 5.1.3.3 analysierten Anforderungen Berücksichtigung, sofern diese relevant sind. Zur Verdeutlichung der Zielvorstellung dient eine Funktionsskizze, welche den automatisierbaren Teil des Ablaufs einer kooperativen Nutzung verbildlicht (vgl. Abbildung 39). Die Funktionsskizze stellt ein idealisiertes Schema dar, welches die Zielvorstellung zusammenfasst und konkretisiert.

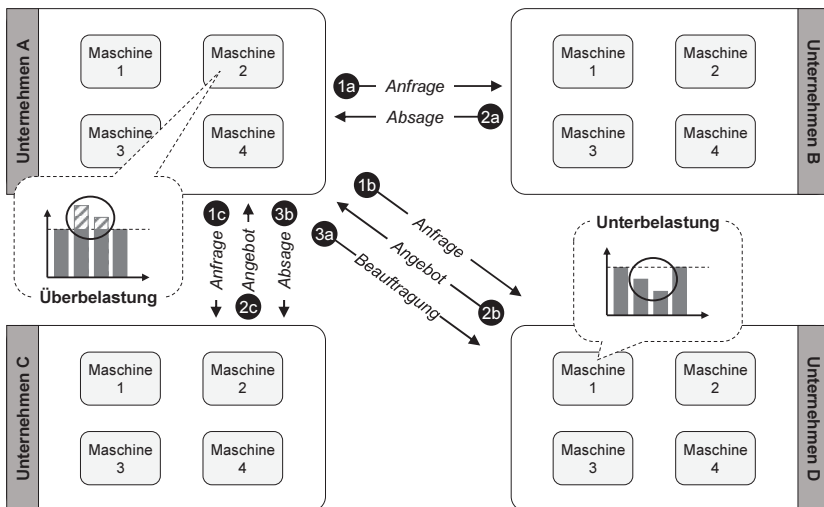


Abbildung 39: Funktionsskizze der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten

Im Fall einer Überbelastung, wie hier bei Unternehmen A, versendet der potenzielle Auftraggeber eine Anfrage an alle Kooperationspartner, die als Auftragnehmer in Betracht kommen. Eventuelle Kooperationspartner, die aus technologischen Gründen nicht infrage kommen, sind in diesem Beispiel nicht dargestellt. Die ausgewählten Empfänger prüfen, ob sie den Auftrag erfüllen könnten und antworten dem Versender entweder mit einem

Angebot oder mit einer Absage. Sollten sich ein oder mehrere Unternehmen mit einer entsprechenden Unterbelastung finden – wie hier die Unternehmen C und D – analysiert der Auftraggeber wiederum das bzw. die Angebot(e). Der Bieter mit dem besten Angebot erhält den Zuschlag und wird beauftragt (hier: Unternehmen D). Im Zuge dieser Kooperation können sowohl Unternehmen A als auch Unternehmen D das Belastungsprofil besser auf die vorhandenen Kapazitäten abstimmen. Für das Unternehmen A bedeutet dies eine Verkürzung der Lieferzeit gegenüber seinem Kunden und für das Unternehmen D eine Erhöhung der Auslastung. Entsprechend profitieren beide von dieser unternehmensübergreifenden Kooperation. Die hier gezeigte Funktionskizze bezieht sich auf ein Beispiel mit vier potenziellen Partnern. Die zu entwickelnde Methode besitzt jedoch universellen Charakter und ist nicht an diese Anzahl gebunden. Im Unterschied zu vielen anderen (teil-)automatisierten Lösungen erfordert das in der Funktionskizze dargestellte Prinzip keine Einsicht in sensible Daten der anderen Unternehmen. Die Skizze folgt dem klassischen Anfrage-Angebot-Prinzip, das in der Praxis vielfach zum Einsatz kommt. Entsprechend dürfte es bei der Umsetzung auf keine großen Widerstände stoßen. Der Innovationsgrad liegt in der Automatisierung dieses Ablaufs, der nur wenige manuelle Eingriffe erfordert. Damit dies jedoch funktioniert, gilt es des Weiteren, einen geeigneten Rahmen für den Ablauf sowie eine technische Implementierung zu entwickeln.

5.4 Entwicklung des Grobkonzepts

Die Entwicklung eines Grobkonzepts für die auszuarbeitende Methode basiert, wie in Abbildung 40 dargestellt, auf den zuvor abgeleiteten Vorgaben und der festgelegten Anwendung. Die Vorgaben stellen dabei aus Anforderungen der Praxis abgeleitete Leitlinien für die Ausgestaltung der Methode dar. Im Hinblick auf die Anwendung muss das Grobkonzept einen geeigneten Rahmen für die angestrebte Kooperationsstufe, den Kooperationsgegenstand und die Funktionsweise bieten.

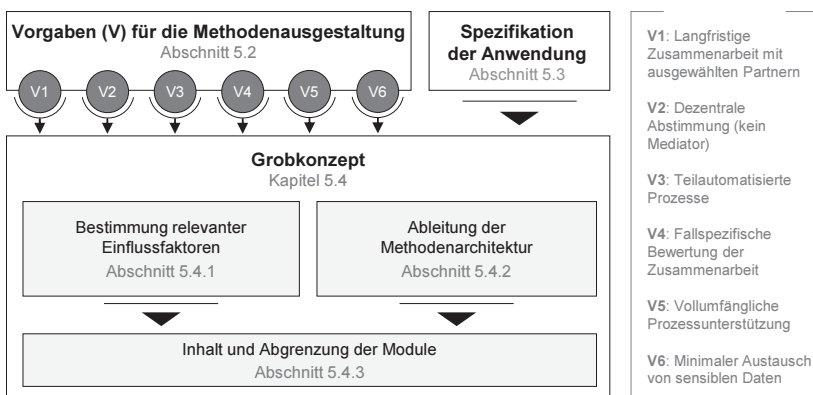


Abbildung 40: Vorgehensweise zur Entwicklung des Grobkonzepts

Von den Vorgaben sowie der spezifizierten Anwendung ausgehend erfolgt die Entwicklung des Grobkonzepts in drei Schritten. Erstens gilt es, alle Faktoren zu bestimmen, welche die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten über die Unternehmensgrenzen hinweg maßgeblich beeinflussen (Abschnitt 5.4.1). Zweitens ist es erforderlich, das betrachtete Problem zu strukturieren und darauf aufbauend eine geeignete Methodenarchitektur zu entwickeln (Abschnitt 5.4.2). Drittens bedarf es einer weitergehenden inhaltlichen Abgrenzung der festgelegten Methodenbausteine (Abschnitt 5.4.3).

5.4.1 Bestimmung relevanter Einflussfaktoren

Bevor Fertigungskapazitäten im Rahmen einer Kooperation unternehmensübergreifend genutzt werden können, ist die Art der Zusammenarbeit genauer zu definieren. Zu diesem Zweck müssen Faktoren identifiziert werden, deren Berücksichtigung den Erfolg einer solchen gemeinschaftlichen Arbeit sicherstellt. Die systematische Betrachtung dieser Einflussfaktoren (für eine Begriffsdefinition vgl. Abschnitt 3.2.3.2), ermöglicht es zu entscheiden, ob eine unternehmensübergreifende Kooperation grundsätzlich möglich und fallspezifisch sinnvoll ist. Diese Faktoren bilden damit die Bezugspunkte bei der weiteren Konzeptionierung der Methode. Die Integration der Einflussfaktoren sichert die Relevanz sowie die Anwendbarkeit der Methode. Basis für die Identifikation und Analyse dieser Einflussfaktoren bilden die im Rahmen der Interviewstudie generierten Daten (vgl. Abschnitt 5.1). Während der Auswertung wurden alle diskutierten Einflussfaktoren erfasst, kategorisiert und basierend auf Aussagen der Experten bezüglich ihrer Relevanz aufgenommen oder ausgeschlossen. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 41 dargestellt.



Abbildung 41: Relevante Einflussfaktoren der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten

Wie die Abbildung zeigt, lassen sich die identifizierten Aspekte in die sechs Haupteinflussfaktoren (1) Produkteigenschaften, (2) Produktionsprozess, (3) Termin- und Kapazitätsplanung, (4) Wirtschaftlichkeit (5) Kooperationspartner und (6) Logistik einteilen. Diese Haupteinflussfaktoren beinhalten wiederum untergeordnete Einflussfaktoren, auf die nachstehend eingegangen wird.

Zunächst sind die *Produkteigenschaften* des Erzeugnisses, welches im Rahmen einer kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten hergestellt werden soll, ein entscheidender Einflussfaktor. Das Produkt beschreibt dabei nicht nur das fertige Endprodukt, das an den Kunden ausgeliefert wird, sondern je nach Art der Kooperation auch jede Form von Zwischenprodukt. Durch seine Eigenschaften eignet es sich mehr oder weniger für einen solchen Prozess. Diese Eignung lässt sich nur bedingt verallgemeinern, sondern bedarf einer individuellen Bewertung des jeweiligen Produktes, die selbst bei identischer Konfiguration zweier Unternehmen unterschiedlich ausfallen kann. Besitzt ein Produkt eine besondere strategische Relevanz, kann dies für ein Unternehmen aufgrund von schützenswertem Know-how ein Ausschlusskriterium für eine unternehmensübergreifende Kooperation darstellen. Ein anderes Unternehmen bewertet die Versorgungssicherheit mit einem solchen Produkt höher und strebt deshalb eine unternehmensübergreifende Kooperation an, um jederzeit liefern zu können.

Die Qualitätsanforderung eines Produktes betrachten die Experten als einen der bedeutendsten Einflussfaktoren, die bei der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten berücksichtigt werden müssen. Die Unternehmen erlauben hier keine Abstriche und legen wie üblich die strengen Maßstäbe für Zukaufteile an. Auch die Maße eines Bauteils spielen für die unternehmensübergreifenden Prozesse eine Rolle. Je größer und schwerer das Produkt ist, desto aufwendiger sind die Transporte und eine potenzielle Verlagerung.

Darüber hinaus kann es einen Einfluss auf die Eignung und das Vorgehen haben, welcher oder welche Werkstoffe bei der Herstellung zum Einsatz kommen. Teilweise sind Unternehmen auf die Be- und Verarbeitung exotischer Werkstoffe spezialisiert, sodass sich nur wenige potenzielle Partner finden. Außerdem stellt die Komplexität der Geometrie einen beachtenswerten Einflussfaktor dar. Je einfacher diese ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer fehlerfreien Lieferung, was wiederum einem zeitlichen Verzug bei den Folgeprozessen entgegenwirkt. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Kundenunternehmen ihren Zulieferern häufig die Einhaltung diverser Standards vorschreiben und ggf. selbst den Fertigungsprozess vor Ort freigeben. Eine temporäre Verlagerung der Produktion ist in solchen Fällen mindestens anzeigespflichtig und erfordert mitunter sogar die explizite Kundenzustimmung.

Der Arbeitsplan eines Produktes gibt vor, welche Arbeitsschritte zu dessen Herstellung erforderlich sind und damit wie der *Produktionsprozess* zu gestalten ist. Die Durchführung dieser Schritte bedarf wiederum unterschiedlicher Betriebsmittel und Prozessabläufe. Die Betriebsmittel können dabei entweder universell verwendbar oder speziell für ein

bestimmtes Produkt entwickelt worden sein, was einen wichtigen Aspekt für eine Kooperation darstellt. Vorrangig ist bei der unternehmensübergreifenden Kooperation zunächst das benötigte Fertigungsverfahren. Die gesuchte Fertigungstechnologie ist ein entscheidender Filter und reduziert – je nach Spezialisierungsgrad – die Anzahl möglicher Kooperationspartner deutlich (vgl. Abschnitt 4.3.3.2). Auch für die Montage können spezielle Verfahren zur Anwendung kommen, die es vor einer Zusammenarbeit zu berücksichtigen gilt.

Sowohl bei der Fertigung als auch bei der Montage können außerdem Vorrichtungen, Werkzeuge, Betriebsstoffe und/oder Ladungsträger zur Herstellung erforderlich sein. So kann die Zerspanung des Vormaterials oder des Zwischenproduktes zur präzisen Positionierung des Werkstücks z. B. einen speziellen Spanntisch erfordern. Eine Verlagerung der Produktion ist in einem solchen Fall nur dann möglich, wenn der entsprechende Tisch ebenfalls zum Kooperationspartner transportiert wird. Bei vielen anderen Fertigungsverfahren, wie dem Stanzen, sind wiederum Werkzeuge notwendig, die speziell für die Herstellung eines Produktes entwickelt und angefertigt wurden. Analog müssen auch hier die Werkzeuge mit verlagert werden. Bei Bauteilen mit besonders großem Volumen ist darüber hinaus auch der erforderliche Lagerplatz bei der Kooperation zu beachten. Neben diesen physikalischen Anforderungen setzt die automatische Bearbeitung vielfach CNC-Programme zur Steuerung von Werkzeugmaschinen voraus. Idealerweise lassen sich diese vom Auftraggeber zum Auftragnehmer übertragen.

Bei der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit ist die richtige Auswahl der *Kooperationspartner* ebenfalls ein bedeutsamer Einflussfaktor, der den Erfolg maßgeblich bestimmt. Wie bereits zuvor erwähnt, sind die Kompetenzen eines potenziellen Partners bezüglich Fertigungs- und Montageverfahren zunächst die wichtigsten Auswahlkriterien. Hierbei gilt es, Partner zu finden, welche die auszulagernden Prozesse mindestens so gut beherrschen wie der Auftraggeber. Nur so lässt sich ein zufriedenstellendes Qualitätsniveau erreichen, das eine reibungslose Weiterverarbeitung ermöglicht.

Darüber hinaus messen die Experten der Lieferzuverlässigkeit eines Kooperationspartners besonders große Bedeutung bei. Nur absolut verlässliche Partner kommen für zeitkritische Teile von wichtigen Kunden infrage (vgl. Abschnitt 5.1.3.2). Wie bereits erwähnt, spielt mitunter die geografische Entfernung des oder der Partner ebenfalls eine Rolle. Kleinere Abstimmungen oder eine Besichtigung vor Ort können unter Umständen groben Fehlern vorbeugen und das gewünschte Ergebnis gewährleisten. Kürzere Distanzen wirken sich ebenfalls positiv auf die Lieferzeit und Transportkosten aus, was bei der Wahl der Kooperationspartner ebenfalls berücksichtigt werden sollte. Einige Unternehmen betrachten bei der Auswahl ihrer Partner außerdem deren finanzielle Stabilität, wobei diese bedingt durch die verzögerte Veröffentlichung der Geschäftszahlen einer deutlichen Unschärfe unterworfen ist. Erforderliche Zertifizierungen und die Akzeptanz notwendiger Vereinbarungen sind hingegen leichter überprüfbar.

Die *Termin- und Kapazitätsplanung* ist der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten vorgeschaltet und determiniert den erforderlichen Bedarf (Auftraggeber) bzw. die bestehenden Potenziale (Auftragnehmer). Beide Partner müssen zunächst unter Betrachtung ihres Kapazitäts- und Belastungsprofils bewerten, ob eine unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten hilfreich wäre (vgl. Abschnitt 2.2.1). Die Fremdvergabe ist dabei nur eine Option zur Flexibilitätssteigerung und komplettiert die anderen Alternativen zur Kapazitätsanpassung bzw. zum Belastungsabgleich (vgl. Abschnitt 2.2.3). Ob eine Unter- oder Überbelastung vorliegt, gilt es im Hinblick auf alle erforderlichen Betriebsmittel und das benötigte Personal zu prüfen. Der Auftragnehmer wird dabei sicherstellen wollen, dass es durch die kurzfristige Annahme eines Zusatzauftrages im Rahmen der Kooperation nicht zur Beeinträchtigung seiner bisherigen Aufträge kommt. Die Termin- und Kapazitätsplanung determiniert darüber hinaus durch die Betrachtung der vor- und nachgelagerten Arbeitsschritte den für die unternehmensübergreifende Kooperation zur Verfügung stehenden Zeitrahmen.

Der Einflussfaktor *Logistik* betrachtet zunächst die Verfügbarkeit der für den Produktionsprozess erforderlichen Mittel. Insbesondere die Werkstoffe müssen beim Kooperationspartner im Fall einer Verlagerung zur Verfügung stehen. In der Praxis bestehen grundsätzlich zwei Vorgehensweisen: entweder wird das Vormaterial vom Auftraggeber bereitgestellt oder der Auftragnehmer beschafft dieses selbst. Welche Vorgehensweise geeigneter ist, hängt von der jeweiligen Situation ab. Außerdem müssen alle erforderlichen Hilfsmittel und Betriebsstoffe zur Verfügung stehen, die der Produktionsprozess erfordert. Je universeller diese Mittel sein können, desto geringer ist der zu erwartende Transportaufwand. In einigen Bereichen ist darüber hinaus zu klären, ob die erforderlichen Lagerplätze zur Verfügung stehen. Der wichtigste logistische Einflussfaktor ist jedoch die Lieferzeit bei einer unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten. Gemeinsam mit der Liefertreue determiniert sie die Logistikleistung des Kooperationspartners (vgl. Abschnitt 2.2.2). Ferner ist sie von großer Bedeutung für die vor- sowie nachgelagerten Arbeitsschritte und bestimmt, ob eine Fremdvergabe die pünktliche Belieferung des Kunden weiterhin erlaubt bzw. überhaupt erst ermöglicht.

Die *Wirtschaftlichkeit* der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten stellt ebenfalls einen wichtigen Einflussfaktor dar. Grundsätzlich sind zu deren Beurteilung alle Kosten den zu erwartenden Erlösen gegenüberzustellen. Dies sollte für jeden Kooperationspartner individuell und fallspezifisch erfolgen. Dennoch müssen die Erlöse nicht immer die direkten Kosten übersteigen. Im Regelfall ist die Fremdvergabe sogar mit höherem Aufwand verbunden, sodass sich der Gewinn eines Bauteils für den Auftraggeber schmälert oder insgesamt aufzehrt. Erlaubt die unternehmensübergreifende Kooperation jedoch die fristgerechte Belieferung des Endkunden, stellt dies unter Umständen dennoch eine sinnvolle Maßnahme dar, um beispielsweise möglichen Verzugskosten entgegenzuwirken. Vor allem der Kostentransparenz messen die Experten eine besondere Bedeutung bei. Sollte die Fremdvergabe einen Mehraufwand bedeuten, sollte Klarheit über dessen Umfang herrschen.

Die Einflussfaktoren bilden gemeinsam den Inhalt der Methode. Damit steht fest, was berücksichtigt werden muss, aber nicht auf welche Weise oder in welcher Reihenfolge. Der nachstehende Abschnitt legt deshalb die generelle Methodenarchitektur fest, bevor der darauffolgende Abschnitt diese und die zuvor definierten Einflussfaktoren zusammenführt.

5.4.2 Ableitung der Methodenarchitektur

Für die weitere Ausgestaltung des Grobkonzepts bedarf es einer geeigneten Methodenarchitektur. Die Architektur besteht dabei aus inhaltlich gekapselten Vorgehensweisen, den sogenannten Modulen und deren Abgrenzung zueinander. Die Module zerlegen das komplexe Problem in handhabbare Teilschritte und ermöglichen so die Entwicklung eines Lösungsansatzes. Um diese Module in geeigneter Weise zu dimensionieren, orientieren sie sich an dem betrachteten Problem. Die hieraus abgeleiteten Teilprobleme bzw. -aufgaben lassen sich dann in die Module überführen, welche anschließend ausgestaltet werden können, sodass sie den Anwender bei der Bearbeitung des übergeordneten Problems in bestmöglicher Weise unterstützen. Die inhaltlich vollständig ausgestalteten Module und deren chronologische Anordnung bilden in ihrer Gesamtheit die zu entwickelnde Methode.

Zur Unterteilung der kooperativen Nutzung von Fertigungskapazitäten in Teilprobleme ist es hilfreich, sich an dem Entstehungsprozess eines Virtuellen Unternehmens zu orientieren (zum Begriff vgl. Abschnitt 3.1.2.2). Auch wenn sich die Zielstellung eines Virtuellen Unternehmens von der hier verfolgten unterscheidet, steht dieses Konzept vor vergleichbaren Problemstellungen. Entsprechend lassen sich die Prozessphasen, die eine Virtuelle Unternehmung durchläuft, partiell auf das hier betrachtete Problem übertragen. Für die genaue Benennung, Abgrenzung und Ausgestaltung dieser Phasen findet sich in der Literatur eine große Bandbreite an Vorschlägen. Die hier vorgenommene Betrachtung orientiert sich insbesondere an den Arbeiten von Eggert (2006, S. 35) und Steven (2001, S. 87). Das Phasenmodell und die abgeleitete Methodenarchitektur sind in Abbildung 42 dargestellt.

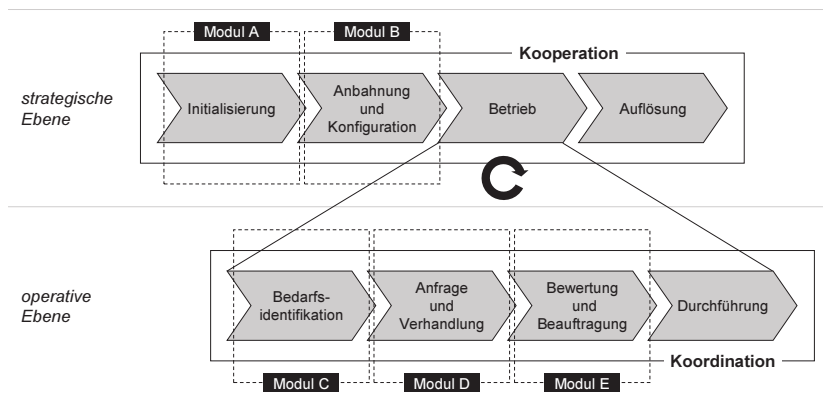


Abbildung 42: Phasenmodell und abgeleitete Methodenarchitektur (basierend auf den Prozessphasen nach Eggert 2006, S. 35 und Steven 2001, S. 87)

Die abgeleitete Architektur unterscheidet zunächst eine strategische und eine operative Ebene, die sich der Kooperation bzw. der Koordination widmen. Wie bereits in Abschnitt 5.1 dargelegt, erfordert die kooperative Nutzung von Fertigungskapazitäten einen langfristigen Rahmen, innerhalb dessen die kurz- und mittelfristige Vergabe von Aufträgen als Maßnahme zur Erhöhung der Flexibilität stattfinden kann. Diese Anforderung berücksichtigt die Methodenarchitektur durch die Untergliederung in die zuvor genannten Ebenen.

In der Phase der Initialisierung erfolgt zunächst die grundsätzliche Informationsbeschaffung und Vorbereitung. Dieser Schritt wird unterstützt von dem *Modul A* der zu entwickelnden Methode. Die Ausgestaltung des Kooperationsnetzwerkes erfolgt in der Phase der Anbahnung und Konfiguration, die wiederum von *Modul B* angeleitet wird. Waren die vorherigen Schritte erfolgreich, kann die Kooperation anschließend in die Phase des Betriebs übergehen. Die tatsächliche Koordination der hier erforderlichen Aktivitäten findet auf der operativen Ebene statt. Unterstützt durch das *Modul C* durchläuft die Koordination als initialen Schritt die Phase der Bedarfsidentifikation. Hieran schließt sich die Phase der Anfrage und Verhandlung an, welche wiederum *Modul D* begleitet. Die sich anschließende Phase der Bewertung und Beauftragung systematisieren die Werkzeuge des *Moduls E*. Die Phase der Durchführung wird nicht durch ein Modul der Methode flankiert, da die hierin stattfindenden Schritte der üblichen Auftragsabwicklung entsprechen und nach erfolgreicher Bearbeitung der vorgeschalteten Module keine Besonderheiten zu berücksichtigen sind. Die Phase der Auflösung wird ebenfalls nicht durch ein Modul unterstützt, da sich die hierbei notwendige Herangehensweise nicht wesentlich von der Beendigung anderer Kooperationen unterscheidet. Während die Module A und B idealerweise nur am Anfang der Kooperation durchlaufen werden müssen, finden die Module C bis E wiederkehrend Anwendung. Die häufig zu durchlaufenden Schritte der Module C, D und E sind deshalb – soweit möglich – zu automatisieren.

5.4.3 Inhalt und Abgrenzung der Module

Für die weitere Ausgestaltung des Grobkonzeptes erfolgt in diesem Abschnitt eine weiterführende inhaltliche Beschreibung und Abgrenzung der zuvor abgeleiteten Module. Zu diesem Zweck werden den Modulen bzw. Prozessphasen die in Abschnitt 5.4.1 identifizierten Einflussfaktoren zugeordnet. Aus dieser Zuordnung geht hervor, welche Einflussfaktoren in den jeweiligen Modulen zu beachten sind. Dies ist wiederum die Basis für die Identifikation der zu bewältigenden Aufgaben je Modul. In Abbildung 43 sind die Einflussfaktoren dargestellt und ihre Modulzugehörigkeit verbildlicht.

	Initialisierung	Anbahnung und Konfiguration	Bedarfsidentifikation	Anfrage und Verhandlung	Bewertung und Beauftragung
<i>Einflussfaktoren</i>	Modul A	Modul B	Modul C	Modul D	Modul E
Produkt-eigenschaften	✓	✓			
Produktions-prozess	✓	✓			
Kooperations-partner		✓			
Termin- und Kapazitätsplanung			✓	✓	✓
Logistik					✓
Wirtschaftlichkeit					✓

Abbildung 43: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Modulen

In Modul A gilt es zunächst grundsätzlich die in den Ablauf zu integrierenden Anwendungsfälle festzulegen. Diese Anwendungsfälle bestimmen, wann eine unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten zum Einsatz kommen soll. Weiterhin müssen geeignete Produkte und Produktionsprozesse für eine Kooperation identifiziert werden. Ausgehend von der Gesamtheit erlaubt ein systematischer Ansatz die Offenlegung der geeignetsten Produkte und Prozesse. Außerdem können entsprechend der individuellen Präferenzen die für die spätere Betrachtung bedeutsamen Einflussfaktoren festgelegt und gewichtet werden.

Die Anbahnung und die Konfiguration in Modul B verfolgt das Ziel, ein stabiles Partnernetzwerk für die unternehmensübergreifende Kooperation der zuvor identifizierten Produkte und Prozesse zu schaffen. Hierbei können die infrage kommenden Kooperationsrichtungen (vgl. Abschnitt 2.1.3) ein erster wichtiger Anhaltspunkt sein. Insgesamt ist es der Anspruch, Kooperationspartner zu finden, welche die eigenen Kompetenzen ideal ergänzen und auch darüber hinaus geeignete Partner darstellen.

Am Anfang des Betriebs bzw. der unmittelbaren Nutzung der Kooperation steht die Bedarfsidentifikation, welche die Koordination zwischen den Partnern auslöst und in Modul C eingebettet ist. Die Koordination beruht dabei auf den während der Phasen der Initialisierung sowie Anbahnung und Konfiguration erarbeiteten Kooperationsgrundlagen. Wichtigster Einflussfaktor für die Bedarfsidentifikation ist die Termin- und Kapazitätsplanung, aus welcher der Bedarf beim Auftraggeber offensichtlich wird. Analog dazu prüft der potenzielle Auftragnehmer im Rahmen seiner Termin- und Kapazitätsplanung, ob er den angefragten Umfang abwickeln könnte. Zur Beurteilung, ob ein Bedarf tatsächlich

vorliegt bzw. ob ein Auftrag potenziell bedient werden kann, bedarf es eines Schwellwertes. Dieser wird im Rahmen dieses Moduls festgelegt.

Die Anfrage und Verhandlung als Gegenstand des Moduls D beinhaltet die gezielte Versendung einer Anfrage durch den Auftraggeber an alle potenziellen Zulieferer. Durch die vorherige Festlegung einer Vielzahl von Parametern in der Phase der Initialisierung sowie Anbahnung und Konfiguration können die auszutauschenden Informationen auf ein Mindestmaß reduziert werden. Die darauffolgende Preisfindung und Ermittlung des Bestbietenden erfolgt dabei durch einen zuvor festgelegten Mechanismus.

Die Evaluation und Beauftragung erfolgt im Modul E. Hierbei wird das während des Moduls D erzielte Ergebnis den übrigen Maßnahmen zur Kapazitätsflexibilisierung gegenübergestellt. Dieser Schritt ist erforderlich, um das Resultat der Anfrage und der Verhandlung ins Verhältnis zu setzen und die zweckmäßigste Maßnahme zu identifizieren. Außerdem kann der Fall eintreten, dass innerhalb des Moduls D kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden konnte, sodass mögliche Alternativen in Betracht gezogen werden müssen. Ebenfalls kann nur so der Anforderung Rechnung getragen werden, dass stets der menschliche Entscheider die letzte Instanz vor einer tatsächlichen Beauftragung bleibt (vgl. Abschnitt 5.1.3.3).

6 METHODENENTWICKLUNG

In diesem Kapitel erfolgt die inhaltliche Ausgestaltung der zuvor konzeptionell vorstrukturierten Methode. Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit soll diese die Unternehmen bei der kooperativen Nutzung freier Fertigungskapazitäten unterstützen. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen Situationen, in denen die Unternehmen einer kurz- bis mittelfristigen Unter- bzw. Überbelastung gegenüberstehen. Eine kooperative Zusammenarbeit versetzt Unternehmen in die Lage, ihre Wertschöpfungsstrukturen besser an solche kritischen Zustände und damit an sich wandelnden Markt- und Auftragsbedingungen anzupassen. Die entwickelte Methode liefert eine systematische Vorgehensweise zur Erschließung dieser Möglichkeiten. Wie durch das Grobkonzept vorgegeben, gliedert sich die Methode in fünf Module, die ihrerseits wiederum mehrere Teilmodule umfassen. Die Gesamtstruktur und der Ablauf der Methode sind in Abbildung 44 dargestellt.

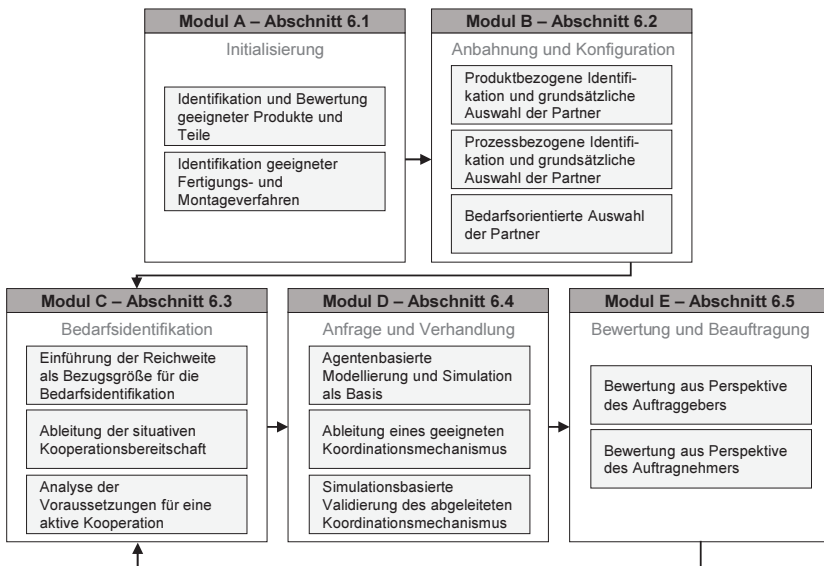


Abbildung 44: Gesamtstruktur der Methode

Das Modul A strukturiert die Initialisierungsphase durch die Identifikation und Bewertung geeigneter Produkte, Teile, Fertigungs- sowie Montageverfahren (vgl. Abschnitt 6.1). Das Modul B widmet sich anschließend der grundsätzlichen und bedarfsorientierten Auswahl geeigneter Kooperationspartner (vgl. Abschnitt 6.2). Den Rahmen für die Bedarfsidentifikation definiert das Modul C und betrachtet ferner die Voraussetzungen für eine aktive Kooperation (vgl. Abschnitt 6.3). In Modul D wird der Koordinationsmechanismus abgeleitet und in einer agentenbasierten Simulation validiert (vgl. Abschnitt 6.4). Modul E formalisiert die Bewertung der sich ergebenden Handlungsalternativen (vgl. Abschnitt 6.5).

6.1 Modul A – Initialisierung

Die Initialisierungsphase ist der erste Schritt für eine unternehmensübergreifende Kooperation zur verbesserten Nutzung von Fertigungskapazitäten. Hier gilt es aus einer unternehmensinternen Perspektive, die angestrebten Anwendungsfälle festzulegen, bei denen eine Kooperation zum Einsatz kommen soll. Insbesondere muss dies hinsichtlich des Kooperationsgegenstandes und des Auslastungszustandes erfolgen. Der in Abbildung 45 enthaltene Ablauf strukturiert diese Entscheidungen und benennt die jeweiligen Anwendungsfälle.

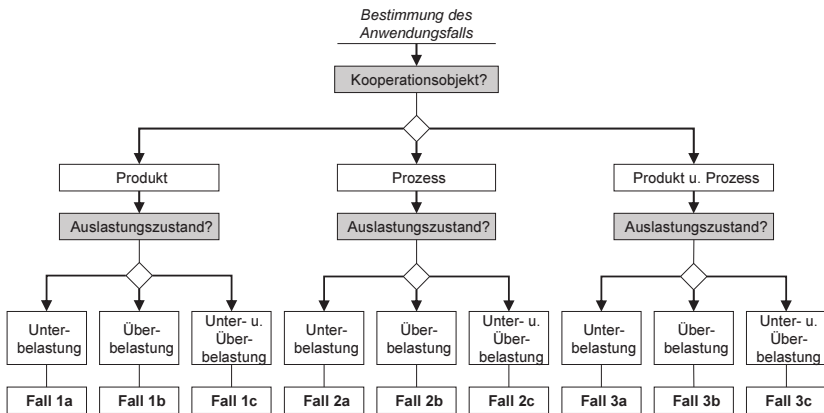


Abbildung 45: Bestimmung des Anwendungsfalls

Grundsätzlich kann die Fremdvergabe ein Produkt oder einen Prozess zum *Kooperationsobjekt* haben, wobei sich die Art der Zusammenarbeit mitunter deutlich unterscheidet (vgl. Abbildung 9). Ist ein Produkt mit allen Fertigungs- und Montageschritten Gegenstand einer Fremdvergabe, geht die Verantwortung für die Bereitstellung vollständig auf den Auftragnehmer über. Die Anforderungen an den Auftragnehmer sind in einem solchen Szenario höher. Sucht der Auftraggeber beispielsweise nur Unterstützung in einem Fertigungsverfahren zur Herstellung eines Produktes, bietet sich eine prozessbezogene Kooperation an. Der Auftragnehmer muss in diesem Fall lediglich einen Teil der Wertschöpfung verantworten. Beide Anwendungsfälle können zwischen Auftraggeber und -nehmer für unterschiedliche Aufträge auch parallel existieren.

Bezüglich der *Auslastungszustände* muss das anwendende Unternehmen bestimmen, ob die Kooperation bei Unterbelastung, Überbelastung oder in beiden Fällen genutzt werden soll. Je nach Ausrichtung des Geschäftsmodells sowie der Abgrenzung zu den Wettbewerbern ist ein Unternehmen unter Umständen nur gewillt, in einem der Fälle eine Kooperation anzustreben. Generell ist jedoch zu erwarten, dass die größte Flexibilitätszunahme dann entsteht, wenn das Unternehmen konsequent in beiden Anwendungsfällen kooperiert. Da sich die notwendigen Schritte für diese beiden Anwendungsfälle unterscheiden und jeder

Fall in jeder Phase einzeln betrachtet werden muss, differenziert die Methode diesbezüglich. Sollte sich ein Unternehmen gegen eine Kooperation bei einer Unter- oder Überbelastung entscheiden, entfällt auch die Bearbeitung der entsprechenden Teilmodule.

Neben der Festlegung der Anwendungsfälle besteht eine weitere Herausforderung darin, zusätzliche, individuell wichtige Einflussfaktoren offenzulegen und diese in die Betrachtung zu integrieren. Nur so lässt sich die Kooperation auf die Bedürfnisse des Unternehmens zuschneiden. Sollten die in Abschnitt 5.4.1 eingeführten Einflussfaktoren die Prioritäten des anwendenden Unternehmens nicht widerspiegeln, besteht an dieser Stelle die Möglichkeit weitere Aspekte für die Betrachtung auszuwählen oder vorhandene zu streichen. Dies erfordert jedoch neben der Identifikation dieser Faktoren auch deren Integration in den weiteren Verlauf der Methode.

6.1.1 Identifikation und Bewertung geeigneter Produkte und Teile

Innerhalb dieses Teilmoduls erfolgt die Identifikation und Bewertung von für die unternehmensübergreifende Kapazitätsnutzung geeigneten Produkten oder Teilen. Folglich steht der Anwendungsfall *Überbelastung* der Fertigung im Zentrum der Betrachtung und es wird aus Perspektive des Auftraggebers untersucht, welche Produkte oder Teile sich grundsätzlich für eine kurz- bis mittelfristige und situative Fremdvergabe eignen. Ausgangspunkt für die Identifikation dieser Produkte und Teile bildet das Überprüfen von Einflussfaktoren, die unter Umständen ein direktes Ausschlusskriterium für die Vergabe an Kooperationspartner darstellen. Kriterien können in diesem Zusammenhang Einflussfaktoren wie die strategische Relevanz, kundenseitige Vergaberestriktionen oder die Dokumentation sein (vgl. Abschnitt 5.4.1). Sollte eines dieser Kriterien die Vergabe verhindern, wird das Produkt oder das Teil von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Sollten die Einflussfaktoren jedoch kein unüberwindbares Hindernis darstellen, erfolgt die Aufnahme in die engere Auswahl.

Nachdem alle Ausschlusskriterien überprüft und ungeeignete Produkte von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen wurden, sind in einem nächsten Schritt die grundsätzlich geeigneten Produkte detaillierter zu analysieren. Hierzu sind charakteristische Merkmale in ein standardisiertes Produktprofil zu überführen. Dieses Profil sollte das Ergebnis der geprüften Einflussfaktoren enthalten und erleichtert den übergreifenden Vergleich. Des Weiteren sollte das Produktprofil jegliche Informationen über das Produkt oder Bauteil enthalten, die für die Verlagerung relevant sein könnten. Dies betrifft zum einen die physikalischen Eigenschaften wie Maße und Werkstoffe und zum anderen die im Arbeitsplan vorgesehenen Bearbeitungsschritte. Zur weiteren Differenzierung ist eine Bewertung der Produkte hinsichtlich ihrer materiellen und immateriellen Eigenschaften sowie der erforderlichen Fertigungs- und Montageverfahren notwendig. Das beschriebene Verfahren systematisiert der Prozess A.1 umfassend, welchen Anhang G aus Darstellungsgründen enthält.

Die konkrete Bewertung der Produktprofile kann mithilfe des in Abbildung 46 dargestellten Schemas erfolgen. Grundlage für die Bewertung ist eine Frage nach den einzelnen Einflussfaktoren, welche die Eignung für eine unternehmensübergreifende Kooperation

prüft. Anhand einer fünfstufigen Skala kann der Anwender seine Einschätzung diesbezüglich explizieren und mithilfe einer Gewichtung präzisieren. Dabei sollte stets zur Wahrung der Vergleichbarkeit bei allen Profilen dieselbe Gewichtung zum Einsatz kommen. Jedoch gilt es zu berücksichtigen, dass die Produkte oder Teile in einigen Fällen unterschiedlich viele Fertigungs-/Montageverfahren erfordern. Das Ergebnis der Bewertung ist der gewichtete Durchschnitt über alle Einflussfaktoren. Eine flexible Ergänzung der Bewertung um weitere Faktoren ist dabei grundsätzlich möglich.

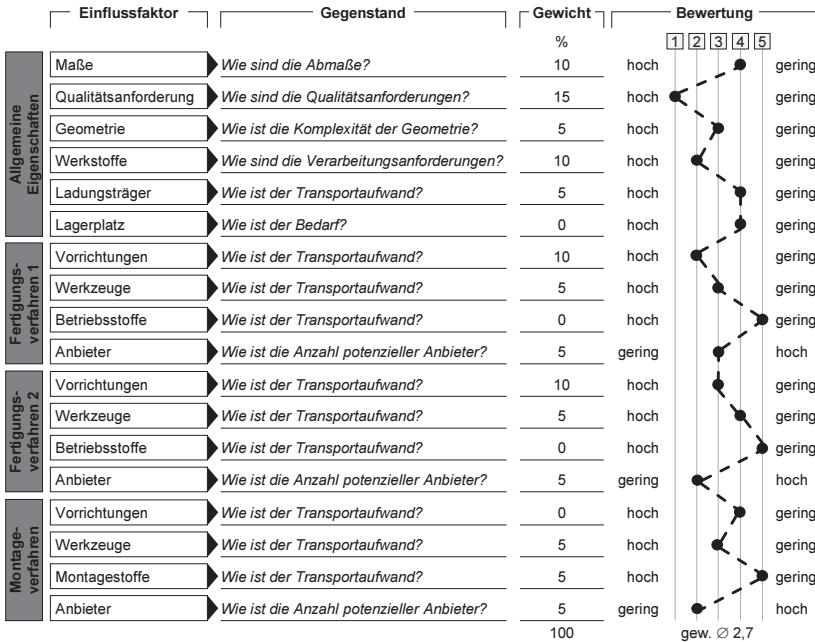


Abbildung 46: Schema für die Bewertung der Eignung anhand eines beispielhaften Produktprofils

Sobald eine Bewertung für alle geeigneten Produkte oder Teile vorliegt, lassen sich diese zur besseren Differenzierung in eine Matrix überführen. Neben der Punktzahl aus der Bewertung bildet das Flexibilisierungspotenzial eines Produktes oder Teils die zweite Achse für die Darstellung. Das Flexibilisierungspotenzial drückt aus, wie sehr die Fertigung oder Montage von einer unternehmensübergreifenden Kooperation zum Ausgleich von Überbelastungen profitieren kann. Sind der Bedarf und damit die Produktionsmenge eines Produktes beispielsweise hohen Schwankungen unterworfen, ist das Flexibilisierungspotenzial ungleich höher als bei vergleichsweise stabiler Nachfrage. Die Einschätzung bezüglich der Höhe dieses Potenzials kann ebenfalls mit einer mehrstufigen Skala erfolgen. Eine beispielhafte Eignungsmatrix für Produkte und Teile ist in Abbildung 47 dargestellt.

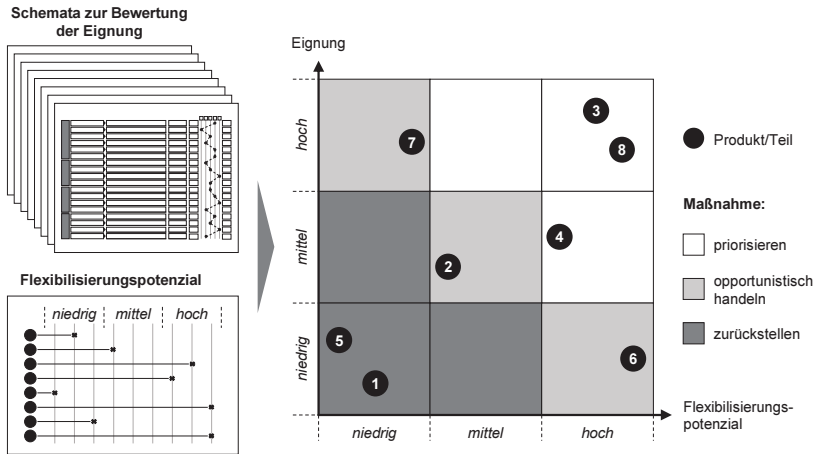


Abbildung 47: Eignungsmatrix für beispielhafte Produkte und Teile

Je nachdem in welches Feld das Produkt mit seinen Bewertungen fällt, ergibt sich die anzustrebende Maßnahme für den weiteren Verlauf. Besonders lohnenswerte Produkte und Teile mit einer hohen Eignung sowie gleichzeitig hohem Flexibilisierungspotenzial sind z. B. im weiteren Verlauf der Methode zu priorisieren. Die Vorgehensweise für den Fall einer *Unterbelastung* ist weniger umfangreich und beschreibt Prozess A.2 in Anhang G.

6.1.2 Identifikation geeigneter Fertigungs- und Montageverfahren

Soll die Kooperation prozessbezogen stattfinden, sind sowohl für den Anwendungsfall der Unterbelastung als auch für den der Überbelastung geeignete Fertigungs- und Montageverfahren zu identifizieren. Nur so lässt sich das mögliche Angebot bzw. die entstehende Nachfrage nach Verfahren wie beispielsweise Drehen, Fräsen und Bohren determinieren. Die Identifikation kann dabei – anders als bei den Produkten oder Teilen – relativ frei erfolgen. Insbesondere beim Anbieten von Verfahren an mögliche Kooperationspartner bestehen wenige Einschränkungen für deren Auswahl. Ob ein Fertigungs- oder Montageverfahren für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit infrage kommt, hängt in diesem Fall vor allem vom potenziellen Auftraggeber ab. In beiden Fällen müssen für die weiteren Schritte die wichtigsten Angaben zu den Verfahrenseigenschaften in ein Profil überführt werden. Den Ablauf der Identifikation geeigneter Fertigungs- und Montageverfahren für eine Kooperation bei einer Überbelastung ist in Prozess A.3 in Anhang G dargestellt. Die Variante für den Fall einer Unterbelastung in Prozess A.4 findet sich ebenfalls in Anhang G.

6.2 Modul B – Anbahnung und Konfiguration

In der Phase der Anbahnung und Konfiguration ist es das Ziel, geeignete Partner für die Kooperation zu selektieren und ein verlässliches Partnernetzwerk zu formen. Welche Unternehmen hierfür infrage kommen, hängt individuell von den Anforderungen der Produkte/Teile bzw. Fertigungs-/Montageverfahren ab, die der Kooperationsinitiator sucht bzw. anbietet. Ausgangspunkt für die Partnerlokalisierung kann das bestehende Portfolio an Zulieferern sowie Kunden sein. Notwendige Kompetenzen, die nicht über diesen Kreis abdeckbar sind, müssen über bisherige Nicht-Partnerunternehmen erschlossen werden. Hierbei ist zu erwarten, dass horizontale Kooperationen von besonderer Bedeutung für die Erschließung der gesuchten Verfahren und Technologien sind. Unternehmen auf derselben Wertschöpfungsstufe besitzen vermutlich eine ähnliche Fertigungstiefe sowie vergleichbare Kompetenzen. Auch eine branchenübergreifende Zusammenarbeit kann den Bedarf nach bestimmten Technologien decken. Welche Branchen für eine Kooperation in Betracht kommen, wird in Abschnitt 4.3.3.1 diskutiert.

Die Auswahl der Kooperationspartner erfordert ein systematisches Vorgehen, das sich stringent am zuvor definierten Bedarf orientiert. Der sich aus den geeigneten Produkten/Teilen bzw. Fertigungs-/Montageverfahren ergebene Bedarf, sollte für die Suche technologisch gebündelt werden. Ist dies erfolgt, lassen sich die potenziellen Kooperationspartner sehr gezielt kontaktieren. Die vorliegende Arbeit unterteilt die Selektion der Kooperationspartner im Rahmen der Methode in vier Stufen (vgl. Abbildung 48).

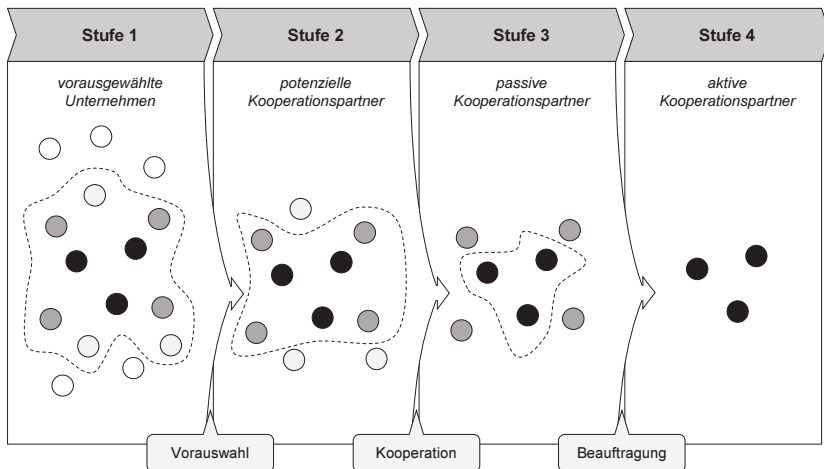


Abbildung 48: Selektion der Kooperationspartner

Aus einer Grundgesamtheit vorausgewählter Unternehmen in Stufe 1 gilt es zunächst, potenzielle Kooperationspartner für die Stufe 2 zu extrahieren. Dies kann ohne einen persönlichen Kontakt auf Basis allgemein verfügbarer Informationen erfolgen. In die Stufe 3 können die potenziellen Kooperationspartner jedoch nur aufgenommen werden, wenn sie

die Anforderungen erfüllen und einer Kooperationsvereinbarung zustimmen. Außerdem sind das Qualitätsniveau und die Lieferzuverlässigkeit der möglichen Partner zu betrachten. Liegen Informationen hierzu vor – wie bei bestehenden Lieferanten –, vervollständigen diese Informationen die Entscheidungsgrundlage. Liegen diese Informationen erst zu einem späteren Zeitpunkt vor, sind Unternehmen mit unzureichender Leistung auszuschließen. Damit ist der Übergang von Stufe 2 zu 3 ein besonders bedeutsamer Schritt und bedarf deshalb eines strukturiertes Vorgehens, das Abschnitt 6.2.1 und 6.2.2 beschreiben. Der Übergang von einem passiven zu einem aktiven Kooperationspartner – also von Stufe 3 zu 4 – erfolgt situativ im Fall einer erfolgreichen Koordination, worauf Abschnitt 6.2.3 näher eingeht. Nach Abschluss des betreffenden Auftrags werden alle aktiven Auftragnehmer wieder passive Kooperationspartner.

6.2.1 Produktbezogene Identifikation und grundsätzliche Partnerauswahl

Die Auswahl potenzieller Kooperationspartner basiert auf den zuvor erzeugten Produktprofilen, welche den Bedarf festlegen (vgl. Prozess A.1 und A.2). Ausgehend von den erforderlichen Fertigungs- und Montageverfahren lassen sich Unternehmen mit den passenden Kompetenzen ermitteln. Im Gegensatz zur prozessbezogenen Kooperation ist es hierbei erforderlich, dass ein Unternehmen alle Technologien beherrscht, die zur Herstellung des Produktes oder Teils benötigt werden. Sollte die geografische Entfernung das Limit für eine Kooperation aus Perspektive des Initiators nicht übersteigen, kann das Unternehmen in die Liste potenzieller Partner aufgenommen werden. Die Identifikation für den Fall einer Überbelastung sollte den Schritten in Prozess B.1 in Anhang G folgen.

Nachdem die potenziellen Partner feststehen, ist eine Auswahl dieser für die Zusammenarbeit festzulegen. Hierzu muss der jeweilige Initiator mit den Kandidaten in Kontakt treten und beispielsweise deren Kooperationsbereitschaft in Erfahrung bringen. Darüber hinaus sollten erforderliche Zertifizierungen überprüft, wichtige Vereinbarungen wie ein „Non Disclosure Agreement“ getroffen und sonstige Geschäftsbedingungen vereinbart werden. Sofern erforderlich, ist auch die finanzielle Stabilität zu überprüfen und in die Entscheidung einzubeziehen. Erfolgt die Aufnahme eines Unternehmens als Kooperationspartner, ist weiterhin ein umfassendes Profil zu erzeugen, in dem dessen grundlegende Eigenschaften sowie die Fertigungs- und Montageverfahren zur Herstellung des Kooperationsproduktes hinterlegt sind. Den systematischen Ablauf hierzu regelt der Prozess B.2 in Anhang G. Das Vorgehen zur grundsätzlichen Auswahl der Kooperationspartner für eine Unterbelastung Prozess B.3 findet sich ebenfalls in Anhang G.

6.2.2 Prozessbezogene Identifikation und grundsätzliche Partnerauswahl

Die Identifikation sowie grundsätzliche Auswahl der Kooperationspartner unterscheidet sich für die prozessbezogene Variante nur geringfügig, sodass auf eine ausführliche Darstellung der Prozessschaubilder an dieser Stelle verzichtet wird. Die Prozesse B.4 und B.5 finden sich – wie die prozessbezogene Variante B.6 – in Anhang G. Auch diese beiden Vorgehensweisen knüpfen an die Vorarbeit des Moduls A an und führen diese weiter fort. Eingang in die Prozesse finden die Liste mit geeigneten Verfahren sowie deren zugehörige

Profile. Die sich ergebene Übersicht potenzieller Kooperationspartner wird im Folgeprozess über die Prüfung verschiedener Kriterien in eine Liste der tatsächlichen Kooperationspartner überführt.

6.2.3 Bedarfsorientierte Auswahl der Partner

Im Gegensatz zur grundsätzlichen hängt die bedarfsorientierte Auswahl der Kooperationspartner sehr stark von der aktuellen Situation ab. So setzt diese Auswahlstufe voraus, dass für einen spezifischen, fremd zu vergebenden Auftrag zuvor mindestens ein Kooperationspartner gefunden wurde, der für die Bearbeitung grundsätzlich infrage kommt. Außerdem müssen der oder die Partner zum Betrachtungszeitpunkt ein Interesse besitzen, einen solchen Auftrag zu übernehmen und sollten eine nicht allzu hohe Auslastung aufweisen. Ferner setzt die bedarfsorientierte Auswahl der Kooperationspartner eine erfolgreiche Koordination voraus, sodass die Preisvorstellungen des Auftraggebers und der potenziellen Auftragnehmer zueinander passen. Nur dann kann die Beauftragung erfolgen, sodass der ausgewählte Kooperationspartner vom passiven in den aktiven Zustand wechselt.

Trotz der genannten Voraussetzungen kann der Fall eintreten, dass mehrere Partner für die Auftragsvergabe zur Verfügung stehen. Neben dem Preis sind in einer solchen Situation das *Qualitätsniveau* und die *Lieferzuverlässigkeit* der Partner ins Kalkül zu ziehen. Aufgrund der langfristigen Ausrichtung der hier entwickelten Methode sollten solche Erfahrungswerte – außer in der Anfangszeit der Kooperation – vorliegen. Des Weiteren ist es eine Möglichkeit, mehrere Partner zu beauftragen und den ursprünglichen Auftrag zu teilen. Hierbei gilt es jedoch, die logistischen Aufwendungen und die Transaktionskosten insgesamt in die Entscheidung einzubeziehen. Wie die bedarfsorientierte Auswahl der Kooperationspartner aufwandsarm und schnell vorgenommen werden kann, erläutern beginnend mit Modul C die nachstehenden Abschnitte.

6.3 Modul C – Bedarfsidentifikation

Die hier entwickelte Methode richtet sich an Situationen, in denen entweder eine Unter- oder eine Überbelastung der Kapazitäten vorliegt. Ist ein Unternehmen nicht in der Lage, diesen Zustand aus eigener Kraft auszugleichen, entsteht hieraus der Bedarf nach einer unternehmensübergreifenden Kooperation. Ziel ist es dann, die Logistikleistung und -kosten durch die Zusammenarbeit zu verbessern bzw. eventuelle unvermeidbare Konsequenzen so gering wie möglich zu halten. Die Koordination zwischen den Partnern beginnt, sobald ein Unternehmen Unterstützung bei der Auftragsbearbeitung benötigt und die Initiative ergreift. Das hier dargelegte Konzept sieht vor, dass grundlegende Vereinbarungen bereits vor Eintreten einer solchen Herausforderung feststehen (Module A und B) und im Bedarfsfall nur ein Mindestmaß an Informationsaustausch zwischen den Unternehmen stattfindet.

Die Auslöser einer kurz- bis mittelfristigen Unter- oder Überbelastung sind dabei sehr vielfältig. Zur Veranschaulichung beinhaltet Tabelle 4 einige Beispiele. Die Unternehmen sind in einer solchen Situation zunächst bestrebt, eine Verbesserung durch entsprechende

interne Maßnahmen herbeizuführen. Erst wenn diese Bemühungen, beispielsweise in Form von Überstunden oder Terminverschiebungen nicht ausreichen, was mitunter schnell der Fall sein kann, entsteht für gewöhnlich die Notwendigkeit einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit.

Tabelle 4: Beispielhafte Auslöser einer Unter- bzw. Überbelastung der Kapazitäten

Auslöser für eine kurz- bis mittelfristige...	
...Unterbelastung	... Überbelastung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produktauslauf ohne direktes Nachfolgeprodukt ▪ saisonaler Nachfragerückgang ▪ unerwartete Auftragsstornierung ▪ lange Produktauflaufphase ▪ fehlende Werkstoffe ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ unerwarteter Neuauftrag ▪ saisonaler Nachfrageanstieg ▪ länger andauernder Maschinenschaden ▪ krankheitsbedingte Personalausfälle ▪ fehlende technologische Kompetenz ▪ ...

Trotz der unvollständigen Übersicht verdeutlicht die Tabelle das breite Spektrum möglicher Ursachen. Darüber hinaus sind die Auslöser sehr generisch und unspezifisch, sodass nahezu jedes produzierende Unternehmen von ihnen betroffen sein kann. Beide Aspekte unterstreichen die Relevanz der Problemstellung sowie der hier entwickelten Methode. Sollte die Unter- oder die Überbelastung einen kurz- bis mittelfristigen Horizont jedoch überschreiten, ist ein dauerhafter Kapazitätsaufbau bzw. -abbau die geeignetere Alternative. Eine solche Maßnahme beansprucht jedoch vergleichsweise viel Zeit und stellt des Weiteren ein (finanzielles) Risiko dar. Die unternehmensübergreifende Kooperation kann in schwierigen Situationen ein geeignetes Mittel sein, die Auswirkungen abzumildern, ohne Ressourcen langfristig zu binden oder dauerhaft abzustoßen.

Der Einsatz der unternehmensübergreifenden Kooperation als gezielte Maßnahme benötigt eine verlässliche, aufwandsarme und zeitnahe Identifikation des Bedarfs. Das Modul C adressiert diesen Umstand durch das Festlegen einer konkreten Bezugsgröße, anhand derer die Notwendigkeit zur Kooperation ermittelt werden kann. Abschnitt 6.3.1 führt zu diesem Zweck, die sich aus dem Auftragsbestand ergebene, aktuelle Reichweite (RW – eng. Backlog length) als eine solche Bezugsgröße ein. Darüber hinaus behandelt Abschnitt 6.3.2 die situative Kooperationsbereitschaft als wichtige Eingangsgröße für die späteren Abläufe in Modul D. Die vorangegangenen Inhalte zusammenfassend betrachtet Abschnitt 6.3.3 die Voraussetzungen für eine aktive Kooperation anhand eines Beispiels.

6.3.1 Einführung der Reichweite als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation

Der bedarfsgerechte Beginn der Koordination erfordert einen definierten Auslösezeitpunkt. Nur wenn ein solcher vorliegt, verläuft der Prozess systematisch und die bestehenden Potenziale lassen sich voll ausschöpfen. Als Bezugsgröße bietet sich in diesem Zusammenhang die sich aus dem Auftragsbestand abgeleitete aktuelle Reichweite an. Diese Kenngröße gibt an, wie lange der Auftragsbestand ausreicht, um das betrachtete

System mit Arbeit zu versorgen (vgl. Lödging 2016, S. 60). Im Gegensatz zur auftrags- und vergangenheitsbezogenen Durchlaufzeit stellt die Reichweite eine zukunfts- und arbeitsplatzbezogene Kennzahl dar (vgl. Wiendahl 2014, S. 261), weshalb sie sich für die vorliegende ressourcenzentrierte Betrachtung sehr eignet.

Rechnerisch ergibt sich die Reichweite eines Arbeitssystems aus dem Verhältnis von dessen Arbeitsbestand (AB) und dessen Leistung (L) (vgl. Wiendahl 2014, S. 261):

$$RW = \frac{AB}{L} \quad (6-1)$$

mit

RW	Reichweite [ZE]
AB	Auftragsbestand [Std.]
L	Leistung [Std./ZE]

Dabei wird insbesondere der Zusammenhang von mittlerem Arbeitsbestand (AB_m), mittlerer Leistung (L_m) und mittlerer Reichweite (RW_m) eines Arbeitssystems, der sich aus dem Durchlaufdiagramm ableiten lässt, gemeinhin als „Trichterformel“ bezeichnet (vgl. Lödging 2016, S. 62; Nyhuis/Wiendahl 2012, S. 28; Wiendahl 1997). Die Reichweite lässt sich auch anstatt der Leistung anhand der Kapazität berechnen (vgl. Kingsman/Tatsiopoulos/Hendry 1989, S. 206). Bei dieser Vorgehensweise fällt die Reichweite jedoch stets geringer aus, da die im Realbetrieb erreichte Leistung für gewöhnlich hinter der eigentlichen Kapazität zurückbleibt (vgl. Nyhuis/Wiendahl 2012, S. 66).

Für die vorliegende Problemstellung ist eine aggregierte und in die Zukunft gerichtete Information über die Belastung eines Arbeitssystems vom Betrachtungszeitpunkt an erforderlich, sodass die Berechnung der Reichweite mit dem aktuellen Arbeitsbestand und der zu erwartenden bzw. aktuellen Leistung (L_{akt}) erfolgt. Beim Auftreten einer der in Tabelle 4 genannten Auslöser reduziert oder erhöht sich der Arbeitsbestand bzw. die Leistung, was zu einer Veränderung der Reichweite führt und je nach Art und Umfang eine Unter- oder Überbelastung hervorruft. Damit eignet sich die Reichweite als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation.

Die Reichweite eines oder mehrerer Arbeitssysteme wird bzw. werden im Rahmen der Termin- und Kapazitätsplanung eines Unternehmens ermittelt. Die Berechnung kann hierbei auf unterschiedlichen Ebenen wie z. B. einem Standort, einem Fertigungssystem oder einer einzelnen Maschine erfolgen. Im Zuge der Termin- und Kapazitätsplanung bestimmt die zuständige Abteilung oder der zuständige Mitarbeiter diese Daten zur Steuerung und Kontrolle der Fertigung, sodass diese als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation in der Regel bereits vorliegen. Je nachdem, wie hoch die aktuelle Reichweite ist, sollten unterschiedliche Maßnahmen ergriffen werden. Abbildung 49 definiert hierzu drei verschiedene Bereiche.

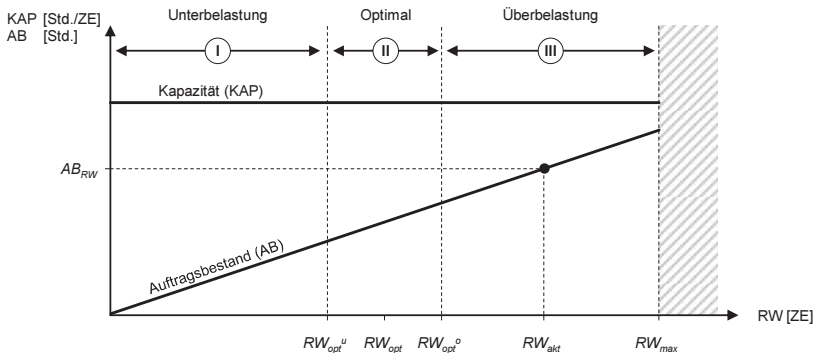


Abbildung 49: Reichweite als Bezugsgröße für die Bedarfsidentifikation

Die Abbildung zeigt einen exemplarischen Zusammenhang zwischen dem Auftragsbestand in Stunden (Std.), der Reichweite in (Planungs-)Zeiteinheiten (ZE) und der Kapazität in Stunden pro Zeiteinheit (Std./ZE). In Anlehnung an die Darstellung verschiedener Betriebszustände in Produktionskennlinien²⁶ (Nyhuis/Wiendahl 2012, S. 37; Yu 2001, S. 26; Nyhuis 1991, S. 18) und die Ausführungen von Kingsman/Tatsiopoulos/Hendry (1989, S. 206) ist es aus Sicht des fokalen Unternehmens erstrebenswert, seine aktuelle Reichweite (RW_{akt}) innerhalb eines optimalen Bereichs zu halten (Bereich II). In diesem Bereich ist die Reichweite weder zu gering noch zu hoch und damit sind die Logistikleistung – oder zumindest nicht weit davon entfernt. Definiert wird dieser Bereich durch eine untere und eine obere Grenze (RW_{opt}^u bzw. RW_{opt}^o), die jedes Unternehmen individuell festlegt. Liegt die Reichweite innerhalb dieses Bereichs, sind keine Maßnahmen zur Anpassung der Belastung oder Kapazität erforderlich. Überschreitet die Reichweite jedoch den optimalen Bereich (Bereich III), kann die unternehmensübergreifende Kooperation bezüglich der Fertigungskapazitäten dazu beitragen, die Auswirkungen zu minimieren. Das fokale Unternehmen erkennt den Bedarf und versendet eine Anfrage an die in Betracht kommenden Partner. Unternehmen, die hingegen eine sehr niedrige Reichweite aufweisen (Bereich I), sind nicht daran interessiert, ihre wenigen Aufträge im Rahmen einer Kooperation fremd zu vergeben. Ganz im Gegenteil werden sie bestrebt sein, zusätzliche Aufträge zu generieren, um ihre Auslastung zu verbessern. Befindet sich die Reichweite also unterhalb von RW_{opt}^u , gibt das betreffende Unternehmen Angebote auf etwaige Kooperationsanfragen ab.

Gelingt es einem Unternehmen mit einer bereits sehr hohen Reichweite nicht, diese durch eine unternehmensübergreifende Kooperation oder andere Maßnahmen zu reduzieren, muss es weitere Kundenaufträge ablehnen. Andernfalls überschreitet die Lieferzeit ein für die Kunden akzeptables Niveau. Das Unternehmen muss folglich auch diesen Punkt (RW_{max}) für sich definieren. Eine Reichweite oberhalb dieser Maximalgrenze kann

²⁶ Bei den genannten Autoren ergibt sich aus dem Kurvenverlauf der mittleren Reichweite ein Minimalwert, die sich aus den Durchführungszeiten der Aufträge ergibt. Für die vorliegende in die Zukunft gerichtete Betrachtung mit idealisierten Zusammenhängen wird dies jedoch nicht berücksichtigt.

entsprechend zumindest theoretisch nicht erreicht werden. Zusammengefasst liegt in den Bereichen I und III der Bedarf für eine unternehmensübergreifende Kooperation vor. Die Herausforderung besteht darin, einem Unternehmen mit einer Reichweite in Bereich III die Kooperation mit einem oder mehreren geeigneten Unternehmen mit Werten in Bereich I zu ermöglichen.

6.3.2 Ableitung der situativen Kooperationsbereitschaft

Die Einwilligung in eine aktive Kooperation hängt von dem daraus erwachsenden Nutzen für das einzelne Unternehmen ab. Nur wenn die Zusammenarbeit allen Beteiligten einen Vorteil liefert, sind diese auch dazu bereit. Folglich benötigen die Unternehmen ex ante eine Möglichkeit, den zu erwartenden Nutzen abzuschätzen, um sich je nach Situation begründet für oder gegen eine Kooperation entscheiden zu können. Bei der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit hängt der Nutzen zum einen von den externen Kooperationsangeboten und zum anderen von der internen Auslastung ab. Diese beiden Dimensionen gilt es, bei der Entscheidung situativ zu berücksichtigen.

Bevor Kooperationsangebote erfragt und die externe Dimension betrachtet wird, ist zunächst eine interne Analyse der Auftragssituation erforderlich. Innerhalb der in Abschnitt 6.3.1 definierten Bereiche I und III unterscheidet sich entsprechend der Nutzen einer Kooperation in Abhängigkeit der Reichweite. Beispielsweise generiert eine Kooperation für ein Unternehmen mit einer aktuell sehr niedrigen Reichweite als Auftragnehmer mehr Nutzen als für ein Unternehmen mit einer aktuellen Reichweite am Übergang zu Bereich II. Für den Bereich III und einen potenziellen Auftraggeber verhält es sich reziprok. Die Reichweite ist folglich nicht nur zur Bedarfsidentifikation und damit zur Bestimmung einer geeigneten Maßnahme bedeutsam, sondern beeinflusst auch die Kooperationsbereitschaft.

Ein vergleichbares Konzept ist aus der Leiterplattenherstellung bekannt, bei dem sich der Nutzen einer Belieferung für ein Unternehmen ebenfalls situativ unterscheidet. Diesem Umstand wird Rechnung getragen, indem der Preis vom gewünschten Liefertermin abhängt und bis zum 2,5-fachen des Standardpreises bei besonders kurzfristiger Lieferung betragen kann (vgl. Lödding/Nyhuis/Wiendahl 2000, S. 46). Diese Verbindung von Preis und Liefertermin wird in der Literatur als Preis-Liefertermin-Relation bezeichnet (Lödding 2016, S. 24; vgl. Vollmer 2000, S. 66; Wiendahl/Harms/Vollmer 2000, 10).

Im hier betrachteten Szenario bedeutet dies, dass je höher ein Unternehmen ausgelastet ist, desto dringender benötigt es einen Auftragnehmer und akzeptiert folglich einen relativ hohen Preis. Je geringer ein Unternehmen ausgelastet ist, desto dringender benötigt es einen Auftraggeber und akzeptiert folglich einen vergleichsweise niedrigen Preis. Die aktuelle Reichweite besitzt damit Einfluss darauf, wie viel ein Auftraggeber bereit ist, maximal für die Bearbeitung zu bezahlen bzw. wie viel ein Auftragnehmer mindestens für die Bearbeitung verlangt. Die aktuelle Auslastung muss folglich nicht direkt zwischen den Partner übermittelt werden. Die nachfolgenden Abschnitte 6.3.2.1 und 6.3.2.2 beleuchten diese Zusammenhänge für den Auftraggeber bzw. den Auftragnehmer eingehend.

6.3.2.1 Akzeptables Höchstgebot in Abhängigkeit der Reichweite

Vor der Anfrage potenzieller Auftragnehmer legt der Auftraggeber situativ das für ihn akzeptable Höchstgebot (HG) fest. Dieser Wert gibt an, wie hoch das niedrigste Gebot höchstens sein darf, damit es gerade noch für den Auftraggeber akzeptabel ist. Liegen ein oder mehrere Gebote von potenziellen Auftragnehmern vor, welche diese Bedingung erfüllen, wird das beste ausgewählt und anhand des zuvor bestimmten Höchstgebots direkt über die Auftragserteilung entschieden. Die vorherige Festlegung des Höchstgebots stellt sicher, dass die Vergabe nicht zum Nachteil für den Auftraggeber gereicht. Abbildung 50 zeigt den Zusammenhang von Höchstgebot und Reichweite.

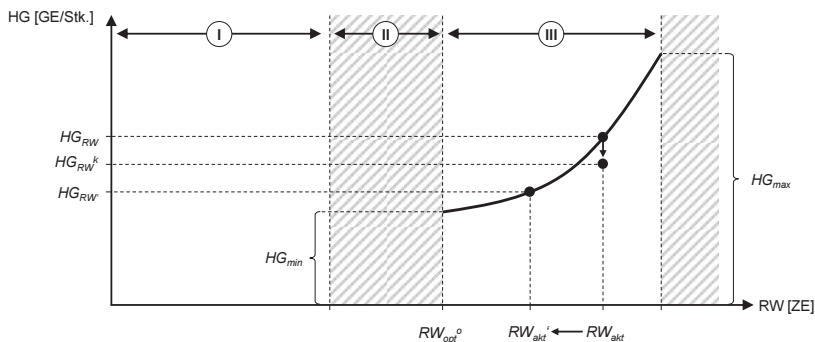


Abbildung 50: Akzeptables Höchstgebot des Auftraggebers in Abhängigkeit der Reichweite

Die Reichweite des Auftraggebers muss definitionsgemäß in Bereich III liegen (vgl. hierzu Abschnitt 6.3.1). Dabei gilt, je höher die Reichweite ist, desto höher ist auch das Höchstgebot. Um der zunehmenden Dringlichkeit Rechnung zu tragen, weist die Kurve darüber hinaus mit zunehmender Reichweite eine wachsende Steigung auf, sodass sich ein konkaver Verlauf der Kurve ergibt. Insgesamt verkürzt sich die aktuelle Reichweite durch die Vergabe eines zuvor definierten Auftrags auf RW^* . Das Höchstgebot wird in Geldeinheiten (GE) pro Stück (Stk.) angegeben und lässt sich gemäß folgender Berechnungsvorschrift in der Scheitelpunktform ableiten:

$$HG_{RW} = K \cdot (RW_{akt} - RW_{opt}^o)^2 + HG_{min} \quad (6-2)$$

mit

HG_{RW}	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite [GE/Stk.]
K	Konkavität der Präferenz [(GE/Stk.)/ZE ²]
RW_{akt}	aktuelle Reichweite [ZE]
RW_{opt}^o	optimale Reichweite obere Grenze [ZE]
HG_{min}	minimales Höchstgebot [GE/Stk.]

und

$$K \geq 0; HG_{min} \geq 0$$

Damit der Auftraggeber tatsächlich keinen Nachteil durch eine unternehmensübergreifende Kooperation erfährt, muss das HG_{RW} , welches sich aus der unternehmensspezifischen Berechnungsvorschrift ergibt, nach unten korrigiert werden (HG_{RW}^k). Zu diesem Zweck wird

jedes Teil des Auftrags und die aus ihr resultierende Anpassung der Reichweite betrachtet. Diese inkrementellen Reduzierungen der Reichweite liefern wiederum die entsprechenden Höchstgebote, die aufsummiert und durch zwei dividiert, das HG_{RW}^k ergeben:

$$HG_{RW}^k = \frac{\sum_{i=0}^{AT-1} (HG_{RW}^i - HG_{RW}^{i+1})}{2} + HG_{RW}^i \quad (6-3)$$

mit

HG_{RW}^k	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]
i	Teil im Auftrag
AT	Anzahl der Teile im Auftrag
HG_{RW}^i	Höchstgebot zur reduzierten Reichweite nach Fremdvergabe von Teil i [GE/Stk.]
HG_{RW}	Höchstgebot zur aktuellen Reichweite (resultierend) [GE/Stk.]

und

$$HG_{RW}^{i=0} = HG_{RW}; \quad HG_{RW}^{AT} = HG_{RW}; \quad HG_{RW} < HG_{RW}^k < HG_{RW}$$

Dieser Zusammenhang lässt sich umformen und vereinfachen, sodass sich das HG_{RW}^k auch über die aktuelle und resultierende Reichweite bestimmen lässt:

$$HG_{RW}^k = \frac{HG_{RW} + HG_{RW}^i}{2} \quad (6-4)$$

mit

HG_{RW}^k	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]
HG_{RW}	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite [GE/Stk.]
HG_{RW}^i	Höchstgebot zur aktuellen Reichweite (resultierend) [GE/Stk.]

und

$$HG_{RW} < HG_{RW}^k < HG_{RW}$$

Der Auftraggeber ist stets bestrebt, einen möglichst geringen Preis für die Vergabe zu erzielen. Entsprechend akzeptiert dieser das niedrigste Angebot, das unterhalb von HG_{RW}^k liegt und auch die übrigen Anforderungen erfüllt. Liegt das günstigste Angebot darüber, erfolgt keine Auftragserteilung.

6.3.2.2 Akzeptables Mindestgebot in Abhängigkeit der Reichweite

Der potenzielle Auftragnehmer muss ebenfalls vor der Angebotsabgabe situativ seine derzeitige Auslastung betrachten. In Abhängigkeit der aktuellen Reichweite ermittelt dieser das für ihn akzeptable Mindestgebot (MG). Dieses gibt an, wie hoch der vom Auftraggeber zu entrichtende Preis für die Bearbeitung mindestens sein muss, damit der potenzielle Auftragnehmer diesen akzeptieren kann. Durch die vorherige Festlegung des Mindestgebots kann sichergestellt werden, dass der Auftragnehmer keine Nachteile durch die Kooperation erfährt. Den Verlauf des Mindestgebots in Abhängigkeit der Reichweite zeigt Abbildung 51.

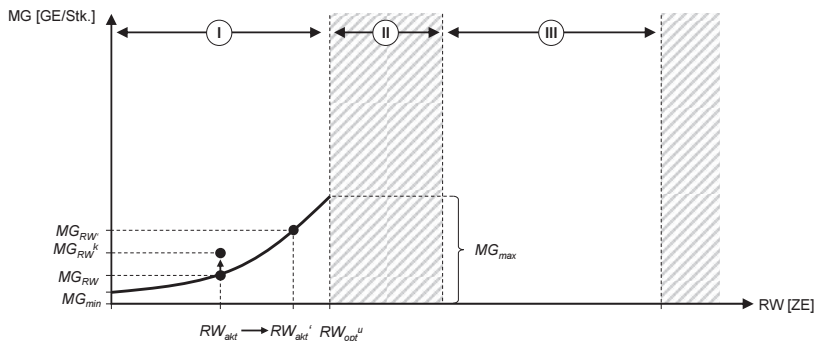


Abbildung 51: Akzeptables Mindestgebot des Auftragnehmers in Abhängigkeit der Reichweite

Die Reichweite des potenziellen Auftragnehmers muss definitionsgemäß in Bereich I liegen (vgl. hierzu Abschnitt 6.3.1). Dabei gilt, je niedriger die Reichweite ist, desto niedriger ist auch das Mindestgebot. Um der zunehmenden Dringlichkeit Rechnung zu tragen, weist die Kurve darüber hinaus mit zunehmender Reichweite eine wachsende Steigung auf. Insgesamt verhält es sich mit dem Mindestgebot des potenziellen Auftragnehmers, also entgegengesetzt zum Höchstgebot des Auftraggebers. Das Mindestgebot berechnet sich folgendermaßen:

$$MG_{RW} = K \cdot RW_{akt}^2 + MG_{min} \quad (6-5)$$

mit

MG_{RW} Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite [GE/Stk.]
 K Konkavität der Präferenz [(GE/Stk.)/ZE²]
 RW_{akt} aktuelle Reichweite [ZE]
 MG_{min} minimales Mindestgebot [GE/Stk.]

und

$$K \geq 0; MG_{min} \geq 0$$

Der Auftragnehmer ist dabei stets bemüht, einen möglichst hohen Preis für seine Dienstleistung zu erzielen. Analog zum Auftraggeber muss das Mindestgebot zuvor noch korrigiert werden (MG_{RW}^k). Im Gegensatz zum Auftraggeber erfolgt die Anpassung jedoch nach oben:

$$MG_{RW}^k = \frac{\sum_{i=0}^{AT-1} (-MG_{RW}^i + MG_{RW}^{i+1})}{2} + MG_{RW} \quad (6-6)$$

mit

MG_{RW}^k Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]
 i Teil im Auftrag
 AT Anzahl der Teile im Auftrag [Stk.]
 MG_{RW}^i Mindestgebot zur erhöhten Reichweite nach Übernahme von Teil i [GE/Stk.]
 MG_{RW} Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite [GE/Stk.]

und

$$MG_{RW}^{i=0} = MG_{RW}; MG_{RW}^{AT} = MG_{RW}; MG_{RW} < MG_{RW}^k < MG_{RW}$$

Dieser Zusammenhang lässt sich umformen und vereinfachen, sodass sich das MG_{RW}^k auch über die aktuelle und resultierende Reichweite bestimmen lässt:

$$MG_{RW}^k = \frac{MG_{RW} + MG_{RW'}}{2} \quad (6-7)$$

mit

MG_{RW}^k Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]

MG_{RW} Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite [GE/Stk.]

$MG_{RW'}$ Mindestgebot zur aktuellen Reichweite (resultierend) [GE/Stk.]

und

$MG_{RW} < MG_{RW}^k < MG_{RW'}$

Grundsätzlich akzeptiert der Auftragnehmer Preise, die oberhalb von MG_{RW}^k liegen. Liegt der Preis unterhalb dieser Grenze erfolgt keine Angebotsabgabe.

6.3.3 Analyse der Voraussetzungen für eine aktive Kooperation

Damit eine aktive Kooperation zustande kommen kann, muss eine geeignete Konstellation im Hinblick auf den Auftraggeber und die potenziellen Auftragnehmer vorliegen. Die Bereitschaft zur Kooperation hängt, wie zuvor erläutert, von der individuellen Reichweite und damit von der aktuellen Auslastung der Unternehmen ab. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs beinhaltet Abbildung 52 eine Beispielkonstellation, die in einer aktiven Kooperation mündet.

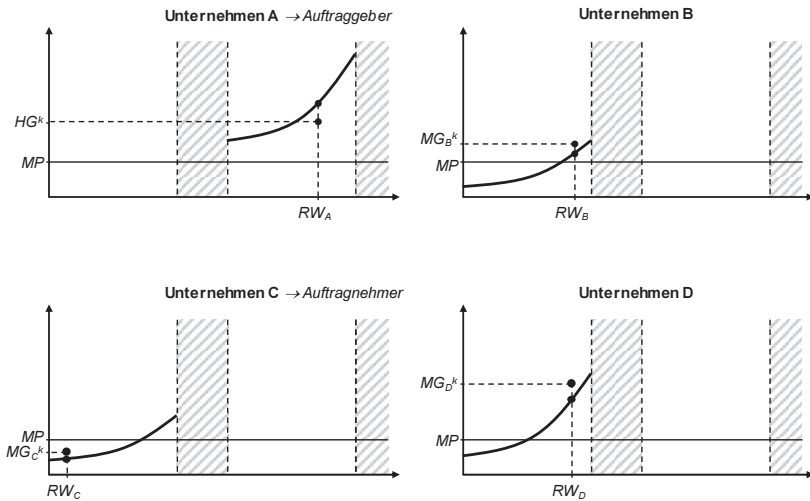


Abbildung 52: Beispielkonstellation für eine aktive Kooperation

In dem hier gezeigten Beispiel kommen für den Auftraggeber (A) drei potenzielle Auftragnehmer infrage (B, C und D). Diese drei Unternehmen besitzen jeweils eine leicht unterschiedliche Präferenz und damit Funktion zur Bestimmung ihrer (korrigierten) akzeptablen Mindestgebote. Alle vier Unternehmen weisen darüber hinaus eine abweichende Reichweite auf, die sich aus dem aktuellen Auftragsbestand ergibt. Das korrigierte Mindestgebot des Unternehmens D liegt infolge seiner individuellen Voraussetzungen sogar höher als

das Höchstgebot des Auftraggebers, sodass es von vornherein nicht zu einer Kooperation zwischen diesen beiden kommen kann. Im Gegensatz hierzu kommen die Unternehmen B und C aufgrund ihrer Mindestgebote grundsätzlich infrage. Am geeignetsten erscheint dabei das Unternehmen C, da es aktuell das geringste Mindestgebot besitzt. Der Marktpreis (MP) liegt folglich oberhalb oder genau auf MG_C , das damit die untere Grenze markiert. Die maximale Zahlungsbereitschaft des Auftraggebers kommt im Höchstgebot zum Ausdruck. Als Voraussetzung für eine aktive Kooperation muss der Marktpreis unterhalb oder genau auf dieser Grenze liegen. Der zulässige Korridor für den Marktpreis liegt damit zwischen dem Höchstgebot und dem geringsten Mindestgebot (hier: MG_C).

Im Hinblick auf den sich ergebenden Marktpreis verfolgen der Auftraggeber und die (potenziellen) Auftragnehmer gegensätzliche Ziele. Der Auftraggeber ist bestrebt, einen möglichst geringen Preis für die zu erbringende Leistung zu bezahlen. Die potenziellen Auftragnehmer versuchen erstens den Zuschlag zu bekommen und zweitens einen möglichst hohen Preis für diese Leistung durchzusetzen. Der Marktpreis ist das Resultat dieser gegensätzlichen Interessen und stellt einen für beiden Seiten akzeptablen Kompromiss dar. Liegt der Marktpreis unterhalb des vom Auftraggeber intern festgelegten akzeptablen Höchstgebots, erhält dieser hieraus einen Vorteil, den die sogenannte indirekte Auszahlung (AZ – eng. Payoff) quantifiziert. Die Höhe dieser Auszahlung ist die Differenz zwischen dem Preis, den der Auftraggeber bereit gewesen wäre zu zahlen und dem Preis, den er letztendlich entrichten muss, also dem Marktpreis. Analog verhält es sich beim Auftragnehmer, wenn der Marktpreis über dem jeweiligen Mindestgebot liegt. Die Berechnung der Auszahlung erfolgt für den Auftraggeber bzw. den Auftragnehmer demnach über folgenden Zusammenhang:

$$AZ = \left| (HG_{RW}^k \vee MG_{RW}^k) - MP \right| \cdot AT \quad (6-8)$$

mit

AZ	indirekte Auszahlung [GE]
HG_{RW}^k	Höchstgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]
MG_{RW}^k	Mindestgebot in Abhängigkeit zur aktuellen Reichweite (korrigiert) [GE/Stk.]
MP	Marktpreis [GE/Stk.]
AT	Anzahl der Teile im Auftrag [Stk.]

und

$$MG_{RW}^k \leq MP \leq HG_{RW}^k$$

Die indirekte Auszahlung ermöglicht es, das Verhandlungsergebnis aus Sicht der Teilnehmer zu bewerten. Dabei stellt sie keinen tatsächlichen Fluss von Geldmitteln dar, sondern eine interne Rechengröße zur Bewertung des vorliegenden Marktpreises. Innerhalb der hier entwickelten Methode ist es die Aufgabe der Koordination, den Marktpreis zuverlässig und mit möglichst geringem Aufwand unter Berücksichtigung der individuellen Präferenzen zu ermitteln. Wie diese Koordination funktionieren kann, legt nachfolgend das Modul D in Kapitel 6.4 dar.

6.4 Modul D – Anfrage und Verhandlung

Nachdem der grundsätzliche Rahmen für die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten geschaffen (Module A und B) und ein Bezugsmaß für die Bedarfsidentifikation definiert wurde (Modul C), betrachtet das Modul D die Phase *Anfrage und Verhandlung*. Die in den vorangegangenen Modulen durchgeführten Schritte und der sich daraus ergebende Rahmen erlauben es, die diesbezügliche Koordination auf die Verfügbarkeit von Kapazitäten und die Preisabstimmung zu reduzieren.

Gemäß der in Abschnitt 5.1 abgeleiteten Vorgaben zur Methodenausgestaltung wird unter anderem eine teilweise Automatisierung sowie eine dezentrale Abstimmung ohne Mediator angestrebt. Für diese Zielsetzung erscheinen Softwareagenten sehr geeignet und sollen deshalb die Durchführung der Anfragen sowie die Verhandlungen übernehmen. Dies erhöht einerseits die Geschwindigkeit der Ausführung und reduziert andererseits den Aufwand der Abstimmung für den Anwender im Unternehmen. Zur Ausgestaltung eines entsprechenden Ansatzes gliedert sich das Kapitel in drei Abschnitte. Zunächst wird agentenbasierte Simulation als Basis für die Entwicklung kurz eingeführt, um ein grundsätzliches Verständnis für die nachfolgenden Schritte zu schaffen (Abschnitt 6.4.1). Anschließend erfolgt die Ableitung eines geeigneten Koordinationsmechanismus für den betrachteten Kontext (Abschnitt 6.4.2). Der entwickelte Ansatz wird dann eingehend im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht (Abschnitt 6.4.3).

6.4.1 Agentenbasierte Modellierung und Simulation als Basis

Der Begriff Simulation umfasst ein sehr breites Feld an Techniken, Werkzeugen sowie Vorgehensweisen und findet in einer Vielzahl an Disziplinen Anwendung. Aus diesem Grund definiert Abschnitt 6.4.1.1 zentrale Begriffe, beschreibt wesentliche Merkmale und nennt exemplarische Vorgehensweisen von Simulationsstudien. Darauf aufbauend skizziert Abschnitt 6.4.1.2 die wichtigsten Simulationsparadigmen und verortet die vorliegende Arbeit innerhalb dieser Felder. Die für den weiteren Verlauf der Arbeit notwendigen Grundlagen zu Agenten und Multi-Agenten-Systemen liefert der Abschnitt 6.4.1.3.

6.4.1.1 Begriffe, Merkmale und Vorgehensweisen

In seiner allgemeinsten Form beschreibt der Begriff Simulation „ein möglichst realitätsnahes Nachbilden von Geschehen der Wirklichkeit“ (vgl. Brich/Hasenbalg 2013, S. 168). Aufgrund der oft hohen Komplexität realer Begebenheiten, ist es hierfür zunächst notwendig, die Realität zu abstrahieren. Dies erfolgt für gewöhnlich mithilfe eines Modells, das je nach Erkenntnisinteresse lediglich einen Teilbereich der tatsächlichen Zusammenhänge beschreibt. Etwas konkreter bezeichnen Gutenschwager et al. (2017, S. 22) Simulation als „Problemlösungsmethode, bei der durch Experimente mit Simulationsmodellen Aussagen über das Verhalten der durch die Modelle beschriebenen Systeme gewonnen werden“. Eine ähnliche Definition enthält auch die VDI-Richtlinie 3633, betont aber zusätzlich die Betrachtung der Systeme und deren Veränderung über die Zeit, was ebenfalls viele

Simulationen charakterisiert (vgl. VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1, S. 3). In ihren Ausführungen skizzieren die Autoren darüber hinaus das generische Vorgehen einer Simulationsstudie, bestehend aus der Überführung der Realität in ein adäquates Modell, dem Durchführen geeigneter Experimente und der Rückführung der Erkenntnisse auf das Ursprungssystem. Dieses grobe Schema wird in der wissenschaftlichen Literatur von einer Vielzahl von Autoren weiter ausdifferenziert. Eine Auswahl solcher Vorgehensmodelle wird an späterer Stelle in diesem Kapitel vorgestellt.

Weitere wichtige Begrifflichkeiten bei Simulationsstudien sind die Termini Simulationslauf bzw. -experiment. Der Lauf eines Simulationsmodells bezeichnet dessen Ausführung mit einer fest definierten Parameterkonfiguration über eine ebenfalls fest definierte Zeitspanne (vgl. Gutenschwager et al. 2017, S. 23). Die Dauer der Simulation kann dabei über einen spezifischen Zeitpunkt oder das Erreichen eines Abbruchkriteriums bestimmt sein. Die Ergebnisse mehrerer Läufe mit identischen Parametereinstellungen können je nach Ausgestaltung des Modells außerdem entweder reproduzierbar (jeder Lauf identisch) oder einmalig (jeder Lauf unterschiedlich) sein. Ein Simulationsexperiment hingegen untersucht das Verhalten eines Modells durch mehrmalige Simulationsläufe und eine zuvor festgelegte, systematische Parametermodifikation (vgl. Gutenschwager et al. 2017, S. 24; VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1, S. 3). Ziel ist es hierbei, die geeignetste Konstellation sowie die Wechselwirkungen der Parameter zu bestimmen.

Wie bereits erwähnt, finden sich in der Literatur diverse Schemata für die strukturierte Durchführung von Simulationsstudien, welche teilweise auf spezifische Anwendungsfelder abzielen. Beispielsweise finden sich solche Vorgehensmodelle für Produktion und Logistik bei Arnold et al. (2008, S. 115) und Rabe/Spieckermann/Wenzel (2008, S. 5). Das Schemata von Law (2015, S. 67) weist hingegen einen universellen Charakter auf und bezieht sich nicht auf eine definierte Anwendungsdomäne. Im Wesentlichen folgen die Vorgehensweisen einer ähnlichen Abfolge von Schritten. Ausgehend von einer Problem- und Zielstellung sieht die Vorbereitung darüber hinaus die Akquise von Daten aus bzw. über das zu betrachtende System vor. Während Arnold et al. (2008) und Law (2015) hieran direkt die Implementierung des Modells in eine Simulationssoftware anschließen, stellt das Vorgehensmodell von Rabe/Spieckermann/Wenzel (2008) die Erstellung eines Konzeptmodells voran. Ist das programmierte Modell verifiziert, erfolgt im nächsten Schritt die Durchführung der Simulationsexperimente und die Analyse der erzeugten Daten. Die gewonnenen Erkenntnisse können genutzt werden, um die untersuchte Fragestellung zu beantworten und zielgerichtet auf das Realsystem einzuwirken.

Die Durchführung einer Simulationsstudie ist häufig insbesondere bei der Modellimplementierung und -verifizierung mit einem erheblichen Aufwand verbunden und es sollte vorab geprüft werden, ob die jeweilige Fragestellung überhaupt dazu geeignet ist. Hierzu ist vor allem kritisch zu hinterfragen, ob die zu betrachtende Fragestellung grundsätzlich mithilfe einer Simulation beantwortet werden kann. Alternative Methoden gilt es hierbei ebenso ins Kalkül zu ziehen, bevor ein Simulationsprojekt initiiert wird (Arnold et al. 2008, S. 87). Eignen sich die Fragestellung und das System für eine Simulationsstudie,

sind die zu erwartenden Vorteile umfangreich. Beispielsweise lassen sich Experimente an bestehenden Systemen durchführen, ohne deren Betrieb zu stören. Außerdem können (noch) nicht existierende Systeme entworfen und verschiedene Varianten aufwandsarm verglichen werden. Des Weiteren ist es möglich, das Systemverhalten mit und ohne Einwirkung im Zeitverlauf zu untersuchen (vgl. VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1, S. 5 f.).

Neben dem oft hohen Aufwand bei der Modellentwicklung erfordert der überwiegend stochastische Charakter meist eine ebenfalls hohe Anzahl an Simulationsläufen, bis belastbare Daten vorliegen. Diese Läufe generieren eine immense Datenfülle, die es darauffolgend auszuwerten gilt. Aufgrund der überzeugenden Animation und suggerierten Exaktheit setzen einige Entscheidungsträger zu viel Vertrauen in die Ergebnisse einer Simulationsstudie (vgl. Law 2015, S. 71). Trotz dieser Nachteile besitzt Simulation im Bereich von Produktion und Logistik heutzutage einen hohen Stellenwert und hat sich längst als wichtiges Werkzeug etabliert.

6.4.1.2 Simulationsparadigmen

Für die Erstellung von Simulationsmodellen stehen unterschiedliche Paradigmen zur Verfügung, die sich je nach Fragestellung mehr oder weniger eignen. Auch wenn eine Kombination von zwei oder mehr Paradigmen grundsätzlich möglich ist, sollte der Paradigmenauswahl eine hohe Bedeutung beigemessen werden. Die Literatur unterscheidet vornehmlich vier Paradigmen bzw. Arten der Simulation: System Dynamics, eventdiskrete Simulation, agentenbasierte Simulation und Monte Carlo-Simulation. Die Monte Carlo-Simulation setzt zufällig generierte Zahlen zur Lösung stochastischer und deterministischer Probleme ein und wurde während des zweiten Weltkriegs entwickelt (vgl. Law 2015, S. 711). Da diese Art der Simulation originär keine zeitliche Betrachtung der Systeme zulässt und damit für die hier untersuchten Zusammenhänge nicht geeignet erscheint, wird von weiteren Ausführungen abgesehen. Die übrigen Paradigmen werden nachstehend kurz vorgestellt.

System Dynamics ist eine kontinuierliche Simulation, die für die Ausgestaltung und Verbesserung von Strategien und Richtlinien aus verschiedenen Bereichen wie Geschäft, Regierung und Militär genutzt wird (vgl. Law 2015, S. 705). Die Methode wurde bereits in den 1950er Jahren von Jay W. Forrester entwickelt und hat sich aufgrund der eingängigen Modellierung und universellen Einsetzbarkeit in diversen Anwendungsfeldern, wie beispielsweise der Geschäftsstrategieentwicklung oder der Krankheitsdiffusion, bewährt (vgl. Sterman 2000, 41 f.). Charakteristisch für System Dynamics ist der Top-Down-Ansatz, mit dem komplexe Systeme betrachtet und modelliert werden. Ein speziell auf System Dynamics ausgerichtetes Vorgehen zur Durchführung einer Simulationsstudie findet sich beispielsweise bei Forrester (1994).

Die *eventdiskrete Simulation* betrachtet ein System hingegen aus einer Bottom-up-Perspektive. Im Unterschied zu System Dynamics-Modellen verändern sich die Variablen jedoch asynchron bei Eintritt eines Ereignisses und nicht zu definierten synchronen Zeitpunkten (vgl. Law 2015, S. 6). Während sich System Dynamics für Untersuchungen auf

strategischer Ebene eignet, besitzen eventdiskrete Studien ihre Stärken im operativen, taktischen Bereich.

Ein Spezialfall der eventdiskreten ist die *agentenbasierte Simulation*. Der Begriff des Agenten als bestimmter Typ eines Softwaresystems wurde von Rosenschein in seiner Dissertation aus dem Jahre 1985 erstmalig geprägt (vgl. Kirn 2002, S. 57; Rosenschein 1986). Agenten „leben“ demnach in einer definierten Umgebung und interagieren mit dieser sowie untereinander (vgl. Law 2015, S. 691). Darüber hinaus können Agenten eigenständig Regeln be- und Ziele verfolgen. Aus diesem Grund eignen sie sich insbesondere für die Modellierung dezentraler Systeme und sollen daher auch für die hier betrachtete Problemstellung zum Einsatz kommen. Der nachfolgende Abschnitt geht daher vertiefend auf wichtige Grundlagen bezüglich Agenten und MAS ein.

6.4.1.3 Agenten und Multi-Agenten-Systeme

Softwareagenten (kurz: Agenten) sind heutzutage aus unserem täglichen Umfeld nicht mehr wegzudenken. Sie übernehmen eine Vielzahl von Koordinationsaufgaben, die zu früherer Zeit noch tägliche Aufgaben des Menschen waren (vgl. Rosenschein/Zlotkin 1994, S. 4). Beispielhafte Anwendungen sind die Reservierung und Buchung von Flügen über ein Online-Portal oder nahezu jede Art von Kaufprozess über das Internet. Ein Agent ist dabei ein Computersystem, das in eine Umwelt eingebettet ist und autonome Handlungen hierin ausführt, um die ihm übertragenen Ziele zu erreichen (vgl. Wooldridge 2009, S. 21). Nach Law (2015, S. 691) besitzen Agenten darüber hinaus die Fähigkeit, Veränderungen in ihrer Umwelt sowie andere Agenten wahrzunehmen. Diese Informationen können Agenten interpretieren und für die nächste Entscheidungsfindung nutzen. Besondere Agenten sind darüber hinaus fähig zu lernen und die Entscheidungsmuster auf Basis der gemachten Erfahrung zu optimieren.

Zur Beschreibung von Agenten sowie zur Abgrenzung gegenüber anderen Softwareprogrammen findet sich in der Literatur eine Reihe von Eigenschaften, die Agenten in sich vereinen. In Anlehnung an die Ausführungen von Bussmann/Jennings/Wooldridge (2004, S. 23), Kirn (2002, S. 57), Klügl (2001, S. 14 f.) und Wooldridge/Jennings (1995, S. 116) sind Agenten im hier zugrunde gelegten Verständnis:

- autonom,
- sozial,
- reaktiv und
- zielbewusst.

Autonomie besitzt ein Agent dann, wenn er eigenständig über zu treffende Entscheidungen befinden darf und sein Verhalten nicht a priori durch den Entwickler festgelegt wurde. Der Agent weist also im Rahmen der ihm gegebenen Möglichkeiten eine Entscheidungsfreiheit auf. *Sozialen Charakter* besitzen Agenten dann, wenn sie mit anderen Agenten in ihrer Umwelt kommunizieren können. Für die fehlerfreie Kommunikation ist es insbesondere bei offenen Systemen häufig notwendig, eine gemeinsame Agentensprache zu entwickeln und

festzuschreiben. Eine Grundvoraussetzung für die Kommunikation ist zudem die *Reaktivität* der Agenten. Diese Eigenschaft stellt zum einen sicher, dass Agenten zeitnah auf Anfragen von außen reagieren und zum anderen, dass Veränderungen in der Umwelt wahrgenommen und ggf. Handlungen eingeleitet werden. Außerdem streben Agenten nach definierten *Zielen* und stimmen ihre Entscheidungen bestmöglich auf die Erreichung derselben ab.

Zur Differenzierung zwischen den vielgestaltigen Agenten finden sich in der Literatur verschiedene Taxonomien (beispielsweise bei Klügl 2001, S. 71). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf eine detaillierte Diskussion dieser Typen verzichtet und lediglich zwischen „imitierenden“ und „technischen“ Agenten unterschieden. Imitierende Agenten bilden das Verhalten eines (menschlichen) Individuums nach, sodass im Rahmen der Simulation das Systemverhalten und etwaige Emergenz-Phänomene beobachtet werden können. Ein Beispiel hierfür ist die Simulation des Flugverhaltens von Zugvögeln. Technische Agenten hingegen sind darauf ausgerichtet Prozesse zu automatisieren und aufgetragene Aufgaben zu erledigen. Dies ist z. B. ein Agent, der gemeinsam mit anderen Agenten die Fertigungssteuerung eines Unternehmens übernimmt.

Ein MAS ist eine Sammlung mehrerer, interagierender Agenten (vgl. Wooldridge 2009, S. 416; Bussmann/Jennings/Wooldridge 2004, S. 23). Die Bestandteile eines MAS richten sich nach dem verfolgten Zweck und können mehrere Agententypen mit kongruenten und/oder konkurrierenden Zielen umfassen. MAS sind ein Teilgebiet der Verteilten Künstlichen Intelligenz (eng. Distributed Artificial Intelligence) und zeichnen sich, wie bereits erwähnt, durch einen Bottom-up-Ansatz bei der Modellierung aus (vgl. Kirn 2002, S. 54). Weiterhin ist für MAS charakteristisch, dass die Agenten nur über eine subjektive Wahrnehmung verfügen, also nur Zugriff auf einen Teil der Gesamtinformationen besitzen. Dies ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal im Vergleich zu herkömmlichen Computersystemen. Der folgende Abschnitt legt zunächst die Grundzüge der Agentenkommunikation und -interaktion dar und leitet dann einen geeigneten Koordinationsmechanismus her.

6.4.2 Ableitung eines geeigneten Koordinationsmechanismus

Bevor ein geeigneter Koordinationsmechanismus abgeleitet werden kann, erfolgt zunächst eine allgemeine Betrachtung von Formen der Kommunikation und der Interaktion von Agenten. Der Abschnitt 6.4.2.1 betrachtet hierzu insbesondere verschiedene Auktionsformen. Basierend auf diesen Grundformen erfolgt die konzeptionelle Ableitung für einen geeigneten Koordinationsmechanismus in Abschnitt 6.4.2.2.

6.4.2.1 Kommunikation und Interaktion von Agenten

Grundvoraussetzung für die Kommunikation von Agenten ist – wie bei natürlichen Personen auch – eine gemeinsame Sprache. Ist dies sichergestellt, kommunizieren Agenten für gewöhnlich direkt miteinander. Häufig wird dabei auf „Multicast“- oder „Broadcast“-Kommunikation zurückgegriffen, um eine Nachricht mehreren Agenten gleichzeitig zukommen zu lassen (vgl. Klügl 2013, S. 536). Wesentlich entscheidender ist jedoch die Frage, wie Agenten über das Austauschen von Nachrichten zu einer Vereinbarung kommen

können. Die Antwort auf diese Fragestellung sind sogenannte Protokolle. Protokolle sind bei der Modellierung von Agenten allgemeine Regeln, welche die Pfade zur Vereinbarungsskizzieren. Ein Protokoll spezifiziert die Verhandlungsoptionen, die Reihenfolge der Angebote sowie Gegenangebote und determiniert damit den Inhalt der Kommunikation (vgl. Rosenschein/Zlotkin 1994, 2 f.). Insbesondere bei Interessenskonflikten von zwei oder mehr Agenten werden bei der Modellierung Verhandlungsprotokolle eingesetzt. Diese Protokolle standardisieren die Schritte und deren Sequenz zur Erzielung einer Einigung, können aber je nach Erfordernis für den jeweiligen Anwendungsfall modifiziert werden. Differenzieren lassen sich Verhandlungen vor allem über die Anzahl ihrer Teilnehmer. Hier sind drei Varianten möglich: Eins-gegen-eins, Eins-gegen-viele und Viele-gegen-viele (vgl. Wooldridge 2009, 316 f.).

Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere Auktionen zur Allokation knapper Ressourcen als Spezialfall der Eins-gegen-viele-Verhandlung relevant. Eine Auktion kann im Allgemeinen definiert werden als eine vereinheitlichte Vorschrift für einen Markt, auf dem Interessenten Nachrichten mit Preisangeboten austauschen und hohe Gebote priorisiert behandelt werden (vgl. Friedman 1993, S. 5). Eine Standardauktion umfasst ein singuläres Gut, einen Auktionator und eine Reihe potenzieller Käufer mit individueller Wertschätzung für den offerierten Gegenstand bzw. die angebotene Dienstleistung (vgl. Albrecht 2010, S. 48 f.). Im Fall einer Unterauftragsvergabe möchte der Auktionator/Auftraggeber einen möglichst niedrigen Preis erzielen, während die Bieter/Auftragnehmer bestrebt sind, eine möglichst hohe Bezahlung für die Ausführung der Aufgabe zu erlösen (vgl. Sandholm 1999, S. 211).

Um ein Gut zuverlässig an den Höchstbietenden bzw. Bestgeeignetsten zu allokalieren, existieren vier Grundformen der Auktionsgestaltung: die Englische Auktion, die Holländische Auktion, die Erstpreisauktion und die Zweitpreisauktion (oder auch Vickrey-Auktion). Tabelle 5 stellt diese Typen anhand mehrerer Kriterien gegenüber.

Tabelle 5: Auktionstypen und ihre wichtigsten Charakteristika (in Anlehnung an Wooldridge 2009, 293 ff.; Sandholm 1999, S. 212)

Typ	Modus	Gebot	Sieger	Runden
Englische Auktion	aufsteigend	offen	höchster Preis	mehrere
Holländische Auktion	absteigend	offen	höchster Preis	mehrere
Erstpreisauktion	n/z	verdeckt	höchster Preis	eine
Zweitpreisauktion / Vickrey-Auktion	n/z	verdeckt	zweithöchster Preis	eine

n/z = nicht zutreffend

Im Fall der *Englischen Auktion* erhöht der Auktionator den Startpreis so lange, bis nur noch ein Bieter übrigbleibt und dieser somit automatisch die Auktion für sich entscheidet. Die

Gebote aller Bieter sind dabei allen Teilnehmern bekannt. Die *Holländische Auktion* funktioniert genau entgegengesetzt; der Startpreis wird kontinuierlich reduziert, bis ein Bieter ein Angebot abgibt und so das Verfahren für sich entscheidet. Auch hier sind alle Teilnehmer über den aktuellen Stand der Auktion informiert. Bei einer *Erstpreisauktion* geben alle Interessenten einmalig ein verdecktes Angebot ab und den Zuschlag erhält das höchste Angebot. Im Gegensatz hierzu erhält bei einer *Zweitpreisauktion* zwar das höchste Angebot den Zuschlag, der Bieter muss jedoch nur den zweithöchsten Preis dafür entrichten. Vorteil dieser kontraintuitiven Vorgehensweise ist, dass die Bieter bei der Angebotsabgabe motiviert werden, ihre tatsächliche Wertschätzung für ein Gut bei der Preisabgabe zugrunde zu legen. Es besteht kein Anreiz strategisch zu agieren und einen höheren oder niedrigeren Preis als die eigene Wertschätzung abzugeben (vgl. Klügl 2013, S. 544). Problematisch bei dieser Auktion ist es, wenn der Auktionator nicht die wahren Angebote für die Preisfestlegung nutzt und seinerseits manipuliert (vgl. Sandholm 1999, S. 215).

Ein weiteres, sehr bekanntes Verfahren für die Aufgabenverteilung auf mehrere Agenten ist das Contract Net Protocol (vgl. Smith 1980). Ein Initiator versendet eine Aufforderung an potenzielle Bearbeiter und diese berechnen, wie schnell, in welcher Qualität und ggf. zu welchem Preis sie die Aufgabe übernehmen können (vgl. Klügl 2013, S. 537). Dieses Protokoll ist im Kern eine Erstpreisauktion, da nur ein Preis je Bieter abgegeben wird und dies verdeckt erfolgt (vgl. Bussmann/Jennings/Wooldrige 2004, S. 33). In der vorliegenden Arbeit wird diese Form der Auftragsvergabe deshalb in ihrer allgemeineren Form, der Erstpreisauktion, betrachtet.

Neben den bereits eingeführten Auktionstypen existieren sogenannte Doppel-Auktionen, bei denen die Interessenten gleichzeitig Anbieter sein können (vgl. Albrecht 2010, S. 49 f.). Da diese Sonderform der Aktion einen Mediator voraussetzt, ist sie für das vorliegende Problem nicht geeignet (vgl. hierzu Abschnitt 5.1) und wird deshalb nicht weiter ausgeführt.

6.4.2.2 Konzept eines Koordinationsmechanismus

Im Hinblick auf die Nutzung der vorgestellten Mechanismen im Rahmen der zu entwickelnden Methode kommt die Vickrey-Auktion grundsätzlich nicht in Betracht, da sie einen „ehrlichen“ Auktionator voraussetzt, der dem Höchstbietenden lediglich den zweithöchsten Preis abverlangt. Da die Methode frei von möglicher Manipulation sein muss, scheidet diese Form der Koordination aus. Außerdem handelt es sich um eine verdeckte Auktionsform, die dem Grundsatz der geforderten Transparenz entgegensteht. Aus diesem Grund scheidet auch die Erstpreisauktion als Basis für den Koordinationsmechanismus aus.

Die verbleibenden beiden Typen sind – bis auf den Modus – im Grunde identisch, sodass beide zu sehr ähnlichen Resultaten führen. Dabei erscheint die Variante der Englischen Auktion intuitiver und setzt außerdem nicht zwingend die Festlegung eines Startpreises voraus, sondern kann einfach bei null oder einem sehr geringen Gebot beginnen. Aus diesen Gründen wird die Englische Auktion und das dazugehörige Protokoll als Basis für

den im Rahmen der Methode verwendeten Koordinationsmechanismus ausgewählt. Die für den hier behandelten Kontext modifizierte Variante ist nachstehend in Abbildung 53 dargestellt.

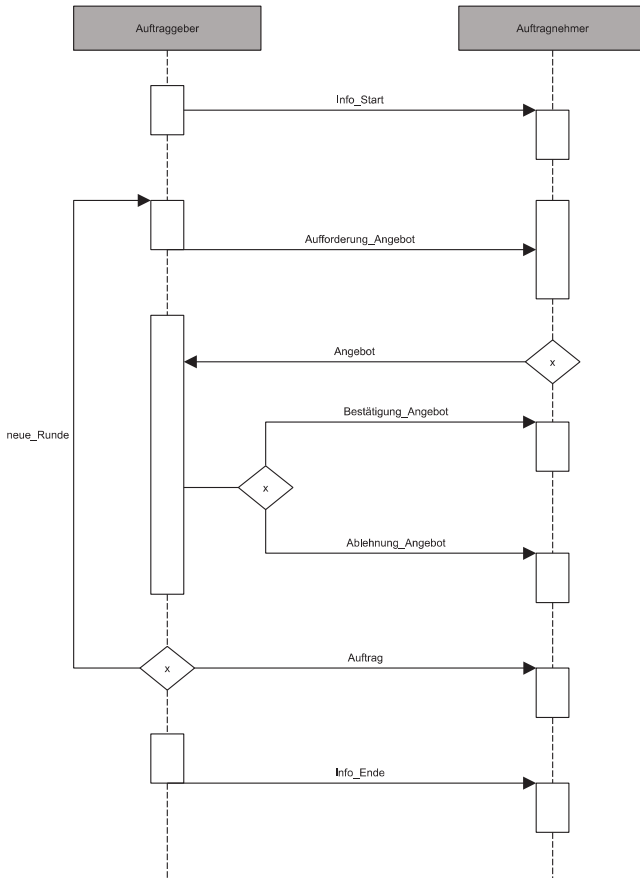


Abbildung 53: Sequenzdiagramm des entwickelten Koordinationsmechanismus

Zunächst informiert der Auftraggeber alle potenziellen Auftragnehmer über den Start der Auktion. Anschließend versendet der Auftraggeber eine Aufforderung, die Angebote abzugeben (eng. Call for Proposals). Die Aufforderung enthält die technischen Spezifikationen des Auftrags, das Auftragsvolumen und den zu entrichtenden Preis. Zu Beginn der Auktion ist der Preis dabei sehr niedrig. Die Empfänger verarbeiten diese Informationen und entscheiden sich entweder dazu, ein Angebot (eng. Proposal) abzugeben oder nicht. Ist das Angebot akzeptabel, würden sie den Gebotspreis des Auftraggebers bestätigen. Da

der Preis initial jedoch sehr niedrig ist, erfolgt eine Angebotsabgabe nur, wenn die Reichweite des potenziellen Auftragnehmers sehr weit von dessen optimalem Bereich entfernt ist. Das akzeptable Mindestgebot fällt damit ebenfalls sehr niedrig aus und der Auftragnehmer akzeptiert notgedrungen einen vergleichsweise niedrigen Preis (vgl. Abschnitt 6.3.2.2).

Wird ein Angebot abgegeben, prüft der Auftraggeber die Daten und bestätigt dies dem Versender. Sollte es nicht die nachgefragten Parameter enthalten, wird es abgelehnt und nicht weiter berücksichtigt. Nach Ablauf einer Frist prüft der Auftraggeber, ob und wie viele gültige Angebote eingegangen sind. Liegen keine oder mehrere Angebote vor, beginnt eine neue Runde in der Auktion mit einem erhöhten Preis. Diese inkrementelle Erhöhung wird solange fortgesetzt, bis nur noch ein gültiges Angebot vorliegt und der Auftragnehmer final feststeht. Der Auftrag wird diesem übersendet und anschließend alle Teilnehmer über das Ende der Auktion informiert. Erhält der Auftraggeber zu keinem Zeitpunkt ein Angebot, bricht dieser die Auktion ab, sobald der Bietspreis sein eigenes akzeptables Höchstgebot übersteigt (vgl. Abschnitt 6.3.2.1).

6.4.3 Simulationsbasierte Validierung des abgeleiteten Koordinationsmechanismus

Nachdem der Koordinationsmechanismus konzeptionell vorliegt, ist dieser im Rahmen einer geeigneten Simulationsstudie zu analysieren und so dessen Eignung für den angestrebten Verwendungszweck zu prüfen. Wie bereits in Abschnitt 6.4.1.1 diskutiert, finden sich in der Literatur diverse Schemata zur strukturierten Umsetzung von Simulationsstudien. Im vorliegenden Kapitel orientieren sich die Vorbereitung (Abschnitt 6.4.3.1) und die Durchführung (Abschnitt 6.4.3.2) der Simulationsstudie an den Vorgehensmodellen von Lorscheid/Heine/Meyer (2012, S. 30) und Law (2015, S. 67). Die Auswertung erfolgt entsprechend der von Law (2015, S. 632) beschriebenen Vorgehensweise.

6.4.3.1 Vorbereitung

Das Ziel der Simulationsstudie besteht darin, das Verhalten des Koordinationsmechanismus in unterschiedlichen Situationen zu verstehen und so dessen Eignung zu prüfen. Insbesondere ist es von Interesse, zu welchem Ergebnis der Mechanismus unter welchen Voraussetzungen führt und welche Faktoren einen wie starken Einfluss auf das Resultat besitzen. Zur systematischen Herangehensweise ist es üblich, die Variablen in *unabhängige Variablen*, *Kontrollvariablen* und *abhängige Variablen* zu untergliedern. Die unabhängigen Variablen oder Faktoren werden im Rahmen der Simulationsstudie verändert und deren Effekt auf die abhängigen Variablen untersucht. Kontrollvariablen besitzen ebenfalls Einfluss auf das Ergebnis, liegen jedoch nicht im Zentrum des Erkenntnisinteresses und werden deshalb über alle Experimente hinweg konstant gehalten. Die Tabelle 6 enthält die Klassifizierung der Variablen für die vorliegende Simulationsstudie.

Tabelle 6: Klassifizierung der Variablen

Unabhängige Variablen	Kontrollvariablen	Abhängige Variablen
Konkavität der Präferenz	Preisschritt je Runde	Marktpreis
Anzahl der Bieter	maximale Reichweite	Auszahlung Auftraggeber
Lage optimaler Reichweite	Bearbeitungszeit je Einheit	Auszahlung Auftragnehmer
Auftragsvolumen	Anzahl der Maschinen	Summe Auszahlungen
Breite optimaler Bereich		Simulationsdauer

Die Konkavität der Präferenz drückt aus, wie stark ein Unternehmen in Abhängigkeit der Entfernung zum optimalen Bereich sein Höchstgebot erhöht bzw. sein Mindestgebot verringert (vgl. Abbildung 50 und Abbildung 51). Anders formuliert, bringt diese Variable zum Ausdruck, wie stark die Entfernung der aktuellen Reichweite zum optimalen Bereich das akzeptable Höchst- bzw. Mindestgebot beeinflusst. Die Anzahl der Bieter als Variable soll betrachten, ob die Menge der Teilnehmer das Auktionsergebnis beeinflusst. Die Lage der optimalen Reichweite und die Breite des optimalen Bereichs werden ebenfalls betrachtet. Das Auftragsvolumen determiniert den Umfang eines zu vergebenden Auftrags. Nachdem das Ziel für die Simulationsstudie sowie die Klassifizierung der Variablen feststehen, muss die Festschreibung der Faktorstufen erfolgen. Die Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die für die vorliegende Simulationsstudie gewählten Faktorstufen.

Tabelle 7: Faktorstufen der Simulationsexperimente

Faktor	Faktorbezeichnung	-	+
1	Konkavität der Präferenz	G(+4,0; +6,0)	G(+9,0; +11,0)
2	Anzahl der Bieter	2	6
3	Lage optimaler Reichweite	G(+4,5; +5,5)	G(+3,5; +6,5)
4	Auftragsvolumen	N(+1,5; +10,0)	N(+1,5; +15,0)
5	Breite optimaler Bereich*	G(0,0; +1,0)	G(0,0; +3,0)

*nur absolute Werte

Gleichverteilung(Minimum, Maximum); Normalverteilung(Varianz, Erwartungswert)

Für jeden Faktor ist es erforderlich, eine niedrige (-) sowie eine hohe (+) Stufe zu definieren. Die beiden Niveaus des zweiten Faktors sind hierbei jeweils durch absolute Zahlen definiert. Die übrigen Faktoren werden in beiden Stufen durch eine Gleich- oder eine Normalverteilung abgebildet. Jedes Unternehmen legt diese Parameter für sich individuell fest, was in der Simulation über die Ziehung einer Zufallszahl aus den vorgegebenen Verteilungen berücksichtigt wird. In der niedrigen Stufe sind die Verteilungen der Faktoren 1, 3, 4 und 5 jeweils enger und in der hohen Stufe breiter. Dies kann für die spätere Analyse als ein homogeneres bzw. heterogenes Teilnehmerfeld interpretiert werden.

6.4.3.2 Durchführung

Die Auswahl eines geeigneten faktoriellen Versuchsplans ist der nächste Schritt in der Simulationsstudie. Dieser Plan stellt einerseits ein systematisches Vorgehen sicher und versetzt andererseits den Anwender in die Lage, effizient mit einer großen Anzahl an

Faktoren und Faktorstufen umzugehen (vgl. Lorscheid/Heine/Meyer 2012, S. 32). Sobald mehr als ein Faktor Gegenstand der Untersuchung ist, können Wechselwirkungen zwischen diesen bestehen, die sehr bedeutend für das Systemverhalten und damit dessen Verständnis sein können. Der faktorielle Versuchsplan erlaubt es, diese Effekte zu analysieren und besitzt damit nicht die bekannten Nachteile einer Analyse, die stets nur einen Faktor zurzeit verändert. Für die vorliegende Simulationsstudie wurde ein 2^k -Faktor-Design ausgewählt, das jeweils zwei Stufen (-/+) je Faktor untersucht. Insgesamt ergeben sich daraus 32 Experimente. Der vollständige Versuchsplan ist Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Versuchsplan für das 2^5 -Faktor-Design

Experiment	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
1	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	-
3	-	+	-	-	-
4	+	+	-	-	-
5	-	-	+	-	-
6	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-
8	+	+	+	-	-
9	-	-	-	+	-
10	+	-	-	+	-
11	-	+	-	+	-
12	+	+	-	+	-
13	-	-	+	+	-
14	+	-	+	+	-
15	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	-
17	-	-	-	-	+
18	+	-	-	-	+
19	-	+	-	-	+
20	+	+	-	-	+
21	-	-	+	-	+
22	+	-	+	-	+
23	-	+	+	-	+
24	+	+	+	-	+
25	-	-	-	+	+
26	+	-	-	+	+
27	-	+	-	+	+
28	+	+	-	+	+
29	-	-	+	+	+
30	+	-	+	+	+
31	-	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+

Bevor die Simulation in der zuvor beschriebenen Konfiguration ausgeführt werden kann, bedarf es einer Abschätzung der erforderlichen Anzahl an Simulationsläufen. Lorscheid/Heine/Meyer (2012, 33 f.) schlagen hierfür den Variationskoeffizienten (c_v) vor. Dieser ist definiert als das Verhältnis der Standardabweichung einer Anzahl an Messungen (s) zu deren arithmetischem Mittel (μ):

$$c_v = \frac{s}{\mu}$$

Dieser Variationskoeffizient kann nach unterschiedlich vielen Simulationsläufen berechnet und über unterschiedlich viele Läufe verglichen werden. Die Anzahl an Simulationsläufen, ab denen sich der Koeffizient „eingependelt“ hat und sich nicht mehr oder nur kaum verändert, markiert die Mindestanzahl an durchzuführenden Simulationsläufen. Mehr Durchläufe können dann zwar trotzdem durchgeführt werden, diese lassen jedoch keine deutliche Veränderung erwarten und sollten deshalb aus ökonomischen Gründen unterlassen werden. Für die vorliegende Simulationsstudie sind 1.000 Simulationsläufe ausreichend. Die Tabelle 9 zeigt die ermittelten Mittelwerte und Variationskoeffizienten in Abhängigkeit der Laufanzahl.

Tabelle 9: Mittelwert und Variationskoeffizient in Abhängigkeit der Simulationsläufe

Abhänge Variable	Maß	Simulationsläufe								
		10	50	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
Marktpreis	μ	6,50	9,60	10,35	9,62	9,73	9,65	9,60	9,57	9,53
	c_v	0,73	0,88	1,02	0,96	0,95	0,93	0,93	0,94	0,94
Auszahlung Auftraggeber	μ	414,93	398,09	404,17	378,94	376,61	364,98	360,76	357,96	356,75
	c_v	0,87	0,89	0,89	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96
Auszahlung Auftragnehmer	μ	24,24	27,76	28,00	28,83	28,75	29,56	29,47	29,67	29,74
	c_v	0,58	0,54	0,55	0,55	0,55	0,53	0,53	0,53	0,53
Summe der Auszahlungen	μ	439,17	425,85	432,18	407,77	405,36	394,54	390,23	387,64	386,49
	c_v	0,83	0,83	0,83	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89
Simulationsdauer	μ	23,10	29,30	30,80	29,34	29,56	29,40	29,30	29,25	29,17
	c_v	0,41	0,58	0,69	0,63	0,62	0,61	0,61	0,62	0,62

Als Simulationsumgebung für die vorliegende Simulationsstudie wird die Software AnyLogic²⁷ gewählt. Die Software bietet die Möglichkeit, System Dynamics, eventdiskrete Simulation und agentenbasierte Simulation in einem Modell zu kombinieren. Auch wenn für die vorliegende Arbeit der agentenbasierte Ansatz im Vordergrund steht, ist eine Kombination mit eventdiskreten Bestandteilen zur Modellierung der unternehmensinternen Produktionsprozesse hilfreich. Darüber hinaus erlaubt die Software eine Modifizierung der vordefinierten Elemente und eine flexible Erweiterung durch die Java-Programmiersprache. Auch die Visualisierung der Prozesse ist mit geringem Aufwand möglich und die Sicherung der erzeugten Daten durch eine integrierte Datenbank ebenfalls gegeben. Ferner können Experimente mit unterschiedlichen Parameterkonfigurationen automatisiert ausgeführt werden, sodass die Software alle gestellten Anforderungen erfüllt.

Die Implementierung des erforderlichen Simulationsmodells ist aufwendig und unterliegt einer Vielzahl von Schritten, bis das Modell alle erforderlichen Elemente beinhaltet. Um die Funktionsweise des Modells zu verifizieren und einen fehlerfreien Ablauf sicherzustellen, ist das Modell erstens modular aufgebaut und zweitens werden verschiedene numerische

²⁷ www.anylogic.com

Test durchgeführt. Neben der analytischen Überprüfung der simulierten Werte finden die von Sterman (2000, S. 860) beschriebenen Extremwert- und Zeitschritttests Anwendung.

6.4.3.3 Auswertung

Die Ausführung des Versuchsplans liefert 1.000 Messwerte je Experiment für die betrachteten abhängigen Variablen: *Marktpreis*, *Auszahlung des Auftraggebers*, *Auszahlung des Auftragnehmers*, *Summe der Auszahlungen* und *Dauer des Simulationslaufs*. Die Ergebnisse der Simulationsläufe weisen dabei deutliche Unterschiede über alle betrachteten abhängigen Variablen hinweg auf. Wichtig zu betonen ist, dass die individuellen Auszahlungen der Auftraggeber sowie Auftragnehmer und damit auch die Summe der Auszahlungen über alle Experimente hinweg positiv sind. Folglich ist kein Teilnehmer der Auktion schlechter gestellt als vorher. Der Mechanismus allokiert den Auftrag also nur dann, wenn sich daraus eine für beide Seiten nutzenstiftende Konstellation ergibt. Die Abbildung 54 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für den Marktpreis und die Summe der Auszahlungen.

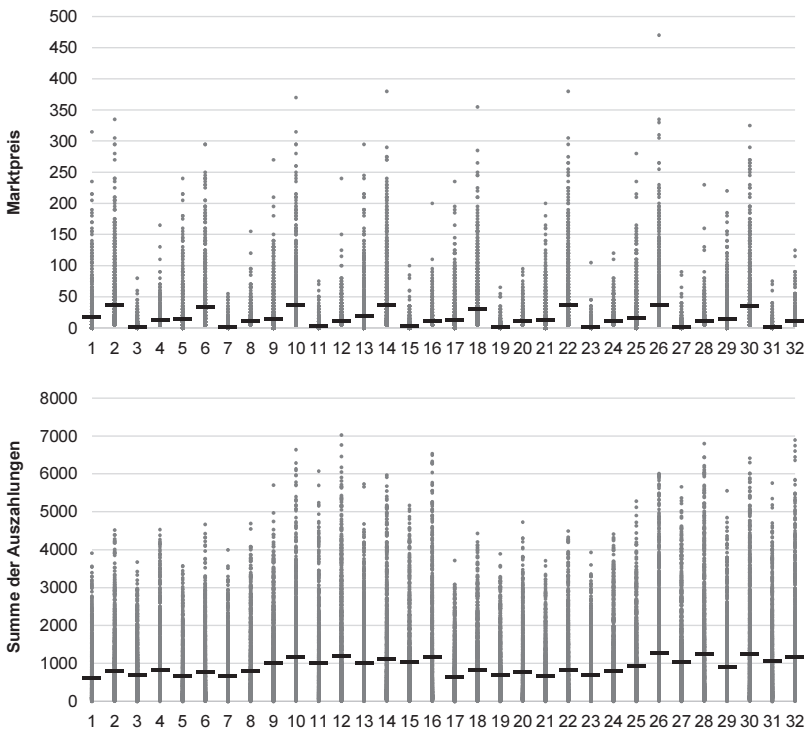


Abbildung 54: Auszug aus den Ergebnissen der 32 Simulationsexperimente

Da die deskriptive Betrachtung der Simulationsergebnisse nur einen begrenzten Einblick in die Zusammenhänge liefert, schließt sich nachfolgend eine Effektanalyse an. Lorscheid/Heine/Meyer (2012, S. 53) schlagen hierfür eine Varianzanalyse (eng. Analysis of Variance – ANOVA) vor. Diese erfordert jedoch u. a., dass sich die Varianz über die verschiedenen Messwertpopulationen nicht verändert. Nach Begutachtung der Messwertverteilung und einiger initialer Tests ist diese Anforderung für die erzeugten Daten nicht erfüllt. Eine ANOVA scheidet damit für die Analyse des vorliegenden Datensatzes aus.

Law (2015, S. 637) adressiert dieses Problem und zeigt auf, dass eine gleichbleibende Varianz in vielen Simulationsstudien keine sinnvolle Annahme ist und schlägt ein alternatives Verfahren zur Bestimmung der Effektstärken vor. Diese Herangehensweise, welche auf die Ermittlung von Konfidenzintervallen abzielt, wird auf den generierten Datensatz angewendet. Abbildung 55 zeigt die Haupteffekte und 2-Faktor-Wechselwirkungen für den generierten Datensatz. Die Konfidenzintervalle kennzeichnen dabei den Bereich, in dem mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % stets der jeweilige Effekt liegt. Die Effekte bezüglich der Simulationsdauer verhalten sich vollständig analog zur Höhe des Marktpreises, sodass auf eine zusätzliche Darstellung verzichtet wird.

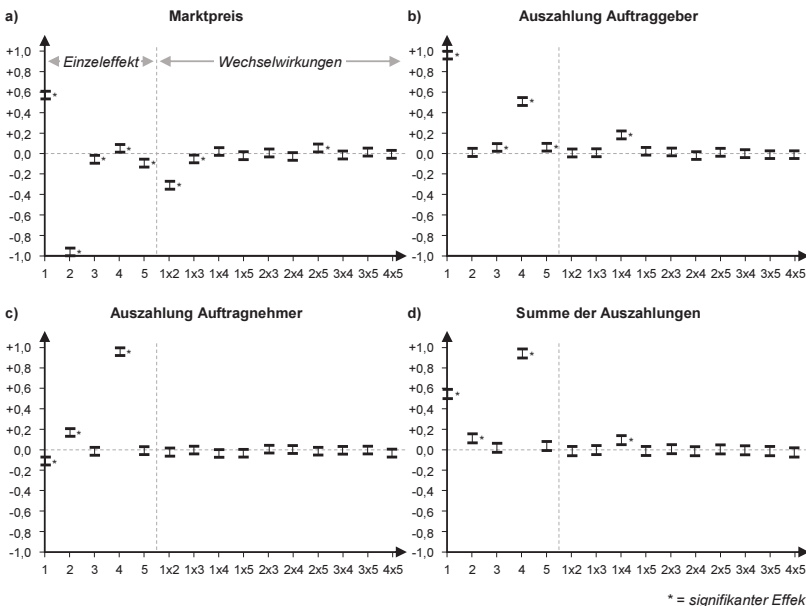


Abbildung 55: Normierte Haupteffekte und 2-Faktor-Wechselwirkungen (1 = Konkavität der Präferenz, 2 = Anzahl der Bieter, 3 = Lage optimaler Reichweite, 4 = Auftragsvolumen, 5 = Breite optimaler Bereich)

Aufgrund der Vielzahl an signifikanten Effekten, werden lediglich die prägnantesten Effekten betrachtet. Mit Blick auf den *Marktpreis* (a) besitzt die Konkavität der Präferenz einen

erkennbaren Effekt. Je höher diese im Mittel ausfällt, desto höher ist auch der Marktpreis. Den größten Effekt auf den Marktpreis besitzt allerdings die Anzahl der Bieter. Je mehr Bieter an der Auktion teilnehmen, desto geringer ist im Mittel der Marktpreis. Die Faktoren 1 und 2 weisen darüber hinaus eine Wechselwirkung auf, beeinflussen sich also gegenseitig. Die *Auszahlung des Auftraggebers (b)* wird positiv vor allem durch die gesetzte Konkavität der Präferenz beeinflusst. Auch das Auftragsvolumen trägt zur Erhöhung der Auszahlung des Auftraggebers bei. Mit Blick auf den *Auftragnehmer (c)* ergibt sich eine höhere Auszahlung mit steigender Bieteranzahl. Dies liegt darin begründet, dass der Mechanismus stets den geeignetsten Bieter, also denjenigen mit der geringsten Reichweite, selektiert. Entsprechend besitzt dieser einen höheren Bedarf und damit ebenfalls eine höhere Auszahlung. Ein höheres Auftragsvolumen hat indessen ebenfalls einen positiven Effekt. Die *Summe der Auszahlungen (d)*, die insgesamt möglichst hoch sein sollte, wird vor allem durch eine hohe Konkavität der Präferenz sowie ein hohes Auftragsvolumen positiv beeinflusst.

Neben der Beschreibung der Effekte ergeben sich hieraus wesentliche Erkenntnisse für die Ausgestaltung der Kooperation und Koordination mithilfe des entwickelten Mechanismus. Zunächst sollte der Auftragnehmer eine gewisse Mindestanzahl an potenziellen Auftragnehmern anfragen, damit der Marktpreis nicht zu hoch wird bzw. die Auktion erfolgreich abgeschlossen werden kann. Die Auszahlung des finalen Auftragnehmers wird davon nicht negativ beeinflusst – das Ergebnis bleibt also für alle Beteiligten fair. Bei der Festlegung der Konkavität der Präferenz sollten die Unternehmen sowohl in der Rolle des Auftragnehmers als auch in der des Auftraggebers große Sorgfalt walten lassen. Die ausgewählten Werte haben deutlichen Einfluss auf den Marktpreis, auf die jeweilige Auszahlung und damit auf den Erfolg einer Auktionsteilnahme. Da die optimale Reichweite insgesamt keinen großen Einfluss besitzt, ist es nicht erforderlich, diese Größe bei der Auswahl der Kooperationspartner zu beachten. Gleiches gilt für die Breite des optimalen Bereichs. Die Kooperationspartner können in dieser Hinsicht also sowohl homogen als auch heterogen verteilt sein. Der Mechanismus funktioniert in beiden Szenarien stabil, wie die Ergebnisse zeigen. Das Auftragsvolumen sollte eher groß als klein gewählt werden, da so die Auszahlungen für beide Seiten erhöht werden können. Darüber hinaus verteilen sich die Transaktionskosten einer Verlagerung auf mehr Auftragspositionen bzw. Bauteile, sodass sich auch die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens weiter erhöht. Auf Basis der Beobachtungen kann insgesamt festgehalten werden, dass der Mechanismus stets für alle Teilnehmer zu positiven Resultaten führt und nur eine handhabbare Anzahl an Stellgrößen bei der Einführung berücksichtigt werden muss.

6.5 Modul E – Bewertung und Beauftragung

Für den Fall einer erfolgreichen Koordination stehen der Auftraggeber und der Auftragnehmer nun kurz davor, tatsächlich eine Freigabe für die Kooperation bezüglich des verhandelten Auftrags zu erteilen. Damit die Auswirkungen einer Verlagerung auf beiden Seiten vorher bekannt sind und es bei der Auftragsabwicklung zu keinen Schwierigkeiten kommt, erfolgt im Modul E eine finale Bewertung. Die notwendigen Informationen über

Preise und Verfügbarkeit von Kapazitäten sind zu diesem Zeitpunkt bereits bekannt. Das Modul betrachtet die Perspektive des Auftraggebers und des Auftragnehmers separat in Abschnitt 6.5.1 bzw. Abschnitt 6.5.2.

6.5.1 Bewertung aus Perspektive des Auftraggebers

Liegt ein passendes Angebot vor, sollte der Auftraggeber vor der tatsächlichen Vergabe erstens die Durchführbarkeit des Auftrags prüfen sowie zweitens eine Verlagerung gegen eine Nicht-Verlagerung abwägen. Dies ist erforderlich, damit die Kooperation stets einen positiven Einfluss auf die Logistikleistung sowie die Logistikkosten des Unternehmens hat. Außerdem kann in diesem Schritt der Mensch als letzter Entscheider die Kontrolle über die Abläufe wahren, wie es von den Praktikern gefordert wird (vgl. Abschnitt 5.1). Entscheidende Einflussfaktoren für die Auswertung sind in diesem Fall die Termin- und Kapazitätsplanung, die Logistik sowie die Wirtschaftlichkeit (vgl. Abschnitt 5.4.3).

Die Prüfung der grundsätzlichen Durchführbarkeit fußt auf den in Modul A ermittelten Anforderungen der Produkte und Teile sowie den in Modul B ausgewählten Kooperationspartnern. Die Verfügbarkeit der zur Herstellung der Produkte notwendigen Werkstoffe, Hilfsmittel, Betriebsstoffe etc. muss im Einzelfall vor der Verlagerung überprüft werden. Dies kann mithilfe einer Checkliste erfolgen, für die sich in Abbildung 56 eine beispielhafte Ausgestaltung findet. Sofern erforderlich, sind diesbezügliche Informationen beim potenziellen Auftragnehmer anzufragen, sodass hier auch ein persönlicher Kontakt entsteht. Ohnehin müssen sich Auftraggeber und Auftragnehmer über die Details des Auftrags verständigen, sodass spätestens zu diesem Zeitpunkt ein Austausch zwischen den jeweiligen Ansprechpartnern stattfinden sollte.

#	Frage	relevant?	Check?
1	Nötige Werkstoffe beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
2	Nötige Vorrichtungen beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
3	Nötige Werkzeuge beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
4	Nötige Ladungsträger beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
5	Nötige Betriebsstoffe beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
6	Nötige Hilfsstoffe beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	nein	
7	Nötige Lagerplätze beim Auftragnehmer vorhanden oder bereitstellbar?	ja	✓
8	Auftrag insgesamt logistisch umsetzbar?		✓

Abbildung 56: Checkliste zur Prüfung der logistischen Durchführbarkeit

Die Abwägung über eine Fremdvergabe erfordert hingegen eine differenziertere Betrachtung. Insbesondere sind an dieser Stelle die externe Logistikleistung sowie die

Wirtschaftlichkeit beider Varianten zu betrachten. Zur Lösung dieser multikriteriellen Entscheidung eignet sich die Überführung des Problems in einen Analytischen Hierarchieprozess (AHP) nach Saaty (1980). Anhand eines AHP können Entscheidungen zwischen unterschiedlichen Alternativen in komplizierten Zusammenhängen vereinfacht und die Entscheidungsfindung strukturiert werden. In Abbildung 57 ist ein AHP beispielhaft für den betrachteten Kontext dargestellt.

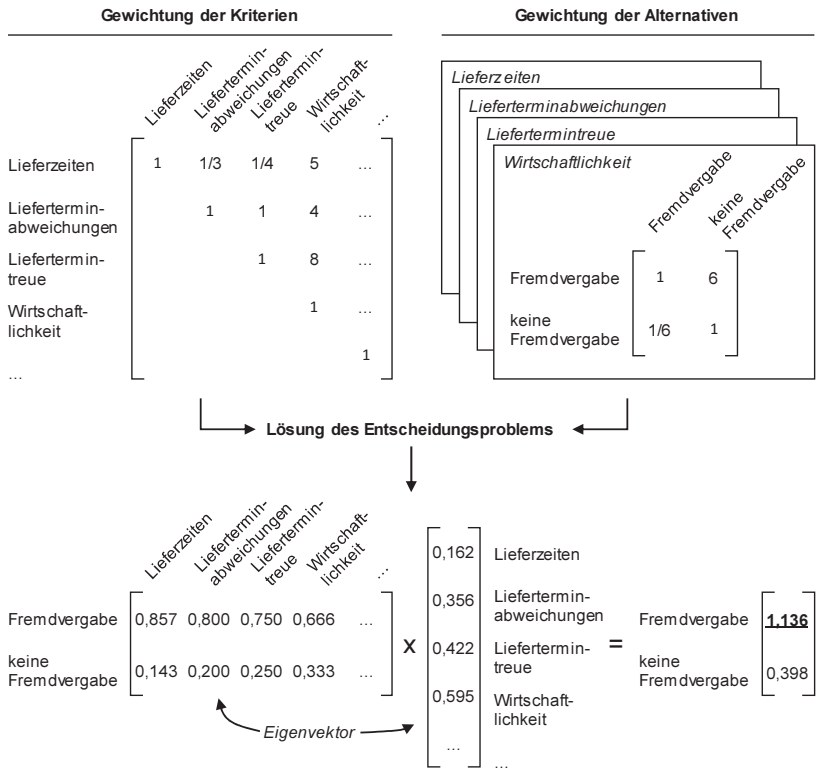


Abbildung 57: Analytischer Hierarchieprozess zur Bewertung der Alternativen

Da die Methodik aufgrund ihrer universellen Anwendbarkeit bereits in vielen Bereichen Verwendung findet und entsprechend umfassend dokumentiert ist, enthält die Abbildung lediglich eine Kurzdarstellung. Die Methodik basiert auf dem paarweisen Vergleich von Kriterien und Alternativen mittels einer vordefinierten Skala. Zunächst erfolgt eine Gewichtung der Kriterien (hier: Lieferzeiten, Lieferterminabweichungen, Liefertermintreue und Wirtschaftlichkeit) im jeweiligen Vergleich zueinander. Anschließend werden die Alternativen (hier: „Fremdvergabe“ und „keine Fremdvergabe“) gegeneinander und je

Kriterium verglichen. Nach Berechnung der Eigenvektoren können die sich ergebenden Matrizen multipliziert und die Alternativen mit der höheren Bewertung ausgewählt werden.

Für die Bewertung der externen Logistikleistung bedarf es einer Abschätzung der Lieferzeiten, Lieferterminabweichungen sowie der Liefertermintreue insgesamt für alle Aufträge im Bestand, die von einer Verlagerung betroffen wären bzw. sind. Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit bedarf es der Berücksichtigung einer Vielzahl an Kostenpositionen des Vergabeauftrags. Der Erlös durch den Verkauf an den Endkunden muss dabei den Fertigungs- und Montagekosten, Transaktionskosten, Transportkosten und Verzugskosten gegenübergestellt werden.

6.5.2 Bewertung aus Perspektive des Auftragnehmers

Der Auftragnehmer muss vor der Auftragsannahme ebenfalls einige weitere Schritte unternehmen. Zunächst ist er angehalten, wie in Abschnitt 6.5.1 bereits erläutert, die zu erwartende Lieferzeit an den Auftraggeber zu übermitteln und die logistische Durchführbarkeit zu prüfen. Ferner muss der Auftragnehmer eine Plausibilitätsprüfung vornehmen, damit eine problemlose Durchführung des Auftrags erwartet werden kann. Dies beinhaltet die Sichtung der Auftragsunterlagen und – sofern erforderlich – die Beschaffung zusätzlicher Informationen vom Auftraggeber. Auch die Wirtschaftlichkeit ist erneut zu überprüfen. Hier können die Erlöse des Auftrags den zu erwartenden Betriebsmittelkosten, Personalkosten und Kosten für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe gegenübergestellt werden. Sollte die Differenz nicht positiv sein, kann der Auftragnehmer zu diesem Zeitpunkt noch von der Kooperation zurücktreten. Sollten beim Auftragnehmer durch den zusätzlichen die übrigen Aufträge stark beeinflusst werden, kann dieser ebenfalls nach dem in Abschnitt 6.5.1 vorgestellten Schema vorgehen.

6.6 Gesamtübersicht

Für eine übersichtliche Darstellung der wichtigsten Methodenbestandteile enthält Abbildung 58 die erweiterte Gesamtstruktur der Methode. Diese Gesamtübersicht soll es dem Anwender vereinfachen, die Zusammenhänge zwischen den Modulen vollends zu verstehen und damit den erfolgreichen Einsatz sicherzustellen. Die Abbildung verzichtet aus Darstellungsgründen auf die Visualisierung der Teilmodule, die den detaillierten Modulbeschreibungen in Abschnitt 6.1 bis 6.5 zu entnehmen ist. Im nachstehenden Kapitel 7 wird die entwickelte Methode hinsichtlich ihrer Inhalte und Anwendbarkeit evaluiert.

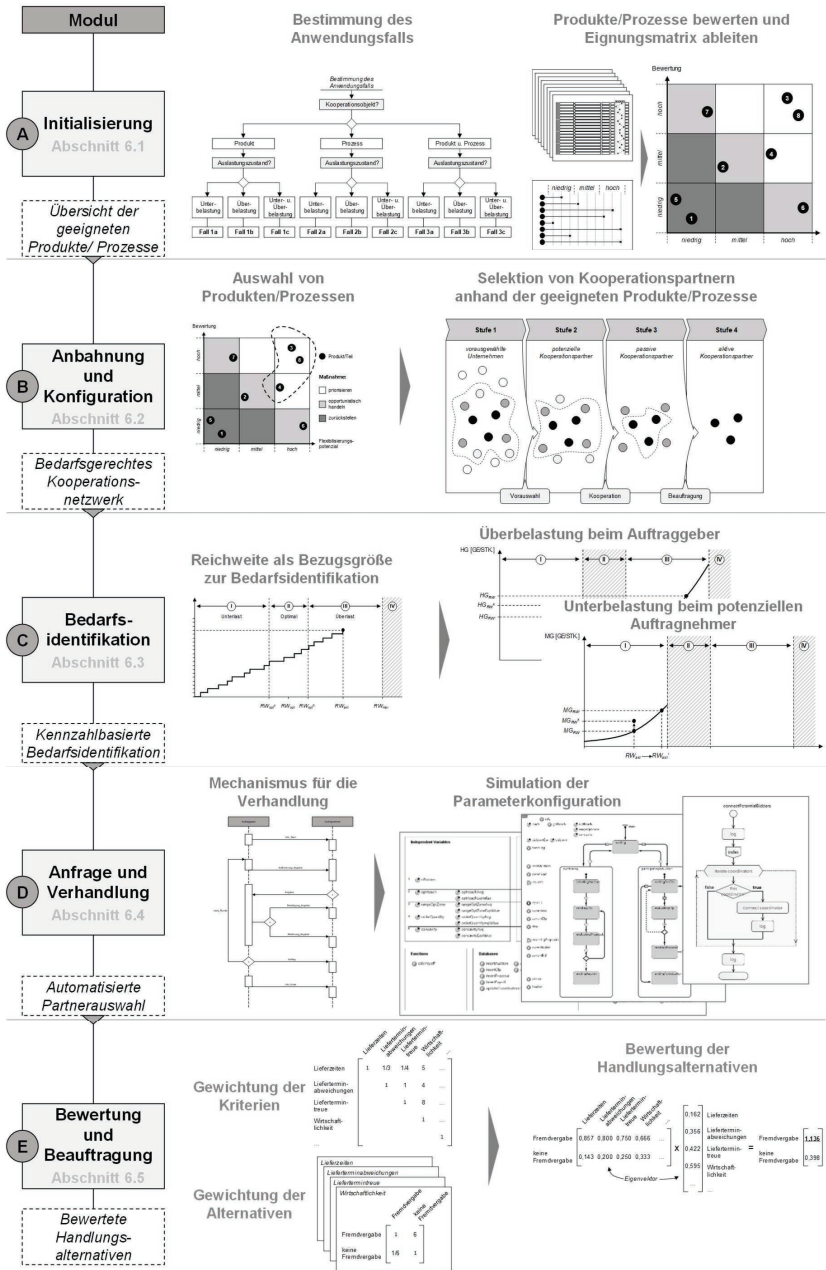


Abbildung 58: Erweiterte Gesamtstruktur der Methode

7 EVALUATION DER METHODE

Die Evaluation der Methode gliedert sich in einen verifizierenden und einen validierenden Teil. Die Verifikation in Abschnitt 7.1 überprüft, ob die Methode die gestellten Vorgaben erfüllt und ob sie zum Abbau der Hindernisse bei der unternehmensübergreifenden Kooperation beiträgt. Die Validierung in Abschnitt 7.2 kontrolliert die Funktionsweise und Anwendbarkeit der Methode. Im abschließenden Abschnitt 7.3 erfolgt eine kritische Würdigung der während der Verifikation sowie der Validierung gewonnenen Ergebnisse.

7.1 Verifikation

Die Verifikation dient der Überprüfung des Methodeninhalts anhand der gesetzten Spezifikationen und erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt sieht den Abgleich der Methode mit den aus den Anforderungen der Praktiker abgeleiteten Vorgaben vor (vgl. Abschnitt 5.2). Um der Verifikation eine weitere Dimension hinzuzufügen und so deren Güte zu erhöhen, betrachtet der zweite Schritt, ob die Methode zur Reduzierung der allgemeinen Hindernisse einer unternehmensübergreifenden Kooperation beiträgt (vgl. Abschnitt 5.1.3.2). Das Ergebnis der Bewertung zeigt Abbildung 59 und eine kurze Erläuterung erfolgt nachstehend.

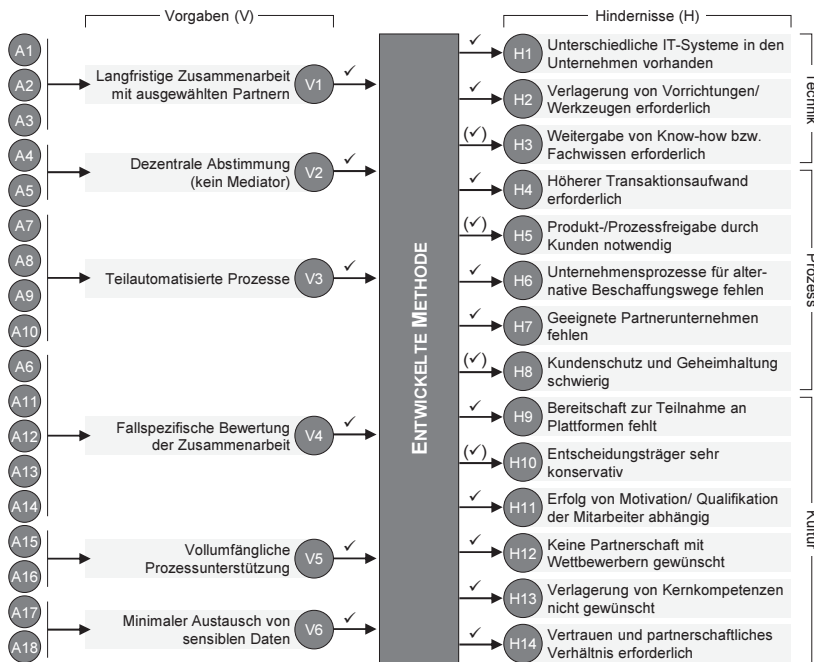


Abbildung 59: Verifikation der entwickelten Methode

Wie aus der Abbildung hervorgeht, erfüllt die entwickelte Methode die gesetzten *Vorgaben*. Durch den strukturierten Partnerauswahlprozess und die grundsätzliche Ausrichtung der Methode auf ein gezieltes Abfragen der infrage kommenden Unternehmen setzt die Methode auf eine langfristige Zusammenarbeit mit ausgewählten Partnern als Basis (V1). Eine zentrale Entität benötigt der entwickelte Koordinationsmechanismus ebenfalls nicht, sondern führt allein durch eine direkte und automatisierte Kommunikation zwischen den Unternehmen zu einer geeigneten Auftragsallokation (V2). Die letzte Freigabe liegt dennoch durch die Abwägung der Alternativen beim menschlichen Entscheider, sodass die erarbeitete Lösung insgesamt als teilautomatisiert bezeichnet werden kann (V3). Darüber hinaus wird jede Zusammenarbeit bzw. jeder Auftrag individuell sowie im Kontext der jeweiligen Situation bewertet und erfüllt damit eine weitere wichtige Vorgabe (V4). Die vollumfängliche Prozessunterstützung stellt die Methode einerseits durch das zugrunde gelegte Phasenmodell sowie die daran angelehnte Modularchitektur und andererseits durch die umfassende Berücksichtigung der Einflussfaktoren sicher (V5). Durch den entwickelten Koordinationsmechanismus ist ferner keine Offenlegung der aktuellen Auslastung durch die Kooperationspartner notwendig und auch den verhandelten Preis kennen nur die beiden Vertragsparteien. Der umfangreiche Austausch sensibler Daten entfällt damit (V6).

Neben den erfolgskritischen Vorgaben, die sich aus den empirisch erhobenen Anforderungen ergeben, können des Weiteren allgemeine *Hindernisse* der unternehmensübergreifenden Kooperation zur Verifikation der Methode herangezogen werden. Es gilt daher zu prüfen, ob die Methode die Hindernisse adressiert und zu deren Abbau beiträgt. Der nachstehende Absatz geht hierzu auf ausgewählte Hindernisse ein.

Unterschiedliche IT-Systeme stellen für die entwickelte Methode keine Hürde dar (H1). Sie ist universell einsetzbar, bedarf aber der Übertragung der aktuellen Reichweite und damit der Entwicklung geeigneter Schnittstellen zu den existierenden Systemen. Die Weitergabe von Fachwissen oder Know-how ist je nach Anwendungsfall und Spezifikation der Bauteile auch bei der entwickelten Methode erforderlich. Das Modul A berücksichtigt dieses Hindernis jedoch in der Initialisierungsphase (H3). Analog verhält es sich auch bei der Produkt-/Prozessfreigabe durch den Kunden (H5), die je nach Branche und Vereinbarung eingeholt werden muss. Die fehlende Bereitschaft zur Teilnahme an Plattformen aufgrund einer rigiden Informationspolitik (H9) stellt – analog zu V2 – indes kein Problem dar, da die Methode keine benötigt. Auch der Erfolg einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit ist bei der entwickelten Methode nicht mehr überwiegend von den Mitarbeitern abhängig, da die Koordination automatisiert abläuft und auch die sonstigen Aspekte durch die Struktur vorgegeben sind (H11).

Infolge der Verifikation kann festgehalten werden, dass die entwickelte Methode die aus den Anforderungen abgeleiteten Vorgaben vollumfänglich erfüllt. Ferner lassen sich viele der Hindernisse einer Kooperation bei Unter- oder Überbelastung durch ihre Anwendung ausräumen oder zumindest reduzieren. Nach dieser inhaltlichen Prüfung unterzieht der folgende Abschnitt die Methode einer funktionellen Validierung.

7.2 Validierung

Die Validierung in diesem Abschnitt dient der Prüfung der grundsätzlichen Funktionsweise und praktischen Anwendbarkeit der Methode. Aufgrund der qualitativen und quantitativen Bestandteile greift die Validierung dafür auf zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zurück. Während die Validierung der Anwendbarkeit im Rahmen von Fokusgruppen mit Unternehmen der Zielgruppe erfolgt (Abschnitt 7.2.1), überprüft ein experimenteller Test mit einem dafür entwickelten Demonstrator die Funktionsweise sowie die Implikationen des Methodeneinsatzes auf wichtige logistische Kennzahlen (vgl. Abschnitt 7.2.2).

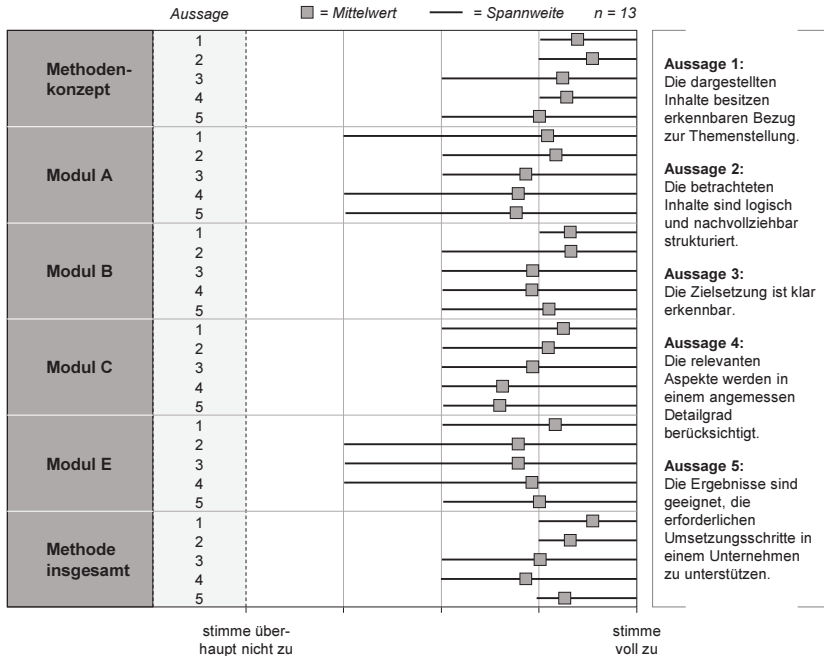
7.2.1 Teil 1 – Validierung mittels Fokusgruppen

Der erste Teil der Validierung widmet sich der Frage, ob die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten mittels der entwickelten Methode in der Praxis umgesetzt werden kann. Für die Beantwortung dieser Fragestellung wurde das Format der Fokusgruppe mit Experten ausgewählt. Diese Form der moderierten Gruppendiskussion erlaubt es, die konzeptionellen Inhalte der Methode ausführlich vorzustellen und von den Experten bewerten zu lassen. Gleichzeitig lassen sich Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Teilnehmer für eine anschließende Nachbereitung festhalten. Um eine ausreichende Anzahl von Experten zu befragen, fand eine Fokusgruppe im Juni und eine im September 2018 statt. Insgesamt nahmen 13 Vertreter aus Unternehmen der Zielgruppe sowie unterschiedlichen Fachbereichen an den drei- bis vierstündigen Veranstaltungen teil, sodass eine interdisziplinäre Sicht auf die vorgestellten Inhalte vorlag. Die Workshops fanden im Rahmen des Hamburger Kompetenzzentrums Mittelstand 4.0²⁸ statt.

Inhaltlich orientieren sich die Fokusgruppen an dem Methodenkonzept sowie den Modulen A, B, C und E. Das Modul D eignet sich nicht zur Evaluation im Rahmen einer Fokusgruppe, weshalb die quantitative Bewertung der simulationsbasierten Elemente in Abschnitt 7.2.2 erfolgt. Die Vorstellung der entwickelten Inhalte in den Fokusgruppen fand in Form eines Vortrags mit Raum für Fragen und Anmerkungen statt. Nach jedem inhaltlichen Abschnitt folgte eine ausführliche Diskussionsrunde.

Die Dokumentation der Workshops umfasst jeweils ein Fotoprotokoll der erstellten Inhalte und ein schriftliches Protokoll der Diskussion. Darüber hinaus wurde ein Evaluationsbogen entwickelt. Dieser erlaubte den Teilnehmern eine anonymisierte, quantifizierte Bewertung der Inhalte. Der Fragebogen beinhaltet dieselben fünf Aussagen für jedes der zu evaluierenden Module und die Teilnehmer konnten ihre Zustimmung oder Ablehnung zu den Formulierungen am Ende jeder Diskussionsrunde festhalten. Hierfür stand ihnen eine fünfstufige Likert-Skala zur Verfügung. Die Abbildung 60 zeigt das Ergebnis der Evaluation durch die Sitzungsteilnehmer der Fokusgruppe.

²⁸ Das Hamburger Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0 ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördertes Projekt, das sich insbesondere an KMU in der Metropolregion Hamburg richtet und diese bei der Digitalisierung von Prozessen und Produkten unterstützt (<https://www.kompetenzzentrum-hamburg.digital>).

Abbildung 60: Evaluationsergebnis der qualitativen Methodenbestandteile²⁹

Für das Methodenkonzept stimmen die Teilnehmer den Aussagen insgesamt zu. Dies spiegelt auch die Diskussion mit den Teilnehmern während des Workshops wider. Die Aufteilung in einen strategischen und operativen Teil (Module A und B bzw. C, D und E) erscheint den Teilnehmern als sinnvoll und praktikabel. Für das Modul A, das die Phase der Initialisierung strukturiert, stimmen die Teilnehmer den Aussagen etwas weniger deutlich zu. Als Kritikpunkte bringen die Praktiker an, dass es bei sehr kleinen Unternehmen keiner so starken Strukturierung bedürfe, da die Anzahl der Produkte bzw. Teile und Prozesse überschaubar sei. Dessen ungeachtet ist eine initiale, nach innen gerichtete Betrachtung erforderlich, um im nächsten Schritt gezielt geeignete Kooperationspartner auszuwählen. Für die übrigen Module stimmen die Teilnehmer den Aussagen überwiegend zu. In der abschließenden übergreifenden Bewertung der Methode bestätigen die Teilnehmer die Aussagen ebenfalls mehrheitlich. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die entwickelte Methode dazu geeignet ist, die Kooperation und Koordination zur unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten in der Praxis umzusetzen.

²⁹ Modul D ist von der Bewertung ausgeschlossen und wird, wie bereits erläutert, in Abschnitt 7.2.2 separat evaluiert.

7.2.2 Teil 2 – Validierung mittels Demonstrator

Der zweite Teil der Validierung beantwortet die Frage, welchen Einfluss die kooperative Nutzung von Fertigungsressourcen auf die Logistikleistung bzw. -kosten der Unternehmen hat. Eine Validierung im Realbetrieb wäre mit erheblichem (zeitlichen) Aufwand verbunden, sodass hierfür erneut auf das Werkzeug der *Simulation* zurückgegriffen wird. Zur Beantwortung der Frage eignet sich die Modellierung eines Verbunds unabhängiger Unternehmen und dessen Implementierung in einen simulationsbasierten Demonstrator. Eine Simulationsstudie erlaubt anschließend den Vergleich der beiden *Szenarien 1* und 2, also ohne bzw. mit kooperativer Nutzung der Kapazitäten. Die Abbildung 61 stellt das Referenzmodell in beiden Szenarien beispielhaft mit vier Unternehmen im Verbund bildlich dar.

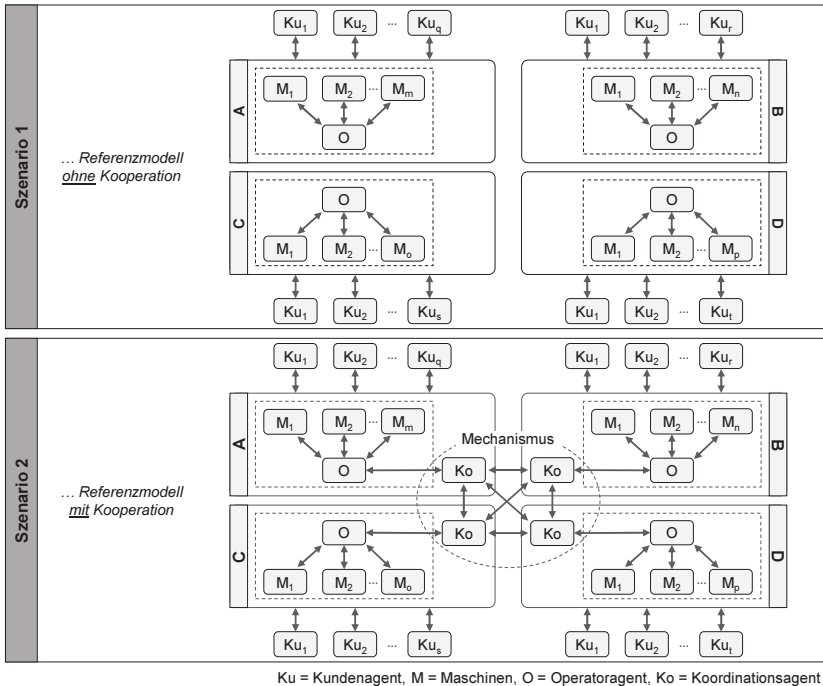


Abbildung 61: Szenarien der Simulationsstudie

Ausgangspunkt für die Validierung ist die Modellierung eines Referenzmodells, das den Unternehmensverbund in geeigneter Weise abstrahiert. Im vorliegenden Fall leitet sich dieses aus der in Abschnitt 5.3 dargestellten Funktionsskizze ab. Jedes Unternehmen erfüllt die Aufträge seiner eigenen Kunden (Kundenagenten) mit den jeweils zur Verfügung stehen Maschinen oder Anlagen. Der Operatoragent teilt die Aufträge zur Vereinfachung nach einem strengen First-in-First-out-Prinzip den Maschinen zu. Die von den Kundenagenten ausgehende Nachfrage weist dabei gewisse Schwankungen auf (vgl.

Abbildung 62). Im Szenario 2 steht den Unternehmen ergänzend jeweils ein Koordinationsagent zur Verfügung, welcher die Anfrage und Verhandlung mit den Koordinationsagenten der Kooperationspartner im Bedarfsfall übernimmt. Den Ablauf regelt der in Modul D entwickelte Koordinationsmechanismus.

Um die Auswertung handhabbar zu halten, beschränkt sich die vorliegende Betrachtung auf ausgewählte unabhängige und abhängige Variablen. Den Anspruch einer vollständigen Simulationsstudie mit einem faktoriellen Versuchsplan wie in Abschnitt 6.4 erhebt diese Analyse nicht. Vielmehr ist die Evaluation als „Proof of Concept“ zu verstehen und hat validierenden Charakter. Die technische Verifikation des Simulationsmodells erfolgt durch die in Abschnitt 6.4.3.2 genannten Verfahren nach Sterman (2000, S. 860).

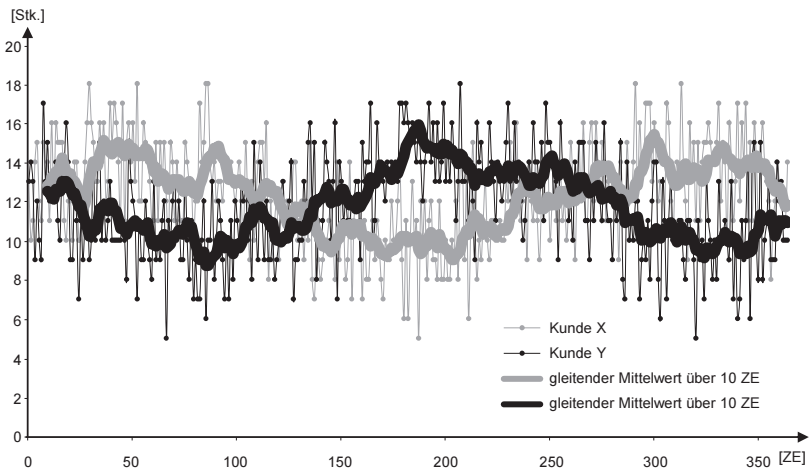


Abbildung 62: Beispielhafte Nachfrage zweier Kunden unterschiedlicher Unternehmen

Die Nachfrageverläufe sind, wie in der Abbildung dargestellt, für jeden Kunden individuell und basieren auf Verteilungen von Zufallszahlen. Dabei weisen die Werte kurzfristige Schwankungen sowie saisonale Trends auf, um einen möglichst realitätsnahen Verlauf abzubilden. Zusätzlich zu den Einzelwerten für ein Jahr enthält die Abbildung den gleitenden Mittelwert zur besseren Veranschaulichung. Als unabhängige Variable wird das Kooperationsverhalten (ohne Kooperation / mit Kooperation) definiert. Die Vielzahl an Kontrollvariablen umfassen beispielsweise die Anzahl der Maschinen je Unternehmen oder auch die optimale Reichweite des Auftragsbestands. Diese Angaben fungieren als Inputparameter für den Demonstrator und werden zur Vereinfachung über alle Simulationsläufe konstant gehalten. Die festgelegten Werte, auf denen die Ergebnisse in diesem Abschnitt basieren, sind Tabelle 10 zu entnehmen. Die insgesamt zehn Produktionsunternehmen besitzen jeweils fünf Maschinen und Kunden. Die übrigen Parameterwerte sind Zufallszahlen einer Gleichverteilung und wurden aus Darstellungsgründen auf zwei Dezimalstellen gekürzt.

Tabelle 10: Inputparameter für den simulationsbasierten Demonstrator

Produktionsunternehmen	Anzahl der Maschinen	Anzahl der Kunden	Maximale Reichweite	Optimale Reichweite	Breite des optimalen Bereichs	Konkavität der Präferenz
	[Stk.]	[Stk.]	[ZE]	[ZE]	[ZE]	[-]
0	5	5	10,00	4,91	0,60	6,66
1	5	5	10,00	5,44	0,96	6,98
2	5	5	10,00	5,27	0,82	5,78
3	5	5	10,00	4,50	0,76	8,71
4	5	5	10,00	4,70	0,81	5,92
5	5	5	10,00	5,47	0,62	6,97
6	5	5	10,00	4,53	0,79	8,27
7	5	5	10,00	4,87	0,73	6,66
8	5	5	10,00	5,40	0,75	7,45
9	5	5	10,00	4,70	0,58	7,74

Die Implementierung des Modells erfolgt wie in Abschnitt 6.4.3 in der Software AnyLogic. Insgesamt umfasst der Demonstrator mehrere Ebenen, die von der übergeordneten Hauptebene (Main) über komplexe Agenten, wie z. B. den Koordinationsagenten (Coordinator), bis zu einzelnen Funktionen (Functions) reichen. Die Abbildung 63 enthält zur Veranschaulichung einige ausgewählte Screenshots. Auch wenn die Zwischen- und Endergebnisse in einer Datenbank gespeichert werden, bietet der Demonstrator eine Animation wichtiger Kennzahlen je Unternehmen sowie der Übertragung von Angeboten und Aufträgen.

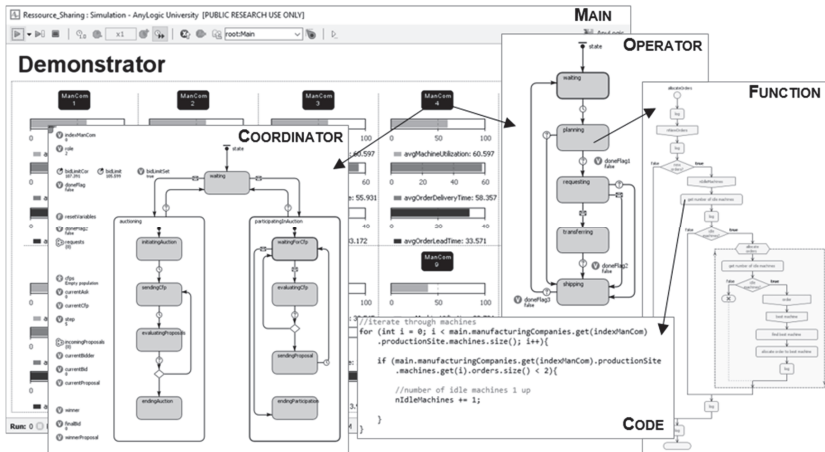


Abbildung 63: Screenshots des simulationsbasierten Demonstrators

Zur Bewertung der Logistikleistung sowie der Logistikkosten (vgl. Abschnitt 2.2.2) werden a) die Lieferzeit, b) die Lieferterminabweichung, c) die Liefertermintreue, d) die Auftragsanzahl und e) die Auslastung als abhängige Variablen festgelegt. Die Dauer eines Simulationslaufs wird auf drei Kalenderjahre festgelegt, wobei das erste aufgrund der langen Einschwingphase von der Analyse unberücksichtigt bleibt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit IBM SPSS Statistics 23. Die Ergebnisse sind in Abbildung 64 dargestellt.

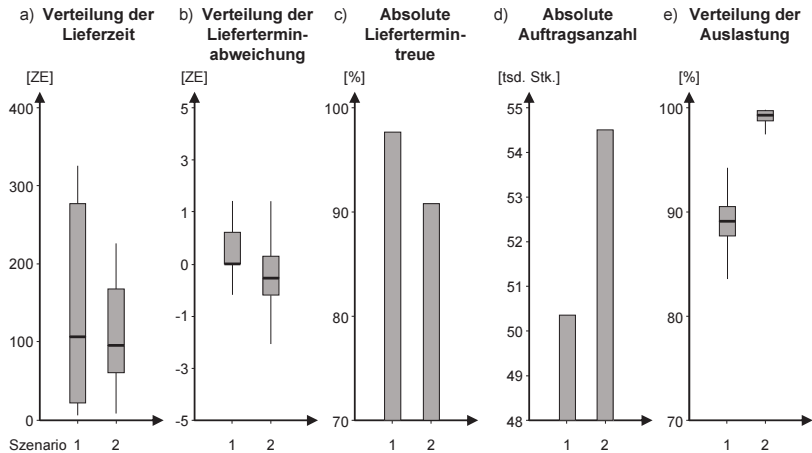


Abbildung 64: Logistische Zielgrößen für Szenario 1 und 2 im Vergleich

Der Median der *Lieferzeit* liegt in beiden Szenarien auf einem ähnlichen Niveau. Die Varianz der Werte ist im Fall der Kooperation jedoch, wie die Boxplots zeigen, deutlich geringer. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Übertragung eines Auftrags an einen weniger ausgelasteten Kooperationspartner insgesamt eine viel kürzere Durchlaufzeit nach sich zieht. Je nach Konstellation kann dieser zeitliche Vorteil, die im Realbetrieb erforderliche Transaktionszeit des Auftrags deutlich übersteigen. Ungeachtet dessen tragen homogenere Lieferzeiten immer zur besseren Planbarkeit und damit zur Steigerung des Kundennutzens bei. Der Unterschied bei der *Lieferterminabweichung* von einem zum anderen Szenario fällt weniger deutlich aus. Hervorzuheben ist jedoch, dass der Median bei einer Kooperation leicht im negativen Bereich liegt, d. h. den Kunden werden mehr als die Hälfte der Aufträge sogar vor der eigentlichen Lieferzeit bereitgestellt.

Dies steht auch im Zusammenhang mit der *Liefertermintreue*, welche im Szenario 1 bei 97,7 % und im Szenario 2 bei 90,9 % liegt. Die Liefertermintreue drückt aus, wie groß der Anteil von Aufträgen mit einer Lieferterminabweichung oberhalb und unterhalb einer festgelegten Unter- bzw. Obergrenze an der Gesamtzahl von gelieferten Aufträgen ist. Da in Szenario 2 mehr Aufträge eine negative Lieferterminabweichung aufweisen – also eine zu frühe Belieferung vorlag – ist auch die rechnerische Liefertermintreue geringer. Tatsächlich ist dies ein Vorteil, der den Unternehmen mehr Handlungsspielraum bei der termingerechten Belieferung einräumt. Für die Praxis ergeben sich hieraus somit keine Nachteile.

Durch die unternehmensübergreifende Kooperation konnten im Gegensatz zum ersten im zweiten Szenario deutlich mehr Kundenaufträge fertiggestellt werden. Während im Szenario 1 die absolute *Auftragsanzahl* bei 50.399 liegt, beträgt diese im Szenario 2 54.520, was sich wiederum positiv auf die Auslastung der Maschinen auswirkt. Im Szenario 1 liegt der Median der *Auslastung* bei etwa 89,0 % und die Streuung zwischen

84,0 und 94,0 %. Der Bedarf ist in der Simulation so bemessen, dass bei perfekter Verteilung rechnerisch alle Maschinen zu 100 % ausgelastet wären. Jede Abweichung von dieser Marke stellt damit eine Fehlallokation und resultierende Opportunitätskosten dar. Die Kooperation ermöglicht es, die Auslastung deutlich zu steigern und sehr dicht an das Optimum zu führen. Darüber hinaus kann sie auf einem gleichmäßig hohen Niveau gehalten werden, was sich an der sehr geringen Varianz erkennen lässt. Die Logistikkosten lassen sich infolgedessen erkennbar für die Unternehmen reduzieren. Hinzu kommt, dass – gemessen an der Ausbringungsmenge – die Leistung und damit auch der Umsatz im Szenario 2 deutlich höher liegt. Dies ist eine Folge der höheren Auslastung und trägt ebenfalls zur Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen bei.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Koordinationsmechanismus die gestellten Anforderungen erfüllt und eine unternehmensübergreifende Koordination einen durchweg positiven Einfluss auf die Logistikleistung sowie -kosten hat. Die Streuung der Lieferzeiten kann reduziert und die Auslastung sowie die Ausbringung gleichzeitig erhöht werden. Die Flexibilität der Unternehmen nimmt als Ergebnis der Kooperation bei identischen dynamischen Marktbedingungen erheblich zu. Diese Aspekte tragen zur Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen bei und helfen, sich in einem globalen Umfeld zu behaupten. Der zusätzliche Aufwand, der sich aus einer kurzfristigen Fremdvergabe von Aufträgen ergibt, steht dabei diesen Vorteilen gegenüber. Gelingt es, diesen durch eine vorausschauende Planung, einen stabilen Kooperationsrahmen und ein verlässliches Kooperationsnetzwerk gering zu halten, lassen sich diese Vorteile in einen Wettbewerbsvorteil für die teilnehmenden Unternehmen übersetzen.

7.3 Kritische Würdigung der Ergebnisse

Die Evaluation stellt sicher, dass die Methode der vorgegebenen Zielsetzung entspricht. Dennoch bietet die gewählte Vorgehensweise Anlass für eine kritische Reflexion der Evaluationsergebnisse sowie der Methode insgesamt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, festzuhalten, dass die Methode allen Vorgaben für die Ausgestaltung gerecht wird. Kennzeichnend für die entwickelte Lösung ist, dass ein verhältnismäßig hoher initialer Aufwand für den Aufbau der Kooperation (Module A und B) einem geringen Aufwand für die weit häufigere Koordination (Module C, D und E) gegenübersteht. Die Automatisierbarkeit weiter Teile der hinteren drei Module sorgt für eine aufwandsarme Integration in die operativen Aufgaben des Anwenders. Dennoch hängt der Erfolg der Methode von der Motivation der involvierten Mitarbeiter und Entscheidungsträger ab. Des Weiteren lässt sich das Potenzial der Methode für die Unternehmen vorab nur schwer abschätzen, da viele Faktoren und Unternehmensspezifika das Resultat beeinflussen. Hier wäre eine aufwandsarme Möglichkeit zur Bewertung – auch für die Rechtfertigung des (initialen) Aufwands – hilfreich.

Das verwendete Referenzmodell deckt nicht alle in der Realität denkbaren Fälle vollumfänglich ab und untersucht auch nicht alle möglichen Konstellationen. Es stellt vielmehr eine Fallstudie mit definierten Rahmenbedingungen dar. Ferner benötigt der entwickelte und im

Referenzmodell getestete Koordinationsmechanismus für seinen Ablauf Daten aus der jeweiligen Termin- und Kapazitätsplanung. Entsprechend der Anforderungen bzw. Vorgaben verbleiben diese Informationen zwar beim jeweiligen Unternehmen, die technische Kopplung der beiden Systeme und die Übertragung der Daten ist jedoch noch offen. Gleichmaßen bietet die entwickelte Methode keine Lösung für die technische Umsetzung des Kommunikationsweges zwischen den Agenten. Abseits der hier genannten Aspekte liefert die entwickelte Methode jedoch eine vollumfängliche Prozessunterstützung für die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten bei Unter- oder Überbelastung.

8 SCHLUSSBETRACHTUNG

8.1 Zusammenfassung

Kurzfristige Schwankungen in der Nachfrage stellen das verarbeitende Gewerbe heute mehr denn je bei der Abstimmung ihrer Fertigungskapazität vor große Herausforderungen. Der zunehmend globale Wettbewerb zwingt viele Unternehmen, die Produktlebenszyklen zu verkürzen, die Produktvielfalt zu erhöhen und auf technologische Veränderungen schneller zu reagieren. In diesem dynamischen Umfeld sind sowohl die unternehmensinterne Wertschöpfung und als auch ganze Supply Chains gefordert, die Kundenanforderungen dennoch bestmöglich zu erfüllen und gleichzeitig einen wirtschaftlichen Betrieb der Maschinen und Anlagen sicherzustellen. Das Auf- oder das Abbauen von Kapazitäten ist dabei in vielen Fällen zu zeit- und kostenintensiv, um der zusätzlichen Dynamik adäquat zu begegnen. Aktuell stehen viele Unternehmen beispielsweise aufgrund der langanhaltenden positiven konjunkturellen Entwicklung vor der Problematik, dass bei ihren regulären Zulieferern kaum freie Kapazitäten für zusätzliche Aufträge zur Verfügung stehen. Infolgedessen können diese Unternehmen die eigenen Kunden nur unzureichend bedienen.

Die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungskapazitäten kann in diesem Kontext eine sehr wirksame Maßnahme zur kurz- bis mittelfristigen Abstimmung des Kapazitätsangebots auf die Kapazitätsnachfrage darstellen. In der Praxis erfährt diese Maßnahme jedoch bisher nur vereinzelt Anwendung, sodass erhebliches Potenzial ungenutzt bleibt. Vor dem Hintergrund der voranschreitenden digitalen Transformation setzt sich die vorliegende Arbeit im ersten Kapitel deshalb zum Ziel, eine Methode zur kooperativen und unternehmensübergreifenden Nutzung freier Kapazitäten zu entwickeln. Die Methode soll Unternehmen dabei unterstützen, automatisiert nicht genutzte Fertigungskapazitäten anzubieten und/oder zusätzlich benötigte Kapazitäten nachzufragen, um somit die Wertschöpfungsstrukturen besser an sich wandelnde Markt- und Auftragsbedingungen anpassen zu können.

Die im zweiten Kapitel angeführten theoretischen Grundlagen bilden den Bezugsrahmen der Arbeit und behandeln für das weitere Verständnis zentrale Begriffe sowie Grundkonzepte. Zwei bedeutende inhaltliche Bezugspunkte bilden das Kapazitätsmanagement und das SCM bzw. die Logistik. Neben der Definition allgemeiner Begrifflichkeiten und Grundkonzepte geht der Abschnitt auf Ziele sowie Aufgaben in diesen Bereichen ein. Da die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung ist, betrachtet der Abschnitt darüber hinaus bestehende Ansätze in diesen Fachbereichen. Die zunehmende Digitalisierung verändert die Wirtschaft zusehends und deshalb stellen die digitale Transformation und die Vision einer Industrie 4.0 ebenfalls wichtige Anknüpfungspunkte dar. Entsprechend führt der Abschnitt grundlegende Begriffe bzw. Konzepte aus und grenzt die vorliegende Arbeit gegen verwandte Anwendungsszenarien ab.

Zur Verortung der Arbeit in der aktuellen Forschungslandschaft betrachtet das dritte Kapitel bestehende übergeordnete Konzepte zur kooperativen Nutzung von Ressourcen. Trotz ihres generischen Charakters bilden diese Konzepte ebenfalls wichtige Bezugspunkte für die Arbeit und liefern einen guten Überblick über bisherige Forschungsströme im untersuchten Feld. Abschließend erfolgt im Rahmen einer strukturierten Literaturanalyse die Identifizierung bestehender Forschungsansätze mit spezifischer Ausrichtung. Ergebnis der Analyse ist eine auf definierten Kriterien basierende Systematisierung der resultierenden relevanten Arbeiten. Die Systematisierung offenbart eine Forschungslücke im Hinblick auf die untersuchten Forschungsfragen.

Eine Prämisse für die vorliegende Arbeit ist die stringente Ausrichtung der entwickelten Inhalte auf die potenziellen Anwender. Das vierte Kapitel umfasst daher eine Vor- sowie Detailstudie zur Erhebung des aktuellen Stands in der Unternehmenspraxis. Als Forschungsmethode kommen hierbei eine semi-strukturierte Webrecherche und eine Web Content Mining-Analyse zur Erhebung der empirischen Daten zum Einsatz. Die Auswertung der Daten erlaubt präzise Rückschlüsse im Hinblick auf die bei der unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten infrage kommenden Technologien, Werkstoffe, Branchen und Unternehmen.

Auf die detaillierte Analyse des Anforderungsprofils der Methode im fünften Kapitel, das in konkreten Vorgaben für die Ausgestaltung mündet, folgt die Ausarbeitung des groben Methodenkonzepts. Dieses Konzept bildet die Basis für die sich anschließende Methodenentwicklung. Als Resultat dieser Vorgehensweise entsteht im sechsten Kapitel die angestrebte Methode mit insgesamt fünf Modulen. Die ersten beiden Module A und B unterstützen dabei die strategischen Phasen der Initialisierung sowie der Anbahnung und Konfiguration. Die konsekutiven Module C, D und E widmen sich den operativen Phasen der Bedarfsidentifikation, der Anfrage und Verhandlung sowie der Evaluation und Beauftragung. Für die Evaluation der Methode hinsichtlich ihrer praktischen Eignung im siebten Kapitel wurde ein zweiteiliger Ansatz gewählt. In einem ersten Schritt konnte der Methodeninhalt durch den Abgleich mit den Vorgaben verifiziert werden. In einem zweiten Schritt, der Validierung, konnten zunächst die Umsetzbarkeit der konzeptionellen Bestandteile in zwei Fokusgruppen mit potenziellen Anwendern nachgewiesen werden. Die positive Auswirkung des Einsatzes der Methode in einem Netzwerk von Unternehmen wurde anschließend zudem anhand eines Referenzmodells und einer Simulation gezeigt, welche in einem Demonstrator zusammengefasst sind.

8.2 Limitationen und Ausblick

Die vorliegende Arbeit unterliegt trotz sorgsam ausgewählter Vorgehensweise und akribischer Durchführung einigen *Limitationen*. Im Fall der im Rahmen der Praxisanalyse durchgeführten Vorstudie resultieren die Ergebnisse aus einer semi-strukturierten Webrecherche, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Weiterhin unterlag die qualitative Typenbildung zur Identifizierung der drei Gruppen von am Markt zur Verfügung stehenden Lösungen einem subjektiven Einfluss. Im Hinblick auf die Detailstudie der

Praxisanalyse ist herauszustellen, dass der generierte Datensatz auf den verfügbaren Informationen lediglich einer (großen) Auftrags- und Kapazitätsbörse basiert. Gewisse Spezialisierungen bzw. Besonderheiten dieser oder anderer Plattformen lassen sich somit anhand der Daten nicht offengelegen. Des Weiteren enthält der gewonnene Datensatz Informationen aus Unternehmensprofilen, die auf der Plattform als Anbieter auftreten. Ob diese Unternehmen bei geringer Auslastung auch als Nachfrager agieren oder dies durch ganz andere Unternehmen geschieht, lässt sich hieraus nicht abschließend beantworten.

Bei der Befragung von Unternehmensvertretern zu den Anforderungen der Methode wurden forschungsmethodische Vorgehens- und Gütekriterien zwar erfüllt, dennoch bleiben die erhobenen Informationen ein Ausschnitt aus der Grundgesamtheit. Insbesondere der Fokus auf kleinere und mittelgroße Unternehmen bei der Datenerhebung prägt die Ergebnisse. Darüber hinaus unterliegt die Auswertung – trotz größtmöglicher Sorgfalt und iterativen Vorgehens – einem subjektiven Einfluss, der durch eine vollständige Dokumentation offengelegt wird. Die Validierung der entwickelten Methode greift auf zwei Vorgehensweisen zurück, die ebenfalls Limitationen aufweisen. Die im Rahmen der Fokusgruppen involvierten Unternehmen sind in ihrer Anzahl begrenzt und das im Demonstrator implementierte Referenzmodell ist ebenfalls eine idealisierte Darstellung. Der Demonstrator kann jedoch von den Unternehmen der Zielgruppe eingesetzt werden, um für sie individuell angepasste Szenarien zu simulieren.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse lassen sich durch weitere Arbeitsschritte ergänzen. Diese als *Ausblick* zusammengefassten Möglichkeiten zur Vertiefung und Erweiterung bieten somit Gelegenheit für zusätzliche Forschung. In diesem Zusammenhang wäre erstens die exemplarische Anwendung der konzeptionellen Bestandteile der Methode in zwei oder mehr Unternehmen der Zielgruppe eine Maßnahme zur weiteren Verfeinerung der Ergebnisse. Die entworfenen Inhalte ließen sich so im Detail prüfen und gegebenenfalls weiter spezifizieren. Um den Aufwand hierfür zu reduzieren, könnten initial nur Teile des Produkt- und/oder Prozessspektrums für die unternehmensübergreifende Nutzung der Fertigungskapazitäten herangezogen werden. Die vielen Schnittstellen zu unterschiedlichen Fachbereichen erfordern dabei idealerweise das Involvieren von Vertretern aus den Bereichen Produktion, Materialwirtschaft und Einkauf.

Zweitens könnte die Implementierung eines von der Simulationssoftware AnyLogic unabhängigen Prototyps die Einführungshürden weiter reduzieren. Auch in diesem Schritt sollten die Unternehmen bei der Ausgestaltung regelmäßig involviert und ihr Feedback berücksichtigt werden. Insbesondere die Schnittstellen zu der großen Bandbreite an bestehenden IT-Systemen verlangt voraussichtlich große Beachtung. Sobald ein Prototyp für die Umsetzung vorliegt, wäre dessen beispielhafte Anwendung in einem Netzwerk aus Unternehmen möglich. Zur Vereinfachung der Vorgänge wäre es hierbei ideal, einen bereits bestehenden Unternehmensverbund auszuwählen, in dem sich die Mitglieder eine vertrauensvolle Zusammenarbeit bereits heute vorstellen können oder sogar praktizieren. In einer Beobachtung über einen längeren Zeitraum ließe sich anschließend der Einfluss der Methode auf die Logistikleistung sowie -kosten der Unternehmen im Realbetrieb

evaluieren. Die Ergebnisse könnten dann weitere Unternehmen dazu motivieren, ihre Wertschöpfung auf diese Weise zu flexibilisieren und den Pool an möglichen Kooperationspartnern auszuweiten. Neben der grundlegenden Implementierung der Methode könnte der Prototyp um eine Simulation der veränderten Auftragsfolge ergänzt werden. Diese Funktion wäre geeignet, den Anwender bei der Ermittlung der Auswirkungen einer spontanen Fremdvergabe bzw. Hereinnahme eines Auftrags auf die interne Termin- und Kapazitätsplanung zu unterstützen. Infolgedessen wäre die Entscheidung für oder gegen die jeweilige Maßnahme noch fundierter, ohne den Aufwand für den Anwender zu erhöhen.

Drittens besteht Forschungsbedarf in der Übertragung des Konzepts auf einen breiteren Anwenderkreis. Während die vorliegende Methode zur Reduzierung der Komplexität mit Fokus auf den Maschinen- und Anlagenbau entwickelt wurde, sind auch Unternehmen anderer Branchen als potenzielle Anwender denkbar. Welche spezifischen Anforderungen diese besitzen, wäre Gegenstand eines zusätzlichen Forschungsvorhabens. Die hier entwickelten Vorgehensweisen sind zwar grundsätzlich auf andere Bereiche übertragbar, die praktische Umsetzung erfordert jedoch eine präzise Ausrichtung auf die Zielgruppe.

Die in der Arbeit beschriebenen Auslöser einer temporären Unter- oder Überbelastung, wie beispielsweise ein saisonaler Nachfragerückgang oder ein länger anhaltender Maschinenschaden, stellen für fertigende Unternehmen seit jeher große Herausforderungen dar. Aufgrund der zunehmenden Diversifizierung der Produkte und Spezialisierung der Anbieter ist mittel- bis langfristig zu erwarten, dass Unternehmen insbesondere dann am Markt erfolgreich sein können, wenn sie auch unternehmensübergreifend zusammenarbeiten und sich so für dynamischere Marktbedingungen wappnen. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Methode zur unternehmensübergreifenden Nutzung von Fertigungskapazitäten liefert hierzu einen wesentlichen Beitrag.

ANHANG

Anhang A

Scopus-Datenbank:

Suchanfrage I	TITLE-ABS-KEY ("Resource Sharing" OR "Resource-Sharing" OR "Shared Resource*" OR "Capacity Sharing" OR "Capacity-Sharing" OR "Shared Capacit*" OR "Capacity Trading" OR "Capacity-Trading" OR Ressourcenteilung OR "Ressourcen teilen" OR Kapazitätsteilung OR "Kapazitäten teilen" OR Kapazitätshandel* OR "Kapazitäten handeln" AND Enterprise* OR Compan* OR Firm* OR Unternehm* AND Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English ") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "German "))
Suchanfrage II	TITLE-ABS-KEY (Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung AND "Cross-compan*" OR "Inter-compan*" OR "Cross-organi*" OR "Inter-organi*" OR "Across compan*" OR Unternehmensübergreifend* OR Firmenübergreifend* OR Organisationsübergreifend* AND Resource* OR Capacit* OR Ressource* OR Kapazität* AND Cooperati* OR Collaborati* OR Kooperation OR Kollaboration) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English ") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , " German "))

Tema-Datenbank:

Suchanfrage I	("Resource Sharing" OR "Resource-Sharing" OR "Shared Resource*" OR "Capacity Sharing" OR "Capacity-Sharing" OR "Shared Capacit*" OR "Capacity Trading" OR "Capacity-Trading" OR Ressourcenteilung OR "Ressourcen teilen" OR Kapazitätsteilung OR "Kapazitäten teilen" OR Kapazitätshandel* OR "Kapazitäten handeln") AND (Enterprise* OR Compan* OR Firm* OR Unternehm*) AND (Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung)
Suchanfrage II	(Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung) AND ("Cross-compan*" OR "Inter-compan*" OR "Cross-organi*" OR "Inter-organi*" OR "Across compan*" OR Unternehmensübergreifend* OR Firmenübergreifend* OR Organisationsübergreifend*) AND (Resource* OR Capacit* OR Ressource* OR Kapazität*) AND (Cooperati* OR Collaborati* OR Kooperation OR Kollaboration)

Web of Science-Datenbank:

Suchanfrage I	(TS=((("Resource Sharing" OR "Resource-Sharing" OR "Shared Resource*" OR "Capacity Sharing" OR "Capacity-Sharing" OR "Shared Capacit*" OR "Capacity Trading" OR "Capacity-Trading" OR Ressourcenteilung OR "Ressourcen teilen" OR Kapazitätsteilung OR "Kapazitäten teilen" OR Kapazitätshandel* OR "Kapazitäten handeln") AND (Enterprise* OR Compan* OR Firm* OR Unternehm*) AND (Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung))) AND LANGUAGE: (English OR German)
Suchanfrage II	(TS=((Manufactur* OR Production OR Fertigung OR Produktion OR Herstellung) AND ("Cross-compan*" OR "Inter-compan*" OR "Cross-organi*" OR "Inter-organi*" OR "Across compan*" OR Unternehmensübergreifend* OR Firmenübergreifend* OR Organisationsübergreifend*) AND (Resource* OR Capacit* OR Ressource* OR Kapazität*) AND (Cooperati* OR Collaborati* OR Kooperation OR Kollaboration))) AND LANGUAGE: (English OR German)

Anhang B

Autor(en) und Jahr	Typ	Ansatz	Fachbereich(e)
Adamson/Wang/Holm (2013)	Konferenzbeitrag	literaturbasiert	A
Adamson et al. (2015b)	Artikel	literaturbasiert	A B
Adamson et al. (2015a)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Ahn/Park/Hur (2017)	Artikel	mathematisch	F G L
Archimede et al. (2014)	Artikel	konzeptionell	A B
Argoneto/Renna (2016)	Artikel	simulationsbasiert	B C
Argoneto/Renna (2013)	Artikel	simulationsbasiert	A B
Bahinipati/Deshmukh (2014)	Review	mathematisch	B E
Baraldi/Cressetvold/Harrison (2012)	Leitartikel	literaturbasiert	E
Becker/Stern (2016)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	A
Becker/Kück/Hardemann (2015)	Artikel	literaturbasiert	A
Buckholtz/Ragai/Wang (2015)	Artikel	literaturbasiert	A B
Cai/Yu/Fang (2005)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Cai et al. (2005)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Cai et al. (2010)	Artikel	konzeptionell	A C E
Cao et al. (2010)	Artikel	empirisch	E F
Chakravarty/Zhang (2007)	Artikel	mathematisch	C
Chan et al. (2008)	Artikel	mathematisch	A
Chen et al. (2008a)	Artikel	mathematisch	A C
Chen et al. (2008b)	Artikel	konzeptionell	A B
Chen/Chen/Wang (2008)	Artikel	konzeptionell	A B
Cheng et al. (2001)	Artikel	konzeptionell	A B
Cheng et al. (2013)	Artikel	mathematisch	A C D
Darlington et al. (2014)	Artikel	empirisch	B C E
Dekkers (2009)	Artikel	literaturbasiert	A C E
Ding/Yu/Sun (2012)	Artikel	konzeptionell	B
Dobson/YANO (2002)	Artikel	mathematisch	A C E
Dong/Xie/Yang (2009)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B C E
Dong et al. (2010)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Du et al. (2013)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Duan et al. (2015)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B A
Eggert (2006)	Hochschulschrift	konzeptionell	A
Feng/Yamashiro (2006)	Artikel	mathematisch	K
Feng/Yamashiro (2003)	Artikel	mathematisch	K
Freitag/Becker/Duffie (2015)	Artikel	simulationsbasiert	A
Freitag/Lappe (2015)	Artikel	literaturbasiert	A
Fulga (2007)	Artikel	mathematisch	M
Gao/Zhang/Cao (2007)	Konferenzbeitrag	mathematisch	A C E
Ghosh et al. (2013)	Artikel	mathematisch	B
Grogger/Ellerich/Schmitt (2015)	Artikel	konzeptionell	A
Gui/Dong/Kan (2009)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Hammervoll (2014)	Artikel	konzeptionell	E F
Hao et al. (2003)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A B D
Hao/Wu/Li (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	E

Autor(en) und Jahr	Typ	Ansatz	Fachbereich(e)
Hartmann (2006)	Artikel	nicht spezifiziert	A
Hegmann (2011)	Artikel	konzeptionell	A
Inaam/Abderrahman/Yasmina (2016)	Artikel	mathematisch	A
Jeng/DiCesare (1995)	Artikel	mathematisch	A B
Jiang/Zhao (2014)	Artikel	empirisch	A B E
Jin/Wen/A. Oraifige (2007)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A B
Jones et al. (2014)	Artikel	empirisch	A C E
Khajavi/Holmström (2017)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	C
Kloth (1995)	Artikel	nicht spezifiziert	M
Krenz/Wulfsberg/Brugns (2012)	Artikel	konzeptionell	A
Kück/Becker/Freitag (2016)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	A
Kusiak (2017)	Artikel	konzeptionell	A C E
Le Tellier et al. (2017)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	C
Lee/Kim/Kim (2014)	Artikel	empirisch	B F
Lee/Kumara (2003)	Review	konzeptionell	A B K
Lefebvre et al. (2014)	Artikel	empirisch	E
Li/Liang/He (2017)	Artikel	konzeptionell	A B
Liesebach (2015)	Hochschulschrift	konzeptionell	M
Lin/Chong (2017)	Artikel	mathematisch	A B
Lin/Zhang (2013)	Konferenzbeitrag	mathematisch	D J
Liu/Cheng/Han (2005)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B D
Liu et al. (2004a)	Artikel	konzeptionell	A
Liu/Li (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B C E
Liu/Jin/Long (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A B
Liu/Min (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Liu/Shi (2008)	Artikel	konzeptionell	A
Liu/Zhang/Tang (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Liu et al. (2004b)	Artikel	konzeptionell	M
Liu/Jin/Xi (2006)	Artikel	konzeptionell	A
Lu/Xu/Xu (2014)	Artikel	konzeptionell	A B
Ma et al. (2011)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Mahjoub/Hennet (2013)	Artikel	mathematisch	A C E
Mai et al. (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Manesh (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A L
Meng et al. (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B D I
Miller/Kleinova/Simon (2012)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	E
Miller/Simon (2014)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	A
Moghaddam/Nof (2016)	Artikel	simulationsbasiert	A
Mohebbi/Li (2015)	Artikel	mathematisch	A D
Oliveira/Camarinha-Matos (2015)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	C
Opresnik et al. (2014)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	E
Otto/Vain (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Polyantchikov/Shevtshenko (2010)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A E
Qi/Chen (2013)	Konferenzbeitrag	mathematisch	A
Qing/Deng/Wang (2017)	Artikel	mathematisch	C D
Qiu (2004)	Konferenzbeitrag	mathematisch	A

Autor(en) und Jahr	Typ	Ansatz	Fachbereich(e)
Reinhart et al. (2002)	Artikel	literaturbasiert	A
Renna/Argoneto (2010)	Artikel	simulationsbasiert	A B
Renna/Argoneto (2008)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	M
Rosenfeld (1993)	Artikel	nicht spezifiziert	H L
Saha et al. (2016)	Artikel	konzeptionell	A B
Schleich/Yoon (2014)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	A
Schmitt et al. (2015)	Artikel	konzeptionell	A
Seok/Nof (2014)	Artikel	mathematisch	C E J
Seok/Nof (2012)	Konferenzbeitrag	mathematisch	A C E
Shamsuzzoha/Helo (2014)	Artikel	konzeptionell	B C E
Shang/Liu (2013)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Shao (2017)	Artikel	mathematisch	C E
Shen et al. (2007a)	Artikel	konzeptionell	A B
Shen/Ghenniwa/Li (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Shen et al. (2007b)	Artikel	konzeptionell	A B D
Shen et al. (2017)	Artikel	konzeptionell	B D
Shijun/Xiangxu/Yexin (2005)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Shirodkar/Kempf (2006)	Artikel	mathematisch	C E
Shukla/Garg/Agarwal (2016)	Artikel	mathematisch	C E
Su (2010)	Artikel	konzeptionell	A B D
Su et al. (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A B
Sun et al. (2008a)	Konferenzbeitrag	mathematisch	B C
Sun et al. (2008b)	Konferenzbeitrag	mathematisch	A B
Sun et al. (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	C
Tan et al. (2010)	Artikel	konzeptionell	B C
Tan/Yao (2009)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Tao et al. (2017)	Artikel	konzeptionell	A B
Tao/Hu/Zhou (2008b)	Artikel	konzeptionell	A B
Tao/Hu/Zhou (2008a)	Artikel	literaturbasiert	B C E
Tao et al. (2009)	Artikel	konzeptionell	A B
Thonemann/Bradley (2002)	Artikel	mathematisch	C D F
Uhlmann/Yalniz (2004)	Artikel	konzeptionell	A B
Uygun (2012)	Hochschulschrift	konzeptionell	M
Wang (2014)	Artikel	simulationsbasiert	A D
Wang/Li/Zhou (2011)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Wang/Zhang/Zhou (2010)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Wang/Zhang (2012)	Artikel	konzeptionell	B
Wang/Xu (2013)	Artikel	konzeptionell	A B D
Wei/Zhong/Guo (2011)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Wiendahl (1996)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	M
Windt (2001)	Hochschulschrift	konzeptionell	A
Wu/Hu/Yao (2013)	Artikel	konzeptionell	A
Wu/Rosen/Schaefer (2015)	Artikel	simulationsbasiert	A B
Wu/Hsia/Huo (2015)	Konferenzbeitrag	empirisch	B
Wu et al. (2008)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B D
Wu et al. (2005)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A

Autor(en) und Jahr	Typ	Ansatz	Fachbereich(e)
Wu et al. (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Wu/Yang (2010)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B D
Wu/Fuh/Nee (2002)	Artikel	konzeptionell	A
Xie et al. (2017)	Artikel	konzeptionell	A B
Xilong/Zhongxiao/Linfeng (2011)	Artikel	konzeptionell	B
Yan (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	E
Yang et al. (2011)	Artikel	konzeptionell	A
Yoon/Nof (2009)	Artikel	mathematisch	M
Yoon/Nof (2010)	Artikel	simulationsbasiert	M
Yoon/Nof (2011)	Artikel	simulationsbasiert	A
Yu/Benjaafar/Gerchak (2015)	Artikel	mathematisch	A C E
Yu'an et al. (2006)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Zang/Liu/Xu (2016)	Konferenzbeitrag	empirisch	A
Zeng (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Zhan/Lee (2009)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Zhang et al. (2001)	Artikel	konzeptionell	A B
Zhang/Fang/Wu (2011a)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Zhang/Fang/Wu (2011b)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Zhang/Xue/Li (2012)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	A
Zhang/Deng/Ma (2001)	Konferenzbeitrag	konzeptionell	B
Zhang/Kochhar (2014)	Buchkapitel	konzeptionell	E J
Zhong et al. (2015)	Artikel	konzeptionell	A
Zhou et al. (2007)	Konferenzbeitrag	simulationsbasiert	B D
Zhou (2013)	Konferenzbeitrag	literaturbasiert	A
Zhou/Yao (2017)	Artikel	konzeptionell	A
Zhou/DiCesare/Guo (1990)	Artikel	mathematisch	A B

Zeichenerklärung:

Kürzel	Fachbereich	Kürzel	Fachbereich
A	Ingenieurwesen	H	Erd- und Planetenwissenschaften
B	Informatik	I	Biochemie, Genetik und Molekularbiologie
C	Entscheidungswissenschaften	J	Wirtschaft, Ökonometrie und Finanzen
D	Mathematik	K	Werkstoffwissenschaften
E	Wirtschaft, Management und Buchhaltung	L	Umweltwissenschaften
F	Sozialwissenschaften	M	nicht spezifiziert
G	Energiewissenschaften		

Anhang C

Prozesse Rapidminer:

Die XML-Darstellung der Rapidminer-Prozesse für das Text Mining findet sich aus Platzgründen im digitalen Teil dieses Anhangs.

Parameter Rapidminer:

Operator	Parameter	Wert
Process Documents from Files	Vector creation	TF-IDF
	Prune method	procentual
	Prune below percent	15
	Prune above percent	75
Tokenize	-	Non letters
Transform Cases	-	Lower case
Filter Tokes by Length	Min characters	3
	Max characters	999
Generate n-Grams	Max length	3
Data to Similarity	Measure types	NumericalMeasures
	Numerical measures	CosineSimilarity

Parameter Gephi:

Layout	Parameter	Wert
Force Atlas 2	Threads number	3
	Tolerance (speed)	1.0
	Approximate repulsion	not checked
	Approximation	1.0
	Scaling	2.0
	Stronger gravity	not checked
	Gravity	1.0
	Dissuade hubs	not checked
	LinLog mode	not checked
	Prevent overlap	not checked
Visibility	Edge weight influence	1.0
	Edge Filter	0.2-1.0
Community Detection Algorithm	Modularity	0.553

Publikationen:

Nr.	Autor(en) und Jahr	Nr.	Autor(en) und Jahr
1	Adamson/Wang/Holm (2013)	45	Jones et al. (2014)
2	Adamson et al. (2015b)	46	Khajavi/Holmström (2017)
3	Adamson et al. (2015a)	47	Kusiak (2017)
4	Ahn/Park/Hur (2017)	48	Kück/Becker/Freitag (2016)
5	Archimede et al. (2014)	49	Le Tellier et al. (2017)
6	Argoneto/Renna (2016)	50	Lee/Kumara (2003)
7	Argoneto/Renna (2013)	51	Lee/Kim/Kim (2014)
8	Bahinipati/Deshmukh (2014)	52	Lefebvre et al. (2014)
9	Baraldi/Gressetvold/Harrison (2012)	53	Li/Liang/He (2017)
10	Becker/Stern (2016)	54	Lin/Zhang (2013)
11	Buckholtz/Ragai/Wang (2015)	55	Lin/Chong (2017)
12	Cai/Yu/Fang (2005)	56	Liu et al. (2004b)
13	Cai et al. (2005)	57	Liu et al. (2004a)
14	Cai et al. (2010)	58	Liu/Cheng/Han (2005)
15	Cao et al. (2010)	59	Liu/Jin/Xi (2006)
16	Chakravarty/Zhang (2007)	60	Liu/Min (2008)
17	Chan et al. (2008)	61	Liu/Jin/Long (2008)
18	Chen/Chen/Wang (2008)	62	Liu/Shi (2008)
19	Chen et al. (2008b)	63	Liu/Zhang/Tang (2008)
20	Chen et al. (2008a)	64	Liu/Li (2012)
21	Cheng et al. (2001)	65	Lu/Xu/Xu (2014)
22	Cheng et al. (2013)	66	Ma et al. (2011)
23	Darlington et al. (2014)	67	Mahjoub/Hennet (2013)
24	Dekkers (2009)	68	Mai et al. (2012)
25	Ding/Yu/Sun (2012)	69	Manesh (2008)
26	Dobson/YANO (2002)	70	Meng et al. (2006)
27	Dong/Xie/Yang (2009)	71	Miller/Simon (2014)
28	Dong et al. (2010)	72	Moghaddam/Nof (2016)
29	Du et al. (2013)	73	Mohebbi/Li (2015)
30	Duan et al. (2015)	74	Oliveira/Camarinha-Matos (2015)
31	Feng/Yamashiro (2003)	75	Opresnik et al. (2014)
32	Feng/Yamashiro (2006)	76	Otto/Vain (2006)
33	Freitag/Becker/Duffie (2015)	77	Polyantchikov/Shevtshenko (2010)
34	Fulga (2007)	78	Qi/Chen (2013)
35	Gao/Zhang/Cao (2007)	79	Qing/Deng/Wang (2017)
36	Ghosh et al. (2013)	80	Qiu (2004)
37	Gui/Dong/Kan (2009)	81	Renna/Argoneto (2008)
38	Hammervoll (2014)	82	Renna/Argoneto (2010)
39	Hao et al. (2003)	83	Saha et al. (2016)
40	Hao/Wu/Li (2012)	84	Schleich/Yoon (2014)
41	Inaam/Abderrahman/Yasmina (2016)	85	Seok/Nof (2012)
42	Jeng/DiCesare (1995)	86	Seok/Nof (2014)
43	Jiang/Zhao (2014)	87	Shamsuzzoha/Helo (2014)
44	Jin/Wen/A. Oraifige (2007)	88	Shang/Liu (2013)

Nr.	Autor(en) und Jahr	Nr.	Autor(en) und Jahr
89	Shao (2017)	118	Wu/Yang (2010)
90	Shen/Ghenniwa/Li (2006)	119	Wu/Hu/Yao (2013)
91	Shen et al. (2007b)	120	Wu/Hsia/Huo (2015)
92	Shen et al. (2007a)	121	Wu/Rosen/Schaefer (2015)
93	Shen et al. (2017)	122	Wu et al. (2008)
94	Shijun/Xiangxu/Yexin (2005)	123	Xie et al. (2017)
95	Shirodkar/Kempf (2006)	124	Xilong/Zhongxiao/Linfeng (2011)
96	Shukla/Garg/Agarwal (2016)	125	Yan (2012)
97	Su (2010)	126	Yang et al. (2011)
98	Su et al. (2008)	127	Yoon/Nof (2009)
99	Sun et al. (2006)	128	Yoon/Nof (2010)
100	Sun et al. (2008a)	129	Yoon/Nof (2011)
101	Sun et al. (2008b)	130	Yu/Benjaafar/Gerchak (2015)
102	Tan/Yao (2009)	131	Yu'an et al. (2006)
103	Tan et al. (2010)	132	Zang/Liu/Xu (2016)
104	Tao/Hu/Zhou (2008b)	133	Zeng (2012)
105	Tao/Hu/Zhou (2008a)	134	Zhan/Lee (2009)
106	Tao et al. (2009)	135	Zhang et al. (2001)
107	Tao et al. (2017)	136	Zhang/Deng/Ma (2001)
108	Thonemann/Bradley (2002)	137	Zhang/Fang/Wu (2011a)
109	Wang (2014)	138	Zhang/Fang/Wu (2011b)
110	Wang/Zhang/Zhou (2010)	139	Zhang/Xue/Li (2012)
111	Wang/Li/Zhou (2011)	140	Zhang/Kochhar (2014)
112	Wang/Zhang (2012)	141	Zhong et al. (2015)
113	Wang/Xu (2013)	142	Zhou (2013)
114	Wei/Zhong/Guo (2011)	143	Zhou et al. (2007)
115	Wu/Fuh/Nee (2002)	144	Zhou/DiCesare/Guo (1990)
116	Wu et al. (2005)	145	Zhou/Yao (2017)
117	Wu et al. (2006)		

Anhang D

Rapidminer Prozess:

Die XML-Darstellung des Rapidminer-Prozesses für das Web Content Mining findet sich aus Platzgründen im digitalen Teil dieses Anhangs.

Ausgewählte Zielbranchen (Mehrfachnennungen):

Branche	Anzahl der Nennungen		Anzahl der Unternehmen
	absolut	prozentual	prozentual
Maschinenbau allgemein	4.559	5,0 %	67,8 %
Automobilindustrie und Fahrzeugbau	3.891	4,3 %	57,8 %
Sondermaschinenbau	3.759	4,1 %	55,9 %
Anlagenbau	3.493	3,8 %	51,9 %
Werkzeugmaschinenbau	3.407	3,7 %	50,6 %
Apparatebau	3.258	3,6 %	48,4 %
Elektroindustrie	3.206	3,5 %	47,7 %
Medizintechnik	3.113	3,4 %	46,3 %
Feinmechanik, Mechatronik und Optik	2.905	3,2 %	43,2 %
Verpackungsindustrie	2.865	3,1 %	42,6 %
Luft- und Raumfahrtindustrie	2.803	3,1 %	41,7 %
Antriebs- und Getriebetechnik	2.783	3,0 %	41,4 %
Automatisierungs- und Steuerungstechnik	2.734	3,0 %	40,6 %
Hydraulik- und Pneumatikindustrie	2.712	3,0 %	40,3 %
Bau-, land- und forstwirtschaftlicher Maschinenbau	2.711	3,0 %	40,3 %
Kälte-, Klima- und Lufttechnik	2.696	2,9 %	40,1 %
Energieindustrie	2.693	2,9 %	40,0 %
Papier- und Druckereimaschinenbau	2.669	2,9 %	39,7 %
Militärtechnik	2.547	2,8 %	37,9 %
Mess- und Regeltechnik, Laborgeräte	2.522	2,8 %	37,5 %
Chemische Industrie	2.508	2,7 %	37,3 %
Armaturenbau	2.499	2,7 %	37,1 %
Eisenbahnindustrie und Schienenfahrzeugbau	2.483	2,7 %	36,9 %
Möbelindustrie	2.461	2,7 %	36,6 %
Bauzubehör	2.257	2,5 %	33,5 %
Beleuchtungsmittelindustrie	2.249	2,5 %	33,4 %
Kessel- und Behälterbau	2.233	2,4 %	33,2 %
Schiffsbau	2.120	2,3 %	31,5 %
Bürotechnik und Zubehör	1.981	2,2 %	29,4 %
Hauswirtschaftstechnik	1.964	2,1 %	29,2 %
Berg- und Tunnelbau	1.944	2,1 %	28,9 %
Telekommunikationstechnik	1.900	2,1 %	28,2 %
Reinraumtechnik	1.786	2,0 %	26,5 %
Informationstechnik (Hardware)	1.742	1,9 %	25,9 %
Total	91.453	100,0 %	1359,3 %

Chi-Quadrat-Test für die Branchen:

Aufgrund der hohen Anzahl an Kombinationen der Branchen miteinander befinden sich die Daten im digitalen Teil dieses Anhangs.

Parameter Gephi:

Layout	Parameter	Wert
Yifan Hu's Proportional	Optimal Distance	100.0
	Relative Strength	0.5
	Initial Step Size	20.0
	Step Ratio	0.95
	Adaptive Cooling	checked
	Convergence Threshold	1.0E-4
	Quadtree Max Level	10
	Theta	1.2
Visibility	Edge Filter	0.4-1.0
Community Detection Algorithm	Modularity	0.561

Ausgewählte Fertigungsbereiche (Mehrfachnennungen):

Fertigungsbereich	Anzahl der Nennungen		Anzahl der Unternehmen
	absolut	prozentual	prozentual
Spanabhebende Bearbeitung	3.964	22,9 %	55,0 %
Maschinenbau & Baugruppenmontage	2.244	13,0 %	31,1 %
Stahlbau & Schweißen	1.903	11,0 %	26,4 %
Blechbearbeitung	1.775	10,2 %	24,6 %
Werkzeug - und Formenbau	1.464	8,5 %	20,3 %
Oberflächen-/Wärmebehandlung	1.417	8,2 %	19,6 %
Feinbearbeitung	1.143	6,6 %	15,8 %
Kunststoffbe- und -verarbeitung	1.012	5,8 %	14,0 %
Gießen, Sintern & Pulverpressen	445	2,6 %	6,2 %
Rohrbearbeitung	406	2,3 %	5,6 %
Verzahnung & Gewinde	402	2,3 %	5,6 %
Wasserstrahlschneiden	264	1,5 %	3,7 %
Rapid-Prototyping	258	1,5 %	3,6 %
Kabel, Schlauch- und Rohrleitungen (konfektioniert)	243	1,4 %	3,4 %
Massivumformung	213	1,2 %	3,0 %
Drahtbearbeitung-Federn	168	1,0 %	2,3 %
Total	17.321	100,0 %	240,2 %

Chi-Quadrat-Test für die Fertigungsbereiche und -technologien:

Aufgrund der hohen Anzahl an Kombinationen befinden sich die Daten im digitalen Teil dieses Anhangs.

Ausgewählte Werkstoffkategorien (Mehrfachnennungen):

Werkstoffkategorie	Anzahl der Nennungen		Anzahl der Unternehmen
	absolut	prozentual	prozentual
Stahl	6.419	15,7 %	87,5 %
Leichtmetalle	6.169	15,1 %	84,1 %
Schwermetalle	5.358	13,1 %	73,0 %
Kunststoffe	4.677	11,4 %	63,8 %
Eisengusswerkstoffe	4.483	10,9 %	61,1 %
Advanced Materials / Exotenwerkstoffe	3.639	8,9 %	49,6 %
Edelmetalle	2.693	6,6 %	36,7 %
Nichtmetallische anorg. Werkstoffe	2.596	6,3 %	35,4 %
Sinterwerkstoffe	2.474	6,0 %	33,7 %
Naturwerkstoffe	2.450	6,0 %	33,4 %
Total	40.958	100,0 %	558,3 %

Chi-Quadrat-Test für die Werkstoffkategorien und die Werkstoffe:

Aufgrund der hohen Anzahl an Kombinationen befinden sich die Daten im digitalen Teil dieses Anhangs.

Anhang E

Interviewstudie - Leitfaden

Organisatorisches

- Dank
- Zweck des Interviews
- Dauer
- Informieren über Aufzeichnung
- Aufbau des Interviews

Block A – Einstiegsfragen

1. Bitte **stellen Sie** sich zunächst kurz **vor**. Was sind Ihre **Funktion** und Ihre **Aufgaben**? Für welche **Prozesse** tragen Sie die **Verantwortung**?

Nach Bedarf (!):

2. Welche **Position** (bspw. Geschäftsführer, Abteilungs-/Teamleiter, Sacharbeiter, Facharbeiter, Techniker, Meister) haben Sie derzeit in Ihrem Unternehmen inne?
3. In welcher **Branche** ist Ihr Unternehmen hauptsächlich tätig? Wer sind Ihre **Kunden**? Was sind Ihre **Produkte**?
4. Wie **groß** ist Ihr Unternehmen (Anzahl Mitarbeiter, Umsatz)?

Block B – Ist-Prozess/Status Quo

5. Welche **Fertigungsverfahren** kommen dabei zum Einsatz?
6. Wie funktioniert die **Auftragsvergabe bzw. -freigabe** in Ihrem Unternehmen heute? Können Sie bitte den **Prozess** beschreiben?
7. Was ist typischerweise der **Planungshorizont** bei der Auftragsbelastung? Wie **kurzfristig** können Aufträge eingeplant werden?
8. Wie erreichen Sie heute einen **Abgleich** der Produktionskapazitätsplanung mit Ihren **Kunden** und **Lieferanten** (vertikal) zur Vermeidung von Engpässen? Mit Ihren **Wettbewerbern** (horizontal)?
9. Welche **Maßnahmen** ergreifen Sie heute bei unterlasteten bzw. überlasteten Produktionskapazitäten?

Block C – Chancen und Hindernisse

Erklärung: Unter unternehmensübergreifender Koordination von Maschinenkapazitäten wird hier der Austausch von freien Kapazitäten und Produktionsaufträgen verstanden, der nicht auf die etablierten Partner innerhalb einer Supply Chain beschränkt ist (≠ herkömmliche Bedarfs- und Kapazitätsplanung). Es geht darum, geeignete Partner im kapazitiven Unter- oder Überlastfall zu finden, wenn die „herkömmlichen“ Mechanismen bereits ausgereizt sind.

10. Sind Ihnen **Auftrags-/Kapazitätsbörsen** (bspw. Techpilot, MATOOL, Odermatch, ...) bekannt? Nutzt Ihr Unternehmen solche Plattformen?

- a. Wenn **ja**, welche? In welchem Umfang? Als Anbieter oder als Nachfrager? Integration in übrige Prozesse?
- b. Wenn **nein**, Erklärung.

Erklärung: „Eine Auftrags- und Kapazitätsbörse lässt sich als elektronischer Markt definieren, auf dem freie Kapazitäten und Produktionsaufträge ausgetauscht werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Austausch von Produktionsleistungen zwischen einem Hersteller und seinem Fremdfertiger oder seinem Lieferanten. Dabei wird ein unternehmensübergreifender Abgleich der Produktionskapazitäten angestrebt.“ Syska 2006, S. 25

11. Welche **Bauteile bzw. Produktionsverfahren** eignen sich Ihrer Meinung nach für eine unternehmensübergreifende Koordination von Maschinenkapazitäten?
12. Welche **Chancen** sehen Sie bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Maschinenkapazitäten? Bspw. geringere Kosten, höhere Flexibilität, reduzierte Risiken, etc.
- a. Und wie könnten diese **besser genutzt** werden?
13. Welche **Hindernisse** sehen Sie bei der unternehmensübergreifenden Koordination von Maschinenkapazitäten? Bspw. Vertrauen, Lieferqualität, Aufwand, etc.
- a. Und wie könnten diese **reduziert** werden?
14. Wie sehen Sie **Industrie 4.0/Digitalisierung** – Stichwort: Auftragsgesteuerte Produktion – in diesem Zusammenhang?
- a. Welchen **Einfluss** hat die aktuelle Entwicklung Ihrer Meinung nach **auf** die genannten **Chancen und Hindernisse**?

Block D – Anforderungen

15. Stellen Sie sich vor Ihr Chef möchte, dass Sie die **Entwicklung eines „Tools“ zur unternehmensübergreifende Koordination** von Maschinenkapazitäten in Auftrag geben. Was wären **Anforderungen** Ihres Unternehmens an einen solchen Ansatz?

Beispiele:

<i>Inhaltliche Anforderungen</i>	<i>Konzeptionelle Anforderungen</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integration relevanter Unternehmensbereiche ▪ Variabler Planungshorizont ▪ Situationsadäquate Entscheidungsunterstützung ▪ Berücksichtigung wichtiger Entscheidungsfaktoren ▪ Unterstützung aller Prozessphasen ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfachheit und Vollständigkeit ▪ Integrationsmöglichkeit in bestehende Prozesse/Systeme ▪ Softwareunterstützung ▪ Kommunizierbarkeit ▪ Anpassungsfähigkeit ▪ ...

16. Wie könnte so ein „Tool“ in die **bestehenden Prozesse und Systeme integriert** werden?

Block E – Einflussfaktoren

17. Bei der Entscheidung über die unternehmensübergreifende Koordination von Maschinenkapazität sind unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen. Wie bewerten Sie die **Wichtigkeit** der folgenden **Einflussfaktoren** aus Sicht Ihres Unternehmens?

Einflussfaktoren (Version 1.2):

<i>Horizont</i>	<i>Einflussfaktoren</i>	<i>Beispiele</i>
langfristig	Eigenschaften des Produkts bzw. Bauteils	Qualitätsanforderungen, strategische Relevanz, Materialeigenschaften, Technologie/Produktionsverfahren
	Interne Produktionsstrategie	Vereinbarkeit mit Unternehmenszielen, Konzentration auf Kernkompetenzen
	Eigenschaften des Geschäftspartners	geographische Entfernung, finanzielle Stabilität, kulturelle Unterschiede, Zuverlässigkeit, Qualitätsniveau
	Ökologische Aspekte	CO ₂ -Emissionen, Belastung des Bodens mit toxischen Substanzen
kurzfristig	Sozialpolitische Aspekte	Gleichberechtigung von Minderheiten, Gesetzeskonformität, Gehaltsstruktur und Sozialleistungen
	Wirtschaftlichkeit	Stückkosten, Transportkosten, Transaktionskosten
	Interne Termin- und Kapazitätsplanung	Maschinenauslastung, Auftragsfolgeplanung, Kundenliefertermin
	Materialverfügbarkeit	Werkstoffe, Werkzeuge, erforderliche Hilfs- und Betriebsstoffe
	Logistische Aspekte	Transportdauer, Ladungsträger, Versorgungssicherheit, Lagerkapazitäten, Losgrößen
	Einfluss auf die Flexibilität	Beschaffungs-, Produktions- und Produktflexibilität
	Interne Personalverfügbarkeit	Schichtpläne, Betriebsruhen

18. Welche **weiteren Faktoren** würden Sie berücksichtigen?

a. Wie ist hier die **Wichtigkeit** einzustufen?

19. **Verändert** sich die **Wichtigkeit der Einflussfaktoren** von Situation zu Situation? Bspw. bei veränderter Auftragslage (Dynamik)?

Block F – Weiteres Vorgehen

20. **Rollentausch:** Stellen Sie sich vor, Sie würden den besprochenen Bereich beforschen, **was bzw. welche Fragen** würden Sie dann zusätzlich untersuchen?

21. Wer sind aus Ihrer Sicht **weitere Ansprechpartner**, die wichtige Informationen zu diesem Thema beitragen können? Bspw. konkrete Personen, Organisationen, Unternehmen, etc.

22. Haben Sie weitergehende **Fragen** an mich?

- Erläuterung der nächsten Schritte
- Dank und Verabschiedung

Anhang F

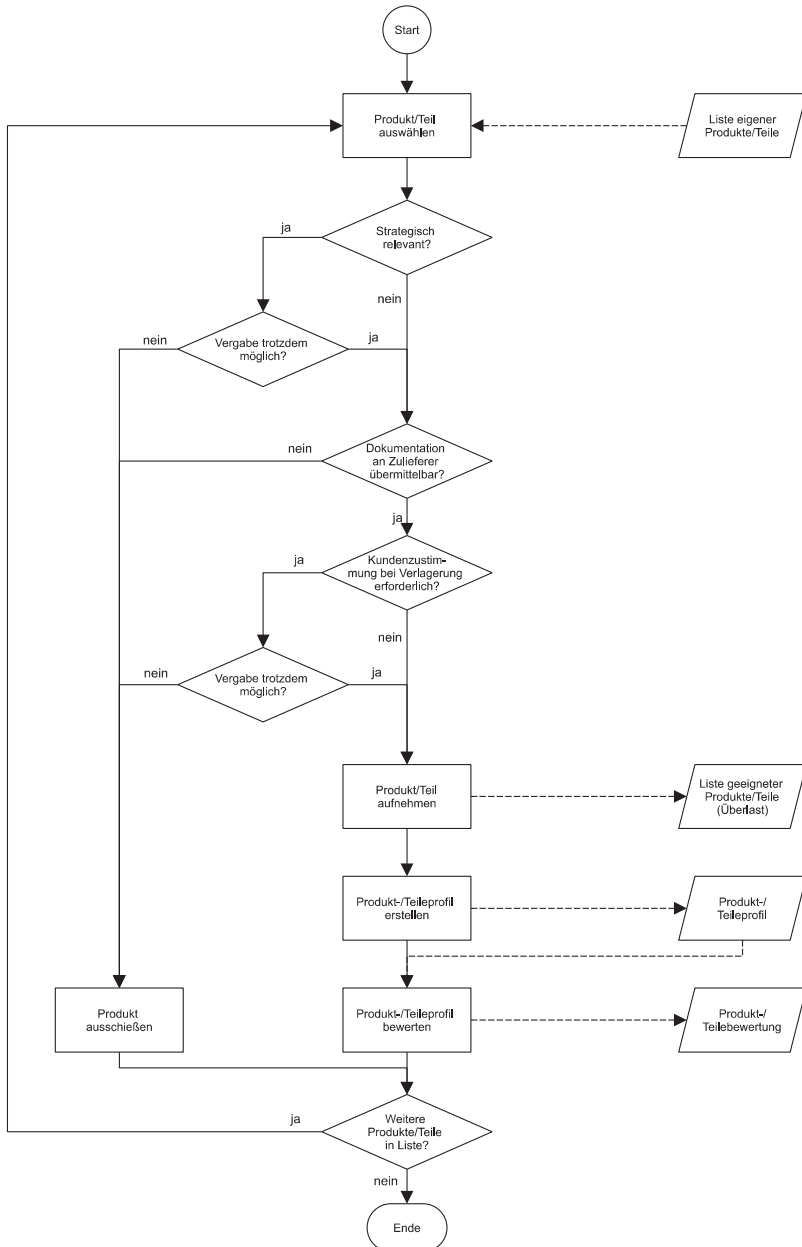
Codes	Interviewtranskript (Auszug)
<p data-bbox="180 236 277 252"><i>Anforderungen</i></p> <div data-bbox="143 260 314 323" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Genaue Vorstellung der Kapazitäten/Möglichkeiten in der Fertigung </div> <div data-bbox="143 331 314 387" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Definierter Datenaustausch </div>	<p data-bbox="389 236 800 252">MI: Was für Anforderungen würden Sie an so ein Tool stellen?</p> <p data-bbox="389 268 543 284"><i>#Zeitstempel: 1:12:21#</i></p> <p data-bbox="389 292 944 555">Antwort: Natürlich ist es ganz wichtig, dass es eine genaue Kapazitätsvorstellung da ist. Also, dass man genau weiß, der hat die Maschinen mit der Spindel und dem Durchlass, usw. Welche Werkstoffe und Materialien kann er bearbeiten? In welchem Umfang? Das sind alle Einzelheiten und Informationen, bei denen es spannend wird. Kunden von uns, wollen das auch gerne haben. Wettbewerbern gebe ich das natürlich nicht gerne. Das ist eine hohe Akzeptanz/Transparenz. Es hat unglaublich viel mit Vertrauen zu tun. Wer läuft damit los? Aber man muss genau wissen, was für Kapazitäten/Möglichkeiten in der Fertigung gegeben sind. Welche Schnittstellen, welche Formate können ausgetauscht werden. Das ist wichtig, damit man das sofort sieht. Bei Genauigkeiten, da hört es dann wieder auf. Wir können auch ganz genau fertigen, aber es hängt auch immer davon ab, welche Länge das Teil hat, welche Tiefe haben die Bohrungen. Da fängt dann schon wieder viel Know-How an. Aber wäre spannend zu sehen, ob er diese Tiefe der Bohrung noch machen oder ist es dann schon wieder ein anderer? Da geht es in den Bereich Tieflochbohrungen und da habe ich ganz andere Maschinen.</p>
<p data-bbox="180 411 277 427"><i>Hindernisse</i></p> <div data-bbox="143 435 314 499" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Vertrauen und partnerschaftliches Verhältnis erforderlich </div>	

Anhang G*Prozessübersicht:*

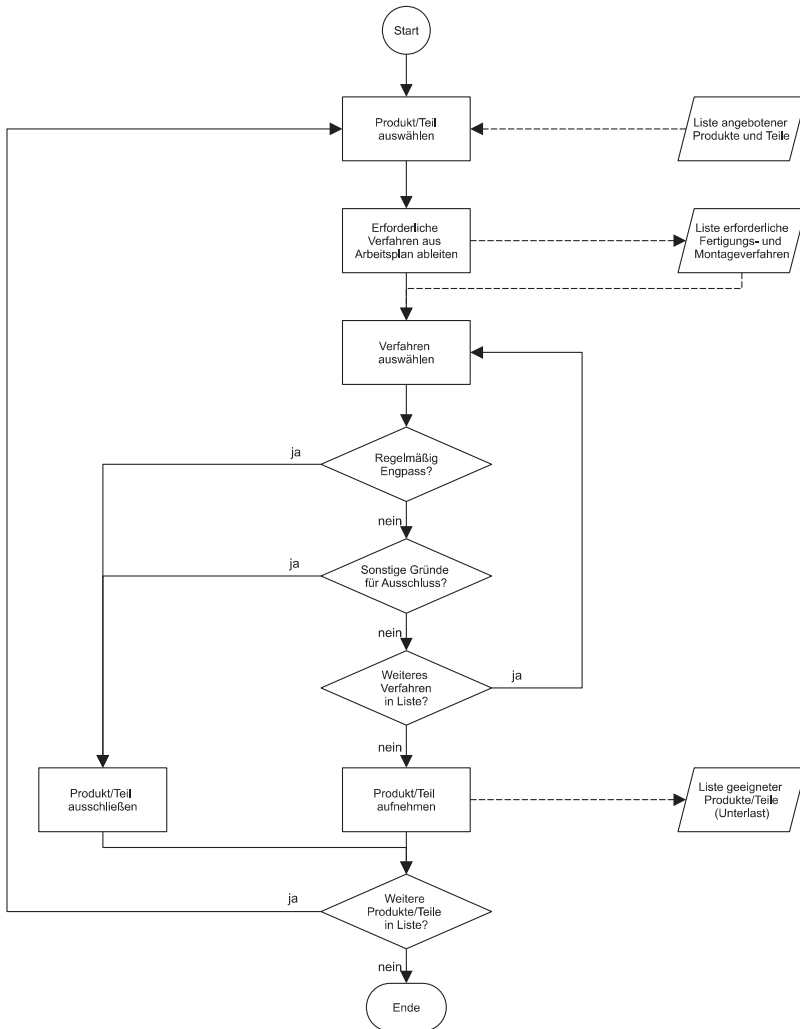
	Produktbezogen		Prozessbezogen	
	Überbelastung	Unterbelastung	Überbelastung	Unterbelastung
Modul A	Prozess A.1	Prozess A.2	Prozess A.3	Prozess A.4
Modul B	Prozess B.1 + Prozess B.2	Prozess B.3	Prozess B.4 + Prozess B.5	Prozess B.6

Die einzelnen Prozessschaubilder finden sich auf den Folgeseiten.

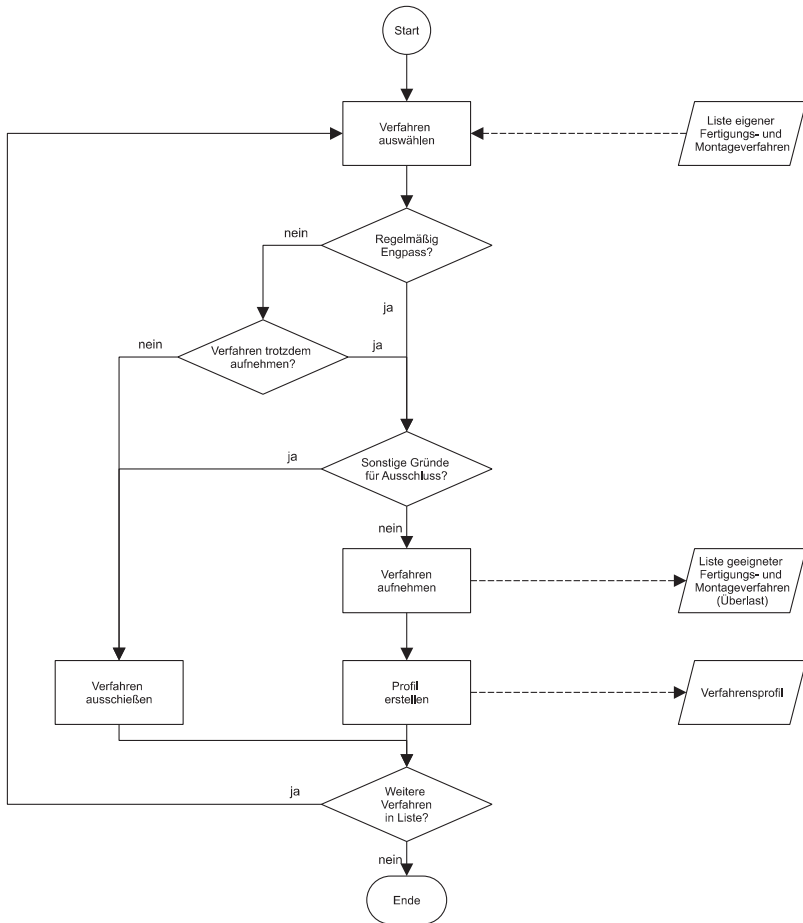
Prozess A.1 - Identifikation und Bewertung geeigneter Produkte und Teile bei Überbelastung



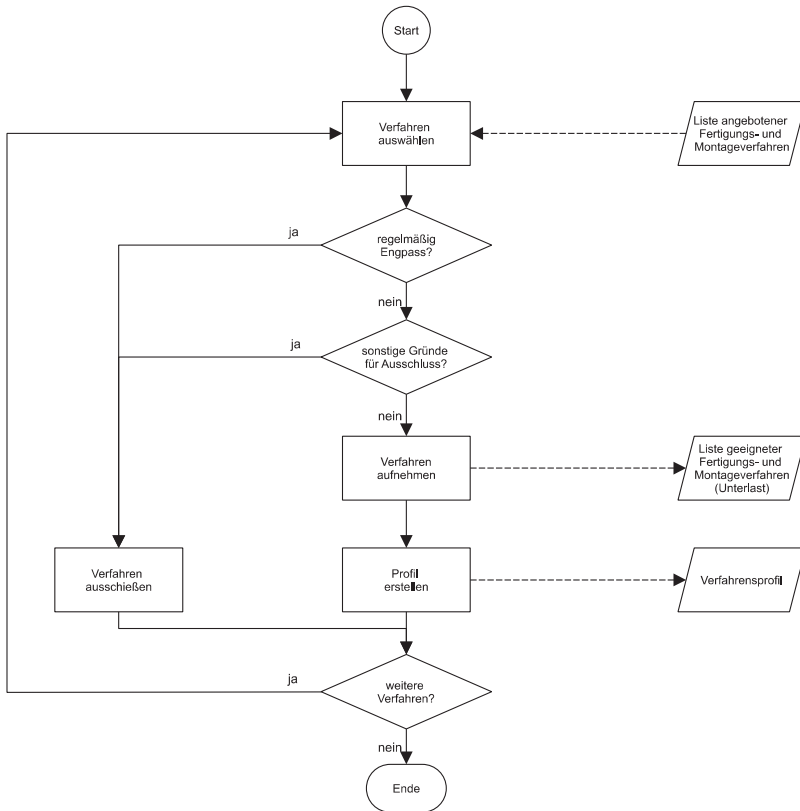
Prozess A.2 - Identifikation geeigneter Produkte und Teile bei Unterbelastung



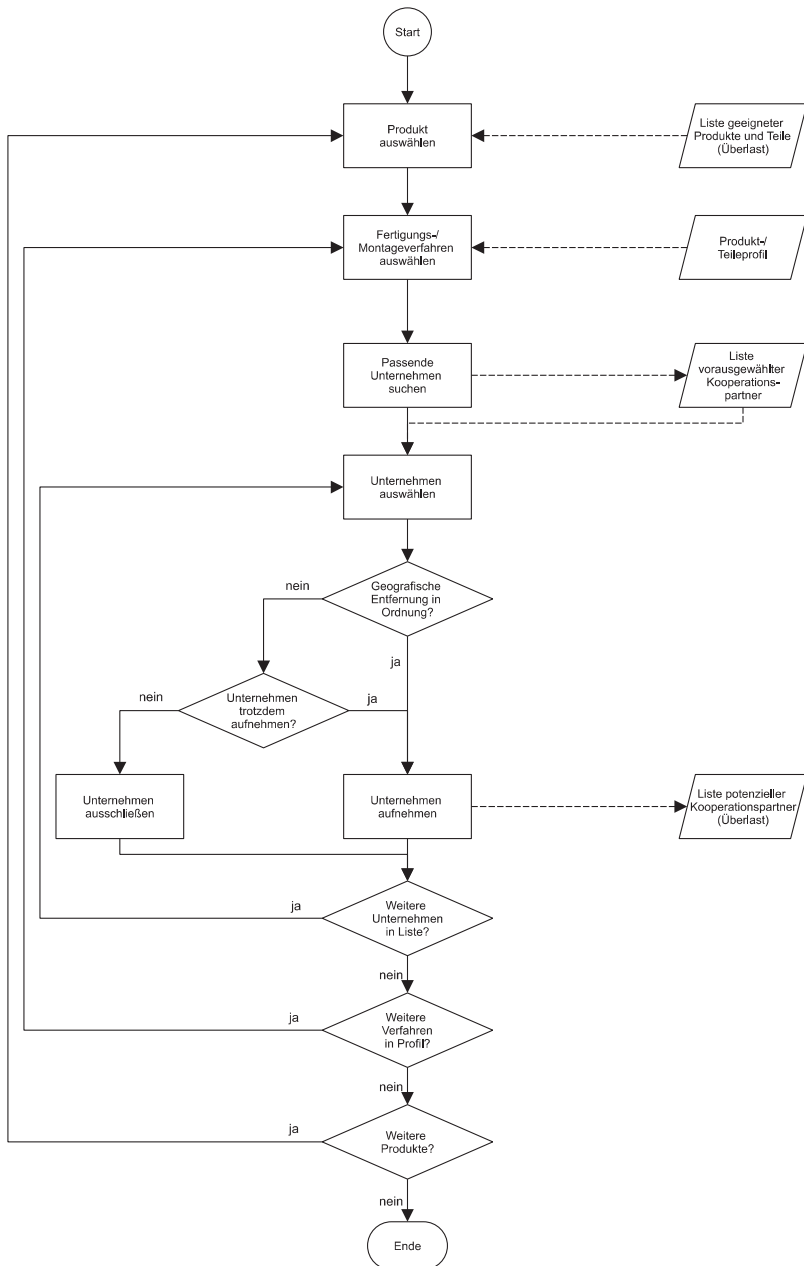
Prozess A.3 - Identifikation geeigneter Fertigungs- und Montageverfahren bei Überbelastung



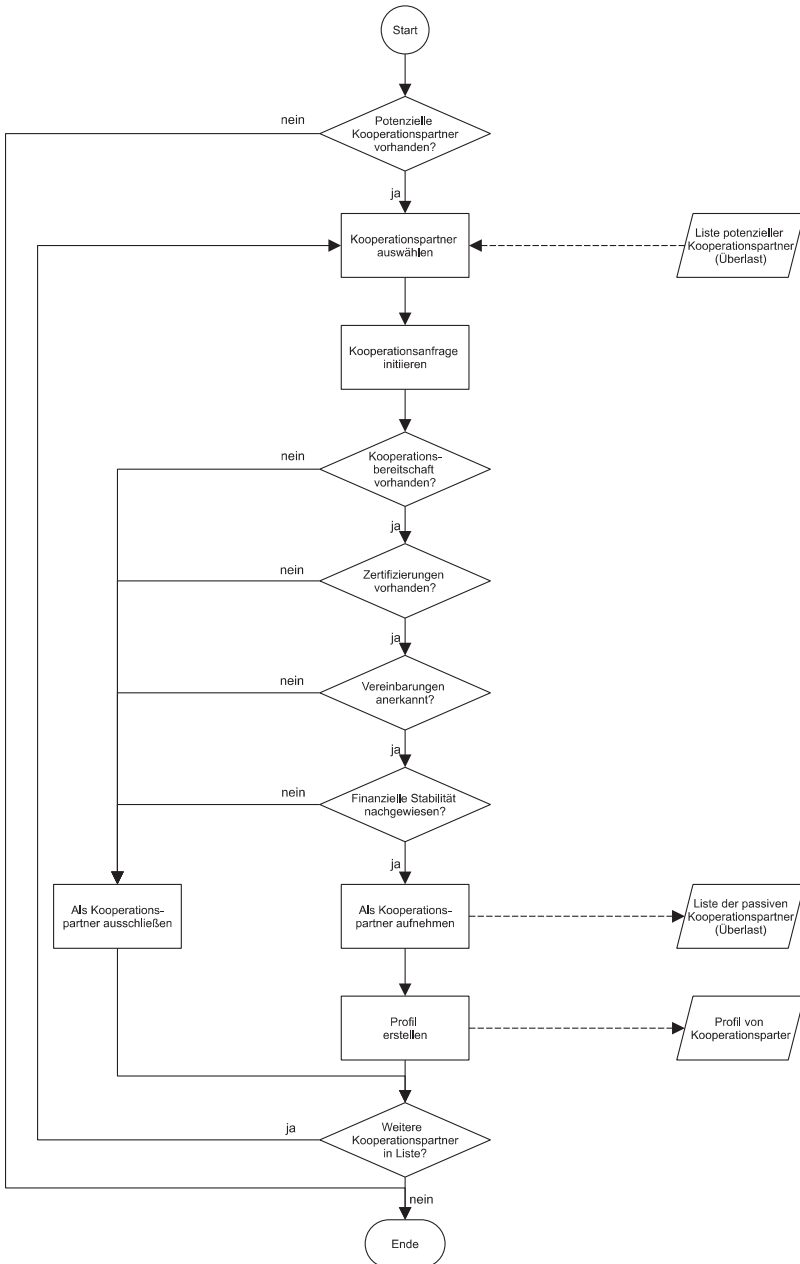
Prozess A.4 - Identifikation geeigneter Fertigungs- und Montageverfahren bei Unterbelastung



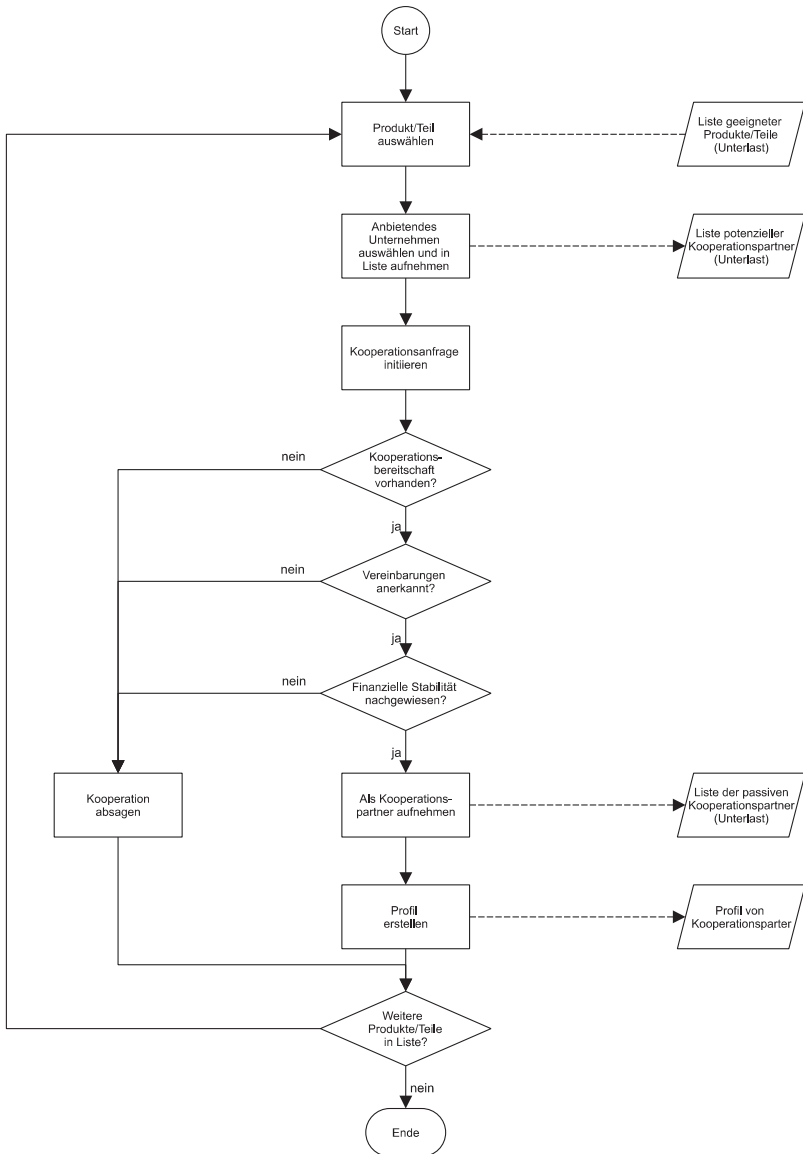
Prozess B.1 - Produktbezogene Identifikation potenzieller Kooperationspartner für eine Überbelastung



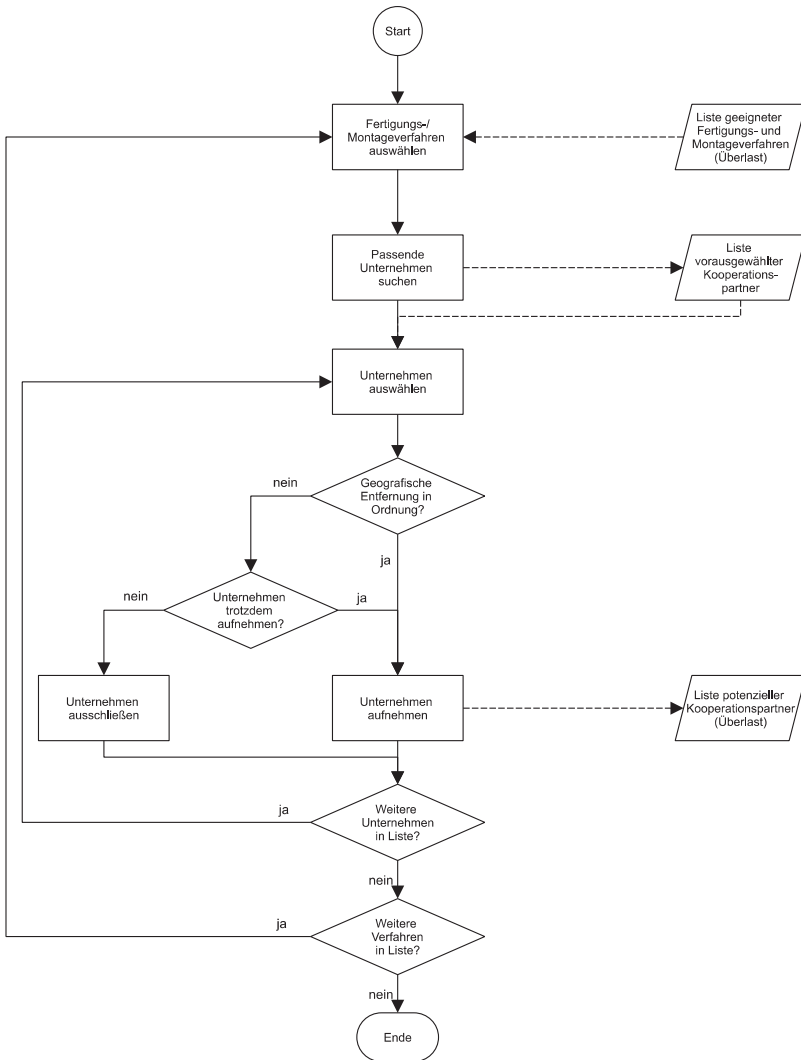
Prozess B.2 - Produktbezogene Grundsätzliche Auswahl der Kooperationspartner für eine Überbelastung



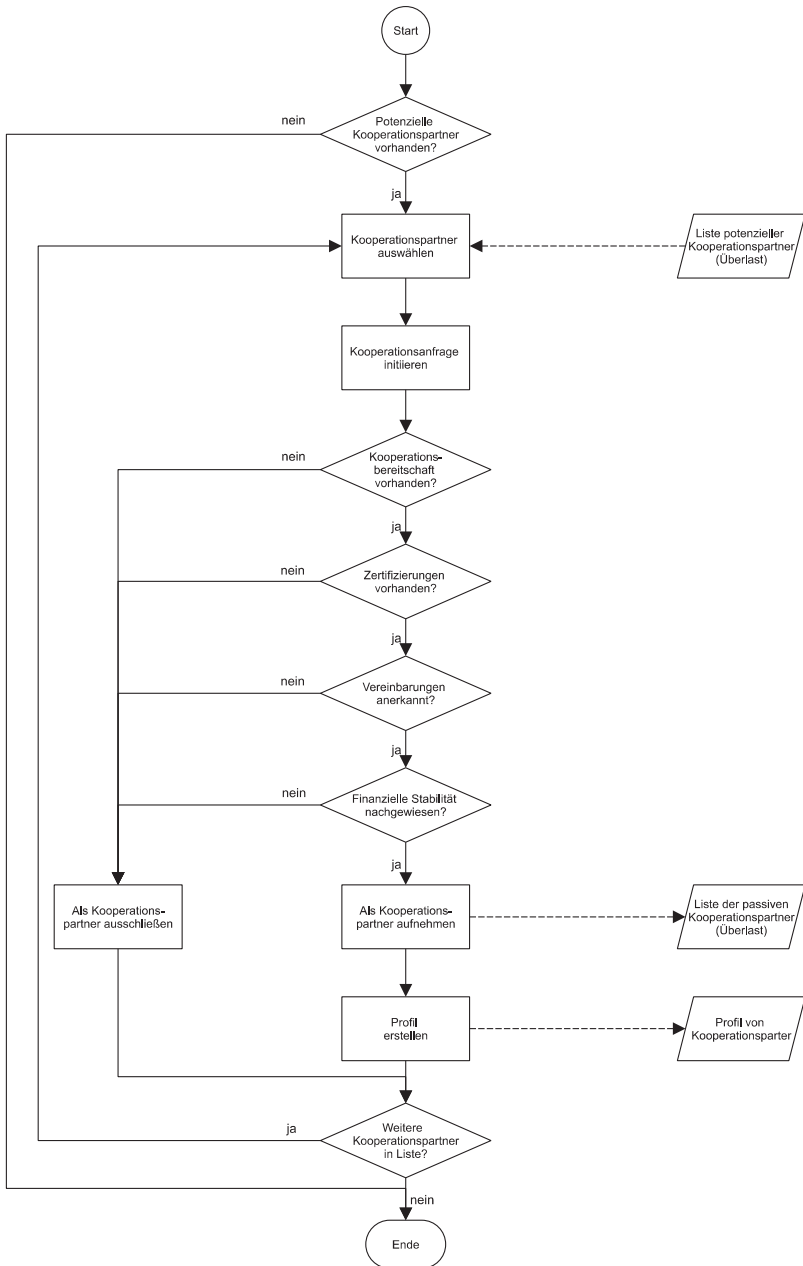
Prozess B.3 - Produktbezogene Grundsätzliche Auswahl der Kooperationspartner für eine Unterbelastung



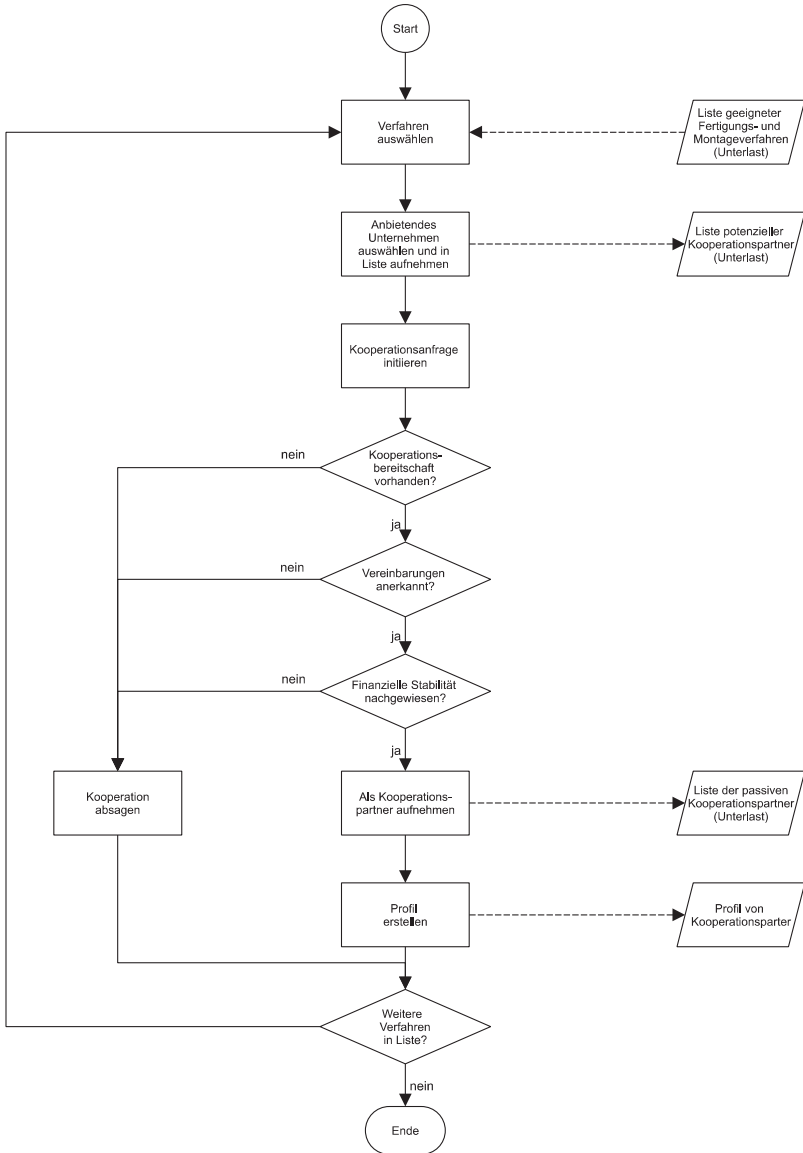
Prozess B.4 - Prozessbezogene Identifikation potenzieller Kooperationspartner für eine Überbelastung



Prozess B.5 - Prozessbezogene Grundsätzliche Auswahl der Kooperationspartner für eine Überbelastung



Prozess B.6 - Prozessbezogene Grundsätzliche Auswahl der Kooperationspartner für eine Unterbelastung



LITERATURVERZEICHNIS

- Adamson, G.; Wang, L.; Holm, M. (2013): The State of the Art of Cloud Manufacturing and Future Trends, V002T02A004. DOI: 10.1115/MSEC2013-1123.
- Adamson, G.; Wang, L.; Holm, M.; Moore, P. (2015a): Adaptive Robot Control as a Service in Cloud Manufacturing, V002T04A020. DOI: 10.1115/MSEC2015-9479.
- Adamson, G.; Wang, L.; Holm, M.; Moore, P. (2015b): Cloud manufacturing – a critical review of recent development and future trends, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1, (1), S. 347ff. DOI: 10.1080/0951192X.2015.1031704.
- Agthe, I.; Lenkewitz, C. (2001): Flexibilisierung von Produktionsnetzwerken - PPS-integrierte Auftrags- und Kapazitätsbörse - elektronischer Intermediär der Zukunft, In: *FIR+IAW-Zeitschrift für Organisation und Arbeit in Produktion und Dienstleistung*, (4), S. 16, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Ahn, G.; Park, Y.-J.; Hur, S. (2017): Probabilistic Graphical Framework for Estimating Collaboration Levels in Cloud Manufacturing, In: *Sustainability*, 9, (2), S. 277ff. DOI: 10.3390/su9020277.
- Aitken, J. M. (1998): Supply Chain Integration Within the Context of a Supplier Association: Case Studies of Four Supplier Associations - Dissertation, Cranfield University.
- Albrecht, M. (2010): Supply Chain Coordination Mechanisms - New Approaches for Collaborative Planning, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ananiadou, S.; Rea, B.; Okazaki, N.; Procter, R.; Thomas, J. (2009): Supporting Systematic Reviews Using Text Mining, In: *Social Science Computer Review*, 27, (4), S. 509ff. DOI: 10.1177/0894439309332293.
- Anderl, R.; Bauer, K.; Diegner, B.; Diemer, J.; Fay, A.; Fritz, J.; Goericke, D.; Grotepass, J.; Hilger, C.; Jasperneite, J.; Kalhoff, J.; Kubach, U.; Löwen, U.; Menges, G.; Michels, J. Stefan; Münch, W.; Preiß, H.; Reus, O.; Schmidt, F.; Schmolze-Krahn, R.; Steffens, E.-J.; Stiedl, T.; Hompel, M. ten; Zeidler, C. (2016a): AGP - Auftragsgesteuerte Produktion - Langfassung.
- Anderl, R.; Bauer, K.; Diegner, B.; Diemer, J.; Fay, A.; Fritz, J.; Goericke, D.; Grotepass, J.; Hilger, C.; Jasperneite, J.; Kalhoff, J.; Kubach, U.; Löwen, U.; Menges, G.; Michels, J. Stefan; Münch, W.; Preiß, H.; Reus, O.; Schmidt, F.; Schmolze-Krahn, R.; Steffens, E.-J.; Stiedl, T.; Hompel, M. ten; Zeidler, C. (2016b): Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien - Ergebnispapier.
- Anderl, R.; Strang, D.; Picard, A.; Christ, A. (2014): Integriertes Bauteildatenmodell für Industrie 4.0 - Informationsträger für cyber-physische Produktionssysteme, In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109, S. 64ff., zuletzt geprüft am 03.06.2016.
- Archimede, B.; Letouzey, A.; Ali Memon, M.; Xu Jiucheng Xu (2014): Towards a distributed multi-agent framework for shared resources scheduling, In: *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25, (5), S. 1077ff.

- Argoneto, P.; Renna, P. (2013): Capacity sharing in a network of enterprises using the Gale–Shapley model, In: *Int J Adv Manuf Technol*, 69, (5-8), S. 1907ff. DOI: 10.1007/s00170-013-5155-y.
- Argoneto, P.; Renna, P. (2016): Supporting capacity sharing in the cloud manufacturing environment based on game theory and fuzzy logic, In: *Enterprise Information Systems*, 10, (2), S. 193ff. DOI: 10.1080/17517575.2014.928950.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.) (2008): *Handbuch Logistik*, 3. Aufl., Berlin: Springer.
- Bahinipati, B. K.; Deshmukh, S. G. (2014): Lateral Collaboration in Semiconductor Industry Supply Networks, In: *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 7, (3), S. 39ff. DOI: 10.4018/ijjsscm.2014070103.
- Baraldi, E.; Gressetvold, E.; Harrison, D. (2012): Resource interaction in inter-organizational networks - Introduction to the special issue, In: *Journal of Business Research*, 65, (2), S. 123ff. DOI: 10.1016/j.jbusres.2011.05.010.
- Bauer, K.; Diemer, J.; Ensthaler, J.; Hilger, C.; Jänicke, L.; Jochem, M.; Klingenburg, K.; Kosch, B.; Krammel, M.; Legat, C.; Schauf, T.; Schipp, J.; Schlinkert, H.-J.; Schweichhart, K.; Schweinoch, M. (2017): Anwendungsszenario trifft Praxis: Auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers.
- Becker, T.; Kück, M.; Hardemann, F. (2015): Chancen und Risiken von Shared Resources in Produktionsnetzwerken - Vom Outsourcing zu einer industriellen Share Economy, In: *Industrie Management*, (4), S. 25ff., zuletzt geprüft am 30.05.2016.
- Becker, T.; Stern, H. (2016): Impact of Resource Sharing in Manufacturing on Logistical Key Figures, In: *Procedia CIRP*, 41, S. 579ff. DOI: 10.1016/j.procir.2015.12.037.
- Bischoff, J.; Taphorn, C.; Wolter, D.; Braun, N.; Fellbaum, M.; Goloverov, A.; Ludwig, S.; Hegmanns, T.; Prasse, C.; Henke, M.; ten Hompel, M.; Döbbeler, F.; Fuss, E.; Kirsch, C.; Mättig, B.; Braun, S.; Guth, M.; Kaspers, M.; Scheffler, D. (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand, Agiplan, Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt geprüft am 01.06.2016.
- Blondel, V. D.; Guillaume, J.-L.; Lambiotte, R.; Lefebvre, E. (2008): Fast unfolding of communities in large networks, In: *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008, (10), P10008. DOI: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.
- Blumberg, B.; Cooper, D. R.; Schindler, P. S. (2008): *Business research methods*, 2. European ed., London: McGraw-Hill Education.
- BMWi/Plattform Industrie 4.0 (2018a): Was ist Industrie 4.0?, Online verfügbar unter <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>, zuletzt geprüft am 20.03.2018.

- Bogner, A.; Menz, W. (2002): Das theoriegenerierende Experteninterview - Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion, In: Alexander Bogner, Beate Littig und Menz, Wolfgang (Hrsg.), *Das Experteninterview - Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 33ff.
- Bortz, J.; Döring, N. (2006): *Forschungsmethoden und Evaluation - Für Human- und Sozialwissenschaftler*; mit 87 Tabellen, 4., überarb. Aufl., [Nachdr.], Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Boutin, O.; Cotteceau, B.; Loiseau, J. Jacques; L'Anton, A. (2011): Shared resources in production systems - (max,+) analysis, In: *IJMOR*, 3, (2), S. 125. DOI: 10.1504/IJMOR.2011.038907.
- Brich, S.; Hasenbalg, C. (Hrsg.) (2013): *Kompakt-Lexikon Wirtschaftsinformatik - 1.500 Begriffe nachschlagen, verstehen, anwenden*, Wiesbaden: Springer Gabler.
- Bruch, H. (1998): *Outsourcing - Konzepte und Strategien, Chancen und Risiken*, Wiesbaden: Gabler.
- Buckholtz, B.; Ragai, I.; Wang, L. (2015): Cloud Manufacturing - Current Trends and Future Implementations, In: *J. Manuf. Sci. Eng.*, 137, (4), 040902-1 - 040902-9. DOI: 10.1115/1.4030009.
- Bullinger, H.-J.; Hompel, M. ten (Hrsg.) (2007): *Internet der Dinge - Www.internet-der-dinge.de*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bussmann, S.; Jennings, N. R.; Wooldridge, M. (2004): *Multiagent Systems for Manufacturing Control - A Design Methodology*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Cai, H.; Yu, T.; Fang, M. (2005): Dynamic access control for manufacturing grids - International Symposium on Communications and Information Technologies 2005 proceedings October 12-14, 2005, Beijing, China, In: Zheng Zhou (Hrsg.), *IEEE International Symposium on Communications and Information Technology, 2005* - International Symposium on Communications and Information Technologies 2005 proceedings October 12-14, 2005, Beijing, China, Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, S. 888ff.
- Cai, H.; Yu, T.; Fang, M.; Lei, Y. (2005): Security solution to manufacturing grid usage scenarios - May 9-12, 2005, Cardiff, Wales, In: *IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2005, CCGrid 2005* - May 9-12, 2005, Cardiff, Wales, Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 638-643 Vol. 2.
- Cai, M.; Zhang, W. Y.; Chen, G.; Zhang, K.; Li, S. T. (2010): SWMRD - A Semantic Web-based manufacturing resource discovery system for cross-enterprise collaboration, In: *International Journal of Production Research*, 48, (12), S. 3445ff. DOI: 10.1080/00207540902814330.
- Camarinha-Matos, L. M.; Afsarmanesh, H. (1999a): Tendencies and General Requirements for Virtual Enterprises, In: Luis M. Camarinha-Matos und Afsarmanesh, Hamideh (Hrsg.), *Infrastructures for Virtual Enterprises*, Boston, MA: Springer, 15-30.

- Camarinha-Matos, L. M.; Afsarmanesh, H. (1999b): The Virtual Enterprise Concept, In: Luis M. Camarinha-Matos und Afsarmanesh, Hamideh (Hrsg.), *Infrastructures for Virtual Enterprises*, Boston, MA: Springer, 3–14.
- Cao, M.; Vonderembse, M.; Zhang, Q.; Ragu-Nathan, T. S. (2010): Supply chain collaboration - Conceptualisation and instrument development, In: *Int. J. of Prod. Res.*, 48, (22), S. 6613ff. DOI: 10.1080/00207540903349039.
- Cao, W.; Jiang, P.; Jiang, K. (2015): Demand-based manufacturing service capability estimation of a manufacturing system in a social manufacturing environment, In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231, (7), S. 1275ff. DOI: 10.1177/0954405415585255.
- Cao, W.; Jiang, P. Yu (2012): Cloud Machining Community for Social Manufacturing, In: *AMM*, 220-223, S. 61ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.61.
- Chakravarty, A. K.; Zhang, J. (2007): Lateral capacity exchange and its impact on capacity investment decisions, In: *Naval Research Logistics*, 54, (6), S. 632ff. DOI: 10.1002/nav.20235.
- Chan, F. T. S.; Wang, Z.; Zhang, J.; Wadhwa, S. (2008): Two-level hedging point control of a manufacturing system with multiple product-types and uncertain demands, In: *International Journal of Production Research*, 46, (12), S. 3259ff. DOI: 10.1080/00207540600793471.
- Chen, J.-C.; Wang, K.-J.; Wang, S.-M.; Yang, S.-J. (2008a): Price negotiation for capacity sharing in a two-factory environment using genetic algorithm, In: *International Journal of Production Research*, 46, (7), S. 1847ff. DOI: 10.1080/00207540601008440.
- Chen, T.-Y.; Chen, Y.-M.; Chu, H.-C.; Wang, C.-B. (2008b): Distributed access control architecture and model for supporting collaboration and concurrency in dynamic virtual enterprises, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21, (3), S. 301ff. DOI: 10.1080/09511920701196950.
- Chen, T.-Y.; Chen, Y.-M.; Wang, C.-B. (2008): A Formal Virtual Enterprise Access Control Model, In: *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A*, 38, (4), S. 832ff. DOI: 10.1109/TSMCA.2008.923090.
- Cheng, T.; Zhang, J.; Hu, C.; Wu, B.; Yang, S. (2001): Intelligent Machine Tools in a Distributed Network Manufacturing Mode Environment, In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, (3), S. 221ff. DOI: 10.1007/s001700170194.
- Cheng, Y.; Tao, F.; Liu, Y.; Zhao, D.; Zhang, L.; Xu, L. (2013): Energy-aware resource service scheduling based on utility evaluation in cloud manufacturing system, In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227, (12), S. 1901ff. DOI: 10.1177/0954405413492966.
- Chopra, S.; Meindl, P. (2016): Supply chain management - Strategy, planning, and operation, Sixth edition, global edition, Boston, Columbus, Indianapolis, New York, San Francisco, Amsterdam, Cape Town, Dubai, London, Madrid, Milan, Munich, Paris, Montréal,

- Toronto, Delhi, Mexico City, São Paulo, Sydney, Hong Kong, Seoul, Singapore, Taipei, Tokyo: Pearson.
- Christopher, M. (2011): *Logistics & supply chain management*, 4. ed., Harlow: Financial Times Prentice Hall.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (2009): *Produktionswirtschaft - Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*, In: *Corsten, Hans: Übungsbuch zur Produktionswirtschaft*,
- Creswell, J. W.; Plano Clark, V. L. (2011): *Designing and conducting mixed methods research*, 2nd edition, Los Angeles, London, New Dehli, Singapore, Washington DC: SAGE.
- Dan, B.; Li, L.; Zhang, X.; Guo, F.; Zhou, J. (2005): *Network-integrated manufacturing system*, In: *International Journal of Production Research*, 43, (12), S. 2631ff. DOI: 10.1080/00207540500044892.
- Darlington, J.; Francis, M.; Found, P.; Thomas, A. (2014): *Design and implementation of a Drum-Buffer-Rope pull-system*, In: *Production Planning & Control*, 26, (6), S. 489ff. DOI: 10.1080/09537287.2014.926409.
- Dekkers, R. (2009): *Distributed Manufacturing as co-evolutionary system*, In: *International Journal of Production Research*, 47, (8), S. 2031ff. DOI: 10.1080/00207540802350740.
- Denyer, D.; Tranfield, D. (2011): *Producing a Systematic Review*, In: David A. Buchanan und Bryman, Alan (Hrsg.), *The Sage handbook of organizational research methods*, Thousand Oaks, CA: Sage Publications Inc, S. 671ff.
- Ding, B.; Yu, X.-Y.; Sun, L.-J. (2012): *A Cloud-Based Collaborative Manufacturing Resource Sharing Services*, In: *Information Technology J.*, 11, (9), S. 1258ff. DOI: 10.3923/itj.2012.1258.1264.
- Dobson, G.; YANO, C. ARAI (2002): *Product Offering, Pricing, and Make-to-Stock/Make-to-Order Decisions With Shared Capacity*, In: *Production and Operations Management*, 11, (3), S. 293ff. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2002.tb00188.x.
- Dong, H.; Xie, J.; Yang, S. (2009): *Quality Chain Service Management of Manufacturing Based on Grid*, S. 321ff. DOI: 10.1109/ICIII.2009.537.
- Dong, Q. Ying; Kan, S. Lin; Gui, Y. Kun; Cai, C. Zhi (2010): *The Manufacturing Resource Modeling of Multistage Manufacturing System Based on the Capacity Manufacturing Unit*, In: *AMR*, 97-101, S. 2752ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.2752.
- Dörries, F. (2017): *Digitalisierung als Unterstützer für die unternehmensübergreifende Nutzung von Maschinenkapazitäten - Masterarbeit*, Technische Universität Hamburg, Hamburg, Institut für Logistik und Unternehmensführung,
- Du, B. Gang; Guo, S. Sheng; Li, Y. Bing; Guo, J. (2013): *Order-Oriented Manufacturing Resource Sharing of Building Material and Equipment Enterprise in Cloud Manufacturing*, In: *AMR*, 823, S. 565ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.823.565.

- Duan, R.; Wang, Z.; Chi, M.; Xu, X. (2015): Application and Research of Enterprise Information Based on Grid, S. 7ff. DOI: 10.1109/AITS.2015.9.
- Dyckhoff, H.; Spengler, T. Stefan (2007): Produktionswirtschaft - Eine Einführung für Wirtschaftsingenieure, 2, verb. Aufl, Berlin, Heidelberg: Springer.
- (2016): Techpilot in Zahlen, DynamicMarkets GmbH, Online verfügbar unter <https://www.techpilot.de/techpilot-in-zahlen>, zuletzt geprüft am 09.09.2017.
- Eggert, S. (2006): Produktionsplanung und -steuerung in dynamischen Produktionsnetzwerken, Hamburg: Kovač.
- Eikvil, Line(1999): Information Extraction from World Wide Web - A Survey, Oslo, Online verfügbar unter https://www.nr.no/~eikvil/webIE_rep945.pdf.
- Engelhardt-Nowitzki, C.; Nowitzki, O.; Zsifkovits, H. (2010): Supply Chain Network Management - Gestaltungskonzepte und Stand der praktischen Anwendung, Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Erl, T. (2006): Service-oriented architecture - Concepts, technology, and design, 5th print, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Eßig, M. (2008): D 4.3 Vertikale Kooperationen in der Logistik, In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Furmans, Kai (Hrsg.), *Handbuch Logistik*, 3. Aufl., Berlin: Springer, S. 981ff.
- Etzioni, O. (1996): The World-Wide Web - Quagmire or gold mine?, In: *Commun. ACM*, 39, (11). DOI: 10.1145/240455.240473.
- EU Kommission (2003):Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, In: *Amtsblatt der Europäischen Union*, Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32003H0361>.
- Fan, Y.; Huang, C.; Wang, Y.; Zhang, L. (2005): Architecture and operational mechanisms of networked manufacturing integrated platform, In: *International Journal of Production Research*, 43, (12), S. 2615ff. DOI: 10.1080/00207540500045162.
- Feng, D. Z.; Yamashiro, M. (2003): A pragmatic approach for optimal selection of plant-specific process plans in a virtual enterprise, In: *Prod. Planning & Control*, 14, (6), S. 562ff. DOI: 10.1080/09537280310001613759.
- Feng, D. Z.; Yamashiro, M. (2006): A pragmatic approach for optimal selection of plant-specific process plans in a virtual enterprise, In: *Journal of Materials Processing Technology*, 173, (2), S. 194ff. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.11.026.
- Field, A. (2011): Discovering statistics using SPSS - (and sex and drugs and rock 'n' roll), 3. ed., reprinted., Los Angeles, Calif.: SAGE.
- Fink, A. (2014): Conducting research literature reviews - From the internet to paper, 4. ed., Los Angeles: SAGE.

- Fleischmann, B. (2008): A 1.1 Begriffliche Grundlagen, In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Furmans, Kai (Hrsg.), *Handbuch Logistik*, 3. Aufl., Berlin: Springer, S. 3ff.
- Flick, U. (2010): Design und Prozess qualitativer Forschung, In: Uwe Flick, Ernst von Kardorff und Steinke, Indes (Hrsg.), *Qualitative Forschung*, 8. Aufl., Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 252-265.
- Flick, U. (2011): An introduction to qualitative research, 4. ed., repr, Los Angeles, Calif.: SAGE.
- Forrester, J. W. (1994): System dynamics, systems thinking, and soft OR, In: *Syst. Dyn. Rev.*, 10, (2-3), S. 245ff. DOI: 10.1002/sdr.4260100211.
- Freitag, M.; Becker, T.; Duffie, N. A. (2015): Dynamics of resource sharing in production networks, In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 64, (1), S. 435ff. DOI: 10.1016/j.cirp.2015.04.124.
- Freitag, M.; Lappe, D. (2015): Perspektiven von Shared Resources in der Produktion - Eine Analogie zwischen Web 2.0 und Industrie 4.0 als Basis für gemeinsam genutzte Ressourcen, In: *Industrie Management*, (4), S. 39ff., zuletzt geprüft am 30.05.2016.
- Friedman, D. (1993): The Double Auction Market Institution: A Survey, In: Daniel Friedman und Rust, John (Hrsg.), *The Double Auction Market*, Cambridge, Mass.: Perseus Publ, S. 3ff.
- Fulga, C. (2007): The Partner Selection Problem in a Virtual Enterprise, In: *Economic Computation and Economic Cybernetic Studies and Research*, 41, (3-4), S. 193ff.
- Gao, Y.; Zhang, H.-y.; Cao, S.-z. (2007): A Partner Selection Approach for Virtual Enterprise in Manufacturing Grid, In: *14th International Conference on Management Science and Engineering*, S. 675ff.
- Geisberger, E.; Broy, M. (2012): agendaCPS, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ghosh, R.; Longo, F.; Naik, V. K.; Trivedi, K. S. (2013): Modeling and performance analysis of large scale IaaS Clouds, In: *Future Generation Computer Systems*, 29, (5), S. 1216ff. DOI: 10.1016/j.future.2012.06.005.
- Gläser, J.; Laudel, G. (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen, 4. Auflage, Wiesbaden: VS Verlag.
- Groggert, S.; Ellerich, M.; Schmitt, R. (2015): Kollaborative Produktionsplanung und -steuerung in der Cloud, In: *ZWF*, 110, (7-8), S. 399ff. DOI: 10.3139/104.111355.
- Gui, Y. K.; Dong, Q. Y.; Kan, S. L. (2009): The Multidimensional Manufacturing Resource Modeling and Integration of Multistage Manufacturing System Based on Meta-Model, In: *AMR*, 69-70, S. 555ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.69-70.555.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (2017): Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Hackstein, R. (1989): Produktionsplanung und -steuerung (PPS) - Ein Handbuch für die Betriebspraxis, 2., überarb. Aufl., Düsseldorf: VDI-Verl.
- Hammervoll, T. (2014): Service provision for co-creation of value, In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 44, (1/2), S. 155ff. DOI: 10.1108/IJPDLM-02-2013-0024.
- Hao, H.; Wu, X. Gen; Li, H. Yu (2012): Research on Mechanism of Collaborative Production Management Based on Manufacturing Outsourcing, In: *AMR*, 630, S. 458ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.630.458.
- Hao, Q.; Shen, W.; Wang, L.; Lang, S. (2003): Cooperative Scheduling for Inter-Enterprise Manufacturing Resources Sharing, In: Ashwani K. Gupta (Hrsg.), *Proceedings of the 2003 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, New York, NY: American Society of Mechanical Engineers, S. 911ff.
- Hardwick, M.; Spooner, D. L.; Rando, T.; Morris, K. C. (1996): Sharing manufacturing information in virtual enterprises, In: *Commun. ACM*, 39, (2), S. 46ff. DOI: 10.1145/230798.230803.
- Hart, C. (2005): Doing a literature review - Releasing the social science research imagination, Reprinted., London: SAGE.
- Hartmann, F. (2006): Fabrik auf Anfrage.
- Hegmann, T. (2011): Wandlungsfähigkeit der Netzwerkleistung durch kollaboratives BKM, In: *Industrie Management*, 27, (3), S. 25ff.
- Hellingrath, B.; Hegmann, T.; Maaß, J.-C.; Toth, M. (2008): B6 Prozesse in Logistiknetzwerken - Supply Chain Management, In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Furmans, Kai (Hrsg.), *Handbuch Logistik*, 3. Aufl., Berlin: Springer, S. 459ff.
- Hieber, R. (2002): Supply chain management - A collaborative performance measurement approach, Zürich/Singen: vdf Hochschulverl. an der ETH.
- (2018b): Hintergrund zur Plattform Industrie 4.0, Online verfügbar unter <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Plattform/Plattform-Industrie-40/plattform-industrie-40.html>, zuletzt geprüft am 20.03.2018.
- Hirsch-Kreinsen, H.; Weyer, J. (2014): Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0".
- Huang, X. G.; Wong, Y. S.; Wang, J. G. (2004): A two-stage manufacturing partner selection framework for virtual enterprises, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17, (4), S. 294ff. DOI: 10.1080/09511920310001654292.
- Huber, G.; Nohammer, E.; Stummer, H. (2011): Investigating competitive advantage in industrial networks, In: *International Journal of Automotive Technology and Management*, 11, (1), S. 1. DOI: 10.1504/IJATM.2011.038118.

- Inaam, Z.; Abderrahman, M.; Yasmina, H. (2016): A framework of Performance Assessment of Collaborative Supply Chain, In: *IFAC-PapersOnLine*, 49, (12), S. 845ff. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.07.880.
- Indorf, M.; Kersten, W.; Schröder, M. (2016): Risk Management for Supply Chains in the Digital Age, In: Werner Delfmann und Wimmer, Thomas (Hrsg.), *Logistics in the Times of the 4th Industrial Revolution*, Bremen, S. 185ff.
- Irlé, C. (2011): Rationalität von Make-or-buy-Entscheidungen in der Produktion, 1. Aufl., Wiesbaden: Gabler / Springer Fachmedien.
- Jacomy, M.; Venturini, T.; Heymann, S.; Bastian, M. (2014): ForceAtlas2, a continuous graph layout algorithm for handy network visualization designed for the Gephi software, In: *PLoS one*, 9, (6), e98679. DOI: 10.1371/journal.pone.0098679.
- Jain, S.; Fong Choong, N.; Maung Aye, K.; Luo, M. (2001): Virtual factory - An integrated approach to manufacturing systems modeling, In: *International Journal of Operations & Production Management*, 21, (5/6), S. 594ff. DOI: 10.1108/01443570110390354.
- Jeng, M. Der; DiCesare, F. (1995): Synthesis using resource control nets for modeling shared-resource systems, In: *IEEE Trans. Robot. Automat.*, 11, (3), S. 317ff. DOI: 10.1109/70.388774.
- Jesson, J. K.; Matheson, L.; Lacey, F. M. (2011): Doing your literature review - Traditional and systematic techniques, Los Angeles, Calif.: SAGE Publ.
- Jiang, P.; Ding, K.; Leng, J. (2016): Towards a cyber-physical-social-connected and service-oriented manufacturing paradigm - Social Manufacturing, In: *Manufacturing Letters*, 7, S. 15ff. DOI: 10.1016/j.mfglet.2015.12.002.
- Jiang, P.-Y.; Zhou, G.-H.; Zhao, G.; Zhang, Y.-F.; Sun, H.-B. (2007): e²-MES: an e-service-driven networked manufacturing platform for extended enterprises, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20, (2-3), S. 127ff. DOI: 10.1080/09511920601020664.
- Jiang, Y.; Zhao, J. (2014): Co-creating business value of information technology, In: *Industry Mngmnt & Data Systems*, 114, (1), S. 53ff. DOI: 10.1108/IMDS-04-2013-0171.
- Jiao, L.; Huang, H.; Cheung, T.-Y. (2008): Handling Resource Sharing Problem Using Property-Preserving Place Fusions of Petri Nets, In: *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 17, (03), S. 365ff. DOI: 10.1142/S021812660800437X.
- Jin, L.; Wen, Z.; A. Orafige, L. (2007): Distributed VR for Collaborative Design and Manufacturing - IV 2007 [proceedings] 4-6 July 2007, Zurich, Switzerland.
- Jones, S. L.; Fawcett, S. E.; Wallin, C.; Fawcett, A. M.; Brewer, B. L. (2014): Can small firms gain relational advantage? - Exploring strategic choice and trustworthiness signals in supply chain relationships, In: *International Journal of Production Research*, 52, (18), S. 5451ff. DOI: 10.1080/00207543.2014.915068.

- Kagermann, H. (2014): Cybersicherheit und Industrie 4.0, Potsdamer Konferenz für Nationale Cybersicherheit, Hasso-Plattner-Institut, Potsdam, 19.05.2014, Online verfügbar unter <http://www.tele-task.de/archive/video/flash/23855/>, zuletzt geprüft am 11.06.2014.
- Kersten, W.; Schröder, M.; Indorf, M. (2017): Potenziale der Digitalisierung für das Supply Chain Risikomanagement: Eine empirische Analyse, In: Mischa Seiter, Lars Grünert und Berlin, Sebastian (Hrsg.), *Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 47ff.
- Kersten, W.; See, B. von; Indorf, M. (2018): Digitalisierung als Wegbereiter für effizientere Wertschöpfungsnetzwerke, In: Anshuman Khare, Jan Wirsam und Kessler, Dagmar (Hrsg.), *Marktorientiertes Produkt- und Produktionsmanagement in digitalen Umwelten* Springer Gabler, S. 101ff.
- Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N.; Maurer, T. (2017): Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management - Chancen der digitalen Transformation, Hamburg: DVV Media Group GmbH.
- Khajavi, S. H.; Holmström, J. (2017): Production Capacity Pooling in Additive Manufacturing, Possibilities and Challenges, In: Hermann Lödding, Ralph Riedel, Klaus-Dieter Thoben, Gregor von Cieminski und Kiritsis, Dimitris (Hrsg.), *Advances in production management systems*, Cham: Springer, S. 501ff.
- Killich, S. (2011): Formen der Unternehmenskooperation, In: Thomas Becker, Ingo Dammer und Loose, Achim (Hrsg.), *Netzwerkmanagement*, Dordrecht: Springer, 13-22.
- Kingsman, B. G.; Tatsiopoulos, I. P.; Hendry, L. C. (1989): A structural methodology for managing manufacturing lead times in make-to-order companies, In: *European Journal of Operational Research*, 40, (2), S. 196ff. DOI: 10.1016/0377-2217(89)90330-5.
- Kirn, S. (2002): Kooperierende intelligente Softwareagenten, In: *Wirtschaftsinf*, 44, (1), S. 53ff. DOI: 10.1007/BF03251465.
- Kloth, M. (1995): Arbeit in virtuellen Unternehmen - Kommunikation und Kooperation in verteilten Organisationen, In: *Logistik und Arbeit*, (6), S. 34ff.
- Klügl, F. (2001): Multiagentensimulation - Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen, München: Addison-Wesley.
- Klügl, F. (2013): Multiagentensysteme, In: Günther Görz, Josef Schneeberger und Schmid, Ute (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*, 5., überab. und korrigierte Aufl., München: Oldenbourg, S. 527ff.
- Kohtala, C. (2015): Addressing sustainability in research on distributed production - An integrated literature review, In: *Journal of Cleaner Production*, 106, S. 654ff. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.09.039.
- Kosala, R.; Blockeel, H. (2000): Web Mining Research: A Survey, In: *SIGKDD Explorations*, 2, (1), S. 1ff.

- Krenz, P.; Wulfsberg, J. P.; Brugns, F.-L. (2012): Unfold Collective Intelligence! - Erschließung neuer Wertschöpfungspotenziale durch Entfaltung kollektiver Intelligenz.
- Kück, M.; Becker, T.; Freitag, M. (2016): Emergence of Non-predictable Dynamics Caused by Shared Resources in Production Networks, In: *Procedia CIRP*, 41, S. 520ff. DOI: 10.1016/j.procir.2015.12.017.
- Kuckartz, U. (2014a): Mixed Methods - Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren, Wiesbaden: Springer VS.
- Kuckartz, U. (2014b): Qualitative Inhaltsanalyse - Methoden, Praxis, Computerunterstützung, 2., durchges. Aufl., Weinheim u.a.: Beltz Juventa.
- Kühling, M.; Housein, G. (2000): Die Kapazitätsbörse – ein Software-Tool zur Feinplanung und –steuerung in dezentralen Produktionsstrukturen, In: *PPS Management*, 5, (2), S. 29ff., zuletzt geprüft am 05.06.2016.
- Kuhn, A.; Hellingrath, B. (2002): Supply Chain Management - Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Kühnle, H.; Bitsch, G. (2015): Foundations & Principles of Distributed Manufacturing, Cham: Springer International Publishing.
- Küpper, H.-U. (1977): Das Input-Output-Modell als allgemeiner Ansatz für die Produktionsfunktion der Unternehmung, In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, S. 492ff.
- Kusiak, A. (2017): Smart manufacturing, In: *International Journal of Production Research*, 49, (7), S. 1ff. DOI: 10.1080/00207543.2017.1351644.
- Lambert, D. M.; Cooper, M. C.; Pagh, J. D. (1998): Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities, In: *International Journal of Logistics Management*, 9, (2), S. 1ff. DOI: 10.1108/09574099810805807.
- Larson, P. D.; Poist, R. F.; Halldórsson, Á. (2007): Perspectives on Logistics vs. SCM: A Survey of SCM Professionals, In: *Journal of Business Logistics*, 28, (1), S. 1ff.
- Law, A. M. (2015): Simulation modeling and analysis, 5. ed, New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Le Tellier, M.; Berrah, L.; Stutz, B.; Barnabé, S.; Audy, J.-F. (2017): From SCM to ECO-Industrial Park Management - Modelling ECO-Industrial Park's Symbiosis with the SCOR Model, In: Hermann Lödging, Ralph Riedel, Klaus-Dieter Thoben, Gregor von Cieminski und Kiritsis, Dimitris (Hrsg.), *Advances in production management systems - Modelling ECO-Industrial Park's Symbiosis with the SCOR Model*, Cham: Springer, 467–478.
- Lee, H.; Kim, M. Sun; Kim, K. Kyu (2014): Interorganizational information systems visibility and supply chain performance, In: *International Journal of Information Management*, 34, (2), S. 285ff. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2013.10.003.

- Lee, Y.-H.; Kumara, S. R. T. (2003): Advances in e-manufacturing - Foundations of market-based collaborative planning and control of distributed multiple product development projects, In: *Journal of Materials Processing Technology*, 139, (1-3), S. 178ff. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00217-6.
- Lefebvre, V. Marie; Raggi, M.; Viaggi, D.; Sia-Ljungström, C.; Minarelli, F.; Kühne, B.; Gellynck, X. (2014): SMEs' Preference for Innovation Networks - A Choice Experimental Approach, In: *Creativity and Innovation Management*, 23, (4), S. 415ff. DOI: 10.1111/caim.12090.
- Leng, J. Wu; Jiang, P. Yu; Zhang, F. Qiang; Cao, W. (2013): Framework and Key Enabling Technologies for Social Manufacturing, In: *AMM*, 312, S. 498ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.312.498.
- Li, H.; Liang, M.; He, T. (2017): Optimizing the Composition of a Resource Service Chain With Interorganizational Collaboration, In: *IEEE Trans. Ind. Inf.*, 13, (3), S. 1152ff. DOI: 10.1109/TII.2016.2616581.
- Liesebach, T. J. (2015): Vorgehensmodell zur proaktiven Integration unternehmensexterner Produktionsprozesse in Wertschöpfungsketten - Masterarbeit, Technische Universität Dortmund, Dortmund, Lehrstuhl für IT in Produktion und Logistik,
- Lihui, C.; Wai Lian, C. (2005): Using Web structure and summarisation techniques for Web content mining, In: *Information Processing & Management*, 41, (5), S. 1225ff. DOI: 10.1016/j.ipm.2004.08.003.
- Lin, P.; Zhang, X. Bin (2013): The Inverse Optimal Allocation Model of Manufacturing Resource for Small and Medium-Sized Manufacturing Enterprises in Grid Environment, In: *AMM*, 273, S. 22ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.273.22.
- Lin, Y.-K.; Chong, C. Soon (2017): Fast GA-based project scheduling for computing resources allocation in a cloud manufacturing system, In: *J Intell Manuf*, 28, (5), S. 1189ff. DOI: 10.1007/s10845-015-1074-0.
- Liu, C.; Cheng, F.; Han, Y. (2005): SATOR: A Scalable Resource Registration Mechanism Enabling Virtual Organizations of Enterprise Applications, In: Hai Zhuge und Fox, Geoffrey C. (Hrsg.), *Grid and cooperative computing - GCC 2005*, Berlin: Springer, 744–749.
- Liu, L.; Yu, T.; Shi, Z.; Shen, B. (2004a): Resource management framework for manufacturing grid, In: *Journal of Southeast University (English Version)*, 20, (3), 346–351.
- Liu, L.-I.; Yu, T.; Cao, H.-w.; Shi, Z.-b. (2004b): A TQCS-based Scheduling Approach for Manufacturing Grid, In: *Journal of Donghua University*, 21, (6), 43–48.
- Liu, N.; Li, X. (2012): A Resource Virtualization Mechanism for Cloud Manufacturing Systems, In: Marten van Sinderen, Pontus Johnson, Xiaofei Xu und Doumeings, Guy (Hrsg.), *Enterprise Interoperability*, Berlin, Heidelberg: Springer, 46–59.

- Liu, Q.; Jin, X.; Long, Y. (2008): A Service-oriented Networked Numerical Control System for resource sharing, In: *IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008*, Piscataway, NJ: IEEE Service Center, S. 1ff.
- Liu, Q.; Min, H. (2008): A Collaborative Production Planning Model for Multi-agent Based Supply Chain, In: *International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 512ff.
- Liu, Q.; Shi, Y. Jiang (2008): Grid manufacturing: an new solution for cross-enterprise collaboration - A new solution for cross-enterprise collaboration, In: *Int J Adv Manuf Technol*, 36, (1-2), S. 205ff. DOI: 10.1007/s00170-006-0832-8.
- Liu, Q.; Zhang, J.; Tang, B. (2008): Grid-Enabled Fault Diagnostic System for Manufacturing Equipments, In: Hong Zheng (Hrsg.), *First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2008*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 350ff.
- Liu, X.-g.; Jin, Y.; Xi, J.-t. (2006): Development of a web-based tele-manufacturing service system for rapid prototyping, In: *Jnl of Manu Tech Mngmnt*, 17, (3), S. 303ff. DOI: 10.1108/17410380610648272.
- Lödding, H. (2016): Verfahren der Fertigungssteuerung - Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Lödding, H.; Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P. (2000): Durchlaufzeitcontrolling mit dem logistischen Ressourcenportfolio, In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 95, (1-2), S. 47ff.
- Lorscheid, I.; Heine, B.-O.; Meyer, M. (2012): Opening the 'black box' of simulations - Increased transparency and effective communication through the systematic design of experiments, In: *Comput Math Organ Theory*, 18, (1), S. 22ff. DOI: 10.1007/s10588-011-9097-3.
- Lu, Y.; Xu, X.; Xu, J. (2014): Development of a Hybrid Manufacturing Cloud, In: *Journal of Manufacturing Systems*, 33, (4), S. 551ff. DOI: 10.1016/j.jmsy.2014.05.003.
- Lucena, A. (2011): The Organizational Designs of R&D Activities and their Performance Implications - Empirical Evidence for Spain, In: *Industry and Innovation*, 18, (2), S. 151ff. DOI: 10.1080/13662716.2011.541103.
- Ma, L.; Li, J.; Xu, W.; Liu, J. (2011): Network alliance for the total life cycle of reconfigurable machine tool, In: *International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE), 2011*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 42ff.
- Mahjoub, S.; Hennet, J.-C. (2013): Manufacturers' coalition under a price elastic market – a quadratic production game approach, In: *International Journal of Production Research*, 52, (12), S. 3568ff. DOI: 10.1080/00207543.2013.874605.
- Mai, J.; Zhang, L.; Tao, F.; Ren, L. (2012): Architecture of Hybrid Cloud for Manufacturing Enterprise, In: TianYuan Xiao, Lin Zhang und Ma, Shiwei (Hrsg.), *System Simulation and Scientific Computing*, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 365ff.

- Manesh, H. Farahani (2008): Implications of Web-Based Technology for Intelligent Equipment Sharing Over the Networked Manufacturing System for SMEs, In: *SAE World Congress & Exhibition* SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States,
- Martinez, M.T.; Foulletier, P.; Park, K.H.; Favrel, J. (2001): Virtual enterprise – organisation, evolution and control, In: *International Journal of Production Economics*, 74, (1-3), S. 225ff. DOI: 10.1016/S0925-5273(01)00129-3.
- Marwedel, P. (2008): Eingebettete Systeme - Embedded system design, Korrigierter Nachdruck 2008, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mayring, P. (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung - Eine Anleitung zu qualitativem Denken, 5., überarb. und neu ausgestattet Aufl., Weinheim u.a.: Beltz.
- Mayring, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken, 11., aktualisierte und überarb. Aufl., Weinheim: Beltz.
- Mell, P. M.; Grance, T. (2011): The NIST definition of cloud computing, Gaithersburg, MD:
- Meng, X.; Tong, Y.; Gong, B.; Liu, S.; Wu, L. (2006): A Solution for Resource Sharing in Manufacturing Grid, In: Weiming Shen (Hrsg.), *Computer supported cooperative work in design II*, Berlin: Springer, 235–243.
- Mentzer, J. T.; DeWitt, W.; Keebler, J. S.; Min, S.; Nix, N. W.; Smith, C. D.; Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, In: *Journal of Business Logistics*, 22, (2), S. 1ff.
- Merschmann, U.; Thonemann, U. W. (2011): Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance - An empirical analysis of German manufacturing firms, In: *International Journal of Production Economics*, 130, (1), S. 43ff. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.10.013.
- Meuser, M.; Nagel, U. (2002): Experteninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht - Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion, In: Alexander Bogner, Beate Littig und Menz, Wolfgang (Hrsg.), *Das Experteninterview - Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 71ff.
- Meuser, M.; Nagel, U. (2009): Das Experteninterview – konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage, In: Susanne Pickel, Detlef Jahn, Hans-Joachim Lauth und Pickel, Gert (Hrsg.), *Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft*, 1. Aufl., Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 465-479.
- Miller, A.; Kleinova, J.; Simon, M. (Hrsg.) (2012): Proposal for evaluating variants of inter-company transport in business networks. Innovation and Sustainable Competitive Advantage: From Regional Development to World Economies - Proceedings of the 18th International Business Information Management Association Conference (5).
- Miller, A.; Simon, M. (2014): Model Planning Production and Logistics Activities in Business Networks, In: *Procedia Engineering*, 69, S. 370ff. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.03.001.

- Moghaddam, M.; Nof, S. Y. (2016): Real-time optimization and control mechanisms for collaborative demand and capacity sharing, In: *International Journal of Production Economics*, 171, S. 495ff. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.07.038.
- Mohebbi, S.; Li, X. (2015): Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks, In: *International Journal of Production Economics*, 169, S. 333ff. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.08.022.
- Müller, D. (2013): Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure, 2., wesentl. überarb. Aufl. 2013, Berlin: Springer.
- Nyhuis, P. (1991): Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung - Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 1991, VDI-Verl, Düsseldorf,
- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P. (2012): Logistische Kennlinien, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Obermaier, R. (2016): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe, In: Robert Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*, Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3ff.
- Oliveira, A. Inês; Camarinha-Matos, L. M. (2015): Negotiation Environment and Protocols for Collaborative Service Design, In: Luis M. Camarinha-Matos, Thais A. Baldissera, Giovanni Di Orio und Marques, Francisco (Hrsg.), *Technological innovation for cloud-based engineering systems*, Cham: Springer, S. 31ff.
- Opresnik, D.; Hirsch, M.; Zanetti, C.; Taisch, M.; Isaja, M. (2014): ICT enabled operationalization of collaborative servitization - 23 - 25 June 2014, Bergamo, Italy, In: Sergio Terzi (Hrsg.), *International ICE Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE), 2014 - 23 - 25 June 2014, Bergamo, Italy*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 1ff.
- Ostertag, R. (2008): Supply-Chain-Koordination im Auslauf in der Automobilindustrie - Koordinationsmodell auf Basis von Fortschrittszahlen zur dezentralen Planung bei zentraler Informationsbereitstellung, 1. Aufl., Wiesbaden: Gabler Verlag / GVV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Otto, T.; Vain, J. (2006): Model Checking in Planning Resource-Sharing Based Manufacturing, In: *IFAC Proceedings Volumes*, 39, (3), S. 535ff. DOI: 10.3182/20060517-3-FR-2903.00279.
- Pallot, M.; Bergmann, U. (2010): Collaborative Virtual Environments and Immersion in Distributed Engineering Contexts, In: Hermann Kühnle (Hrsg.), *Distributed Manufacturing*, London: Springer London, 71–92.
- Patton, M. Quinn (1990): *Qualitative Evaluation & Research Methods*, 2. ed., [Nachdr.], Newbury Park, Calif.: SAGE.
- Patton, M. Quinn (2002): *Qualitative Research & Evaluation Methods*, Third edition, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC: SAGE.

- Picot, A.; Wolff, C. (2005): Grundlagen für ein Flexibilitätsmanagement zwischen betrieblicher Koordination - Implikationen aus Sicht der ökonomischen Vertragstheorie, In: Bernd Kaluza und Blecker, Thorsten (Hrsg.), *Erfolgsfaktor Flexibilität - Implikationen aus Sicht der ökonomischen Vertragstheorie*, Berlin: Schmidt, S. 383ff.
- Piller, F. T. (2008): Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter, 4., überarb. und erw. Aufl., Nachdr, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Polyantchikov, I.; Shevtshenko, E. (2010): Collaborative framework for virtual organisation, In: *Proceedings of the 7 th International DAAAM BalticConference*,
- Qi, F.; Chen, Z. (2013): Partner Selection and Optimization Based on Manufacturing Resource Sharing Platform for Virtual Enterprise, In: Wenjiang Du (Hrsg.), *Informatics and Management Science IV*, London: Springer London, S. 119ff.
- Qing, Q.; Deng, T.; Wang, H. (2017): Capacity allocation under downstream competition and bargaining, In: *European Journal of Operational Research*, 261, (1), S. 97ff. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.01.031.
- Qiu, R. G. (2004): Manufacturing Grid: A next Generation Manufacturing Model, In: *2004 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*, Piscataway, N.J: IEEE, 4667–4672.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (2008): Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik - Vorgehensmodelle und Techniken, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ramb, B.-T.; Weerth, C.; Schewe, G.; Sauerland, D. (2018): Stichwort: Koordination, In: Springer Gabler Verlag (Hrsg.), *Gabler Wirtschaftslexikon Online*.
- Reinhart, G.; Broser, W.; Suchanek, S.; Weber, V. (2002): Unternehmensübergreifende kurzfristige Kooperationen in der Produktion, In: *ZWF*, 97, (12), S. 610ff. DOI: 10.3139/104.100594.
- Renna, P.; Argoneto, P. (2008): Capacity Allocation in Multi-Site Factory Environment: a Multi Agent Systems Approach, In: *Proceedings of the 6th Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, Naples, 33–38.
- Renna, P.; Argoneto, P. (2010): A game theoretic coordination for trading capacity in multi-site factory environment, In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, (9-12), S. 1241ff. DOI: 10.1007/s00170-009-2254-x.
- Ridley, D. (2012): The literature review - A step-by-step guide for students, 2nd edition, Los Angeles: SAGE.
- Rosenfeld, S. (1993): Business networks: cooperate, compete, In: *Forum for Applied Research & Public Policy*, 8,
- Rosenschein, J. S. (1986): Rational Interaction - Cooperation Among Intelligent Agents - Dissertation, Stanford University, Stanford, Department of Computer Science,

- Rosenschein, J. S.; Zlotkin, G. (1994): Rules of encounter - Designing conventions for automated negotiation among computers, Cambridge, Mass: MIT Press.
- Rupprecht-Däullary, M. (1994): Zwischenbetriebliche Kooperation - Möglichkeiten und Grenzen durch neue Informations- und Kommunikationstechnologien, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Saaty, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill.
- Saha, C.; Aqlan, F.; Lam, S. S.; Boldrin, W. (2016): A decision support system for real-time order management in a heterogeneous production environment, In: *Expert Systems with Applications*, 60, S. 16ff. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.04.035.
- Sandholm, T. W. (1999): Distributed Rational Decision Making, In: Gerhard Weiss (Hrsg.), *Multiagent systems*, 2. print, Cambridge, Mass.: MIT Press, S. 201ff.
- Schleich, B. R.; Yoon, S. Won (2014): Modified Stable Matching Algorithm in Heterogeneous Collaborative Enterprise Networks, In: Y. Guan, Liao und H. (Hrsg.), *Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, 1021–1030.
- Schlick, J.; Stephan, P.; Zühlke, D. (2012): Produktion 2020 - Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, In: *IM Information Management und Consulting*, (03), S. 26ff.
- Schmitt, R.; Humphrey, S.; Ellerich, M.; Groggert, S. (2015): Kapazitätsmarkt - Ressourcenhandel für die Produktion - Eine Cloud-basierte Plattform zum unternehmensübergreifenden Austausch von Produktionskapazitäten, In: *Industrie 4.0 Management*, 31, (4), 30–34.
- Schönsleben, P. (2016): Integrales Logistikmanagement - Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, 7. Aufl., Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schuh, G.; Brandenburg, U.; Cuber, S. (2012): Aufgaben, In: Günther Schuh und Stich, Volker (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung 1*, 4. Aufl., Berlin: Springer, S. 29ff.
- Schuh, G.; Brosze, T.; Brandenburg, U. (2012): Aachener PPS-Modell, In: Günther Schuh und Stich, Volker (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung 1*, 4. Aufl., Berlin: Springer, S. 11ff.
- Schuh, G.; Stich, V.; Runge, S. (2012): Einführung, In: Günther Schuh und Stich, Volker (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung 1*, 4. Aufl., Berlin: Springer, S. 3ff.
- Seok, H.; Nof, S. Y. (2012): Collaborative Demand and Capacity Sharing among Manufacturing (3), In: *62nd IIE Annual Conference and Expo 2012*, S. 2731ff.
- Seok, H.; Nof, S. Y. (2014): Dynamic coalition reformation for adaptive demand and capacity sharing, In: *International Journal of Production Economics*, 147, S. 136ff. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.09.003.
- Shamsuzzoha, A.; Helo, P. T. (2014): Virtual business process management within collaborative manufacturing network: an implementation case, In: *International Journal Networking and Virtual Organisations*, 14, (4), S. 319ff.

- Shang, X.; Liu, J. (2013): Manufacturing Resource Ontology Modeling Techniques Based on Carrier, In: *Advanced Materials Research*, 774-776, S. 1382ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.774-776.1382.
- Shang, X.; Liu, X.; Xiong, G.; Cheng, C.; Ma Yonghong; Nyberg, T. R. (2013): Social Manufacturing Cloud Service Platform for the Mass Customization in Apparel Industry, In: *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2013*, 220–224, Online verfügbar unter <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6595333>.
- Shao, X.-F. (2017): Production disruption, compensation, and transshipment policies, In: *Omega*. DOI: 10.1016/j.omega.2017.01.004.
- Shapiro, R. D.; Heskett, J. L. (1985): *Logistics strategy - Cases and concepts*, St. Paul Minn. u.a.: West.
- Shen, D.; Yu, G.; Kou, Y.; Nie, T.; Zhao, Z. (2007a): Resolving heterogeneity of Web-service composition in network manufacturing based on ontology, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20, (2-3), S. 222ff. DOI: 10.1080/09511920601150719.
- Shen, W.; Ghenniwa, H.; Li, Y. (2006): Agent-Based Service-Oriented Computing and Applications, In: Vic Callaghan (Hrsg.), *1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications, 2006*, Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, S. 8f.
- Shen, W.; Hao, Q.; Wang, S.; Li, Y.; Ghenniwa, H. (2007b): An agent-based service-oriented integration architecture for collaborative intelligent manufacturing, In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, (3), S. 315ff. DOI: 10.1016/j.rcim.2006.02.009.
- Shen, Z.; Guo, L.; Hou, B.; Quan, H.; Zhou, S. (2017): Key technique research on desktop virtualization in cloud environment, In: *Int. J. Model. Simul. Sci. Comput.*, 08, (02), S. 1750045. DOI: 10.1142/S1793962317500453.
- Shijun, L.; Xiangxu, M.; Yexin, T. (2005): SOMG: A Service Oriented Manufacturing Grid System, In: Ning Gu (Hrsg.), *Proceedings of the Fifth International Conference on Computer and Information Technology*, Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society, S. 1080ff.
- Shirodkar, S.; Kempf, K. (2006): Supply Chain Collaboration Through Shared Capacity Models, In: *Interfaces*, 36, (5), S. 420ff. DOI: 10.1287/inte.1060.0235.
- Shukla, R. Kumar; Garg, D.; Agarwal, A. (2016): Modelling supply chain coordination in fuzzy environment, In: *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 8, (2), S. 130. DOI: 10.1504/IJBPSM.2016.077166.
- Siepermann, D. (2016): *Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang*. In: Armin Roth (Hrsg.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 16ff.

- VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1, Dezember 2014. Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen.
- Smith, R. G. (1980): The Contract Net Protocol - High-Level Communication and Control in a Distributed, In: *IEEE Transactions on Computers*, 29, (12), S. 1104ff., zuletzt geprüft am 27.06.2016.
- Srai, J. Singh; Kumar, M.; Graham, G.; Phillips, W.; Tooze, J.; Ford, S.; Beecher, P.; Raj, B.; Gregory, M.; Tiwari, M. Kumar; Ravi, B.; Neely, A.; Shankar, R.; Charnley, F.; Tiwari, A. (2016): Distributed manufacturing - Scope, challenges and opportunities, In: *International Journal of Production Research*, 54, (23), S. 6917ff. DOI: 10.1080/00207543.2016.1192302.
- Statistisches Bundesamt (2017): Produzierendes Gewerbe und Dienstleistungen im Überblick - Statistisches Jahrbuch 2017.
- Statistisches Bundesamt (2018): Anzahl der Unternehmen in Deutschland nach Beschäftigtengrößenklassen im Jahr 2017, Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1929/umfrage/unternehmen-nach-beschaefigtengroessenklassen/>, zuletzt geprüft am 12.06.2019.
- Sterman, J. D. (2000): Business dynamics - Systems thinking and modeling for a complex world, [Nachdr.], Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Steven, M. (2001): Produktionsmanagement in virtuellen Unternehmen, In: *Zeitschrift Führung und Organisation*, 70, (2), S. 86ff.
- Strauss, A. L.; Corbin, J. M. (1990): Basics of qualitative research - Grounded theory procedures and techniques, Newbury Park Calif.: Sage Publications.
- Su, Y. (2010): Framework and Key Technologies of ASP-Based Collaborative Networked Manufacturing Service Platform for SMEs, In: *International Journal of Manufacturing Research*, 5, (4), S. 464. DOI: 10.1504/IJMR.2010.035814.
- Su, Y.; Lv, B. S.; Liao, W. H.; Guo, Y.; Chen, X. S.; Shi, H. B. (2008): ASP-based Collaborative Networked Manufacturing Service Platform for SMEs, In: Xiu-Tian Yan, Benoit Eynard und Ion, William J. (Hrsg.), *Global Design to Gain a Competitive Edge* Springer, 835–842.
- Sucky, E. (2004): Koordination in Supply Chains - Spieltheoretische Ansätze zur Ermittlung integrierter Bestell- und Produktionspolitiken, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Sun, B.; Chen, H.; Du, L.; Fang, Y. (2008a): Machine Tools Selection Technology for Networked Manufacturing, In: Qihai Zhou (Hrsg.), *Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2008*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 530ff.
- Sun, H.; Yu, T.; Liu, L.; Cui, M. (2008b): Manufacturing Grid's Enterprise Qualification Authentication System and Method, In: *7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008*, Piscataway, NJ: IEEE, 4901–4905.

- Sun, H.; Yu, T.; Liu, L.; He, Y.'a. (2006): QoS Management in Manufacturing Grid, In: Kes-heng Wang, Minglun Fang, George L. Kovacs und Wozny, Michael (Hrsg.), *Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management*, Boston, MA: International Federation for Information Processing, 831–839.
- Syska, A. (2006): Produktionsmanagement, Wiesbaden: Gabler.
- Talhi, A.; Huet, J.-C.; Fortineau, V.; Lamouri, S. (2015): Toward an Ontology-Based Architecture for Cloud Manufacturing, In: Theodor Borangiu (Hrsg.), *Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing*, Cham: Springer, 187–195.
- Tan, W.; Xu, Y.; Xu, W.; Xu, L.; Zhao, X.; Wang, L.; Fu, L. (2010): A Methodology Toward Manufacturing Grid-Based Virtual Enterprise Operation Platform, In: *Enterprise Information Systems*, 4, (3), S. 283ff. DOI: 10.1080/17517575.2010.504888.
- Tan, W.; Yao, X.-f. (2009): A Multi-level Tree Overlay Network for Application Service Provider Platforms Based on Manufacturing Grid, In: *International Conference on Networking and Digital Society, 2009*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 193ff.
- Tao, F.; Cheng, Y.; Xu, L. Da; Zhang, L.; Li, B. Hu (2014): CCIoT-CMfg - Cloud Computing and Internet of Things-Based Cloud Manufacturing Service System, In: *IEEE Trans. Ind. Inf.*, 10, (2), S. 1435ff. DOI: 10.1109/TII.2014.2306383.
- Tao, F.; Cheng, Y.; Zhang, L.; Nee, A. Y. C. (2017): Advanced Manufacturing Systems: Socialization Characteristics and Trends, In: *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28, (5), S. 1079ff. DOI: 10.1007/s10845-015-1042-8.
- Tao, F.; Hu, Y.; Zhao, D.; Zhou, Z. (2009): An approach to manufacturing grid resource service scheduling based on trust-QoS, In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22, (2), S. 100ff. DOI: 10.1080/09511920802139875.
- Tao, F.; Hu, Y. F.; Zhou, Z. D. (2008a): Study on Manufacturing Grid and Its Executing Platform, In: *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 14, (1/2), S. 35ff. DOI: 10.1504/IJMTM.2008.017484.
- Tao, F.; Hu, Y. Fa; Zhou, Z. De (2008b): Study on manufacturing grid & its resource service optimal-selection system, In: *Int J Adv Manuf Technol*, 37, (9-10), S. 1022ff. DOI: 10.1007/s00170-007-1033-9.
- Tao, F.; Zhang, L.; Venkatesh, V. C.; Luo, Y.; Cheng, Y. (2011): Cloud manufacturing - A computing and service-oriented manufacturing model, In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225, (10), S. 1969ff. DOI: 10.1177/0954405411405575.
- Theodoridis, S.; Koutroumbas, K. (2009): Pattern recognition, 4. ed., Amsterdam: Elsevier/Acad. Press.
- Thomas, J.; McNaught, J.; Ananiadou, S. (2011): Applications of text mining within systematic reviews, In: *Research synthesis methods*, 2, (1), S. 1ff. DOI: 10.1002/jrsm.27.

- Thommen, J.-P.; Horn, G. A. (2016): Modell, Gabler Wirtschaftslexikon, Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/495/modell-v11.html>, zuletzt geprüft am 09.12.2016.
- Thonemann, U. W.; Bradley, J. R. (2002): The effect of product variety on supply-chain performance, In: *European Journal of Operational Research*, 143, (3), S. 548ff. DOI: 10.1016/S0377-2217(01)00343-5.
- Thonemann, U. W.; Papier, F. (2008): A 1.4 Supply Chain Management, In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Furmans, Kai (Hrsg.), *Handbuch Logistik*, 3. Aufl., Berlin: Springer, 21-34.
- Thorn, J. (2002): Taktisches Supply Chain Planning - Planungsunterstützung durch deterministische und stochastische Optimierungsmodelle, Frankfurt am Main u. a.: Lang.
- Uhlmann, E.; Yalniz, Z. (2004): Kooperationsplattform für den Werkzeug- und Formenbau - unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in der Produktion von komplexen Betriebsmitteln, In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*,
- Uygun, Y. (2012): Integrierte Kapazitätsbörse - Entwicklung eines Instrumentariums für den Handel mit Maschinenkapazitäten in regional-lateralen Unternehmensnetzen, Dortmund: Verl. Praxiswissen.
- Vahrenkamp, R.; Kotzab, H.; Siepermann, C. (2012): Logistik - Management und Strategien, 7., überarb. und erw. Aufl., München: Oldenbourg.
- VDMA (2018): Maschinenbau in Zahl und Bild 2018.
- Vollmer, L. (2000): Agentenbasiertes Auftragsmanagement mit Hilfe von Preis-Liefertermin-Relationen - Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2000, VDI-Verl, Düsseldorf,
- Wang, H. (2014): Research on the Resource Sharing Among Hierarchically Distributed Virtual Enterprises Based on Grid System, In: *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 8, (1), S. 385ff. DOI: 10.2174/1874110X01408010385.
- Wang, M. Wei; Li, S.; Zhou, J. Tao (2011): The Semantic Model of Manufacturing Services, In: *Advanced Materials Research*, 216, S. 558ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.216.558.
- Wang, M. Wei; Zhang, S. Sheng; Zhou, J. Tao (2010): Semantic Web Service Based Framework for Inter-Organizational Business Process Management, In: *Advanced Materials Research*, 156-157, S. 915ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.156-157.915.
- Wang, X. Vincent; Xu, X. W. (2013): An interoperable solution for Cloud manufacturing, In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29, (4), S. 232ff. DOI: 10.1016/j.rcim.2013.01.005.
- Wang, X.-I.; Zhang, J. (2012): P2P-oriented Manufacturing Resource Modeling and Sharing System for Virtual Enterprises, In: *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 6, (22), S. 666ff. DOI: 10.4156/jdcta.vol6.issue22.76.

- Weerth, C.; Mecke, I. (2018): Stichwort: Kooperation, In: Springer Gabler Verlag (Hrsg.), *Gabler Wirtschaftslexikon Online*.
- Wei, J. Ying; Zhong, P. Si; Guo, C. Fen (2011): Research on Key Technologies of Manufacturing Resources Sharing Platform Supporting SMEs Based on Web Services, In: *Advanced Materials Research*, 279, S. 440ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.279.440.
- Wiendahl, H.-H. (1996): Produktionsmanagement in wandelbaren Produktionsnetzen - Merkmale, Anforderungen und Instrumente, In: *Dezentrale Produktionsstrukturen - Merkmale, Anforderungen und Instrumente*.
- Wiendahl, H.-P. (1997): Fertigungsregelung - Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells ; 42 Tabellen, München, Wien: Hanser.
- Wiendahl, H.-P. (2010): Betriebsorganisation für Ingenieure, 7., aktualisierte Aufl., München: Hanser.
- Wiendahl, H.-P. (2014): Betriebsorganisation für Ingenieure - Mit 3 Tabellen, 8., überarb. Aufl., München: Hanser.
- Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Vollmer, L. (2000): Preis-Liefertermin-Relation - Ein Verhandlungswerkzeug für das dezentrale Auftragsmanagement, In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 95, (3), 10-12.
- Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P. (2014): Handbuch Fabrikplanung - Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, 2., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource], München: Hanser.
- Windt, K. (2001): Engpaßorientierte Fremdvergabe in Produktionsnetzen, Als Ms. gedr, Düsseldorf: VDI-Verl.
- Windt, Katja(2016): Distributed Manufacturing, In: *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, S. 400ff., Online verfügbar unter https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-20617-7_6672.
- Wooldridge, M. (2009): An introduction to Multiagent Systems, 2. ed., Chichester: Wiley.
- Wooldridge, M.; Jennings, N. R. (1995): Intelligent agents: theory and practice, In: *The Knowledge Engineering Review*, 10, (2), S. 115ff., zuletzt geprüft am 09.01.2017.
- Wu, D.; Greer, M. J.; Rosen, D. W.; Schaefer, D. (2013a): Cloud Manufacturing: Drivers, Current Status, and Future Trends, In: *ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference*, V002T02A003.
- Wu, D.; Greer, M. John; Rosen, D. W.; Schaefer, D. (2013b): Cloud manufacturing - Strategic vision and state-of-the-art, In: *Journal of Manufacturing Systems*, 32, (4), S. 564ff. DOI: 10.1016/j.jmsy.2013.04.008.

- Wu, D.; Hu, Q. X.; Yao, Y. (2013): Design and Application of Rapid Manufacturing Domain Ontology to Support Resource Sharing, In: *Advanced Materials Research*, 670, S. 57ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.670.57.
- Wu, D.; Rosen, D. W.; Schaefer, D. (2015): Scalability Planning for Cloud-Based Manufacturing Systems, In: *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 37, (4), S. 40911. DOI: 10.1115/1.4030266.
- Wu, D.; Rosen, D. W.; Wang, L.; Schaefer, D. (2014): Cloud-based Manufacturing - Old Wine in New Bottles?, In: *Procedia CIRP*, 17, S. 94ff. DOI: 10.1016/j.procir.2014.01.035.
- Wu, J.-H.; Hsia, T.-L.; Huo, J.-Z. (2015): Enablers and Consequences of Interfirm Co-Production, In: *PACIS 2015 Proceedings*.
- Wu, L.; Meng, X.; Liu, S.; Jiao, Y. (2008): A Solution of Industrial Simulation Codes Sharing in Manufacturing Grid, In: Weiming Shen, Jianming Yong, Yun Yang, Jean-Paul A. Barthès und Luo, Junzhou (Hrsg.), *Computer supported cooperative work in design IV*, Berlin: Springer, 168–179.
- Wu, L.; Meng, X.; Liu, S.; Tong, Y.; Wei, M. (2005): A Trading Supported Manufacturing Resource Sharing Model for Manufacturing Grid, In: Weiming Shen (Hrsg.), *Computer supported cooperative work in design I*, Coventry: Univ, 339-344 Vol. 1.
- Wu, L.; Meng, X.; Liu, S.; Yang, C.; Li, X. (2006): WSRF-Based Virtualization for Manufacturing Resources, In: Yannis Manolopoulos (Hrsg.), *Software agents and internet computing*, Setúbal: INSTICC, S. 132ff.
- Wu, L.; Yang, C. (2010): A Solution of Manufacturing Resources Sharing in Cloud Computing Environment, In: Luo Yahua (Hrsg.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* Springer, 247–252.
- Wu, S. H.; Fuh, J. Y. H.; Nee, A. Y. C. (2002): Concurrent Process Planning and Scheduling in Distributed Virtual Manufacturing, In: *IIE Transactions*, 34, (1), S. 77ff. DOI: 10.1080/07408170208928851.
- Wünsch, D.; Lüder, A.; Heinze, M. (2010): Flexibility and Re-configurability in Manufacturing by Means of Distributed Automation Systems – an Overview, In: Hermann Kühnle (Hrsg.), *Distributed Manufacturing*, London: Springer London, S. 51ff.
- Xie, C.; Cai, H.; Xu, L.; Jiang, L.; Bu, F. (2017): Linked Semantic Model for Information Resource Service towards Cloud Manufacturing, In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, S. 1. DOI: 10.1109/TII.2017.2723501.
- Xilong, Q.; Zhongxiao, H.; Linfeng, B. (2011): Research of Distributed Software Resource Sharing in Cloud Manufacturing System, In: *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 3, (10), S. 99ff. DOI: 10.4156/ijact.vol3.issue10.13.
- Xu, X. (2012): From cloud computing to cloud manufacturing, In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28, (1), S. 75ff. DOI: 10.1016/j.rcim.2011.07.002.

- Yan, J. Fen (2012): Study on Index System of Enterprise Network Resource Coordination Maturity Evaluation, In: *Applied Mechanics and Materials*, 220-223, S. 3045ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.3045.
- Yang, C.; Liu, S.; Wu, L.; Meng, X. (2011): LSWAP: A Large Scale Workflow Applications Platform for Cloud Environment, In: *Sixth Annual ChinaGrid Conference, 2011*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 155ff.
- Yoon, S. Won; Nof, S. Y. (2009): Distributed Decision Protocols for Optimal Demand and Capacity Sharing in Collaborative Enterprise Networks, In: *Innovations revealed: IIE Annual Conference and Expo*, 24–29.
- Yoon, S. Won; Nof, S. Y. (2010): Demand and capacity sharing decisions and protocols in a collaborative network of enterprises, In: *Decision Support Systems*, 49, (4), S. 442ff. DOI: 10.1016/j.dss.2010.05.005.
- Yoon, S. Won; Nof, S. Y. (2011): Affiliation/dissociation decision models in demand and capacity sharing collaborative network, In: *International Journal of Production Economics*, 130, (2), S. 135ff. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.10.002.
- Yu, K.-W. (2001): Terminkennlinie - Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2001, VDI-Verl, Düsseldorf,
- Yu, Y.; Benjaafar, S.; Gerchak, Y. (2015): Capacity Sharing and Cost Allocation among Independent Firms with Congestion, In: *Production and Operations Management*, 24, (8), S. 1285ff. DOI: 10.1111/poms.12322.
- Yu'an, H.; Tao, Y.; lilan, L.; Bin, S.; Haiyang Sun (2006): Research on Manufacturing Grid Resource Encapsulation and Interface Construction, In: Tianyou Chai (Hrsg.), *The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006, WCICA 2006*, Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 6905–6909.
- Zang, T.; Liu, Y.; Xu, X. (2016): Cloud Manufacturing: An Industry Survey, In: *Proceedings of the ASME 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference - 2016*, New York, N.Y.: The American Society of Mechanical Engineers, V002T04A018.
- Zäpfel, G. (2000): Supply Chain Management, In: H. Baumgarten, Hans-Hermann Wiendahl und Zentes, J. (Hrsg.), *Logistik-Management*, Berlin: Springer, Abschnitt 7-02-03, S. 1-32.
- Zäpfel, G. (2001): Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, 2., unwesentlich veränd. Aufl., München: Oldenbourg.
- Zeng, Y. Bo (2012): Semantic Business Process Integration in Cloud Manufacturing Paradigm, In: *Applied Mechanics and Materials*, 235, S. 379ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.235.379.
- Zhan, H.-f.; Lee, W. B. (2009): Design of a Workflow Management System for Manufacturing Grid, In: Dat Tran (Hrsg.), *WRI World Congress on Software Engineering, 2009*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 200ff.

- Zhang, L.; Chan, S. C. F.; Ng, V. T. Y.; Yu, K. M. (2001): Enterprise Virtualisation: Concept, Methodology, and Implementation, In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18, (3), S. 217ff.
- Zhang, L.; Fang, Y. Dong; Wu, J. Yun (2011a): Architecture and Resource Integration for P2P Semantic Manufacturing Grid, In: *Applied Mechanics and Materials*, 58-60, S. 697ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.58-60.697.
- Zhang, L.; Fang, Y.-d.; Wu, J.-y. (2011b): Multi granularity resource encapsulation for P2P Semantic Manufacturing Grid - 3 - 5 Sept. 2011, Changchun, China ; proceedings, In: Ershi Qi (Hrsg.), *IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 2011 - 3 - 5 Sept. 2011, Changchun, China ; proceedings*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 458ff.
- Zhang, P.; Xue, X. Wei; Li, Z. Lin (2012): Study on Integration Architecture of Product Design and Manufacturing Based on Knowledge Engineering, In: *Applied Mechanics and Materials*, 152-154, S. 1359ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.1359.
- Zhang, X.; Deng, Z.; Ma, H. (2001): Collaborative Modeling and Simulation for Order Management in Virtual Enterprise, In: Weiming Shen (Hrsg.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, Ottawa: NRC Research Press, 444–448.
- Zhang, Y.; Kochhar, A. K. (2014): A Value Optimising Structure in Virtual Enterprises for Manufacturing Systems, In: M. K. Nandakumar, Sanjay Jharkharia und Nair, Abhilash S. (Hrsg.), *Organisational Flexibility and Competitiveness*, New Delhi: Springer India, S. 53ff.
- Zhong, H.; Levalle, R. Reyes; Moghaddam, M.; Nof, S. Y. (2015): Collaborative Intelligence - Definition and Measured Impacts on Internetworked e-Work, In: *Management and Production Engineering Review*, 6, (1). DOI: 10.1515/mpcr-2015-0009.
- Zhou, G.; Jiang, P.; Huang, G. Q. (2009): A game-theory approach for job scheduling in networked manufacturing, In: *Int J Adv Manuf Technol*, 41, (9-10), S. 972ff. DOI: 10.1007/s00170-008-1539-9.
- Zhou, J.; Li, Q.; Browne, J.; Wang, Q.; Folan, P.; Xiao, T. (2007): Performance-Based Bayesian Learning for Resource Collaboration Optimization in Manufacturing Grid, In: Bartłomiej Beliczynski, Andrzej Dzielinski, Marcin Iwanowski und Ribeiro, Bernadete (Hrsg.), *Adaptive and natural computing algorithms*, Berlin: Springer, S. 498ff.
- Zhou, J.; Yao, X. (2017): Hybrid teaching–learning-based optimization of correlation-aware service composition in cloud manufacturing, In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, (9-12), S. 3515ff. DOI: 10.1007/s00170-017-0008-8.
- Zhou, J. Tao (2013): A Vision of Cloud Manufacturing Service Paradigm for Group Manufacturing Companies: A Tendency of Manufacturing Resources Sharing, In: *AMR*, 834-836, S. 1776ff. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.1776.

- Zhou, M. Chu; DiCesare, F.; Guo, D. (1990): Modeling and Performance Analysis of a Resource-Sharing Manufacturing System Using Stochastic Petri Nets, In: A. Meystel (Hrsg.), *Intelligent Control International Symposium '90*, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, S. 1005ff.
- Zimmer, K. (2001): Koordination im Supply Chain Management - Ein hierarchischer Ansatz zur Steuerung der unternehmensübergreifenden Planung, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Durch eine wachsende Produktvielfalt bei steigender Volatilität der Nachfrage stehen produzierende Unternehmen vor der Herausforderung, ihre kapitalintensiven Maschinen gleichmäßig auszulasten und gleichzeitig kurze Lieferzeiten zu gewährleisten. Situationen, in denen eine temporäre Unter- oder Überbelastung der verfügbaren Kapazität vorliegt, sind deshalb besonders problematisch. Einen möglichen Lösungsansatz hierfür stellt die unternehmensübergreifende Nutzung von Fertigungsressourcen dar. Ziel dieser Dissertation ist daher die Entwicklung einer ganzheitlichen Methode zur effizienten Umsetzung einer solchen Kooperation innerhalb geeigneter Unternehmensnetzwerke.

Die elektronische Version dieses Buches ist verfügbar unter
<https://doi.org/10.15480/882.3099>

