

Ansätze zur Entwicklung einer Zuteilungssystematik von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten in gro- ßen Produktionsnetzwerken

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Dr.-Ing.

Von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund

genehmigte Dissertation von

Ahmed Khechen, M.Sc.

aus

Euskirchen

Tag der mündlichen Prüfung: 30.07.2026

1. Gutachter*in: Prof. Dr. habil. Michael Henke

2. Gutachter*in: Prof. Dr. Axel Wagenitz

Dortmund, 2026

Disclaimer

Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation/Veröffentlichung sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft. / The results, opinions and conclusions expressed in this thesis are not necessarily those of Volkswagen Aktiengesellschaft.

Abstract

The increasing volatility of supply networks, driven by geopolitical tensions, material shortages and transportation bottlenecks, poses significant challenges to the reliable supply of critical components. This is particularly evident in the automotive industry, where short planning cycles, high product variety and fluctuating demand create substantial complexity in the short-term allocation of scarce resources. This dissertation explores how an allocation framework can be designed to optimize economic performance while enhancing operational stability within highly interconnected production networks.

Grounded in the Design Science Research methodology, 23 solution objectives are derived to develop a four-stage process model that systematically guides allocation decisions from the onset of a supply bottleneck to final resolution. Additionally, five empirically validated design principles provide a conceptual foundation for robust allocation systems.

A technical evaluation was conducted through a case study with a leading German automotive manufacturer, involving a simulation based on over 500,000 vehicle orders. The results reveal significant potential for cost savings related to allocation decisions, alongside enhanced utilization of critical components.

Practical relevance and user acceptance were assessed through 29 expert interviews with representatives from six industry and research organizations. The feedback highlights the value of simulation-based decision support and the importance of clear governance structures in dynamic production environments.

The scientific contribution of this dissertation lies in the integration and empirical validation of a multi-criteria, simulation-supported process model. It provides practically applicable design principles for allocating scarce resources under uncertainty, thereby contributing to the advancement of data-driven planning in complex production networks.

Zusammenfassung

Die zunehmende Volatilität von Liefernetzwerken, verursacht durch geopolitische Spannungen, Materialknappheit und Transportengpässe, erschweren die verlässliche Versorgung mit kritischen Bauteilen. Insbesondere in der Automobilindustrie, die durch kurze Planungszyklen, eine hohe Variantenvielfalt und schwankende Bedarfe gekennzeichnet ist, entstehen dadurch erhebliche Herausforderungen bei der kurzfristigen Zuteilung knapper Ressourcen. Vor diesem Hintergrund adressiert die vorliegende Dissertation die zentrale Forschungsfrage, wie eine Zuteilungssystematik zu gestalten ist, um in hochvernetzten Produktionsnetzwerken sowohl wirtschaftliche Zielgrößen zu optimieren als auch die operative Stabilität zu erhöhen.

Methodisch basiert die Arbeit auf dem anwendungsorientierten Forschungsansatz der Design Science Research Methodologie. Anhand von 23 abgeleiteten Lösungszielen wurde ein vierstufiges Konzept für ein Prozessmodell entwickelt, das den Zuteilungsablauf vom Auftreten eines Engpasses bis zur finalen Entscheidungsfindung systematisch abbildet. Darüber hinaus wurden fünf empirisch validierte Designprinzipien formuliert, die eine konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung robuster Zuteilungssystematiken bilden.

Zur technischen Evaluierung wurde die Systematik im Rahmen einer Fallstudie mit einem führenden deutschen Automobilhersteller anhand von über 500.000 realen Fahrzeugaufträgen simulativ getestet. Die Ergebnisse belegen ein erhebliches Potenzial zur Kosteneinsparung durch optimierte Zuteilungsentscheidungen sowie eine effizientere Nutzung kritischer Komponenten.

Die Validierung der praktischen Relevanz und Nutzerakzeptanz der Ergebnisse erfolgte anhand von 29 Experteninterviews mit Vertretern aus sechs Industrie- und Forschungseinrichtungen. Die Rückmeldungen bestätigen insbesondere den Nutzen der Simulation zur Entscheidungsunterstützung sowie die Notwendigkeit klarer Governance-Strukturen zur Steuerung von Entscheidungsprozessen in dynamischen Produktionsnetzwerken.

Die wissenschaftliche Innovation der Arbeit liegt in der Integration und empirischen Validierung eines multikriteriellen, simulationsgestützten Konzepts für ein Prozessmodell, das in der Praxis anwendbare Designprinzipien für die Zuteilung knapper Ressourcen unter Unsicherheit bereitstellt. Damit liefert die Dissertation einen fundierten Beitrag zur Gestaltung datenbasierter, adaptiver Planungsprozesse in dynamischen Produktionsnetzwerken.

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand an der Technischen Universität Dortmund und bei der Volkswagen AG. Für das mir entgegengebrachte Vertrauen, die wertvolle Unterstützung und die zahlreichen Beiträge zum Gelingen dieser Arbeit möchte ich den Menschen danken, die mich während dieser Zeit sowohl in Wissenschaft und Praxis als auch in meinem persönlichen Umfeld begleitet haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei **Prof. Dr. Michael Henke** für die stets motivierende Unterstützung und die engagierte Betreuung dieser Arbeit herzlich bedanken. Mein besonderer Dank gilt zudem **Prof. Dr. Axel Wagenitz** und **Marco Motta**. Beide haben diese Arbeit über den gesamten Forschungsprozess hinweg begleitet und mich durch ihre fachliche Expertise, ihre wertvollen Anregungen und ihre kontinuierliche Unterstützung maßgeblich geprägt. Ihr Engagement und die vertrauensvolle Zusammenarbeit haben wesentlich zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich meinen Kolleginnen und Kollegen **Dr. Thomas Mayer, Guillermo Vasquez Miguel, Timo Chella, Bastian Walter, Sandra Todtenhöfer, Dr. Jan Meinlschmidt** und **Sebastian Busse** danken. Durch den fachlichen Austausch, die gemeinsamen Diskussionen und ihre hilfsbereite Art standen sie mir jederzeit zuverlässig zur Seite. Auf eure Unterstützung konnte ich während der gesamten Promotionszeit vertrauen, wofür ich sehr dankbar bin.

Für die Ermöglichung der Dissertation im praktischen Umfeld der Automobilindustrie, das mir entgegengebrachte Vertrauen, die notwendigen Freiheiten zur Erstellung der Arbeit sowie das kontinuierliche Interesse und die Begleitung danke ich **Marcel Åslund, Jörg Graf, Lars Bäumann, Dirk Voigt** und **Dr. Thomas Bierwirth** vom Volkswagen Konzern.

Ein besonderer Dank gilt auch **Safa Evirgen**, mit dem ich den Weg der Promotion über viele Jahre gemeinsam gegangen bin. Der kontinuierliche fachliche Austausch, die gegenseitige Unterstützung und die zahlreichen gemeinsamen Diskussionen haben meine Promotionszeit nachhaltig geprägt und wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso danke ich **Kamar Aden Omar, Simon Schmidt, Faten Evirgen** und **Serife Bayandur**. Für eure Unterstützung, eure kritischen Rückfragen und euren Zuspruch möchte ich euch von Herzen danken. Ihr habt diese Promotionsphase weit über den wissenschaftlichen Kontext hinaus bereichert.

Mein persönlich größter Dank gilt meiner Verlobten **Sara** und meiner gesamten Familie. Ihr habt mich stets gestärkt, mir euer Vertrauen geschenkt und mich auf meinem gesamten Bildungsweg begleitet. Auch in schwierigen Phasen habt ihr mich zum Weitermachen motiviert und mir Mut zugesprochen. Euch ist diese Dissertation gewidmet.

Schließlich danke ich all jenen, die mich auf diesem Weg begleitet und unterstützt haben und oft mehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, als ihnen vielleicht selbst bewusst ist.

Ahmed Khechen, Münster, November 2025

Inhaltsverzeichnis

Ansätze zur Entwicklung einer Zuteilungssystematik von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten in großen Produktionsnetzwerken

Disclaimer	II
Abstract.....	IV
Zusammenfassung.....	VI
Danksagung	VIII
Inhaltsverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis	XIV
Abbildungsverzeichnis.....	XVI
Tabellenverzeichnis.....	XVIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielformulierung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	5
2 Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie	8
2.1 Terminologische Grundlagen der Auftragsabwicklung	8
2.2 Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung.....	13
2.2.1 Produktionsprogrammplanung	14
2.2.2 Produktionsbedarfsplanung.....	16
2.3 Engpasssteuerung.....	18
2.3.1 Grundlagen der Engpasssteuerung	18
2.3.2 Engpassursachen	20
2.3.3 Engpassmaßnahmen	22
2.4 Zuteilung von restriktiven Bauteilen.....	26
2.4.1 Überblick über Zuteilungsstrategien	26
2.4.2 Herausforderungen bei der Zuteilung von kritischen Bauteilen.....	27
2.5 Konkretisierung des Forschungsgegenstands.....	28
3 Stand der Forschung und Wissenschaft.....	33
3.1 Systematische Literaturrecherche zur Zuteilungssystematik	33
3.1.1 Rahmen und Umfang der Arbeit	33
3.1.2 Konzeptualisierung des Themas.....	34
3.1.3 Durchführung der Literaturrecherche.....	36
3.2 Systematische Auswertung der Ergebnisse.....	38
3.2.1 Konzeptuelle Einordnung der Literatur.....	38

3.2.2	Vergleich und Bewertung bestehender Ansätze.....	44
3.3	Forschungsagenda und Implikationen für die eigene Arbeit.....	51
4	Empirischer Forschungsansatz und Methodik.....	54
4.1	Grundlagen der Design Science.....	54
4.1.1	Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen	54
4.1.2	Design Science Research-Methodologie.....	55
4.1.3	Fallstudien als empirische Forschungsmethode	56
4.2	Forschungsansatz dieser Arbeit.....	59
4.2.1	Problemidentifikation und Motivation	60
4.2.2	Ziel der Lösung	61
4.2.3	Design und Entwicklung	62
4.2.4	Demonstration	64
4.2.5	Evaluation	66
4.2.6	Kommunikation.....	68
4.3	Zwischenfazit.....	68
5	Entwicklung der Zuteilungssystematik	70
5.1	Vorgehensweise zur Analyse der realen Problemsituation	70
5.1.1	Problemverständnis und Aufbau der Wissensbasis.....	71
5.1.2	Auswahl und Abgrenzung des Untersuchungsfalls.....	72
5.1.3	Durchführung der Datenerhebung.....	73
5.1.4	Analyse und Auswertung der Daten.....	74
5.1.5	Abgleich mit bestehender Literatur und theoretische Einordnung.....	74
5.2	Lösungsziele der Zuteilungssystematik.....	75
5.2.1	Vorgehensweise zur Formulierung der Lösungsziele	76
5.2.2	Formulierung der Lösungsziele.....	78
5.2.3	Zwischenfazit	88
5.3	Erstellung des Konzepts für ein Prozessmodell	89
5.3.1	Identifikation und Erstbewertung potenzieller Engpässe	90
5.3.2	Systematische Prüfung und Kommunikation der Zuteilung	93
5.3.3	Evaluation der Entscheidung und Feedbackerhebung.....	96
5.3.4	Anpassung der Zuteilung und abschließende Kommunikation.....	99
5.3.5	Zwischenfazit	100
5.4	Ableitung der Designprinzipien	101
5.4.1	Grundlagen von Designprinzipien	102
5.4.2	Ableitung der Designprinzipien	106
5.4.3	Evaluierung der Designprinzipien.....	110
5.4.4	Zwischenfazit	113
5.5	Zwischenfazit	114
6	Konzeptnachweis für die Zuteilungssystematik	116

6.1 Zielsetzung und konzeptioneller Ansatz der Demonstration.....	116
6.2 Beispielhafte Anwendung der Zuteilungssystematik	118
6.3 Zwischenfazit	126
7 Validierung der Forschungsergebnisse	128
7.1 Methodisches Vorgehen bei der Expertenbefragung.....	128
7.1.1 Ableitung der Untersuchungshypothesen.....	132
7.2 Ergebnisse der Expertenbefragung	133
7.2.1 Statistische Grundausswertung der Befragungsdaten.....	134
7.2.2 Gegenüberstellung der Ergebnisse der Stakeholdergruppen.....	137
7.2.3 Zwei-Stichproben-t-Test	139
7.2.4 Expertengespräche	141
7.3 Zwischenfazit	143
8 Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick.....	144
8.1 Zusammenfassung der zentralen Forschungsergebnisse	144
8.2 Kritische Würdigung und weiterführender Forschungsbedarf	147
8.2.1 Würdigung der Forschungsergebnisse	147
8.2.2 Bestehende Limitationen.....	148
8.2.3 Weiterführender Forschungsbedarf.....	149
Literaturverzeichnis.....	153
Anhang	173
A.1: Engpassverdachtsfälle: Monatsanalyse	173
A.2: Verweildauer von Engpassverdachtsfällen	174
A.3: Auswertung der Zuteilungen.....	175
A.4: Anschreiben zur Expertenbefragung	176
A.5: Fragebogen zur Expertenbefragung	178
A.6: Übersicht der kodierten Antworten	180
A.7: Aufbau der leitfadengestützten Expertengespräche	181
A.8: Gedankenprotokoll der Expertengespräche	182

Abkürzungsverzeichnis

BKM	Bedarfs- und Kapazitätsmanagement
DSR	Design Science Research
DSRM	Design Science Research Methodologie
DP	Designprinzip
EM	Engpassmanagement
KEP	Kundenauftragsentkopplungspunkt
KI	Künstliche Intelligenz
LZ	Lösungsziel
OEM	Original Equipment Manufacturer
SCM	Supply Chain Management
PBP	Produktionsbedarfsplanung
PP	Produktionsprogramm
PPP	Produktionsprogrammplanung
PPS	Produktionsplanung und -steuerung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aufbau und Struktur der Arbeit	7
Abbildung 2-1: Prozessschritte der Auftragsabwicklung (vgl. Wagenitz, 2007, S. 13)	10
Abbildung 2-2: Übersicht Aachener PPS-Modell mit Fokus auf PPP und PBP (i. A. a. Schuh et al., 2012, S. 21)	13
Abbildung 2-3: Aufgaben der Produktionsprogrammplanung (i. A. a. Schuh et al., 2012, S. 41)	15
Abbildung 2-4: Aufgaben der Produktionsbedarfsplanung (i. A. a. Schuh et al., 2012, S. 44)	18
Abbildung 3-1: Aufbau der Literaturanalyse (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)	33
Abbildung 3-2: Planung und Durchführung der Literaturrecherche (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)	33
Abbildung 3-3: Ergebnisdarstellung der Literaturrecherche (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)	38
Abbildung 3-4: Entwicklung der Forschungsagenda (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)	51
Abbildung 4-1: Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen (vgl. Hevner, 2007, S. 88)	55
Abbildung 4-2: Prozessreferenzmodell der DSR-Methodologie (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54)	56
Abbildung 4-3: Basistypen des Fallstudiendesigns (vgl. Yin, 2003, S. 40)	58
Abbildung 4-4: Forschungsdesign dieser Arbeit (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)	60
Abbildung 5-1: Verortung der Gestaltungsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)	70
Abbildung 5-2: Iterativer Requirements-Engineering-Prozess (i. A. a. Broy & Kuhrmann, 2021, S. 213)	76
Abbildung 5-3: Prozess zur Identifikation und Erstbewertung von Engpässen	93
Abbildung 5-4: Prozess zur systematischen Prüfung und Kommunikation der Zuteilung	96
Abbildung 5-5: Prozess zur Evaluation der Entscheidung und Feedbackerhebung	99
Abbildung 5-6: Prozess zur Anpassung der Zuteilung und abschließenden Kommunikation	100
Abbildung 6-1: Verortung der Demonstrationsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)	116
Abbildung 6-2: Kumulierte Bedarfs- und Kapazitätsverläufe des Regensensors „9C“	120
Abbildung 6-3: Monatliche Bedarfs- und Kapazitätsverläufe des Regensensors „9C“	120
Abbildung 6-4: Bauteile mit den größten Bedarfsverschiebungen	121
Abbildung 6-5: Kumulierte Kapazitätsverläufe der Regensensoren „9C“ und „7C“	122
Abbildung 6-6: Kapazitätsverläufe der Regensensoren 7C und 9C (Einbaurate 7C: 76 %)	123
Abbildung 6-7: Einbaurate des Radarsensors 6J je Vertriebsland	124
Abbildung 6-8: Bedarfsabweichung infolge der Volumenverschiebung	125
Abbildung 6-9: Leistungsindikatoren im Szenarienvergleich	126
Abbildung 7-1: Verortung der Bewertungsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Typische Restriktionen in der Produktionsprogrammplanung	9
Tabelle 2-2: Risikokategorien in der Literatur.....	22
Tabelle 2-3: Maßnahmen zur Engpassbewältigung	25
Tabelle 2-4: Zuteilungsstrategien bei restriktiven Bauteilen	27
Tabelle 2-5: Einordnung des Planungsproblems in Anlehnung an Klein und Scholl	32
Tabelle 3-1: Übersicht der identifizierten Kernbereiche und verwendeten Suchbegriffe.....	35
Tabelle 3-2: Übersicht der Suchanfragen im Rahmen der Literaturrecherche.....	37
Tabelle 3-3: Thematische Verortung der analysierten Publikationen nach Forschungsfeldern...	40
Tabelle 3-4: Konzeptmatrix zur Systematisierung zentraler Beiträge	42
Tabelle 3-5: Allokationsstrategien nach Toth	48
Tabelle 3-6: Methoden zur Allokation von Kapazitätsdefiziten nach Hegmanns.....	50
Tabelle 4-1: Umsetzungsphasen der Demonstration.....	66
Tabelle 5-1: Prozess der Fallstudienforschung	71
Tabelle 5-2: Struktur der eingebetteten Einzelfallstudie.....	73
Tabelle 5-3: Kategorien der Lösungsziele	78
Tabelle 5-4: Lösungsziele des Handlungsfelds Steuerung und Flexibilität	81
Tabelle 5-5: Lösungsziele der Kategorie Vernetzung und Transparenz	83
Tabelle 5-6: Lösungsziele der Kategorie Standardisierung und Zentralisierung	86
Tabelle 5-7: Lösungsziele der Kategorie Simulation.....	88
Tabelle 5-8: Basisinformationen für eine erste Bewertung der Versorgungssituation.....	91
Tabelle 5-9: Systematischer Vergleich relevanter Literaturansätze.....	106
Tabelle 5-10: Übersicht der Designprinzipien	106
Tabelle 6-1: Übersicht der aus den Quelldaten importierten Datenbasis	119
Tabelle 7-1: Zusammensetzung der Stichprobe nach Stakeholdergruppen und Rollen.....	131
Tabelle 7-2: Deskriptive Statistik der Gesamtstichprobe.....	134
Tabelle 7-3: Ergebnisse der deskriptiven Statistiken für die strategische Stakeholdergruppe...	136
Tabelle 7-4: Ergebnisse der deskriptiven Statistiken für die operative Stakeholdergruppe.....	137
Tabelle 7-5: Deskriptive Statistiken der Konstrukte nach Stakeholdergruppen	139
Tabelle 7-6: Ergebnisse der Zweistichproben-t-Tests für die untersuchten Konstrukte	140

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die industrielle Wertschöpfung befindet sich seit mehreren Jahrzehnten in einem strukturellen Wandel. Globalisierung, Digitalisierung und eine zunehmende arbeitsteilige Spezialisierung haben hochkomplexe, interdependente Produktions- und Liefernetzwerke hervorgebracht, die einerseits eine hohe Effizienz ermöglichen, andererseits jedoch die Anfälligkeit dieser Netzwerke gegenüber Störungen erhöhen. Globale Krisen wie die COVID-19-Pandemie, geopolitische Konflikte oder die Verknappung strategischer Rohstoffe, wie etwa Lithium, Kobalt oder seltener Erden, verdeutlichen, dass bereits einzelne Störungen erhebliche Engpässe in komplexen Produktionsnetzwerken auslösen können (vgl. Cornet et al., 2023, S. 8; Frieske & Stieler, 2022, S. 7ff.; Kiebler et al., 2020, S. 4; Meissner et al., 2020, S. 6).

Die Automobilindustrie ist von diesen Entwicklungen in besonderem Maße betroffen (vgl. Fuest, 2021, S. 666). Mit einer weltweiten Jahresproduktion von 85,4 Millionen Fahrzeugen im Jahr 2022 zählt sie zu den größten Industriezweigen weltweit (vgl. European Automobile Manufacturers' Association [ACEA], 2023). Die Produktions- und Steuerungskonzepte vieler Hersteller sind in weiten Teilen durch eng getaktete Just-in-Time- und Just-in-Sequence-Prozesse geprägt, die Bestände minimieren, zugleich jedoch die Abhängigkeit von stabilen Zulieferstrukturen erhöhen (vgl. Holweg & Pil, 2004, S. 120). Die Fertigung eines Fahrzeugs erfordert die Integration von mehreren zehntausend Einzelteilen, die über ein mehrstufiges Netzwerk aus Original Equipment Manufacturers (OEMs), Tier-1-Zulieferern und weiteren Sublieferanten bereitgestellt werden (vgl. Menk et al., 2012, S. 14). Kommt es auf einer Stufe der Lieferkette zu Störungen, können sich diese aufgrund von Kaskadeneffekten auf nachgelagerte Stufen übertragen und im Extremfall die gesamte Fahrzeugproduktion zum Stillstand bringen.

Eine besondere Rolle spielen in diesem Zusammenhang sogenannte kritische Bauteile. Darunter werden jene Komponenten verstanden, deren Nichtverfügbarkeit unmittelbar zu Produktionsunterbrechungen führen kann, da weder Ersatzmöglichkeiten noch kurzfristige Beschaffungsoptionen bestehen (vgl. McDonnell & Taylor, 2022). Typische Beispiele sind Halbleiter, Batteriezellen oder sicherheitsrelevante Steuergeräte.

Kommt es bei diesen Bauteilen zu einer Bedarfsunterdeckung, entsteht die Notwendigkeit einer Zuteilung. Unter einer Bedarfsunterdeckung ist eine Situation zu verstehen, in der die verfügbare Menge eines Bauteils nicht ausreicht, um den geplanten Bedarf vollständig abzudecken. Zuteilung bezeichnet in diesem Zusammenhang die priorisierte Verteilung restriktiver Komponenten auf konkurrierende Bedarfe mit dem Ziel, Beeinträchtigungen der Wertschöpfungskette zu minimieren. Die konkrete Ausgestaltung dieser Entscheidung beeinflusst maßgeblich, in welchem Maß Produktionsprozesse stabil aufrechterhalten werden können oder das Risiko von Unterbrechungen steigt.

Die jüngsten Krisen haben verdeutlicht, welche zentrale Bedeutung restriktiven Bauteilen für die Stabilität von Produktionsnetzwerken zukommt. So führte die globale Halbleiterknappheit im Jahr 2021 zu Produktionsausfällen von rund 9,5 Millionen Fahrzeugen (vgl. Brinley, 2023). Die daraus resultierenden Umsatzeinbußen wurden auf etwa 210 Milliarden US-Dollar geschätzt (vgl.

Yost, 2021). Auch die COVID-19-Pandemie verdeutlichte die Anfälligkeit der Lieferkette, als unterbrochene Transportwege und Lockdowns bei Zulieferern erhebliche Störungen verursachten. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Zuteilung restriktiver Bauteile eine zentrale Herausforderung für die Automobilindustrie darstellt.

Diese resultiert insbesondere daraus, dass die Zuteilung ein komplexes Entscheidungsproblem bildet, das von zahlreichen Abhängigkeiten, Zielkonflikten und Unsicherheiten geprägt ist. Sie umfasst dabei nicht nur die kurzfristige Sicherung der Produktion, sondern erfordert zugleich die Berücksichtigung langfristiger strategischer Zielsetzungen. Entscheidungen über die Verteilung kritischer Bauteile wirken sich unmittelbar auf Umsätze, Marktanteile und Kundenzufriedenheit aus und beeinflussen zugleich regulatorische Zielgrößen sowie die Stabilität von Liefernetzwerken.

Da in solchen Entscheidungssituationen in der Regel keine eindeutig optimale Lösung existiert, sondern mehrere Alternativen mit unterschiedlichen Implikationen vorliegen, gewinnt die systematische Vergleichbarkeit von Handlungsoptionen an Bedeutung. Eine höhere Qualität der Entscheidungen wird dadurch begünstigt, dass Informationen in verlässlicher Form vorliegen, Handlungsmöglichkeiten transparent dargestellt und die Interessen der beteiligten Akteure angemessen berücksichtigt werden.

In der praktischen Umsetzung erfolgen Zuteilungsentscheidungen jedoch häufig unter unsicheren Bedingungen. Die verfügbare Informationsbasis ist oftmals unvollständig oder veraltet, sodass Entscheidungen nicht auf einer belastbaren Datengrundlage getroffen werden können (vgl. Frisch & Jochem, 2020, S. 74; Herrmann & Manitz, 2021, S. 9). Darüber hinaus mangelt es bislang an etablierten, empirisch validierten Verfahren, die eine transparente und nachvollziehbare Entscheidungsfindung systematisch unterstützen.

Auch in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Zuteilung restriktiver Bauteile zeigt sich bislang ein fragmentierter Forschungsstand. Die bestehenden Beiträge lassen sich im Wesentlichen drei Richtungen zuordnen: heuristische Verfahren, algorithmische Optimierungsmodelle und konzeptionelle Rahmenwerke. Während diese Ansätze einzelne Aspekte der Problemstellung adressieren, fehlt bislang eine systematische Integration der unterschiedlichen Perspektiven sowie eine empirische Fundierung, die ihre Anwendbarkeit in komplexen, industriellen Kontexten absichert.

Darüber hinaus zeigt sich, dass zentrale Anforderungen an eine systematische Zuteilung restriktiver Bauteile bislang nur unzureichend in einen konsistenten Rahmen überführt wurden. Dazu zählen insbesondere die simulationsbasierte Bewertung alternativer Handlungsoptionen, die Sicherstellung von Transparenz bezüglich der Daten- und Entscheidungsgrundlagen sowie die aktive Einbindung relevanter Akteure in kollaborative Entscheidungsprozesse. Zwar werden einzelne dieser Aspekte in der bisherigen Forschung aufgegriffen, eine integrierte und konsistente Zusammenführung liegt jedoch nicht vor. Gerade in komplexen Produktionsnetzwerken wie der Automobilindustrie ist eine solche Perspektive notwendig, um die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen zu erhöhen, die Akzeptanz der Beteiligten zu sichern und eine effizientere Ressourcennutzung zu ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund besteht die Motivation der vorliegenden Arbeit aus einer wissenschaftlichen und einer praktischen Perspektive. Aus wissenschaftlicher Sicht besteht die Herausforderung darin, einen konsistenten Orientierungsrahmen für die Zuteilung restriktiver Bauteile zu entwickeln, der bestehende Ansätze miteinander verbindet, systematisiert und empirisch überprüft. Auf diese Weise soll die theoretische Fundierung der Forschung zu Zuteilungsproblemen gestärkt und ein bislang nur unzureichend strukturierter Bereich des wissenschaftlichen Diskurses weiterentwickelt werden.

Aus praktischer Sicht ergibt sich die Motivation aus den aktuellen Anforderungen der Automobilindustrie, die mit einer steigenden Volatilität der Märkte sowie zunehmenden Unsicherheiten in den globalen Liefernetzwerken konfrontiert ist. Zwar existieren bereits etablierte Verfahren, um diesen Herausforderungen zu begegnen, sie stoßen jedoch häufig an Grenzen, wenn Abhängigkeiten in komplexen Produktionsnetzwerken, mangelnde Transparenz oder divergierende Interessen der Akteure die Entscheidungsfindung erschweren. Eine multikriterielle Zuteilungssystematik, die durch simulationsgestützte Analysen die Bewertung alternativer Handlungsoptionen ermöglicht und kollaborative Entscheidungsprozesse unterstützt, kann somit einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung und zur Resilienz industrieller Produktionsnetzwerke leisten.

1.2 Zielformulierung

Aus den zuvor beschriebenen wissenschaftlichen und praktischen Anforderungen ergibt sich die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Im Zentrum steht die Entwicklung einer konsistenten, multikriteriellen Zuteilungssystematik für restriktive Bauteile mit komplexer Abhängigkeit in automobilen Produktionsnetzwerken. Mit der Systematik wird angestrebt, Zuteilungsentscheidungen so zu gestalten, dass sie auf einer transparenten und kollaborativen Basis erfolgen und gleichzeitig ökonomische, operative, strategische und kooperative Kriterien systematisch berücksichtigen.

Das Erkenntnisinteresse der Arbeit richtet sich auf die Entwicklung eines Orientierungsrahmens, der die Zuteilung restriktiver Bauteile methodisch strukturiert und dabei wesentliche Anforderungen industrieller Produktionsnetzwerke berücksichtigt. Ein grundlegendes Element zur Erreichung dieser Zielsetzung bildet die Nutzung simulationsgestützter Verfahren, mit denen sich verschiedene Zuteilungsszenarien analysieren und ihre Auswirkungen auf Bedarfe, Kapazitäten und Produktionsabläufe transparent bewerten lassen.

Ergänzend werden Transparenz und Datensouveränität als zentrale Gestaltungsprinzipien berücksichtigt. Während Transparenz darauf abzielt, Entscheidungsprozesse nachvollziehbar zu machen und die Vergleichbarkeit alternativer Optionen zu erhöhen, schafft Datensouveränität die Voraussetzung für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit, indem sie den beteiligten Akteuren die Kontrolle über ihre Daten belässt und so die Bereitschaft zum Datenaustausch stärkt.

Darüber hinaus werden Rückkopplungsmechanismen integriert, die eine kontinuierliche Einbindung der Bedarfsträger sicherstellt. Auf diese Weise können Planungsergebnisse frühzeitig überprüft, Fehlentwicklungen schneller erkannt und Anpassungen unmittelbar berücksichtigt werden. Dies trägt nicht nur zur Erhöhung der inhaltlichen Qualität der Entscheidungen bei, sondern fördert zugleich deren Akzeptanz und erleichtert die Umsetzung in der Praxis. Aus dem formulierten

Forschungsziel lassen sich drei zentrale Forschungsfragen ableiten, die den Untersuchungsrahmen der Arbeit strukturieren:

1. Welche Lösungsziele sind durch eine multikriterielle Zuteilungssystematik zu erfüllen?

Die erste Forschungsfrage zielt auf die Erhebung und Strukturierung von Lösungszielen (LZ) ab, die als Grundlage für die Entwicklung der Zuteilungssystematik dienen. Im Fokus steht dabei die Identifikation funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen aus den Perspektiven relevanter Stakeholder sowie deren Überführung in eine konsistente Zielstruktur. Dadurch wird angestrebt, dass die Systematik nicht nur technische Effizienzpotenziale berücksichtigt, sondern auch organisatorische und kollaborative Anforderungen in einem praxisorientierten Rahmen abbildet.

2. Wie ist ein Konzept für ein Prozessmodell zur Umsetzung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik zu gestalten?

Die zweite Forschungsfrage befasst sich mit der Konzeption eines Prozessmodells, das den Ablauf der Zuteilung strukturiert und den Entscheidungsprozess von der Engpassidentifikation bis zur finalen Zuteilung idealtypisch beschreibt. Das Modell gliedert diesen Prozess in klar abgegrenzte Phasen und verdeutlicht damit zentrale Entscheidungsschritte sowie deren Abhängigkeiten. Neben der deskriptiven Abbildung bestehender Abläufe übernimmt das Modell eine normative Funktion, indem es als Orientierungsrahmen für eine methodisch konsistente Weiterentwicklung der Zuteilungssystematik dient.

3. Nach welchen Designprinzipien wird eine multikriterielle Zuteilungssystematik gestaltet?

Die dritte Forschungsfrage bezieht sich auf die Ableitung von Designprinzipien (DP), die das in den vorangegangenen Analysen gewonnene Wissen abstrahiert und in verallgemeinerte Leitlinien überführen. Die Prinzipien sollen dabei so gestaltet werden, dass sie einerseits zur theoretischen Weiterentwicklung beitragen und andererseits der industriellen Praxis als Orientierungshilfe dienen können. Damit sollen sie die methodische Absicherung der Systematik unterstützen und Ansatzpunkte für die Prüfung ihrer potenziellen Übertragbarkeit auf unterschiedliche Anwendungskontexte liefern.

Die Arbeit ist somit auf die Entwicklung und Validierung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik für restriktive Bauteile in automobilen Produktionsnetzwerken ausgerichtet. Die Fokussierung auf die Automobilindustrie ergibt sich aus ihrer besonderen praktischen Relevanz, da Engpässe in diesem Anwendungsbereich in den vergangenen Jahren wiederholt zu erheblichen Produktionsunterbrechungen geführt haben. Zugleich besitzt die Branche aufgrund ihrer global vernetzten Wertschöpfungsstrukturen und ihrer hohen Produktkomplexität eine exemplarische Bedeutung für die Analyse komplexer Zuteilungsprobleme. Darüber hinaus steht für diesen Kontext eine geeignete Datenbasis zur Verfügung, die eine empirisch fundierte Analyse und die exemplarische Demonstration der vorgeschlagenen Systematik ermöglicht.

Methodisch orientiert sich die Arbeit am Design-Science-Research-Ansatz, wodurch eine enge Verbindung zwischen konzeptioneller Entwicklung, praktischer Erprobung und empirischer Va-

lidierung gewährleistet werden soll. Der Erkenntnisgewinn richtet sich damit sowohl an die wissenschaftliche Fachgemeinschaft, der ein strukturierter Bezugsrahmen für weitere Untersuchungen bereitgestellt wird, als auch an Praktikerinnen und Praktiker in Industrieunternehmen, die durch die Ergebnisse Anhaltspunkte für die Ausgestaltung eigener Entscheidungsprozesse erhalten können. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit und erläutert die einzelnen Schritte des Forschungsprozesses.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Dissertation ist so angelegt, dass sie den Leser schrittweise von der Problemstellung über die theoretische und methodische Fundierung bis hin zur Entwicklung, Demonstration und Validierung der vorgeschlagenen Zuteilungssystematik führt. Dabei gliedert sie sich in acht Kapitel, die in fünf thematische Abschnitte unterteilt sind und jeweils aufeinander aufbauen.

Der erste Abschnitt (Kapitel 1) dient als Einführung und legt die Grundlage für das Verständnis der gesamten Arbeit. Zunächst wird die Ausgangssituation der automobilen Produktionsnetzwerke beschrieben, wobei insbesondere die Herausforderungen im Umgang mit restriktiven Bauteilen sowie die wissenschaftliche und praktische Relevanz des Themas herausgearbeitet werden. Darauf aufbauend werden die Zielsetzung und die Forschungsfragen formuliert, die den weiteren Untersuchungsrahmen definieren. Den Abschluss des Kapitels bildet ein Überblick über den Aufbau der Arbeit.

Im zweiten Abschnitt (Kapitel 2, 3 und 4) werden die theoretischen und methodischen Grundlagen sowie der Stand der Forschung dargestellt. Kapitel 2 führt in die Terminologie der Engpasssteuerung ein und beschreibt zentrale Planungsaufgaben sowie typische Zielkonflikte, die sich bei der Zuteilung restriktiver Bauteile in Produktionsnetzwerken ergeben. Auf diese Weise wird der Problemkontext eingeordnet und eine Basis für die anschließende Konzeption gebildet. Kapitel 3 schließt daran an, indem es die einschlägige Literatur zu Zuteilungsverfahren restriktiver Bauteile darstellt und im Hinblick auf bestehende Forschungslücken kritisch reflektiert. Damit wird der Forschungsstand strukturiert zusammengeführt und die Grundlage gelegt, die eigene Arbeit anschlussfähig im wissenschaftlichen Diskurs zu positionieren. Kapitel 4 beschreibt schließlich den methodischen Rahmen der Dissertation. Im Zentrum steht die Design-Science-Research-Methodologie, deren problemzentrierter Ansatz erläutert und als methodische Grundlage für die Entwicklung, Demonstration und Validierung der Artefakte begründet wird.

Der dritte Abschnitt (Kapitel 5) widmet sich dem Gestaltungsrahmen der Zuteilungssystematik. Dieser umfasst die LZ, das Konzept für ein Prozessmodell und die daraus abgeleiteten DP, die zusammen einen wesentlichen Beitrag der Dissertation bilden.

Der vierte Abschnitt (Kapitel 6 und 7) behandelt die Demonstration der entwickelten Systematik sowie die Validierung der zugrunde liegenden Artefakte im industriellen Kontext. Kapitel 6 zeigt anhand einer Fallstudie mit realen Auftrags- und Stücklistendaten die Umsetzung des vorgeschlagenen Konzepts und verdeutlicht die Potenziale simulationsgestützter Analysen im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile. Kapitel 7 evaluiert die Ergebnisse systematisch, wobei quantitative Befragungsdaten Rückschlüsse auf die Relevanz der Zielstruktur ermöglichen und qualitative

Experteninterviews zusätzliche Einblicke in die Hintergründe der dabei erkennbaren Tendenzen liefern.

Der fünfte Abschnitt (Kapitel 8) bündelt schließlich die zentralen Ergebnisse, ordnet sie in den Gesamtkontext ein und bewertet kritisch die bestehenden Limitationen der Arbeit. Zudem wird geprüft, inwieweit die formulierten Ziele erreicht wurden und welche Beiträge die Dissertation sowohl für die wissenschaftliche Diskussion als auch für die industrielle Praxis darstellt. Abschließend bietet das Kapitel einen Ausblick, in dem zukünftige Forschungs- und Handlungsfelder benannt werden, die sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ableiten lassen. Die in **Abbildung 1-1** dargestellte Übersicht fasst die Vorgehensweise der Dissertation zusammen.

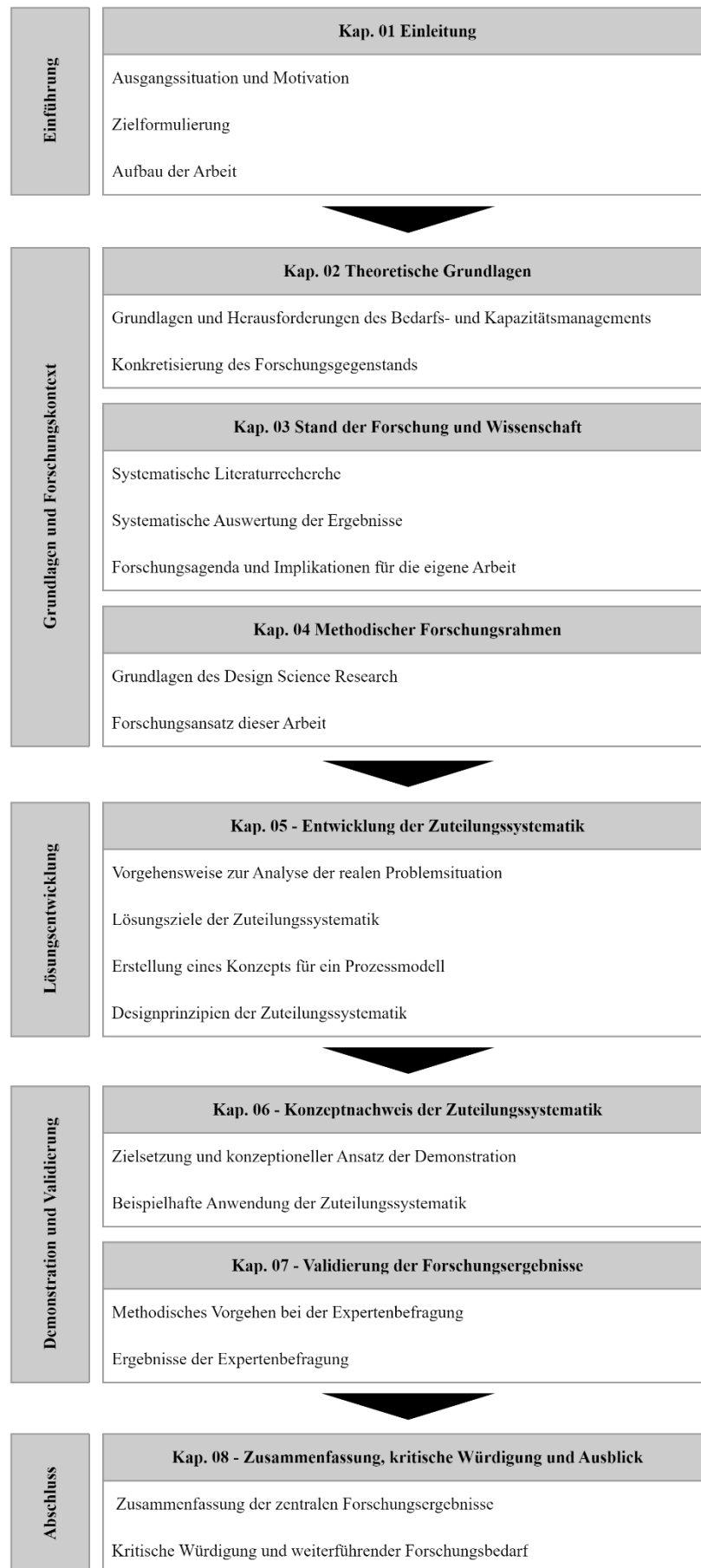


Abbildung 1-1: Aufbau und Struktur der Arbeit

2 Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie

Kapitel 2 behandelt die theoretischen Grundlagen, auf denen die weitere Arbeit aufbaut. Im Zentrum steht die Einordnung zentraler Begriffe und Konzepte, die die Basis für das Verständnis der Zuteilung restriktiver Bauteile bilden. Dazu werden im Folgenden die relevanten Begriffe definiert, voneinander abgegrenzt und in den Kontext des Auftragsabwicklungsprozesses sowie der Zuteilung restriktiver Bauteile eingeordnet (Abschnitt 2.1). Anschließend werden die zentralen Aspekte der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) erläutert, die den Rahmen für die weitere Analyse abstecken (Abschnitt 2.2). Im nächsten Schritt folgt die Auseinandersetzung mit der Engpasssteuerung, die eine wesentliche Funktion in automobilen Produktionsnetzwerken einnimmt (Abschnitt 2.3). Daran anschließend wird die Zuteilung restriktiver Bauteile als zentrales Untersuchungsfeld dieser Arbeit dargestellt (Abschnitt 2.4). Den Abschluss bildet die Konkretisierung des Forschungsgegenstands, die die theoretischen Vorüberlegungen zusammenführt und den Übergang zum Forschungsstand markiert (Abschnitt 2.5).

2.1 Terminologische Grundlagen der Auftragsabwicklung

Die Auseinandersetzung mit der Zuteilung restriktiver Bauteile in automobilen Produktionsnetzwerken bedarf einer klaren terminologischen Grundlage sowie der Einordnung in den übergeordneten Auftragsabwicklungsprozess. In der Literatur existieren für diesen Prozess unterschiedliche Bezeichnungen. Besonders weit verbreitet sind die Begriffe Kundenauftragsprozess und Auftragsabwicklungsprozess. Beide Begriffe werden in der Literatur weitgehend synonym verwendet und bezeichnen den Wertschöpfungsprozess zwischen Auftragseingang und Fahrzeugauslieferung (vgl. Hellmich, 2003, S. 7f.; Huber, 2016, S. 28ff.; Kuhn & Hellmich, 2002, S. 153; Wagenitz, 2007, S. 8ff.). Im Rahmen dieser Arbeit wird zur Wahrung der terminologischen Konsistenz der Begriff Auftragsabwicklungsprozess verwendet. Gleichwohl wird auf die Definition von *Kappler und Bracht (2010)* Bezug genommen, die den Begriff Kundenauftragsprozess verwenden, da er in der einschlägigen Literatur weit verbreitet ist und den Gesamtprozess prägnant beschreibt (vgl. Kappler, 2010, S. 21):

„Der Kundenauftragsprozess in der Automobilindustrie umfasst den Prozess der Auftragserteilung des Kunden beim Händler, die Auftragsabwicklung und Produktion beim OEM sowie die Fahrzeugdistribution bis hin zur Auslieferung des Fahrzeugs an den Endkunden.“

Die Zielsetzung dieses Prozesses ist am Konzept der „7 R der Logistik“ (auch bekannt als die „Seven Rights of Logistics“) ausgerichtet, das als normativer Bezugsrahmen die Sicherstellung einer effizienten und verlässlichen Auftragsabwicklung zum Ziel hat (vgl. Plowman, 1964, S. 1). Übertragen auf die Automobilindustrie lassen sich daraus spezifische Anforderungen ableiten. Dazu zählen insbesondere tagesgenaue Lieferterminezusagen, die Verkürzung von Durchlauf- und Lieferzeiten, die Möglichkeit kurzfristiger Anpassungen bei Ausstattungswünschen, eine höhere Planungssicherheit für Handel und Hersteller sowie die Minimierung der Prozesskosten (vgl. Lochmahr & Wildemann, 2007, S. 510). Diese Ziele verdeutlichen, dass der Auftragsabwicklungsprozess durch ein Spannungsfeld zwischen Flexibilität und Effizienz geprägt ist. Einerseits

erwarten Endkunden individuelle Konfigurationsmöglichkeiten und kurze Lieferzeiten, andererseits erfordert die industrielle Umsetzung standardisierte Abläufe und ein hohes Maß an Planungsstabilität.

Abbildung 2-1 stellt die zentralen Prozessschritte des Auftragsabwicklungsprozesses sowie die daran beteiligten Akteure dar. Dabei wird deutlich, dass der Prozess keine lineare Abfolge von Aktivitäten darstellt, sondern ein komplexes Zusammenspiel interner und externer Akteure, das eine enge Abstimmung ihrer Beiträge erfordert. Damit wird bereits auf dieser Ebene deutlich, dass der Auftragsabwicklungsprozess von Schnittstellenabhängigkeiten und potenziellen Zielkonflikten geprägt ist. Diese Aspekte nehmen im weiteren Verlauf der Arbeit bei der Betrachtung von Engpässen und Zuteilungsentscheidungen eine zentrale Rolle ein.

Zur Analyse der in diesem Prozess auftretenden Herausforderungen ist es erforderlich, zentrale Begriffe entlang dieses Prozesses einzuordnen. Den Ausgangspunkt bildet die Absatzprognose, die als Schätzung der künftigen Nachfrage die Grundlage für die Ressourcenplanung darstellt. Prognosen beruhen auf Marktanalysen, historischen Verkaufszahlen und makroökonomischen Entwicklungen, sind jedoch stets mit Unsicherheiten verbunden, die sich in nachgelagerte Planungsstufen fortsetzen können (vgl. Dudenhöffer et al., 2013, S. 66ff.).

Da Absatzprognosen zwar eine erste Orientierung über die künftig zu erwartende Marktnachfrage geben, jedoch nicht die tatsächlichen Restriktionen und verfügbaren Kapazitäten des Produktionsnetzwerks abbilden, erfolgt ihre Überführung in ein Produktionsprogramm (PP). Dieses stellt die formalisierte Übersetzung der erwarteten Nachfrage in konkrete Produktionsziele dar und legt fest, welche Produkte in welchen Mengen und zu welchen Zeitpunkten gefertigt werden sollen (vgl. Grabner, 2017, S. 216). Die Umsetzbarkeit wird dabei durch Restriktionen begrenzt, die aus technischen, kapazitiven, logistischen oder regulatorischen Rahmenbedingungen resultieren. **Tabelle 2-1** gibt einen Überblick über zentrale Restriktionsarten und verdeutlicht deren Einfluss auf die Produktionsprogrammplanung (PPP).

Tabelle 2-1: Typische Restriktionen in der Produktionsprogrammplanung

Kategorie	Beschreibung	Beispiel	Quelle
Technische Restriktionen	Beschränkungen durch Produktauslegung, Variantenlogik und Baubarkeitsregeln	Unzulässige Kombination bestimmter Ausstattungsmerkmale (z. B. Klimaanlage und bestimmtes Motorpaket)	V. Arnold et al., 2011, S. 85
Kapazitative Restriktionen	Grenzen durch Produktionsmittel, Personal oder Zulieferkapazitäten	Maximale Schichtstunden einer Montagelinie oder begrenzte Liefermenge eines Zulieferers	Schlüter, 2001, S. 12
Logistische Restriktionen	Einschränkungen durch Transportwege, Lagerung oder Lieferzeiten	Lange Vorlaufzeiten für importierte Halbleiter oder Transportengpässe	Klug, 2018, S. 254
Regulatorische Restriktionen	Vorgaben durch gesetzliche, ökologische oder sicherheitsrelevante Normen	CO ₂ -Flottenziele oder sicherheitsrelevante Prüfauflagen	Friesenbichler, 2025, S. 57

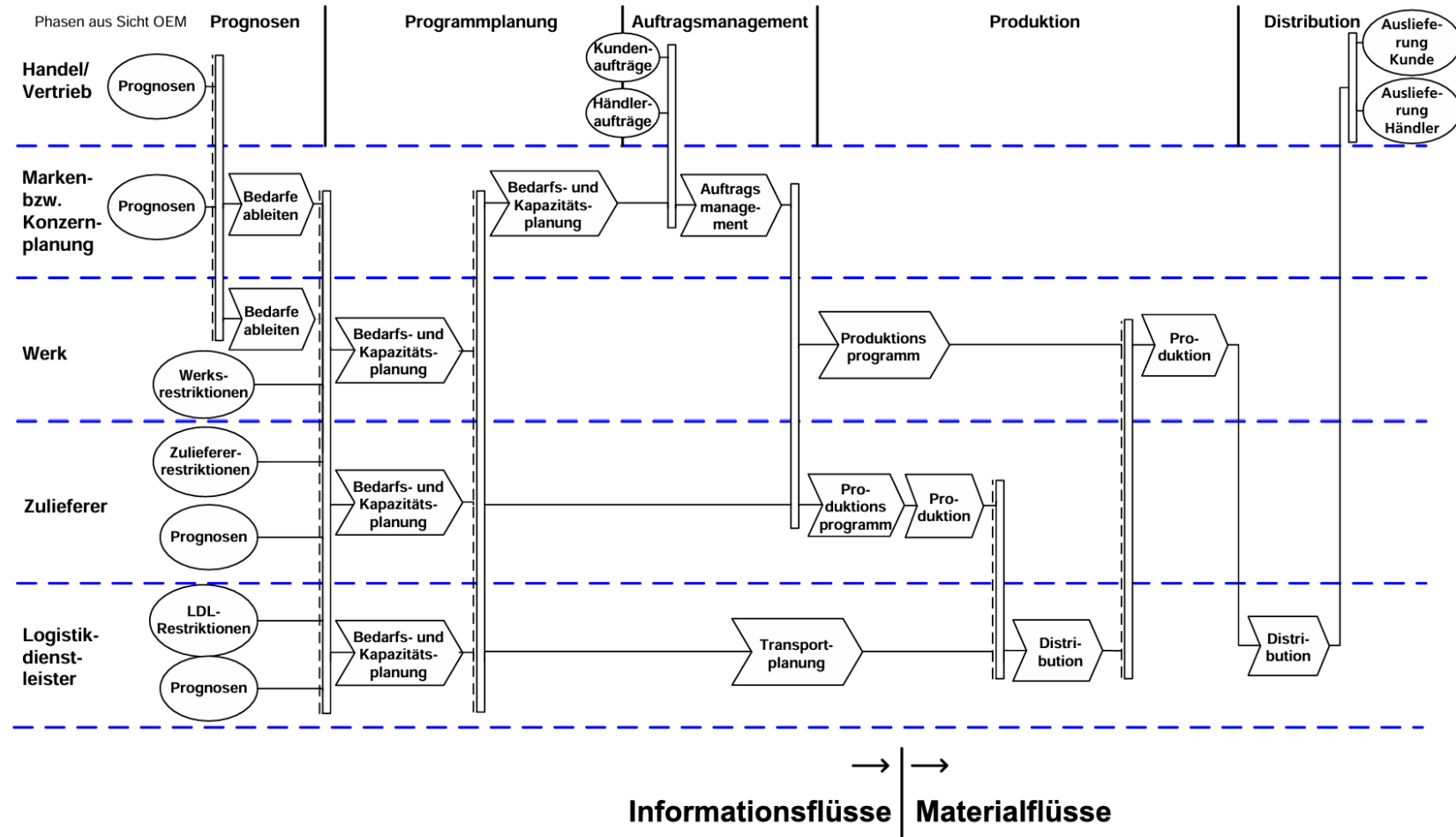


Abbildung 2-1: Prozessschritte der Auftragsabwicklung (vgl. Wagenitz, 2007, S. 13)

Im nächsten Schritt folgt die Produktionsbedarfsplanung (PBP), die das im PP festgelegte Mengengerüst in konkrete Anforderungen an Materialien, Baugruppen und Einzelteilen übersetzt. Sie stellt damit die Verbindung zwischen aggregierter Programmplanung und der detaillierten Teileversorgung her und schafft die Grundlage für eine fundierte Bedarfsdeckung. Die Basis dafür stellt die technische Stückliste dar, in der sämtliche Komponenten eines Fahrzeugs systematisch erfasst werden (vgl. Grabner, 2017, S. 214).

Ein zentrales Merkmal der Bedarfsplanung in der Automobilindustrie ist die hohe Variantenvielfalt, die sich aus der großen Zahl wählbarer Ausstattungsmerkmale ergibt. Diese bezeichnet eine vom Kunden wählbare Produkteigenschaft. Deren zulässige Kombinationen werden durch Baubarkeitsregeln gesteuert, die sicherstellen, dass nur technisch realisierbare Konfigurationen produziert werden (vgl. Sinz, 2003, S. 26). Diese Abhängigkeiten erhöhen die Komplexität der Bedarfsplanung und sind zugleich für die Zuteilung restriktiver Bauteile von besonderer Bedeutung, da Verfügbarkeitsprobleme häufig nicht nur einzelne Teile betreffen, sondern über Variantenabhängigkeiten Folgewirkungen auf ganze Fahrzeugkonfigurationen implizieren (vgl. Zernechel, 2007, S. 369f.).

Parallel dazu muss die verfügbare Kapazität berücksichtigt werden, die die maximal mögliche Leistung von Betriebsmitteln, Personal oder Lieferanten in einem bestimmten Zeitraum beschreibt (vgl. Kern, 1962, S. 27). Erst durch den Abgleich der ermittelten Bedarfe mit diesem Kapazitätsangebot lässt sich feststellen, ob Engpässe drohen und welche Steuerungsmaßnahmen erforderlich sind, um diese zu vermeiden. Die Abstimmung erfolgt im Rahmen des Bedarfs- und Kapazitätsmanagements (BKM), das sowohl präventive als auch reaktive Maßnahmen zur Sicherung einer stabilen Versorgung umfasst (vgl. D. Arnold et al., 2008, S. 472; Zernechel, 2007, S. 373). Hegmanns definiert das BKM wie folgt (vgl. Hegmanns, 2010, S. 14):

„Das Bedarfs- und Kapazitätsmanagement [...] hat die Aufgabe, die Ergebnisse der Bedarfsplanung (Kundenbedarfe, Bedarfsvorschauen, Bestellmengen und Lieferabrufe) mit dem Ergebnis der Kapazitätsplanung, dem verfügbaren Kapazitätsangebot (verfügbare Ressourcen und Produktbestände), abzugleichen und alle dafür notwendigen Prozesse zu steuern und zu überwachen.“

Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Kontext dem Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP) zu. Er markiert den Übergang von der prognosebasierten, aggregierten Planung zur auftragsbezogenen Fertigungssteuerung (vgl. Grabner, 2017, S. 199). Ab diesem Zeitpunkt werden Restriktionen unmittelbar wirksam, da sie nicht mehr nur theoretische Bedarfe, sondern konkrete Kundenaufträge betreffen. Damit bildet der KEP eine zentrale Schnittstelle, an der Zuteilungsentscheidungen besonders relevant werden.

Treten Abweichungen zwischen dem ermittelten Bedarf und der verfügbaren Kapazität auf, können Engpässe entstehen, die eine gezielte Steuerung erforderlich machen. Zur Bewältigung solcher Situationen wird in der Literatur die Engpasssteuerung als Teilbereich des BKM beschrieben. Sie wird dort als reaktive Funktion verstanden, die im Eintrittsfall eines Engpasses greift und Maßnahmen koordiniert, um die Auswirkungen begrenzter Ressourcen auf die Auftragsabwicklung möglichst gering zu halten (vgl. Tietze et al., 2017, S. 470).

Können Engpässe durch Maßnahmen der Engpasssteuerung nicht aufgelöst werden, kann eine Zuteilung (auch Allokation genannt) erforderlich werden. Unter Zuteilung wird in diesem Zusammenhang die Verteilung knapper Ressourcen auf konkurrierende Bedarfsträger verstanden (vgl. Hegmanns, 2010, S. 169). Ein Bedarfsträger stellt dabei eine Einheit oder Stelle dar, die einen bestimmten Bedarf anmeldet oder auslöst bzw. Ressourcen, Leistungen oder Materialien benötigt. Für den Begriff Zuteilung existiert in der Literatur keine allgemein gültige Definition. Er wird sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Terminologie von *Toth* gefolgt, der die Zuteilung wie folgt definiert (vgl. *Toth*, 2008, S. 123):

„[...] die Verteilung von begrenzten Fertigungskapazitäten und Beständen (allokierte Mengen) auf eingehende Bedarfe (allokierende Menge).“

Eine besondere Herausforderung stellt die Zuteilung bei kritischen Bauteilen (auch aufbauhemmende Bauteile genannt) dar. Ihnen kommt eine besondere Bedeutung zu, da Entscheidungen über ihre Zuteilung unmittelbare Auswirkungen auf den Produktionsprozess haben können. Ihr Fehlen kann nicht nur zusätzliche Kosten und aufwendige Anpassungen in der Produktionsplanung verursachen, sondern bis hin zu Produktionsstillständen führen. Vor diesem Hintergrund können Zuteilungsentscheidungen bei solchen Bauteilen eine strategische Dimension erhalten: Sie tragen dazu bei, zu bestimmen, welche Werke, Modelle oder Märkte priorisiert werden und können damit u. a. die Effizienz, Kundenzufriedenheit und Wettbewerbsfähigkeit beeinflussen. Die vorliegende Arbeit setzt daher an diesem Punkt an und entwickelt eine Systematik, die gerade in solchen Situationen eine transparente und nachvollziehbare Entscheidungsunterstützung bereitstellt.

Auf operativer Ebene erfolgt die Konkretisierung der strategischen Entscheidungen in der Fahrzeugeinplanung, indem festgelegt wird, welche einzelnen Kundenaufträge mit den verfügbaren restriktiven Bauteilen ausgestattet werden. Dort werden die einzelnen, vollständig spezifizierten Kundenaufträge gemäß den Vorgaben des PP sowie den vorgesehenen Auslieferungszeiträumen eingeplant (vgl. *Hickmann & Wloka*, 2003, S. 198f.). Auf diese Weise wird deutlich, dass Zuteilungsentscheidungen nicht nur abstrakt auf aggregierter Ebene wirken, sondern unmittelbar in die operative Auftragssteuerung hineinreichen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie mit zunehmender Variantenvielfalt und Individualisierung erheblich an Komplexität gewinnt. In solchen Kontexten steigen die Abhängigkeiten zwischen den beteiligten Akteuren insbesondere im Hinblick auf Ressourcen, Planungsentscheidungen und der notwendigen Informationsweitergabe an. Entscheidungen zur Programmplanung oder Bedarfsprognose wirken sich unmittelbar auf Beschaffung, Produktion und Logistik aus und können sich bei Störungen in Form von Versorgungsengpässen oder Produktionsunterbrechungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette fortsetzen.

Um die Analyse von Engpässen und Zuteilungsentscheidungen fundiert vorzubereiten, ist eine vertiefte Betrachtung der PPS notwendig. Erst durch das Verständnis ihrer zentralen Planungsmechanismen wird deutlich, an welchen Stellen Restriktionen wirksam werden und wie diese in

nachgelagerten Prozessen zur Notwendigkeit von Zuteilungsentscheidungen führen. Daher werden im folgenden Abschnitt die Grundlagen der PPS näher erläutert.

2.2 Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung

Die PPS stellt einen zentralen Bestandteil industrieller Wertschöpfung dar, da sie die simultane Sicherstellung von Termintreue, Ressourcenauslastung und einer angemessenen Bestandsführung ermöglicht. Zur systematischen Strukturierung der PPS-Prozesse dient in der deutschsprachigen Forschung insbesondere das am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen entwickelte Aachener PPS-Modell (vgl. Schuh, Brosze & Brandenburg, 2012, S. 5ff.). In seiner aktuellen Fassung beschreibt es die PPS nicht mehr als lineare Abfolge einzelner Funktionen, sondern als integratives System mit Netzwerk-, Kern- und Querschnittsaufgaben sowie einer übergreifenden Datenverwaltung (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 73).

Im Zentrum des Modells stehen die Kernaufgaben, die unmittelbar auf die operative Umsetzung der Produktionsstrategie abzielen. Für die Zielsetzung dieser Arbeit sind dabei insbesondere die PPP und die PBP von Bedeutung, da sie die operative Fertigungsumsetzung strukturieren (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 76).

Gerade in Engpasssituationen stellen diese Planungsaufgaben zentrale Einflussgrößen für die Steuerbarkeit der Produktion dar und wirken auf die Zuteilung restriktiver Bauteile (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 117; Schuh, Schürmeyer & Hering, 2012, 247). **Abbildung 2-2** zeigt die Einbettung dieser beiden Planungsaufgaben im Gesamtsystem des Aachener PPS-Modells.

Andere Planungs- und Steuerungsfunktionen des Aachener PPS-Modells, wie die Auftragsfreigabe oder die Feinsteuerung, werden im Rahmen dieser Arbeit nicht vertieft betrachtet, da sie für die Untersuchung der Zuteilungssystematik im Engpassfall von nachrangiger Relevanz sind. Die nachfolgenden Abschnitte gehen daher detailliert auf Zielsetzung, Aufgabeninhalte und Schnittstellen der PPP (Abschnitt 2.2.1) und PBP (Abschnitt 2.2.2) ein und schaffen so die notwendige Grundlage für die spätere Konkretisierung des Forschungsgegenstands.

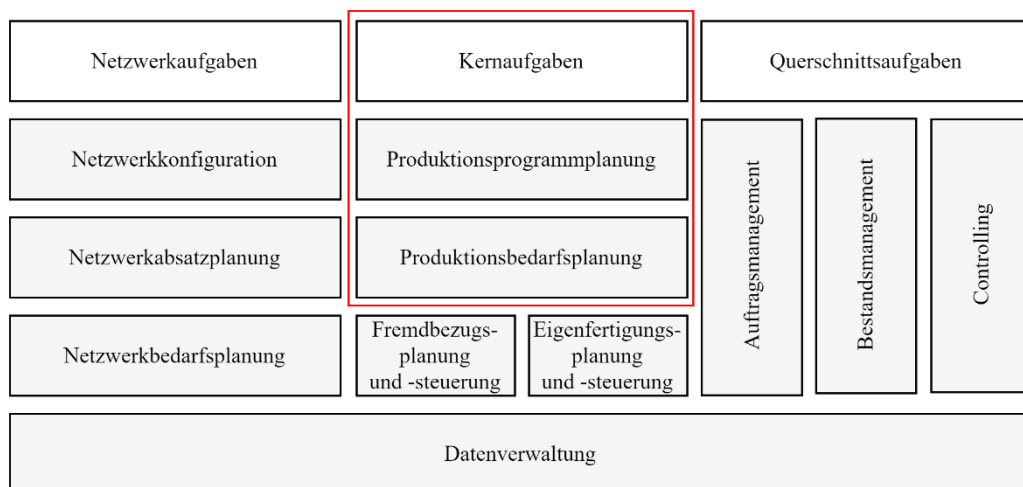


Abbildung 2-2: Übersicht Aachener PPS-Modell mit Fokus auf PPP und PBP (i. A. a. Schuh, Brosze & Brandenburg, 2012, S. 21)

2.2.1 Produktionsprogrammplanung

Die PPP stellt eine Kernaufgabe der PPS dar. Ihr Ziel ist es, einen wirtschaftlichen, kapazitäts- und marktgerechten Produktionsablauf sicherzustellen (vgl. Stäblein, 2008, S. 33). Insbesondere bei Automobilherstellern mit kundenindividueller Fertigung und hoher Variantenvielfalt erfordert dieser Prozess einen hohen Planungsaufwand. Dies resultiert insbesondere aus der Vielzahl möglicher Konfigurationen, die einen engen Abgleich mit verfügbaren Kapazitäten erfordern.

Zur Strukturierung der PPP existieren in der Literatur unterschiedliche Modelle. Die vorliegende Arbeit orientiert sich am Aachener PPS-Modell, das die Planungsaufgaben systematisch in strategische, taktische und operative Ebenen gliedert (vgl. Schuh, Brosze & Brandenburg, 2012, S. 11ff.). Das Modell bietet eine etablierte Referenzstruktur und ermöglicht eine konsistente begriffliche Einordnung der in dieser Arbeit betrachteten Teilprozesse. Aufgrund der breiten Anwendung in industrieller Praxis und Forschung eignet es sich besonders zur Analyse der Planungsprozesse im Kontext von Engpasssituationen in der Automobilproduktion. Da die konkrete Ausgestaltung der PPP variieren kann, wird die folgende Darstellung als konzeptioneller Bezugsrahmen herangezogen, um die für diese Arbeit relevanten Prozesse einzuordnen.

Das Aachener PP-Modell gliedert die PPP in aufeinanderfolgende Teilschritte (vgl. **Abbildung 2-3**). Den Ausgangspunkt bildet die Absatzplanung, in der zukünftige Bedarfe mithilfe mathematisch-statistischer Prognoseverfahren ermittelt werden. Die Wahl des Verfahrens hängt dabei von den Absatzmustern ab. Gängige Verfahren sind bspw. die gleitende Mittelwertbildung, exponentielle Glättungsverfahren erster und zweiter Ordnung sowie lineare Regressionsanalysen (vgl. Kück, 2024, S. 2). Die so ermittelten Bruttoprimarybedarfe werden im Rahmen der Primärbedarfsplanung durch den Abgleich mit Lagerbeständen in Nettoprimärbedarfe überführt, die als Grundlage für die Generierung des Produktionsprogrammvorschlags dienen. Zur Sicherstellung der Realisierbarkeit des PP wird anschließend eine Ressourcengroßplanung durchgeführt, in der die geplanten Produktionsmengen mit den verfügbaren Kapazitäten wie Personal, Betriebsmitteln und Materialien abgeglichen werden. Sollten die verfügbaren Ressourcen nicht ausreichen, kann das PP bspw. durch den Einsatz zusätzlicher Schichten oder durch eine zeitliche Verschiebung der Produktionsmengen angepasst werden. In besonders kritischen Fällen ist eine Rückkopplung an die Absatzplanung erforderlich, um die Konsistenz zwischen Bedarfsprognose und realisierbarem PP sicherzustellen (vgl. Lödding, 2016, S. 110).

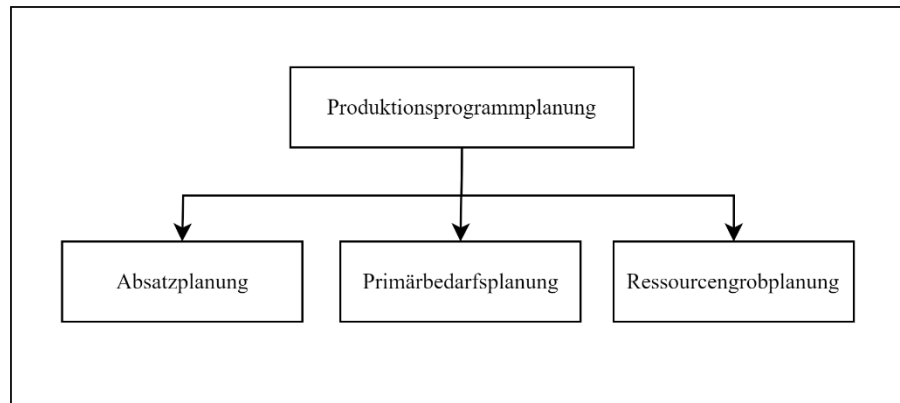


Abbildung 2-3: Aufgaben der Produktionsprogrammplanung (i. A. a. Schuh, Brandenburg & Cuber, 2012, S. 41)

Die Ausgestaltung der PPP ist in vielen Fällen vom jeweiligen Produktionstyp abhängig. In der reinen Einzelauftragsfertigung erfolgt die Planung in der Regel direkt auf Basis konkreter Kundenaufträge, während sie in der kundenanonymen Lagerfertigung vorrangig auf prognostizierten Absatzmengen beruht. Ein zentrales Abgrenzungskriterium stellt der KEP dar (vgl. Abschnitt 2.1). Oberhalb des KEP erfolgt eine erwartungsbezogene Vorfertigung für den Lagerbestand, unterhalb eine kundenspezifische Produktion auf Bestellung des Kunden (vgl. Schuh et al., 2014, S. 64). Damit beeinflusst die Lage des KEP unmittelbar, ob restriktive Bauteile auf Basis erwarteter Bedarfe oder konkreter Kundenaufträge zugeteilt werden.

In der Praxis sind reine Formen der auftrags- oder erwartungsbezogenen Fertigung selten anzutreffen. Häufig bestehen Mischformen, bei denen Komponenten auf Lager produziert und Enderzeugnisse kundenspezifisch gefertigt werden. Dies erfordert eine flexible Planungssystematik, die sowohl kundenanonyme Vorplanungen als auch die spätere Verrechnung konkreter Aufträge mit prognostizierten Bedarfen erlaubt (vgl. D. Arnold et al., 2008, S. 326; Thommen et al., 2023, S. 189). Als Ergebnis der PPP liegen ein verbindlicher Produktionsplan für die Primärbedarfe sowie ein Rahmenbeschaffungsplan für den Einkauf vor.

Zur systematischen Einordnung der PPP wird in der Literatur häufig zwischen strategischen, taktischen und operativen Planungsebenen unterschieden (vgl. Klug, 2018, S. 417ff.; Lambert, 2008, S. 237). Diese Ebenen differenzieren sich nach Planungshorizont, Detaillierungsgrad und Relevanz für die Unternehmenssteuerung. Der Planungshorizont sowie der Detaillierungsgrad variieren dabei in Abhängigkeit von branchenspezifischen Rahmenbedingungen, der Variantenvielfalt und der Planungsphilosophie des Unternehmens. Das Aachener PPS-Modell greift diese Gliederung auf und verortet die Planungsaufgaben entsprechend, um die Komplexität betrieblicher Planungsvorgänge zu reduzieren (vgl. Schuh, Schmidt & Helmig, 2012, S. 111).

Die strategische PPP betrifft langfristige Fragestellungen zur Struktur und Ausrichtung des Produktprogramms, etwa im Hinblick auf Diversifikations- oder Standardisierungsentscheidungen. Ziel ist die Schaffung von Rahmenbedingungen, die eine effiziente und zugleich marktgerechte Umsetzung zukünftiger PP ermöglichen. Bspw. werden auf Basis von Markt- und Absatzprognosen in dieser Planungsstufe Fahrzeugarten, Produktionsvolumina und Zeitpläne definiert (vgl.

Herold, 2005, S. 22f.; Klug, 2018, S. 417; Zernechel, 2007, S. 369). Das prognostizierte Verkaufsvolumen wird dabei auf Märkte, Länder und Fahrzeugwerke verteilt und dient damit als Grundlage für eine anforderungsgerechte Investitions- und Kapazitätsplanung (vgl. Dörmer, 2013, S. 32).

Die taktische Planungsebene adressiert die Ressourcen- und Kapazitätsallokation auf Programmebene und bildet damit die Verbindung zwischen strategischen Grundsatzentscheidungen und operativer Detailplanung. Zentrale Aufgaben sind die Abstimmung zwischen prognostizierten Absatzmengen und vorhandenen Kapazitäten, die Festlegung von Schichtmodellen sowie die Grobplanung des PP auf Produktgruppenebene. Grundlage bilden geplante und realisierte Auslieferungen, Auftragseingänge, Lagerbestände und aktuelle Marktinformationen. Auf dieser Basis wird ein PP entwickelt, das mit den verfügbaren Ressourcen konsistent ist und damit die Umsetzung marktorientierter Fahrzeugprogramme ermöglicht (vgl. Herold, 2005, S. 36; Holweg & Pil, 2004, S. 24f.; Klug, 2018, S. 420; Wagenitz, 2007, S. 15; Zernechel, 2007, S. 369f.).

Die operative Planungsebene umfasst detailgenaue Planungs- und Steuerungsaufgaben. Dazu zählen insbesondere die Reihenfolgeplanung, Maschinenbelegung, Fertigungssteuerung sowie die Reaktion auf Störungen und Nachfrageschwankungen. Ziel ist die bestmögliche Auslastung der Produktionskapazitäten und die termingerechte Einplanung der Kundenaufträge unter Berücksichtigung technischer und organisatorischer Restriktionen in den Werken (vgl. Klug, 2018, S. 420f.; Schwede, 2014, S. 23).

2.2.2 Produktionsbedarfsplanung

Die PBP schließt an die Programmplanung an und überführt die dort definierten Absatzmengen in konkrete Bedarfe für Materialien und Komponenten. Ihr Ziel besteht darin, Termin-, Mengen- und Qualitätsvorgaben unter Beachtung ökonomischer Rahmenbedingungen sicherzustellen (vgl. Schuh, Schmidt & Helmig, 2012, S. 148). Im Kontext restriktiver Bauteile besitzt dieser Schritt eine besondere Bedeutung, da potenzielle Engpässe auf dieser Ebene erstmals sichtbar werden. Die PBP umfasst hierzu verschiedene Teilaufgaben, die sequenziell oder parallel ausgeführt werden können (vgl. **Abbildung 2-4**).

Die erste zentrale Aufgabe der PBP ist die Bruttosekundärbedarfsermittlung. Im Rahmen dessen werden aus den Primärbedarfen mithilfe der Stücklisten die erforderlichen Mengen an Baugruppen, Teilen und Rohstoffen abgeleitet, ohne dass vorhandene Lagerbestände berücksichtigt werden (vgl. Lödding, 2016, S. 110f.). Für die Bedarfsermittlung stehen dabei unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Bei hinreichend stabiler Nachfrage werden häufig deterministische Methoden eingesetzt, die auf Stücklisten und hinterlegten Vorlaufzeiten basieren und den Bedarf präzise terminieren. Ist die Nachfrage unregelmäßig oder schwer prognostizierbar, kommen typischerweise stochastische Verfahren auf Grundlage historischer Verbrauchsdaten zum Einsatz. Liegen dagegen nur unzureichende Daten vor, wird der Bedarf heuristisch, also auf Basis von Erfahrungswerten oder Expertenschätzungen bestimmt (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 118; Schuh, Brandenburg & Cuber, 2012, S. 45f.).

Im Anschluss daran erfolgt die Nettosekundärbedarfsermittlung. Dabei wird der Bruttobedarf um vorhandene Lagerbestände, Reservierungen, offene Bestellungen sowie Sicherheits- und Meldebestände reduziert. Das Ergebnis stellt den effektiv zu beschaffenden Bedarf pro Periode dar, der

nicht durch Bestände oder bereits disponierte Aufträge gedeckt wird (vgl. Lödding, 2016, S. 111). Für die Bestimmung dieses Bedarfs werden insbesondere verbrauchsorientierte Verfahren wie das Bestellpunkt- und das Bestellrhythmusverfahren eingesetzt. Im Bestellpunktverfahren löst ein zuvor definierter Mindestbestand automatisch eine Bestellung aus, während im Bestellrhythmusverfahren Bestellungen unabhängig vom aktuellen Lagerbestand in festen Zeitabständen erfolgen (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 123f.).

Ein weiterer Schritt in der PBP ist die Beschaffungsartzuordnung, die festlegt, ob ein Bedarf durch Eigenfertigung oder Fremdbezug gedeckt wird. Diese Entscheidung wirkt sich auf die interne Kapazitätsauslastung sowie auf die Abhängigkeit von externen Zulieferern aus. Während in der Vorratsproduktion häufig eine grundsätzliche Bezugsstrategie vorgegeben ist, erfolgt die Entscheidung in der kundenauftragsbezogenen Einzelfertigung oder in hybriden Produktionsformen meist fallweise (vgl. Lödding, 2016, S. 113; Schuh et al., 2014, S. 155f.).

Die zeitliche Koordination der Fertigungsaufträge erfolgt durch die Durchlaufterminierung. In diesem Schritt werden die Arbeitsgänge eines Fertigungsauftrags technologisch und zeitlich aufeinander abgestimmt, woraus ein Netzplan entsteht, der die gegenseitigen Abhängigkeiten abbildet. Die Terminierung kann vorwärts (ausgehend vom frühestmöglichen Starttermin), rückwärts (vom spätesten Liefertermin ausgehend) oder als Mittelpunktterminierung durchgeführt werden, die beide Ansätze miteinander kombiniert (vgl. Fandel et al., 1999, S. 376). Ziel ist die Festlegung konsistenter Ecktermine für alle Arbeitsgänge innerhalb des Planungszeitraums. Dabei wird in dieser Phase idealtypisch von unbegrenzten Kapazitäten ausgegangen (vgl. Steinrücke, 2007, S. 8).

Da reale Produktionssysteme jedoch kapazitiv begrenzt sind, wird ergänzend zur Terminierung eine Kapazitätsbedarfsermittlung durchgeführt. Diese ermittelt auf Basis der terminierten Arbeitsgänge die benötigte Kapazitätsmenge je Planungsperiode, indem Stückzeiten mit den geplanten Mengen multipliziert werden. Als Kapazitäten gelten dabei Maschinen, Personal, Werkzeuge oder Transportmittel. Die Planung kann dabei auf Einzelkapazitäten oder auf aggregierten Kapazitätsgruppen bezogen werden (vgl. Schuh, Brandenburg & Cuber, 2012, S. 49).

Den abschließenden Schritt der PBP bildet die Kapazitätsabstimmung. Dabei wird der ermittelte Kapazitätsbedarf dem vorhandenen Angebot gegenübergestellt, um Überlastungen zu vermeiden und die termingerechte Produktion sicherstellen. Bei Abweichungen zwischen Bedarf und verfügbaren Kapazitäten bestehen zwei grundsätzliche Reaktionsmöglichkeiten: Entweder wird das Kapazitätsangebot durch Maßnahmen wie bspw. Überstunden oder Sonderschichten angepasst, oder der Bedarf wird verschoben, ausgelagert oder auf alternative Maschinen verlagert (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 191; Schuh, Brandenburg & Cuber, 2012, S. 49f.).

Insgesamt stellt die PBP ein mehrstufiges Planungsinstrument dar, das durch die Verbindung materialwirtschaftlicher und kapazitiver Gesichtspunkte zur Sicherstellung der Materialverfügbarkeit, zur Glättung der Auslastung und zur termingerechten Produktion beiträgt (vgl. Schmidt & Nyhuis, 2021, S. 139).

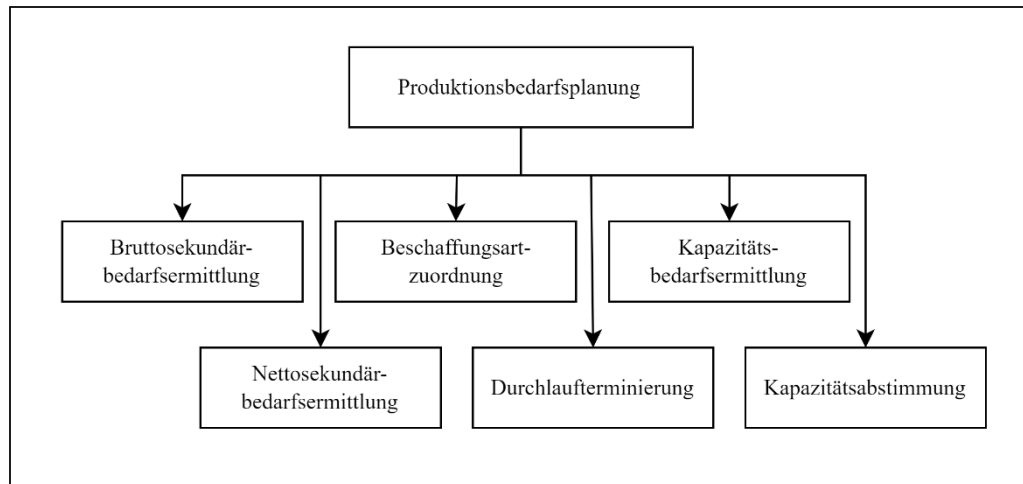


Abbildung 2-4: Aufgaben der Produktionsbedarfsplanung (i. A. a. Schuh, Brandenburg & Cu-ber, 2012, S. 44)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass PPP und PBP zentrale Aufgaben der PPS darstellen, die den Übergang von strategischen Absatzvorgaben zur operativen Fertigungssteuerung methodisch strukturieren. Sie stellen Transparenz über Produktprogramme, Bedarfe und Kapazitäten her und bilden damit die Grundlage für eine konsistente Produktionssteuerung. Im Kontext restriktiver Bauteile kommt diesen Planungsaufgaben eine besondere Bedeutung zu, da Engpässe auf dieser Ebene systematisch identifiziert und die Grundlage für Zuteilungsentscheidungen geschaffen wird. Damit markieren sie den Ausgangspunkt für die im weiteren Verlauf darzustellende Engpasssteuerung und die Entwicklung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik.

2.3 Engpasssteuerung

Während das Aachener PPS-Modell eine strukturierte Grundlage für die PPS in Unternehmen liefert, zeigt sich in der industriellen Praxis, dass insbesondere die Umsetzung in komplexen Produktionsnetzwerken wie der Automobilindustrie mit spezifischen Herausforderungen verbunden ist. Eine zentrale Rolle nimmt hierbei die Engpasssteuerung ein, da sie maßgeblich die Termin- und Mengengenauigkeit innerhalb der Fertigung beeinflusst und entscheidend zur Stabilität der gesamten Lieferkette beiträgt. Im Folgenden werden daher die Grundlagen der Engpasssteuerung im Kontext der Automobilindustrie (Abschnitt 2.3.1), die häufigsten Ursachen von Engpässen (Abschnitt 2.3.2) sowie erforderliche Maßnahmen zu deren Auflösung (Abschnitt 2.3.3) näher untersucht.

2.3.1 Grundlagen der Engpasssteuerung

Ein Engpass wird im Allgemeinen als jene Stelle im Produktionssystem verstanden, an der der Material- oder Auftragsfluss eingeschränkt ist und somit der Durchsatz des Gesamtsystems limitiert wird. Insbesondere in stark vernetzten Produktionsnetzwerken können Engpässe schwerwiegende Auswirkungen auf nachgelagerte Prozesse haben. Dies gilt in besonderem Maße für die Automobilindustrie, in der komplexe, stark getaktete Prozesse mit teilweise niedrigen Pufferbeständen aufeinander abgestimmt sind (vgl. Huchzermeier & Mönch, 2023, S. 705). Bereits ge-

ringfügige Störungen oder Kapazitätsengpässe können die Stabilität der gesamten Wertschöpfungskette beeinträchtigen. Die gezielte Steuerung solcher Engpasssituationen ist daher nicht nur von operativer Relevanz, sondern besitzt auch strategische Bedeutung für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit von Automobilherstellern und deren Zulieferern. Nach der Theory of Constraints wird der Engpass als zentrale Steuerungsgröße verstanden, an der sämtliche Planungs- und Steuerungsprozesse ausgerichtet werden (vgl. Goldratt, 1990, S. 6ff.). Der Gesamtdurchsatz des zu fertigenden Produkts lässt sich nur durch die gezielte Optimierung dieser Engpassressource erhöhen. Diese Sichtweise hat sich in der industriellen Praxis weitgehend etabliert, wenngleich sie in realen, hochdynamischen Produktionssystemen differenziert betrachtet werden muss.

In der wissenschaftlichen Literatur werden typischerweise drei Arten von Engpässen unterschieden: strukturelle, dispositionelle und situative Engpässe (vgl. J.-Q. Wang et al., 2016, S. 308). Strukturelle Engpässe bezeichnen dauerhaft bestehende Kapazitätsgrenzen innerhalb eines Produktionssystems, die durch die physische Auslegung und Ausstattung der Produktionsressourcen bestimmt sind. Sie ergeben sich typischerweise aus begrenzten technischen Kapazitäten. Dazu zählen bspw. eine fixe Anzahl an Maschinen, eingeschränkte Taktzeiten oder baulich-infrastrukturelle Rahmenbedingungen. Strukturelle Engpässe können daher als physisch-technisch bedingte Restriktionen verstanden werden, die dauerhaft die Kapazität einzelner Ressourcen begrenzen. Sie stellen dann einen Engpass im Sinne der Produktionssteuerung dar, wenn sie den Systemdurchsatz limitieren. Im Gegensatz dazu umfassen Restriktionen allgemein sämtliche nicht veränderbare Rahmenbedingungen, auch solche, die nicht zwingend zu Engpässen führen. Dispositionelle Engpässe entstehen infolge planerischer Entscheidungen, die nicht optimal auf die bestehenden Rahmenbedingungen abgestimmt sind. Typische Ursachen sind bspw. ungenaue Bedarfprognosen oder eine ineffiziente Reihenfolgebildung. Sie sind im Gegensatz zu strukturellen Engpässen grundsätzlich durch Anpassung der Planungsparameter beeinflussbar. Situative Engpässe hingegen treten kurzfristig und meist unvorhersehbar auf. Sie entstehen typischerweise durch ungeplante Maschinenstillstände, Störungen im Materialfluss oder krankheitsbedingte Personalausfälle. Im Gegensatz zu strukturellen und dispositionellen Engpässen sind sie ereignisgetrieben und erfordern eine flexible, reaktive Steuerung im laufenden Betrieb.

In der industriellen Praxis treten diese Engpassarten häufig überlappend auf. Die Fähigkeit, sie frühzeitig zu identifizieren, voneinander abzugrenzen und differenziert zu behandeln, stellt eine wesentliche Voraussetzung für eine effektive Produktionssteuerung dar. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der operativen Bewältigung von Engpasssituationen in der Produktionssteuerung. Dabei werden sowohl dispositionelle als auch situative Engpässe berücksichtigt. Dispositionelle Engpässe sind häufig eine Folge von fehlerhaften oder unzureichenden Planungsentscheidungen und gelten somit prinzipiell als vermeidbar. Gleichwohl treten solche Engpässe in der Praxis immer wieder auf und besitzen eine unmittelbare Relevanz für die operative Steuerung. Sie können den reibungslosen Ablauf von Produktions- oder Geschäftsprozessen beeinträchtigen und erfordern daher besondere Aufmerksamkeit. Situative Engpässe hingegen entstehen infolge unvorhergesehener Störungen im Produktionsprozess und zeichnen sich durch ihre kurzfristige Entstehungsweise aus, was ihre Bewältigung in der operativen Steuerung besonders komplex gestaltet. Beide Engpassarten stellen hohe Anforderungen an die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit der Produktionssteuerung und bedingen häufig ressourcenbezogene Zuteilungsentscheidungen.

Vor diesem Hintergrund bilden beide Engpassarten die Grundlage für die in dieser Arbeit zu entwickelnde Zuteilungssystematik.

Die Automobilindustrie weist eine Reihe branchenspezifischer Charakteristika auf, die das Auftreten und die Steuerung von Engpässen besonders herausfordernd gestalten. In weiten Teilen der Automobilindustrie kommt eine getaktete Linienfertigung mit geringen Zwischenpufferzeiten zum Einsatz, wodurch die Anfälligkeit des Gesamtsystems gegenüber Störungen deutlich zunimmt (vgl. Fritzsche, 2009, S. 24). Diese Struktur führt dazu, dass bereits ein Engpass in einem einzelnen Fertigungsschritt die Produktion ganzer Produktionslinien zum Stillstand bringen kann (vgl. Mollemeier, 1997, S. 25). Die weit verbreitete Just-in-Sequence-Belieferung, bei der Bauteile exakt in der vorgesehenen Einbaureihenfolge an den Verbauort geliefert werden müssen, steigert zusätzlich die operative Komplexität (vgl. Dörmer, 2013, S. 26). Die zunehmende Variantenvielfalt, etwa durch Individualisierung von Fahrzeugausstattungen, erschwert darüber hinaus eine stabile Produktionsplanung und führt zu dynamischen Auslastungsschwankungen an Engpassressourcen (vgl. Teich & Oestreich, 2006, S. 399f.).

Zur Vermeidung von Produktionsunterbrechungen infolge fehlender Vormaterialien kann der gezielte Einsatz von Materialpuffern ein wirksames Mittel darstellen. Solche Puffer erhöhen die kurzfristige Versorgungssicherheit und ermöglichen eine gewisse Entkopplung von vorgelagerten Prozessstörungen (vgl. Fritzsche, 2009, S. 31). Die Ausgestaltung der Puffergröße erfordert dabei jedoch eine differenzierte Abwägung, da überdimensionierte Bestände mit verlängerten Durchlaufzeiten und erhöhtem Kapitalbedarf einhergehen können (vgl. D. Arnold et al., 2008, S. 11).

Treten trotz vorhandener Puffer kritische Überlastungen oder drohende Terminverfehlungen auf, können kurzfristige Steuerungsmaßnahmen eingeleitet werden. Dazu zählen u. a. die temporäre Einführung zusätzlicher Schichten, die flexible Umverteilung von Personalressourcen oder der Rückgriff auf externe Fertigungskapazitäten (vgl. Schuh et al., 2014, S. 342). Die Umsetzung solcher Maßnahmen sollte dabei stets in enger Rückkopplung mit der operativen Planung erfolgen, um mögliche Auswirkungen auf angrenzende Prozesse zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich daher mit den Ursachen solcher Engpasssituationen sowie den daraus abgeleiteten Handlungsoptionen zur operativen Bewältigung.

2.3.2 Engpassursachen

Zur systematischen Erfassung potenzieller Ursachen von Versorgungsengpässen wurde eine strukturierte Auswertung relevanter Fachliteratur durchgeführt. Die identifizierten Ursachen wurden dabei den in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Engpassarten zugeordnet. Grundlage der Kategorisierung ist die Frage, welche Art von Engpass durch die jeweilige Ursache ausgelöst wird.

Im Fokus dieser Arbeit stehen vorrangig Ursache, die dispositionelle oder situative Engpässe hervorrufen können (vgl. Abschnitt 2.3.2). Während dispositionelle Engpässe aus suboptimalen Planungsentscheidungen hervorgehen und somit prinzipiell steuerbar sind, beruhen situative Engpässe auf unvorhersehbaren Störungen im Produktions- oder Lieferprozess (vgl. J.-Q. Wang et al., 2016, S. 308). Beide Arten können im Bedarfsfall kurzfristige operative Eingriffe zur Zuteilung restriktiver Bauteile erfordern. Strukturelle Engpässe hingegen beruhen auf bestehenden Rahmenbedingungen und gelten im Sinne dieser Arbeit als unveränderbare Restriktionen. Sie werden daher im weiteren Verlauf nicht vertiefend analysiert.

Ziel der folgenden Einordnung ist es, ein differenziertes Verständnis der Engpassursachen und ihrer Wirkung auf die Stabilität und Resilienz der automobilen Produktionsnetzwerke zu schaffen. Dieses Verständnis bildet die Grundlage für die im weiteren Verlauf abgeleiteten Steuerungsansätze im Umgang mit Engpässen. Eine Übersicht der ermittelten Ursachen ist **Tabelle 2-2** zu entnehmen.

Zu den dispositionellen Engpässen zählen etwa fehlerhafte Bedarfsprognosen, unzureichende Einkaufsstrategien oder inkonsistente Stücklisten, die zu falschen Bestellungen und damit zu Bestandsabweichungen führen können. Auch unvollständige oder veraltete Kapazitätsangaben seitens der Lieferanten, die nicht rechtzeitig angepasst werden, sind typische Beispiele dispositionell bedingter Engpassursachen. Solche Ursachen sind in der Regel durch verbesserte Planungsprozesse und systematische Kommunikation vermeidbar, wirken sich im Eintrittsfall jedoch unmittelbar auf die Verfügbarkeit kritischer Ressourcen aus.

Situative Engpässe hingegen beruhen auf unvorhergesehenen Störungen im laufenden Betrieb. Dazu gehören sowohl störungsbedingte Unterbrechungen auf Seiten der Lieferanten, etwa durch Maschinenstillstände, Werkzeugbrüche oder Qualitätsprobleme, als auch externe Risikofaktoren wie politische Instabilitäten, Naturkatastrophen oder infrastrukturelle Ausfälle im Transportnetzwerk. Auch kommunikative Brüche innerhalb des Produktionsnetzwerks, wie unzureichend abgestimmte Avisierungsprozesse oder nicht bestätigte Abholungen, können kurzfristig zu Engpässen führen.

Darüber hinaus zeigt sich, dass viele Engpassursachen nicht eindeutig einer einzelnen Kategorie zugeordnet werden können, sondern häufig mehrdimensionale Merkmale aufweisen. Je nach situativer Ausprägung, Planungsqualität oder organisatorischem Reifegrad können sie sowohl dispositionelle als auch situative Engpässe nach sich ziehen. Die in Tabelle 2-2 vorgenommene Kategorisierung stellt daher eine primäre Zuordnung dar, die im konkreten Anwendungskontext zu differenzieren ist. So kann bspw. eine verspätete Rohstofflieferung sowohl auf einen dispositiven Planungsfehler als auch auf eine externe, situative Störung zurückzuführen sein. Auch menschliche Einflussgrößen wie krankheitsbedingte Ausfälle oder Bedienfehler lassen sich je nach Kontext sowohl dispositiv als auch situativ einordnen, insbesondere dann, wenn unklar ist, inwieweit diese Ereignisse im Vorfeld antizipiert und eingeplant wurden.

Zudem können Versorgungsengpässe oft das Ergebnis von komplexen Wechselwirkungen zwischen mehreren Einflussfaktoren sein, die entweder zeitlich parallel oder sequenziell auftreten. Ein typisches Beispiel stellt eine ablaufbedingte Nutzungsunterbrechung beim Zulieferer dar, die sowohl durch Rohstoffknappheit als auch durch starke Preisschwankungen verursacht werden kann. Kommt es infolgedessen zu verspäteten Materiallieferungen, kann dies die Produktionskapazität unmittelbar einschränken. Gleichzeitig können stark schwankende Beschaffungskosten den wirtschaftlichen Handlungsspielraum des Unternehmens erheblich beeinflussen, sodass in Einzelfällen sogar eine Reduktion der Produktionsleistung notwendig wird (vgl. Richter & Hartig, 2007, S. 252).

Die Komplexität dieser kombinierten Ursachen erschwert eine präzise Prognose. Unternehmen sind daher gefordert, ihre Produktionsnetzwerke resilient gegenüber einer Vielzahl potenzieller

Störungen auszurichten. Hierzu zählt insbesondere die Fähigkeit, flexibel auf volatile Rahmenbedingungen reagieren zu können (vgl. Moder, 2008, S. 211f.; Przypadlo, 2007, S. 232; Tietze, 2021, S. 20).

Tabelle 2-2: Risikokategorien in der Literatur

Engpassursache	Primäre Engpassart	Quelle
Fehlende Flexibilität in der SC: Bedarfsänderungen (z. B. „Automatik vs. manuelle Schaltung“)	Dispositionell	Moder, 2008, S. 210f.
Fehlende Einhaltung von ethischen und gesetzlichen Standards in der SC	Dispositionell	Moder, 2008, S. 210f.
Fehlende Einkaufsstrategie bei der Lieferantenauswahl: „junger“ Standort/Werk mit neuen Lieferanten (erst kürzlich gesourct) führt häufig zu Anlaufschwierigkeiten	*Dispositionell	Moder, 2008, S. 210f.
Ablaufbedingte Nutzungsunterbrechungen beim Lieferanten: keine oder verspätete Rohstofflieferungen	*Dispositionell	Müller, 2013, S. 51
Kommunikation im Supply Network: Lieferant avisiert/bestätigt die Abholung nicht; Abstimmung zwischen Spediteur und OEM erfolgt aktuell per E-Mail/Telefon	*Dispositionell	Tietze, 2021, S. 121
Planungs- und Prozessfehler: Überbestellung, Stücklistenfehler, Systemfehler mit Auswirkung auf Abrufe, Falschbestellungen; Buchungsfehler führen zu Bestandsdifferenzen; falsche Einträge der Lieferkapazitäten ohne Widerspruch durch den Lieferanten	*Dispositionell	Tietze, 2021, S. 121
Fehlende Liquidität in der SC: Insolvenzen	Situativ	Moder, 2008, S. 210f.
Politische Risiken: politische Entscheidungen (z. B. Abwrackprämie), Embargos	Situativ	Moder, 2008, S. 210f.
Risiken in der Infrastruktur: Fehler im Setzspeditionsprozess, Transportprobleme (Unfälle, Stau), Transportverluste (Schiffe, Schiene), lange Zeitleiste für Inbound Verkehr	Situativ	Moder, 2008, S. 210f.
Sonstige Risiken wie Krieg, Terrorismus oder Produkthaftung: höhere Gewalt, Brände, Naturkatastrophen	Situativ	Moder (2008, S. 210)f.
Störungsbedingte Nutzungsunterbrechungen beim Lieferanten: Werkzeugbruch, Kapazitätsprobleme (Maschinen), Produktionsstörungen	Situativ	Müller, 2013, S. 51
Erholungsbedingte Nutzungsunterbrechungen beim Lieferanten: Kapazitätsprobleme (Mensch)	*Situativ	Müller, 2013, S. 51
Personalbedingte Nutzungsunterbrechungen beim Lieferanten: Kapazitätsprobleme (Mensch), Arbeitsfehler	*Situativ	Müller, 2013, S. 51
Qualität: Falschlieferrung, Beschädigung, Qualitätsprobleme, Minderlieferung, Beschädigung von Waren durch interne Prozesse, Feststellen von Lieferantenfehlern frühestens bei Kommissionierung oder Verbau	*Situativ	Tietze, 2021, S. 121

Hinweis: Ursachen, die je nach Ausprägung sowohl dispositionelle als auch situative Engpässe hervorrufen können, sind mit einem * markiert.

2.3.3 Engpassmaßnahmen

Nach der systematischen Analyse potenzieller Ursachen für Versorgungsengpässe stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen diesen Engpässen im laufenden Produktionsprozess wirksam

begegnet werden kann. Ziel der Engpassbewältigung ist es, die Auswirkungen auf die Produktionsfähigkeit zu minimieren und eine schnelle Reaktionsfähigkeit herzustellen. Die Wahl geeigneter Maßnahmen zur Engpassbewältigung ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig. Ausschlaggebend sind insbesondere die Art des Engpasses sowie der Zeitpunkt seines Auftretens im Planungs- und Steuerungsprozess. Darüber hinaus spielen auch die gewählte Belieferungsstrategie, der verfügbare zeitliche Vorlauf sowie das potenzielle Ausmaß der Störung eine entscheidende Rolle bei der Auswahl und Wirksamkeit der eingesetzten Maßnahmen (vgl. Opriel, 2021, S. 35; Toth, 2008, S. 106; Wagenitz, 2007, S. 47).

Im Allgemeinen lassen sich Engpassmaßnahmen in präventive und reaktive Ansätze unterteilen (vgl. Schreckenberget al., 2021, S. 10; Thun et al., 2009, S. 170; Toth, 2008, S. 84). Präventive Maßnahmen adressieren strukturelle Schwächen in der Planung oder im Liefernetzwerk und umfassen bspw. die Diversifikation von Bezugsquellen, die Etablierung robuster Prognoseverfahren oder die Einführung digital unterstützter Frühwarnsysteme zur Engpassdetektion (vgl. Toth, 2008, S. 84). Reaktive Maßnahmen hingegen zielen auf die kurzfristige Überbrückung bereits eingetretener Engpässe ab, etwa durch die Umpriorisierung von Bedarfen, den Einsatz alternativer Lieferquellen oder Sondertransporte (vgl. Thun et al., 2009, S. 176ff.). Da sich diese Arbeit auf dispositionelle und situative Engpässe konzentriert, liegt der Fokus auf reaktive Maßnahmen nach dem Eintritt eines Engpasses.

In der Literatur lassen sich reaktive Engpassmaßnahmen systematisch in drei Kategorien einteilen: kapazitätsbezogene, bedarfsbezogene und technische Maßnahmen (vgl. Opriel, 2021, S. 31). Kapazitätsbezogene Maßnahmen verfolgen das Ziel, das Angebot kritischer Ressourcen kurzfristig zu erhöhen oder effektiver einzusetzen. Typische Ansätze sind bspw. die Einbindung alternativer Lieferanten, die temporäre Erweiterung von Schichten oder Überstunden, Sondertransporte zur Beschleunigung der Lieferkette oder die interne Verlagerung von Produktionsvolumina auf nicht ausgelastete Kapazitäten (vgl. D. Arnold et al., 2008, S. 475; Opriel, 2021, S. 36; Zernechel, 2007, S. 374).

Bedarfsbezogene Maßnahmen zielen auf die Reduktion oder Umsteuerung des Ressourcenbedarfs ab. Zu den zentralen Ansätzen zählen dabei die Priorisierung von Fertigungsaufträgen anhand definierter Kriterien wie Liefertermin, Fahrzeugwert oder Kundenauftrag, die zeitliche Verschiebung von Aufträgen mit niedrigerer Dringlichkeit sowie der bewusste Entfall nicht zwingend notwendiger Varianten oder Ausstattungsoptionen (vgl. Opriel, 2021, S. 36f.; Tietze, 2021, S. 121). Eine potenzielle Maßnahme stellt dabei die Festlegung von Einplanungsobergrenzen dar. Diese dienen der gezielten Steuerung sowie Priorisierung der Ressourcenausbringung und -verteilung. In der Automobilproduktion fungieren sie als definierte Grenzwerte für die Menge verfügbarer Ressourcen, die auf Grundlage von Prioritäten und Dringlichkeiten festgelegt werden. Das Ziel der Festlegung solcher Obergrenzen besteht darin, sicherzustellen, dass bestimmte Aufträge oder Produktionslinien prioritär behandelt werden. Im Falle eines unvorhergesehenen Engpasses kommen sie bspw. zum Einsatz, um die Produktion von Fahrzeugen mit höherer Marktnachfrage oder einem größeren wirtschaftlichen Beitrag bevorzugt zu bedienen. Somit können begrenzt verfügbare Komponenten gezielt den Fahrzeugmodellen zugeordnet werden, die aufgrund aktueller Marktbedingungen oder spezifischer Kundenanfragen eine besondere Relevanz besitzen (vgl. Opriel, 2021, S. 32; Wilke, 2012, S. 109). Als ergänzende Maßnahme kann die

Umverteilung von Beständen zwischen verschiedenen Fertigungsstandorten dazu beitragen, lokale Engpässe durch den Zugriff auf Ressourcen anderer Werke abzumildern. Voraussetzung dafür ist eine flexibel ausgelegte und präzise abgestimmte Logistikplanung, die sowohl die kurzfristige Verfügbarkeit der betroffenen Materialien als auch die effiziente Steuerung der damit verbundenen Transportprozesse sicherstellt.

Technische Maßnahmen beinhalten operative Eingriffe in Abläufe und Systeme, um die Auswirkung eines Engpasses zu kompensieren. Beispiele hierfür sind kurzfristige Umrüstungen zur Nutzung alternativer Teile, provisorische Stücklistenänderungen oder sogenannte Risikofreigaben (vgl. Mauler, 2013, S. 55). Eine Risikofreigabe kann bspw. dann erfolgen, wenn ein temporärer Produktionsstopp droht, jedoch die Möglichkeit besteht, betroffene Fahrzeuge zunächst ohne die fehlenden Komponenten vorzufertigen und diese zu einem späteren Zeitpunkt nachzurüsten, sobald die entsprechenden Teile verfügbar sind (vgl. Schwede, 2014, S. 61; Tietze, 2021, S. 124). Voraussetzung für die Erteilung einer Sonderfreigabe ist jedoch, dass die fehlenden Bauteile nicht sicherheitsrelevant sind und ihr nachträglicher Einbau ohne erheblichen technischen oder logistischen Aufwand möglich ist.

In der industriellen Praxis werden Maßnahmen selten isoliert eingesetzt. Vielmehr zeigt sich, dass insbesondere bei komplexen Engpasssituationen eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen erforderlich ist, um einen unterbrechungsfreien Produktionsablauf zu gewährleisten, Lieferverzögerungen zu vermeiden und die verfügbaren Ressourcen effizient zu nutzen (vgl. Thun et al., 2009, S. 181). Eine strukturierte Übersicht reaktiver Maßnahmen zur Engpassbewältigung ist in **Tabelle 2-3** dargestellt. Die dort aufgeführten Beispiele basieren auf der Auswertung einschlägiger Literaturquellen

Tabelle 2-3: Maßnahmen zur Engpassbewältigung

Maßnahme	Typ	Beschreibung	Quelle
Personalkapazität ausreizen	KM	Schichtverlängerung, Zusatzschichten, Überstunden, Samstags- oder Wochenendarbeit	D. Arnold et al., 2008, S. 475; Zernechel, 2007, S. 374 Klug, 2018, S. 431; Lotz, 2014, S. 54 Toth, 2008, S. 203
Zusätzliches Personal	KM	Ausgleich von Lastspitzen durch Einbezug von Leiharbeitern oder Einstellung von Personal	D. Arnold et al., 2008, S. 475; Tietze, 2021, S. 124; Toth, 2008, S. 203
Kapazitätserweiterung	KM	Durch zusätzliches Werkzeug bzw. neue Betriebsmittel oder Linien/Anlagen können zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden	D. Arnold et al., 2008, S. 475; Toth, 2008, S. 203; Zernechel, 2007, S. 374
Ersatzlieferung	KM	Bei verunglückten Transporten oder Verzögerungen im Ablauf z. B. durch Streiks	Moder, 2008, S. 210f.
Sendungssplitting	KM	Durch die Aufteilung von Sendungen auf mehrere Transporte können benötigte Teile schneller zur Verfügung gestellt werden	Reinbold et al., 2016, S. 81
Lieferbeschleunigung	KM	Etwa durch Kleinlasten, die nicht dem Sonntagsfahrverbot unterliegen, Luftfrachten oder Helikopterlieferungen bei Kleinstmengen für Montagelinien bzw. Ersatzteilen	Reinbold et al., 2016, S. 81
Unterstützung	KM	Sicherstellung der Produktionsfähigkeit oder Ausbau von Kapazitäten bei Lieferanten durch finanzielle oder Know-how-Unterstützung	Tietze et al., 2020, S. 421
Alternative Spedition	BM	Beauftragung einer alternativen Spedition, wenn der Standard-Logistikdienstleister die benötigte Transportkapazität nicht zur Verfügung stellen kann.	Tietze, 2021, S. 124
Alternative Bestände	BM	Abgleich der Werksbestände ggf. markenübergreifend, um (Sicherheits-)Bestände umzuverteilen	Tietze et al., 2020, S. 421
Alternative Produktionsstätten	BM	Sollte ein lokales Werk von einem Problem betroffen sein, können andere Werke Kapazitäten einlasten und somit bei der Produktion unterstützen	Tietze, 2021, S. 124
Alternativer Lieferant	BM	Arbeitsfolgen können von (anderen) Lieferanten durchgeführt werden	Toth, 2008, S. 204; Zernechel, 2007, S. 374
Bedarfsanpassung	BM	Anpassung des Produktionsprogramms beim OEM durch Vorziehen oder Verschieben von Aufträgen	Toth, 2008, S. 203
Marktbeeinflussung	BM	Durch Marketing oder Werbung können Käufer zum Kauf anderer Modelle oder Ausstattungsvarianten bewegt werden	Toth, 2008, S. 204
Höherwertige Komponenten	TM	Sollten Vormaterialengpässe einzelne Komponentenvarianten betreffen, können höherwertige Alternativen verbaut werden	Zernechel, 2007, S. 374
Umbau von Komponenten	TM	Umbau einer vorhandenen Komponente in eine andere Variante der gleichen Komponentengruppe	Lotz, 2014, S. 54
Beschleunigung der Produktion	TM	Bspw. kann durch Reduktion der Taktdauer der Produktionslinie der Durchfluss erhöht werden	Klug, 2018, S. 431

*KM = Kapazitätsmaßnahme; BM = Bedarfsmaßnahme; TM = Technische Maßnahme

2.4 Zuteilung von restriktiven Bauteilen

In Engpasssituationen, in denen restriktive Bauteile nicht in ausreichender Menge verfügbar sind, kommt der gezielten Zuteilung dieser Teile eine zentrale Bedeutung zu. Die Entscheidung, welche Fertigungsaufträge oder Endprodukte bevorzugt werden, beeinflusst unmittelbar die Lieferfähigkeit, Produktionsauslastung und Kundenzufriedenheit eines Unternehmens. Vor diesem Hintergrund stellt die Zuteilung knapper Ressourcen ein relevantes Entscheidungsfeld innerhalb der Produktionssteuerung dar, bei dem sowohl operative Effizienz als auch strategische Unternehmensziele gleichermaßen Berücksichtigung finden sollten.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt, führen insbesondere dispositionelle und situative Engpässe zu einer Verknappung kritischer Produktionsressourcen. Die daraus resultierende eingeschränkte Verfügbarkeit dieser Ressourcen erschwert eine effiziente und zielgerichtete Produktionssteuerung. Im Falle solcher Versorgungsengpässe ist eine systematische Zuteilung restriktiver Bauteile erforderlich, um sowohl den Produktionsdurchsatz als auch die Stabilität des Liefernetzwerks möglichst aufrechtzuerhalten.

Die Zuteilung stellt den operativen Endpunkt der Engpasssteuerung dar. Sie überführt die zuvor analysierten Ursachen und Maßnahmen in konkrete Handlungsentscheidungen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Engpässe in modernen Produktionssystemen, insbesondere in der stark vernetzten Automobilindustrie, häufig mehrere Werke, Produktvarianten oder Fertigungslinien gleichzeitig betreffen. Die Entscheidung darüber, welches Produkt, Werk oder welcher Kundenauftrag priorisiert wird, stellt folglich nicht nur eine technische, sondern auch eine wirtschaftlich-strategische Abwägung dar.

Die Wahl geeigneter Zuteilungsstrategien hängt dabei von einer Vielzahl an Faktoren ab. Zu den zentralen Einflussgrößen zählen u. a. die Ursache und die erwartete Dauer des Engpasses, der Zeitpunkt seines Auftretens im Produktionsplanungsprozess sowie die Flexibilität der Fertigung in Bezug auf Umrüstungen oder Alternativverwendungen. Hinzu kommen strategische Aspekte wie die Belieferungsstrategie des OEM und übergeordnete Unternehmensziele wie die Stärkung der Kundenbindung, die Maximierung des Deckungsbeitrags oder die Sicherung von Marktanteilen (vgl. Amico et al., 2024, S. 1).

2.4.1 Überblick über Zuteilungsstrategien

In der Literatur finden sich verschiedene Strategien, die je nach Zielsetzung, Informationslage und Engpasscharakteristik eingesetzt werden können. Diese reichen von zeitbasierten Verfahren wie FIFO (First In, First Out) über wirtschaftlich orientierte Ansätze wie die Deckungsbeitragsmaximierung bis hin zu strategisch oder kundenwertgetriebenen Allokationslogiken (vgl. Hegmanns, 2010, S. 170; Toth, 2008, S. 126ff.). Auch produktionsbezogene Kriterien, wie etwa der Fertigstellungsgrad eines Produkts, sowie gleichheitsorientierte Ansätze kommen zum Einsatz, insbesondere in Situationen, in denen keine eindeutigen Priorisierungen oder Bewertungsgrundlagen vorliegen (vgl. Dangelmaier et al., 2013, S. 461ff.).

Tabelle 2-4 gibt einen Überblick über typische Entscheidungsstrategien zur Verteilung restriktiver Bauteile im Engpassfall. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich die in der Fachliteratur beschriebenen Zuteilungsstrategien hinsichtlich Terminologie, Abgrenzungskriterien

und Anwendungsbereiche teilweise unterscheiden. Ein einheitliches, allgemein anerkanntes Klassifikationsschema liegt dabei nicht vor. Die im Rahmen dieser Arbeit dargestellten Ansätze sind daher als exemplarische Auswahl zu verstehen, die gängige, in der Praxis beobachtbare Vorgehensweisen abbildet, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Tabelle 2-4: Zuteilungsstrategien bei restriktiven Bauteilen

Strategie	Beschreibung	Kriterium	Beispiel	Quelle
FIFO (First In, First Out)	Chronologische Zuteilung nach Auftragseingang	Zeitlich	Frühester Auftrag zuerst erfüllt	Dangelmaier et al., 2013, S. 465; Schönsleben, 2020, S. 578
Deckungsbeitragsorientierung	Bevorzugung der Produkte mit dem höchsten finanziellen Beitrag	Wirtschaftlich	Hochmargige Fahrzeuge zuerst produziert	Hegmanns, 2010, S. 170
Volumenorientierung	Fokus auf Stückzahlerfüllung und Produktionsauslastung	Mengenbezogen	Serienmodelle vor Nischenprodukten	Toth, 2008, S. 126
Kundenpriorisierung	Auftragsreihenfolge nach Kundenwert oder Vertragslage	Kundenwert / SLA	Premiumkunden oder Vertragskunden zuerst	Dangelmaier et al., 2013, S. 465; Schönsleben, 2020, S. 578; Toth, 2008, S. 126
Reifegradorientierung	Zuteilung bevorzugt an Produkte mit hohem Fertigstellungsgrad	Produktionsfortschritt	Fahrzeuge kurz vor Fertigstellung	Toth, 2008, S. 126
Markt- oder Regionenschwerpunkt	Allokation nach regionalen Absatzprioritäten	Strategisch / geopolitisch	Exportmärkte mit Liefergarantie zuerst	Tang, 2006, S. 467
Zufällige oder proportionale Verteilung	Gleichverteilung bei fehlender Bewertungsgrundlage	Gleichheitsprinzip	Gleichmäßige Aufteilung der Verknappung	Fleischmann et al., 2014, S. 237f.

Je nach strategischer Ausrichtung eines Unternehmens kann die Zuteilung restriktiver Bauteile auch auf der Kombination mehrerer Entscheidungskriterien basieren. In der Praxis werden dafür häufig Verfahren eingesetzt, bei denen verschiedene Einflussfaktoren, wie z. B. Deckungsbeitrag, Kundenpriorität oder Fertigstellungsgrad gewichtet und in eine gemeinsame Bewertungslogik überführt werden. Auf diese Weise lassen sich differenzierte Entscheidungen treffen, die sowohl wirtschaftliche als auch operative Ziele berücksichtigen. Die Auswahl einer Strategie sollte dabei jedoch stets im Einklang mit den übergeordneten Unternehmenszielen stehen und die jeweilige Situation, insbesondere die Dringlichkeit und Tragweite des Engpasses, angemessen berücksichtigen.

2.4.2 Herausforderungen bei der Zuteilung von kritischen Bauteilen

Die operative Umsetzung von Zuteilungsentscheidungen ist mit einer Reihe von Zielkonflikten verbunden. So kann etwa die priorisierte Bedienung margenträchtiger Produkte im Widerspruch zur gleichmäßigen Auslastung von Fertigungskapazitäten stehen. Ein weiterer Zielkonflikt ergibt sich aus dem Spannungsfeld zwischen der kurzfristigen Sicherstellung der Lieferfähigkeit und der langfristigen Pflege von Kundenbeziehungen. Die Entscheidung, verfügbare Teile sofort einzusetzen, um aktuelle Engpässe zu überbrücken, kann im Widerspruch dazu stehen, längerfristig wichtige Kunden bevorzugt zu beliefern. Eine solche kurzfristige Optimierung kann somit die

strategische Ausrichtung auf Kundenbindung oder Vertragszusagen beeinträchtigen. In der Praxis erfordert die operative Umsetzung von Zuteilungsentscheidungen daher transparente Entscheidungslogiken, eine fundierte Datenbasis sowie interdisziplinäre Abstimmungen zwischen allen beteiligten Akteuren entlang der Wertschöpfungskette (vgl. Hegmanns, 2010, S. 88; Pawlikowski et al., 2017, S. 156).

Zudem ist die Fähigkeit zur kurzfristigen Reaktion auf sich dynamisch verändernde Verfügbarkeiten essenziell. Hierbei kommen zunehmend digitale Technologien wie simulationsgestützte Planungen, Künstliche Intelligenz (KI) zur Entscheidungsunterstützung sowie Echtzeit-Tracking zum Einsatz, die eine flexible Zuteilung ermöglichen und die Resilienz gegenüber zukünftigen Störungen erhöhen sollen (vgl. Schuh et al., 2021, S. 222; Wagenitz et al., 2020, S. 234).

Dabei gibt es zahlreiche Herausforderungen bei der Zuteilung von restriktiven Bauteilen. Diese umfassen sowohl interne, externe als auch technologische Faktoren, die die Komplexität der Produktionsplanung erhöhen. Besonders bei Automobilherstellern, bei denen Produkte in vielen Varianten gefertigt werden, kann ein Engpass eines einzelnen Bauteils kaskadierende Effekte auf die Nachfrage anderer Komponenten haben. Eine reduzierte Produktion infolge fehlender Komponenten kann folglich auch die Bedarfe weiterer kritischer Materialien verändern, was die Planbarkeit zusätzlich erschwert.

Um unter diesen Bedingungen fundierte Zuteilungsentscheidungen treffen zu können, müssen Unternehmen in der Lage sein, die Auswirkungen eines Engpasses schnell und präzise zu bewerten. Dazu zählt u. a. bewerten zu können, wie stark der Bedarf die verfügbaren Kapazitäten übersteigt, wann die Unterdeckung genau eintritt und wie lange die Versorgung unterbrochen ist, welche Fahrzeugmodelle und Absatzmärkte betroffen sind, ob es potenzielle alternative Bauteile gibt, die verwendet werden können und wie sich dies auf die Produktion auswirkt.

Ein idealtypischer Zuteilungsprozess lässt sich daher als ein iterativer, rückgekoppelter Steuerungsablauf beschreiben, der sowohl operative Echtzeitdaten als auch taktische und strategische Planungsebenen integriert. Digitale Technologien und Prognosemodelle spielen dabei eine zunehmend wichtige Rolle, da sie die Grundlage für datenbasierte Entscheidungen schaffen, Prozesse beschleunigen und eine bedarfsgerechte Reaktion auf sich verändernde Rahmenbedingungen ermöglichen (vgl. Wagenitz et al., 2020, S. 240).

2.5 Konkretisierung des Forschungsgegenstands

Die vorliegende Arbeit orientiert sich am Aachener PPS-Modell in dem die PPP und PBP als Kernaufgaben der Produktionsplanung eingeordnet werden. Sie bilden innerhalb des Modells die Grundlage für die Ableitung von Produktmengen, Materialbedarfen, und Kapazitätsanforderungen. Durch die Verknüpfung von Absatzvorgaben mit Stücklisteninformationen und Ressourcendaten schaffen sie Transparenz über zukünftige Anforderungen und ermöglichen die frühzeitige Identifikation potenzieller Engpässe.

Zur Bewältigung identifizierter Engpässe dient die Engpasssteuerung als spezifischer Steuerungsansatz, der auf kurzfristige und überwiegend reaktive Eingriffe abzielt. Ziel ist es, eine Entzerrung von Kapazitäts- oder Materialrestriktionen zu erreichen und dadurch die Produktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Dazu zählen Maßnahmen wie die Ausweitung von Kapazitäten durch Überstunden oder Zusatzschichten, die Verlagerung von Aufträgen auf alternative Ressourcen, die Anpassung von Produktionsreihenfolgen sowie die Verschiebung von Terminen. Diese Maßnahmen können zur Reduzierung von Engpässen beitragen, auch wenn sie nicht in allen Fällen deren vollständige Auflösung gewährleisten.

Lassen sich Engpässe auf diese Weise nicht beheben, wird eine Zuteilung erforderlich. In diesem Fall ist zu entscheiden, wie die verfügbaren Teile auf konkurrierende Bedarfsträger verteilt werden. Im Unterschied zu kurzfristigen Steuerungsentscheidungen innerhalb der Produktionsplanung, die sich in der Regel auf organisatorische Anpassungen wie Termin- oder Reihenfolgeveränderungen beziehen, haben Zuteilungsentscheidungen häufig Auswirkungen über einzelne Aufträge hinaus. Bei ausgeprägter Variantenvielfalt und tiefen Abhängigkeiten innerhalb von Stücklisten können die Auswirkungen ganze Produktlinien, Werke oder Märkte betreffen. Die Verteilung restriktiver Bauteile kann etwa dazu führen, dass bestimmte Fahrzeugvarianten weiterhin produziert werden können, während andere vorübergehend oder vollständig nicht gefertigt werden. Somit kann die Entscheidung über die Zuteilung weitreichende Folgen für die Produktionsfähigkeit einzelner Standorte bis hin zu gesamten Netzwerken haben.

Vor diesem Hintergrund stellt die Zuteilung restriktiver Bauteile ein komplexes Entscheidungsproblem dar, da unterschiedliche Zielgrößen wie Termintreue, Ressourcenauslastung, Lieferfähigkeit und Kundenanforderungen gegeneinander abgewogen werden müssen. Hinzu kommt, dass diese Entscheidungen nicht isoliert, sondern innerhalb vernetzter Produktionssysteme getroffen werden müssen. Damit bildet die Frage nach einer konsistenten und transparenten Zuteilungssystematik den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit.

Zur abschließenden Systematisierung erfolgt die Einordnung des identifizierten Planungsproblems in die von *Klein und Scholl (2012)* entwickelte Typologie. Diese umfasst sieben Strukturmerkmale: Planungsgegenstand, Funktionsbereiche, Geltungsbereich, Reichweite, Informationsstand, Planungshäufigkeit und Planungsanlass (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 15ff.). Im Folgenden werden diese Merkmale auf die vorliegende Fragestellung angewendet, um die Charakteristik der Zuteilung restriktiver Bauteile näher zu beschreiben.

Planungsgegenstand

In Bezug auf den Planungsgegenstand unterscheiden *Klein und Scholl* zwischen Programm-, Prozess- und Potenzialplanung (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 16). Im Rahmen der Programmplanung wird festgelegt, welche Erzeugnisse nach welcher Art, Menge und Qualität in einem definierten Zeitraum hergestellt werden sollen. In der Automobilindustrie umfasst sie die Festlegung von Fahrzeugarten, Produktionsvolumina und Terminen (vgl. Wack, 2020, S. 38). Die Prozessplanung zielt auf die Gestaltung effizienter Produktionsstrukturen und Arbeitssysteme ab, insbesondere durch die Festlegung der Art und Reihenfolge von Wertschöpfungsaktivitäten sowie die Absicherung der Qualität (vgl. Stuffer & Kleedörfer, 1997, S. 3ff.). Die Potenzialplanung schließlich

bestimmt das langfristig zu erstellende Leistungsprogramm eines Unternehmens oder Geschäftsfeldes, einschließlich der Betriebsmittelplanung (vgl. D. Arnold et al., 2008, S. 38). Im Kontext der vorliegenden Arbeit steht die Programmplanung im Vordergrund, da hier die relevanten Entscheidungen über Art und Menge der zu produzierenden Fahrzeuge getroffen werden, die unmittelbar in Teilebedarfe überführt werden. Prozessplanerische Aspekte werden lediglich insoweit berücksichtigt, wie sie durch Zuteilungsentscheidungen beeinflusst werden, etwa in der Reihenfolge- oder Auftragssteuerung.

Funktionsbereiche

Die Planung kann in der Verantwortung unterschiedlicher Funktionsbereiche liegen. In der Typologie werden die Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion sowie Distribution unterschieden (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 18). Die Engpasssteuerung setzt in der Praxis eine enge Abstimmung dieser Bereiche voraus. Da sich die vorliegende Arbeit auf die Zuteilung restriktiver Bauteile im Produktionsprozess konzentriert, liegt der Schwerpunkt im Funktionsbereich Produktion. Beschaffungs- und Distributionsaspekte werden jedoch berücksichtigt, soweit sie die Verfügbarkeit restriktiver Bauteile und damit die nachgelagerten Zuteilungsentscheidungen in der Produktion beeinflussen.

Geltungsbereich der Planung

Der Geltungsbereich der Planung beschreibt die Aggregationsstufen, auf denen Planungsentscheidungen getroffen werden. Er kann sich auf das gesamte Produktionsnetzwerk, auf einzelne Werke oder auf spezifische Anlagen und Arbeitssysteme beziehen (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 18). Für die vorliegende Arbeit beschränkt sich die Betrachtung bewusst auf Netzwerk- und Werksebene. Während die Zuteilung auf Netzwerkebene die Verteilung restriktiver Bauteile zwischen verschiedenen Produktionsstandorten sowie zwischen OEM und Zulieferern adressiert, konkretisiert sich die Entscheidung auf Werksebene in der Frage, welche fahrzeugvarianten oder Aufträge mit den zugeteilten Bauteilen tatsächlich gefertigt werden. Die Werke sind somit sowohl in die Bedarfsmeldung eingebunden als auch dafür verantwortlich, die Zuteilungsentscheidung im operativen Fertigungsprozess umzusetzen. Feinststeuerungen auf Anlagen- oder Arbeitssystemebene bleiben unberücksichtigt, da sie nicht ursächlich durch die Zuteilung restriktiver Bauteile bestimmt werden, sondern nachgelagert durch die Produktionssteuerung erfolgen.

Reichweite der Planung

Die Reichweite der Planung bezieht sich auf den Planungshorizont, den Detaillierungsgrad und die Tragweite der Entscheidungen. Dabei unterscheidet man zwischen der strategischen, taktischen und operativen Planungsstufe (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 19f.). Im Zentrum dieser Arbeit steht die operative Planung, da die Zuteilung als Reaktion auf akute Versorgungsengpässe erfolgt und unmittelbar in die Fertigung eingreift. Gleichzeitig sind operative Entscheidungen eng mit der taktischen Planungsebene verbunden. Dort werden u. a. Priorisierungsregeln, Zuteilungsstrategien und Szenarien zur Produktionssteuerung definiert, die als Rahmenbedingungen für die kurzfristige Umsetzung dienen. Die Betrachtung umfasst somit die operative Ebene sowie ausgewählte taktische Steuerungselemente, während strategische Fragestellungen nicht im Fokus stehen.

Informationsstand der Planung

Der Informationsstand stellt ein zentrales Klassifikationsmerkmal von Planungsproblemen dar und lässt sich nach *Klein und Scholl* in Planung unter Sicherheit, Risiko, Ungewissheit und Spielsituation differenzieren (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 17). Vollständige Sicherheit liegt vor, wenn sämtliche Daten, Ziele sowie Wirkzusammenhänge aller Planungsparameter bekannt sind und sich dadurch der Umweltzustand jederzeit eindeutig definieren lässt (vgl. Laux et al., 2014, S. 57). Ein solcher Zustand vollständiger Sicherheit tritt in industriellen Planungsprozessen selten auf, da die Steuerung komplexer Produktionsnetzwerke von Unsicherheiten wie schwankender Teileverfügbarkeit, variablen Lieferterminen und unvollständigen Informationen geprägt ist.

Eine Einordnung als Planung unter Risiko setzt voraus, dass Wahrscheinlichkeiten zukünftiger Ereignisse empirisch fundiert abgeschätzt werden können, etwa für die Lieferfähigkeit von Zulieferern. Solche Daten stehen im Kontext restriktiver Bauteile jedoch in der Regel nicht zuverlässig zur Verfügung. Stattdessen ist die Zuteilung von Engpassteilen durch unvollständige Informationen, schwer prognostizierbare Einflüsse und eine hohe Dynamik geprägt.

Das Planungsproblem ist daher als Planung unter Ungewissheit zu klassifizieren, da Entscheidungen auf unvollständiger Informationsbasis getroffen werden und wesentlich auf Annahmen sowie Experteneinschätzungen beruhen (vgl. Rommelfanger & Eickemeier, 2002, S. 49ff.). Eine Spielsituation wäre dann gegeben, wenn die Zuteilung restriktiver Bauteile maßgeblich durch das strategische Verhalten unabhängiger Marktakteure bestimmt würde (vgl. Wessler, 2012, S. 84). Da im vorliegenden Kontext jedoch die inner- und zwischenbetriebliche Abstimmung innerhalb bestehender Produktionsnetzwerke im Vordergrund steht, ist diese Kategorie nicht zutreffend.

Planungshäufigkeit

Im Hinblick auf die Planungshäufigkeit unterscheidet die Typologie zwischen Einmal- und Routinenplanung. Einmalplanungen beziehen sich in der Regel auf langfristige, einmalig zu treffende Entscheidungen, während Routinenplanungen regelmäßig wiederkehren und bei Eintritt bestimmter Ereignisse oder in festgelegten Intervallen durchgeführt werden (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 17). Das vorliegende Planungsproblem ist als Routinenplanung einzuordnen. Engpasssituationen entstehen in Produktionsnetzwerken nicht einmalig, sondern treten wiederholt auf und erfordern eine kontinuierliche Anpassung der Entscheidungen. Die Zuteilung restriktiver Bauteile ist daher als regelmäßig wiederkehrende Aufgabe zu verstehen, deren Häufigkeit sich am Produktionsrhythmus, an der Unternehmensstruktur sowie an der Volatilität der Versorgungssituation orientiert.

Planungsanlass

Im Rahmen des Planungsanlasses unterscheidet die Typologie zwischen extern und intern veranlassten sowie zwischen aktiven und reaktiven Planungen. Externe Planungen ergeben sich aus Ereignissen im Umfeld des Unternehmens, etwa durch geopolitische Entwicklungen, regulatorische Änderungen oder Lieferstörungen. Interne Planungen resultieren dagegen aus unternehmensinternen Veränderungen wie strategischen Neuausrichtungen oder Produktinnovationen. Während aktive Planungen antizipativ im Vorfeld bevorstehender Veränderungen initiiert werden, erfolgen reaktive Planungen als unmittelbare Antwort auf bereits eingetretene Störungen

(vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 18). Im Kontext restriktiver Bauteile prägen vor allem externe und reaktive Anlässe das Planungsproblem, da Engpässe typischerweise auf unvorhergesehene Ausfälle oder Verzögerungen in der Lieferkette zurückzuführen sind. Ergänzend sind interne und aktive Planungsanlässe zu berücksichtigen, etwa wenn PP angepasst oder Szenarien zur Vorbeugung absehbarer Engpässe entwickelt werden.

Die in **Tabelle 2-5** dargestellte Einordnung verdeutlicht die Positionierung innerhalb der Typologie von *Klein und Scholl* (vgl. Klein & Scholl, 2012, S. 16). Mit der Einordnung des Planungsproblems entlang der relevanten Merkmale liegt eine klare Abgrenzung des Forschungsgegenstands vor. Darauf aufbauend richtet sich Kapitel 3 auf die Analyse des Stands von Forschung und Wissenschaft, um die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit der Arbeit sicherzustellen und bestehende Forschungslücken zu identifizieren.

Tabelle 2-5: Einordnung des Planungsproblems in Anlehnung an Klein und Scholl

Strukturmerkmal	Typologiekategorie (nach Klein & Scholl)	Einordnung im Kontext restriktiver Bauteile	Begründung
Planungsgegenstand	Programm-, Prozess- und Potenzialplanung	Schwerpunkt auf Programmplanung, mit Bezug zur Prozessplanung	Entscheidungen über Fahrzeugmengen und -arten bestimmen Teilebedarfe; Prozessaspekte (Reihenfolge, Steuerung) werden durch Zuteilung beeinflusst
Funktionsbereiche	Beschaffung, Produktion, Distribution	Produktion im Vordergrund, Berücksichtigung von Beschaffung und Distribution	Zuteilung wirkt primär auf Fertigungsprozesse; Schnittstellen zu Einkauf und Logistik indirekt relevant
Geltungsbereich	Netzwerk, Werk, Anlage, Arbeitssystem	Netzwerk- und Werksebene	Engpässe wirken auf Netzwerke zwischen OEMs, Zulieferern und Standorten; operative Umsetzung erfolgt im Werk
Reichweite	Strategisch, taktisch, operativ	Operativ, mit Bezug zur taktischen Reichweite	Zuteilung erfolgt reaktiv und kurzfristig; taktische Regeln und Strategien rahmen operative Entscheidungen
Informationsstand	Sicherheit, Risiko, Ungewissheit, Spielsituation	Ungewissheit	Fehlende Transparenz, unvollständige Daten und schwer prognostizierbare Ereignisse prägen die Entscheidungsgrundlage
Planungshäufigkeit	Einmal- vs. Routinenplanung	Routinenplanung	Zuteilungen erfolgen regelmäßig, müssen aber an volatile Situationen dynamisch angepasst werden
Planungsanlass	Intern, extern, aktiv, reaktiv	Überwiegend extern und reaktiv	Ursachen liegen primär in Lieferstörungen; Entscheidungen meist als Reaktion auf akute Versorgungsengpässe

3 Stand der Forschung und Wissenschaft

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen widmet sich das folgende Kapitel dem aktuellen Stand der Forschung im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile in großen Produktionsnetzwerken. Abschnitt 3.1 beschreibt hierzu die Planung und Durchführung der Literaturrecherche, die dem Fünf-Phasen-Modell systematischer Literaturanalysen nach *vom Brocke et al. (2009)* folgt (vgl. vom Brocke et al., 2009, S. 9). Abschnitt 3.2 bewertet auf dieser Grundlage die bestehenden wissenschaftlichen Ansätze und identifiziert offene Fragestellungen sowie methodische Lücken. Daraus wird in Abschnitt 3.3 die Forschungsagenda abgeleitet, welche die bereits im ersten Kapitel vorgestellten Forschungsfragen inhaltlich fundiert und kontextualisiert. **Abbildung 3-1** veranschaulicht das methodische Vorgehen der systematischen Analyse.

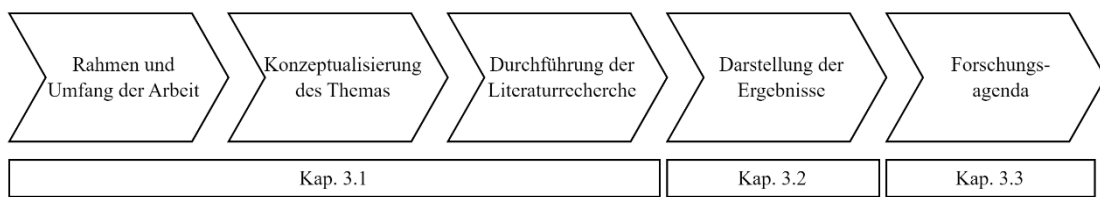


Abbildung 3-1: Aufbau der Literaturanalyse (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)

3.1 Systematische Literaturrecherche zur Zuteilungssystematik

Die systematische Literaturrecherche stellt eine methodisch strukturierte Herangehensweise dar, um wissenschaftliche Publikationen zu identifizieren, zu analysieren und auszuwerten. In diesem Unterkapitel liegt der Fokus auf den ersten drei Phasen des Rechercheprozesses, die den methodischen Rahmen für eine valide und transparente Literaturanalyse schaffen (vgl. **Abbildung 3-2**). Dazu zählen die Definition von Umfang und Rahmen der Recherche (Kap. 3.1.1), die konzeptuelle Eingrenzung und Strukturierung des Forschungsthemas (Kap. 3.1.2) sowie die Durchführung der Recherche, einschließlich der Auswahl geeigneter Datenbanken und Suchstrategien (Kap. 3.1.3). Diese Schritte bestimmen maßgeblich, welche Literatur in den weiteren Analyseprozess einbezogen wird und legen damit die Grundlage für die inhaltliche Tiefe und methodische Nachvollziehbarkeit der Untersuchung.



Abbildung 3-2: Planung und Durchführung der Literaturrecherche (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)

3.1.1 Rahmen und Umfang der Arbeit

Zur fundierten Erfassung des aktuellen Forschungsstands zur Zuteilung restriktiver Bauteile mit komplexen Abhängigkeiten wird im Rahmen dieser Arbeit das Phasenmodell von *vom Brocke et*

al. (2009) herangezogen. Die Analyse dient dabei nicht nur der Erhebung relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse, sondern bildet zugleich die Grundlage für die methodische und inhaltliche Einordnung der eigenen Forschung. Durch die systematische Untersuchung bestehender Arbeiten sollen zentrale Problemstellungen, wiederkehrende methodische Ansätze sowie identifizierte Forschungslücken herausgearbeitet werden.

Der Schwerpunkt der Recherche liegt dabei auf der Untersuchung einschlägiger Forschungsbeiträge, die sich mit dem Management begrenzter Ressourcen, insbesondere im Kontexten von Versorgungsengpässen und deren Bewältigung in komplexen industriellen Wertschöpfungsnetzwerken befassen. Hierzu zählen besonders Beiträge aus dem Bereich des Supply Chain Managements (SCM), des Produktions- und Kapazitätsmanagements, der Ressourcenallokation sowie der unternehmensübergreifenden Kollaboration.

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, ein differenziertes Verständnis der gegenwärtig diskutierten Ansätze, Modelle und Systeme zur Zuteilung restriktiver Teileumfänge zu erlangen. Dabei sollen sowohl die theoretischen Grundlagen als auch praxisnahe Anwendungen erfasst und systematisch gegenübergestellt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Fragestellung, inwieweit bestehende Ansätze die Komplexität realer Produktionsnetzwerke, insbesondere im Kontext der Automobilindustrie, abbilden und ob sie Unsicherheiten, Interdependenzen und Kollaborationsbedarfe adäquat berücksichtigen.

Die Recherche richtet sich an ein wissenschaftliches Fachpublikum mit vertiefter Expertise im Bereich industrieller Planung und Steuerung. Sie erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit sämtlicher Veröffentlichungen im genannten Themenfeld, strebt jedoch eine inhaltlich repräsentative Abdeckung der relevanten wissenschaftlichen Diskurse an. Dabei werden sowohl englisch- als auch deutschsprachige Fachpublikationen berücksichtigt, um eine möglichst breite Perspektive auf den aktuellen Forschungsstand zu gewährleisten.

3.1.2 Konzeptualisierung des Themas

Die zweite Phase der systematischen Literaturrecherche umfasst die konzeptionelle Strukturierung des Untersuchungsgegenstands und die methodisch fundierte Entwicklung der Suchstrategie. Ziel ist es, das Themenfeld theoretisch zu durchdringen, zentrale Begriffe zu identifizieren und daraus gezielte Suchanfragen abzuleiten, die eine möglichst präzise Erhebung der relevanten Literatur ermöglichen.

Ausgehend von dem übergeordneten Forschungskontext der Zuteilung restriktiver Bauteile in mehrstufigen Produktionsnetzwerken wurde zunächst die thematische Eingrenzung vorgenommen. Die Arbeit positioniert sich an der Schnittstelle von SCM, Produktions- und Kapazitätsmanagement, Engpasssteuerung, Ressourcenallokation und Kollaborationsmechanismen in industriellen Netzwerken, mit besonderem Bezug zur Automobilindustrie.

Die Entwicklung der Suchstrategie erfolgte auf Grundlage der im Kapitel 2 definierten theoretischen Grundlage sowie auf Basis einer initialen explorativen Analyse einschlägiger Fachbeiträge. Die resultierenden Schlüsselbegriffe wurden konzeptionell abgeleitet und thematisch in vier Kernbereiche geclustert (vgl. **Tabelle 3-1**).

Tabelle 3-1: Übersicht der identifizierten Kernbereiche und verwendeten Suchbegriffe

Themenfeld	Schlüsselbegriffe (deutsch/englisch)
Engpasssteuerung	Engpasssteuerung, Engpassmanagement, Bottleneck Management, Shortage Management, Capacity Shortages
Kapazitätsplanung und Allokation	Bedarfs- und Kapazitätsmanagement, Demand and Capacity Management, Kapazitätsplanung, Capacity Planning, Allokationsplanung, Ressourcenzuteilung, Resource Allocation, Allocation Planning
Supply Chain Management	Lieferkettenmanagement, Supply Chain Management, Kollaboratives Lieferkettenmanagement, Collaborative Supply Chain Management, Risikomanagement, Supply Chain Risk Management, Zusammenarbeit, Collaboration
Branchenspezifische Kontexte	Automobilindustrie, Automotive Industry

Auf Basis der festgelegten Schlüsselbegriffe wurden kombinierte Suchanfragen erstellt, die mithilfe logischer Operatoren wie „AND“ und „OR“ formuliert wurden. Ziel war es, thematisch relevante Beiträge über Titel, Abstracts und Schlagwörter zu identifizieren und gleichzeitig die inhaltliche Fokussierung sicherzustellen. Die Suchanfragen wurden dabei in eine iterativen Verfahren mehrfach getestet, angepasst und optimiert, um eine möglichst hohe Relevanz der Treffer bei gleichzeitiger Breite der thematischen Abdeckung zu gewährleisten. Nachfolgend sind exemplarische Suchanfragen darstellt, die im Rahmen der Recherche eingesetzt wurden:

Englischsprachige Suchanfragen:

“capacity allocation” AND “automotive industry”

“bottleneck management” AND “supply chain” AND collaboration

Deutschsprachige Suchanfragen:

"Engpasssteuerung" AND "Lieferkettenmanagement"

"Kapazitätsplanung" AND "Automobilindustrie"

Die Auswahl und Anwendung dieser Suchanfragen zielte darauf ab, einschlägige wissenschaftliche Beiträge zu identifizieren, die sowohl strategische als auch operative Fragestellungen im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile adressieren. Ein besonderer Fokus lag dabei auf Publikationen, die sich mit der Bewältigung von Versorgungsengpässen und der Steuerung knapper Ressourcen in komplexen Produktionsnetzwerken befassen.

Die Recherche wurde in den wissenschaftlichen Datenbanken Scopus, Web of Science, Springer-Link, ScienceDirect und IEEE Xplore durchgeführt. Zur ergänzenden Abdeckung aktueller und praxisnaher Veröffentlichungen wurde zudem Google Scholar herangezogen, insbesondere zur Identifikation relevanter grauer Literatur wie Konferenzbeiträge oder Arbeitsberichte. Die Einbeziehung dieser Publikationen diente dem Ziel, aktuelle Entwicklungen, praxisnahe Perspektiven sowie noch nicht in Fachzeitschriften veröffentlichte Forschungsarbeiten abzubilden, die im dynamischen Umfeld der industriellen Wertschöpfung und des SCM häufig in grauer Literatur erscheinen.

Da graue Literatur nicht denselben standardisierten Peer-Review-Prozessen unterliegt wie etablierte Journalbeiträge, erfolgte eine gezielte Qualitätssicherung anhand klar definierter Kriterien. Hierzu zählten insbesondere die Nachvollziehbarkeit der Autorenschaft, das Publikationsumfeld

sowie die inhaltliche Relevanz und methodische Nachvollziehbarkeit im Kontext der Forschungsfrage. Nur Beiträge, die diese Mindeststandards erfüllten, wurden in die systematische Analyse aufgenommen. Durch dieses Vorgehen wurde sichergestellt, dass die Einbeziehung grauer Literatur sowohl zur Vollständigkeit als auch zur wissenschaftlichen Qualität der Literaturrecherche beiträgt.

Die Auswahl der für jede Suchanfrage genutzten Datenbank erfolgte in Abhängigkeit vom jeweiligen thematischen Fokus der Suchbegriffe sowie dem fachlichen Spektrum der Datenbank. Eine vollständige Überschneidung der Suchanfragen über sämtliche Datenbanken wurde bewusst vermieden, um Redundanzen zu reduzieren und eine gezielte, inhaltlich fundierte Literatursichtung zu ermöglichen.

Zur Eingrenzung des Ergebnisraums und zur Sicherstellung der inhaltlichen Relevanz sowie wissenschaftlichen Qualität der analysierten Beiträge wurden spezifische Einschlusskriterien definiert. Berücksichtigt wurden ausschließlich Publikationen in deutscher oder englischer Sprache, um sowohl den internationalen als auch den deutschsprachigen Forschungsdiskurs adäquat abzubilden. Hinsichtlich der Publikationsform wurden wissenschaftlich fundierte Quellen einbezogen, darunter peer-reviewte Fachzeitschriftenartikel, Konferenzbeiträge mit erkennbarem wissenschaftlichem Anspruch sowie einschlägige Buchkapitel. Ein weiteres zentrales Relevanzkriterium stellte die inhaltliche Nähe zum definierten Forschungskontext dar. Hierfür wurde vorausgesetzt, dass mindestens einer der festgelegten Suchbegriffe im Titel, Abstract oder in den Keywords der jeweiligen Publikationen enthalten ist. Diese Kriterien gewährleisteten eine systematische und zugleich thematisch präzise Auswahl relevanter Literatur für die weitere Analyse.

Nicht berücksichtigt wurden hingegen Publikationen, die keinen erkennbaren inhaltlichen Bezug zum definierten Forschungskontext aufwiesen. Ebenso nicht berücksichtigt wurden Arbeiten, die lediglich deskriptive oder allgemein gehaltene Aussagen enthielten und keine theoretische oder methodische Fundierung aufwiesen. Auch Beiträge mit einem primären Anwendungsfokus außerhalb der industriellen Produktion, wie z. B. dem Gesundheitswesen oder der Personalplanung fanden keine Berücksichtigung.

3.1.3 Durchführung der Literaturrecherche

Aufbauend auf der in der vorhergehenden Phase entwickelten Suchstrategie wurde zwischen Juli und September 2024 eine systematische Literaturrecherche in den identifizierten wissenschaftlichen Datenbanken durchgeführt. Die initiale Literatursuche erfolgte auf Grundlage definierter Suchanfragen, die aus den formulierten Schlüsselbegriffen abgeleitet wurden. Die erste Sichtung der Suchergebnisse erfolgte dabei anhand der definierten Einschlusskriterien. Alle Beiträge, die den Vorgaben entsprachen, wurden in ein Literaturkorpus überführt. Zur Vermeidung von Doppelzählungen wurden Mehrfachnennungen aus verschiedenen Datenbanken manuell entfernt.

Im Rahmen der Recherche zeigte sich jedoch, dass einige Kombinationen entweder zu unspezifischen Treffern oder zu keiner nennenswerten Literaturlage führten. Um die inhaltliche Relevanz zu erhöhen und den Ergebnisraum sinnvoll einzugrenzen, wurde die Suchstrategie daher in mehreren Iterationsschleifen angepasst. Diese Anpassungen erfolgten auf Basis der Relevanzbewertung der ersten Treffer sowie unter Rückgriff auf Begriffe, die in einschlägigen Arbeiten verwen-

det wurden. Eine Übersicht der eingesetzten Suchanfragen, inklusive der jeweils genutzten Datenbanken, der Sprache sowie der Trefferzahlen vor und nach Anwendung der Einschlusskriterien ist in **Tabelle 3-2** dargestellt.

Tabelle 3-2: Übersicht der Suchanfragen im Rahmen der Literaturrecherche

Nr.	Suchanfrage	Datenbank	Sprache	Treffer (vor Filte- rung)	Treffer (nach Filte- rung)	Letzter Zugriff
1	("capacity allocation" OR "resource allocation" OR "production planning") AND ("shortage" OR "bottleneck") AND ("automotive" OR "manufacturing")	Scopus, ScienceDirect, Web of Science	Englisch	25.191	476	01.09.2024
2	"capacity allocation" AND "automotive industry" AND "supply chain"	Scopus, Web of Science, IEEE Xplore	Englisch	135	1	03.09.2024
3	("bottleneck management" OR "capacity constraint" OR "supply bottleneck" OR "production bottleneck") AND ("supply chain" OR "supply network" OR "value chain")	IEEE Xplore, Scopus	Englisch	6.533	550	05.09.2024
4	"allocation" AND uncertainty AND "automotive supply chain"	Scopus, Web of Science, ScienceDirect	Englisch	664	3	09.09.2024
5	("bottleneck" OR "shortage" OR "disruption") AND ("automotive industry" OR "car manufacturing") AND ("collaboration" OR "cooperation")	Scopus, ScienceDirect	Englisch	7.892	41	10.09.2024
6	("Engpass" OR "Lieferengpass") AND ("Automobilindustrie" OR "Fahrzeugbau") AND ("Kollaboration" OR "Zusammenarbeit")	SpringerLink, Google Scholar	Deutsch	2.320	11	10.09.2024
7	"Allokation" AND "Produktionsnetzwerk" AND Automobilindustrie	SpringerLink, Google Scholar	Deutsch	199	1	11.09.2024

Zur Sicherstellung der inhaltlichen Vollständigkeit und zur Identifikation potenziell relevanter, aber nicht durch die initialen Suchanfragen erfasster Publikationen, wurden im Anschluss Vorwärts- und Rückwärtssuchen auf Basis zentraler Schlüsselpublikationen durchgeführt. Die Rückwärtssuche (Backward Search) erfolgte durch die Analyse der Literaturverzeichnisse relevanter Beiträge, während die Vorwärtssuche (Forward Search) durch Zitationsanalysen umgesetzt

wurde. Dieser iterative Ansatz erwies sich insbesondere für die Identifikation theoretisch fundierter Beiträge aus angrenzenden Forschungsfeldern als effektiv (vgl. Webster & Watson, 2002, S. 16).

Im Ergebnis führte dieser mehrstufige Prozess zur Auswahl von insgesamt 43 wissenschaftlichen Beiträgen, die in das finale Literaturkorpus aufgenommen wurden. Diese Arbeiten bilden die Grundlage der nachfolgenden Analysephase, in der die Publikationen hinsichtlich ihrer theoretischen Fundierung, methodischen Vorgehensweise sowie inhaltlichen Schwerpunktsetzung ausgewertet werden.

3.2 Systematische Auswertung der Ergebnisse

Im Anschluss an die Durchführung der systematischen Literaturrecherche erfolgt die inhaltliche Strukturierung, Bewertung und Zusammenführung der identifizierten Beiträge. Ziel dieses Unterkapitels ist es, die Ergebnisse der Recherche nachvollziehbar darzustellen und hinsichtlich ihrer Relevanz für das Forschungsvorhaben zu bewerten. Dieses Unterkapitel widmet sich daher der konzeptionellen Einordnung der relevanten Literatur (Kap. 3.2.1), dem Vergleich und der kritischen Bewertung bestehender Ansätze (Kap. 3.2.2) sowie der Ableitung zentraler Erkenntnisse für das untersuchte Themenfeld (Kap. 3.2.3). Die Ergebnisdarstellung ermöglicht dadurch, zentrale inhaltliche Überschneidungen, divergierende Ansätze sowie bestehende Forschungslücken im Untersuchungsfeld herauszuarbeiten. Gemäß dem Phasenmodell nach *vom Brocke et al. (2009)* stellt die Ergebnisdarstellung die vierte Phase des Prozesses dar (vgl. **Abbildung 3-3**).



Abbildung 3-3: Ergebnisdarstellung der Literaturrecherche (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)

3.2.1 Konzeptuelle Einordnung der Literatur

Insgesamt wurden 43 wissenschaftliche Beiträge identifiziert, die sich mit Fragestellungen im Spannungsfeld von SCM, Engpasssteuerung, Ressourcenallokation und unternehmensübergreifender Zusammenarbeit in industriellen Wertschöpfungsnetzwerken befassen. Um die thematische Ausrichtung der einzelnen Arbeiten transparent darzustellen und inhaltliche Schwerpunkte zu erkennen, erfolgte zunächst eine strukturierte Zuordnung zu fünf zentralen Themenfeldern: Automobilindustrie (AI), Supply Chain Management (SCM), Engpasssteuerung (ES), Kollaboration (K) und Allokation (A). Die Zuordnung erfolgte auf Basis einer qualitativen Inhaltsanalyse. Dabei wurden auch semantische Variationen und Synonyme der Begriffe berücksichtigt. Die jeweiligen Termini mussten nicht explizit im Titel oder Abstract der Beiträge genannt werden. Vielmehr diente die thematische Kategorisierung der inhaltlichen Verortung der Publikationen.

Da viele Publikationen mehrere Themen parallel adressieren, war eine Mehrfachzuordnung möglich. **Tabelle 3-3** gibt einen Überblick über die thematische Einordnung der untersuchten Literaturbeiträge. Die Matrix veranschaulicht zudem die thematische Dichte der untersuchten Beiträge.

Die thematische Analyse des Literaturkorpus zeigt, dass bestehende Forschungsarbeiten häufig nur einzelne Teilaspekte des komplexen Untersuchungsfeldes behandeln. So beschäftigen sich 12 Beiträge mit dem Zusammenspiel von SCM, Engpasssteuerung und Allokation, lassen jedoch sowohl branchenspezifische Kontexte als auch kollaborative Mechanismen weitgehend unberücksichtigt. Im Mittelpunkt steht dabei häufig eine deterministische Optimierung der Ressourcenverteilung.

Insgesamt weisen 15 der analysierten Studien auf die Relevanz kollaborativer Ansätze hin, etwa in Form abgestimmter Planungsprozesse, des Austauschs sensibler Informationen oder der Nutzung digitaler Plattformen zur Steuerung unternehmensübergreifender Abläufe. Lediglich drei dieser Beiträge verankern kollaborative Ansätze jedoch explizit im Kontext der Automobilproduktion unter Engpassbedingungen (vgl. Hegmanns, 2010; Tietze, 2021; Toth, 2008). Daraus lässt sich ein Missverhältnis zwischen der in der Literatur hervorgehobenen theoretischen Bedeutung und der bislang begrenzten empirischen Fundierung in branchenspezifischen Anwendungsszenarien ableiten.

Besonders relevant für das Erkenntnisinteresse dieser Arbeit sind jene Untersuchungen, die mehrere der betrachteten Themenfelder miteinander verknüpfen und zugleich einen konkreten Anwendungsbezug zur Automobilindustrie aufweisen. Insgesamt lassen sich drei Beiträge identifizieren, die die Allokation restriktiver Ressourcen unter Engpassbedingungen im Kontext automobiler Wertschöpfungsnetzwerke behandeln und dabei mehr als drei der fünf zentralen Forschungsfelder in integrierter Weise berücksichtigen (vgl. Hegmanns, 2010; Lu & Lariviere, 2012; Toth, 2008).

Lediglich zwei der analysierten Studien greifen alle fünf untersuchten Felder in einem gemeinsamen konzeptionellen Rahmen auf (vgl. Hegmanns, 2010; Toth, 2008). Trotz dieser thematischen Breite verbleiben die Analysen meist auf einem vereinfachten Modellniveau. Reale Systemstrukturen industrieller Produktionsnetzwerke werden in den betrachteten Arbeiten meist in abstrahierter Form modelliert, wobei zentrale Einflussfaktoren wie Unsicherheiten in der Planung oder dynamische Netzwerkkonfigurationen nur eingeschränkt Berücksichtigung finden. Ebenso zeigt sich, dass der gezielte Einsatz von Simulationstechniken (z. B. zur Szenarioanalyse bei Plananpassungen) und digitalen Austauschplattformen (z. B. für eine kollaborative Entscheidungsfindung) bislang kaum systematisch in die zugrundeliegenden Steuerungsmodelle eingebunden wird. Darüber hinaus fehlt häufig eine empirische Validierung, die die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf konkrete Anwendungssituationen absichern würde.

Diese Beobachtungen unterstreichen die Notwendigkeit einer weiterführenden konzeptionellen Systematisierung der bestehenden Literatur. Um die Erkenntnisse weiter zu vertiefen und die strukturellen sowie methodischen Eigenschaften der identifizierten Beiträge zu analysieren, wird daher im folgenden Abschnitt eine Konzeptmatrix vorgestellt (vgl. **Tabelle 3-4**).

Tabelle 3-3: Thematische Verortung der analysierten Publikationen nach Forschungsfeldern

Nr.	Quelle	AI	SCM	ES	K	A
1	Mallik & Harker, 2004		x	x		x
2	Lee & Park, 2016		x			x
3	Cai, Li, Song et al., 2022		x	x		x
4	Cai, Li, Lian & Liu, 2022		x	x		x
5	Vogel & Meyr, 2015		x			x
6	Mangold, 2019	x	x			
7	Bockholt, 2012	x	x		x	
8	Moetz, 2020	x	x			
9	Toth, 2008	x	x	x	x	x
10	Opriel, 2021	x	x		x	
11	Tietze, 2021	x	x	x	x	
12	Zrenner, 2020	x	x		x	
13	Hegmanns, 2010	x	x	x	x	x
14	Zernechel, 2007	x	x			
15	Lauras et al., 2021		x		x	
16	Agostino et al., 2020					x
17	Tsutsui et al., 2022		x			x
18	Li, Cai & Liu, 2017		x	x		x
19	Cachon & Lariviere, 1999c		x	x		x
20	Cachon & Lariviere, 1999b		x	x		x
21	Cachon & Lariviere, 1999a		x	x		x
22	Cachon & Lariviere, 2001		x		x	
23	Lu & Lariviere, 2012	x	x	x		x
24	Hallikas et al., 2004		x		x	
25	Jüttner, 2005		x		x	
26	Kemper, 2012	x	x			
27	Lin & Chen, 2003		x			x
28	Norrman & Jansson, 2004		x		x	
29	Karabuk & Wu, 2002					x
30	Shirodkar & Kempf, 2006		x		x	
31	S.-H. Cho & Tang, 2014		x	x		x
32	Durango-Cohen & Li, 2017					x
33	Aqlan, 2016		x			
34	Bannour et al., 2018				x	
35	Meyr, 2009					x
36	Tiss et al., 2019		x		x	
37	McCarthy & Golcic, 2002		x		x	
38	El Baz & Ruel, 2021		x			
39	B. Kim et al., 2021					x
40	Pekgün et al., 2019		x			x
41	Kilger & Meyr, 2014		x			x
42	Knolmayer et al., 2009		x			x
43	Cohen-Vernik & Purohit, 2014		x	x		x

AI = Automobilindustrie; SCM = Supply Chain Management; ES = Engpasssteuerung; K = Kollaboration;
A = Allokation

Tabelle 3-4 stellt eine Klassifizierung der Arbeiten entlang zentraler Analyseparameter wie Zuteilungsprinzipien und -strategien, Forschungsmethoden sowie dem zugrundeliegenden Anwendungsbereich dar. Für die Konzeptmatrix wurden aus dem zuvor identifizierten Literaturkorpus (n=43) insgesamt 11 Beiträge ausgewählt. Die Auswahl erfolgte auf Grundlage ihrer konzeptionellen Relevanz sowie ihres direkten Bezugs zur Forschungsfrage. Auf diese Weise wird eine inhaltliche Verdichtung vorgenommen, die gleichzeitig auf einem transparenten und methodisch begründeten Auswahlprozess basiert.

Im Rahmen der Konzeptmatrix wurden die relevanten wissenschaftlichen Beiträge im Themenfeld der Zuteilung restriktiver Bauteile strukturiert erfasst. Ziel der Matrix ist die Aufbereitung und differenzierte Analyse der in der Fachliteratur vertretenen Konzepte und Methoden, um ein konsistentes Bild des gegenwärtigen Forschungsstands zu erarbeiten. Dabei werden zentrale Merkmale erfasst, die eine differenzierte Betrachtung der Allokationsansätze ermöglichen. Unter dem Zuteilungsprinzip wird das grundlegende Verteilungskonzept verstanden, das definiert, nach welchen übergeordneten Regeln Ressourcen oder Kapazitäten auf die Bedarfsträger verteilt werden. Die Allokationsstrategie beschreibt hingegen die konkrete methodische Umsetzung dieses Prinzips, also die spezifischen Verfahren oder Algorithmen, mit denen die Verteilung in der Praxis realisiert wird. Ergänzt wird die Analyse durch die Forschungsmethodik, welche Rückschlüsse auf die wissenschaftliche Vorgehensweise und die Validität der Ergebnisse zulässt, sowie durch die Betrachtung der Netzwerkstruktur und des Planungskontexts, die den systemischen Rahmen und die situativen Bedingungen der untersuchten Modelle abbilden.

Die Auswertung der Matrix zeigt, dass sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Zuteilungsmechanismen in Produktionsnetzwerken durch eine große methodische und konzeptionelle Vielfalt auszeichnet. Im Folgenden werden zentrale Beobachtungen zusammengefasst und die methodischen und inhaltlichen Ausprägungen der bisherigen Studien diskutiert.

Die Literatur zeigt eine ausgeprägte Vielfalt in der Gestaltung von Zuteilungsmechanismen. Während frühere Arbeiten vor allem gleichverteilende und proportionale Verfahren untersuchen, gewinnen bedarfsorientierte, nutzenbasierte sowie prioritäts- oder leistungsbezogene Modelle in neueren Beiträgen zunehmend an Bedeutung. Die Wahl des Verfahrens orientiert sich dabei stärker an Kontextfaktoren wie die Bedarfslage, Verhaltensannahmen oder Verteilungsziele. Gleichzeitig wird in aktuellen Studien deutlich, dass sich viele Mechanismen nicht auf normative Verteilungsprinzipien beschränken, sondern durch die Integration anreizkompatibler und spieltheoretischer Elemente versuchen, opportunistisches Verhalten zu begrenzen und gewünschte Verhaltensweisen zu fördern. So werden etwa wahrheitsfördernde Mechanismen oder leistungsorientierte Belohnungssysteme implementiert, um auf strategisches Verhalten einzuwirken. Allerdings ist die empirische Fundierung solcher Modelle oftmals eingeschränkt und ihre praktische Umsetzung geht häufig mit erheblicher Komplexität einher.

In einigen Beiträgen lässt sich eine Tendenz zur Kombination unterschiedlicher Allokationsmechanismen erkennen. Dabei werden bspw. feste Kontingente mit anteils- oder leistungsbezogenen Komponenten verknüpft. Solche hybriden Ansätze ermöglichen eine differenzierte Steuerung im Spannungsfeld von Effizienz, Fairness und Transparenz.

Tabelle 3-4: Konzeptmatrix zur Systematisierung zentraler Beiträge

Quelle	Zuteilungsprinzip	Strategien	Forschungsmethode	Netzwerkstruktur	Planungskontext
Sprumont, 1991	Gleichverteilend	Gleichverteilende Allokation	Konzeptionelle Modellierung	Keine Netzwerkstruktur (abstraktes Modell)	Planung unter Sicherheit
Cachon & Lariviere, 1999c	Nutzenorientiert / Bedarfsorientiert / Wahrheitsfördernd	Pareto-optimale Allokation Lineare Allokation Wahrheitsfördernde Allokation	Analytisches Modell / Mathematische Optimierung	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
Cachon & Lariviere, 1999bb	Bedarfsorientiert / Gleichverteilend	Proportionale Allokation Lineare Allokation Gleichverteilende Allokation	Analytisches Modell / Mathematische Optimierung	Einstufige Lieferkette	Planung unter Unsicherheit
Mallik & Harker, 2004	Optimierend / Anreizbasiert / Regelbasiert	Optimale Allokation Anreizkompatible Allokation Konstante Allokation	Analytisches Modell / Mathematische Analyse	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
Toth, 2008	Neutral / Regelbasiert	Neutrale Allokation Entscheidungsregelbasierte Allokation	Konzeptionelle Modellierung / Simulations-experimente	Mehrstufiges Liefernetzwerk	Planung unter Unsicherheit
Hegmanns, 2010	Bedarfs- bzw. Quotenbasiert / Regelbasiert	Anteilsbasierte Allokation Prioritätsbasierte Allokation	Konzeptionelle Modellierung / Fallbeispiel	Mehrstufiges Liefernetzwerk	Planung unter Unsicherheit
Lu & Lariviere, 2012	Fix bzw. Statisch / Anreizbasiert	Feste Zuteilung Turn-and-Earn-Allokation (abverkaufsorientierte Zuteilung)	Analytisches Modell / Mathematische Optimierung	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
Cohen-Vernik & Purohit, 2014	Fix bzw. Statisch / Anreizbasiert	Feste Allokation Turn-and-Earn-Allokation	Analytisches Modell	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
S.-H. Cho & Tang, 2014	Gleichverteilend / Wettbewerbsorientiert	Gleichverteilende Allokation Wettbewerbsbasierte Allokation	Analytisches Modell / Numerische Studie	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
Li, Yu et al., 2017	Gleichverteilend / Bedarfsorientiert / Prioritätsorientiert	Gleichverteilende Allokation Proportionale Allokation Lexikografische Allokation	Analytisches Modell / Numerische Studie	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit
Cai, Li, Song et al., 2022	Fix bzw. Statisch / Bedarfsorientiert	Feste Allokation Proportionale Allokation	Analytisches Modell	Einstufige Lieferkette	Planung unter Sicherheit

Grundsätzlich erfolgt die Wahl eines Zuteilungsprinzips stets vor dem Hintergrund verschiedener Zielgrößen wie Effizienz, Fairness, Transparenz und Manipulationsresistenz. Welcher Mechanismus in einem konkreten Fall geeignet ist, hängt vom jeweiligen Planungskontext und den Annahmen über das Verhalten der beteiligten Akteure ab. Ein universell überlegenes Modell existiert nicht, was die Notwendigkeit einer kontextspezifischen Analyse unterstreicht.

In methodischer Hinsicht dominiert der Einsatz analytisch-deterministischer Modellansätze. Der Großteil der Arbeiten entwickelt formale Strukturmodelle zur Beschreibung und Bewertung von Allokationsverfahren, mit dem Ziel, Wirkungszusammenhänge systematisch zu erfassen sowie Zielgrößen wie Effizienz, Fairness oder Anreizkompatibilität mathematisch abzuleiten. Diese methodische Ausrichtung zeichnet sich durch hohe konzeptionelle Stringenz und theoretische Fundierung aus.

Ergänzende Methoden wie numerische Simulationen, heuristische Optimierungsansätze oder szenariobasierte Analysen treten hingegen deutlich in den Hintergrund und bleiben häufig auf modelltheoretische Szenarien begrenzt. Empirisch fundierte Untersuchungen durch Fallstudien, qualitative Analysen oder Mixed-Methods-Ansätze finden bislang kaum Berücksichtigung. Auch kontextabhängige Einflussgrößen werden selten systematisch integriert. Insgesamt zeigt sich damit ein methodisches Ungleichgewicht, das die Übertragbarkeit theoretischer Konzepte auf reale Entscheidungssituationen limitiert und die Praxisrelevanz der bestehenden Forschung einschränkt.

Ein Großteil der analysierten Studien modelliert Zuteilungsentscheidungen unter der Annahme vollständiger Informationen und stabiler Rahmenbedingungen. Volatilitäten, etwa in der Nachfrage, bei Lieferverfügbarkeiten oder im Verhalten der beteiligten Akteure, werden häufig durch vereinfachende Prämissen substituiert. Nur in wenigen Ausnahmen werden Unsicherheiten explizit modelliert. Die sicherheitsbasierte Modellierung spiegelt einerseits den Anspruch auf analytische Lösbarkeit wider, verweist andererseits aber auf eine potenzielle methodische Lücke im Hinblick auf die Abbildung realitätsnaher Planungssituationen. Insbesondere die Resilienz und Robustheit von Allokationsmechanismen unter Bedingungen eingeschränkter Prognosegüte oder begrenzter Informationsverfügbarkeit werden bislang nur unzureichend behandelt. Daraus ergibt sich ein Bedarf an integrativen Modellansätzen, die deterministische Strukturen um Unsicherheitsdimensionen ergänzen und damit eine höhere Anschlussfähigkeit an praxisrelevante Entscheidungskontexte ermöglichen.

Letztlich zeigt die Literaturanalyse, dass ein Großteil der Beiträge auf einer einstufigen Netzwerkstruktur basiert, in der ein Hersteller Ressourcen oder Kapazitäten an mehrere Bedarfsträger verteilt. Diese strukturierende Annahme dient primär der Komplexitätsreduktion und ermöglicht es, die Wirkmechanismen verschiedener Zuteilungsprinzipien unter klar abgegrenzten Rahmenbedingungen isoliert zu untersuchen. Während sie eine formale Vergleichbarkeit erleichtert, limitiert sie zugleich die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale, vielschichtige Wertschöpfungsstrukturen, wie sie in der industriellen Praxis häufig anzutreffen sind.

Die Frage, wie sich Zuteilungsmechanismen in komplexen, mehrstufigen Produktionsnetzwerken konsistent und wirksam umsetzen lassen, ist bislang nur unzureichend untersucht worden. Der bestehende Forschungsstand bleibt in Bezug auf praktikable Implementierungsansätze abstrakt

und lässt die Anforderungen realer Entscheidungs- und Kollaborationssituationen weitgehend unbeachtet. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit der institutionellen Einbettung erscheint in diesem Zusammenhang notwendig, um bestehende Modellansätze anschlussfähig an die industrielle Realität zu gestalten. Die nachfolgende Abschnittsanalyse (Kap. 3.2.2) vertieft diese Beobachtungen durch einen systematischen Vergleich und eine kritische Bewertung bestehender Zuteilungsansätze.

3.2.2 Vergleich und Bewertung bestehender Ansätze

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Analyse und vergleichende Bewertung ausgewählter Publikationen zur Zuteilung restriktiver Ressourcen. Zur Strukturierung der Analyse wird eine Unterscheidung zwischen zwei grundlegenden Forschungsperspektiven vorgenommen: (1) Studien mit analytisch-formaler Ausrichtung, die auf mathematischen Modellierungen zur Bewertung strategischer Zuteilungsmechanismen basieren, sowie (2) konzeptionelle Arbeiten mit Fokus auf kollaborative Steuerungsansätze in unternehmensübergreifenden Netzwerkstrukturen.

Erstere, darunter insbesondere die Arbeiten von *Cachon und Lariviere (1999)*, *Lu und Lariviere (2012)* sowie *Cai et al. (2022)* zeichnen sich durch eine ausgeprägte analytische Ausrichtung und hohe formale Strenge aus. Im Zentrum dieser Studien steht die modellgestützte Analyse von Anreizmechanismen, Kapazitätsentscheidungen und Nachfrageverhalten im Kontext restriktiver Ressourcen (vgl. Cachon & Lariviere, 1999b; Cai, Li, Song et al., 2022; Lu & Lariviere, 2012).

Im Gegensatz dazu behandeln Beiträge wie jene von *Toth (2008)* und *Hegmanns (2010)* die Herausforderung der Ressourcenallokation aus einer anwendungsnäheren und stärker prozessorientierten Perspektive. Diese Arbeiten fokussieren auf die Gestaltung unternehmensübergreifender Planungs- und Steuerungskonzepte, die insbesondere auf eine kollaborative Bewältigung von Engpasssituationen in komplexen Produktionsnetzwerken abzielen (vgl. Hegmanns, 2010; Toth, 2008).

Diese Unterscheidung bildet die Grundlage für die nachfolgende Bewertung, in der die jeweiligen inhaltlichen Schwerpunkte, methodischen Vorgehensweisen und konzeptionellen Reichweiten der analysierten Arbeiten systematisch in Relation zur Zielsetzung und zum Forschungsinteresse der vorliegenden Dissertation gesetzt werden.

Analytische Allokationsmodelle in abstrahierten Liefernetzwerken

Die Forschungsarbeiten von *Cachon und Lariviere* haben einen bedeutenden Beitrag im Bereich des Operations Management geleistet, besonders in Bezug auf die Untersuchung von Zuteilungsmechanismen und deren Auswirkungen auf das Bestellverhalten von Kunden. Eine ihrer bekanntesten Arbeiten ist „Capacity Choice and Allocation: Strategic Behavior and Supply Chain Performance“ aus dem Jahr 1999, in der sie die strategischen Entscheidungen von Unternehmen in Bezug auf die Kapazitätsauswahl und -allokation untersuchen (vgl. Cachon & Lariviere, 1999b, S. 1093ff.).

Die untersuchten Zuteilungsmechanismen zielen darauf ab, das Risiko von Lieferengpässen oder Überbeständen zu minimieren, indem sie das Bestellverhalten der Kunden beeinflussen. Dabei werden feste Zuteilungen und sogenannte Turn-and-Earn-Vergaben miteinander verglichen. Bei

einer festen Zuteilung garantiert das Unternehmen seinen Kunden im Falle von Kapazitätsengpässen einen festen Anteil an der verfügbaren Kapazität. Im Gegensatz dazu erfolgt bei der Turn-and-Earn-Zuteilung die Vergabe auf Basis von bisherigen Verkaufs- oder Bestellaktivitäten, wobei umsatzstarke Kunden in der folgenden Periode bevorzugt behandelt werden. Kunden, die in der Vergangenheit eine hohe Nachfrage gezeigt oder hohe Umsätze generiert haben, werden in der nächsten Periode mit mehr Kapazitäten belohnt. Diese Praxis wird häufig in Branchen wie der Automobil-, Elektronik-, Pharma- und Konsumgüterindustrie angewendet, die kurzfristigen Nachfrageschwankungen unterliegen können (vgl. Cachon & Lariviere, 1999b, S. 1094ff.). Das Ziel der Turn-and-Earn-Zuteilung besteht darin, die Bedarfsträger dazu zu motivieren, ihre Bestellmengen in der aktuellen Periode zu steigern, um in Zukunft mehr Kapazitäten zu erhalten. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass im Vergleich zu festen Zuteilungen die Turn-and-Earn-Zuteilung in Phasen geringerer Nachfrage höhere Bestellmengen induziert. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Methode eine effektivere Möglichkeit bietet, die Kunden zur Steigerung ihrer Bestellmengen zu motivieren, insbesondere in Zeiten geringerer Nachfrage. Die Methode kann somit als Anreizmechanismus betrachtet werden, der darauf abzielt, das Verhalten der Kunden zu beeinflussen und eine langfristige Zusammenarbeit sowie eine kontinuierliche Umsatzgenerierung zu fördern. Sie stellt ein Beispiel für eine dynamische Zuteilungsstrategie dar, die auf den Prinzipien der Belohnung basiert.

Die beiden Forscher betrachten in ihrer Arbeit eine einstufige Lieferkette, in der ein einzelner Hersteller ein Produkt an mehrere Einzelhändler verkauft. Die Einzelhändler haben jeweils ein lokales Monopol in ihrem Marktgebiet, konkurrieren jedoch miteinander um die begrenzte Kapazität des Lieferanten. Die Frage, der in diesem Zusammenhang nachgegangen wird, ist welche Auswirkungen die verschiedenen Zuteilungsmechanismen auf die Dynamik und Leistung der Lieferkette haben. Dabei stellen die Autoren fest, dass einige Mechanismen die Einzelhändler dazu anregen, ihre Bestellungen wahrheitsgemäß abzugeben, während andere Mechanismen die Einzelhändler dazu verleiten, ihre Bestellmengen zu erhöhen, um ihre Lagerbestände aufzubauen. Die Ergebnisse zeigen, dass in vielen Szenarien die gesamte Lieferkette besser abschneidet, wenn den Bedarfsträgern Anreize geboten werden, ihre Bestellungen zu erhöhen, ohne dabei sensible Informationen offenzulegen. Demzufolge ist die Wahrheitsaussage kein universell erstrebenswertes Ziel. Die Studie liefert in diesem Kontext interessante Einblicke, wie komplexe wirtschaftliche Zuteilungsmechanismen funktionieren können (vgl. Cachon & Lariviere, 1999b, S. 1093ff.).

Cohen-Vernik und Purohit (2014) greifen die Ergebnisse von Cachon und Lariviere auf und weiten das Untersuchungsfeld auf mehrdimensionale Produktportfolios aus. Während frühere Studien den Fokus nämlich ausschließlich auf die Effekte von Zuteilungsmechanismen für den Verkauf einzelner Produkte gelegt haben, analysieren die Autoren die Wirkung verschiedener Zuteilungsmechanismen im Kontext ganzer Produktlinien. Wenn eine Produktverknappung aus einem Engpass resultiert, kann dies dazu führen, dass Bedarfsträger auf eine andere Variante in der Produktlinie ausweichen. Im Zentrum der Arbeit steht daher die Frage, inwieweit die Verkaufshistorie mehrerer Varianten innerhalb eines Produkts Einfluss auf die Allokationsentscheidung nehmen sollte. Dazu entwickeln sie ein analytisches Modell, das sowohl feste als auch Turn-and-Earn-basierte Zuteilungsregeln umfasst. Die zentrale Erkenntnis der Analyse besteht darin, dass

Turn-and-Earn-Mechanismen gegenüber festen Zuteilungen grundsätzlich vorteilhaft für den Anbieter erscheinen, da sie stärkere Anreize zur Nachfragestabilisierung bieten. Die spezifische Ausgestaltung der optimalen Turn-and-Earn-Regel hängt jedoch maßgeblich von der Struktur der Produktlinie und den Substitutionsbeziehungen zwischen den Varianten ab (vgl. Cohen-Vernik & Purohit, 2014, S. 6ff.).

Die Studie von *Lu und Lariviere (2012)* untersucht die dynamischen Wechselwirkungen zwischen Herstellern und Einzelhändlern im Kontext langfristiger Kapazitätsentscheidungen. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Frage, wie verschiedene Zuteilungsregeln Anreize für Investitionen auf Seiten der Bedarfsträger schaffen können. Das Modell berücksichtigt explizit Unsicherheit in der Nachfrageentwicklung und asymmetrisch verteilte Entscheidungskompetenzen. Die Untersuchungen erfolgen auf Basis einer analytischen Modellierung in einer einstufigen Lieferstruktur mit einem Hersteller und einem Einzelhändler. Der Informationsstand ist dabei durch prognostizierbare, aber unsichere Nachfragen charakterisiert (vgl. Lu & Lariviere, 2012, S. 26ff.).

Die Untersuchung von *Cai et al. (2022)* fokussiert auf die Auswirkungen verschiedener Zuteilungsmechanismen in einem kompetitiven Lieferumfeld. Konkret analysieren die Autoren die Zuteilung restriktiver Kapazitäten zwischen einem einzelnen Lieferanten und mehreren Einzelhändlern, die sowohl um Liefermengen als auch um Marktanteile konkurrieren. Im Zentrum stehen dabei zwei Zuteilungsprinzipien: die proportionale und die feste Zuteilung. Die proportionale Zuteilung beschreibt in diesem Kontext einen Mechanismus, bei dem jeder Einzelhändler einen Anteil an der Gesamtkapazität erhält, der seinem relativen Beitrag zur Gesamtnachfrage entspricht. Trägt ein Einzelhändler bspw. 30 % zur Gesamtnachfrage bei, würde ihm bei einer proportionalen Zuteilung entsprechend auch etwa 30 % der Kapazität des Lieferanten zugewiesen werden. Im Gegensatz dazu wird bei einer festen Zuteilung jedem Einzelhändler eine festgelegte absolute Menge der Kapazität des Lieferanten garantiert, die unabhängig von seinem Anteil an der Gesamtnachfrage ist. Diese feste Menge kann dabei identisch oder unterschiedlich für jeden Einzelhändler ausfallen (vgl. Cai, Li, Song et al., 2022, S. 2). Auf Basis eines analytischen Modells wird untersucht, wie sich diese Zuteilungsregeln auf die Bestellmengen, den Großhandelspreis sowie die Gewinnverteilung entlang der Lieferkette auswirken. Dabei zeigt sich, dass feste Zuteilungen unter der Berücksichtigung von verschiedenen Faktoren wie der optimalen Preisgestaltung des Lieferanten zu vergleichbaren Ergebnissen führen können wie proportionale Zuteilungen. Die Modellierung erfolgt unter der Annahme vollständiger Informationen und deterministischer Rahmenbedingungen, sodass relevante Nachfrageinformationen vorliegen und keine Unsicherheiten in der Planung bestehen (vgl. Cai, Li, Song et al., 2022, S. 3ff.).

Die Arbeiten von *Cachon und Lariviere (1999)*, *Lu und Lariviere (2012)*, *Cohen-Vernik und Purohit (2014)* sowie *Cai et al. (2022)* zählen zu den zentralen Studien im Bereich der allokatonsbezogenen Forschung und leisten durch ihre analytisch fundierten Modelle einen wichtigen Beitrag zur konzeptionellen Auseinandersetzung mit Kapazitätsentscheidungen, Anreizwirkungen und strategischem Nachfrageverhalten. Methodisch dominieren in diesen Studien formale Modellierungen mit deterministischen Annahmen, die unter idealisierten Rahmenbedingungen zentrale Einflussfaktoren und Wirkzusammenhänge innerhalb verschiedener Zuteilungsmechanismen untersuchen. Die betrachteten Liefernetzwerke sind dabei zumeist einstufig und Unsi-

cherheiten werden lediglich in stark vereinfachter Weise berücksichtigt. Fragen der organisatorischen Implementierung, der unternehmensübergreifenden Kollaboration sowie der technologischen Voraussetzungen für eine wirksame Steuerung verbleiben weitgehend außerhalb des Untersuchungsrahmens. Auch eine empirische Validierung der theoretischen Annahmen sowie ihre Übertragung auf konkrete Anwendungsszenarien bleibt aus.

Die vorliegende Dissertation erweitert diesen Forschungsstrang sowohl konzeptionell als auch methodisch. Sie verfolgt einen praxisorientierten Ansatz, der die dynamischen, durch Unsicherheit geprägten Planungsbedingungen industrieller Produktionsnetzwerke explizit berücksichtigt. Auf Basis der Design Science Research Methodologie (DSRM) wird eine simulationsgestützte Zuteilungssystematik entwickelt, die auf konkreten industriepraktischen Anforderungen basiert. Die Forschungsarbeit berücksichtigt digitale Möglichkeiten zur Unterstützung unternehmensübergreifender Zusammenarbeit, insbesondere im Hinblick auf eine sichere und transparente Nutzung gemeinsamer Daten. Ergänzt wird sie durch eine empirische Validierung mittels Expertenbefragungen sowie durch eine praxisnahe Simulation im industriellen Anwendungskontext. Damit erweitert die Arbeit den inhaltlichen Fokus über die formale Analyse einzelner Zuteilungsmechanismen hinaus und leistet einen Beitrag zur Ausgestaltung effizienter Zuteilungsmechanismen unter Engpassbedingungen.

Kollaborative Steuerungskonzepte unter Engpassbedingungen

Im Hinblick auf die Entwicklung kollaborativer Steuerungsansätze in Engpasssituationen zählen die Dissertationen von *Toth (2008)* und *Hegmanns (2010)* zu den früh etablierten Arbeiten und liefern eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung interorganisationaler Planungsmodelle. Im Zentrum der Untersuchung von *Toth* steht die Entwicklung eines methodischen Vorgehensmodells zur Identifikation, Anwendung und Bewertung von Engpassstrategien, das besonders auf kurzfristige Planungshorizonte ausgerichtet ist und die Koordination zwischen mehreren Unternehmen adressiert. Der Anwendungsbezug erfolgt exemplarisch für die Automobilindustrie, wobei die Arbeit sowohl strategische als auch operative Fragestellungen integriert.

Toth (2008) unterscheidet in seinem konzeptionellen Rahmenwerk zwischen Gestaltungsfeldern des proaktiven und des reaktiven Engpassmanagements (EM). Während der proaktive Teil präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Engpässen behandelt, fokussiert der reaktive Teil auf Steuerungsmechanismen zur Bewältigung bereits eingetretener Engpasssituationen. Für das proaktive EM wird ein auf Matrizen basierendes Vorgehensmodell zur anwendungsorientierten und situationsspezifischen Auswahl proaktiver Strategien entwickelt. Im Rahmen des reaktiven Ansatzes werden hingegen insbesondere Verfahren zur Priorisierung und Reallokation von Bedarfen und Kapazitäten entwickelt. *Toth* differenziert dabei zwischen zwei Kategorien von Allokationsstrategien: strategiegeleitete Verfahren, die auf auftragsspezifischen Entscheidungsgrößen wie z. B. dem Auftragswert basieren, und neutrale Allokationsregeln, die unabhängig von solchen Merkmalen eine gleichgewichtige Verteilung ermöglichen. Strategien, die auf Entscheidungsgrößen basieren, erlauben eine Priorisierung der Aufträge im Einklang mit unternehmensspezifischen Zielsetzungen. Der Kunde hat in diesen Fällen nur wenig Möglichkeiten Einfluss auf die Verteilungsstrategien zu nehmen. Neutrale Allokationsstrategien ohne feste Entscheidungsgrößen ge-

währleisten dagegen eine gleichberechtigte Behandlung der Kunden, da auftragsbezogene Merkmale bei der Wahl der Zuteilungsstrategie keine Rolle spielen (vgl. Toth, 2008, S. 90ff.). Eine wesentliche Prämisse des Modells ist die Transparenz und Offenlegung relevanter Informationen, wie Bedarfe, Bestände und Kapazitäten durch alle beteiligten Akteure. Nur unter dieser Bedingung kann laut *Toth* eine fundierte Planungsgrundlage geschaffen werden (vgl. Toth, 2008, S. 125ff.). **Tabelle 3-5** zeigt die verschiedenen Allokationsverfahren nach *Toth*.

Tabelle 3-5: Allokationsstrategien nach Toth

Allokationsstrategie		Kurzbeschreibung
Allokationsstrategien mit Entscheidungsgrößen	Priorisierung nach Schlüsselkunden	Kunden sind nicht gleich. Wichtigere Kunden werden bevorzugt behandelt. Die Priorisierung wird individuell festgelegt. Faktoren sind dabei die jährlichen Auftragsvolumina, die strategische Bedeutung des Kunden oder die finanziellen Auftragsumfänge.
	Priorisierung nach Dringlichkeit	Aufträge mit höherer Dringlichkeit werden bevorzugt behandelt. Die Dringlichkeit wird vom Unternehmen festgelegt oder ergibt sich aus der Kombination verschiedener Entscheidungsgrößen.
	Priorisierung nach kürzester oder längster Operationszeit	Aufträge mit der längsten oder kürzesten Bearbeitungszeit werden bevorzugt. Somit können besonders viele oder besonders arbeitsintensive Aufträge schneller abgearbeitet werden.
	Priorisierung nach Liefertermin	Aufträge mit dem frühesten Liefertermin werden als Erstes behandelt, dies ermöglicht eine Maximierung der lokalen Liefertreue.
	Priorisierung nach Auftragswert	Umsatzstarke Aufträge werden priorisiert. Diese Entscheidungsvariable spielt auch bei der Priorisierung nach Schlüsselkunden eine Rolle.
	Priorisierung nach Schlupfzeitregel	Aufträge mit dem kleinsten Terminpuffer werden zuerst abgearbeitet.
	Priorisierung nach Rüstzeitregel	Optimierung der Auftragsreihenfolge nach kürzester Rüstzeit. Somit können die knappen Kapazitäten bestmöglich ausgenutzt werden.
Allokationsstrategien ohne Entscheidungsgrößen	FIFO (first in first out) LIFO (last in first out)	Klassische Zuteilung abhängig von der Reihenfolge des Auftragseingangs, hier sind auch Modifikationen bezüglich der Einbeziehung von Bestellmengen bekannt (vgl. Sprumont, 1991, S. 509 ff.)
	Lineare Allokation	Wird bei Kapazitätsknappheit ein Pauschalbetrag von der Bestellmenge jedes Kunden abgezogen, dann spricht man von einem linearen Allokationsmechanismus (vgl. Cachon und Lariviere, 1999, S. 835 ff.)
	Proportionale Allokation	Bei einer proportionalen Allokation erhält jeder Kunde einen prozentualen Anteil von seiner Bestellmenge. Dieser Anteil berechnet sich aus dem Quotienten der verfügbaren Bestände und Fertigungskapazitäten zusammengefasst unter dem Begriff "lieferbare Menge" und der Summe der tatsächlichen Bestellmengen (vgl. Cachon und Lariviere, 1999, S. 835 ff.)
	Lexikografische Allokation	Nach diesem Mechanismus werden die Händler unabhängig von ihrer Bestellmenge (z. B. alphabetisch) sortiert.
	Allokation nach Auftrags-historie	Verteilung der verfügbaren Kapazitäten nach Auftragseingang.
	Gleichmäßige Allokation	Sortierung der Kunden absteigend nach den Bestellungen sowie eine entsprechende Allokation der verfügbaren Kapazitäten (vgl. Sprumont, 1991, S. 509 ff.)

Auch *Hegmanns (2010)* entwickelt ein konzeptionelles Rahmenwerk für ein flexibilitätsorientiertes, kollaboratives BKM in unternehmensübergreifenden Produktionsnetzwerken. Im Zentrum seiner Überlegungen steht ein strukturierter Planungs- und Entscheidungsprozess zur Reaktion auf Kapazitätsengpässe, die sich nicht durch vorgelagerte Maßnahmen des EM auflösen lassen.

Kernbestandteil des Ansatzes ist dabei die sogenannte Defizitrechnung, mit deren Hilfe die Auswirkungen lokaler Engpässe auf die Erfüllung kundenseitiger Bedarfe ermittelt werden. Ziel ist es, das verfügbare Kapazitätsangebot in einem abgestimmten Prozess auf die einzelnen Bedarfsträger zu verteilen. Hierfür unterscheidet *Hegmanns* zwei grundlegende Handlungsoptionen: Zum einen die Reduktion des verfügbaren Kapazitätsangebots, zum anderen die zeitliche Umverteilung von Bedarfen. Letztere kommt in dem Modell ausschließlich für den Endproduzenten in Betracht, da nur dieser über die notwendige Übersicht verfügt, um verspätete Bedarfserfüllungen sinnvoll zu bewerten und zu terminieren. Für den Fall einer mengenbasierten Zuteilung führt *Hegmanns* zwei Kategorien von Allokationsregeln ein: Prioritätsregeln und Anteilsregeln. Bei Prioritätsregeln erfolgt die Zuteilung in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Rangfolge, die auf der relativen Bedeutung einzelner Kunden für das Unternehmen basiert. Die Zuteilung des Kapazitätsdefizits wird so lange fortgesetzt, bis entweder der Bedarf des jeweiligen Kunden erfüllt ist oder das Defizit vollständig verteilt wurde. Anteilsregeln hingegen bestimmen für jeden Kunden einen prozentualen Anteil am verbleibenden Kapazitätsdefizit, der dann als Zuteilungsgröße dient. Die Auswahl der Regelwerke erfolgt dabei entlang definierter Planungsprämissen und unter Berücksichtigung betrieblicher Zielsetzungen (vgl. *Hegmanns*, 2010, S. 170). **Tabelle 3-6** zeigt die verschiedenen Methoden zur Allokation von Kapazitätsdefiziten.

Im Kontext der Entwicklung kollaborativer Steuerungsmechanismen für Engpasssituationen in großen Produktionsnetzwerken weisen die Dissertationen von *Toth* (2008) und *Hegmanns* (2010) mehrere inhaltliche Überschneidungen mit der vorliegenden Arbeit auf. So behandeln sie die unternehmensübergreifende Kollaboration bei Kapazitätsengpässen und bieten mit den entwickelten Vorgehensmodellen eine differenzierte Grundlage zur Auswahl und Einordnung reaktiver und proaktiver Engpassstrategien. Der Fokus liegt dabei auf einer systematischen Kategorisierung bestehender Zuteilungsregeln sowie auf der Integration dieser Regeln in ein anwendungsorientiertes Steuerungskonzept unter industriellen Rahmenbedingungen.

Die vorliegende Arbeit greift zentrale Erkenntnisse der Autoren auf, erweitert diese jedoch in mehreren zentralen Dimensionen. Während *Toth* und *Hegmanns* eine modellhafte Strukturierung vornehmen, die primär auf der heuristischen Beschreibung und Klassifikation von Zuteilungsmechanismen basiert, zielt die vorliegende Arbeit auf die Integration einer simulationsgestützten, empirisch validierten Zuteilungssystematik ab, die dynamische Entscheidungsprozesse unter Unsicherheit abbildet und auf realen Produktionsdaten aufsetzt. Eine zentrale Erweiterung besteht darin, dass eine Vielzahl praxisrelevanter LZ aus industriebezogenen Anforderungen abgeleitet wurde, auf deren Basis ein zielsystembasiertes Prozessmodell zur Zuteilung entwickelt wurde.

Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz einer simulationsgestützten Methodik die Entwicklung und Bewertung verschiedener Steuerungsszenarien zur Bewältigung von Engpässen in Produktionsnetzwerken. Dies erlaubt die Implementierung von Feedback-Loops, wodurch Entscheidungsprozesse iterativ und datenbasiert bewertet sowie unterschiedliche Szenarien effizient miteinander verglichen werden können. Auf diese Weise lässt sich die Entscheidungslogik flexibel an sich wandelnde externe Einflussfaktoren anpassen.

Tabelle 3-6: Methoden zur Allokation von Kapazitätsdefiziten nach Hegmanns

Allokationsstrategie		Kurzbeschreibung
Allokation nach Priorisierungsregeln	Priorisierung nach Rangfolge	Wichtigere Kunden (Schlüsselkunden) werden bevorzugt behandelt. Die Priorisierung wird individuell festgelegt. Faktoren sind dabei die jährlichen Auftragsvolumina, die strategische Bedeutung des Kunden oder die finanziellen Auftragsumfänge. Defizite werden Kunden mit niedriger Position in der Rangfolge zuerst zugeteilt.
	Priorisierung nach Dringlichkeit	Bedarfe mit höherer Dringlichkeit werden bevorzugt behandelt, d. h. Defizite werden dem Unternehmen mit der geringsten Dringlichkeit des Bedarfs zuerst zugeteilt. Die Dringlichkeit wird vom allozierenden Unternehmen festgelegt, durch den Kunden kommuniziert oder ergibt sich aus der Kombination verschiedener Entscheidungsgrößen.
	Priorisierung nach Auftragsumfang	Bedarfsanforderungen mit besonders kleinem oder besonders großem Umfang werden mit Priorität erfüllt. Das Defizit wird entsprechend des Bedarfsumfangs zugeteilt. Auf diese Weise können besonders viele oder besonders arbeitsintensive Aufträge schneller abgearbeitet werden.
	Priorisierung nach Auftragswert	Aufträge mit dem frühesten Liefertermin werden als Erstes behandelt, dies ermöglicht eine Maximierung der lokalen Liefertreue.
	FIFO (first in first out) LIFO (last in first out)	Das Defizit wird in Abhängigkeit der Reihenfolge des Zugangs der Bedarfsinformationen auf die Kunden zugeteilt.
Allokation nach Anteilsregeln	Lineare Allokation	Das Kapazitätsdefizit wird einheitlich auf alle Kunden verteilt. Eine Pauschale in Höhe des Kapazitätsdefizits geteilt durch die Anzahl der Kunden wird von der Bedarfsanforderung jedes Kunden abgezogen.
	Gleichmäßige Allokation	Allen Kunden wird ein Defizit zugeteilt, das maximal der Höhe der Bedarfsanforderung des Kunden mit der kleinsten Bedarfsanforderung entspricht. Das verbleibende Defizit wird nach dem gleichen Verfahren unter den Kunden mit noch vorhandenen Bedarfen verteilt. Dieser Schritt wird wiederholt bis das Defizit vollständig verteilt ist.
	Proportionale Allokation	Das Kapazitätsdefizit wird proportional auf die Kunden verteilt. Jedem Kunden wird ein prozentualer Anteil seiner Bedarfsmenge abgezogen, sodass in Summe das gesamte Defizit verteilt ist. Der Anteil berechnet sich aus dem Quotienten des Kapazitätsdefizits und der Summe der tatsächlichen Bedarfsmengen.
	Allokation nach Bedarfsvolumen	Die Zuteilung des Defizits erfolgt nach dem Anteil der Bedarfsmengen eines Kunden an der Gesamtbedarfsmenge aller Kunden.
	Allokation mit fixen Anteilen	Die Zuteilung des Defizits erfolgt nach im Voraus definierten, fixen Anteilen für jeden Kunden.

Ein weiterer zentraler Unterschied besteht in der Ausgestaltung der kollaborativen Dimension. Während *Toths* und *Hegmanns* Konzepte auf einer konventionellen unternehmensübergreifenden Abstimmung basieren, adressiert die vorliegende Arbeit die Nutzung digitaler Austauschplattformen zur sicheren Informationsbereitstellung. Diese technologiebasierte Form der Kollaboration wird durch definierte Governance-Strukturen umgesetzt, die den Austausch engpassrelevanter Informationen erleichtern, ohne die Autonomie der beteiligten Unternehmen zu beeinträchtigen. Dadurch wird eine datenbasierte Entscheidungsunterstützung ermöglicht, die sowohl Robustheit als auch Vertraulichkeit in komplexen Netzwerken sicherstellt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die vorliegende Arbeit auf den theoretischen Grundlagen von *Toth* und *Hegmanns* aufbaut, diese jedoch um eine empirisch fundierte, digital erweiterte und praktisch anwendbare Systematik ergänzt. Der inhaltliche Fokus der Arbeit geht über die Auswahl geeigneter Allokationsstrategien hinaus und berücksichtigt zusätzlich die technisch-gestützte Implementierung, simulationsbasierte Evaluation und Governance-konforme Anwendung in realen Produktionsnetzwerken.

3.3 Forschungsagenda und Implikationen für die eigene Arbeit

Ausgehend von der systematischen Auswertung der Literatur und der kritischen Bewertung bestehender Ansätze werden in diesem Abschnitt gezielt die bestehenden Forschungslücken und offenen Fragestellungen herausgearbeitet. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird eine strukturierte Forschungsagenda formuliert, die als Leitlinie für die weitere Untersuchung dient. Die daraus abgeleiteten Implikationen ermöglichen eine klare Positionierung der eigenen Forschungsarbeit im Kontext des aktuellen wissenschaftlichen Diskurses und legen den Grundstein für die Entwicklung eines fundierten theoretischen und methodischen Rahmenwerkes. Im Kontext des Fünf-Phasen-Modells nach *vom Brocke et al. (2009)* bildet dieser Abschnitt die finale Phase des systematischen Literaturrechercheprozesses (vgl. **Abbildung 3-4**).



Abbildung 3-4: Entwicklung der Forschungsagenda (i. A. a. vom Brocke et al., 2009, S. 9)

Die Analyse der einschlägigen Publikationen zeigt, dass wesentliche Fragestellungen zur Zuteilung restriktiver Bauteile in komplexen Produktionsnetzwerken bislang nur in Teilaspekten behandelt wurden. Insbesondere bleiben die Berücksichtigung von Unsicherheit in Form von volatiler Nachfrage- und Lieferbedingungen, die Ausgestaltung kollaborativer Abstimmungsmechanismen zwischen den beteiligten Akteuren sowie der gezielte Einsatz digitaler Technologien zur Entscheidungsunterstützung bislang unzureichend thematisiert. Diese Beobachtungen bilden die Grundlage für eine Forschungsagenda, die im Folgenden entwickelt wird und zugleich das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit begründet.

Ein offener Aspekt besteht in der bislang nur begrenzten Berücksichtigung von Unsicherheit als wesentlichem Merkmal industrieller Produktionsnetzwerke. Viele Ansätze zur Zuteilung restriktiver Bauteile basieren auf deterministischen Annahmen und lassen zentrale Einflussgrößen wie volatile Nachfrageentwicklungen, unsichere Lieferverfügbarkeiten oder eingeschränkte Reaktionsmöglichkeiten beteiligter Akteure weitgehend unbeachtet. Um die Komplexität realer Entscheidungssituationen unter Engpassbedingungen angemessen abzubilden, erscheint eine stärkere Integration von Unsicherheit erforderlich. Hierfür bieten sich stochastische Modellierungen, ro-

buste Optimierungsverfahren sowie systematische Szenarioanalysen an, da sie die Abbildung unterschiedlicher Zukunftsentwicklungen und die Bewertung alternativer Handlungsoptionen ermöglichen.

Ein weiterer Forschungsbedarf ergibt sich hinsichtlich der Integration kollaborativer Steuerungsmechanismen in Zuteilungsprozesse unter Engpassbedingungen. Zwar wird die Bedeutung von Zusammenarbeit in vielen Studien hervorgehoben, jedoch bleibt weitgehend ungeklärt, wie die Zuteilung in automobilen Produktionsnetzwerken transparent und koordiniert gestaltet werden kann. Dies umfasst übergeordnete Fragen der Steuerung und Governance, wie z. B. die Verteilung von Entscheidungskompetenzen oder die Ausgestaltung geeigneter Anreizmechanismen. Darüber hinaus sind operative Abstimmungsaspekte relevant, wie der strukturierte Informationsaustausch, die gemeinsame Planung zukünftiger Bedarfe sowie die Definition nachvollziehbarer und akzeptierter Priorisierungsregeln. Gerade im Kontext restriktiver Bauteile ist eine konsistente Einbindung solcher Kollaborationsmechanismen von besonderer Relevanz, da sie die Akzeptanz und Wirksamkeit von Zuteilungsentscheidungen maßgeblich beeinflusst.

Des Weiteren wird der Einsatz digitaler Technologien in den bisherigen Studien nur begrenzt berücksichtigt. Insbesondere datenbasierte Entscheidungsunterstützungssysteme und digitale Plattformen zur unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit bieten das Potenzial, die Transparenz im Netzwerk zu erhöhen und Reaktionszeiten bei Versorgungsengpässen zu verkürzen. Vor dem Hintergrund steigender Datenverfügbarkeit sowie wachsender Anforderungen an Geschwindigkeit und Flexibilität industrieller Wertschöpfungsprozesse eröffnen sich hier neue Gestaltungsmöglichkeiten. Offene Fragen bestehen hinsichtlich der Rolle digitaler Infrastrukturen bei der Kollaboration zwischen OEMs und Zulieferern sowie der Ausgestaltung technologiegestützter Zuteilungssystematiken. Zu klären ist in diesem Zusammenhang, wie Datenplattformen und Entscheidungsunterstützungssysteme so gestaltet werden können, dass sie sowohl die Effizienz der Ressourcenzuteilung erhöhen als auch Transparenz und Akzeptanz bei den beteiligten Akteuren sicherstellen.

Zusätzlich wird deutlich, dass viele bestehende Studien auf generische Branchenkontexte zurückgreifen, während empirisch fundierte Beiträge mit direktem Bezug zur automobilen Produktion vergleichsweise selten sind (vgl. Cachon & Lariviere, 1999b, S. 1094ff.; Cai, Li, Song et al., 2022, S. 5ff.; Cohen-Vernik & Purohit, 2014, S. 11ff.; Li, Yu et al., 2017, S. 88ff.; Lu & Lariviere, 2012, S. 26ff.; Mallik & Harker, 2004, S. 334ff.). Dies unterstreicht die Relevanz, methodische Ansätze nicht nur konzeptionell zu entwickeln, sondern sie auch im Zusammenspiel mit realen Daten, unternehmensspezifischen Strukturen und praktischen Restriktionen zu validieren. Angesichts der hohen Komplexität, wechselseitigen Abhängigkeiten und dynamischen Rahmenbedingungen globaler Automobilnetzwerke bietet diese Branche ein besonders anspruchsvolles, aber zugleich geeignetes Umfeld, um die praktische Relevanz und Anwendbarkeit theoretischer Konzepte zu überprüfen. Eine stärkere Einbettung der Forschung in konkrete Entscheidungssituationen sowie die Kontextualisierung der entwickelten Ansätze sind daher von zentraler Bedeutung, um die Übertragbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis sicherzustellen.

Auf methodischer Ebene lässt sich feststellen, dass verschiedene Forschungsansätze bislang nur in begrenztem Umfang miteinander verknüpft wurden, wodurch Potenzial für eine integrativere

Herangehensweise besteht. Die Mehrheit der untersuchten Studien stützt sich auf analytische Modelle, während qualitative Methoden zur Kontextualisierung und kombinierte Forschungsdesigns bislang eine eher untergeordnete Rolle spielen. Um die Anschlussfähigkeit theoretischer Modelle an reale Entscheidungssituationen jedoch zu verbessern, ist eine stärkere methodische Öffnung hin zu kontextbezogenen qualitativen Ansätzen notwendig.

Vor dem Hintergrund der identifizierten Forschungslücken setzt die vorliegende Dissertation an mehreren zentralen Schnittstellen an. Ein grundlegendes Forschungsanliegen besteht in der Berücksichtigung von Unsicherheit in Zuteilungsentscheidungen. Durch den Einsatz simulationsbasierter Verfahren können die Auswirkungen von Handlungsmöglichkeiten unter variablen Bedarfen und schwankenden Lieferverfügbarkeiten bewertet und damit die Entscheidungsgrundlage im Engpassfall erheblich verbessert werden. Der Erkenntniswert des Einsatzes dieser Verfahren ist jedoch unmittelbar von der Verfügbarkeit konsistenter Daten sowie geeigneter technologischer Infrastrukturen abhängig. Digitale Entscheidungsunterstützungssysteme und Plattformen für den unternehmensübergreifenden Datenaustausch werden daher explizit in die Konzeption der Zuteilungssystematik einbezogen, um Transparenz und Geschwindigkeit in der Entscheidungsfindung zu fördern.

Darüber hinaus wird die Integration kollaborativer Steuerungsansätze aufgegriffen, um ein abgestimmtes Vorgehen zwischen den beteiligten Akteuren im Produktionsnetzwerk zu ermöglichen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, Zuteilungsentscheidungen nicht nur reaktiv, sondern strategisch abgestimmt und nachvollziehbar zu treffen. Schließlich erfolgt die Einbettung der entwickelten Systematik im Kontext der Automobilindustrie, um theoretische Konzepte anhand realer Daten und Strukturen empirisch zu prüfen. Auf diese Weise entsteht ein konzeptionelles Rahmenwerk, das methodische, organisatorische und technologische Dimensionen integriert und damit sowohl die theoretische Fundierung als auch die praktische Anwendbarkeit von Zuteilungssystematiken weiterentwickelt. Auf dieser Grundlage wird im folgenden Kapitel der empirische Forschungsansatz vorgestellt, mit dem die abgeleitete Forschungsagenda methodisch umgesetzt wird.

4 Empirischer Forschungsansatz und Methodik

Nachdem in Kapitel 2 und 3 die theoretischen Grundlagen, bestehende Ansätze sowie der Forschungsbedarf aufgezeigt wurden, widmet sich das folgende Kapitel nun dem Forschungsansatz dieser Arbeit. In Abschnitt 4.1 wird hierfür die Forschungsstrategie der Design Science Research (DSR) erläutert. Gegenstand des Abschnitts 4.2 ist die Gestaltung des Forschungsansatzes dieser Arbeit und Abschnitt 4.3 fasst die Zwischenergebnisse zusammen.

4.1 Grundlagen der Design Science

„The body of design knowledge is rather fragmented and dispersed (...). Design research should therefore be redirected to more rigorous research, to produce outcomes that are characterized by a high external validity but that are also teachable, learnable, and actionable by practitioners.” - Romme, 2003, S. 569

DSR ist ein gestaltungsorientiertes Forschungsfeld im Kontext von Informationssystemen. Im Fokus des Forschungsansatzes steht die Entwicklung und Evaluation von Artefakten, um wissenschaftlich fundiertes Gestaltungswissen für reale Problemstellungen zu generieren (vgl. Holmström et al., 2009, S. 3; vgl. March & Storey, 2008, S. 726). Der Begriff Design umfasst dabei sowohl den Prozess der Lösungsentwicklung als auch das resultierende Artefakt selbst (vgl. Iivari, 2007, S. 46). Nach Peffers et al. (2007) und van Aken et al. (2016) stellt ein in der Praxis erprobtes, gut dokumentiertes, neuartiges, generisches Design zur Verbesserung relevanter Probleme das zentrale Produkt der DSR dar (vgl. Peffers et al., 2007, S. 50; van Aken et al., 2016, S. 3).

Als Artefakte gelten u. a. Prototypen, Theorien, Modelle oder DP. Sie tragen zur Theorie- und Praxisentwicklung gleichermaßen bei, indem sie abstrakte Erkenntnisse mit praktischer Anwendbarkeit in sich bündeln (vgl. Chandra et al., 2015, S. 4039; Gregor & Hevner, 2013, S. 343ff.; March & Smith, 1995, S. 256ff.). DP abstrahieren spezifische Problemlösungen und ermöglichen dadurch ihre Verallgemeinerung auf Klassen verwandter Problemstellungen (vgl. Gregor, 2006, S. 616).

DSR-Projekte zeichnen sich besonders durch einen iterativen Zyklus aus, in dem erklärende und gestaltende Elemente ineinandergreifen (vgl. van Aken et al., 2016, S. 6). Während die erklärende Komponente Ursachen und Strukturen eines Problems analysiert, fokussiert die gestaltende Komponente auf die Entwicklung, Erprobung und Optimierung von Lösungen in Design-Testing-Redesign-Schleifen. Tests begleiten dabei den gesamten Prozess von der Designphase bis zur Evaluierung der Forschungsergebnisse (vgl. van Aken et al., 2016, S. 7).

4.1.1 Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen

DSR zielt nicht nur auf die Entwicklung innovativer Artefakte ab, sondern auch auf deren Wirkung im praktischen Anwendungskontext. Eine der bedeutsamsten Forschungsarbeit im DSR-Kontext stammt von Hevner et al. (2004). Die Autoren zeigen, dass die Kombination von entwurfstheoretischer Forschung (Design Science) und verhaltensorientierter Forschung (Behavioral Science) eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung belastbaren Gestaltungswissens darstellt (vgl. Arnott, 2006, S. 56; Hevner et al., 2004, 98).

Als methodischen Rahmen entwickeln sie den Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen, der auf drei ineinandergreifenden Zyklen basiert (vgl. **Abbildung 4-1**). Der Relevanzzyklus verbindet Anforderungen aus der Praxis mit der Forschung, der Rigorositätszyklus stellt die Anbindung an fundiertes Vorwissen sicher und der Designzyklus bildet den Kernprozess zur Entwicklung und Evaluation von Artefakten (vgl. van Aken et al., 2016, S. 6). Dieses Zusammenspiel ermöglicht eine kontinuierliche Rückkopplung zwischen Anwendungskontext, Theoriebildung und Artefaktgestaltung (vgl. Hevner, 2007, S. 88).

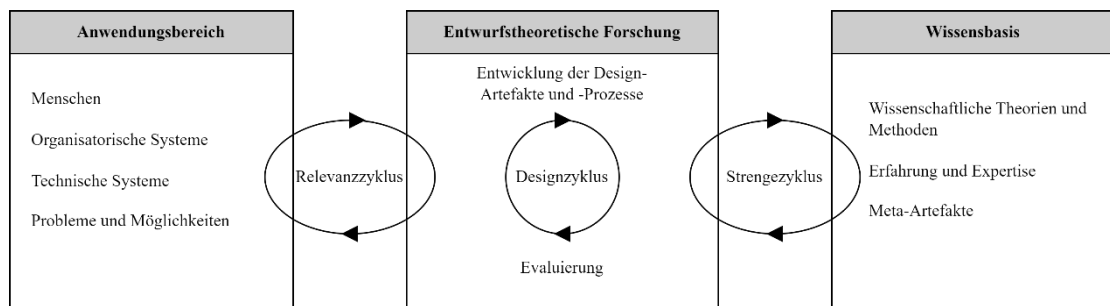


Abbildung 4-1: Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen (vgl. Hevner, 2007, S. 88)

4.1.2 Design Science Research-Methodologie

Ergänzend zum Information-Systems-Research-Ordnungsrahmen von Hevner et al. (2004) formulieren Peffers et al. (2007) ein Prozessmodell, das die systematische Entwicklung von Artefakten innerhalb der DSR unterstützt. Die DSRM strukturiert den Forschungsprozess in sechs iterative Aktivitäten: (1) Problemidentifikation und Motivation, (2) Definition der Ziele der Lösung, (3) Design und Entwicklung des Artefakts, (4) Demonstration im Anwendungskontext, (5) Evaluation der Wirksamkeit sowie (6) Kommunikation der Ergebnisse (vgl. **Abbildung 4-2**). Diese Aktivitäten bilden einen flexiblen Rahmen, der sowohl sequenziell als auch zirkulär durchlaufen werden kann. Um die Vielfalt potenzieller Ausgangszustände zu berücksichtigen, sind dabei vier verschiedene Einstiegspunkte in den Zyklus möglich (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54).

Der problemzentrierte Ansatz beginnt mit der Identifikation eines konkreten Problems oder einer innovativen Forschungsidee und setzt bei der ersten Aktivität des DSR-Prozesses an. Der zielorientierte Ansatz richtet sich hingegen stärker an den Anforderungen von Forschung und Praxis aus und startet entsprechend mit der Definition der LZ als zweiter Aktivität. Der design- und entwicklungsorientierte Ansatz basiert auf einem bereits existierenden Artefakt, das einer bestimmten Problemklasse zugeordnet ist, jedoch bislang nicht im Hinblick auf eine Erweiterung des Anwendungskontexts untersucht wurde. Der Einstieg erfolgt hier über die dritte Aktivität im Prozessmodell. Der kontextinitiierte Ansatz wiederum knüpft an die Beobachtung einer bereits existierenden praktischen Lösung an und startet mit der vierten Aktivität (vgl. Peffers et al., 2006, S. 8).

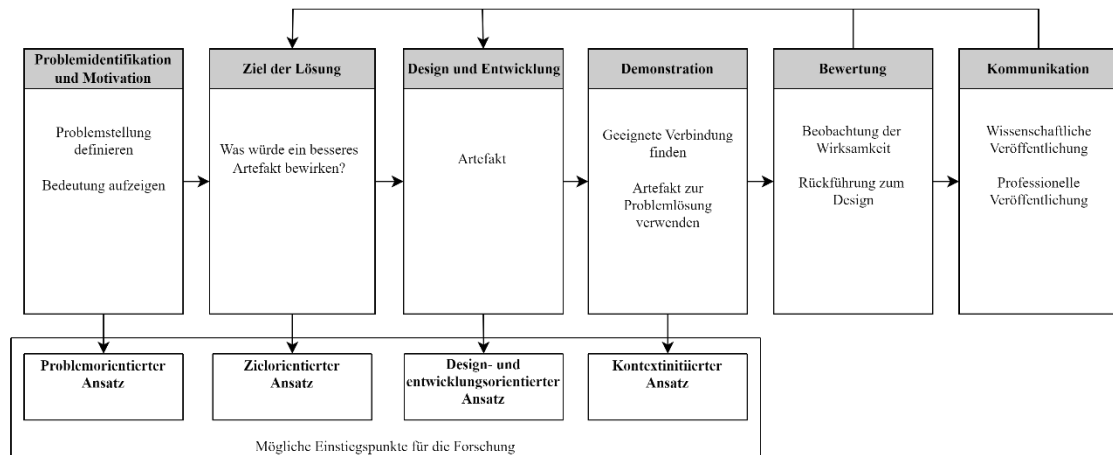


Abbildung 4-2: Prozessreferenzmodell der DSR-Methodologie (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54)

In der vorliegenden Arbeit wurde ein problemzentrierter Einstieg gewählt, der sich aus konkreten Herausforderungen der Zuteilung restriktiver Bauteile in industriellen Produktionsnetzwerken ergibt. Die DSRM bietet hierfür einen geeigneten Ordnungsrahmen, um praxisnahe Lösungen systematisch zu entwickeln, empirisch zu validieren und wissenschaftlich einzuordnen. Zur Umsetzung der DSR-Aktivitäten werden neben konzeptionellen und modelltheoretischen Ansätzen auch empirische Methoden eingesetzt. Eine qualitative Fallstudie ermöglicht dabei eine kontextbezogene Analyse und trägt zur Demonstration und Evaluation der entwickelten Artefakte bei. Die Umsetzung der sechs DSR-Aktivitäten im Rahmen dieser Dissertation wird in Abschnitt 4.2 im Detail beschrieben. Zuvor wird im folgenden Abschnitt auf die Bedeutung von Fallstudien für das methodische Vorgehen eingegangen.

4.1.3 Fallstudien als empirische Forschungsmethode

„A case study is an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real-life context, especially when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident.“ - Yin, 2003, S. 13

Die Wahl einer geeigneten Forschungsmethode richtet sich maßgeblich nach dem Forschungsinteresse und dem Reifegrad des zu untersuchenden Phänomens. Für kontextgebundene Fragestellungen mit begrenztem theoretischem Vorwissen bietet sich eine qualitativ ausgerichtete Fallstudienforschung an. Im Unterschied zu standardisierten quantitativen Verfahren ermöglicht sie eine vertiefte Analyse komplexer Wirkzusammenhänge innerhalb ihres natürlichen Kontexts und trägt so zum Verständnis zugrunde liegender Einflussfaktoren, Interdependenzen und kontextspezifischer Gestaltungsmuster bei (vgl. Clemens & Strübing, 2000, S. 52ff.; Lamnek & Krell, 2024, S. 290ff.).

In der gestaltungsorientierten Forschung ist die Fallstudienmethode besonders relevant, wenn Artefakte nicht isoliert, sondern eingebettet in reale Anwendungskontexte entwickelt und evaluiert werden. Sie ermöglicht es, Wirkungen, Nutzungsbarrieren und Anschlussfähigkeit von Artefak-

ten unter realitätsnahen Bedingungen zu untersuchen und leistet dadurch einen Beitrag zur Theoriebildung im Sinne einer kontextbezogenen Generalisierbarkeit (vgl. Eisenhardt & Graebner, 2007, S. 25; Ketokivi & Choi, 2014, S. 234).

Yin (2018) unterscheidet zwischen Tiefenfallstudien (single case design) und vergleichenden Mehrfallstudien (multiple case design). Vergleichende Mehrfallstudien ermöglichen eine kritische Prüfung der Ergebnisse anhand von Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen den untersuchten Fällen. Auf diese Weise wird die Replikationslogik sichergestellt, wodurch die abgeleiteten Erkenntnisse als repräsentativer, verlässlicher und methodisch robuster gelten (vgl. Eisenhardt, 1989, S. 541; Johnston et al., 1999, S. 209; Yin, 2018, S. 53ff.). Demgegenüber liegt die Stärke von Einzelfallstudien in der vertieften Analyse eines besonders relevanten, komplexen oder innovativen Untersuchungsgegenstands (vgl. Ridder, 2020, S. 85ff.; Yin, 2018, S. 49ff.). Solche Einzelfälle eignen sich besonders für die Untersuchung kritischer, außergewöhnlicher oder neuartiger Situationen, aus denen sich übertragbare, gestaltungsrelevante Erkenntnisse ableiten lassen (vgl. Yin, 2018, S. 49ff.). **Abbildung 4-3** zeigt die generischen Fallstudientypen nach *Yin (2003)*.

Vor diesem Hintergrund folgt die vorliegende Arbeit einem Einzelfallstudienansatz. Das Untersuchungsziel liegt in der eingehenden Analyse eines spezifischen unternehmensbezogenen Anwendungsfalls, der exemplarisch für ein strukturell wiederkehrendes, bislang jedoch theoretisch wenig fundiertes Problem steht. Der ausgewählte Fall zeichnet sich durch eine hohe fachliche und technologische Komplexität sowie ein hohes Innovationspotenzial aus. In Verbindung mit dem explorativen Charakter der zugrunde liegenden Forschungsfragen ergibt sich daraus ein geeigneter Untersuchungsrahmen für eine theoriebasierte Analyse und die gestaltungsorientierte Entwicklung von Artefakten.

Das methodische Vorgehen kombiniert qualitative Datenerhebungen, eine iterative Entwicklung von Artefakten und eine simulationsgestützte Demonstration. Dies ermöglicht es, technische Rahmenbedingungen, organisatorische Strukturen und Formen der Zusammenarbeit zu erfassen und in die Lösungsgestaltung zu integrieren. Der Fallstudienansatz ist daher eng mit dem iterativen Design-Zyklus der DSRM verzahnt und bietet einen geeigneten methodischen Rahmen, um sowohl anwendungsspezifische Anforderungen zu identifizieren als auch abstrahierte DP mit übertragbarem Erkenntniswert abzuleiten.

Die wissenschaftliche Qualität der Untersuchung setzt dabei eine fundierte Auseinandersetzung mit etablierten Gütekriterien voraus. Der folgende Abschnitt widmet sich daher zunächst der theoretischen Herleitung dieser Kriterien, die das konzeptionelle Fundament für die anschließende Bewertung der methodischen Ausgestaltung der Fallstudie bilden.

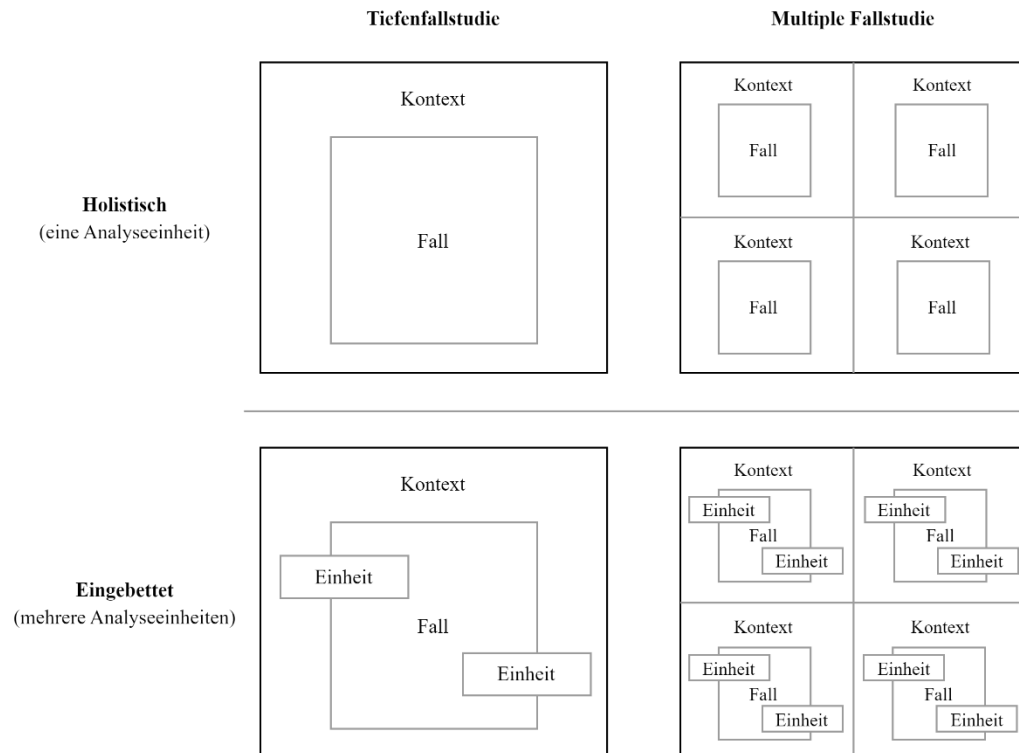


Abbildung 4-3: Basistypen des Fallstudiendesigns (vgl. Yin, 2003, S. 40)

4.1.3.1 Gütekriterien der Fallstudienforschung

Die Qualität empirischer Forschung bemisst sich maßgeblich an der Validität und Verlässlichkeit ihrer Ergebnisse. *Schneeweiß (1999)* betont in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit, empirisch nachzuweisen, dass die gewählte Forschungsmethode die reale Problemsituation adäquat repräsentiert (vgl. Schneeweiß, 1999, S. 107ff.). Zur Bewertung der methodischen Qualität der Fallstudie sowie des Erhebungsprozesses, werden wissenschaftliche Gütekriterien herangezogen. In Anlehnung an *Yin (2003)* umfassen diese die Konstruktvalidität, interne und externe Validität sowie die Reliabilität (vgl. Gibbert et al., 2008, S. 1467; Yin, 2003, S. 34).

Die Konstruktvalidität zielt darauf ab, das Untersuchungsobjekt methodisch konsistent zu erfassen. Dies bedeutet, dass die eingesetzten Instrumente und Verfahren tatsächlich das messen, was theoretisch behauptet wird. Zur Erhöhung der Konstruktvalidität wird empfohlen, verschiedene Datenquellen und Erhebungsverfahren zu kombinieren (methodische Triangulation), um das Phänomen aus unterschiedlichen Perspektiven zu erfassen. Darüber hinaus kann bspw. die Einbindung mehrerer Forscher in die Analyse den Interpretationsspielraum kritisch reflektieren und dadurch die Vielfalt der Perspektiven erhöhen. Ergänzend trägt eine präzise Dokumentation und Vorstrukturierung des Untersuchungsdesigns zur Nachvollziehbarkeit und Transparenz bei (vgl. Döring, 2023, S. 97; Yin, 2018, S. 49ff.).

Die interne Validität bezieht sich auf die Gültigkeit der hergestellten Kausalzusammenhänge und die Kohärenz der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen. Sie kann durch einen systematischen Abgleich der empirischen Befunde mit bestehenden Theorien und Artefakten gestärkt werden.

Dabei ist es wichtig, sowohl Übereinstimmungen als auch Widersprüche theoriegeleitet zu interpretieren. Die Nachvollziehbarkeit und kritische Überprüfbarkeit der Schlussfolgerungen wird durch eine klar strukturierte Argumentationskette sichergestellt (vgl. Döring, 2023, S. 100ff.; Yin, 2018, S. 50ff.).

Die externe Validität betrifft die analytische Generalisierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse, nicht jedoch deren statistische Repräsentativität. In der Fallstudienforschung bedeutet dies, dass Ergebnisse dann als verallgemeinerbar gelten können, wenn sie theoretisch begründet auf vergleichbare Kontexte übertragbar sind. Eine Möglichkeit zur Erhöhung der externen Validität besteht in der Anwendung einer theoretischen Replikationslogik im Rahmen vergleichender Mehrfallstudien. Dabei werden die Fälle so ausgewählt, dass systematische Vergleiche von Gemeinsamkeiten und Unterschieden möglich sind, wodurch die theoretische Fundierung und Robustheit der Ergebnisse gestärkt wird (vgl. Calder et al., 1982, S. 241ff.; McGrath & Brinberg, 1983, S. 115ff.; Yin, 2018, S. 51ff.).

Die Reliabilität beschreibt die Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit einer Untersuchung. Ziel ist es, den Forschungsprozess so zu dokumentieren, dass eine nachfolgende Untersuchung unter identischen Bedingungen zu vergleichbaren Ergebnissen gelangen würde. Dazu zählen eine präzise Darstellung der Fallauswahl, der Datenerhebung sowie der Auswertungsschritte. Einen wesentlichen Beitrag zur Sicherstellung der Reliabilität leisten die nachvollziehbare Argumentationslogik und die systematisch aufbereitete Datenbasis (vgl. Baur & Blasius, 2014, S. 427ff.; Yin, 2018, S. 52).

4.2 Forschungsansatz dieser Arbeit

„The strength of case research is its ability to utilize the various sources of evidence and triangulation procedures to demonstrate convergence on one meaning.” - Johnston et al., 1999, S. 203

Der folgende Abschnitt führt in den methodischen Rahmen der vorliegenden Arbeit ein und beschreibt, wie der Forschungsprozess entlang des DSR-Prozessmodells nach Peffers et al. (2007) strukturiert und umgesetzt wurde. Die Methodologie dient als wissenschaftlicher Bezugsrahmen für die gestaltungsorientierte Entwicklung von Artefakten, da sie ein sequenziell strukturiertes und anwendungsorientiertes Vorgehensmodell liefert. Der Forschungsansatz stützt sich auf eine qualitativ-explorative Fallstudienforschung, die darauf abzielt, ein reales und kontextgebundenes Phänomen zu untersuchen und dessen zentrale Einflussfaktoren sowie Wirkzusammenhänge in der Anwendungspraxis zu analysieren (vgl. Barratt et al., 2011, S. 329; Gibbert et al., 2008, S. 1465).

Das Forschungsinteresse dieser Arbeit liegt in der gestaltungsorientierten Entwicklung von LZ, einem Konzept für ein Prozessmodell sowie abstrahierten DP für die multikriterielle Zuteilung von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten. Die Forschungsarbeit folgt dabei einem problemorientierten Vorgehen im Sinne des DSR-Modells, bei dem die systematische Problemidentifikation und Motivation den Ausgangspunkt für die Entwicklung und Evaluation der Artefakte bildet (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54).

Zur fundierten Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein mehrstufiges Forschungsvorgehen gewählt, das qualitative Fallstudienmethodik mit simulationsgestützter Analyse und quantitativer Auswertung kombiniert. Dadurch lassen sich sowohl die Validität der Forschungsergebnisse erhöhen als auch ein vertieftes Verständnis des untersuchten Anwendungskontextes gewinnen (vgl. Hanson et al., 2005, S. 224; Johnson & Onwuegbuzie, 2004, S. 17; Tashakkori & Creswell, 2007, S. 4).

Zur strukturierten Umsetzung des Forschungsvorhabens wurden die Erhebungsmethoden entlang der sechs Phasen des DSR-Prozesses eingeordnet. **Abbildung 4-4** veranschaulicht die Zuordnung der Methoden im Gesamtzusammenhang. Der folgende Abschnitt erläutert das methodische Vorgehen dieser Arbeit entlang der einzelnen Phasen des Prozessmodells. Dabei werden die eingesetzten Erhebungs- und Analysetechniken jeweils im Hinblick auf ihre Zielsetzung, Durchführung und Rolle im Forschungsprozess beschrieben.

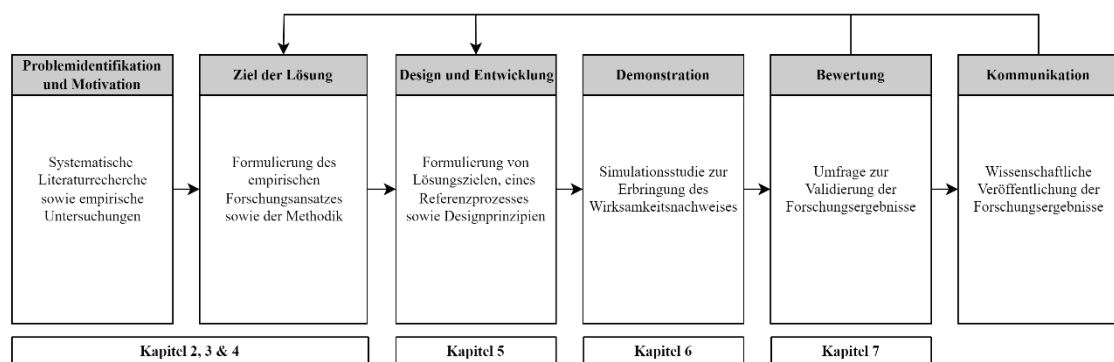


Abbildung 4-4: Forschungsdesign dieser Arbeit (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)

4.2.1 Problemidentifikation und Motivation

Die erste Phase des Prozessmodells dient der Spezifikation und konzeptionellen Strukturierung des Forschungsproblems. Ziel ist es, die Relevanz, Aktualität und Komplexität des Problems zu erfassen sowie den wissenschaftlichen und praktischen Lösungswert der geplanten Entwicklung der Artefakte fundiert zu begründen. Wesentliche Elemente dieser Phase sind die Abgrenzung der adressierten Problemklasse, die Definition der betroffenen Zielgruppe sowie die Beschreibung des zu entwickelnden Artefakts mitsamt seines potenziellen Nutzens für die Anwendungspraxis (vgl. Peffers et al., 2007, S. 55; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 4).

Vor dem Hintergrund eines problemzentrierten Forschungseinstiegs folgt die vorliegende Arbeit konsequent dieser methodischen Logik. Ausgangspunkt der Arbeit stellt die wachsende Komplexität globaler Produktionsnetzwerke dar, die durch Interdependenzen, wachsende regionale Instabilitäten und kurzfristige Störungen geprägt sind. Diese Entwicklungen erschweren die zielgerichtete und effiziente Zuteilung kritischer Ressourcen und stellen bestehende Steuerungsmechanismen vor grundlegende Herausforderungen.

Um den resultierenden Handlungsbedarf zu präzisieren, wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Diese zielte darauf ab, bestehende Allokationsansätze, deren zugrunde liegenden Prämissen sowie ihre Wirkung auf übergeordnete Steuerungsziele kritisch zu bewerten. Dabei

wurden sowohl theoretisch-konzeptionelle Beiträge als auch anwendungsorientierte Studien berücksichtigt. Die Analyse zeigt eine Forschungslücke in der Entwicklung integrierter Konzepte, die datengetriebene Entscheidungslogiken, simulationsbasierte Evaluationsmethoden und unternehmensübergreifende Kollaboration systematisch in komplexen, mehrstufigen Produktionsnetzwerken zusammenführen.

Zur Plausibilisierung der Literaturanalyse und zur praxisnahen Kontextualisierung der Problemstellung wurden ergänzend informelle Gespräche mit Fachvertretern aus Planung, Logistik und IT eines international tätigen Automobilherstellers geführt. Die Gespräche erfolgten im Rahmen begleitender Projektinteraktionen und dienten nicht der systematischen Datenerhebung, sondern unterstützten die Schärfung des Problemverständnisses im Kontext realer industrieller Anforderungen (vgl. Yin, 2018, S. 131ff.). Sie ermöglichten eine Einschätzung typischer Entscheidungslogiken, kritischer Koordinationsengpässe sowie spezifischer Nutzerbedarfe, die in die weitere Zieldefinition einfließen. Die Auswahl der Gesprächspartner erfolgte mit dem Ziel, möglichst unterschiedliche Perspektiven aus Planung, Logistik und IT entlang der automobilen Wertschöpfungskette abzubilden. Dadurch konnten typische Herausforderungen des Allokationsprozesses aus verschiedenen organisatorischen Blickwinkeln validiert und zentrale Anforderungsmuster frühzeitig identifiziert werden. Die Verbindung kontextbezogener Erkenntnisse mit den Ergebnissen der systematischen Literaturanalyse erlaubt eine gezielte Verknüpfung von deskriptivem und präskriptivem Wissen, wie sie für die gestaltungsorientierte Forschung im Sinne der DSR charakteristisch ist (vgl. Gregor & Hevner, 2013, S. 344).

4.2.2 Ziel der Lösung

In der zweiten Aktivität des DSR-Prozessmodells erfolgt die Definition der Ziele der Lösung. Aufbauend auf der Problemidentifikation wird festgelegt, welche Anforderungen eine wirksame Lösung erfüllen muss, um die Problemstellung zu bewältigen. Zieldefinitionen im Sinne der DSR beinhalten dabei sowohl funktionale als auch qualitative Merkmale an das zu entwickelnde Artefakt und dienen zugleich als Bewertungsmaßstab für die nachfolgenden Demonstrations- und Evaluationsphasen (vgl. Peffers et al., 2007, S. 55; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 4).

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Zuteilungssystematik, die eine effiziente und datenbasierte Allokation von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten in großen Produktionsnetzwerken unterstützt. Die Systematik ist als multikriterielles Entscheidungsunterstützungssystem konzipiert, das sowohl technische als auch organisatorische Anforderungen berücksichtigt und kollaborative Entscheidungsprozesse über Unternehmensgrenzen hinweg unterstützt.

Kernziel ist die Entwicklung einer Lösung, die datenbasiert fundierte Entscheidungen in dynamischen Produktionsumfeldern ermöglicht. Zentraler Bestandteil ist ein simulationsgestützter Ansatz, der die schnelle Analyse und den Vergleich alternativer Planungsszenarien unterstützt. Dadurch können potenzielle Auswirkungen im Vorfeld identifiziert, Entscheidungsrisiken unter Unsicherheit reduziert und die operative Stabilität in komplexen Netzwerken gestärkt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Förderung kooperativer Entscheidungsprozesse zwischen Unternehmen. Die entwickelte Systematik unterstützt den gezielten Austausch relevanter Planungsinformationen, wahrt dabei jedoch die Informationssouveränität der beteiligten Akteure.

Technisch wird dies durch die Einbindung föderierter Dateninfrastrukturen und dezentraler Zugriffskonzepte ermöglicht, die eine gleichberechtigte Entscheidungsfindung über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen.

Ein weiteres zentrales Ziel besteht in der organisatorischen Anschlussfähigkeit der entwickelten Systematik. Diese soll sich in bestehende betriebliche Strukturen, technische Systeme und Entscheidungsprozesse integrieren lassen, ohne tiefgreifende strukturelle Anpassungen zu erfordern. Damit wird sichergestellt, dass das entwickelte Modell nicht nur konzeptionell tragfähig ist, sondern auch eine praktische Umsetzung in realen industriellen Anwendungskontexten erlaubt.

Die entwickelte Lösung basiert auf drei wissenschaftlich fundierten Artefakten: (1) praxisbasierter LZ, die aus realen Anforderungen der industriellen Anwendung abgeleitet wurden und als funktionale sowie qualitative Leitlinien für die Systemgestaltung dienen, (2) einem Konzept für ein Prozessmodell zur strukturierten Entscheidungsunterstützung, das die zentralen Abläufe einer datengestützten Zuteilung systematisch abbildet, sowie (3) abstrahierten DP, die die Übertragbarkeit der Lösung auf vergleichbare Anwendungskontexte ermöglichen.

4.2.3 Design und Entwicklung

Die dritte Phase des DSR- Prozessmodells umfasst das Design und die Entwicklung der Artefakte, die zur Lösung des in der ersten Phase spezifizierten Problems beitragen sollen. Ziel dieser Aktivität ist die konzeptionelle Ausgestaltung und iterative Verfeinerung einer praktikablen, theoriegeleiteten und in realen Anwendungskontexten anschlussfähigen Lösung. Im Sinne der Design Science stellt diese Phase die Brücke zwischen der Problemdefinition und der Demonstration dar, indem funktionale sowie nicht-funktionale Anforderungen in konkrete Gestaltungsmerkmale überführt werden (vgl. Peffers et al., 2007, S. 55; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 4).

Die Entwicklung der Artefakte erfolgte im Rahmen einer empirisch ausgerichteten Fallstudie in enger Zusammenarbeit mit einem international tätigen Automobilhersteller. Die Untersuchung basierte auf mehreren strukturierten Iterationszyklen, die Workshops, Expertenbefragungen sowie feedbackbasierte Validierungsformate umfassten. In die Abstimmungen wurden Vertreterinnen und Vertreter zentraler Funktionsbereiche aus Planung, Logistik, Produktion, IT und Forschung eingebunden, um funktionsübergreifende Anforderungen zu erfassen. Ziel war es, die Lösung konsequent an realen betrieblichen Entscheidungs- und Prozessanforderungen auszurichten und gleichzeitig übertragbares Gestaltungswissen im Sinne der DSR zu generieren. Dies wurde durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ermöglicht, in der wissenschaftliche Perspektiven mit praktischer Erfahrung aus der Industrie zusammengeführt wurden (vgl. Dresch et al., 2015, S. 68; Saunders et al., 2007, S. 6ff.; Seufert, 2015, S. 122). Als zentrale Artefakte der Fallstudie zählen:

1. **Praxisbasierte Lösungsziele**, die aus den Anforderungen unterschiedlicher Stakeholder abgeleitet wurden und als normative Grundlage für die Gestaltung der Systematik dienen.
2. **Ein Konzept für ein Prozessmodell**, das den fachlichen Problemkontext strukturiert abbildet und zentrale Entscheidungslogiken, Interaktionen sowie funktionale Abläufe beschreibt.
3. **Designprinzipien**, die aus der empirischen Entwicklung abstrahiert wurden und als wiederverwendbare Regeln die Übertragbarkeit auf ähnliche Problemklassen ermöglichen.

Ein zentraler Bestandteil des Entwicklungsprozesses war die strukturierte Herleitung der LZ, da sie die inhaltliche Grundlage für die Ausgestaltung der Zuteilungssystematik bilden (vgl. Heinrich & Schwabe, 2014, S. 155ff.; Walls et al., 1992, S. 44). Zur methodischen Fundierung wurde ein adaptierter Requirements-Engineering-Prozess eingesetzt, der an die spezifischen Bedingungen des gestaltungsorientierten Forschungsvorhabens angepasst wurde (vgl. Rupp et al., 2009, S. 94ff.; van Lamsweerde, 2000, S. 5ff.). Im Unterschied zu klassisch-technischen Systementwicklungen lag der Fokus nicht ausschließlich auf der Erhebung funktionaler und technischer Anforderungen, sondern auf der systematischen Identifikation praxisrelevanter Zielgrößen, die den Entwicklungsprozess der Zuteilungssystematik konzeptionell strukturieren.

Die initiale Definition erfolgte im Rahmen eines Anforderungsworkshops, in dem gemeinsam mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen betrieblichen Funktionsbereichen zentrale Herausforderungen bei der Zuteilung kritischer Ressourcen identifiziert und in nutzerorientierte LZ überführt wurden. Zur Erhöhung der Konstruktvalidität wurden die Ziele im Verlauf mehrerer iterativer Entwicklungszyklen systematisch validiert, konsolidiert und in übergeordnete Themenfelder überführt. Dieses methodisch fundierte Vorgehen gewährleistete eine enge Verzahnung von Problemverständnis, Zieldefinition und gestalterischer Ausarbeitung. Die so abgeleiteten LZ fungierten nicht nur als inhaltliche Leitlinie für die Konzeption der Zuteilungssystematik, sondern zugleich als strukturierte Grundlage für die spätere Evaluation der Qualität der Artefakte.

Das Konzept für ein Prozessmodell bildet die fachliche, funktionale und organisationale Struktur der entwickelten Zuteilungssystematik ab und dient der systematischen Verankerung der Lösungslogik in den betrieblichen Anwendungskontext (vgl. Steiner & Albert, 2017, S. 2ff.). Die Ausarbeitung des Modells erfolgte iterativ und in enger fachlicher Abstimmung mit den Vertreterinnen und Vertretern jener betrieblichen Funktionsbereiche, die bereits an der Zieldefinition beteiligt waren.

Ausgangspunkt bildete ein erster konzeptioneller Entwurf, der in mehreren strukturierten Feedbackphasen hinsichtlich seiner logischen Konsistenz, funktionalen Eignung und organisatorischen Anschlussfähigkeit validiert wurde. Zur methodischen Strukturierung des Vorgehens wurden Flussdiagramme verwendet, die eine präzise Abbildung der relevanten Entscheidungs-, Informations- und Interaktionsflüsse innerhalb der Systematik ermöglichten.

Ziel des iterativen Abstimmungsprozesses war es, unterschiedliche Perspektiven der beteiligten Akteure zu berücksichtigen und ein robustes Modell zu entwickeln, das sich in bestehende Entscheidungsprozesse integrieren lässt (vgl. Markus et al., 2002, S. 199). Besonderes Augenmerk lag dabei auf der expliziten Abbildung kollaborativer Schnittstellen, der Wahrung von Informationssouveränität zwischen den beteiligten Akteuren sowie der Einbindung simulationsbasierter Bewertungsschritte zur Analyse alternativer Planungsszenarien. Der Entwicklungsprozess ermöglichte die Gestaltung eines Konzepts, das die zentralen Abläufe der Zuteilungssystematik strukturiert darstellt und eine transparente Grundlage für die nachgelagerten Phasen der Demonstration und Evaluation schafft.

Die Ableitung der DP stellte den dritten zentralen Entwicklungsschritt im Rahmen der Artefaktentwicklung dar. Ziel war es, aus den im Gestaltungsprozess gewonnenen Erkenntnissen über-

tragbare Prinzipien zu extrahieren, die über den spezifischen Anwendungsfall hinaus als theoretisch fundierte Leitlinien für die Entwicklung vergleichbarer Zuteilungssystematiken in großen Produktionsnetzwerken dienen können (vgl. Gregor & Hevner, 2013, S. 341; Sein et al., 2011, S. 45).

Grundlage der Ableitung bildeten wiederkehrende Handlungsmuster und typische Entscheidungssituationen, die im Rahmen der Konzeptentwicklung dokumentiert wurden. In mehreren strukturierten Reflexionsphasen mit Fachvertreterinnen und -vertretern aus Planung, Logistik, IT und Forschung wurden dabei zentrale Spannungsfelder sichtbar, die im praktischen Allokationskontext regelmäßig auftreten. Dazu zählen bspw. Zielkonflikte zwischen dem Anspruch auf umfassende Transparenz und der Sicherung dezentraler Entscheidungsautonomie sowie zwischen datenbasierter Planung und der Wahrung von Informationssouveränität.

Die gewonnen Erkenntnisse wurden anschließend abstrahiert, konsolidiert und mit konzeptionellen Rahmenwerken aus der gestaltungsorientierten Forschung abgeglichen (vgl. Chandra Kruse et al., 2016, S. 39). Dieser Abgleich diente nicht nur der Stärkung der internen Validität, sondern insbesondere der Sicherstellung der Anschlussfähigkeit an bestehende Forschungsansätze im Bereich kollaborativer Planung. Darüber hinaus wurden angrenzende Themenfelder wie simulationsbasierte Evaluationsverfahren sowie Informationssouveränität berücksichtigt, um die abgeleiteten Prinzipien in einem breiteren systemischen Kontext zu verorten. Die Dokumentation des Forschungsprozesses stellte darüber hinaus die Reliabilität der Erhebung und Analyse sicher.

Ein exemplarisches Beispiel für ein abgeleitetes DP ist die „Daten- und Informationssouveränität“. Es adressiert die Anforderung, unternehmensübergreifende Entscheidungsprozesse zu ermöglichen, ohne zentrale Datenhaltung oder vollständige Offenlegung sensibler Informationen vorauszusetzen. In hochvernetzten Produktionsnetzwerken stellt der Schutz unternehmenskritischer Daten eine wesentliche Voraussetzung für die Kollaborationsbereitschaft dar. Das Prinzip betont daher die Notwendigkeit technischer und organisatorischer Mechanismen, die es erlauben, relevante Planungsinformationen in föderierten Strukturen auszutauschen. Auf diese Weise kann die Systematik kollaborative Entscheidungen unterstützen, ohne die Souveränität der beteiligten Akteure zu beeinträchtigen. Die vollständige Darstellung und Einordnung der fünf abgeleiteten DP erfolgt in Kapitel 5.4.

Die DP wurden so formuliert, dass sie handlungsleitende Aussagen zur Struktur, zum Ablauf und zu den notwendigen Rahmenbedingungen einer kollaborativen und datengestützten Zuteilungssystematik enthalten. Sie basieren auf konsolidierten Praxisrückmeldungen, wurden mit den Industriepartnern reflektiert und mit den zuvor definierten LZ in Einklang gebracht. Dadurch leisten sie sowohl einen Beitrag zur kontextualisierten Theoriebildung im Sinne der DSR als auch zur methodisch fundierten Übertragbarkeit des entwickelten Gestaltungswissens auf andere Anwendungsfelder.

4.2.4 Demonstration

Nach der Konzeption und Entwicklung der Artefakte folgt im DSR-Prozessmodell die Phase der Demonstration, in der die Eignung der Artefakte zur Lösung der behandelten Problemstellung unter praxisnahen Bedingungen aufgezeigt wird. Ziel dieser Phase ist es, die Anwendbarkeit und Wirksamkeit der entwickelten Systematik anhand konkreter Problem instanzen zu belegen. Im

Sinne der DSR dient die Demonstration als Brücke zwischen konzeptioneller Gestaltung und empirischer Validierung und liefert erste Hinweise auf den praktischen Nutzen der Artefakte in realitätsnahen Kontexten. Mögliche Demonstrationsformen umfassen dabei u. a. Simulationen, Fallstudien oder experimentelle Anwendungen (vgl. Peffers et al., 2007, S. 55; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 4).

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Demonstration im Rahmen einer simulationsbasierten Anwendung, die in Kooperation mit einem international tätigen Automobilhersteller sowie einem spezialisierten Softwareunternehmen realisiert wurde. Im Zentrum stand ein prototypischer Demonstrator, der zentrale Elemente der entwickelten Zuteilungssystematik abbildet und exemplarisch in einem realen industriellen Anwendungsszenario zum Einsatz kam. Die technische Realisierung basierte auf einer Softwarearchitektur, die in der Lage ist, fahrzeugspezifische Auftragsdaten sowie Baubarkeits- und Stücklistenregeln performant zu verarbeiten. Dadurch konnten unterschiedliche Programmplanungsszenarien innerhalb weniger Sekunden bewertet und deren Auswirkungen auf den Teilebedarf analysiert werden.

Als Datenbasis dienten reale Produktionsinformationen des Automobilherstellers für das Kalenderjahr 2022. Der zugrunde gelegte Datenausschnitt umfasste über 505.000 Fahrzeugaufträge, 296 Engpassteile und 2.990 Baubarkeitsregeln für fünf Fahrzeugmodelle. Aufbauend auf diesen Informationen konnten sowohl Primärbedarfe auf Auftragsebene als auch aggregierte Bedarfe für die identifizierten Engpassteile simuliert und im Vergleich zu einem definierten Basisszenario bewertet werden. Der Demonstrator ermöglicht es, unterschiedliche Merkmalsausprägungen, wie bspw. Volumina oder Einbauraten zu variieren und die daraus resultierenden Bedarfsentwicklungen im Vergleich zum Basisszenario systematisch zu analysieren.

Die Demonstration wurde dabei anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls durchgeführt, bei dem eine Bedarfsunterdeckung eines Regensors analysiert wurde, der in der Fahrzeugklimasteuerung verschiedener Modellreihen verbaut ist. Die zentrale Logistikabteilung des Fahrzeugherstellers agierte in diesem Szenario als unternehmensübergreifende Koordinationsinstanz für die Zuteilung des Engpassbauteils. Im Rahmen der Demonstration wurden unterschiedliche Zuteilungsstrategien getestet, um die Auswirkungen veränderter Planungsentscheidungen auf die Kapazitätsausschöpfung sichtbar zu machen.

Die Umsetzung der Demonstration erfolgte über mehrere aufeinanderfolgende Phasen, beginnend mit der Zielklärung und konzeptionellen Rahmensetzung im Oktober 2022 bis hin zur abschließenden Ergebnissynthese und Ableitung gestalterischer Implikationen im Februar 2024. Die wesentlichen Inhalte und Zeiträume der einzelnen Phasen sind in **Tabelle 4-1** zusammengefasst.

Die Demonstration belegte, dass die entwickelte Systematik in der Lage ist, relevante Planungsinformationen simulationsgestützt auszuwerten und potenzielle Auswirkungen von Programmänderungen transparent und effizient abzubilden. Durch die hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit des Demonstrators konnten in kurzer Zeit zahlreiche Simulationsläufe durchgeführt werden, was insbesondere für die Validierung dynamischer Planungsansätze unter realitätsnahen Bedingungen von hoher Relevanz ist. Damit konnte ein erster Nachweis für die Praxistauglichkeit des entworfenen Artefakts erbracht werden. Darüber hinaus lieferte die Anwendung wertvolle Erkenntnisse

über die Skalierbarkeit des Ansatzes, potenzielle Integrationsbarrieren und notwendige Weiterentwicklungen im Hinblick auf eine produktive Umsetzung. Die Demonstration trägt somit zur Erzeugung praxisnahen Gestaltungswissens im Sinne der DSR bei.

Tabelle 4-1: Umsetzungsphasen der Demonstration

Phase	Beschreibung	Zeitraum
Zielklärung und konzeptionelle Rahmensetzung	Definition des Anwendungsfalls, der zentralen Hypothesen sowie der Bewertungsmaßstäbe zur Demonstration des Artefakts	Okt. 2022
Datenaufbereitung und Systemkonfiguration	Integration der realen Produktionsdaten, Konfiguration der technischen Umgebung, Spezifikation der Szenarien und relevanter Parameter	Nov. 2022 – Sep. 2023
Prototypische Umsetzung und Funktionsprüfung	Implementierung des Demonstrators gemäß den spezifizierten Anforderungen, Durchführung erster Tests zur Überprüfung der Funktionalität und Datenverarbeitung	Sep. 2023 – Okt. 2023
Szenarienanalyse und funktionale Validierung	Analyse der Simulationsszenarien, Auswertung der Auswirkungen alternativer Zuteilungsstrategien, Validierung der Funktionalität im realitätsnahen Umfeld	Nov. 2023 – Feb. 2024
Ergebnissynthese und Ableitung gestalterischer Implikationen	Zusammenführung der zentralen Erkenntnisse, Reflexion im Hinblick auf Skalierbarkeit, Übertragbarkeit und Gestaltungswissen, Ableitung von Entwicklungspotenzialen	Feb. 2024

4.2.5 Evaluation

Im Anschluss an die Demonstration folgt im DSR-Prozessmodell die Phase der Evaluation, in der die Effektivität und Wirksamkeit der entwickelten Artefakte systematisch bewertet wird. Ziel dieser Phase ist die fundierte Beurteilung, inwieweit die Artefakte in der Lage sind, die zuvor definierten Anforderungen zu erfüllen und damit sowohl einen praktischen Nutzen als auch einen theoretischen Beitrag zu leisten. Dies umfasst u. a. die Analyse ihrer funktionalen Wirksamkeit, ihrer Nutzerakzeptanz sowie ihrer Anschlussfähigkeit an bestehende Strukturen. Anders als die Demonstration, die den Machbarkeitsnachweis anhand konkreter Anwendungsbeispiele erbringt, zielt die Evaluation auf eine kritische Reflexion der Güte der Artefakte ab. Sie bietet eine strukturierte Grundlage, um Verbesserungspotenziale und Limitationen zu identifizieren und leistet damit eine Grundlage für die Weiterentwicklung im Rahmen iterativer Designzyklen (vgl. Peffers et al., 2007, S. 56).

Je nach Art des Artefakts, Zielstellung der Forschung und Anwendungskontext können dabei unterschiedliche Evaluationsformen zum Einsatz kommen. Von experimentellen Studien über Simulationsanalysen bis hin zu Fallstudien oder empirischen Befragungen richtet sich die Auswahl eines geeigneten Verfahrens dabei nach dem Forschungsinteresse, der Reife des Artefakts sowie den zur Verfügung stehenden Ressourcen. Damit ist die Evaluation nicht nur als abschließende Prüfung, sondern als integraler Bestandteil eines iterativen, theoriegeleiteten Gestaltungsprozesses zu verstehen (vgl. Peffers et al., 2007, S. 56; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 5).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Evaluation auf Basis einer strukturierten Expertenbefragung durchgeführt, um zentrale LZ sowie zugrunde liegende Gestaltungsannahmen kritisch zu reflektieren und weiterführende Erkenntnisse über die Validität und Relevanz der Artefakte zu gewinnen (vgl. March & Smith, 1995, S. 258ff.). Insgesamt wurden 29 Fachexpertinnen und -experten

aus Industrie, Wissenschaft und Beratung befragt. Um differenzierte Perspektiven auf die entwickelte Zuteilungssystematik zu erfassen, wurden die befragten Teilnehmerinnen und Teilnehmer in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasste strategische Stakeholder, die in leitender Funktion tätig sind und maßgeblich an übergeordneten Planungs-, Steuerungs- oder Entwicklungsentscheidungen beteiligt sind. Dazu zählen u. a. Führungskräfte aus den Bereichen Logistik und IT, leitende Vertreter der angewandten Forschung sowie externe Impulsgeber wie Partner aus der Unternehmensberatung. Die zweite Gruppe umfasste dem gegenüber operative Stakeholder, die unmittelbar in die Umsetzung von Bedarfsentscheidungen und das Management kritischer Engpässe im operativen Tagesgeschäft eingebunden sind. Vertreter dieser Gruppe sind u. a. Mitarbeitende der Disposition, der Engpasssteuerung und der Werkslogistik. Diese Differenzierung ermöglichte eine gezielte Analyse sowohl der konzeptionellen Anschlussfähigkeit als auch der praktischen Anwendbarkeit der entwickelten Lösung. Sie trägt darüber hinaus dazu bei, mögliche divergierende Einschätzungen zwischen strategischer Steuerungsperspektive und operativer Umsetzungspraxis systematisch zu erfassen.

Die Befragung zielte auf die Bewertung der in Abschnitt 5.2 abgeleiteten LZ ab, die das funktionale und gestalterische Fundament des entwickelten Konzepts bilden. Damit wurden nicht einzelne Anwendungsergebnisse, sondern die konzeptionellen Grundlagen der Artefaktentwicklung evaluiert. Ein solches Vorgehen hat sich insbesondere in kontextgebundenen und explorativ ausgerichteten Forschungsdesigns bewährt, bei denen das Erkenntnisinteresse auf der theoretischen Fundierung und der Weiterentwicklung domänenspezifischer Gestaltungsansätze liegt (vgl. Sonnenberg & vom Brocke, 2012, S. 387).

Die Befragung erfolgte standardisiert mittels eines digital gestützten Erhebungsinstruments mit insgesamt 33 geschlossenen Fragen. Die Bewertung der Aussagen erfolgte auf einer siebenstufigen Likert-Skala, wobei der Wert 1 eine vollständige Ablehnung und der Wert 7 eine vollständige Zustimmung ausdrückt.

Die Auswertung der Befragung erfolgte mittels deskriptiv-statistischer Verfahren zur Bestimmung zentraler Tendenzen sowie durch inferenzstatistische Analysen in Form von unabhängigen T-Tests zur Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den befragten Gruppen. Insgesamt zeigte sich eine hohe Zustimmung zu den formulierten LZ, insbesondere im Hinblick auf die Förderung von Entscheidungstransparenz, die Unterstützung kollaborativer Steuerungsprozesse sowie die Möglichkeit zur flexiblen Bewertung alternativer Planungsszenarien. Unterschiede zwischen den befragten Gruppen zeigten sich in der Priorisierung der LZ. Während strategische Entscheidungsträger den Nutzen der Systematik primär in der Verbesserung der übergreifenden Transparenz und Entscheidungsnachvollziehbarkeit sehen, hoben operative Akteure den praktischen Nutzen für die Steuerung kurzfristiger Engpasssituationen hervor.

Zur Sicherung der methodischen Qualität wurden zentrale Gütekriterien der empirischen Sozialforschung berücksichtigt. Die inhaltliche Validität wurde durch eine vorgelagerte Pretest-Phase mit ausgewählten Stakeholdern überprüft, um die Verständlichkeit und Zieladäquanz der Fragen sicherzustellen. Objektivität und Reliabilität wurden durch eine standardisierte Durchführung, eindeutig definierte Skalenformate und eine transparente Dokumentation der Auswertung gewährleistet. Die Befragung trägt somit wesentlich zur Bewertung des praktischen Nutzens sowie zur wissenschaftlichen Fundierung der Artefakte im Sinne der DSR bei.

4.2.6 Kommunikation

Die abschließende Phase des DSR-Prozessmodells umfasst die gezielte Kommunikation der im Forschungsprozess gewonnen Erkenntnisse an unterschiedliche Adressatengruppen. Ziel dieser Phase ist es, die Ergebnisse sowohl in den wissenschaftlichen Diskurs zu integrieren als auch für die praktische Nutzung in organisationalen Anwendungskontexten aufzubereiten (vgl. Peffers et al., 2007, S. 56). Entsprechend verfolgt die Kommunikationsphase eine doppelte Zielsetzung: die Erweiterung des wissenschaftlichen Erkenntnisstands durch die theoretisch fundierte Darstellung der Artefakte sowie die Förderung ihrer Anschlussfähigkeit durch den praxisnahen Wissenstransfer (vgl. Hevner et al., 2004, S. 90).

Im wissenschaftlichen Kontext richtet sich die Kommunikation an eine forschungsorientierte Zielgruppe, deren Interesse insbesondere der konzeptionellen Fundierung, der methodischen Nachvollziehbarkeit und der theoretischen Einordnung der entwickelten Artefakte gilt (vgl. Peffers et al., 2007, S. 56; vom Brocke, Hevner & Maedche, 2020, S. 5). Die Verankerung in den wissenschaftlichen Diskurs erfolgte u. a. durch einen Konferenzbeitrag auf der International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC), in dem die entwickelte Zuteilungssystematik, ihre Gestaltungslogik sowie die Ergebnisse der Evaluationsphase vorgestellt wurde. Darüber hinaus wurden die zentralen Artefakte der vorliegenden Dissertation umfassend dokumentiert und hinsichtlich ihrer theoretischen Anschlussfähigkeit reflektiert. Damit wird ein Beitrag zur kumulativen Theoriebildung im Feld der gestaltungsorientierten Forschung geleistet.

Parallel dazu wurden praxisorientierte Kommunikationsformate genutzt, um die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit der entwickelten Lösung in realen betrieblichen Kontexten zu erproben. In mehreren Ergebnispräsentationen und Fachdiskussionen mit Vertreterinnen und Vertretern aus Produktion, Logistik, IT sowie der werksübergreifenden Steuerung des beteiligten Automobilherstellers wurden zentrale Ergebnisse der Zuteilungssystematik vorgestellt. Im Fokus dieser Formate standen dabei die im Rahmen der Demonstration generierten Simulationsergebnisse sowie deren Relevanz für bestehende Entscheidungs- und Steuerungsprozesse. Diskutiert wurden zudem auch konkrete Integrationsmöglichkeiten der entwickelten Systematik in bestehende betriebliche Abläufe. Die Formate dienten nicht nur der Validierung der entwickelten Konzepte aus Anwendungsperspektive, sondern förderten auch die Akzeptanz der Systematik bei potenziellen Anwendern und gaben gezielte Impulse für deren Weiterentwicklung im betrieblichen Kontext.

4.3 Zwischenfazit

In diesem Kapitel wurde der methodische Zugang zu der in Abschnitt 1.2 formulierten Zielstellung sowie zu den daraus abgeleiteten Forschungsfragen hergeleitet. Grundlage bildet das in Abschnitt 4.1 beschriebene Prozessreferenzmodell nach *Peffers et al. (2007)*, das sich durch seine Praxisorientierung besonders zur Strukturierung gestaltungsorientierter Forschungsvorhaben eignet (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54). Ausgangspunkt bildet ein problemzentrierter Forschungseinstieg, der über die Problemidentifikation und Motivation zur Definition der Zielsetzung führt.

In Abschnitt 4.2 wurde das methodische Vorgehen dieser Arbeit entlang der sechs Phasen des DSR-Prozessmodells konkretisiert. Die eingesetzten Erhebungsverfahren wurden den einzelnen Prozessschritten systematisch zugeordnet. Als zentrale Artefakte wurden LZ, das Konzept für ein Prozessmodell sowie generalisierbare DP entwickelt.

Die Demonstration des Artefakts erfolgte durch einen simulationsgestützten Konzeptnachweis, der auf realen Auftragsdaten eines Automobilherstellers basiert. Die Simulation veränderter Planungsszenarien diente dazu, die Auswirkungen auf die Zuteilung kritischer Engpassteile zu untersuchen und daraus fundierte Entscheidungsgrundlagen abzuleiten. Die anschließende Evaluation wurde mittels einer standardisierten Expertenbefragung durchgeführt, in der die Relevanz und Passung der entwickelten LZ im Hinblick auf die Zielsetzung der Zuteilungssystematik beurteilt wurden. Das nachfolgende Kapitel behandelt die anwendungsorientierte Entwicklung der Artefakte. Dabei werden die Forschungsfragen aufgegriffen und schrittweise beantwortet.

5 Entwicklung der Zuteilungssystematik

Gegenstand dieses Kapitels ist die empirisch fundierte Ausarbeitung der Zuteilungssystematik für Engpassteile in großen Produktionsnetzwerken. Diesbezüglich wird in Abschnitt 5.1 zunächst die methodische Vorgehensweise zur Analyse der realen Problemsituation erläutert. Daran anschließend werden in den Abschnitten 5.2 bis 5.4 die drei zentralen Forschungsfragen beantwortet. Zunächst werden LZ formuliert (Abschnitt 5.2), anschließend ein Konzept für ein Prozessmodell entwickelt (Abschnitt 5.3) und schließlich DP abgeleitet (Abschnitt 5.4). Das Kapitel schließt in Abschnitt 5.5 mit einem Zwischenfazit. Im Rahmen des DSR-Prozessmodells wird das folgende Kapitel der dritten Phase des Design- und Entwicklungsprozesses zugeordnet (vgl. **Abbildung 5-1**).

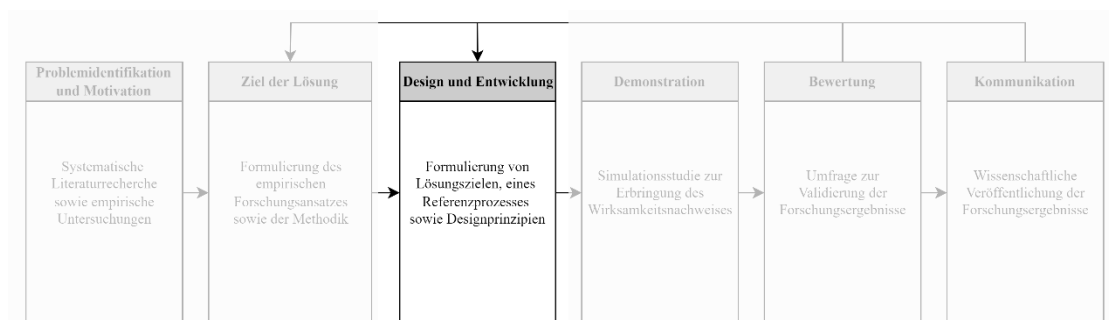


Abbildung 5-1: Verortung der Gestaltungsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)

5.1 Vorgehensweise zur Analyse der realen Problemsituation

In Kapitel 4 wurde das DSR-Prozessmodell nach *Peffers et al. (2007)* als methodischer Ordnungsrahmen eingeführt (vgl. Peffers et al., 2007, S. 54). Der folgende Abschnitt konkretisiert dieses Vorgehen im Rahmen der empirischen Fallstudie. Ziel ist es, eine strukturierte Grundlage für die anschließende Entwicklung der Artefakte zu schaffen. Methodisch orientiert sich der Analyseprozess am Fallstudiendesign nach *Eisenhardt (1989)*, das sich durch eine theoriebasierte Strukturierung empirischer Erkenntnisse und deren Überführung in abstrahierte Gestaltungsprinzipien auszeichnet (vgl. Eisenhardt, 1989, S. 533).

Die Fallstudie wurde als vertiefte Einzelfalluntersuchung konzipiert, da der betrachtete Anwendungsfall durch hohe fachliche Komplexität sowie eine ausgeprägte interorganisationale Abstimmungsichte geprägt ist. Um die damit verbundenen Entscheidungsprozesse, Informationsflüsse und Zielkonflikte im betrieblichen Umfeld besser zu verstehen, wurde ein mehrstufiger, methodisch fundierter Analyseprozess durchgeführt.

Das Vorgehen folgt einem iterativen Prozess, der qualitative und quantitative Datenquellen kombiniert. Zum Einsatz kamen Expertengespräche, Workshops, Prozessdokumentationen und interne Planungsunterlagen sowie Beobachtungen. Die Auswertung erfolgte dabei entlang zentraler Themenfelder, die aus dem vorangestellten Literaturstudium abgeleitet wurden. Auf diese Weise konnten zentrale Herausforderungen, Zielkonflikte und mögliche Lösungsansätze erfasst werden.

Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die empirische Grundlage für die Definition praxisnaher LZ, die Entwicklung des Konzepts für ein Prozessmodell sowie die Ableitung abstrahierter DP. **Tabelle 5-1** veranschaulicht, wie das Fallstudiendesign dieser Arbeit an das Vorgehensmodell von *Eisenhardt (1989)* angelehnt wurde. Dabei werden die einzelnen Prozessschritte des Modells den umgesetzten Maßnahmen im Rahmen dieser Dissertation gegenübergestellt. Die Darstellung zeigt, wie das strukturierte Vorgehen zur theoriebasierten Fallstudienanalyse auf den spezifischen Anwendungskontext übertragen wurde. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte inhaltlich näher erläutert.

Tabelle 5-1: Prozess der Fallstudienforschung

Prozessschritt nach Eisenhardt (1989)	Ziel im Originalmodell	Konkretisierung im Rahmen dieser Arbeit
Getting started	Aufbau einer fundierten Wissensbasis und Formulierung der Forschungsfragen	Identifikation und Analyse der Problemstellung auf Basis von Literatur und Praxiswissen sowie Ableitung der Forschungsfragen
Selecting Cases	Auswahl relevanter Fälle auf Basis theoretischer Relevanzkriterien	Definition der Untersuchungseinheit und Auswahl eines komplexen industriellen Anwendungsfalls
Crafting Instruments, Protocols Entering the Field	Entwicklung geeigneter Erhebungsmethoden und Durchführung der Datenerhebung	Durchführung von Expertengesprächen, Workshops und Dokumentenanalysen
Analyzing Data Shaping Hypotheses	Systematische Auswertung der Daten und Entwicklung erster Konzepte	Auswertung der Fallstudien Daten zur Identifikation zentraler Muster, Zielkonflikte und Wirkzusammenhänge
Enfolding Literature Reaching Closure	Theoretischer Abgleich zur Validierung und Erweiterung der Erkenntnisse sowie Theoriesättigung und Generalisierung der Ergebnisse	Rückkopplung mit relevanter Fachliteratur und Verdichtung der empirischen Erkenntnisse

5.1.1 Problemverständnis und Aufbau der Wissensbasis

Das initiale Literaturstudium diente dem Aufbau einer theoretischen Grundlage für die vorliegende Forschung. Ziel war es, bestehende Konzepte, methodische Ansätze und theoretische Rahmenwerke im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile in großen Produktionsnetzwerken zu identifizieren und kritisch zu bewerten. Auf diese Weise konnten relevante Forschungslücken eingegrenzt werden. Die Analyse ermöglichte zudem die Positionierung des eigenen Forschungsinteresses im wissenschaftlichen Diskurs und lieferte erste Anknüpfungspunkte für die Ableitung zentraler Forschungsfragen. Das Literaturstudium begleitete den gesamten Forschungsprozess, um fortlaufend neue Erkenntnisse und theoretische Impulse in die Entwicklung der Artefakte einfließen zu lassen und eine fundierte konzeptionelle Verankerung der Lösung sicherzustellen (vgl. Eisenhardt, 1989, S. 536; vom Brocke et al., 2015, S. 208ff.; Webster & Watson, 2002, S. 13ff.).

Aufbauend auf der Literaturanalyse wurde das Forschungsinteresse der Arbeit geschärft. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik für restriktive Bauteile mit komplexen Abhängigkeiten. Die Problemstellung ist sowohl aus wissenschaftlicher Perspektive als auch für die betriebliche Praxis von hoher Relevanz, da bestehende Ansätze häufig nur technische, organisatorische oder planerische Aspekte isoliert betrachten. Es fehlt ein inte-

grierter Ansatz, der reale Entscheidungsprozesse, operative Datenverfügbarkeiten und unternehmensübergreifende Zielkonflikte miteinander verknüpft. Insbesondere mangelt es an Konzepten, die simulationsbasierte Analysen und standardisierte Datenaustauschmechanismen kombinieren, um in komplexen Produktionsnetzwerken fundierte Zuteilungsentscheidungen zu ermöglichen und die Reaktionsfähigkeit bei Engpässen zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund wurden die in Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen entwickelt. Als methodischer Bezugsrahmen wurde die DSRM gewählt, um ein systematisches Vorgehen zur Entwicklung, Demonstration und Evaluation gestaltungsorientierter Artefakte sicherzustellen.

5.1.2 Auswahl und Abgrenzung des Untersuchungsfalls

Die vorliegende Untersuchung wurde als eingebettete Einzelfallstudie konzipiert. Den übergeordneten Fall stellt ein international tätiger Automobilhersteller dar, dessen Produktionsnetzwerk als zentrale Untersuchungseinheit dient. Innerhalb des Netzwerks wurden verschiedene Organisationseinheiten und Wertschöpfungspartner als eingebettete Analyseeinheiten definiert, um die Zuteilung kritischer Bauteile unter realen Bedingungen zu untersuchen. Durch die Betrachtung der beteiligten Akteure innerhalb des Produktionsnetzwerkes können die spezifischen Herausforderungen der Zuteilung detailliert erfasst werden. Dies fördert ein tiefes Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren und deren Einfluss auf die Effizienz des gesamten Zuteilungsprozesses (vgl. Eisenhardt, 1989, S. 537).

Die Fallauswahl erfolgte theoriegeleitet, da der Fall sowohl repräsentative als auch besonders herausfordernde Merkmale kollaborativer Zuteilungsentscheidungen aufweist und damit ein hohes Potenzial zur Generierung theoriebasierter Erkenntnisse bietet. Die Automobilindustrie gilt aufgrund ihrer hohen Variantenvielfalt, globalen Vernetzung und ausgeprägten Lieferabhängigkeiten als besonders anfällig für Engpasssituationen. Die tägliche Verarbeitung mehrerer Millionen Einzelteile verdeutlicht die operative Komplexität und macht die Branche zu einem relevanten Untersuchungsfeld für die Entwicklung robuster Zuteilungssystematiken (vgl. Dreher et al., 2023, S. 251).

Zur Kontextualisierung der Fallstudie wurden ergänzende Beobachtungseinheiten einbezogen, darunter weitere Automobilhersteller, Zulieferunternehmen, Beratungsfirmen sowie wissenschaftliche Institutionen. Diese dienten nicht der Ausweitung des Fallstudienkerns, sondern unterstützten die Validierung und Reflexion der Erkenntnisse (vgl. Kochinka, 2010, S. 453ff.). Durch den Einbezug alternativer Perspektiven konnten unterschiedliche Ausprägungen der Engpasssteuerung und bestehender Zuteilungsstrategien identifiziert und ein besseres Verständnis übertragbarer Gestaltungsprinzipien entwickelt werden. **Tabelle 5-2** gibt einen Überblick über die Fallstruktur, die zugrunde liegenden Analyseebenen sowie deren jeweilige Funktion im Rahmen der empirischen Untersuchung.

Tabelle 5-2: Struktur der eingebetteten Einzelfallstudie

Ebene	Bezeichnung	Beschreibung
Fall	Multinationaler Automobilhersteller	Global tätiges Industrieunternehmen mit komplexem Produktionsnetzwerk und hoher Variantenvielfalt in der Fahrzeugfertigung
Untersuchungsebene	Produktionsnetzwerk des Unternehmens	Unternehmensweites Netzwerk bestehend aus Marken, Werken, zentralen Steuerungseinheiten und Zulieferern
Eingebettete Analyseebenen	Organisationseinheiten und Wertschöpfungspartner	Logistik, Beschaffung, Disposition, Produktionsplanung, IT, Forschung sowie ausgewählte Zulieferunternehmen als Wertschöpfungspartner innerhalb des Produktionsnetzwerks
Externe Beobachtungseinheiten	Ergänzende Einheiten zur Kontextualisierung	Weitere Automobilhersteller, Zulieferunternehmen, Beratungsfirmen und Forschungseinrichtungen

5.1.3 Durchführung der Datenerhebung

Die Entwicklung der Erhebungsstrategie sowie der Einstieg in das Feld folgten einem iterativen Vorgehen, das auf eine möglichst umfassende Erfassung der realen Zuteilungspraxis in der Automobilindustrie abzielte. Um ein vertieftes Verständnis für die Entscheidungslogiken, Informationsflüsse und Zielkonflikte innerhalb der Zuteilungsprozesse zu erlangen, wurden im Rahmen der Fallstudienanalyse verschiedene Erhebungsmethoden eingesetzt. Dabei wurden qualitative und quantitative Datenerhebungsverfahren kombiniert, um verschiedene Perspektiven auf das Untersuchungsfeld zu integrieren und die Validität der Erkenntnisse zu erhöhen (vgl. Kelle, 2008, S. 54f.).

Die qualitative Datenerhebung umfasste unstrukturierte Expertengespräche mit Fach- und Führungskräften aus der Logistik, Beschaffung, Disposition, IT und Planung, um implizite Prozesskenntnisse, Erfahrungswissen und organisationale Besonderheiten zu erfassen. Ergänzend dazu wurden Dokumentenanalysen betrieblicher Unterlagen wie z. B. Prozessbeschreibungen, Abstimmungsprotokolle und Präsentationen durchgeführt. Zudem fanden teilnehmende Beobachtungen im Rahmen von Workshops und Abstimmungsterminen statt, um Kommunikationsabläufe, Koordinationsmechanismen und Entscheidungspraktiken im realen Anwendungskontext zu erfassen.

Zur Ergänzung dieser qualitativen Einsichten wurden zwei empirische Datenanalysen durchgeführt, in deren Rahmen historische Zuteilungsdaten ausgewertet wurden. Ziel war es, die Effizienz früherer Zuteilungsprozesse systematisch zu bewerten und Optimierungspotenziale zu identifizieren. Die erste empirische Analyse erstreckte sich über einen Datenerhebungszeitraum von insgesamt 19 Monaten (Januar 2020 bis Juli 2021). Im Rahmen dieser praktischen Untersuchung wurden aufkommende Engpassverdachtsfälle erfasst und ihre Ursachen sowie die Dauer bis zu ihrer Behebung ausgewertet (siehe Anhang A.1 und A.2). Die zweite Datenerhebung umfasste die Auswertung und Analyse historischer Zuteilungen über einen festen Zeitraum von 18 Wochen (März 2022 bis Juni 2022). Im Fokus der Untersuchung stand dabei die Effizienz der Zuteilung, die anhand der Weitergabe nicht ausgeschöpfter Engpassteile gemessen wurde. Da diese Kennzahlen in direktem Zusammenhang mit der Zuteilungssystematik stehen, können sie als Indikatoren für den Optimierungsbedarf herangezogen werden. Die Daten wurden dabei aus unternehmensinternen Systemen extrahiert. Die detaillierten Ergebnisse der Datenerhebung sind im Anhang A.3 dokumentiert.

Die Kombination dieser Methoden ermöglichte es, sowohl prozessuale als auch strukturelle Aspekte der Zuteilungssystematik abzubilden. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in die nachfolgende Zieldefinition und Konzeptentwicklung ein und bildeten die empirische Grundlage für die gestaltungsorientierte Entwicklung der Artefakte.

5.1.4 Analyse und Auswertung der Daten

Die Auswertung der im Rahmen der Datenerhebung gewonnenen Informationen erfolgte in einem mehrstufigen Analyseprozess. Ziel war es, aus den heterogenen Datenquellen konsistente Muster, Wirkzusammenhänge und Gestaltungsbedarfe im Kontext der Zuteilung restriktiver Engpassteile abzuleiten.

Die qualitativen Daten aus den Expertengesprächen, Beobachtungen und Dokumentenanalysen wurden mithilfe der strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz ausgewertet (vgl. Kuckartz, 2014, S. 111). Den Ausgangspunkt bildeten thematische Kategorien, die aus dem vorangestellten Literaturstudium sowie aus der empirischen Exploration abgeleitet wurden. Diese bezogen sich auf Spannungsfelder im Zuteilungskontext, bspw. zwischen Transparenzanforderungen und dezentraler Entscheidungshoheit oder zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und organisatorischen Prozessrestriktionen. Die Ergebnisse wurden in mehreren Rückkopplungsschleifen mit beteiligten Fachexpertinnen und -experten reflektiert und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Lösungsentwicklung priorisiert.

Die Analyse der Prozessdaten erfolgte in quantitativer Form durch die Berechnung von Ausschöpfungsgraden und Planungsabweichungen. Auf Basis historischer Zuteilungsdaten wurde so die Effizienz vergangener Zuteilungsentscheidungen im Hinblick auf Kapazitätsausschöpfung und Planungsstabilität bewertet.

Aus der Synthese der qualitativen und quantitativen Auswertungen ließen sich mehrere übergreifende konzeptionelle Annahmen ableiten, die als Grundlage für die nachfolgende Zieldefinition dienten. Dazu zählen:

- die Notwendigkeit einer transparenten und zugleich datensouveränen Entscheidungsbasis,
- die Relevanz simulationsgestützter Analysen zur Bewertung alternativer Zuteilungsszenarien
- sowie die Bedeutung kollaborativer Schnittstellen zur unternehmensübergreifenden Koordination.

5.1.5 Abgleich mit bestehender Literatur und theoretische Einordnung

Im abschließenden Schritt der Fallstudienanalyse erfolgte ein strukturierter Abgleich der empirisch gewonnenen Erkenntnisse mit relevanter wissenschaftlicher Literatur (vgl. Eisenhardt, 1989, S. 544). Ziel war es, zentrale Beobachtungen theoretisch zu verorten, Anschlussmöglichkeiten zu bestehenden Konzepten zu identifizieren und bisherige Forschungsperspektiven kritisch zu reflektieren.

Dazu wurden insbesondere Beiträge zum kollaborativen BKM (vgl. Hegmanns, 2010; Toth, 2008), zur simulationsgestützten Entscheidungsunterstützung (vgl. Wagenitz et al., 2020) sowie

zur datensouveränen Informationsverarbeitung im Kontext unternehmensübergreifender Wertschöpfung (vgl. Opiel, 2021; Zrenner, 2020) herangezogen. Die in der Fallstudie identifizierten Spannungsfelder, wie z. B. zwischen Transparenz und der Wahrung dezentraler Entscheidungshoheit oder zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Planungsstabilität, lassen sich in ähnlicher Form auch in der bestehenden Fachliteratur wiederfinden. Bisher wurden sie dort jedoch weitgehend getrennt voneinander behandelt und nicht im Zusammenhang betrachtet.

Die in dieser Arbeit entwickelte Zuteilungssystematik, die kollaborative Entscheidungsprozesse, simulationsgestützte Bewertungsverfahren und datensouveräne Informationsverarbeitung integriert, adressiert somit eine bislang wenig erschlossene Schnittstelle zwischen technologischer Machbarkeit, organisatorischer Entscheidungslogik und interorganisationaler Steuerung.

Darüber hinaus zeigt der Vergleich mit bestehenden Forschungsarbeiten, dass viele publizierte Ansätze zur Engpasssteuerung stark vereinfachte Annahmen über Entscheidungslogik und Datenverfügbarkeit treffen und betriebsspezifische Rahmenbedingungen nur unzureichend abbilden. Die vorliegende Analyse ergänzt den Stand der Forschung daher um Einblicke in strukturelle Barrieren und gestaltungsrelevante Einflussfaktoren im industriellen Anwendungskontext.

Die Rückbindung an bestehende Literatur diene somit nicht nur der Validierung der Erkenntnisse, sondern bildete zugleich die Grundlage für die gezielte Identifikation bestehender Forschungslücken. Auf diese Weise trägt die Analyse zur Sättigung bestehender Theorien bei und bildet den Ausgangspunkt für die systematische Entwicklung praxisnaher LZ, die im nächsten Abschnitt dargestellt wird.

5.2 Lösungsziele der Zuteilungssystematik

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Zuteilungssystematik dient als Orientierungsrahmen zur verbesserten Steuerung von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten in großen Produktionsnetzwerken. Sie soll die bereichsübergreifende Zusammenarbeit stärken und die Zuteilung restriktiver Bauteile effektiver gestalten. Im Zentrum steht dabei die prozessorientierte Umsetzung im betrieblichen Anwendungskontext. Der folgende Abschnitt leitet daraus praxisnahe LZ ab, die als funktionale und gestalterische Anforderungen an die Systematik dienen. Diese bilden zugleich die Grundlage zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage:

Forschungsfrage 1: Welche Lösungsziele sind durch die multikriterielle Zuteilungssystematik zu erfüllen?

LZ bezeichnen spezifische Zielgrößen, die mit der Entwicklung eines Artefakts erreicht werden sollen und seine funktionale sowie gestalterische Ausrichtung bestimmen. Sie definieren die Anforderungen, denen eine Lösung genügen muss und dienen zugleich als Bewertungsmaßstab für deren Wirksamkeit und Anschlussfähigkeit (vgl. Alismail et al., 2017, S. 218ff.; Heinrich & Schwabe, 2014, S. 9).

Im Kontext dieser Arbeit stellen die LZ zentrale Kriterien dar, an denen sich die Gestaltung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik für restriktive Ressourcen orientiert. Sie erfassen sowohl funktionale Anforderungen (z.B. Steuerungsfähigkeit und Transparenz) als auch gestaltungsbe-

zogene Rahmenbedingungen (z.B. Datenverfügbarkeit und Kooperationsfähigkeit) und ermöglichen eine systematische Ableitung von Konzeptbausteinen und DP (vgl. Koppenhagen et al., 2012, S. 6; Walls et al., 1992, S. 43).

Nachfolgend wird in Abschnitt 5.2.1 das methodische Vorgehen zur Formulierung der LZ beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 5.2.2 die konkreten LZ abgeleitet. Eine zusammenfassende Einordnung erfolgt in Abschnitt 5.2.3.

5.2.1 Vorgehensweise zur Formulierung der Lösungsziele

Zur systematischen Entwicklung der LZ wurde ein an die Anforderungen des Forschungsvorhabens adaptierter Requirements-Engineering-Prozess angewendet (vgl. Rupp et al., 2009, S. 94ff.; van Lamsweerde, 2000, S. 5ff.). Im Unterschied zur klassischen Ableitung funktionaler Systemanforderungen stand hier die präzise Formulierung von Zielgrößen im Fokus, die als Grundlage für die Gestaltung der Artefakte dienen. Der zugrunde liegende Prozess folgte einem mehrstufigen Aufbau, der die systematische Erhebung, inhaltliche Analyse, präzise Spezifikation sowie eine abschließende Validierung der LZ beinhaltete (vgl. **Abbildung 5-2**).

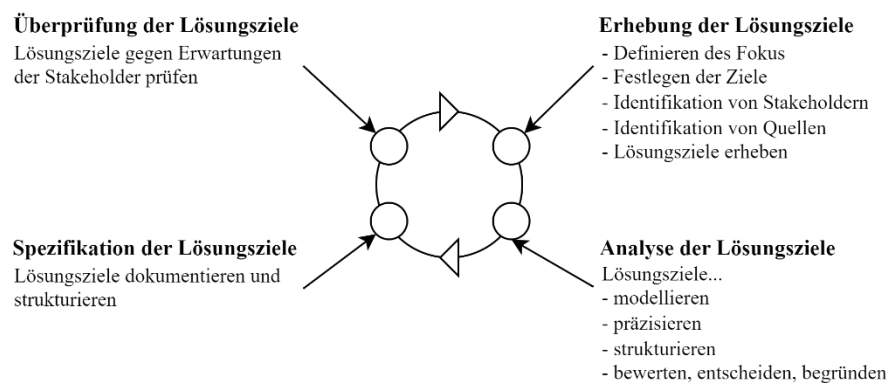


Abbildung 5-2: Iterativer Requirements-Engineering-Prozess (i. A. a. Broy & Kuhrmann, 2021, S. 213)

Im Zuge der Erhebung der LZ wurde zunächst eine systematische Bedarfsermittlung durchgeführt, um den relevanten Problemraum zu erfassen und den inhaltlichen Fokus der zu entwickelnden Zuteilungssystematik festzulegen. Dieser Schritt diente als analytische Grundlage für die spätere Formulierung konkreter LZ und trug dazu bei, ein gemeinsames Problemverständnis unter den beteiligten Akteuren zu schaffen.

Ein zentraler Bestandteil dieses Prozessschrittes war die Identifikation relevanter Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette. In einer Stakeholderanalyse wurden unterschiedliche Akteursgruppen aus den Funktionsbereichen Vertrieb, Logistik, Disposition, IT und Beschaffung sowie externe Partner aus Zulieferindustrie und Forschung erfasst. Für jede dieser Gruppen werden spezifische Anforderungen, Informationsbedarfe und Einflussbereiche dokumentiert. Die Analyse verdeutlichte dabei, dass die Zuteilung restriktiver Bauteile nur durch eine koordinierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit effektiv gesteuert werden kann.

Auf dieser Grundlage wurden die übergeordneten Zielsetzungen der Zuteilungssystematik abgeleitet und in konkrete, nutzerzentrierte LZ überführt. Zur strukturierten Erfassung erfolgte ihre Beschreibung in Form von sogenannten User Stories, die Anforderungen aus der Perspektive konkreter Anwendungsrollen formulieren (vgl. Lucassen et al., 2016, S. 205). Dieses Vorgehen ermöglichte eine verständliche, rollenbezogene Darstellung der LZ, die folgendem standardisierten Format folgte:

„Als [Benutzerrolle], möchte ich [Ziel oder Aktion], um [Grund oder Nutzen] zu erreichen.“

Die Formulierung der Ziele erfolgte im Rahmen von zwei interdisziplinären Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern aus den betroffenen Bereichen. Zur Dokumentation der Ziele wurde die Kanban-Methode verwendet, die eine iterative Priorisierung und Weiterentwicklung der Zielbeschreibungen unterstützte (vgl. Corona & Pani, 2013, S. 1ff.). Jede User Story wurde dabei auf einer Karte dargestellt, sodass inhaltliche Diskussionen direkt am Kanban-Board geführt werden konnten.

Die anschließende Analyse der LZ diente der inhaltlichen Schärfung, Strukturierung und Bewertung der Zielgrößen. Zu Beginn wurden alle formulierten Ziele gemeinsam mit den beteiligten Akteuren diskutiert, bei Bedarf sprachlich präzisiert und hinsichtlich ihrer Eindeutigkeit sowie Konsistenz überarbeitet. Dies ermöglichte eine erste qualitative Bewertung der Zielaussagen und trug zur Identifikation und Auflösung inhaltlicher Redundanzen bei.

Im Anschluss daran erfolgte eine systematische Kategorisierung der LZ. Durch die Zuordnung zu thematischen Clustern konnten inhaltliche Zusammenhänge, funktionale Abhängigkeiten und potenzielle Zielkonflikte besser erkannt und analysiert werden. Gleichzeitig wurde dadurch die kommunikative Vermittlung der Ergebnisse erleichtert. Die finale Struktur umfasst die folgenden vier übergreifenden Kategorien, die zentrale Gestaltungsbereiche der Zuteilungssystematik abbilden: (1) Steuerung und Flexibilität, (2) Transparenz und Vernetzung, (3) Standardisierung und Zentralisierung sowie (4) Simulation.

Aufbauend auf der Analyse erfolgte die Spezifikation der LZ. Diese diente der strukturierten Dokumentation und methodischen Absicherung der zuvor erarbeiteten Zielgrößen. Ziel der Spezifikation war es, Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Konsistenz sicherzustellen und zugleich eine Grundlage für die spätere Evaluation und Umsetzung des Artefaktes zu schaffen. Die dokumentierten Ergebnisse wurden in einem zentralen Repository versioniert abgelegt, für alle Teilnehmer zugänglich gemacht und über den gesamten Forschungsprozess hinweg fortgeschrieben. Durch diese Vorgehensweise wurde gewährleistet, dass die Zieldefinition kontinuierlich rückverfolgbar und inhaltlich konsistent blieb.

Der letzte Schritt beschreibt die Überprüfung der LZ. Um ihre Konsistenz, Relevanz und praktische Umsetzbarkeit zu prüfen, erfolgte abschließend die Validierung durch gezieltes Feedback von Fachexpertinnen und -experten. Die Rückmeldungen bestätigten die Zielstruktur in weiten Teilen, gaben jedoch auch Hinweise und Optimierungspotenziale in Bezug auf die Nutzerorientierung und Integration in bestehende Prozesse. Dies trug zur Qualitätsverbesserung, Risikominimierung sowie zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses bei, da potenzielle Herausforderungen frühzeitig identifiziert und entsprechende Anpassungen und Verbesserungen vorgenom-

men werden konnten. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Feedback in Form von Ergebnispräsentationen und einer standardisierten Befragung gesammelt. Auf dieser Grundlage konnten konsensbasierte LZ formuliert werden, die als Grundlage für die anschließende Konzeptentwicklung dienten.

5.2.2 Formulierung der Lösungsziele

Ziel der Definition von LZ ist es, ein fundiertes Verständnis über die Anforderungen, Zielkonflikte und Prioritäten sämtlicher relevanter Stakeholder zu entwickeln. Dadurch wird eine gemeinsame Ausrichtung und Verständigung unter allen Beteiligten gefördert und die Zusammenarbeit erleichtert (vgl. Becker, 2005, S. 12). Insgesamt lassen sich die LZ der Zuteilungssystematik den folgenden vier übergeordneten Handlungsfeldern zuordnen: (1) Steuerung und Flexibilität, (2) Vernetzung und Transparenz, (3) Standardisierung und Zentralisierung sowie (4) Simulation. Diese Kategorien bilden die Grundlage für die anschließende Ableitung und Beschreibung der spezifischen Ziele (vgl. **Tabelle 5-3**). Im Folgenden werden die spezifischen LZ der jeweiligen Kategorien differenziert dargestellt und mit Bezug zur Analyse sowie zur relevanten Fachliteratur erläutert.

Tabelle 5-3: Kategorien der Lösungsziele

Nr.	Kategorie	Kurzbeschreibung
K1	Steuerung und Flexibilität	“Steuerung und Flexibilität“ zielt darauf ab, knappe Ressourcen effizient zu nutzen und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeiten an sich ändernde Bedingungen oder unerwartete Herausforderungen zu gewährleisten.
K2	Vernetzung und Transparenz	"Vernetzung und Transparenz" bezieht sich auf den Grad der offenen Kommunikation, der Zusammenarbeit und dem Informationsaustausch zwischen verschiedenen Akteuren und Systemen, um knappe Ressourcen effektiv zu steuern und zuzuteilen.
K3	Standardisierung und Zentralisierung	"Standardisierung und Zentralisierung" ist darauf ausgerichtet, einheitliche Prozesse, Richtlinien und Verantwortlichkeiten zu schaffen, um den Umgang mit kritischen Ressourcen zu verbessern.
K4	Simulation	"Simulation" bezieht sich darauf, dass Modelle verwendet werden, um verschiedene Szenarien zu testen und die Auswirkungen von Entscheidungen oder Ereignissen im Zusammenhang mit der Zuteilung von kritischen Ressourcen zu analysieren.

5.2.2.1 Steuerung und Flexibilität

Die erste Kategorie ist die Steuerung und Flexibilität. Diese umfasst sechs LZ, die darauf abzielen, eine robuste, anpassungsfähige Steuerung bei der Zuteilung restriktiver Bauteile zu ermöglichen. Im Mittelpunkt stehen dabei Aspekte wie eine verlässliche Bedarfskommunikation, lernfähige Zuteilungssysteme und kollaborative Entscheidungsprozesse. Eine vollständige Übersicht aller LZ dieser Kategorie findet sich die **Tabelle 5-4**. Zur Verdeutlichung der inhaltlichen Ausrichtung werden im Folgenden drei exemplarische LZ näher erläutert. Sie stellen zentrale Anforderungen an eine datenbasierte, adaptive Zuteilungssystematik in großen Produktionsnetzwerken dar.

Lösungsziel 1 (LZ 1): Kontinuierliche Bedarfskommunikation

Eine kontinuierliche, transparente Kommunikation der Bedarfe ohne abrupte Übergänge zwischen Planungshorizonten ist essenziell für die Stabilität und Effizienz der Lieferkette. In der Praxis stellen plötzliche Änderungen der Bedarfsplanung, kurzfristige Bestellanpassungen oder unzureichend kommunizierte Bedarfsinformationen zentrale Ursachen für Versorgungsengpässe dar. Lieferanten können in solchen Fällen ihre Produktions- und Logistikprozesse nicht rechtzeitig anpassen, was die Stabilität und Reaktionsfähigkeit der Lieferkette erheblich beeinträchtigen kann (vgl. Moder, 2008, S. 210).

Durch eine kontinuierliche Bedarfskommunikation erhalten Lieferanten fortlaufend Einblick in aktuelle und geplante Bedarfe. Abweichungen von ursprünglichen Vorausschauwerten werden rechtzeitig transparent gemacht. Dies erlaubt es ihnen, ihre Kapazitätsplanung und Materialdisposition auf verlässlicher Basis vorzunehmen. Die Stabilisierung der Informationsflüsse trägt damit zur Verbesserung der Reaktionsfähigkeit der Lieferanten bei und stärkt zugleich das Vertrauen sowie die Zufriedenheit innerhalb der partnerschaftlichen Zusammenarbeit.

Im Kontext der Zuteilungssystematik bildet eine stabile Informationsbasis die Grundlage für transparente Entscheidungsprozesse und eine adaptive Steuerung kritischer Bauteile entlang dynamischer Bedarfsverläufe. Fehlende oder verspätet bereitgestellte Informationen können zu ineffizienten Zuteilungsentscheidungen und erhöhtem Koordinationsaufwand führen.

Lösungsziel 2 (LZ 2): Datenadaptive Allokationssteuerung

Ziel dieses LZ ist die Entwicklung einer lernfähigen Zuteilungslogik, die sich auf Basis vergangener Allokationsentscheidungen, Umgebungsbedingungen und Ergebnismeldungen kontinuierlich verbessert. Durch den Einsatz datengetriebener Entscheidungsmodelle und KI sollen Allokationsvorschläge generiert werden, die sich dynamisch an veränderte Rahmenbedingungen anpassen und den Allokationsprozess beschleunigen sowie qualitativ verbessern (vgl. Wagner et al., 2023, S. 89).

Grundlage bildet die automatisierte Erfassung, Verarbeitung und Analyse von Prozessdaten, auf deren Basis eine ereignisgesteuerte Ableitung von Handlungsoptionen erfolgt. Historische Zuteilungsergebnisse dienen dabei als Referenzrahmen, der kontinuierlich mit aktuellen Szenarien abgeglichen wird. Wenn sich ein alternatives Allokationsszenario im Abgleich als effizienter erweist, wird dieses automatisch als neue Referenz hinterlegt. Daraus entsteht ein lernender Regelkreis, der sich selbstständig optimieren kann und eine konvergente Entwicklung der Entscheidungsqualität unterstützt.

Zusätzlich trägt der Einsatz lernender Systeme zur Wissenssicherung im Unternehmen bei. Entscheidungslogiken, die bislang implizit in individuellen Erfahrungswerten verankert waren, werden durch systematische Datenanalysen und maschinelles Lernen in explizites, wiederverwendbares Wissen überführt (vgl. Bünnagel, 2024, S. 35; Ottersböck et al., 2024, S. 1ff.). Dies wirkt dem Risiko entgegen, dass strategisch relevantes Wissen beim Ausscheiden erfahrener Entscheidungsträger verloren geht.

Lösungsziel 3 (LZ 3): Koordinierte Allokation mit Partnern

Die Zuteilung restriktiver Bauteile in globalen Produktionsnetzwerken erfordert eine enge Abstimmung zwischen den beteiligten Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Ziel dieses LZ ist die Etablierung kollaborativer Entscheidungsprozesse, um die Steuerung der Ressourcen effizienter, transparenter und resilienter zu gestalten.

Eine zentrale Voraussetzung hierfür ist die Bereitschaft der beteiligten Akteure, relevante Steuerungsinformationen wie z.B. Bedarfsprognosen, Kapazitäten oder Bestände unter definierten Rahmenbedingungen offen auszutauschen. Durch die unternehmensübergreifende Integration dieser Daten können unterschiedliche Informationsstände ausgeglichen und Entscheidungsprozesse auf eine gemeinsame Datengrundlage gestützt werden. Dies erhöht die Verlässlichkeit und Nachvollziehbarkeit von Allokationsentscheidungen in großen Produktionsnetzwerken.

Auf dieser Basis lassen sich kritische Ressourcen vorausschauender einsetzen, potenzielle Lieferengpässe frühzeitig identifizieren und Gegenmaßnahmen gezielt koordinieren. Methodisch bieten Konzepte wie Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) eine strukturierte Grundlage, um solche partnerschaftlichen Abstimmungsprozesse zu organisieren. Sie tragen dazu bei, die Planung zu harmonisieren und eine höhere Synchronisierung der Materialflüsse über Unternehmensgrenzen hinweg zu erreichen (vgl. Hollmann et al., 2015, S. 975ff.).

Dieses LZ fokussiert nicht auf einzelne Ebenen innerhalb des Produktionsnetzwerks, sondern zielt auf die Gestaltung eines skalierbaren Koordinationsrahmens ab, der sowohl vertikal (innerhalb der Supply Chain) als auch horizontal (zwischen Organisationen auf derselben Stufe) wirkt. Dabei stellen geeignete technische Schnittstellen, Verantwortlichkeitsverteilungen sowie Modelle für den souveränen und kontrollierten Austausch von Daten zentrale Gestaltungsfaktoren dar.

Im Kontext der Zuteilungssystematik bedeutet dies, dass Entscheidungen über die Verteilung restriktiver Bauteile nicht isoliert durch einzelne Akteure erfolgen, sondern im Rahmen eines abgestimmten, methodisch gestützten Entscheidungsprozesses. Die Systematik schafft die Grundlage dafür, dass alle Beteiligten auf konsistente, aktuelle und relevante Informationen zugreifen können. Dadurch werden koordinierte Entscheidungen auf Basis geteilter Prioritäten ermöglicht. Dies unterstützt eine schnellere und zielgerichtete Reaktion auf Veränderungen im Netzwerk und verbessert die Gesamtsteuerungsfähigkeit des Produktionsnetzwerkes.

Tabelle 5-4: Lösungsziele des Handlungsfelds Steuerung und Flexibilität

Nr.	Lösungsziel	Kurzbeschreibung (User Story)	Themenfeld
LZ 1	Kontinuierliche Bedarfskommunikation	Ich als Planer benötige eine möglichst stabile und durchgängige Bedarfskommunikation ohne Sprünge zwischen den Planungshorizonten, um die Versorgung kostenoptimal steuern zu können.	Bedarfs- transparenz
LZ 2	Datenadaptive Allokationssteuerung	Ich als Planer benötige ein System, das aus bisherigen Allokationen und deren Ergebnissen lernt und automatisiert Vorschläge für zukünftige Entscheidungen erstellt.	Lernfähigkeit, Automatisierung
LZ 3	Koordinierte Allokation mit Partnern	Ich als Logistiker benötige definierte Prozesse und einen organisatorischen Rahmen, um gemeinsam eine abgestimmte Allokation durchzuführen.	Kollaboration, Prozess- integration
LZ 4	Engpassvermeidung durch Abhängigkeitslogik	Ich als Logistiker benötige eine intelligente Steuerung, die berücksichtigt, ob durch meine Allokation an einer anderen Stelle neue Engpässe entstehen könnten.	Steuerungs- komplexität, Risikoprävention
LZ 5	Flexible Parametrisierung der Logik	Ich als Logistiker benötige die Möglichkeit, Zuteilungseinstellungen flexibel an aktuelle Versorgungs- oder Marktsituationen anzupassen.	Flexibilität, Kon- figurierbarkeit
LZ 6	Sourcing-adaptive Allokationslogik	Ich als Beschaffer benötige eine Allokationslogik, die unterschiedliche Sourcing-Strategien wie Cross-, Dual- oder Local Sourcing berücksichtigt, um im Falle globaler Störungen gezielt regionale oder alternative Versorgungswege priorisieren zu können.	Resilienz, Allo- kationskriterien, Risikoanpassung

5.2.2.2 Vernetzung und Transparenz

Die zweite Kategorie ist die Vernetzung und Transparenz. Dieser Kategorie wurden insgesamt acht LZ zugeordnet. Die Relevanz dieses Handlungsfelds ergibt sich insbesondere aus der Notwendigkeit, eine koordinierte und transparente Steuerung über alle Stufen der Wertschöpfung hinweg zu ermöglichen. Grundlage hierfür ist ein vernetztes Liefernetzwerk, das einen kontinuierlichen, strukturierten Informationsaustausch zwischen den beteiligten Akteuren sicherstellt (vgl. Sandau et al., 2022, S. 12). Auf diese Weise können Entscheidungsprozesse auf konsistente Daten gestützt, operative Abläufe aufeinander abgestimmt und Zuteilungsentscheidungen gezielter ausgerichtet werden. Im Folgenden werden drei exemplarische LZ dieser Kategorie näher erläutert. Eine vollständige Übersicht aller Ziele der Kategorie findet sich in **Tabelle 5-5**.

Lösungsziel 1 (LZ 1): Transparenz über mehrstufige Stücklistenstrukturen

Dieses LZ zielt auf die Herstellung einer durchgängigen Transparenz über mehrstufige Stücklisten kritischer Bauteile ab, insbesondere auf der Sekundär- und Tertiärebene. In stark modularisierten Produktarchitekturen, wie sie typischerweise in der Automobilindustrie auftreten, sind Engpässe häufig nicht nur auf Endkomponenten zurückzuführen, sondern auf tiefere Abhängigkeiten innerhalb der Struktur (vgl. MacDuffie, 2013, S. 14ff.). Unzureichende Informationen zu unterlagerten Bauteilen erschweren eine vorausschauende Allokationsplanung und können in der Folge zu einer suboptimalen Priorisierung einzelner Bedarfe führen.

Durch die systematische Analyse kaskadierender Stücklisten lassen sich besonders sensible Komponenten identifizieren, deren Ausfall oder Verzögerung die Funktionalität nachgelagerter Baugruppe unmittelbar beeinflussen würde. Eine solche Analyse ermöglicht es, sowohl die strukturelle Bedeutung einzelner Teile zu bewerten als auch Substitutionsmöglichkeiten und alternative

Versorgungsoptionen frühzeitig zu erkennen. Dies erhöht die Handlungssicherheit in der Zuteilung und erleichtert die risikobasierte Priorisierung bei Engpässen.

Darüber hinaus schafft eine durchgängige Stücklistentransparenz die Grundlage für eine effektivere Koordination der Materialflüsse. Informationen zu Verfügbarkeiten, Abhängigkeiten und Alternativen können zentral erfasst, geteilt und in Zuteilungsentscheidungen integriert werden. Auf dieser Basis lassen sich vorhandene Bestände gezielter umverteilen, Engpasswirkungen minimieren und Reaktionszeiten im Störfall verkürzen.

Lösungsziel 2 (LZ 2): Vorlaufzeittransparenz

Im Fokus dieses LZ steht die Schaffung einer durchgängigen Transparenz über Vorlaufzeiten und logistische Offsets im Zusammenhang mit der Beschaffung und Bereitstellung kritischer Bauteile. Vorlaufzeiten umfassen sämtliche Zeitspannen vom Zeitpunkt der Bedarfserkennung bis zur produktionsseitigen Verfügbarkeit eines Bauteils. Sie schließen dabei auch definierte Pufferzeiten ein, die zur Absicherung gegenüber Unsicherheiten entlang der Lieferkette vorgesehen sind (vgl. Romeike & Huth, 2016, S. 54f.).

Eine differenzierte Kenntnis dieser Zeiträume bildet eine zentrale Grundlage für die wirksame Steuerung von Zuteilungsentscheidungen. Besonders bei begrenzter Verfügbarkeit und konkurrierenden Bedarfen verschiedener Produktionsbereiche kann die Vorlaufzeit als Entscheidungskriterium dienen, um eine zeitlich abgestufte und risikoorientierte Zuteilung vorzunehmen. Bauteile mit längeren Beschaffungszeiten können so gezielt priorisiert werden, um nachgelagerte Versorgungsengpässe zu vermeiden.

Darüber hinaus unterstützt Vorlaufzeittransparenz eine vorausschauende Koordination von Ressourcen und Planungsprozessen. Sie ermöglicht es, bei auftretenden Versorgungsrisiken gezielt zu reagieren, indem bspw. bestimmte Bedarfe zeitlich vorgezogen, Materialmengen zwischen Produktionslinien umverteilt oder alternative Liefertermine berücksichtigt werden. Auch die Anpassung bestehender Sicherheitsbestände oder Pufferzeiten lässt sich auf der Basis der Vorlaufzeiten fundierter vornehmen.

Lösungsziel 3 (LZ 3): Transparenz über die Prognosegüte

Dieses LZ zielt darauf ab, die Güte von Bedarfsprognosen für kritische Bauteile systematisch zu bewerten und transparent bereitzustellen. Die Prognosegüte beschreibt dabei die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Bedarfsprognose unter realen Marktbedingungen. In der Automobilindustrie ist die Vorhersage des Materialbedarfs besonders herausfordernd, da dieser maßgeblich durch kundenindividuelle Konfigurationen, paketabhängige Ausstattungsoptionen und eine hohe Modellvielfalt beeinflusst wird (vgl. Gebhard, 2009, S. 21; Wöhner & Schuberthan, S. 251).

Die Vielfalt von Produktvarianten fördert eine erhöhte Komplexität in Logistik und Planung, was empirisch mit steigenden Unsicherheiten bei der Bedarfsprognose verbunden ist (vgl. Lechner et al., 2011, S. 1; Wagenitz et al., 2020, S. 233). Diese resultieren bspw. aus multiplen Einsatzmöglichkeiten, saisonalen Nachfrageschwankungen sowie konfigurationsbedingten Bedarfsschwankungen. Infolge dieser Komplexität weichen Prognosewerte häufig von der tatsächlichen Entwicklung ab, was die Planungssicherheit für die Zuteilung deutlich verringert.

Die Transparenz über die Qualität der zugrunde liegenden Bedarfsprognose ermöglicht es, Risiken in der Zuteilungsentscheidung bewusster abzuwägen und Zuteilungen an die jeweilige Prognosegüte anzupassen. So können restriktive Ressourcen gezielt jenen Bedarfen zugeordnet werden, deren Vorhersagen besonders belastbar sind, während Bedarfe mit hoher prognostischer Unsicherheit vorsichtiger behandelt oder mit zusätzlichen Pufferstrategien abgesichert werden. Eine solche Differenzierung stärkt die Robustheit der Zuteilungslogik und trägt dazu bei, Versorgungslücken zu vermeiden.

Tabelle 5-5: Lösungsziele der Kategorie Vernetzung und Transparenz

Nr.	Lösungsziel	Kurzbeschreibung (User Story)	Themenfeld
LZ 1	Transparenz über mehrstufige Stücklistenstrukturen	Ich als Logistiker oder Beschaffer benötige stufenübergreifende Transparenz über mehrstufige Stücklisten, um kritische Sekundärteile und deren Bedarfsabhängigkeiten zuverlässig zu erkennen.	Bauteilstruktur, Abhängigkeiten
LZ 2	Vorlaufzeittransparenz inkl. Offsets	Ich als Disponent oder Logistiker benötige verlässliche Informationen zu Vorlaufzeiten und logistischen Pufferzeiten, um Bedarfe termin- und netzwerksynchron zu planen.	Zeitbasierte Steuerung
LZ 3	Prognosegüte variantenreicher Bedarfe	Ich als Planungsverantwortlicher benötige Transparenz über die Güte der Bedarfsprognose, um Unsicherheiten im Variantenbedarf besser bewerten und bei der Zuteilung berücksichtigen zu können.	Informationsqualität, Prognoseunsicherheit
LZ 4	Variabel detaillierte Lieferantenkapazitätsmodelle	Ich als Planungsverantwortlicher benötige variabel detaillierte Kapazitätsmodelle von Lieferanten, um realistische Planungsannahmen zu treffen und knappe Bauteile bedarfsgerecht zuzuteilen.	Ressourcenverfügbarkeit
LZ 5	Transparenz über Bestände im Netzwerk	Ich als Anwender einer Allokationssimulation benötige transparente Informationen zu Lager- und Transitbeständen im Netzwerk, um realistische Versorgungsszenarien simulieren zu können.	Bestandstransparenz
LZ 6	Ad-hoc Bedarfsübersicht	Ich als Disponent benötige jederzeit einen schnellen Überblick über aktuelle Bedarfsentwicklungen, um kurzfristig planen und steuern zu können.	Bedarfssicht, Reaktionsfähigkeit
LZ 7	Verwendungstransparenz	Ich als Engpasssteuerer benötige Transparenz über die Verwendung einzelner Bauteile in Aufträgen, um kunden- und wertbeitragsorientiert zuteilen zu können.	Auftragsbezug, Priorisierung
LZ 8	Sichtbarmachung von Planungsänderungen	Ich als Netzwerkpartner benötige die Möglichkeit, Planungsänderungen im System sichtbar zu machen, damit andere Beteiligte frühzeitig auf Abweichungen reagieren können.	Kollaborative Planung

5.2.2.3 Standardisierung & Zentralisierung

Die dritte Kategorie bezieht sich auf die Standardisierung und Zentralisierung. Sie umfasst LZ, die auf die Vereinheitlichung von Prozessen, Daten und Entscheidungsstrukturen sowie auf die Zentralisierung verteilter Informationen abzielen. Im Kontext komplexer Produktionsnetzwerke tragen standardisierte Vorgehensweisen und zentrale Steuerungslogiken maßgeblich dazu bei, die operative Abstimmung zu verbessern, Medienbrüche zu reduzieren und Systembrüche in der Zuteilung zu vermeiden.

Zentralisierung bedeutet dabei nicht nur die technische Zusammenführung von Daten, sondern auch die Etablierung einheitlicher Rollen, Schnittstellen und Verantwortlichkeiten. Ziel ist es, Zuteilungsentscheidungen auf einer konsistenten Informationsbasis zu treffen, widersprüchliche Einzelentscheidungen zu vermeiden und die Steuerbarkeit über die Unternehmensgrenzen hinweg

zu erhöhen. Insgesamt wurden fünf LZ dieser Kategorie zugeordnet, von denen nachfolgend exemplarisch ausgewählte Ziele näher erläutert werden. Eine strukturierte Übersicht der LZ dieser Kategorie findet sich in **Tabelle 5-6**.

Lösungsziel 1 (LZ 1): Zentrale Datenplattform für alloktationsrelevante Informationen

Ziel dieses LZ ist es, eine zentrale Datenplattform zu etablieren, die alle relevanten Informationen zur Steuerung und Zuteilung kritischer Bauteile konsistent zusammenführt (vgl. Patel, 2019, S. 4). In großen Produktionsnetzwerken sind Daten häufig fragmentiert über mehrere Systeme, Organisationseinheiten und Wertschöpfungspartner verteilt. Dies erschwert eine durchgängige Transparenz und erhöht das Risiko von Informationsverlusten, Redundanzen oder widersprüchlichen Entscheidungsgrundlagen (vgl. J. Wang et al., 2018, S. 3).

Eine zentrale Datenhaltung schafft die Voraussetzung für eine einheitliche Sicht auf Bedarfe, Bestände, Liefermengen, Prioritäten und Kapazitäten. Dadurch lassen sich Zuteilungsentscheidungen nicht nur effizienter treffen, sondern auch besser kommunizieren und systemseitig absichern (vgl. Braun, 1996, S. 128). Die Harmonisierung verteilter Datenquellen und die Reduktion manueller Abstimmungen ermöglichen es, eine systemübergreifend konsistente, widerspruchsfreie und aktuelle Datenlage sicherzustellen. Auf dieser Grundlage können Entscheidungsprozesse beschleunigt sowie nachvollziehbarer getroffen werden.

Darüber hinaus schafft eine zentrale Datenplattform die Voraussetzung für automatisierte Analysen, simulationsgestützte Szenarienbewertung und den Einsatz datenbasierter Entscheidungshilfen. Sie unterstützt die systematische Bewertung komplexer Engpasssituationen, die Identifikation alternativer Zuteilungsoptionen, sowie die datenbasierte Prüfung von Substitutionsmöglichkeiten. Auf diese Weise trägt sie wesentlich dazu bei, die Zuteilungslogik über das gesamte Produktionsnetzwerk hinweg standardisiert, skalierbar und störungsrobust auszugestalten.

Lösungsziel 2 (LZ 2): Souveräner Datenaustausch im Produktionsnetzwerk

Im Fokus dieses LZ steht die Etablierung eines dezentralen, standardisierten Datenmanagements, das unternehmensübergreifende Transparenz ermöglicht und gleichzeitig die Datensouveränität der beteiligten Akteure wahrt. In vernetzten Produktionsnetzwerken erschwert die Vielzahl unterschiedlicher IT-Systeme und technischer Schnittstellen den durchgängigen Informationsaustausch. Die gemeinsame Nutzung relevanter Daten trägt in diesem Kontext dazu bei, Zuteilungsentscheidungen faktenbasiert, abgestimmt und nachvollziehbar zu treffen (vgl. Sandau et al., 2022, S. 20f.).

Technologisch kann dieses Ziel durch föderierte Datenplattformen realisiert werden. Dabei verbleiben die Daten bei den jeweiligen Eigentümern und werden nur im Bedarfsfall, unter klar definierten Zugriffsrechten und Freigaberegeln, für ausgewählte Anwendungen bereitgestellt. Die Unternehmen entscheiden selbst über den Umfang, die Granularität und die Bedingungen der Datenfreigabe. Der Datenaustausch erfolgt transaktionsbezogen, z.B. durch gezielte Anfragen innerhalb einer vertrauensbasierten Plattformarchitektur (vgl. Opriel & Schmelting, 2022, S. 41ff.).

Die Wahrung der Datensouveränität ist dabei nicht nur eine technische Architekturentscheidung, sondern ein zentraler Gestaltungsfaktor für die Akzeptanz und Bereitschaft zur Zusammenarbeit

im Netzwerk. Unternehmen zeigen insbesondere dann eine höhere Bereitschaft zur Datenfreigabe, wenn sie die Hoheit über Nutzung, Sichtbarkeit und Weitergabe ihrer Informationen eigenständig steuern können. Die selbstbestimmte Kontrolle über die Nutzung und Weitergabe sensibler Daten stärkt das Vertrauen in den Datenaustausch und fördert die Bereitschaft zur aktiven Beteiligung an unternehmensübergreifenden Planungs- und Steuerungsprozessen (vgl. Opiel, 2021, S. 214).

Diese Form des dezentralen Datenmanagements bildet die Grundlage für ein gemeinsames Datenökosystem. Die zugrunde liegende föderierte Plattformenarchitektur stellt dabei die strukturelle Voraussetzung für einen interoperablen Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen dar. Erst durch die Standardisierung von Datenformen, Schnittstellen und Zugriffsmechanismen wird diese Interoperabilität in der Praxis realisiert. Dies senkt sowohl den technischen als auch den organisatorischen Aufwand für die Datenintegration im Netzwerk.

Die Kombination aus Datensouveränität und technischer Kompatibilität schafft so die Grundlage für eine vertrauensvolle, regelbasierte Zusammenarbeit. Sie ermöglicht eine verlässliche Planung und unterstützt die koordinierte Zuteilung insbesondere in Situationen, in denen mehrere Beteiligte auf eine konsistente und abgestimmte Informationsbasis angewiesen sind.

Lösungsziel 3 (LZ 3): Gleiche Regeln für alle Beteiligten

Gegenstand dieses LZ ist die Etablierung gleicher Regeln für alle Beteiligten, um eine faire und transparente Zusammenarbeit im Produktionsnetzwerk zu fördern. In einem Umfeld, das traditionell von asymmetrischen Machtverhältnissen geprägt ist, bildet ein verbindliches Regelwerk die Grundlage für eine gleichberechtigte und kollaborative Steuerung, unabhängig von der Größe oder Verhandlungsmacht der beteiligten Akteure. Es gewährleistet, dass Entscheidungen auf nachvollziehbaren Prinzipien beruhen und nicht durch einseitige Vorgaben oder intransparente Informationsverhältnisse dominiert werden.

Besonders bei Formen der Zusammenarbeit, die auf digitalen Plattformen den Austausch sensibler Daten ermöglichen, ist ein gemeinsames Regelwerk unerlässlich. Dies gilt insbesondere dann, wenn Entscheidungen automatisiert auf Grundlage gemeinsam genutzter Informationen getroffen werden. Klare Regelungen zu Rollen, Verantwortlichkeiten, Zugriffsrechten, Schnittstellen und Entscheidungsprozessen stellen sicher, dass alle Beteiligten mit vergleichbaren Rechten und Pflichten agieren. Dadurch entstehen gemeinsame Erwartungshaltungen, die zur Reduktion von Unsicherheiten und Missverständnissen beitragen.

Die Einhaltung dieser Regeln stärkt das Vertrauen in die Zuteilungssystematik, ermöglicht eine effizientere Abstimmung zwischen den Akteuren und reduziert die Wahrscheinlichkeit von Konflikten oder einseitig motivierten Entscheidungen. So entsteht die Grundlage für eine stabile und langfristig tragfähige Partnerschaft, die nicht nur zur Effizienzsteigerung beiträgt, sondern auch zu fairen Kooperationsbedingungen im Netzwerk führt.

Tabelle 5-6: Lösungsziele der Kategorie Standardisierung und Zentralisierung

Nr.	Lösungsziel	Kurzbeschreibung (User Story)	Themenfeld
LZ 1	Zentrale Datenplattform für allokationsrelevante Informationen	Ich als Planungsverantwortlicher benötige eine zentrale Datenplattform, auf der alle allokationsrelevanten Informationen konsistent und aktuell verfügbar sind, um fundierte Entscheidungen treffen zu können.	Datenkonsistenz, Transparenz
LZ 2	Souveräner Datenaustausch im Produktionsnetzwerk	Ich als Netzwerkpartner möchte Informationen nur dann bereitstellen, wenn ich die Kontrolle über Zugriffe, Sichtbarkeit und Nutzung meiner Daten behalte, um Vertrauen in den Datenaustausch zu haben.	Daten-souveränität, Infrastruktur
LZ 3	Gleiche Regeln für alle Beteiligten	Ich als Akteur im Produktionsnetzwerk benötige einheitliche Standards und verbindliche Regeln für den Umgang mit Daten und Entscheidungen, um gleichberechtigt und verlässlich zusammenarbeiten zu können.	Governance, Fairness
LZ 4	Standardisierte Prozesse für transparente Allokation	Ich als Logistiker benötige klar strukturierte, standardisierte Prozesse für die Allokation restriktiver Bauteile, um Entscheidungen effizient, nachvollziehbar und mit geringem administrativen Aufwand umsetzen zu können.	Prozessklarheit, Steuerung
LZ 5	Zielorientierte Allokationskriterien	Ich als Planer benötige klar definierte, strategisch ausgerichtete Allokationskriterien, um restriktive Bauteile nachvollziehbar und priorisiert nach Unternehmenszielen zuteilen zu können.	Zielsystematik, Priorisierung

5.2.2.4 Simulation

Die vierte Kategorie ist die Simulation. In großen Produktionsnetzwerken mit multiplen Zielgrößen, Abhängigkeiten und Unsicherheiten reicht eine rein regelbasierte Zuteilungslogik häufig nicht aus, um die Auswirkungen von Zuteilungsentscheidungen verlässlich zu bewerten. Stattdessen sind dynamische Simulationsansätze erforderlich, die sowohl operative Restriktionen als auch strategische Zielkonflikte systematisch berücksichtigen.

Simulationsbasierte Zuteilungen ermöglichen es, verschiedene Handlungsoptionen entlang realitätsnaher Rahmenbedingungen zu analysieren, zu vergleichen und zu optimieren. Auf diese Weise wird nicht nur die Transparenz über Wirkzusammenhänge erhöht, sondern auch die Qualität der Entscheidungsfindung gestärkt. Innerhalb dieses Handlungsfeldes wurden vier LZ definiert, die zentrale Anforderungen an eine simulationsgestützte Zuteilungssystematik beinhalten. Nachfolgend werden drei exemplarische Ziele näher beschrieben. Eine vollständige Übersicht ist in **Tabelle 5-7** dargestellt.

Lösungsziel 1 (LZ 1): Datenintegration für simulationsgestützte Allokationen

Ein zentrales Ziel innerhalb dieser Kategorie besteht darin, die Daten aus realen Planungssystemen so zusammenzuführen, dass sie auch in Simulationsmodellen konsistent und aktuell abgebildet werden können. Voraussetzung dafür ist eine durchgängige Verbindung zwischen realen Prozessen und Simulationsmodellen, die auf gemeinsamen Datenstrukturen, klar definierten Schnittstellen und einem verlässlichen Verfahren zur laufenden Datenaktualisierung basiert (vgl. Leong et al., 2006, S. 2f.).

Nur wenn reale Prozessdaten und Simulationsmodelle eng aufeinander abgestimmt sind, können Szenarien entstehen, die valide, handlungsrelevant und sowohl für kurzfristige Entscheidungen in der operativen Steuerung als auch für strategische Planungen von Nutzen sind. Auf diese Weise wird die Simulation nicht lediglich als technisches Hilfsmittel verwendet, sondern als integraler

Bestandteil eines datenbasierten Entscheidungsrahmens. Die kontinuierliche Synchronisation beider Systemebenen ermöglicht es, Auswirkungen potenzieller Zuteilungsentscheidungen im Voraus zu analysieren, Prognosen zu verbessern und Unsicherheiten gezielter zu berücksichtigen. Die Koppelung von realer und simulierter Datenumgebung bildet damit die Grundlage für die Qualität, Akzeptanz und Wirksamkeit simulationsgestützter Zuteilungsentscheidungen im Produktionsnetzwerk.

Lösungsziel 2 (LZ 2): Echtzeitsimulation von Allokationsszenarien

Ein weiteres LZ ist die Möglichkeit, Zuteilungsentscheidungen ad-hoc oder in Echtzeit simulationsgestützt zu bewerten. Während die Datenintegration (LZ 1) die strukturelle Voraussetzung für valide Simulationsszenarien schafft, zielt dieses LZ auf die operative Nutzbarkeit der Simulation in dynamischen Entscheidungssituationen ab. Insbesondere bei kurzfristigen Störungen wie unvorhergesehenen Lieferengpässen oder Kapazitätsausfällen ist es entscheidend, verschiedene Handlungsoptionen schnell analysieren und bewerten zu können.

Echtzeitsimulationen ermöglichen es, Auswirkungen potenzieller Zuteilungsszenarien in kurzer Zeit zu vergleichen und fundierte Empfehlungen für die operative Steuerung abzuleiten (vgl. Wöhner & Schubert, S. 252). Im Vordergrund steht dabei nicht die langfristige Planung, sondern die reaktive Entscheidungsunterstützung bei unvorhergesehenen Ereignissen. Voraussetzung ist ein leistungsfähiges Simulationssystem, das auf aktuelle Datenbestände zugreifen kann und in der Lage ist, komplexe Entscheidungssituationen unter Berücksichtigung aller relevanten Rahmenbedingungen wie Restriktionen und Abhängigkeiten effizient abzubilden (vgl. Mockenhaupt & Schlagenhauf, 2024, S. 310).

Im Unterschied zu klassischen, statischen Simulationen ist die Echtzeitsimulation darauf ausgelegt, zeitkritische Entscheidungsprozesse unmittelbar zu unterstützen (vgl. Wehking et al., 2020, S. 142). Durch die gewonnene Reaktionsgeschwindigkeit bei der simulationsgestützten Bewertung von Zuteilungsszenarien ergeben sich neue Möglichkeiten, Rückmeldungen relevanter Bedarfsträger aktiv in den Entscheidungsprozess einzubeziehen. Ein strukturierter Rückmeldungsprozess ermöglicht es, die Wirkung einzelner Szenarien gemeinsam mit den Bedarfsträgern zu bewerten und bei Bedarf iterativ anzupassen. Dies trägt nicht nur zur Qualität und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen bei, sondern fördert auch die Akzeptanz und Mitwirkung der beteiligten Akteure.

Lösungsziel 3 (LZ 3): Simulation realitätsnaher Restriktionen im Produktionskontext

Ein weiteres zentrales Gestaltungsziel besteht darin, nicht nur Bedarfe, Bestände oder Kapazitäten abzubilden, sondern auch jene betrieblichen Kontextfaktoren zu berücksichtigen, die den Handlungsspielraum in der realen Produktion maßgeblich beeinflussen. Dazu zählen bspw. Personalknappheiten, Taktzeitvorgaben, unternehmensspezifische Steuerungsvorgaben oder andere betriebliche Einschränkungen, die den Produktionsprozess unmittelbar beeinflussen. Solche Bedingungen wirken als restriktive Rahmenfaktoren und bestimmen, wann und wo kritische Bauteile tatsächlich eingesetzt werden können. Dies erfolgt häufig unabhängig von ihrer rein quantitativen Verfügbarkeit (vgl. Klug, 2018, S. 415f.).

Die Einbindung dieser kontextabhängigen Produktionsbedingungen ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung operativer Szenarien. Dadurch können Zuteilungsentscheidungen nicht nur robuster vorbereitet, sondern auch im Hinblick auf potenzielle Zielkonflikte besser begründet werden. Ein Beispiel stellt die vorausschauende Identifikation von Versorgungsengpässen dar, die nicht nur auf Materialmangel zurückzuführen sind, sondern auf gleichzeitig wirksame Fertigungseinschränkungen wie etwa geplante Instandhaltungsmaßnahmen oder zeitlich befristete Auslastungsbegrenzungen der Fertigungslinien.

In der Folge erhöht die Simulation die Transparenz über bestehende Handlungsspielräume, steigert die Aussagekraft der abgebildeten Szenarien und leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur Planungssicherheit in komplexen Fertigungsumgebungen. Damit dies gelingt, ist eine enge Anbindung der Simulation an aktuelle Steuerungsdaten sowie produktionsnahe Informationen aus dem Shopfloor erforderlich. Nur auf dieser Basis lassen sich Veränderungen in den Rahmenbedingungen zeitnah erkennen und in die Entscheidungsfindung integrieren.

Tabelle 5-7: Lösungsziele der Kategorie Simulation

Nr.	Lösungsziel	Kurzbeschreibung (User Story)	Themenfeld
LZ 1	Datenintegration für simulationsgestützte Allokationen	Ich als Planungsverantwortlicher benötige eine durchgängige, konsistente Datenbasis zwischen realen und simulativen Systemen, um valide Szenarien mit Bezug zur operativen Realität entwickeln zu können.	Digitale Zwillinge, Datenintegration
LZ 2	Echtzeitsimulation von Allokationsszenarien	Ich als Logistiker benötige die Möglichkeit, Szenarien ad-hoc oder live zu simulieren, um kurzfristige Auswirkungen verschiedener Allokationsentscheidungen bewerten zu können.	Reaktionsfähigkeit
LZ 3	Simulation realitätsnaher Restriktionen im Produktionsnetzwerk	Ich als Logistiker benötige eine Übersicht über externe Einflussfaktoren (z. B. Personalknappheit, Umbauten), um die Allokationssimulation unter realitätsnahen Bedingungen durchführen zu können.	Produktionsrestriktionen
LZ 4	Multikriterielle Bewertung und Vergleich von Allokationsszenarien	Ich als Logistiker benötige eine Simulation, in der verschiedene Allokationsszenarien anhand mehrerer Zielgrößen (z. B. Unternehmensinteresse, CO ₂ -Bilanz, Vertragsstrafen) bewertet und gewichtet werden können, um ein ausgewogenes und strategiekonformes Ergebnis für das Produktionsnetzwerk zu identifizieren.	Zielkonflikte, Entscheidungslogik

5.2.3 Zwischenfazit

Die systematische Ableitung der LZ stellt einen zentralen Meilenstein im Entwicklungsprozess der Zuteilungssystematik dar. Aufbauen auf einer empirisch fundierten Bedarfsanalyse wurden in einem mehrstufigen Verfahren konkrete Zielanforderungen identifiziert und mit Beteiligten aus verschiedenen Funktionsbereichen abgestimmt. Ziel war es, ein umfassendes Verständnis bestehender Herausforderungen und Entscheidungsbedarfe zu entwickeln und unterschiedliche Perspektiven in einem konsistenten Zielbild zusammenzuführen.

Im Ergebnis entstand ein konsistenter Rahmen, der die unterschiedlichen Perspektiven der beteiligten Stakeholder reflektiert und die inhaltliche Grundlage für die weitere Ausgestaltung der Zuteilungssystematik bildet. Zur besseren Strukturierung wurden die LZ vier thematischen Handlungsfeldern zugeordnet. Die Formulierung in Form von User Stories diente dabei nicht nur der

Nutzerzentrierung, sondern auch der operativen Anschlussfähigkeit in späteren Entwicklungsschritten.

Mit der Entwicklung und Validierung der insgesamt 23 LZ liegt eine solide Grundlage für die Gestaltung des Referenzkonzeptes vor. Damit wurde die erste Forschungsfrage beantwortet. Die dokumentierten Ziele fließen im nächsten Schritt in die Ausarbeitung eines umsetzbaren Prozessmodells (Forschungsfrage 2) und bilden zugleich die Basis für die Ableitung von allgemeinen Designprinzipien (Forschungsfrage 3). Die Zieldefinition stellt damit nicht nur einen methodischen Zwischenschritt dar, sondern bildet einen verbindenden Rahmen zwischen empirischer Analyse und konzeptioneller Weiterentwicklung.

5.3 Erstellung des Konzepts für ein Prozessmodell

Während in Kapitel 5.2 die inhaltlichen Anforderungen und Gestaltungsziele der Zuteilungssystematik herausgearbeitet wurden, liegt der Fokus dieses Abschnitts auf ihrer prozessualen Ausgestaltung. Ziel ist es, die zugrunde liegenden Abläufe, Abhängigkeiten und Entscheidungsstrukturen innerhalb der Systematik zu analysieren und damit einen Beitrag zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage zu leisten:

Forschungsfrage 2: Wie ist ein Konzept für ein Prozessmodell zur Umsetzung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik zu gestalten?

Um die Zuteilung restriktiver Bauteile in großen Produktionsnetzwerken strukturiert zu gestalten, gliedert das entwickelte Konzept den Entscheidungsablauf in vier aufeinanderfolgende Abschnitte. Die strukturierte Abfolge dieser Abschnitte bildet die konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung eines Modells, das auf die Komplexität und Dynamik realer Zuteilungsentscheidungen ausgerichtet ist.

Der erste Prozessabschnitt umfasst die Identifikation und initiale Bewertung eines potenziellen Engpasses. In diesem Schritt wird analysiert, ob eine kritische Versorgungslage besteht, welche Bauteile betroffen sind und welche Auswirkungen sich daraus für die beteiligten Akteure im Produktionsnetzwerk ergeben könnten.

Im zweiten Abschnitt werden verschiedene Handlungsszenarien analysiert, um eine fundierte Zuteilungsentscheidung abzuleiten. Dabei wird zunächst geprüft, ob und in welchem Umfang Planungsänderungen realisierbar sind. Anschließend erfolgt eine Bewertung der identifizierten Optionen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf zentrale Zielgrößen wie Produktionsauslastung, Kosten und Liefertreue. Die daraus resultierende Entscheidung wird anschließend den betroffenen Bedarfsträgern innerhalb des Netzwerks kommuniziert.

Der dritte Abschnitt umfasst die Evaluation der getroffenen Zuteilungsentscheidung durch die jeweiligen Bedarfsträger. Diese analysieren die Auswirkungen der Entscheidung auf ihre konkreten Bedarfe und betrieblichen Abläufe und geben gezieltes Feedback zur Wirksamkeit der Entscheidung. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Rückmeldungen systematisch in den Entscheidungsprozess zurückzuführen, um die Zuteilungsentscheidung bei Bedarf anzupassen und zu optimieren. Gleichzeitig können aus der Analyse auch Erkenntnisse für den Umgang mit zukünftigen Zuteilungssituationen gewonnen werden.

Der vierte und abschließende Abschnitt sieht bei entsprechender Notwendigkeit eine Anpassung der bestehenden Entscheidung auf Grundlage der zuvor eingeholten Rückmeldungen vor. Ergänzend dazu wird eine abschließende Kommunikation der Zuteilung durchgeführt, um sicherzustellen, dass alle betroffenen Bedarfsträger und Steuerungseinheiten über etwaige Änderungen informiert werden und ein konsistenter Informationsstand im gesamten Produktionsnetzwerk besteht.

Vor dem Hintergrund heterogener Strukturen und Entscheidungsprozesse in der Automobilindustrie wurde innerhalb des Konzepts bewusst darauf verzichtet, feste Zuständigkeiten für einzelne Aktivitäten oder eine normative Vorgabe spezifischer Bewertungskriterien zu definieren. Stattdessen ermöglicht das Modell eine flexible Ausgestaltung und Gewichtung der Entscheidungslogiken, abgestimmt auf die strategischen Zielsetzungen und operativen Anforderungen des jeweils zuteilenden Unternehmens.

Das entwickelte Konzept stellt somit einen Orientierungsrahmen dar, der exemplarisch einen strukturierten Ablauf zur Zuteilung restriktiver Bauteile abbildet. Er erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist als adaptierbare Grundlage zu verstehen, die im jeweiligen Anwendungskontext weiterentwickelt und spezifiziert werden kann. In der folgenden Darstellung werden die vier Prozessabschnitte im Detail erläutert und grafisch in Form von Flussdiagrammen visualisiert.

5.3.1 Identifikation und Erstbewertung potenzieller Engpässe

Der erste Prozessschritt der Zuteilungssystematik zielt auf die frühzeitige Erkennung und strukturierte Bewertung potenzieller Versorgungsengpässe ab. Der Schritt dient zur Unterscheidung, ob ein identifiziertes Risiko durch operative Maßnahmen bewältigt werden kann oder eine priorisierte Zuteilung restriktiver Ressourcen notwendig wird.

Die Erfassung eines potenziellen Engpasses erfolgt in der Regel durch den Lieferanten, der ein Risiko in der Lieferkette erkennt. Diese können bspw. durch Naturereignisse, Produktionsausfälle, logistische Einschränkungen oder externe Störungen vorgelagerter Wertschöpfungsstufen verursacht werden. In einem standardisierten Verfahren wird daraufhin eine Risikomeldung über eine zentrale Kommunikationsplattform übermittelt. Die Plattform ist so gestaltet, dass sie eine automatisierte, netzwerkweite Verteilung der Meldung sowie die direkte Weiterleitung an das zuständige Engpassteam beim Automobilhersteller gewährleistet.

Zur einheitlichen Qualität und Vergleichbarkeit der Informationen sind grundlegende Mindestinhalte definiert, die eine Risikomeldung enthalten sollte. Dazu gehören u. a. die betroffenen Teilenummern, die Ursache des Engpasses, die voraussichtliche Dauer und Reichweite der Unterdeckung sowie erste Einschätzungen zur Dringlichkeit und zu potenziellen Gegenmaßnahmen (vgl. **Tabelle 5-8**). Diese strukturierte Datenerhebung ermöglicht eine standardisierte Erstbewertung der Versorgungssituation.

Tabelle 5-8: Basisinformationen für eine erste Bewertung der Versorgungssituation

Nr.	Informationstyp	Kurzbeschreibung
1	Allgemeine Angaben	Enthält grundlegende Informationen wie den Lieferanten (DUNS und Name), die Bauteilbezeichnung, die Antragsstelle sowie relevante Kontaktdaten.
2	Betroffene Teilenummer(n) und Bedarfsträger	Bezieht sich auf die Teilenummern, die von der Risikomeldung betroffen sind, sowie die Bedarfsträger, die das Bauteil benötigen.
3	Ursachen des Engpasses	Beschreibt die Quelle des Risikos (z. B. interne Ursachen innerhalb des Unternehmens oder externe Faktoren wie Lieferantenausfälle, Naturkatastrophen o. ä.).
4	Kapazitäts- und Produktionsdaten	Enthält relevante Informationen zur Kapazität und Produktion, wie beauftragte Kapazitäten pro Woche und tatsächliche Produktionsmengen.
5	Zeitraumen, Höhe und voraussichtliche Dauer des Engpasses	Bezieht sich auf den Zeitpunkt, an dem das Risiko erkannt wurde oder eingetreten ist, den Zeitraum, innerhalb dessen Maßnahmen zur Minderung des Risikos ergriffen werden sollen, die Höhe der Unterdeckung sowie die voraussichtliche Dauer der Einschränkung.
6	Auswirkungen auf die Produktion oder Lieferkette	Beschreibt die möglichen Folgen des Engpasses, wenn das Risiko realisiert wird.
7	Bewertung der Versorgungssituation	Bezieht sich auf den Schweregrad und die Dringlichkeit des Risikos, basierend auf der aktuellen Situation und ersten Schätzungen.
8	Maßnahmen zur Risikominimierung	Beschreibt die geplanten kurzfristigen Maßnahmen zur Risikominimierung, sowie mögliche Ansätze und Strategien zur Auflösung des potenziellen Engpasses, wie bspw. Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung oder Notfallpläne.

Das Engpassteam stellt in diesem Konzept die zentrale Steuerungseinheit des Automobilherstellers dar und nimmt nach Eingang der Risikomeldung eine erste Bewertung vor. Ziel ist es, kurzfristig wirksame Maßnahmen zur Stabilisierung der Produktionsversorgung zu identifizieren. Dazu zählen bspw. die Nutzung alternativer Transportoptionen, die Umverteilung von Fertigungsaufträgen auf verfügbare Produktionskapazitäten oder die Erweiterung der Schichtmodelle an den betroffenen Standorten. Führt die Analyse der Steuerungseinheit zu dem Ergebnis, dass das Risiko durch kurzfristige operative Maßnahmen beherrscht werden kann, wird der Vorgang dokumentiert und abgeschlossen, ohne dass eine Zuteilung kritischer Teile erforderlich wird. Sollte hingegen die Wahrscheinlichkeit eines gravierenden Engpasses bestehen bleiben, erfolgt eine Übergabe an den nächsten Prozessschritt zur vertieften Bewertung und Entscheidungsfindung. Der Ablauf dieses ersten Teilprozesses ist in **Abbildung 5-3** visualisiert.

Technologische Voraussetzungen

Die erfolgreiche Durchführung des ersten Prozessabschnitts erfordert eine technologische Infrastruktur, die eine standardisierte, schnelle und sichere Erfassung sowie Verteilung risikorelevanter Informationen gewährleistet. Eine zentrale Voraussetzung hierfür ist der Einsatz einer gemeinsamen Kommunikationsplattform, über die alle betroffenen Akteure im Produktionsnetzwerk eingebunden werden. Sie unterstützt sowohl die strukturierte Übermittlung von Risikomeldungen als auch die transparente Bereitstellung relevanter Informationen und ermöglicht dadurch die frühzeitige Einbindung der zuständigen Entscheidungsträger.

Ein zentrales Merkmal der Plattform ist ihre Fähigkeit, Daten aus verschiedenen Quellsystemen zu integrieren. In der Automobilindustrie arbeiten Lieferanten, Hersteller und Logistikpartner

häufig mit unterschiedlichen IT-Systemen, die jeweils eigene Datenstrukturen, Schnittstellen und Zugriffskonzepte verwenden (vgl. Boice, 2025; Jenkins, 2023). Um in einem solchen Umfeld eine einheitliche und verlässliche Informationsbasis zu schaffen, ist der Einsatz sogenannter föderierter Informationssysteme besonders geeignet.

Föderierte Informationssysteme ermöglichen die Vernetzung verteilter und autonom verwalteter Datenquellen, ohne deren dezentrale Struktur aufzugeben (vgl. Sheth & Larson, 1990, S. 184). Die Daten verbleiben in den jeweiligen Ursprungssystemen und werden über standardisierte Schnittstellen für gemeinsame Analysen zugänglich gemacht. Dadurch entsteht ein hohes Maß an Flexibilität und Skalierbarkeit bei gleichzeitiger Wahrung der Datensouveränität der einzelnen Akteure. Jeder Wertschöpfungspartner behält dabei die Kontrolle über den Zugriff und die Nutzung seiner eigenen Daten (vgl. Opiel & Schmelting, 2022, S. 44).

Besonders in großen Netzwerken mit vielen unabhängig voneinander agierenden Organisationseinheiten bieten föderierte Architekturen wesentliche Vorteile. Sie ermöglichen einen sicheren Datenaustausch durch den Einsatz von Authentifizierungs- und Verschlüsselungsverfahren, unterstützen unterschiedliche Datenformate durch harmonisierende Zwischenschichten und reduzieren manuelle Aufwände durch die automatisierte Datenbereitstellung (vgl. Opiel, 2021, S. 142). Gleichzeitig verbessern sie die Datenverfügbarkeit, da relevante Informationen systemübergreifend und nahezu in Echtzeit zugänglich sind.

In der praktischen Umsetzung der Zuteilungssystematik tragen föderierte Informationssysteme wesentlich zur Effizienz und Qualität der Entscheidungsgrundlage bei. Sie verkürzen die Dauer der Datenbeschaffung, minimieren Fehlerpotenziale durch automatisierte Verarbeitung und schaffen eine verlässliche Grundlage für die Risikobewertung. Darüber hinaus ermöglichen sie unternehmensübergreifende Datenanalysen, die insbesondere in den nachgelagerten Prozessschritten eine zentrale Rolle einnehmen.

Die Relevanz föderierter Informationssysteme ist für den Einsatz in industriellen Netzwerken in der einschlägigen Literatur umfassend belegt (vgl. Opiel, 2021, S. 6; Otto et al., 2018, S. 113ff.; Zrenner, 2020, S. 3). Ihre Anwendung bildet eine wesentliche technologische Grundlage für die Umsetzung einer effektiven und kollaborativen Risikomeldung sowie -bewertung in großen Produktionsnetzwerken.

Funktion im Gesamtkonzept

Die Identifikation und initiale Bewertung potenzieller Engpässe fungiert als Auslöser und Filter für die nachgelagerten Schritte der Zuteilungssystematik. Sie gewährleistet, dass nur tatsächlich kritische Situationen in den Zuteilungsprozess überführt werden, während beherrschbare Risiken operativ aufgefangen werden können. Damit trägt der erste Prozessschritt entscheidend zur Entlastung der Entscheidungsinstanzen, zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und zur Sicherstellung eines fokussierten Ressourceneinsatzes bei.

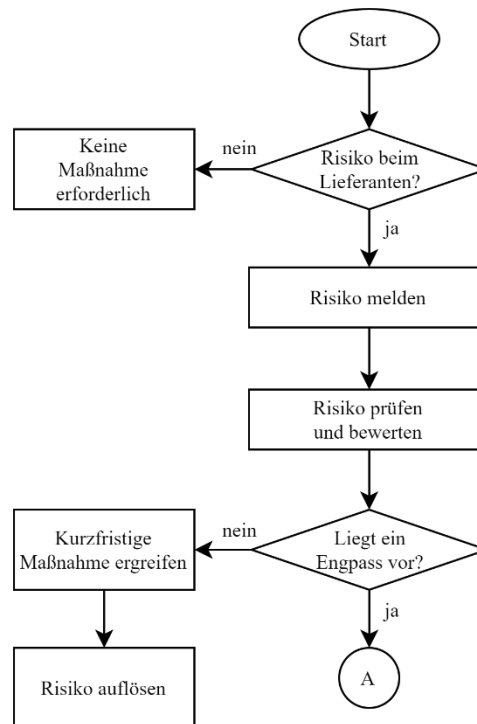


Abbildung 5-3: Prozess zur Identifikation und Erstbewertung von Engpässen

5.3.2 Systematische Prüfung und Kommunikation der Zuteilung

Nach Abschluss der initialen Risikobewertung beginnt die vertiefte Analysephase zur Ableitung einer fundierten Zuteilungsentscheidung. Die Grundlage hierzu bildet ein Bedarfs- und Kapazitätsabgleich, der den prognostizierten Teilebedarf in einem definierten Zeitintervall der verfügbaren Lieferkapazität gegenüberstellt (vgl. Söhner, 1991, S. 33). Dabei werden sowohl absolute Unterdeckungen als auch deren zeitliche Entwicklung identifiziert. Ergänzend wird geprüft, welche Fahrzeugmodelle und Varianten konkret von der Engpasssituation betroffen sind.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen lassen sich mithilfe eines Simulationsprogramms alternative Planungsszenarien modellieren und bewerten. Ziel ist die systematische Analyse der Auswirkungen potenzieller Maßnahmen auf das PP, die Teilebedarfe sowie mögliche Folgeengpässe.

Das System ermöglicht eine simulationsgestützte Analyse von Programmplanungsänderungen unter Berücksichtigung von Ausstattungsvarianten, Baubarkeitsregeln und Teileabhängigkeiten. Dadurch lassen sich potenzielle Anpassungsmaßnahmen wie die Reduzierung bestimmter Ausstattungsraten oder der Einsatz alternativer Komponenten vor ihrer Umsetzung systematisch bewerten.

Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang die Berücksichtigung wechselseitiger Abhängigkeiten innerhalb des Programms, also der Gesamtheit aller modellierten Fahrzeug- und Ausstattungsoptionen. So kann die Reduzierung der Einbaurate eines bestimmten Antriebstyps bspw. zu einer indirekten Steigerung alternativer Varianten führen oder neue Bedarfe an abhängigen Komponenten auslösen. Solche Effekte sind häufig nicht unmittelbar aus den Stücklistenregeln ableitbar und erfordern daher eine simulationsgestützte Analyse.

Auf Basis der Simulation lassen sich verschiedene Zuteilungsszenarien modellieren und systematisch vergleichen. Die Ergebnisse bilden eine Entscheidungsgrundlage dafür, ob durch gezielte Maßnahmen eine Stabilisierung der Versorgungssituation erreicht werden kann. Eine Möglichkeit besteht bspw. in der Anpassung des Produktmixes, bei der Engpassteile durch alternative Ausstattungsoptionen ersetzt werden. Alternativ können auch strukturelle Programmänderungen vorgenommen werden, etwa durch zeitliche Verschiebungen von Produktionsmengen oder die geografische Umverteilung auf alternative Standorte.

Falls eine alternative Ausstattungsvariante mit ausreichender Restkapazität identifiziert wird, erfolgt in einem nächsten Schritt die Prüfung ihrer technischen und logistischen Einsatzfähigkeit. Dabei wird geprüft, ob die Variante mit den geltenden Baubarkeitsregeln und der vorhandenen Auftragslogik vereinbar ist. Auf dieser Grundlage können sogenannte Kompensationsrechnungen durchgeführt werden, um potenzielle Volumenverschiebungen sowie deren Auswirkungen auf abhängige Teilebedarfe zu bewerten.

Kompensationsrechnung und Validierung alternativer Ausstattungsvarianten

Im Anschluss an die szenariobasierte Analysephase werden mögliche Maßnahmen zur gezielten Entlastung der Engpasssituation im Detail bewertet. Zentrale Aufgabe dieses Schritts ist die Bewertung, ob sich eine Entlastung der betroffenen Engpassbauteile durch alternative Konfigurationsoptionen erzielen lässt. Dazu zählen sowohl Anpassungen im Produktmix als auch der gezielte Einsatz verfügbarer Alternativkomponenten. Grundlage dafür ist das Konzept der Kompensationsrechnung. Es dient dazu, die potenzielle Wirkung von Volumenverschiebungen auf die Bedarfe relevanter Bauteile zu bewerten.

Die Analyse basiert auf der modularen Struktur des Fahrzeugs, das sich aus zahlreichen konfigurierbaren Ausstattungsmerkmalen zusammensetzt, bspw. Antrieb, Getriebe, Fahrwerk, Komfortfunktionen oder länderspezifische Pakete. Diese Merkmale sind nicht beliebig kombinierbar, da technische, logistische und marktbezogene Baubarkeitsregeln festlegen, welche Kombinationen zulässig sind. Daher ist bei jeder potenziellen Volumenverschiebung zu prüfen, ob die resultierenden Fahrzeugaufträge den geltenden Vorgaben entsprechen.

Das Simulationssystem unterstützt die Prüfung, indem es technische, logistische und vertriebliche Kombinationsregeln integriert und automatisiert auswertet. Auf diese Weise lassen sich auch komplexe Variantenabhängigkeiten erkennen, etwa zwischen Antriebskonfigurationen und weiteren Fahrzeugkomponenten. Eine Veränderung der Einbaurate bestimmter Merkmale kann dabei nicht nur den Bedarf an direkt betroffenen Teilen beeinflussen, sondern auch neue Bedarfe an abhängigen Komponenten auslösen. Dies gilt insbesondere für Ausstattungen, die ausschließlich in Verbindung mit bestimmten Kernmerkmalen verbaut werden dürfen.

Ziel dieses Prozessschritts ist daher, relevante Zusammenhänge frühzeitig zu erkennen, um wirksame und regelkonforme Kompensationsmaßnahmen im Sinne einer strategisch abgestimmten Zuteilung abzuleiten. Die Kompensationsrechnung dient dabei nicht nur der quantitativen Bewertung von Bedarfen, sondern auch der qualitativen Absicherung geplanter Zuteilungsentscheidungen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass auf Engpässe nicht isoliert, sondern im Kontext des gesamten Produktportfolios reagiert wird.

Maßnahmenfreigabe und Kommunikation der Zuteilungsentscheidung

Auf Basis der simulationsgestützten Analyse wird ein Zuteilungsvorschlag abgeleitet, der vor der Umsetzung durch die im jeweiligen Unternehmen verantwortliche Entscheidungsinstanz freigegeben wird. Die Freigabe dient dazu, sicherzustellen, dass die vorgeschlagene Maßnahme sowohl strategischen Zielsetzungen als auch operativen Rahmenbedingungen entspricht. Dabei handelt es sich nicht um einen rein formalen Schritt, sondern um einen kontextabhängigen Entscheidungsprozess, in dem wirtschaftliche, marktbezogene und bereichsspezifische Interessen gegeneinander abgewogen werden. Die konkreten Bewertungskriterien und Zuständigkeiten für die Maßnahmenfreigabe können je nach Organisationsstruktur variieren und werden im Rahmen dieses Konzepts nicht festgelegt.

Nach der Freigabe der Maßnahme wird die Zuteilungsentscheidung an die betroffenen Akteure im Produktionsnetzwerk kommuniziert. Die zentrale Kommunikationsplattform dient dabei als technisches Medium, über das alle relevanten Informationen strukturiert bereitgestellt werden. Die übermittelten Informationen dienen dabei als Planungsgrundlage und ermöglichen es den Bedarfsträgern, ihre operativen Abläufe entsprechend auszurichten.

Die Kommunikation ist in diesem Schritt nicht als einseitige Informationsweitergabe zu verstehen, sondern als integrativer Bestandteil des Zuteilungsprozesses. Rückmeldungen aus den empfangenen Bereichen liefern wertvolle Hinweise auf mögliche Zielkonflikte, Umsetzungsprobleme oder Optimierungspotenziale. Diese Rückmeldungen bilden die Grundlage für die nachgelagerte Evaluation der Maßnahme, die im folgenden Prozessabschnitt erfolgt. Der in diesem Abschnitt beschriebene Ablauf ist in **Abbildung 5-4** schematisch dargestellt.

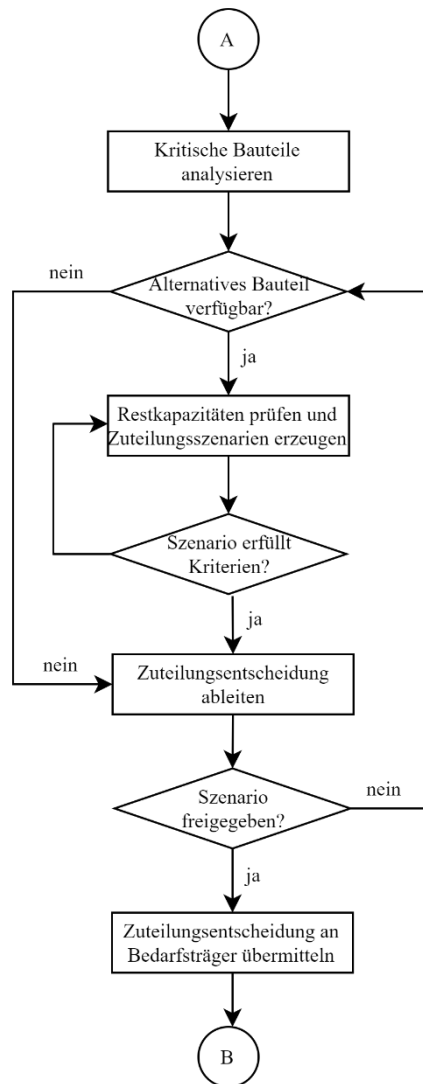


Abbildung 5-4: Prozess zur systematischen Prüfung und Kommunikation der Zuteilung

5.3.3 Evaluation der Entscheidung und Feedbackerhebung

Nach der Kommunikation einer Zuteilungsentscheidung beginnt die Evaluationsphase, in der die Auswirkungen der Maßnahmen aus Sicht der Bedarfsträger analysiert und strukturiert an die verantwortliche Steuerungseinheit zurückgespiegelt werden. Ziel dieses Prozessschritts ist es, mögliche Zielkonflikte, unerwünschte Nebenwirkungen und Verbesserungspotenziale frühzeitig zu identifizieren und darauf aufbauend fundierte Nachsteuerungen an der Zuteilungsentscheidung vorzunehmen.

Zunächst analysieren die Bedarfsträger dazu in enger Abstimmung mit den verantwortlichen Produktionsbereichen, ob die zugeteilten Kapazitäten ausreichen, um die bestehende Planung ohne wesentliche Änderungen umzusetzen. Entscheidend ist dabei, inwieweit der bestehende Produktionsplan stabil gehalten werden kann oder ob operative Anpassungen erforderlich werden. Die Analyse erfolgt auf Basis relevanter Rahmenbedingungen wie werksspezifischer Restriktionen, Baubarkeitsregeln, Bestandsdaten sowie der lokalen Produktionsplanung. Mögliche Anpassungsmaßnahmen lassen sich mithilfe simulationsgestützter Szenarien bewerten, etwa durch die Ver-

schiebung von Produktionsvolumen oder die gezielte Umverteilung bestimmter Ausstattungsmerkmale. Darüber hinaus kann geprüft werden, ob verfügbare Alternativkomponenten als technisch sinnvolle Upgrades eingesetzt werden können.

Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die Grundlage für eine strukturierte Rückmeldung an die zentrale Steuerungseinheit. Ziel ist es dabei, die Auswirkungen der Zuteilungsentscheidung auf die operative Planung transparent darzustellen. Die Bewertung der Auswirkungen ermöglicht potenzielle Nachsteuerungen, wenn Zielkonflikte, Kapazitätsprobleme oder nachteilige Auswirkungen auf PP und Ausstattungsvarianten erkennbar werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Zuteilung nicht nur analytisch begründet, sondern auch praktisch wirksam und anpassungsfähig bleibt.

Die Rückmeldung erfolgt über die Kommunikationsplattform unter Wahrung der Datensouveränität der beteiligten Akteure. Dabei entscheiden die Bedarfsträger eigenverantwortlich, welche Informationen sie in welchem Umfang weitergeben. Um eine standardisierte und vergleichbare Verarbeitung dieser Rückmeldungen zu ermöglichen, wurde ein dreistufiges Transparenzmodell entwickelt. Dieses differenziert die Detailtiefe der übermittelten Informationen und berücksichtigt damit unterschiedliche Anforderungen an Datenschutz, Vertraulichkeit und Steuerungsbedarf. Es umfasst die folgenden drei Stufen:

- **Stufe 0** umfasst lediglich die Angabe finanzieller Auswirkungen, insbesondere der aus der Zuteilung resultierenden Ertragsverluste.
- **Stufe 1** erweitert diese Informationen um quantitative Angaben zu Volumenverlusten, also der Anzahl nicht produzierbarer Einheiten.
- **Stufe 2** beinhaltet die Offenlegung der vollständigen Neuplanung, inklusive aller Produktionsvolumina, Terminierungen und abhängiger Materialbedarfe.

Transparenzstufe 0: Weitergabe der Erlösverluste

In dieser Stufe erfolgt die Rückmeldung ausschließlich in Form von finanziellen Kenngrößen. Die Bedarfsträger teilen den voraussichtlichen Erlösverlust mit, der sich aus der Anpassung ihres PP auf Basis der zugewiesenen Bauteilmengen ergibt. Grundlage dieser Angabe ist die Differenz zwischen den ursprünglich geplanten Umsätzen und den realisierbaren Erlösen unter den neuen Zuteilungsvorgaben. Diese Transparenzstufe ermöglicht es, die wirtschaftlichen Auswirkungen der Zuteilung zu erfassen, ohne operative Details oder strategisch sensible Informationen preiszugeben. Sie ist besonders geeignet für Konstellationen, in denen der unternehmensübergreifende Datenaustausch aus wettbewerbsbedingten oder regulatorischen Gründen eingeschränkt ist.

Unabhängig von der gewählten Transparenzstufe sind zusätzlich zwei grundlegende Informationen bereitzustellen: Erstens die resultierenden Minderbedarfe, die sich aus funktionalen oder logistischen Abhängigkeiten zwischen Bauteilen ergeben. Zweitens die Bedarfsveränderungen, die durch Anpassungen im Fahrzeugmix oder in der Ausstattungsstruktur entstehen, z. B. wenn alternative Konfigurationsoptionen genutzt werden, um Engpässe zu kompensieren. Beide Angaben sind erforderlich, um überschüssige Kapazitäten gezielt und wirksam reallokieren zu können.

Transparenzstufe 1: Weitergabe der Erlös- und Volumenverluste

In dieser Stufe erweitern die Bedarfsträger ihre Rückmeldung über rein finanzielle Kennzahlen hinaus und stellen zusätzlich quantitative Informationen zur Verfügung. Neben dem erwarteten Erlösverlust wird angegeben, wie viele Einheiten des ursprünglichen PP infolge der Zuteilung nicht realisiert werden können. Diese Volumenverluste erlauben eine differenziertere Einschätzung der operativen Auswirkungen und geben Aufschluss darüber, welche Fahrzeugmodelle oder Produktlinien besonders stark betroffen sind.

Die Kombination aus Erlös- und Mengeninformationen verbessert die Planungsgrundlage für die zentrale Steuerungseinheit, da sich daraus sowohl wirtschaftliche Prioritäten als auch potenzielle Engpässe in der Auslastung einzelner Standorte ableiten lassen. Gleichzeitig bleibt der Umfang der geteilten Informationen begrenzt, sodass Anforderungen an Vertraulichkeit und Datenhoheit weiterhin gewahrt werden.

Transparenzstufe 2: Umfassende Weitergabe der vollständigen Neuplanung

In der höchsten Transparenzstufe übermitteln die Bedarfsträger nicht nur finanzielle und mengenbezogene Informationen, sondern geben zusätzlich ihre angepasste Produktionsplanung vollständig weiter. Diese umfasst die geplanten Fahrzeugaufträge, die zugehörigen Produktionsmengen sowie den zeitlichen Ablauf der Fertigung. Zusätzlich können Engpässe einbezogen werden, die sich entweder aus der geänderten Planung ergeben oder Bauteile betreffen, die vom Bedarfsträger eigenverantwortlich beschafft werden und der zentralen Steuerungseinheit dadurch ohne aktive Rückmeldung nicht vorliegen.

Diese umfassende Rückmeldung ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung der Auswirkungen der Zuteilungsentscheidung und unterstützt dabei, Abhängigkeiten zwischen Bauteilen, Ausstattungsmerkmalen und werksbezogenen Restriktionen vollständig zu erfassen. Auf dieser Grundlage kann das bestehende Zuteilungsszenario gezielt angepasst und verbliebene Kapazitäten effektiv realloziert werden. Darüber hinaus trägt die Offenlegung der vollständigen Neuplanung dazu bei, eine offene Kommunikation zu fördern und eine Basis für einen vertrauensvollen Informationsaustausch zu schaffen.

Die Entscheidung über Art und Umfang der bereitgestellten Informationen verbleibt dabei vollständig beim Bedarfsträger. Aufgrund der hohen Detailtiefe dieser Stufe kann die zentrale Koordination besonders präzise erfolgen, was zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen und einer verbesserten Zuteilung im Produktionsnetzwerk führt.

Unabhängig von der gewählten Transparenzstufe ermöglichen die Rückmeldungen eine fundierte Bewertung der Auswirkungen der Zuteilungsentscheidung auf die operative Planung und Steuerung. Sie liefern Hinweise auf potenzielle Zielkonflikte, Einschränkungen in der Umsetzung oder nicht unmittelbar erkennbare Abhängigkeiten, die in der ursprünglichen Planung noch nicht berücksichtigt wurden.

Die zentrale Steuerungseinheit nutzt diese Informationen, um das bestehende Zuteilungsszenario zu überprüfen und bei Bedarf gezielte Nachsteuerungen vorzunehmen. Dabei wird der Erkenntnisgewinn aus den Rückmeldungen systematisch in den Steuerungsprozess integriert, um sowohl

kurzfristige Anpassungen als auch langfristige Verbesserungen in der Zuteilungslogik zu ermöglichen. **Abbildung 5-5** zeigt den schematischen Ablauf dieses Schritts.

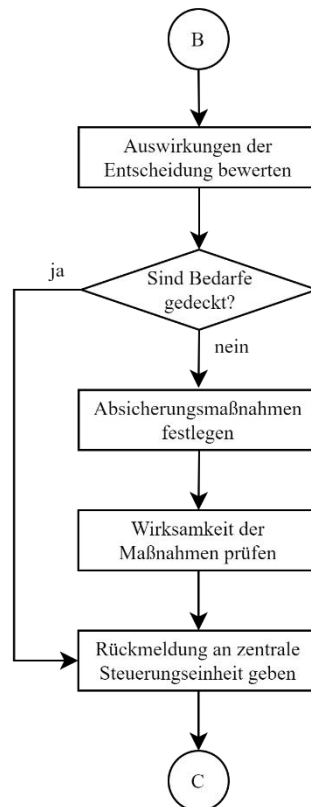


Abbildung 5-5: Prozess zur Evaluation der Entscheidung und Feedbackerhebung

5.3.4 Anpassung der Zuteilung und abschließende Kommunikation

Nachdem qualifiziertes Feedback durch die Bedarfsträger eingegangen ist, wird dieses systematisch ausgewertet, um potenzielle Anpassungen an der bestehenden Zuteilungsentscheidung abzuleiten. Die Rückmeldungen können u. a. Informationen über veränderte Bedarfe, interne Restriktionen oder alternative Verbauoptionen enthalten. Darauf aufbauend erfolgt eine erneute Bewertung der Zuteilungsentscheidung, wobei insbesondere die operative Umsetzbarkeit in den jeweiligen Produktionsstandorten berücksichtigt wird. Besonders relevant sind Hinweise auf Variantenabhängigkeiten oder technische Kompatibilitätsgrenzen, da sie auf Engpässe hinweisen können, die nicht lokal isoliert entstehen, sondern aus verteilten Abhängigkeiten innerhalb des Netzwerks resultieren. Solche Engpässe bleiben ohne dezentrale Rückmeldungen häufig verborgen und können nur durch gezielte Rückkopplung transparent gemacht und in der Zuteilung berücksichtigt werden.

Die im Feedback identifizierten Mehr- und Minderbedarfe fließen in einen iterativen Simulationsprozess ein, in dem verschiedene Zuteilungsszenarien durchgerechnet und miteinander verglichen werden. Dabei wird gezielt analysiert, welche Umverteilung überschüssiger Kapazitäten den größten Beitrag zur Stabilisierung des Gesamtprogramms leistet. Das im Vergleich als bestgeeignet bewertete Szenario wird nach abschließender Validierung freigegeben und bildet die Grundlage für die finale Zuteilung der verfügbaren Ressourcen.

Im Anschluss wird die Entscheidung anhand definierter Leistungskennzahlen evaluiert (vgl. Wannes & Ghannouchi, 2019, S. 266). Zwei zentrale Indikatoren in diesem Zusammenhang sind der Ausschöpfungsgrad der zugeteilten Bauteile sowie die Planungsstabilität an den Produktionsstandorten. Der Ausschöpfungsgrad erlaubt Rückschlüsse auf die Effizienz der Ressourcennutzung und trägt zur Vermeidung von Überbeständen bei (vgl. D. W. Cho et al., 2012, S. 810), während eine hohe Planungsstabilität eine verlässliche Umsetzung operativer Abläufe und eine verbesserte Lieferqualität unterstützt (vgl. Reinhart et al., 2010, S. 358).

Ergänzend können je nach strategischer Zielsetzung weitere Kennzahlen berücksichtigt werden, bspw. zur Bewertung von Ergebnisbeiträgen oder zur Analyse der Marktabdeckung. Letztere beschreibt den Anteil, mit dem bestimmte Fahrzeugvarianten oder Produktausführungen in priorisierten Zielmärkten tatsächlich verfügbar gemacht werden. Entscheidend ist, dass die Auswahl geeigneter Kennzahlen eng mit den strategischen Zielen des Unternehmens verbunden sind. Dadurch wird sichergestellt, dass die Aktivitäten und der Ressourceneinsatz auf die Erreichung ihrer langfristigen Ziele ausgerichtet sind (vgl. Aithal & Aithal, 2023, S. 296).

Der iterative Prozess aus Analyse, Rückmeldung, Simulation und Bewertung bildet die Grundlage einer datenbasierten Zuteilungssystematik, die kurzfristig reaktionsfähig bleibt und zugleich langfristig gezielt weiterentwickelt werden kann. Der in **Abbildung 5-6** dargestellte Prozess bildet die abschließende Phase der Systematik ab und umfasst die strukturierte Rückkopplung durch die Bedarfsträger, die darauf aufbauende Reallokation sowie die abschließende Leistungsbewertung.

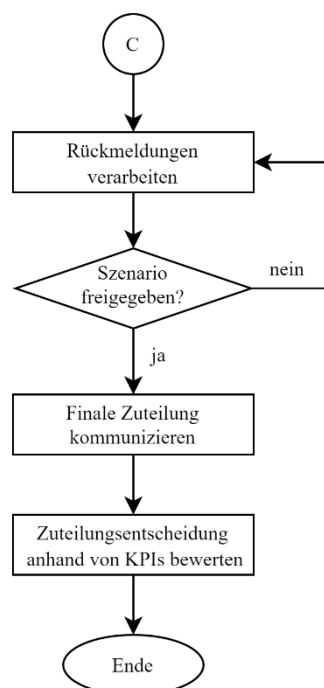


Abbildung 5-6: Prozess zur Anpassung der Zuteilung und abschließenden Kommunikation

5.3.5 Zwischenfazit

Das in diesem Kapitel entwickelte Konzept für ein prozessorientiertes Allokationsmodell bildet einen integralen Bestandteil der übergeordneten Zuteilungssystematik und beantwortet die zweite

Forschungsfrage dieser Arbeit. Im Fokus steht dabei die Abbildung eines Entscheidungsprozesses, der es ermöglicht, restriktive Bauteile unter dynamischen Rahmenbedingungen in komplexen Produktionsnetzwerken gezielt und nachvollziehbar zuzuteilen.

Der Aufbau des Modells orientiert sich an einer sequenziellen Phasenlogik, die den Zuteilungsprozess systematisch strukturiert. Ausgehend von der initialen Identifikation und Bewertung potenzieller Engpässe erfolgt eine simulationsgestützte Analyse verschiedener Planungsszenarien. Ziel dieser Analyse ist es, die Auswirkungen geplanter Anpassungen auf Teilebedarfe, verfügbare Kapazitäten und bestehende Variantenabhängigkeiten zu bewerten. Darauf aufbauend werden Kompensationsmöglichkeiten ermittelt und validiert, bevor die Zuteilungsentscheidung in einem rückgekoppelten Abstimmungsprozess mit den Bedarfsträgern bewertet und bei Bedarf weiterentwickelt wird.

Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Verbindung zwischen operativer Umsetzbarkeit und strategischer Steuerungsfähigkeit. Durch die Integration föderierter Informationssysteme, simulationsgestützter Entscheidungshilfen und rückgekoppelter Bewertungsmechanismen entsteht ein lernfähiger, datenbasierter Steuerungsprozess, der sowohl kurzfristig auf Engpasssituationen reagieren, als auch mittelfristig Optimierungspotenziale erschließen kann.

Die iterative Struktur des Konzepts ermöglicht es, Rückmeldungen aus den dezentralen Einheiten strukturiert in den Prozess zurückzuführen. Durch die aktive Einbindung der Bedarfsträger in die Bewertung und Anpassung der Entscheidung wird die Kollaboration zwischen zentraler Planungsebene und lokaler Umsetzungsebene gefördert. Dabei erfolgt die Informationsverarbeitung unter Wahrung der Datensouveränität aller beteiligten Akteure, sodass sensible standort- und unternehmensspezifische Informationen kontrolliert und selbstbestimmt eingebracht werden können.

Insgesamt liefert das entwickelte Konzept einen theoretisch fundierten Bezugsrahmen, um Zuteilungsentscheidungen in komplexen Produktionsnetzwerken zielgerichteter, schneller und anpassungsfähiger zu gestalten. Es stellt damit nicht nur die funktionale Antwort auf die zweite Forschungsfrage dar, sondern bildet gleichzeitig die konzeptionelle Grundlage für die anschließende Ableitung übergeordneter DP. Diese sollen im nächsten Abschnitt herausgearbeitet werden, um zentrale Gestaltungsmerkmale der Zuteilungssystematik zu abstrahieren und so zu strukturieren, dass sie auch in anderen Anwendungsbereichen eingesetzt werden können.

5.4 Ableitung der Designprinzipien

Während in den vorangegangenen Abschnitten die funktionalen und prozessualen Strukturen der Zuteilungssystematik im Vordergrund standen, richtet sich der Fokus dieses Abschnitts auf die konzeptionelle Generalisierung der Ergebnisse. Ziel ist es, auf Basis der empirischen Erkenntnisse übergreifende DP abzuleiten, die über den spezifischen Fall hinaus auf ähnliche Problemklassen übertragbar sind. DP ermöglichen es, aus kontextgebundenen empirischen Beobachtungen abstrahiertes Gestaltungswissen zu extrahieren, das sich auf andere Problem instanzen anwenden lässt (vgl. Sein et al., 2011, S. 44f.). Auf diese Weise können die in dieser Arbeit gewonnen Erkenntnisse sowohl zur Lösung vergleichbarer praktischer Herausforderungen beitragen als auch theoretisch anschlussfähig gemacht werden. Abschnitt 5.4.1 beschreibt dazu zunächst die

theoretischen Grundlagen und methodischen Anforderungen an DP. Darauf aufbauend erfolgt in Abschnitt 5.4.2 die konkrete Ableitung der Prinzipien. Die anschließenden Abschnitte 5.4.3 und 5.4.4 widmen sich schließlich der kritischen Diskussion und Evaluation der DP hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit und Anwendbarkeit. Damit beantwortet dieses Kapitel die dritte Forschungsfrage:

Forschungsfrage 3: Nach welchen Designprinzipien wird eine multikriterielle Zuteilungssystematik gestaltet?

5.4.1 Grundlagen von Designprinzipien

DP sind zentrale Bausteine der gestaltungsorientierten Forschung und dienen der systematischen Aufbereitung, Speicherung und Vermittlung von Gestaltungswissen (vgl. Gregor et al., 2020, S. 4f.; Sein et al., 2011, S. 44f.). Innerhalb der DSRM werden DP als Teil des Knowledge Base verstanden, die es erlaubt, empirisch erprobte Gestaltungsentscheidungen in verallgemeinerter Form zu dokumentieren und wiederzuverwenden (vgl. Hevner, 2007, S. 88). *Gregor et al. (2020)* definieren DP wie folgt (vgl. Gregor et al., 2020, S. 2):

„[Design principles are] prescriptive statements that indicate how to do something to achieve a goal.“

DP unterscheiden sich von verwandten Konzepten wie Design Patterns oder Design Rules durch ihren höheren Abstraktionsgrad. Während Design Patterns wiederkehrende Lösungsmuster für spezifische Kontexte beschreiben (vgl. Martin, S. 28) und Design Rules konkrete technische Vorgaben formulieren (vgl. Schön, 1988, S. 182f.), adressieren DP eine mittlere Abstraktionsebene, die sowohl wissenschaftlich begründbar als auch praxisorientiert anwendbar ist (vgl. Chandra Kruse et al., 2016, S. 4040; Möller et al., 2020, S. 214).

DP verbinden die praxisorientierte Gestaltung von Artefakten mit theoretischer Wissensgenerierung. Sie dienen dazu, empirische Erkenntnisse in abstrahiertes Gestaltungswissen zu überführen und sind damit besonders gut geeignet, um komplexe sozio-technische Systeme wie Zuteilungssystematiken in Produktionsnetzwerken sowohl analytisch zu erfassen als auch gezielt weiterzuentwickeln. Da sie zur Formalisierung des erlangten Wissens dienen, werden sie aus der Analyse und Synthese der Artefakte gewonnen und stellen selbst ein in sich wissenschaftliches Artefakt dar (vgl. Möller et al., 2020, S. 210).

Kernelemente von Designprinzipien

Nach *Seidel et al. (2018)* setzen sich DP aus drei Kernelementen zusammen: Aktionsmöglichkeiten, materielle Eigenschaften und Randbedingungen (vgl. Seidel et al., 2018, S. 225ff.).

Aktionsmöglichkeiten bezeichnen die durch ein Artefakt eröffneten Handlungsoptionen, mit denen Nutzer ein bestimmtes Ziel erreichen können. Im Kontext dieser Arbeit umfasst dies bspw. die Fähigkeit, mithilfe der entwickelten Systematik unterschiedliche Szenarien der Bauteilallokation zu simulieren, um potenzielle Engpässe frühzeitig zu identifizieren, die Auswirkungen geplanter Änderungen zu bewerten und geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Materielle Eigenschaften beschreiben die technischen oder organisatorischen Merkmale eines Artefakts, die diese Aktionsmöglichkeiten unterstützen und deren Umsetzung ermöglichen. Dazu zählen bspw. die Gestaltung der Benutzeroberfläche, implementierte Funktionalitäten oder technische Spezifikationen. In dieser Arbeit schließt dies insbesondere die modulare Simulationsengine mit parametrisierbaren Engpassvariablen ein, die die Durchführung verschiedener Allokationsszenarien ermöglicht.

Randbedingungen definieren die Grenzen der DP und legen den Kontext ihrer Gültigkeit und Übertragbarkeit fest. Hierzu zählen bspw. die Verfügbarkeit aktueller Bedarfs- und Lieferantendaten, kompatible IT-Schnittstellen zwischen Produktionsstandorten sowie klar geregelte Eskalationsprozesse für Engpasssituationen.

Diese Dreiteilung gewährleistet, dass die entwickelten Prinzipien nicht nur ein hohes Abstraktionsniveau erreichen, sondern zugleich praxisorientiert und kontextspezifisch anwendbar bleiben.

Qualitätsmerkmale und Bewertungskriterien

Ergänzend zu den strukturellen Kernelementen definieren *Möller et al. (2020)* drei zentrale Qualitätsmerkmale für DP: Präskriptivität, Abstraktheit und Wiederverwendbarkeit (vgl. Möller et al., 2020, S. 216).

Präskriptivität bezeichnet die Eigenschaft eines DP, eine eindeutige und umsetzungsorientierte Handlungsanweisung zu formulieren, die den Gestaltungsprozess gezielt steuert und über allgemeine Empfehlungen hinausgeht. Abstraktheit gewährleistet, dass ein Prinzip über einen konkreten Anwendungsfall hinaus in vergleichbaren Kontexten anwendbar bleibt, ohne an begrifflicher Klarheit oder inhaltlicher Präzision einzubüßen. Wiederverwendbarkeit beschreibt die Möglichkeit, ein Prinzip in unterschiedlichen Projekten, organisatorischen Rahmenbedingungen oder technologischen Umgebungen wirksam einzusetzen, um die nachhaltige Nutzung des erarbeiteten Gestaltungswissens zu sichern. Diese Merkmale dienen nicht nur der Charakterisierung, sondern zugleich als normative Kriterien für die Entwicklung und Evaluation von DP, da sie praktische Anwendbarkeit mit theoretischer Allgemeingültigkeit verbinden und so einen konsistenten Orientierungsrahmen schaffen.

Iivari et al. (2018) ergänzen die von *Möller et al. (2020)* beschriebenen Qualitätsmerkmale um die Dimensionen Zugänglichkeit, Relevanz, Neuartigkeit, Umsetzbarkeit, Orientierungsgabe und Effektivität (vgl. Iivari et al., 2018, S. 7). Diese weiteren Kriterien berücksichtigen insbesondere die Anforderungen dynamischer Anwendungsumgebungen und sollen gewährleisten, dass DP auch unter veränderten Rahmenbedingungen ihre Wirksamkeit behalten. Darüber hinaus können zwischen den Qualitätsmerkmalen Zielkonflikte auftreten, bspw. wenn ein hoher Grad an Präskriptivität die Abstraktheit einschränkt oder eine ausgeprägte Wiederverwendbarkeit zu einer Überabstraktion führt, die die Kontextanpassung mindert. In der vorliegenden Arbeit dienen die von *Möller et al. (2020)* definierten Merkmale als primärer Bezugsrahmen. Sie werden jedoch um die genannten zusätzlichen Kriterien ergänzt, um die abgeleiteten DP zur Zuteilung restriktiver Bauteile in automobilen Produktionsnetzwerken so zu gestalten, dass sie sowohl im Rahmen der untersuchten Fallstudie wirksam sind, als auch auf andere Anwendungskontexte übertragbar bleiben.

Ableitungsansätze

Für die Entwicklung von DP existieren nach *Möller et al. (2020)* zwei etablierte methodische Vorgehensweisen: der literaturbasierte Ansatz und der reflexive Ansatz (vgl. Möller et al., 2020, S. 213). Beim literaturbasierten Ansatz beginnt der Prozess mit einer systematischen Analyse der relevanten Fachliteratur, um bestehende Theorien, empirische Befunde und Gestaltungskonzepte zu identifizieren. Aus diesen werden Meta-Anforderungen abgeleitet, welche die Grundlage für die Formulierung der DP bilden. Dieser Ansatz ist besonders geeignet, wenn ein breiter theoretischer Bezugsrahmen geschaffen werden soll.

Der reflexive Ansatz hingegen startet mit einem konkreten Gestaltungsartefakt oder einer praktischen Problemstellung. Hierbei werden zunächst die spezifischen Herausforderungen und Zielsetzungen definiert, anschließend das Artefakt entwickelt und schließlich die DP aus den gewonnen Erkenntnissen abgeleitet. Dieser Ansatz ist vor allem dann vorteilhaft, wenn praxisnahe und kontextspezifische Prinzipien benötigt werden, da er auf unmittelbar beobachtete Gestaltungsentscheidungen und deren Wirksamkeit zurückgreift (vgl. Möller et al., 2020, S. 213).

Im Rahmen dieser Arbeit folgt die Ausarbeitung der DP einem kombinierten Vorgehen, das eine systematische Literaturanalyse mit praxisbasierten Erkenntnissen aus der Entwicklung und Implementierung einer Zuteilungssystematik verknüpft. Die Literaturanalyse dient der Identifikation und Kategorisierung bestehender theoretischer Konzepte, Modelle und empirischer Befunde, die für die Gestaltung von Zuteilungssystematiken relevant sind. Die theoretischen Grundlagen werden im Gestaltungsprozess angewendet, erprobt und weiterentwickelt, sodass die finalen DP sowohl auf etabliertem wissenschaftlichem Wissen als auch auf überprüften praktischen Erfahrungen beruhen.

Klassifikation nach Fokus

Gregor et al. (2020) schlagen eine Klassifikation von DP nach inhaltlichem Fokus vor, die drei Kategorien umfasst: nutzungsfokussierte, feature-fokussierte und kombinierte Prinzipien (vgl. Gregor et al., 2020, S. 12f.).

Nutzungsfokussierte Prinzipien richten sich primär an den Bedürfnissen und Handlungszielen der Nutzerinnen und Nutzer aus. Sie definieren, wie ein Artefakt gestaltet sein sollte, um die Nutzerinteraktion zu unterstützen und gewünschte Handlungsergebnisse zu fördern. Feature-fokussierte Prinzipien hingegen konzentrieren sich auf die spezifischen Eigenschaften und Funktionalitäten des Artefakts selbst, unabhängig vom direkten Nutzungskontext. Kombinierte Prinzipien verbinden beide Perspektiven, indem sie sowohl die relevanten Nutzungsanforderungen als auch die funktionalen Merkmale des Artefakts berücksichtigen.

Nutzungsfokussierte Prinzipien zeichnen sich durch eine hohe Relevanz für die Nutzerakzeptanz und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit des Artefakts aus, neigen jedoch dazu, die technische Machbarkeit des Artefakts nicht in ausreichendem Maße einzubeziehen. Im Gegensatz dazu orientieren sich feature-fokussierte Prinzipien vorrangig an der Entwicklung technisch robuster und funktionsfähiger Lösungen, riskieren jedoch, die spezifischen Anforderungen und Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer nicht vollständig abzudecken. Im Rahmen dieser Arbeit

wird eine kombinierte Formulierung gewählt, um sowohl die funktionalen Eigenschaften der entwickelten Zuteilungssystematik als auch die spezifischen Anforderungen der beteiligten Akteure innerhalb der Produktionsnetzwerke angemessen zu berücksichtigen.

Abstraktionsebenen

Aufbauend auf der zuvor dargestellten inhaltlichen und strukturellen Charakterisierung von DP erfolgt die Einordnung nach Abstraktionsebenen, um den Grad der Generalisierbarkeit und den Anwendungsbereich systematisch zu bestimmen. *Hansen und Haj-Bolouri (2020)* unterscheiden hierfür drei Ebenen: die formale Ebene, die Domänenebene und die technologische Ebene (vgl. Hansen & Haj-Bolouri, 2020, S. 173f.).

Die formale Ebene umfasst universell gültige Prinzipien, die unabhängig von einer spezifischen Anwendungsdomäne Anwendung finden, bspw. grundlegende Interaktionsprinzipien oder mathematische Gesetzmäßigkeiten. Die Domänenebene beinhaltet Prinzipien, die auf ein bestimmtes Anwendungsfeld zugeschnitten sind, jedoch technologieunabhängig formuliert werden. Die technologische Ebene beschreibt hingegen Prinzipien, die unmittelbar an konkrete technische Realisierungen gebunden sind und daher nur in begrenztem Maße auf andere Kontexte übertragbar sind.

Für die vorliegende Arbeit wird die Domänenebene gewählt, da sie einen geeigneten Ausgleich zwischen theoretischer Generalisierbarkeit und praxisorientierter Anwendbarkeit bietet. Diese Ausrichtung ermöglicht es, die entwickelten Prinzipien so zu formulieren, dass sie einerseits auf andere Produktionsnetzwerke übertragbar sind, andererseits jedoch die spezifischen organisatorischen, prozessualen und technologischen Rahmenbedingungen der Automobilindustrie adäquat berücksichtigen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Prinzipien sowohl im Kontext der Fallstudie als auch in vergleichbaren industriellen Anwendungsszenarien einsetzbar sind.

Synthese relevanter Literaturansätze

Zur methodischen Vorbereitung der in dieser Arbeit entwickelten DP werden in **Tabelle 5-9** die zuvor dargestellten theoretischen Ansätze systematisch zusammengeführt. Die Übersicht vergleicht die zentralen Quellen hinsichtlich ihres inhaltlichen Fokus, der zugrunde liegenden Struktur- und Bewertungskriterien sowie ihrer spezifischen Relevanz für den Kontext restriktiver Bauteilallokationen in automobilen Produktionsnetzwerken.

Die tabellarische Zusammenstellung verdichtet damit die wesentlichen konzeptionellen Grundlagen und zeigt, welche Elemente, Qualitätsmerkmale und Klassifikationen in der weiteren Arbeit kombiniert werden, um eine theoretisch fundierte und zugleich praxisrelevante Ableitung der DP vorzunehmen. Im folgenden Abschnitt wird auf dieser Basis die konkrete Entwicklung der Prinzipien durchgeführt.

Tabelle 5-9: Systematischer Vergleich relevanter Literaturansätze

Quelle	Fokus	Struktur / Kriterien	Relevanz für diese Arbeit
Seidel et al., 2018	Strukturelle Elemente	Aktionsmöglichkeiten, Materielle Eigenschaften und Randbedingungen	Sicherstellung von Vollständigkeit und Kontextualität bei der Formulierung der Prinzipien
Möller et al., 2020	Qualitätsmerkmale,	Präskriptivität, Abstraktheit und Wiederverwendbarkeit;	Qualitätsmerkmale als normative Bewertungsmaßstäbe
	Ableitungsmethodik	literaturbasierter vs. reflexiver Ansatz	Kombination aus literaturbasiertem und reflexivem Ansatz als methodische Grundlage
Iivari et al., 2018	Erweiterte Qualitätsmerkmale	Zugänglichkeit, Relevanz, Neuartigkeit, Umsetzbarkeit, Orientierungsgabe und Effektivität	Ergänzende Kriterien zur Sicherstellung der Übertragbarkeit und Wirksamkeit der Prinzipien in dynamischen Produktionsnetzwerken
Gregor et al., 2020	Klassifikation nach Fokus	Nutzerfokus, Feature-fokus und kombinierter Fokus	Unterstützung einer dualen Perspektive aus Nutzer- und Systemanforderungen
Hansen & Haj-Bolouri, 2020	Abstraktionsebenen	Formale, domänenspezifische und technologische Ebene	Auswahl der Domänenebene als Zielabstraktion für praxisnahe und übertragbare Prinzipien

5.4.2 Ableitung der Designprinzipien

Die im Folgenden dargestellten DP leiten sich aus den zuvor erarbeiteten LZ (vgl. Abschnitt 5.2.2) sowie den in Kapitel 5.4.1 vorgestellten theoretischen und methodischen Grundlagen ab. Sie adressieren zentrale Herausforderungen der Zuteilung restriktiver Bauteile in großen Produktionsnetzwerken. Dazu zählen insbesondere die begrenzte Transparenz über verfügbare Ressourcen, die komplexen Abhängigkeiten zwischen Bauteilen sowie die Notwendigkeit, flexibel auf kurzfristige Bedarfs- und Kapazitätsschwankungen zu reagieren. Die abgeleiteten DP dienen als Leitlinien, um die entwickelte Zuteilungssystematik wirksam, kontextangepasst und auf andere Anwendungsszenarien übertragbar zu gestalten. **Tabelle 5-10** gibt einen Überblick über die fünf DP, die im weiteren Verlauf des Kapitels erläutert werden.

Tabelle 5-10: Übersicht der Designprinzipien

Nr.	Designprinzip	Kurzbeschreibung
DP 1	Interoperabilität	Eine effiziente Kollaboration erfordert die Interoperabilität zwischen heterogenen Datenquellen und Unternehmensanwendungen. Diese wird auf struktureller, syntaktischer und semantischer Ebene durch gemeinsame Standards gewährleistet.
DP 2	Datendurchgängigkeit	Für die fundierte Bewertung von Handlungsalternativen ist die Verfügbarkeit aktueller und konsistenter Daten erforderlich. Voraussetzung hierfür ist eine verlustfreie Datendurchgängigkeit, die sowohl die internen Prozessketten als auch die Schnittstellen im unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerk umfasst.
DP 3	Datensouveränität	Die technische Sicherstellung des selbstbestimmten Umgangs mit Daten und Informationen erhöht die Akzeptanz der Datenbereitstellung und verringert Befürchtungen eines potenziellen Missbrauchs.
DP 4	Simulationsfähigkeit	Die Simulation von Planungsänderungen in der Zuteilung ermöglicht eine systematische Analyse unterschiedlicher Handlungsalternativen und ihrer Auswirkungen.
DP 5	Universalisierungsgrundsatz	Eine nachhaltige Beteiligung aller Wertschöpfungspartner erfordert die Berücksichtigung ihrer jeweiligen Interessen. Wenn alle Akteure einen erkennbaren Nutzen aus ihrer Mitwirkung ziehen, steigt die Bereitschaft zur aktiven Kollaboration im Produktionsnetzwerk.

Designprinzip 1 (DP 1) - Interoperabilität

Eine effiziente und nachhaltige Kollaboration in komplexen Produktionsnetzwerken setzt die Fähigkeit voraus, Daten und Informationen systemübergreifend und verlustfrei auszutauschen. Interoperabilität bezeichnet in diesem Zusammenhang die Eigenschaft unterschiedlicher Systeme, Anwendungen und technischer Plattformen, über klar definierte Schnittstellen strukturiert, syntaktisch korrekt und inhaltlich eindeutig zu interagieren (vgl. Wegner, 1996, S. 285; Zeng, 2019, S. 122). In der Automobilindustrie ist die Fähigkeit besonders relevant, da Wertschöpfungspartner häufig mit heterogenen IT-Architekturen, proprietären Datenformaten und unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen arbeiten. Fehlende Interoperabilität führt dabei zu Medienbrüchen, redundanten Datenerfassungen und erhöhtem manuellem Abstimmungsaufwand, was sowohl die Prozessgeschwindigkeit mindert als auch das Risiko fehlerhafter Entscheidungen erhöht (vgl. Mieschner & Mayer, 2020, S. 320; Stich et al., 2020, S. 20).

Zur Gewährleistung der Interoperabilität sind einheitliche Datenstandards, offene Schnittstellen und eindeutig beschriebene Protokolle erforderlich (vgl. Manns, 2020, S. 135; Mieschner & Mayer, 2020, S. 321ff.). Standardisierte Austauschformate nach anerkannten Industriestandards, wie bspw. OPC UA oder EDIFACT, ermöglichen einen verlustfreien Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen, ohne dass aufwendige manuelle Konvertierungen erforderlich sind (vgl. Usler et al., 2010, S. 3f.). Da in der Praxis jedoch nicht alle Wertschöpfungspartner identische Standards nutzen, können Übersetzungsmechanismen heterogene Formate in ein einheitliches Zielformat überführen. Klare Schnittstellenverträge stellen dabei sicher, dass diese Transformation deterministisch und ohne Interpretationsspielraum erfolgt (vgl. Geutebrück, 2020, S. 10).

Einen aktuellen Ansatz zur Etablierung interoperabler, vertrauenswürdiger Dateninfrastrukturen bietet das Projekt GAIA-X, das eine technische Zielarchitektur mit verbindlichen Regeln und Standards für den kooperativen Datenaustausch bereitstellt (vgl. Tardieu, 2022, S. 41ff.). Im Kontext dieser Arbeit bildet Interoperabilität somit eine zentrale Voraussetzung, um Daten verschiedener Wertschöpfungspartner so zusammenzufassen, dass sie als konsistente Entscheidungsgrundlage für die Zuteilung kritischer Bauteile genutzt werden können.

Designprinzip 2 (DP 2) - Datendurchgängigkeit

Während Interoperabilität die technische Grundlage für den Datenaustausch schafft, stellt Datendurchgängigkeit sicher, dass die bereitgestellten Informationen vollständig, konsistent und aktuell entlang der gesamten Wertschöpfungskette verfügbar sind (vgl. Hildebrand et al., 2025, S. 323). Dieses Prinzip zielt darauf ab, Informationsabbrüche, Medienbrüche und redundante Datenhaltung zu vermeiden, um die Entscheidungsgrundlagen im Zuteilungsprozess sowohl inhaltlich korrekt als auch zeitlich valide zu halten.

Eine durchgängige Datenversorgung stellt in komplexen Produktionsnetzwerken eine grundlegende Voraussetzung für fundierte Zuteilungsentscheidungen dar. Solche Entscheidungen beruhen häufig auf der gleichzeitigen Berücksichtigung mehrerer, teilweise abhängiger Planungsobjekte wie z.B. Aufträge, Ausstattungsmerkmale des Auftrags, Kapazitätsverfügbarkeiten, Bestandsdaten oder Lieferzeiten (vgl. Wagenitz et al., 2020, S. 234). Fehlt die durchgängige Verfügbarkeit dieser Daten oder existieren sie in voneinander abweichenden Versionen, steigt das

Risiko suboptimaler Zuteilungsentscheidungen. Werden dabei bspw. bestehende Abhängigkeiten zwischen Bauteilen nicht hinreichend berücksichtigt, kann dies dazu führen, dass zugeteilte Ressourcen nicht ausgeschöpft werden oder an anderer Stelle neue Engpässe entstehen.

Zur Gewährleistung dieser Datendurchgängigkeit ist eine integrierte Datenarchitektur erforderlich, die den medienbruchfreien Austausch von Informationen über Prozesse, Organisationseinheiten und Wertschöpfungspartner hinweg ermöglicht. Dies kann durch zentrale Datenplattformen, unternehmensübergreifende Data Lakes oder föderierte Datenräume realisiert werden, die auf einheitlichen Zugriffs- und Berechtigungsmodellen basieren (vgl. Otto, Korte et al., 2019, S. 34f.; Strnadl & Schöning, 2023, S. 86ff.). Ergänzend sind Mechanismen zur automatisierten Validierung, Synchronisation und Versionierung notwendig, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten auf identische, aktuelle und verlässliche Daten zugreifen. Eine solche technische und organisatorische Grundlage schafft die Voraussetzung, Zuteilungsentscheidungen in Echtzeit zu unterstützen und deren Qualität nachhaltig zu sichern.

Für die Zuteilung restriktiver Bauteile gewährleistet Datendurchgängigkeit, dass Simulationen und Entscheidungsprozesse jederzeit auf einem konsistenten Datenfundament basieren. Dadurch werden sowohl Reaktionsgeschwindigkeiten als auch Prognosegüte gesteigert, was insbesondere bei kurzfristigen Bedarfs- und Kapazitätsschwankungen von entscheidender Bedeutung ist.

Designprinzip 3 (DP 3) - Datensouveränität

Aufbauend auf den Prinzipien der Interoperabilität (DP 1) und Datenverfügbarkeit (DP 2) zielt das dritte DP auf die Kontrolle über die Bereitstellung und Weitergabe von Daten ab. Datensouveränität bezeichnet die Fähigkeit einer Organisation, eigenständig über Zugriff, Weitergabe und Verarbeitung ihrer Daten zu bestimmen (vgl. Scherenberg et al., 2024, S. 3). Sie umfasst sowohl die technische Kontrolle des Zugriffs als auch die Definition und Durchsetzung verbindlicher Nutzungsregeln gegenüber Dritten (vgl. Bader et al., 2020, S. 187).

Die Sicherstellung von Datensouveränität erfordert ein Zusammenspiel aus vertraglichen Regelungen, technologischen Maßnahmen und organisatorischen Prozessen. Vertragliche Vereinbarungen legen fest, welche Daten in welchem Umfang übermittelt werden dürfen, zu welchen Zwecken sie genutzt werden können und welche Sicherheits- und Datenschutzanforderungen gelten. Technologische Lösungen wie Verschlüsselungen, Zugriffskontrollen oder föderierte Datenarchitekturen gewährleisten die Umsetzung dieser Vorgaben in der Praxis. Ergänzend stellen interne Richtlinien, Mitarbeiterschulungen und Kontrollmechanismen sicher, dass die vereinbarten Regeln auch organisatorisch eingehalten werden (vgl. Pettenpohl et al., 2022, S. 37).

Im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile mit komplexen Abhängigkeiten ermöglicht Datensouveränität, dass Unternehmen gezielt steuern, welche Informationen sie mit welchen Partnern teilen. So kann ein OEM bspw. kurzfristige Bedarfsprognosen an einen Zulieferer weitergeben, um dessen Produktionsplanung zu unterstützen, während strategisch sensible Langfristplanungen bewusst zurückgehalten werden. Die gemeinsam genutzten Daten dürfen gemäß den getroffenen Vereinbarungen ausschließlich zu dem definierten Zweck verwendet werden, was das Vertrauen in den Austausch stärkt und zugleich die Kontrolle über sensible Informationen wahrt.

Datensouveränität schützt nicht nur vor unbefugtem Zugriff oder Missbrauch von Daten, sondern erhöht auch die Bereitschaft von Akteuren, sich an kooperativen, unternehmensübergreifenden Dateninfrastrukturen zu beteiligen (vgl. Bader et al., 2020, S. 187f.; Pennekamp et al., 2019, S. 31ff.; Trauth & Mayer, 2022, S. 21). In Kombination mit Interoperabilität und Datendurchgängigkeit schafft sie die Grundlage dafür, dass Entscheidungsprozesse auf einer vollständigen, aktuellen und vertrauenswürdigen Datenbasis erfolgen.

Designprinzip 4 (DP 4) - Simulationsfähigkeit

Die Simulationsfähigkeit beschreibt die Möglichkeit, reale Planungs- und Steuerungsprozesse in einer virtuellen Umgebung nachzubilden, um Entscheidungsalternativen zu evaluieren, die Auswirkungen geplanter Änderungen zu prüfen und Strategien unter variierenden Bedingungen zu validieren (vgl. Ören, 2011, S. 44). Simulationen zählen zu den wirkungsvollsten datenbasierten Methoden der Entscheidungsunterstützung, da sie komplexe Wirkungszusammenhänge transparent machen und Handlungsoptionen unter kontrollierbaren Bedingungen testen können (vgl. Terzi & Cavalieri, 2004, S. 4).

In volatilen Produktionsnetzwerken, wie sie in der Automobilindustrie üblich sind, ermöglichen Simulationen die gezielte Bewertung kurzfristiger Bedarfs- oder Kapazitätsschwankungen. Dabei lassen sich verschiedene Allokationsstrategien in realitätsnahen Szenarien simulieren, sodass Zielkonflikte frühzeitig erkannt und die bestmögliche Nutzung restriktiver Ressourcen unterstützt werden.

Im Kontext der Zuteilung von restriktiven Bauteilen unterstützt die Durchführung von Simulationen eine schnelle Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen und ermöglicht die direkte Gegenüberstellung von verschiedenen Planungsszenarien. Auf diese Weise lassen sich verschiedene methodische Ansätze wie bspw. die Priorisierung bestimmter Indikatoren wie dem Ergebnisbeitrag validieren und Optimierungsabläufe durchführen. Durch die schnelle Berechnung kann zudem stets direktes Feedback zu einem Planungsszenario gegeben werden, um damit einen mit den Regeln konsistenten Planungstand zu erreichen, der eine bestmögliche Ausschöpfung der Ressourcen ermöglicht. Im Ergebnis wird die Komplexität der Zuteilung kritischer Bauteile durch die vielfältigen technischen Möglichkeiten beherrschbarer.

Voraussetzung für den effektiven Einsatz von Simulationen ist ein vollständiges, konsistentes und aktuelles Datenfundament. Dazu gehören vollständige Auftragsinformationen mit allen relevanten Merkmalen und Stücklistenregeln. Liegen diese vor, können Simulationen nahezu in Echtzeit Rückmeldungen zu Planungsszenarien liefern und damit eine kontinuierliche Optimierung der Zuteilungsentscheidungen ermöglichen. So trägt die Simulationsfähigkeit dazu bei, Planungsunsicherheit zu reduzieren und die Komplexität der Bauteilallokation beherrschbar zu machen.

Designprinzip 5 (DP 5) - Universalisierungsgrundsatz

Um einen unternehmensübergreifenden Datenaustausch langfristig erfolgreich zu gestalten, müssen neben der technischen Interoperabilität (DP 1), der durchgängigen Datenverfügbarkeit (DP 2), der Datensouveränität (DP 3) und der Simulationsfähigkeit (DP 4) auch ausgewogene und für alle Beteiligten nachvollziehbare Nutzenbeiträge gewährleistet werden. Fehlt eine beidseitige Vorteilhaftigkeit, verringert sich in der Regel die Bereitschaft zur Zusammenarbeit.

Bereits bestehende Konzepte wie das Quidproquo-Prinzip von *Opriel (2021)* und die Doppelsieg-Strategie von *Zrenner (2020)* adressieren diesen Aspekt in unterschiedlicher Ausprägung. Das Quidproquo-Prinzip beschreibt den Austausch von Informationen oder Daten zwischen Unternehmen unter der Bedingung, dass beide Seiten im Gegenzug Informationen oder Daten von vergleichbarem Wert erhalten. Dadurch wird eine Win-win-Situation geschaffen, die Vertrauen zwischen den Partnern fördert, da sie auf Fairness und Gegenseitigkeit basiert (vgl. *Opriel, 2021, S. 213*). Die Doppelsieg-Strategie verfolgt ein ähnliches Ziel, erweitert den Fokus jedoch auf den Aufbau langfristiger Partnerschaften, die durch gegenseitiges Vertrauen, Rücksichtnahme auf die Interessen des Partners sowie die Schaffung einer gleichwertigen Beziehung geprägt sind (vgl. *Zrenner, 2020, S. 165f.*).

Aufbauend auf diesen Ansätzen wird im Rahmen dieser Arbeit das DP des Universalisierungsgrundsatzes formuliert. Dieses orientiert sich an ethischen Grundlagen, insbesondere an Konzepten der deontologischen Ethik die darauf abzielt, moralische Pflichten und Regeln unabhängig von den Konsequenzen einer Handlung zu definieren (vgl. *Suchanek, 2022, S. 116*). Der Grundsatz besagt, dass eine Handlung oder Regel nur dann als moralisch bzw. ethisch vertretbar gilt, wenn sie unter vergleichbaren Bedingungen universell anwendbar ist, ohne Widersprüche oder Ungerechtigkeiten zu erzeugen (vgl. *Keul & Schumann, 2022, S. 26*).

Im Kontext des unternehmensübergreifenden Datenaustauschs stellt die Anwendung des Universalisierungsgrundsatzes sicher, dass faire und ausgewogene Prinzipien nicht selektiv angewendet werden, sondern für alle beteiligten Unternehmen gleichermaßen gelten. Ziel ist es, Partnerschaften so zu gestalten, dass der Nutzen für alle Parteien maximiert wird, indem deren individuelle Stärken und Ressourcen eingebracht werden. Der faire Austausch von Daten und Informationen soll hierbei nicht als Ausnahmefall, sondern als grundlegendes Prinzip in sämtlichen Kooperationen etabliert werden. Die konsequente Umsetzung dieses Grundsatzes schafft eine vertrauensvolle und stabile Kooperationsbasis, auf der Unternehmen erfolgreich zusammenarbeiten und gemeinsame Ziele erreichen können.

5.4.3 Evaluierung der Designprinzipien

DP tragen dazu bei, anpassungsfähige Lösungen zu entwickeln und den Wissenstransfer über unterschiedliche Forschungskontexte hinweg zu fördern, indem sie wiederverwendbar gestaltet sind (vgl. *Khosrawi-Rad et al., 2024, S. 182*; *Schoormann et al., 2021, S. 188*; *vom Brocke, Winter et al., 2020, S. 7*). Zur Bewertung ihrer Wiederverwendbarkeit und ihres praktischen Nutzens definieren *Iivari et al. (2018)* fünf zentrale Kriterien: (1) Zugänglichkeit, (2) Wichtigkeit, (3) Neuartigkeit und Erkenntnisreichtum, (4) Umsetzbarkeit und Orientierung sowie (5) Effektivität (vgl. *Iivari et al., 2018, S. 7*). Dieser Bewertungsansatz orientiert sich an den Dimensionen der Forschungsrelevanz, die auch in das Konzept zur Anwendbarkeitsprüfung nach *Rosemann und Vessey* integriert sind (vgl. *Iivari et al., 2018, S. 6*). Das Konzept von *Rosemann und Vessey (2008)* umfasst insgesamt sieben Schritte für die Anwendbarkeitsprüfung, richtet sich jedoch primär an die verhaltenswissenschaftliche Forschung (vgl. *Rosemann & Vessey, 2008, S. 13*). Vor diesem Hintergrund werden für die vorliegende Arbeit die Kriterien von *Iivari et al. (2018)* herangezogen und auf die entwickelten DP angewendet.

Die Kriterien sind in einer interdependenten Struktur angeordnet, bei der die Erfüllung eines Kriteriums die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung der nachfolgenden bildet. Wird ein Kriterium nicht erfüllt, mindert dies den Nutzen und die Relevanz der nachfolgenden, da diese auf den vorhergehenden aufbauen. So können bspw. DP, die lediglich Bekanntes bestätigen, weder zu einer Verhaltensänderung noch zu einer Effektivitätssteigerung führen. Demzufolge sollten wiederverwendbare DP alle fünf Kriterien erfüllen. Im Folgenden erfolgt die Evaluation der formulierten DP entlang dieser Kriterien.

Zugänglichkeit

Das Kriterium der Zugänglichkeit bewertet, inwieweit die DP für die Zielgruppen leicht verständlich und ohne fachliche Hürden nutzbar sind. Entscheidend ist, dass sie klar, präzise und in einer konsistenten Terminologie formuliert sind, da fehlende Verständlichkeit ihre praktische Anwendung erheblich einschränken würde (vgl. Iivari et al., 2018, S. 7).

Um die Zugänglichkeit sicherzustellen, wurden die DP im Rahmen dieser Arbeit in einem iterativen Verfahren unterschiedlichen Zielgruppen vorgestellt. Die Rückmeldungen zur sprachlichen Klarheit, inhaltlichen Präzision und Strukturierung wurden systematisch erfasst, ausgewertet und bei der Überarbeitung der Prinzipien berücksichtigt. Auf diese Weise konnte die Verständlichkeit verbessert werden. Die Auswertung der Rückmeldungen zeigte, dass die DP in ihrer finalen Fassung von den Befragten als klar und eindeutig formuliert bewertet wurden, sodass das Kriterium der Zugänglichkeit als erfüllt angesehen werden kann.

Wichtigkeit

Das Kriterium der Wichtigkeit bewertet, in welchem Maß die entwickelten DP ein reales, praxisrelevantes Problem adressieren und damit einen erkennbaren Nutzen stiften (vgl. Iivari et al., 2018, S. 8). Nur wenn ein klarer Bedarf besteht und dieser durch die DP wirksam aufgegriffen und in geeignete Lösungsansätze überführt wird, ist von einer tatsächlichen Anwendung auszugehen.

Um sicherzustellen, dass die DP auf einem relevanten Problem basieren, die zugrunde liegenden Ursachen präzise identifiziert und die Bedürfnisse der Anwender adäquat berücksichtigt werden, wurde zu Beginn dieser Arbeit eine systematische Literaturrecherche durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.2). Ergänzend erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit Fachexpertinnen und -experten aus unterschiedlichen Disziplinen, um verschiedene Perspektiven und Kontextbedingungen in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Die iterative Vorgehensweise ermöglichte es dabei, die DP fortlaufend anhand neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Rückmeldungen zu präzisieren.

Die praktische Relevanz der entwickelten DP wurde zudem durch einen Konzeptnachweis (vgl. Abschnitt 6.2) sowie durch eine Evaluation mittels Expertenbefragungen (vgl. Abschnitt 7.2) überprüft und bestätigt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sie auf einem validierten Bedarf beruhen und sowohl in wissenschaftlichen als auch in praktischen Anwendungskontexten einen nachweislichen Mehrwert bieten.

Neuartigkeit und Erkenntnisreichtum

Das Kriterium der Neuartigkeit und des Erkenntnisreichtums bewertet, inwieweit die entwickelten DP neues Wissen generieren und bestehende Ansätze über den aktuellen Stand hinaus erweitern, statt lediglich Bekanntes zu reproduzieren. Da die Wahrnehmung von Neuartigkeit zwischen wissenschaftlicher Forschung und praktischer Anwendung variieren kann, empfehlen *Iivari et al. (2018)*, die Bewertung in enger Abstimmung mit potenziellen Anwendern vorzunehmen, um sowohl theoretische als auch praxisorientierte Perspektiven angemessen zu berücksichtigen (vgl. *Iivari et al., 2018, S. 8*).

Im vorliegenden Forschungskontext ergibt sich die Relevanz und Neuartigkeit der DP primär aus zwei Einflussfaktoren: erstens aus regulatorischen Vorgaben, die tiefgreifende Anpassungen in unternehmensübergreifenden Prozessen erfordern, und zweitens aus externen Störungen, welche die Stabilität globaler Produktionsnetzwerke erheblich beeinträchtigen (vgl. *Adams et al., 2024, S. 1f.*). So verpflichtet bspw. das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) Unternehmen zu Einhaltung menschenrechtlicher und ökologischer Standards in ihren Wertschöpfungsnetzwerken (vgl. *Grabosch & Schönfelder, 2021, S. 488*). Im Kontext der Zuteilung restriktiver Bauteile bedingt dies insbesondere transparente Zuteilungsprozesse, erweiterte Dokumentationspflichten sowie engere Abstimmungsmechanismen mit Wertschöpfungspartnern (vgl. *Altenschmidt & Helling, 2022, S. 6ff.; Störk, 2023, S. 61*).

Parallel dazu haben Krisen wie die COVID-19-Pandemie und die Halbleiterknappheit flexible Zuteilungsstrategien sowie robuste Priorisierungs- und Entscheidungsmechanismen erforderlich gemacht, um verfügbare Kapazitäten bestmöglich zu nutzen und Produktionsunterbrechungen zu vermeiden.

Die entwickelten DP greifen diese Rahmenbedingungen auf, indem sie methodische und organisatorische Leitlinien formulieren, die sowohl die gestiegenen Anforderungen an Transparenz und Dokumentation als auch die erhöhten Erfordernisse an Flexibilität und Reaktionsfähigkeit berücksichtigen. Auf diese Weise adressieren die Prinzipien eine bislang unzureichend behandelte Schnittstelle von Compliance, Resilienz und Effizienz in der Bauteilallokation. Zudem bieten sie damit erweiterte Handlungsmöglichkeiten für Forschung und industrielle Praxis, indem sie eine übertragbare Grundlage für die Gestaltung robuster, adaptiver und regelkonformer Zuteilungsprozesse in großen Produktionsnetzwerken bereitstellen.

Umsetzbarkeit und Orientierung

Das Kriterium Umsetzbarkeit und Orientierung bewertet, in welchem Maß ein DP in der Praxis tatsächlich angewendet werden kann. Nach *Iivari et al. (2018)* ist dabei zu berücksichtigen, dass DP nur einen Teil des für die Systemgestaltung erforderlichen Wissens abbilden können (vgl. *Iivari et al., 2018, S. 8f.*). Ein Anteil impliziten Wissens bleibt stets bestehen und lässt sich nicht vollständig in DP erfassen. Dennoch bieten sie Praktikern eine wertvolle Orientierung, wenn sie mit eigener Erfahrung und spezifischem Fachwissen kombiniert werden.

Für eine hohe Umsetzbarkeit ist es zudem entscheidend, dass DP nicht zu restriktiv formuliert werden. Eine zu wörtliche Auslegung kann die Kreativität der Anwender einschränken. Erforderlich ist daher ein ausgewogenes Verhältnis zwischen hinreichender Anleitung und ausreichender

Flexibilität, um sowohl Orientierung zu bieten als auch Anpassungen an den jeweiligen Anwendungskontext zu ermöglichen.

Die Überprüfung der Umsetzbarkeit der DP erfolgte in dieser Arbeit anhand eines mehrstufigen Vorgehens. Zunächst wurde durch die Demonstration die praktische Anwendbarkeit in einem realitätsnahen Anwendungsszenario belegt (vgl. Abschnitt 6.2). Ergänzend flossen Erkenntnisse aus parallel laufenden Forschungsprojekten ein, die nachhaltige Lösungsansätze für zentrale Herausforderungen im Bereich der Interoperabilität und Datensouveränität entwickeln (vgl. Lindner et al., 2020, S. 14ff.; Oriel, 2021, S. 174ff.; Otto, Hompel & Wrobel, 2019, S. 109ff.; Zrenner, 2020, S. 3). Schließlich wurden die DP im Rahmen der Expertenbefragungen validiert (vgl. Abschnitt 7.2), um Verständnislücken und Umsetzungshürden zu identifizieren und gezielt Verbesserungspotenziale abzuleiten. Dieses mehrstufige Vorgehen gewährleistet, dass die DP sowohl klare als auch praxisgerechte Orientierung bieten, ohne die erforderliche Flexibilität einzuschränken.

Effektivität

Das Kriterium der Effektivität bewertet, in welchem Maß die DP zur Erreichung der angestrebten Ziele beitragen (vgl. Iivari et al., 2018, S. 9). Dabei sind zwei Dimensionen zu berücksichtigen: der Einfluss auf den Entwicklungsprozess des Systems sowie die Wirkung des resultierenden Systems auf die Leistungsfähigkeit der Anwender. Für eine valide Bewertung der Effektivität wäre eine Erprobung der DP in unterschiedlichen Anwendungskontexten sowie eine Langzeitbeobachtung der daraus hervorgehenden Artefakte unter realen Einsatzbedingungen erforderlich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass selbst unter diesen Voraussetzungen die Untersuchung des Einflusses der Prinzipien schwierig ist, da viele verschiedene Einflussfaktoren ihre Wirkung auf die Leistung des Anwenders mitprägen können.

Wie bei den zuvor betrachteten Kriterien stützt sich auch hier die Bewertung der entwickelten DP auf den in Abschnitt 6.2 beschriebenen Konzeptnachweis sowie auf die in Abschnitt 7.2 durchgeführten Expertenbefragungen. Der Konzeptnachweis demonstriert die Praxistauglichkeit der entwickelten Ansätze im realen Unternehmenskontext, während die ergänzende Umfrage die gewonnenen Erkenntnisse aus der Demonstration empirisch absichert und um zusätzliche Perspektiven aus der Praxis erweitert.

5.4.4 Zwischenfazit

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten DP bilden eine kohärente und praxisorientierte Grundlage für die Zuteilung restriktiver Bauteile in großen Produktionsnetzwerken. Sie greifen zentrale Herausforderungen auf, die sich aus heterogenen IT-Systemlandschaften, fragmentierten Datenbeständen, unzureichender Transparenz im Wertschöpfungsnetzwerk, hohen Volatilitäten in Bedarfs- und Kapazitätssituationen sowie divergierenden Interessen der Wertschöpfungspartner ergeben. Dabei ergänzen sich die Prinzipien in ihrer Zielsetzung. Interoperabilität (DP 1) schafft die technische Grundlage für systemübergreifenden Datenaustausch, während Datendurchgängigkeit (DP 2) dessen inhaltliche Konsistenz und Aktualität sicherstellt. Datensouveränität (DP 3) zielt auf die Wahrung der Kontrolle über Nutzung und Weitergabe sensibler Informationen ab

und stärkt dadurch die Akzeptanz des unternehmensübergreifenden Datenaustauschs. Die Simulationsfähigkeit (DP 4) unterstützt die vorausschauende Analyse alternativer Zuteilungsstrategien und erhöht dadurch sowohl die Reaktionsgeschwindigkeit als auch die Resilienz gegenüber volatilen Rahmenbedingungen. Schließlich festigt der Universalisierungsgrundsatz (DP 5) die Prinzipien eines fairen und gegenseitig vorteilhaften Nutzens als Grundlage langfristiger, stabiler Partnerschaften.

In ihrer Gesamtheit schaffen die DP sowohl technologische als auch organisatorische Grundlagen, die eine effiziente Zuteilung restriktiver Ressourcen ermöglichen. Darüber hinaus stärken sie institutionelle Voraussetzungen wie klare Governance-Strukturen, standardisierte Austauschprozesse und vertrauensbildende Mechanismen, die für eine nachhaltige und kooperative Wertschöpfung zwischen den beteiligten Partnern erforderlich sind. Die theoretische Fundierung der DP, die systematische Ableitung aus empirischen Erkenntnissen sowie die Validierung durch praxisnahe Anwendungsszenarien und die Evaluation durch Expertenbefragungen belegen sowohl ihre Relevanz als auch ihre Anwendbarkeit. Damit leisten die DP einen Beitrag zur gestaltungsorientierten Forschung und zur industriellen Praxis und bilden zugleich eine fundierte Grundlage für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen und Implementierungsprojekte.

5.5 Zwischenfazit

Im vorliegenden Kapitel wurde ein konzeptioneller Rahmen für die Entwicklung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten in großen Produktionsnetzwerken erarbeitet. Ausgangspunkt bildete die Erhebung von 23 LZ, die im Rahmen eines Anforderungsworkshops identifiziert wurden. Diese LZ spiegeln sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen an die Zuteilung restriktiver Bauteile wider und stellen sicher, dass die entwickelte Systematik einen klar definierten Zweck erfüllt und den spezifischen Erwartungen relevanter Stakeholdergruppen entspricht.

Auf dieser Grundlage wurde ein Konzept für ein Prozessmodell entwickelt, das den vollständigen Ablauf der Zuteilung in vier klar abgegrenzte Prozessabschnitte strukturiert. Das Modell dient dabei nicht nur als Ablaufbeschreibung, sondern auch als Referenzrahmen für die Ableitung und Bewertung der im weiteren Verlauf entwickelten fünf DP. Diese wurden als wissenschaftlich fundierte und generalisierbare Gestaltungsleitlinien formuliert, die eine übertragbare Anwendung in unterschiedlichen Forschungskontexten ermöglichen.

Die Ergebnisse des Kapitels verdeutlichen, dass eine robuste und effiziente Zuteilung restriktiver Bauteile nur durch einen integrativen Ansatz erreicht werden kann, der technologische, organisatorische und kollaborative Rahmenbedingungen gleichermaßen berücksichtigt. Hierbei erweisen sich die Wahrung der Datensouveränität sowie der Einsatz förderierter Informationssysteme als grundlegende Erfolgsfaktoren (vgl. Feth & Polst, 2023, S. 4). Darüber hinaus bestätigen die Ergebnisse, dass simulationsgestützte Vergleiche von Planungsszenarien eine zentrale Rolle für die Bewertung alternativer Handlungsoptionen einnehmen, da sie fundierte, datengestützte Entscheidungsgrundlagen schaffen.

Insgesamt zeigt sich, dass der entwickelte konzeptionelle Rahmen für eine multikriterielle Zuteilungssystematik bestehende Defizite in der Bauteilallokation aufgreift und eine strukturierte methodische Grundlage für konsistente und nachvollziehbare Entscheidungen in dynamischen Produktionsumgebungen bereitstellt. Die im folgenden Kapitel dargestellte Demonstration dient als Validierungsschritt, der die identifizierten Potenziale unter realitätsnahen Bedingungen prüft und eine differenzierte Bewertung ihrer praktischen Umsetzbarkeit sowie ihrer Wirkung in konkreten Anwendungskontexten ermöglicht.

6 Konzeptnachweis für die Zuteilungssystematik

In diesem Kapitel erfolgt der Konzeptnachweis für die Zuteilungssystematik, um ihre technische Realisierbarkeit sowie den daraus resultierenden potenziellen praktischen Mehrwert zu belegen. Die Demonstration verfolgt das Ziel, die in Kapitel 5 formulierten LZ und prozessualen Abläufe unter realitätsnahen Bedingungen in einem kontrollierten Anwendungsumfeld zu verifizieren. Diesbezüglich wird die Zielsetzung und der konzeptionelle Ansatz der Demonstration in Unterkapitel 6.1 beschrieben. Die beispielhafte Anwendung der Zuteilungssystematik erfolgt in Unterkapitel 6.2 und dient als Beitrag zur Veranschaulichung des resultierenden Nutzens in der Praxis. Dem folgt in Unterkapitel 6.3 die Zusammenfassung sowie das Zwischenfazit. Im Kontext des DSR-Prozessreferenzmodells dient dieses Kapitel als Demonstration der entwickelten Artefakte (vgl. **Abbildung 6-1**).

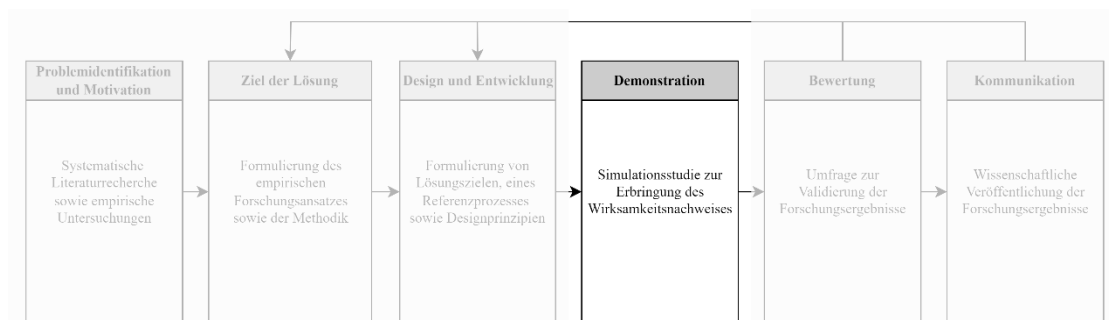


Abbildung 6-1: Verortung der Demonstrationsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)

6.1 Zielsetzung und konzeptioneller Ansatz der Demonstration

Die Demonstration dient als Konzeptnachweis für den entwickelten konzeptionellen Rahmen der multikriteriellen Zuteilungssystematik. Ziel ist es, die technische Realisierbarkeit sowie den daraus ableitbaren praktischen Mehrwert in der modellbasierten, simulationsgestützten Unterstützung von Zuteilungsentscheidungen zu belegen. Dazu wird ein Demonstrator eingesetzt, der auf Grundlage eines vollständigen und konsistenten Auftrags- und Stücklistendatensatzes die Auswirkungen von Planungsänderungen auf die Zuteilung restriktiver Bauteile abbildet. Die gewählte Vorgehensweise ermöglicht es, Szenariovergleiche zur Bewertung alternativer Zuteilungsstrategien durchzuführen, wobei die Datensouveränität der beteiligten Wertschöpfungspartner gewahrt bleibt.

Da die Validierung der technischen Realisierbarkeit nur in einem realitätsnahen Anwendungskontext erfolgen kann, wurde ein Fallbeispiel ausgewählt, das diesen Anforderungen entspricht. Die Demonstration wird hierzu in Kooperation mit einem deutschen Automobilhersteller mit mehr als 50 Fertigungsstandorten durchgeführt. Die Fallstudienauswahl basiert auf den Kriterien Datenverfügbarkeit, Heterogenität und Prozesskomplexität, die aus den übergeordneten Zielen der Demonstration abgeleitet und durch etablierte methodische Empfehlungen zur Fallstudienauswahl in der DSR-Literatur gestützt werden (vgl. Yin, 2018, S. 118).

Unter Datenverfügbarkeit wird im Rahmen der Demonstration die Bereitstellung eines vollständigen, konsistenten und aktuellen Datensatzes verstanden, der sämtliche für die Zuteilung relevanten Auftrags-, Stücklisten- und Engpassinformationen umfasst. Heterogenität bezieht sich auf die Variation in Fahrzeugmodellen, Variantenkonfigurationen und Marktanforderungen und ermöglicht eine Validierung der Zuteilungssystematik unter unterschiedlichen Produktionsbedingungen. Prozesskomplexität resultiert aus stücklistenbasierten Abhängigkeiten über mehrere Produktionsstandorte hinweg, wodurch eine simultane und netzwerkweite Betrachtung von Kapazitäten und Engpässen erforderlich wird. Die Kombination dieser Kriterien schafft einen Untersuchungsrahmen, der sowohl eine realitätsnahe Abbildung der zugrunde liegenden Problemstellung ermöglicht als auch eine fundierte Einschätzung der Übertragbarkeit der Demonstrationsergebnisse auf andere Wertschöpfungsnetzwerke zulässt.

Methodisches Vorgehen und Simulationslogik

Die Simulation der Zuteilungsentscheidung setzt vollständig spezifizierte Fahrzeugaufträge und Stücklisteninformationen voraus. Unter vollständiger Spezifikation wird im Rahmen der Demonstration verstanden, dass alle für die Zuteilungsentscheidung relevanten Merkmale, wie Modellvarianten, Marktzuordnung und zeitliche Parameter, lückenlos erfasst und dokumentiert sind. Das Verfahren basiert auf der Adaption vorhandener Originalaufträge, die immanent sämtliche relevanten Planungsregeln erfüllen und alle Abhängigkeiten zwischen Auftragsmerkmalen implizit enthalten. Dadurch bleiben diese Abhängigkeiten auch bei der Erzeugung neuer Auftragsdatensätze erhalten, ohne dass sie separat modelliert werden müssen.

Der Simulationsablauf umfasst dabei zwei Schritte: Zunächst wird ausgehend von den Originalaufträgen ein neuer, abgeleiteter Auftragsatz generiert. Darauf aufbauend wird in einem zweiten Schritt eine Bedarfsrechnung in Form einer Stücklistenauflösung für die Bauteile durchgeführt. Diese methodische Entkopplung ermöglicht es, nachträgliche Änderungen wie den Austausch von Bauteilvarianten in der Stückliste oder die Anpassung von Kapazitätsannahmen beliebig oft zu simulieren, ohne die Konsistenz der Daten zu beeinträchtigen.

Das methodische Vorgehen orientiert sich an einem typischen Engpassszenario, das den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Zuteilungssystematik bildet. Tritt ein Engpass auf, übersteigt der Bedarf die verfügbare Kapazität des betroffenen Bauteils, was zu einer Materialbedarfsunterdeckung führt. Infolgedessen ist eine Anpassung des Auftragsbestands notwendig, um festzulegen, welchen Bedarfsträgern die verfügbaren Mengen der restriktiven Bauteile zugewiesen werden. Aufgrund der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Auftragsmerkmalen können Änderungen an der Einbaurate eines bestimmten Bauteils jedoch unerwartete Folgewirkungen hervorrufen. Neben der beabsichtigten Entlastung des ursprünglichen Engpasses kann dies zur Entstehung zusätzlicher Engpässe bei anderen Bauteilen führen. In der Folge bleiben Kapazitäten möglicherweise ungenutzt, was sowohl die Gesamtausbringung als auch den wirtschaftlichen Ergebnisbeitrag verringert.

Der entwickelte Demonstrator unterstützt die Entscheidungsfindung, indem er alle relevanten Abhängigkeiten simultan berücksichtigt und die Auswirkungen alternativer Zuteilungsentscheidungen transparent darstellt. Auf dieser Basis können Strategien identifiziert werden, die eine möglichst hohe Kapazitätsauslastung und Gesamtausbringung im Produktionsnetzwerk fördern.

Für die Demonstration steht ein umfangreicher technischer Datensatz zur Verfügung, der 505.000 Fahrzeugaufträge aus dem Jahr 2022, 296 identifizierte Engpassteile sowie 2.990 Stücklistenregeln für fünf Fahrzeugmodelle umfasst. Auf dieser Datengrundlage erzeugt die Simulation neue Auftragsdatensätze, indem die Merkmalsausprägungen der ursprünglichen Aufträge neu kombiniert werden.

Da in der automobilen Variantenkonfiguration Fahrzeuge häufig nach dem Prinzip eines modularen Baukastensystems zusammengesetzt werden, wird aus jeder Teilefamilie, die eine Menge funktional ähnlicher, jedoch unterschiedlich spezifizierter Komponenten umfasst, genau eine Ausprägung ausgewählt. Wird im Rahmen der Simulation die Einbaurate einer Komponente innerhalb einer Teilefamilie reduziert, erhöht sich die Einbaurate der verbleibenden Komponenten proportional, um die Gesamtverwendung innerhalb der Teilefamilie konstant zu halten.

Die Gleichverteilungslogik dient in der Demonstration als Referenzmethode und stellt eine neutrale Ausgangsbasis bereit, auf deren Grundlage alternative Selektionskriterien, wie die Priorisierung nach Ertragsbeitrag oder Marktzugehörigkeit, systematisch verglichen werden können. Der gesamte Rechenprozess, einschließlich der Stücklistenauflösung zur Ermittlung des Bedarfs für alle Engpassteile, wird dabei in weniger als 100 Millisekunden durchgeführt.

Ergebnisse, Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten

Das Ergebnis der Simulation ist ein neuer, konsistenter Auftragssatz mit angepasster Merkmalsverteilung, bei dem sämtliche relevanten Abhängigkeiten aufrechterhalten werden. Dieser Datensatz eignet sich für vielfältige analytische Auswertungen, wie z. B. zur Aggregation oder Filterung nach spezifischen Merkmalsausprägungen, um Veränderungen in bestimmten Modellvarianten, Absatzmärkten oder Zeiträumen zu identifizieren. Ebenso können Volumina und Verwendungsraten einzelner Bauteile analysiert werden, um die Auswirkungen von Engpässen zu quantifizieren. Der direkte Vergleich mit dem ursprünglichen Basisszenario ermöglicht zudem eine präzise Bestimmung der durch Planungsänderungen verursachten Effekte sowie die Identifikation ihrer Ursachen.

Aufgrund der hohen Rechengeschwindigkeit kann in kollaborativen Planungssitzungen umgehend Feedback zu generierten Szenarien bereitgestellt werden, was einen iterativen Anpassungsprozess fördert und die Ausschöpfung vorhandener Ressourcen verbessert. Auf dieser Grundlage wird in der Demonstration ein exemplarischer methodischer Ansatz zur Zuteilung restriktiver Bauteile erprobt, um den entwickelten konzeptionellen Rahmen unter praxisnahen Bedingungen zu validieren. Die erzielten Ergebnisse leisten einen wesentlichen Beitrag zum Machbarkeitsnachweis der entwickelten Artefakte und bilden die methodische Grundlage für die im folgenden Kapitel dargestellte Evaluation.

6.2 Beispielhafte Anwendung der Zuteilungssystematik

Die beispielhafte Anwendung basiert auf dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Datensatz des Industriepartners. Für die Demonstration wurden diese Daten für den spezifischen Anwendungsfall aufbereitet und in ein simulationsfähiges Format überführt. Dabei kamen kodierte Produktkennungen zum Einsatz, die eine eindeutige Zuordnung aller relevanten Ausstattungsmerkmale und -pakete ermöglichen. Zur Wahrung der Vertraulichkeit wurden sämtliche

produkt- und unternehmensspezifischen Bezeichnungen pseudonymisiert. Eine Übersicht der verwendeten, für die Simulation aufbereiteten Datenbasis ist in **Tabelle 6-1** dargestellt.

Tabelle 6-1: Übersicht der aus den Quelldaten importierten Datenbasis

Fahrzeugmodell	Fahrzeugsegment	Modellschlüssel	Stücklistenregeln	Anzahl der Aufträge (2022)
A	Obere Mittelklasse	4A8	4K2	63.032
B	Kompaktklasse	GD1	5H1	204.589
C	Kompakt-SUV	TX1	6T2	159.631
D	Kleintransporter (offene Aufbauten)	CZB	8BP	2.446
D	Kleintransporter (geschlossene Aufbauten)	CYB	8C0	30.916

Die Demonstration des konzeptionellen Rahmens erfolgt am Beispiel eines Engpasses für einen spezifischen Regensensor. Zur eindeutigen Identifizierung dieses Bauteils wird ein verkürztes Produktkürzel verwendet, das in diesem Fall mit der Zeichenfolge „9C“ endet. Diese Kennzeichnung ermöglicht eine klare Abgrenzung gegenüber anderen Bauteilen, da sie Informationen zur Produktreihe, zu technischen Spezifikationen und zu Varianten enthält.

Um eine systematische Durchführung zu gewährleisten, sind die einzelnen Schritte der Demonstration den Teilabschnitten des in Kapitel 5.3 beschriebenen Konzepts für ein Prozessmodell zugeordnet. Durch diese Vorgehensweise wird eine konsistente, transparente und nachvollziehbare Durchführung des Konzeptnachweises sichergestellt. Der Fokus der Demonstration liegt auf der technischen Validierung des Konzepts, insbesondere auf der effizienten Vorprüfung der Auswirkungen von Planungsänderungen. Aspekte wie fachliche Abstimmungen, inhaltliche Freigaben oder koordinative Entscheidungsprozesse sind hingegen nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die exemplarische Anwendung setzt mit der Meldung eines potenziellen Engpasses beim Regensensor „9C“ ein. Der Engpass betrifft 40 % der vereinbarten Produktionskapazität. Diese Abweichung erfordert einen detaillierten Abgleich zwischen dem prognostizierten Bedarf und der tatsächlich verfügbaren Kapazität, um Versorgungsrisiken frühzeitig zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen einleiten zu können (vgl. Lochmahr & Wildemann, 2007, S. 520). **Abbildung 6-2** zeigt die Bedarfs- und Kapazitätsverläufe des Regensors im Zeitraum von Januar bis Mitte November 2022. Die Analyse verdeutlicht, dass der Bedarf die verfügbaren Kapazitäten im betrachteten Zeitraum übersteigt, was zu einer kumulierten Unterdeckung von insgesamt 3.842 Regensensoren führt.



Abbildung 6-2: Kumulierte Bedarfs- und Kapazitätsverläufe des Regensors „9C“

Da die kumulierte Kapazität keine ausreichende Grundlage für eine differenzierte Bewertung der Engpasssituation bietet, wird im nächsten Schritt die monatliche Verteilung der verfügbare Kapazitäten analysiert. Diese Auswertung zeigt, dass der Bedarf die verfügbaren Kapazitäten in den Monaten April bis August übersteigt (vgl. **Abbildung 6-3**).

Anschließend erfolgt eine Prüfung der Stücklistenregeln, um zu ermitteln, in welchen Modulen der betroffene Regensor eingesetzt wird und welche Fahrzeugmodelle vom Engpass betroffen sind. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel ist der Regensor „9C“ Bestandteil der 1-Zonen-Klimaautomatik „KC1“ und wird ausschließlich in der Kompaktklasse verbaut. Die übrigen drei untersuchten Fahrzeugmodelle sind von diesem Engpass nicht betroffen. Folglich wird in der weiteren Analyse die Simulationskonfiguration auf die Kompaktklasse beschränkt, um den Betrachtungsumfang gezielt auf das betroffene Modell zu fokussieren. Der beschriebene Abschnitt kennzeichnet den Abschluss der ersten Phase des in Kapitel 5.3 entwickelten Konzepts und leitet über zur zweiten Phase, in der die vertiefte Analyse sowie die darauf basierende Entscheidungsfindung zur Zuteilung erfolgt.



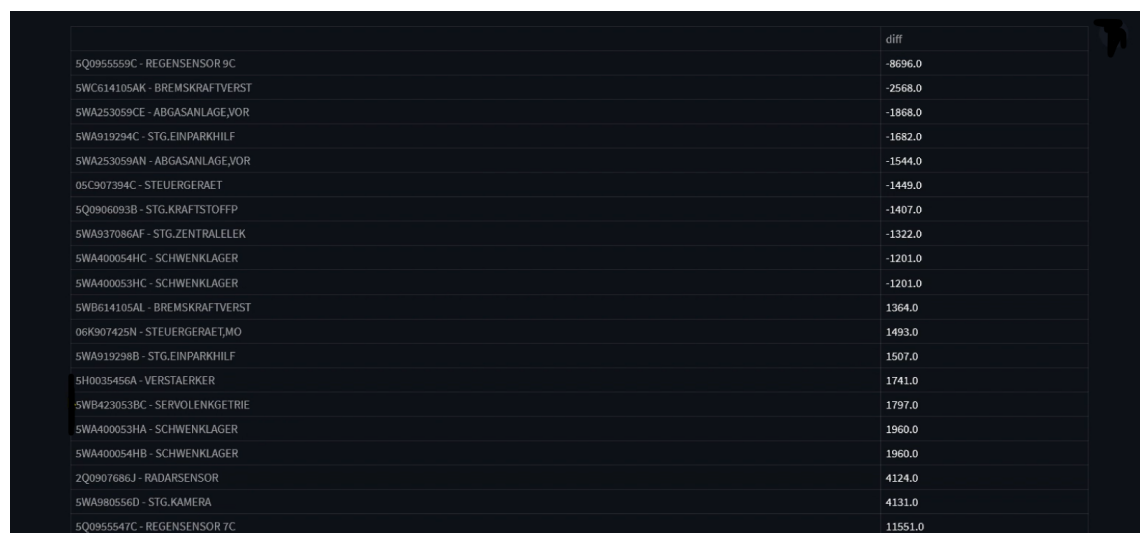
Abbildung 6-3: Monatliche Bedarfs- und Kapazitätsverläufe des Regensors „9C“

In einem weiteren Simulationsschritt wird die Einbaurate der 1-Zonen-Klimaautomatik „KC1“ um 40 % reduziert. Änderungen der Einbauraten einzelner Komponenten wirken sich auf die Bedarfe zahlreicher weiterer Bauteile aus. In diesem Fall zeigen die Simulationsergebnisse, dass diese Anpassung die größte Bedarfsverschiebung bei einem alternativen Regensor mit dem Produktkürzel „7C“ bewirkt. Während der Bedarf am Sensor „9C“ um insgesamt 8.696 Teile

sinkt, steigt der Bedarf am Sensor „7C“ gleichzeitig um 11.551 Teile (vgl. **Abbildung 6-4**). Daraus ergibt sich die Hypothese, dass der Regensensor „7C“ potenziell als alternatives Bauteil zum vom Engpass betroffenen Sensor „9C“ eingesetzt werden könnte.

Zur Überprüfung dieser Hypothese werden die relevanten Stücklistenregeln analysiert. Dabei zeigt sich, dass der Regensensor „7C“ in der 3-Zonen-Klimaautomatik „KH8“ verbaut ist, während der Sensor „9C“ der 1-Zonen-Klimaautomatik „KC1“ zugeordnet ist. Beide Varianten gehören dabei derselben Produktfamilie an. Auf dieser Grundlage wird im nächsten Analyseschritt die Einbaurrate der 3-Zonen-Klimaautomatik „KH8“ angepasst, um zu prüfen, ob eine gezielte Erhöhung des Einsatzes des alternativen Sensors „7C“ den Engpass des Sensors „9C“ kompensieren kann.

Ergibt die Simulation, dass der Teilebedarf des Sensors „7C“ bei einer angepassten Einbaurrate innerhalb der verfügbaren Kapazitäten bleibt, könnten für die vom Engpass betroffenen Fahrzeugbestellungen Upgrades von der 1-Zonen- auf eine 3-Zonen-Klimaautomatik durchgeführt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Maßnahme weder die verfügbaren Kapazitäten des Sensors „7C“ überschreitet, noch zusätzliche Engpässe bei anderen Bauteilen verursacht. Andernfalls würde sich die Versorgungslage weiter verschärfen.



	diff
5Q095559C - REGENSENSOR 9C	-8696,0
5WC614105AK - BREMSKRAFTVERST	-2568,0
5WA253059CE - ABGASANLAGE,VOR	-1868,0
5WA919294C - STG.EINPARKHILF	-1682,0
5WA253059AN - ABGASANLAGE,VOR	-1544,0
05C907394C - STEUERGERAET	-1449,0
5Q0906093B - STG.KRAFTSTOFFP	-1407,0
5WA937086AF - STG.ZENTRALELEK	-1322,0
5WA400054HC - SCHWENKLAGER	-1201,0
5WA400053HC - SCHWENKLAGER	-1201,0
5WB614105AL - BREMSKRAFTVERST	1364,0
06K907425N - STEUERGERAET,MO	1493,0
5WA919298B - STG.EINPARKHILF	1507,0
5H0035456A - VERSTAERKER	1741,0
5WB423053BC - SERVolenkGETRIE	1797,0
5WA400053HA - SCHWENKLAGER	1960,0
5WA400054HB - SCHWENKLAGER	1960,0
2Q0907686J - RADARSENSOR	4124,0
5WA980556D - STG.KAMERA	4131,0
5Q0955547C - REGENSENSOR 7C	11551,0

Abbildung 6-4: Bauteile mit den größten Bedarfsverschiebungen

Im nächsten Schritt werden die kumulierten Kapazitätsverläufe der beiden Regensensoren analysiert, um einen direkten Vergleich ihrer Kapazitätslage zu ermöglichen. Darauf aufbauend wird die Einbaurrate des Sensors „9C“ schrittweise angepasst, bis bei beiden Sensoren keine Kapazitätsunterdeckung mehr besteht. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel wird dieser Zustand erreicht, wenn die Einbaurrate des Sensors „9C“ auf 24 % reduziert wird. **Abbildung 6-5** zeigt die entsprechenden Kapazitätsverläufe beider Sensoren.



Abbildung 6-5: Kumulierte Kapazitätsverläufe der Regensensoren „9C“ und „7C“

Im Rahmen der Analyse wird anschließend die Einbaurrate der 3-Zonen-Klimaautomatik auf 76 % erhöht, um zu evaluieren, ob die verfügbaren Kapazitäten ausreichen, um den geplanten Bedarf vollständig zu decken. Die Simulationsergebnisse verdeutlichen jedoch, dass in den Monaten Mai und Juni weiterhin eine Kapazitätsunterdeckung besteht (vgl. **Abbildung 6-6**). Demzufolge könnte ein Upgrade von einzelnen Fahrzeugaufträgen von der 1-Zonen- zur 3-Zonen-Klimaautomatik den Zeitraum der Unterdeckung von drei auf zwei Monate reduzieren.

Um sicherzustellen, dass durch die Anpassung keine zusätzlichen Engpässe entstehen, ist die erneute Überprüfung der Kapazitäten der Bauteile mit den größten Bedarfsänderungen erforderlich. Da der Fokus der Demonstration auf der technischen Machbarkeitsprüfung liegt, wird auf die erneute Überprüfung an dieser Stelle verzichtet. Ebenso wird keine wirtschaftliche Bewertung der Maßnahme aus Unternehmensperspektive vorgenommen. Die durchgeführte Kompensationsrechnung dient vielmehr dazu, die Auswirkungen von Konfigurationsänderungen auf die Kapazitätssituation transparent darzustellen und potenzielle Gegenmaßnahmen zu untersuchen.



Abbildung 6-6: Kapazitätsverläufe der Regensensoren 7C und 9C (Einbaurrate 7C: 76 %)

Nachdem verschiedene Simulationsszenarien hinsichtlich ihrer Eignung zur Engpassbewältigung analysiert und eine bevorzugte Option identifiziert wurden, erfolgt im nächsten Schritt die Übermittlung der zugehörigen Zuteilungsentscheidung an die betroffenen Bedarfsträger. Dieser Schritt markiert im entwickelten Konzept den Übergang in den dritten Teilabschnitt (vgl. Kapitel 5.3.3). Die Bedarfsträger haben daraufhin die Möglichkeit, die potenziellen Auswirkungen der beschlossenen Zuteilung in einer Vorprüfung zu bewerten. Diese Vorprüfung kann sowohl durch die Anpassung des geplanten Auftragsvolumens als auch durch die Modifikation der Einbauraten einzelner Bauteile erfolgen.

Während Änderungen des Auftragsvolumens frei nach allen in den Auftragsdaten enthaltenen Merkmalen gefiltert werden können, beeinflussen Anpassungen der Einbauraten den relativen Anteil bestimmter Merkmalsausprägungen innerhalb einer Teilefamilie. Auf dieser Grundlage lassen sich zudem zeitliche oder geografische Verschiebungen modellieren, bspw. zwischen unterschiedlichen Vertriebsländern. Zur Veranschaulichung werden im vorliegenden Anwendungsfall die Auswirkungen länderbezogener Volumenverschiebungen auf den Teilebedarf analysiert. Ziel ist es, zu prüfen, inwieweit eine Veränderung der Marktzuteilung zu signifikanten Bedarfsänderungen bei einzelnen Bauteilen führt und damit potenziell bestehende Engpasssituationen beeinflusst.

Da die Einbaurrate eines Bauteils je nach Vertriebsland unterschiedlich ausfallen kann, führt eine veränderte geografische Verteilung des Gesamtvolumens zu abweichenden Merkmalsverteilungen. Dies kann wiederum zu Unterschieden in den Teilebedarfen führen, auch wenn das Gesamtvolumen unverändert bleibt. In diesem Szenario wird eine gezielte Volumenverschiebung vom Vertriebsland Deutschland in das Vertriebsland Frankreich simuliert, um die Auswirkungen einer veränderten geografischen Absatzverteilung auf die Teilebedarfe zu analysieren. Zur Wahrung der Vertraulichkeit und zum Schutz sensibler Unternehmensinformationen wird anstelle der in

den vorangegangenen Prozessschritten betrachteten Regensensoren im Folgenden der technisch vergleichbare Radarsensor „6J“ als Referenzbauteil verwendet.

In dieser Betrachtung werden dem Vertriebsland Frankreich monatlich 2.000 zusätzliche Einheiten des Radarsensors „6J“ zugeordnet, während das Volumen für das Vertriebsland Deutschland im gleichen Umfang reduziert wird. Die Auswertung der Simulation erfolgt auf der Ebene der Einbauraten pro Vertriebsland. Diese Darstellungsform ermöglicht es, Unterschiede in der regionalen Verteilung des Bauteileinsatzes sichtbar zu machen und deren Auswirkungen auf die Bedarfe zu analysieren. Durch den direkten Vergleich mit dem Basisszenario lassen sich Veränderungen in der Verwendungsstruktur präzise quantifizieren und auf spezifische Planungsänderungen zurückführen (vgl. **Abbildung 6-7**).

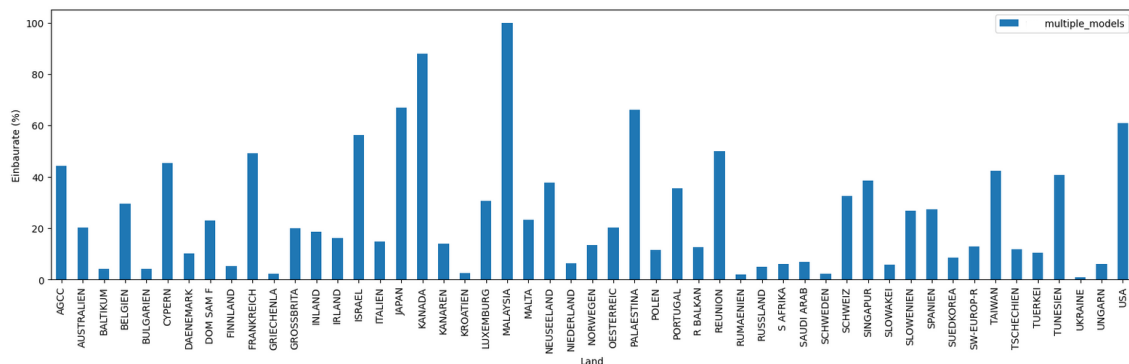


Abbildung 6-7: Einbauraten des Radarsensors 6J je Vertriebsland

Die Ergebnisse zeigen, dass die Einbauraten des Radarsensors im französischen Absatzmarkt mit 49 % deutlich über der des deutschen Marktes liegt, der in diesem Anwendungsbeispiel als „Inland“ bezeichnet wird und einen Anteil von 19 % aufweist. Diese ungleiche Verteilung der Einbauraten erklärt den durch die Volumenverschiebung in Richtung Frankreich induzierten Anstieg des Bedarfs an diesem Bauteil. Da derartige Marktverschiebungen nicht nur den Bedarf des betrachteten Sensors, sondern auch den weiterer Bauteile beeinflussen können, weist **Abbildung 6-8** ergänzend die Bauteile mit der größten absoluten Bedarfsabweichung aus.

Die Analyse verdeutlicht, dass die gezielte Verlagerung von Produktionsvolumina zwischen Märkten ein wirksames Steuerungsinstrument zur Beeinflussung der Bauteilnachfrage darstellen kann. Durch die Priorisierung von Aufträgen in Märkten mit geringerer Einbauraten des betroffenen Bauteils lässt sich der verfügbare Kapazitätsrahmen gezielt entlasten und bestehende Engpässe dadurch reduzieren, ohne das Gesamtproduktionsvolumen zu verändern.

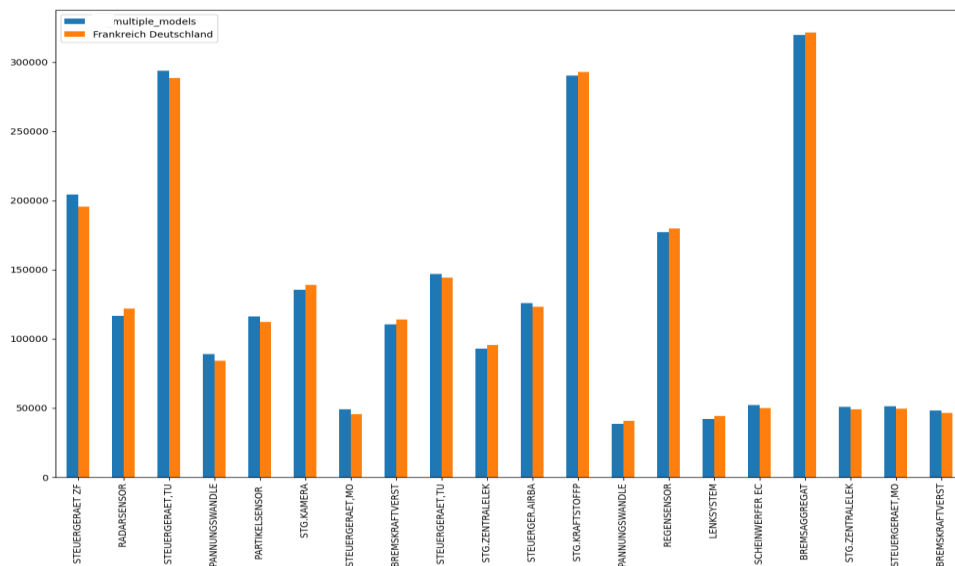


Abbildung 6-8: Bedarfsabweichung infolge der Volumenverschiebung

Durch die freie Kombination mehrerer Simulationsschritte lässt sich ein breites Spektrum potenzieller Anwendungsszenarien abbilden. Auf diese Weise können strategische Unternehmensvorgaben und deren potenzielle Auswirkungen bereits vor ihrem Eintritt evaluiert werden. Die Simulation ermöglicht bspw. die Bewertung strategischer Handlungsoptionen wie der Priorisierung spezifischer Absatzmärkte oder der gezielten Auslastung ausgewählter Produktionsstandorte. Die Durchführung solcher Szenarioanalysen trägt dazu bei, ein fundiertes Verständnis der Chancen und Risiken zu entwickeln, die mit unterschiedlichen strategischen Entscheidungen verbunden sind.

Nach dem Vergleich der verschiedenen Simulationsszenarien werden die Ergebnisse zurück an die zentrale Steuerungseinheit übermittelt. Auf Grundlage dieser Rückmeldung kann die Planung iterativ angepasst werden, bevor die finale Entscheidung letztlich an alle Bedarfsträger kommuniziert wird (vgl. Kapitel 5.3.4).

Der abschließende Teilprozess des Konzepts umfasst die Bewertung der Leistungsindikatoren. In der beispielhaften Anwendung dienen hierfür erneut die Regensensoren „9C“ und „7C“ als Grundlage. Dabei werden das Basisszenario und das Simulationsergebnis gegenübergestellt und anhand definierter Bewertungskennzahlen analysiert. Die Bewertung berücksichtigt Volumenverluste, den Ergebnisbeitrag sowie Ertragsabweichungen im Vergleich zur ursprünglichen Planung. **Abbildung 6-9** zeigt exemplarisch die Auswertung dieser Kennzahlen für den Regensensor „7C“ bei einer Einbaurate der 3-Zonen-Klimaautomatik von 65,63 %.

Im Ausgangsszenario lag für den Regensensor „9C“, der in der 1-Zonen-Klimaautomatik „KC1“ verbaut wird, eine kumulierte Kapazitätsunterdeckung von 3.842 Einheiten vor. Unter der Prämisse, dass pro Fahrzeug genau ein einzelner Sensor verbaut wird, dass das Fehlen dieses Bauteils die Fahrzeugauslieferung verhindert und dass keine weiteren limitierenden Engpässe vorliegen, entsprach dies einem potenziellen Produktionsausfall in gleicher Höhe.

Zur Behebung des Engpasses wurde in der Simulation die Einbaurate der 3-Zonen-Klimaautomatik auf 65,63 % erhöht. Diese Maßnahme verlagert die Nachfrage innerhalb derselben Produktfamilie, indem in bestimmten Aufträgen der Regensensor „7C“ anstelle des ursprünglich vorgesehenen Sensors „9C“ eingesetzt wird.

Im Ergebnis konnten dadurch 168 zusätzliche Fahrzeuge gefertigt werden, womit sich der potenzielle Produktionsausfall auf 3.674 Fahrzeuge reduzierte. Das Szenario umfasst insgesamt 168.222 Fahrzeuge mit einer 3-Zonen-Klimaautomatik und 36.327 Fahrzeuge mit einer 1-Zonen-Klimaautomatik.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich der potenzielle Ertragsverlust durch den gezielten Einsatz der Kompensationsrechnung verringern lässt. Obwohl das Anwendungsbeispiel aufgrund der begrenzten Datenbasis nicht die vollständige Produktkomplexität des Automobilherstellers abbildet, demonstriert es exemplarisch, wie sich Engpässe durch datenbasierte Anpassung von Einbauraten innerhalb einer Produktfamilie reduzieren lassen.

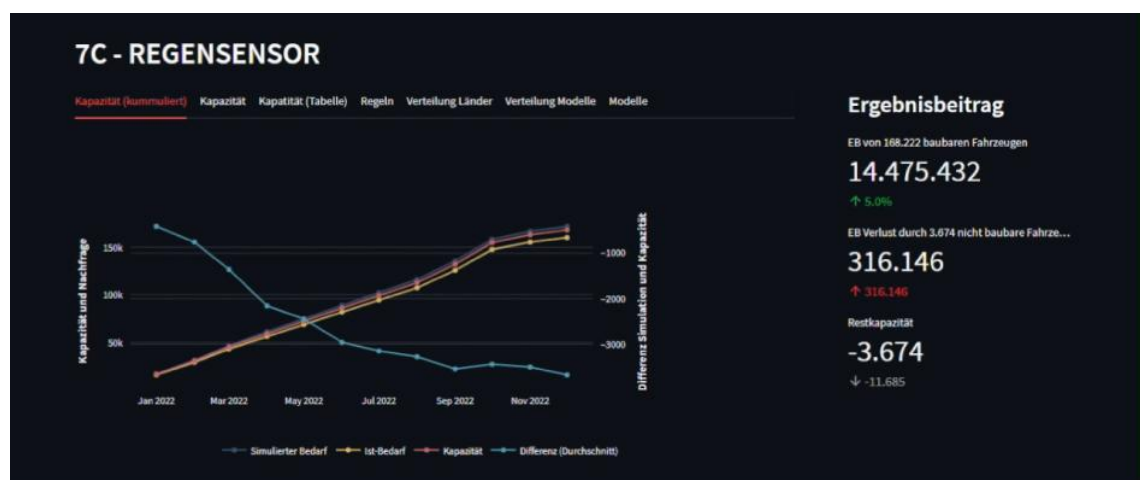


Abbildung 6-9: Leistungsindikatoren im Szenarienvergleich

6.3 Zwischenfazit

Die Demonstration belegt, dass der entwickelte Simulationsansatz auf Basis realer Auftragsdaten, Engpässe bei Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten durch gezielte Anpassungen relevanter Planungsparameter wirksam kompensieren kann. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels zum Engpass des Regensensors „9C“ wurden betroffene Fahrzeugaufträge so umdisponiert, dass anstelle der 1-Zonen-Klimaautomatik, die 3-Zonen-Klimaautomatik mit dem alternativen Regensensor „7C“ verbaut wurde. Ergänzend erfolgte eine priorisierte Zuteilung von Produktionsvolumina auf Absatzmärkte mit höherer Einbaurate der alternativen Konfiguration sowie eine Verschiebung von Komponenten zwischen Vertriebsländern zur bestmöglichen Ausschöpfung der verfügbaren Kapazitäten.

Die Kombination dieser Anpassungen führte zu einer Steigerung der Fertigungsmenge um 168 Fahrzeuge gegenüber dem Basisszenario, ohne eine Erhöhung des Gesamtproduktionsvolumens zu erfordern. Die Demonstration zeigt dabei nur einen Teil der potenziellen Analysemöglichkeiten. In Ergänzung zu dem betrachteten Anwendungsfall lassen sich z. B. die Auswirkungen von

Verbauvorgaben oder die Verschiebung von Volumina über Unternehmensgrenzen hinweg untersuchen.

Darüber hinaus verdeutlicht die Demonstration, dass die eingesetzte Berechnungsmethodik bestehende Abhängigkeiten zwischen Auftragsmerkmalen vollständig abbildet und aufgrund ihrer hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit eine unmittelbare Integration der Bedarfsträger in den Entscheidungsprozess ermöglicht.

Trotz des begrenzten Datenausschnitts mit ausgewählten Fahrzeugmodellen gewährleistet die strukturelle Konsistenz des Datensatzes eine hohe Übertragbarkeit der methodischen Erkenntnisse auf praxisrelevante Anwendungsszenarien. Die Demonstration erbringt damit sowohl den Nachweis der technischen Umsetzbarkeit als auch der praktischen Anwendbarkeit des konzeptionellen Rahmens zur Zuteilung von restriktiven Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten.

Gleichwohl bildet das Anwendungsbeispiel nicht die vollständige Produkt- und Variantenkomplexität eines globalen Automobilherstellers ab. Eine vollständige Implementierung im Unternehmenskontext erfordert daher weiterführende Untersuchungen, insbesondere zur Analyse der Wechselwirkungen mehrerer gleichzeitig umgesetzter Maßnahmen. Dadurch ließe sich das Verfahren nicht nur zur Engpasssteuerung einsetzen, sondern auch zur Entwicklung optimal aufeinander abgestimmter Maßnahmenkombinationen, die potenzielle Zielkonflikte minimieren und die Gesamtwirkung auf Kapazitäten, Kosten und Liefertermine verbessern.

Zusammenfassend verdeutlicht die Demonstration, dass das entwickelte Konzept in der Praxis eingesetzt werden kann. Dabei konnte die technische Machbarkeit des Ansatzes nachgewiesen und zentrale Funktionalitäten erfolgreich erprobt werden. Um darüber hinaus die Tragfähigkeit der Ergebnisse abzusichern, erfolgt im nächsten Kapitel ihre Validierung.

7 Validierung der Forschungsergebnisse

Die Validierung stellt den abschließenden Schritt dieser Arbeit dar, in dem die entwickelten LZ zur Zuteilung von Bauteilen mit komplexen Abhängigkeiten einer methodisch fundierten Überprüfung unterzogen werden. Ziel des Kapitels ist es, den wissenschaftlichen Beitrag und die praktische Relevanz der Ergebnisse zu belegen sowie deren Übertragbarkeit über den im vorherigen Kapitel dargestellten Demonstrationsfall hinaus zu bewerten.

Die Validierung erfolgt dabei in mehreren Schritten. Abschnitt 7.1 beschreibt die Vorgehensweise zur Durchführung einer Expertenbefragung, die als zentrales Instrument der Validierung eingesetzt wird. In Abschnitt 7.2 werden die Befragungsergebnisse mithilfe einer Kombination quantitativer und qualitativer Methoden ausgewertet. Für die quantitative Analyse kommen die Verfahren der deskriptiven Statistik und des Zwei-Stichproben-t-Tests zum Einsatz. Ergänzend wird eine qualitative Auswertung auf Basis strukturierter Expertengespräche durchgeführt. Diese Methodenkombination ermöglicht sowohl die statistische Prüfung zentraler Hypothesen als auch die inhaltliche Absicherung der Befunde durch kontextbezogene Praxiserfahrungen. In Abschnitt 7.3 werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengeführt und im Hinblick auf die eingangs formulierten LZ bewertet. Im Rahmen des Prozessreferenzmodells dient dieses Kapitel zur Bewertung und Validierung der erzielten Ergebnisse (vgl. **Abbildung 7-1**). Es verbindet die methodische Entwicklung mit der praktischen Erprobung und ordnet die Arbeit zugleich in ihren wissenschaftlichen Kontext ein.

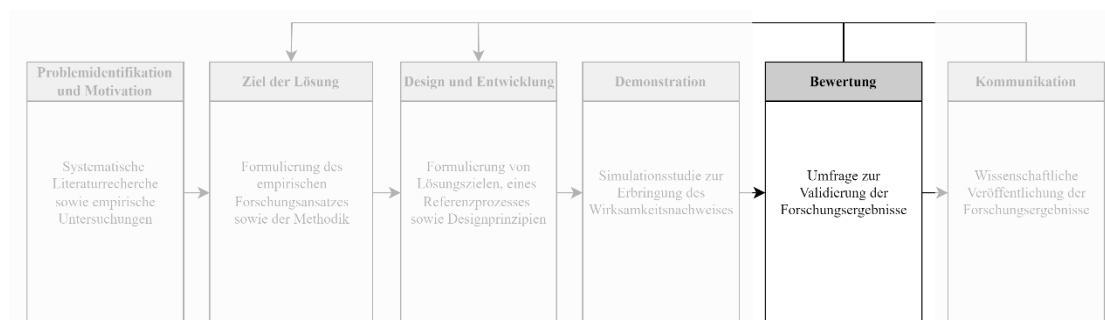


Abbildung 7-1: Verortung der Bewertungsphase im Forschungsprozess (i. A. a. Peffers et al., 2007, S. 54)

7.1 Methodisches Vorgehen bei der Expertenbefragung

Die Expertenbefragung diente der Validierung der in dieser Arbeit entwickelten Lösungsansätze zur Zuteilung restriktiver Bauteile mit kritischen Abhängigkeiten. Ziel war es, fundierte Einschätzungen zur praktischen Relevanz der Forschungsergebnisse sowie zu deren Eignung als Grundlage einer verbesserten Zuteilungssystematik zu gewinnen. Die Untersuchung wurde als Querschnittsmethode angelegt und einmalig innerhalb eines Zeitraums von drei Monaten, vom 19. März bis zum 12. Juni 2024 durchgeführt (vgl. Hunziker & Blankenagel, 2024, S. 212). Dieses Studiendesign ermöglichte die Analyse von Prävalenzen und Zusammenhängen zwischen den untersuchten Variablen innerhalb der Stichprobe und bot den Vorteil einer vergleichsweise schnellen Datenerhebung, die prinzipiell auch für größere Stichproben geeignet ist (vgl. Cummings, 2017, S. 3).

Die Zielgruppe der Erhebung umfasste Fach- und Führungskräfte aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit nachweislicher Erfahrung in der Steuerung von Versorgungsengpässen in der Automobilproduktion. Zur Sicherstellung der Eignung der Teilnehmenden wurden zwei Auswahlkriterien definiert: Erstens musste die betreffende Person in ihrer täglichen Arbeit aktiv in die Steuerung von Versorgungsengpässen eingebunden sein oder zweitens über mehrjährige Erfahrung im Umgang mit der Steuerung restriktiver Material- und Teilekapazitäten verfügen. Insgesamt nahmen 29 Personen aus sechs Unternehmen und Forschungseinrichtungen teil. Zur differenzierten Auswertung und zum Vergleich der unterschiedlichen Handlungs- und Entscheidungsebenen in der Steuerung von Versorgungsengpässen wurden die Teilnehmenden in zwei Gruppen eingeteilt: strategische Stakeholder, die langfristige Unternehmensziele verfolgen und Einfluss auf grundlegende Entscheidungen nehmen, sowie operative Stakeholder, die für die Umsetzung strategischer Vorgaben und die Steuerung des Tagesgeschäftes verantwortlich sind. Von den insgesamt 29 Befragten gehörten 14 der strategischen und 15 der operativen Gruppe an, so dass beide Perspektiven nahezu gleich stark vertreten waren. Die detaillierte Zusammensetzung der Stichprobe einschließlich der spezifischen Aufgabenprofile ist in **Tabelle 7-1** dargestellt.

Für die Datenerhebung wurde ein standardisierter Online-Fragebogen entwickelt, der insgesamt 24 geschlossenen Fragen enthielt. Die Fragen wurden auf Grundlage der in Abschnitt 5.2 beschriebenen LZ und des in Abschnitt 5.3 dargestellten Konzepts für ein Prozessmodell formuliert. Als Antwortformat kam eine siebenstufige Likert-Skala zum Einsatz, um standardisierte und quantitativ auswertbare Daten zu erheben (vgl. Joshi et al., 2015, S. 397).

Die in Kapitel 5.2 entwickelten LZ wurden für die Befragung in Items überführt. Dabei erfolgte eine inhaltliche Verdichtung mehrerer eng verwandter Ziele zu übergeordneten Fragestellungen. Dieses Vorgehen diente der Straffung des Fragebogens sowie der Vermeidung redundanter Items und gewährleistete zugleich, dass die zentralen Inhalte auf einer höheren Abstraktionsebene erfasst wurden. So wurden bspw. die vier im Handlungsfeld Simulation formulierten Ziele in einem Item zusammengeführt, das die Kerninhalte in generalisierter Form aufgreift. Durch diese Zusammenfassung traten Detailspekte der ursprünglich getrennt formulierten LZ zwar in den Hintergrund, die zentralen Anforderungen an eine effiziente Zuteilung blieben jedoch zuverlässig erfasst. Zur Transparenz und Nachvollziehbarkeit ist der vollständige Fragebogen im Anhang A.5 abgebildet.

Vor Beginn der Datenerhebung wurde ein Pretest mit einem Fachexperten aus der Automobilindustrie durchgeführt, um die Verständlichkeit und Relevanz der Fragen zu überprüfen (vgl. Kallio et al., 2016, S. 2962). Das Feedback führte zur Anpassung mehrerer Items, die zuvor zu interpretations offen formuliert waren, sowie zur Ergänzung erläuternder Hinweise bei zwei Fragen, um deren Bezug zu den in Kapitel 5 entwickelten Handlungsfeldern für die Befragten klarer erkennbar zu machen.

Die finale Umfrage wurde online mit den Tools LimeSurvey und evasys durchgeführt. Die Teilnehmenden erhielten vor Beginn der Datenerhebung ein einseitiges Informationsblatt mit Angaben zu Zielsetzung, Ablauf und Relevanz der Untersuchung (siehe Anhang A.4). Zusätzlich bestand die Möglichkeit, in individuell vereinbarten Gesprächsterminen ergänzende Kontextinformationen zu erhalten und offene Fragen zu klären. Die Teilnahme an der Umfrage war dabei

freiwillig und erfolgte anonym, ohne dass personenbezogene Daten erhoben wurden, die einen Rückschluss auf die Identität zulassen könnten.

Die Umfrage gliederte sich in zwei Abschnitte: Im Einführungsteil wurden Angaben zu Rolle, Berufserfahrung und Aufgabenbereichen der Teilnehmenden erfasst, um die Zusammensetzung der Stichprobe zu beschreiben und die Ergebnisse im Hinblick auf unterschiedliche fachliche Hintergründe interpretieren zu können. Der Hauptteil umfasste anschließend die Bewertung der vier Handlungsfelder (1) Steuerung und Flexibilität (2) Vernetzung und Transparenz (3) Standardisierung und Zentralisierung sowie (4) Simulation.

Im Anschluss an die Datenerhebung wurden die erhobenen Daten systematisch bereinigt und aufbereitet, um eine hohe Qualität und Verlässlichkeit der Analyse sicherzustellen. Nach der Überführung der Umfrageergebnisse in eine Auswertungstabelle wurden diese auf Vollständigkeit, Plausibilität und doppelte Einträge geprüft. Die Überprüfung ergab dabei weder fehlende Werte noch unplausible Angaben, was die Grundlage für eine unverfälschte und verlässliche Weiterverarbeitung der Daten bildete. Für die statistische Analyse wurden die Antwortkategorien der siebenstufigen Likert-Skala numerisch kodiert. Der Wert 1 entsprach der Option „Stimme gar nicht zu“ und der Wert 7 der Option „Stimme voll zu“. Die Werte 2 bis 6 repräsentierten abgestufte Zustimmungsggrade von „Stimmer eher nicht zu“ bis „Stimmer eher zu“, wobei der Wert 4 die neutrale Position markierte. Der Wert 0 wurde vergeben, wenn keine Aussage zu einer Frage getroffen wurde. Die vollständigen kodierten Rohdaten aller Teilnehmenden sind in Anhang A.6 dokumentiert.

Für die Datenanalyse kamen sowohl deskriptive Verfahren als auch ein Zwei-Stichproben-t-Test zur Anwendung. Die deskriptiven Statistiken dienten der Beschreibung grundlegender Merkmale der Datensätze und umfassten Mittelwert, Median, Modus, Standardabweichung, Varianz und Spannweite (vgl. Cleff, 2008, S. 4). Zur Prüfung, ob die Unterschiede zwischen den strategischen und operativen Stakeholdergruppen statistisch signifikant sind oder zufällig auftreten, wurde ein t-Test angewendet. Aufgrund ungleicher Varianzen in den beiden Gruppen erfolgte die Berechnung nach dem Verfahren für ungleiche Varianzen, auch bekannt als Welch's t-Test (vgl. T. K. Kim, 2015, S. 540). Die Anwendung dieses Tests setzt die Unabhängigkeit der Beobachtungen zwischen den Gruppen voraus, welche in dieser Untersuchung gegeben war.

Ergänzend zur standardisierten Befragung wurden nach Abschluss der quantitativen Auswertung vier leitfadengestützte Expertenbefragungen geführt. Diese Gespräche schlossen unmittelbar an die quantitative Erhebung an und dienten dazu, die Ergebnisse qualitativ zu vertiefen. Für die Gespräche wurden gezielt vier Personen ausgewählt, von denen zwei der strategischen und zwei der operativen Stakeholdergruppe angehörten, um beide Perspektiven auf die Steuerung von Versorgungsengpässen einzubeziehen. Der Schwerpunkt lag auf jenen Themenbereichen, in denen die Mittelwerte der beiden Gruppen die größten Unterschiede aufwiesen. Ziel war es, mögliche Ursachen dieser Unterschiede zu identifizieren und die quantitativen Befunde durch kontextbezogene Erläuterungen zu ergänzen (vgl. Jäger & Reinecke, 2009, S. 35). Der Aufbau des Leitfadens ist in Anhang A.7 dargestellt.

Tabelle 7-1: Zusammensetzung der Stichprobe nach Stakeholdergruppen und Rollen

Stakeholder-Gruppe	Organisations-typ	Anzahl Teilnehmende	Funktionen / Rollen
Strategische Gruppe	Automobilhersteller, Zulieferer, Strategieberatung, Forschungseinrichtungen	14	•5 Führungskräfte Übergeordnete Leitungsverantwortung auf Geschäftsbereichsebene mit direktem Einfluss auf die strategische Steuerung von Versorgungsengpässen. •2 Manager Leitungsverantwortung im mittleren Management mit Fokus auf die Umsetzung strategischer Maßnahmen zur Engpassbewältigung auf operativer Ebene. •2 Consulting Partner Führungsebene mit Gesamtverantwortung in der Unternehmensberatung für die Entwicklung und Steuerung von Konzepten zur Optimierung von Liefernetzwerken sowie zur nachhaltigen Reduzierung von Versorgungsengpässen. •4 Senior Manager Führungsebene in der Unternehmensberatung mit Verantwortung für die operative Leitung und inhaltliche Steuerung strategischer Kundenprojekte zur Optimierung von Liefernetzwerken sowie zur Bewältigung von Versorgungsengpässen. •1 Leiter Forschungs- und Transferzentrum Wissenschaftlicher Leiter mit Schwerpunkt auf der Entwicklung praxisnaher, übertragbarer Lösungsansätze zur Steuerung von Versorgungsengpässen in der Automobilproduktion.
Operative Gruppe	Automobilhersteller, Zulieferer, Strategieberatung, Logistikunternehmen	15	•3 IT Business Partner Manager Schnittstellenfunktion zwischen IT und Fachbereichen mit Verantwortung für die Implementierung und Betreuung von IT-Systemen zur Erfassung, Überwachung und Steuerung kritischer Teileverfügbarkeiten im Kontext von Versorgungsengpässen. •1 Disponent Verantwortlich für die tägliche Sicherstellung der Material- und Teileversorgung, einschließlich Priorisierung von Fahrzeugaufträgen und Abstimmung mit relevanten Unternehmensbereichen bei eingeschränkter Teileverfügbarkeit. •5 Engpasssteuerer Direkte operative Verantwortung der Steuerung kritischer Teilebestände, einschließlich der Erstellung von Zuteilungen sowie der Einleitung kurzfristiger Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Produktion. •3 Projektplaner Planung und Koordination von Projekten mit direktem Bezug zur Teileversorgung und Zuteilung, einschließlich Konzeption und Weiterentwicklung entsprechender Systeme. •1 Consultant Operative Fachberatung bei der Umsetzung spezifischer Maßnahmen zur Steuerung von Versorgungsengpässen in Produktions- und Logistikprozessen. •2 Referenten Administrative und koordinative Unterstützung zur Entlastung von Führungskräften mit Gesamtverantwortung für die Engpassbewältigung, einschließlich der Vorbereitung, Dokumentation und Nachverfolgung von Maßnahmen im Bereich Teileversorgung und Zuteilung.

7.1.1 Ableitung der Untersuchungshypothesen

Um die quantitative Analyse gezielt an den zentralen Forschungsfragen auszurichten, wurden vor der Datenauswertung spezifische Untersuchungshypothesen formuliert. Diese basieren auf drei zentralen Grundlagen: Erstens auf den in Abschnitt 5.2 definierten LZ, die den thematischen Rahmen der Analyse vorgeben. Zweitens auf theoretischen Erkenntnissen aus der Literatur zu Engpasssteuerung, Zuteilungsmechanismen, Aufgaben- und Verantwortungsprofilen relevanter Akteursgruppen und Entscheidungsprozessen in der Automobilproduktion (vgl. Ackermann et al., 2024, S. 8ff.; Ewim et al., 2024, S. 20; Temur, 2021, S. 173ff.; Tietze, 2021, S. 135ff.). Drittens auf praktischen Erfahrungen und Beobachtungen aus der Zuteilung restriktiver Bauteile im industriellen Anwendungskontext.

Die Hypothesen leiten die Analyse, indem sie Annahmen zu erwarteten Bewertungstendenzen und zu potenziellen Unterschieden zwischen den Stakeholdergruppen überprüfbar machen (vgl. Barroga & Matanguihan, 2022, S. 4). Dabei wurde eine Fokussierung auf zwei Hypothesen gewählt, die einerseits die allgemeine Relevanz der LZ prüfen und andererseits potenzielle Bewertungsdifferenzen zwischen strategischen und operativen Stakeholdern untersuchen. Damit bilden sie den analytischen Rahmen der quantitativen Untersuchung, die im Folgenden anhand der beiden Hypothesen konkretisiert wird.

Hypothese 1 (H1) – Relevanz der Lösungsziele

Die in Abschnitt 5.2 formulierten LZ greifen zentrale Herausforderungen in der Zuteilung restriktiver Bauteile mit komplexen Abhängigkeiten auf und stellen damit wesentliche Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung bestehender Systematiken in der Automobilproduktion dar. Da die Ziele in enger Abstimmung mit Fachexperten aus der Praxis entwickelt wurden und unmittelbar auf konkrete Anforderungen der Industrie zurückgehen, ist eine hohe Zustimmung innerhalb der Stichprobe zu erwarten.

Für die methodisch fundierte Überprüfung dieser Annahme werden in der Literatur empfohlene Kennzahlen der zentralen Tendenz herangezogen. Demnach gilt in Befragungsstudien eine Hypothese als bestätigt, wenn der Median der Antworten mindestens den Wert 6 („Stimme eher zu“) erreicht oder der arithmetische Mittelwert signifikant oberhalb des neutralen Skalenwerts von 4 liegt (vgl. Joshi et al., 2015, S. 397). Der Median eignet sich insbesondere für Likert-Skalen, da es sich um ordinalskalierte Daten handelt, bei denen die Abstände zwischen den Antwortkategorien nicht zwingend als metrisch interpretiert werden können. Er ist zudem robust gegenüber Ausreißern und asymmetrischen Verteilungen und bildet damit die typische Zustimmung innerhalb der Stichprobe zuverlässig ab (vgl. Boone & Boone, 2012, S. 3; Joshi et al., 2015, S. 402). Der arithmetische Mittelwert wird ergänzend berücksichtigt, da er in der Literatur zu Befragungsstudien weit verbreitet ist und die Möglichkeit bietet, Unterschiede zwischen Gruppen statistisch zu prüfen und zu quantifizieren (vgl. Kohn & Öztürk, 2010, S. 33). Auf Grundlage dieser methodischen Überlegungen ergibt sich folgende Hypothese:

H1: Die von den Befragten bewerteten LZ werden insgesamt als hoch relevant eingeschätzt. Dies zeigt sich darin, dass der Median der Antworten mindestens den Wert 6 („Stimme eher zu“) erreicht oder der arithmetische Mittelwert signifikant oberhalb des neutralen Skalenwerts von 4 liegt.

Hypothese 2 (H2) – Differenzen in der Bewertung der Handlungsfelder

Strategische und operative Stakeholder unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Rollen, Aufgabenprofile und Entscheidungsebenen. Während strategische Akteure primär langfristige Transparenz und Koordination priorisieren, legen operative Stakeholder den Fokus stärker auf kurzfristig wirksame Steuerungsmechanismen. Vor diesem Hintergrund ist von abweichenden Prioritäten in einzelnen Themenfeldern auszugehen.

So lässt sich annehmen, dass operative Stakeholder dem Handlungsfeld Steuerung und Flexibilität eine höhere Relevanz beimessen, da die darin formulierten Ziele unmittelbar auf die Sicherstellung der Produktionsfähigkeit und die kurzfristige Reaktion auf Teileengpässe abzielen. Maßnahmen in diesem Bereich wirken direkt auf die Material- und Produktionssteuerung ein und sind damit ein zentrales Steuerungselement zur Aufrechterhaltung stabiler Abläufe im Tagesgeschäft. Strategische Stakeholder hingegen legen voraussichtlich einen stärkeren Fokus auf das Handlungsfeld Vernetzung und Transparenz, da ein hoher Grad an Transparenz in komplexen Liefernetzwerken die Voraussetzung dafür bildet, potenzielle Engpässe frühzeitig zu erkennen, Szenarien für alternative Zuteilungsstrategien zu entwickeln und langfristig wirksame Maßnahmen einzuleiten. Auf diese Weise trägt das Handlungsfeld nicht nur zu einer erhöhten Reaktionsfähigkeit bei, sondern bildet zugleich die Grundlage für eine proaktive und nachhaltige Weiterentwicklung der Zuteilungssystematik auf strategischer Unternehmensebene. Die dargestellten Schwerpunktsetzungen legen nahe, dass die Bewertung strategischer und operativer Stakeholder nicht in allen Handlungsfeldern übereinstimmen, sondern voneinander abweichen können. Daraus ergibt sich die folgende Hypothese:

H2: Zwischen strategischen und operativen Stakeholdern bestehen in mindestens einem der vier Handlungsfelder signifikante Bewertungsunterschiede (multivariate Betrachtung, $\alpha = 0,05$).

Die formulierten Hypothesen schaffen damit einen analytischen Rahmen, der sowohl die allgemeine Relevanz der LZ als auch potenzielle Unterschiede zwischen den Stakeholdergruppen systematisch überprüfbar macht. Sie bilden die Basis für die nachfolgende empirische Auswertung.

7.2 Ergebnisse der Expertenbefragung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Expertenbefragung dargestellt. Zunächst erfolgt eine Gesamtbetrachtung der Stichprobe, bevor eine differenzierte Auswertung für die operativen und strategischen Stakeholdergruppen vorgenommen wird. Anschließend werden die Resultate beider Gruppen gegenübergestellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten. Die statistische Überprüfung der beobachteten Differenzen erfolgt mithilfe des Zweistichproben-t-Tests für unabhängige Stichproben, der es ermöglicht, festzustellen, ob die Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch signifikant sind oder auf zufälligen Schwankungen beruhen. Ergänzend zu den quantitativen Befunden werden im letzten Teil die Ergebnisse der Expertengespräche dargestellt, die eine vertiefende qualitative Perspektive bieten. Darüber hinaus wird geprüft, inwieweit die aufgestellten Hypothesen durch die erhobenen Daten bestätigt oder widerlegt werden können.

7.2.1 Statistische Grundausswertung der Befragungsdaten

Im Rahmen der Untersuchung wurden die erhobenen Daten zunächst systematisch aufbereitet und anschließend mithilfe grundlegender deskriptiver Kennzahlen analysiert. Berücksichtigt wurden Maße der zentralen Tendenz wie arithmetisches Mittel, Median und Modus sowie Streuungsmaße wie Standardabweichung, Varianz und Spannweite. Während das arithmetische Mittel die durchschnittliche Ausprägung der Bewertungen abbildet, liefert der Median eine robuste Einschätzung der zentralen Tendenz, die auch bei asymmetrischen Verteilungen verlässlich bleibt. Der Modus stellt eine sinnvolle Ergänzung dar, da er den am häufigsten vergebenen Wert innerhalb der Stichprobe ausweist. Die Streuungsmaße wiederum liefern Informationen über die Homogenität bzw. Heterogenität der Antworten und ermöglichen damit eine differenzierte Beurteilung der Verteilung der Daten (vgl. Benninghaus, 2007, S. 36).

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind einige methodische Einschränkungen zu beachten. Zwar handelt es sich bei der verwendeten Likert-Skala formal um ordinalskalierte Daten, dennoch wird in Anlehnung an die gängige Forschungspraxis das arithmetische Mittel berechnet, da dieses eine differenziertere Analyse zentraler Tendenzen ermöglicht (vgl. Subedi, 2016, S. 43f.). Dieses wurde sowohl auf Ebene einzelner Items als auch für aggregierte Kategorien ermittelt, um sowohl spezifische Einzelbewertungen als auch übergeordnete thematische Schwerpunkte abzubilden. Allerdings unterscheiden sich die Kategorien in der Anzahl enthaltener Items, wodurch ihre Mittelwerte nur eingeschränkt vergleichbar sind. Besonders deutlich zeigt sich dies bei der Kategorie Simulation, die lediglich durch ein Item repräsentiert wird. In solchen Fällen ist die Aussagekraft reduziert, da Einzelitems eine geringere Reliabilität aufweisen und weniger robust gegenüber Verzerrungen sind (vgl. Jebb et al., 2021, S. 9f.; Krebs & Menold, 2022, S. 551ff.).

Die statistischen Kennzahlen ermöglichen eine differenzierte Charakterisierung der Verteilung der Antworten, indem sie zentrale Muster und potenzielle Abweichungen sichtbar machen. Sie bilden zugleich die Grundlage für die weiterführenden Analysen und erlauben eine valide Einschätzung der Datenqualität. **Tabelle 7-2** fasst die berechneten Werte der betrachteten Variablen zusammen und bietet damit einen Überblick über zentrale Tendenzen und Streuungsmaße innerhalb der Stichprobe.

Tabelle 7-2: Deskriptive Statistik der Gesamtstichprobe

	Steuerung und Flexibilität					Standards und Zentralisierung				Simulation	Transparenz und Vernetzung					
Item	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	6,2	6,0	5,5	6,0	6,1	6,3	6,4	5,6	6,1	6,2	5,9	6,0	5,7	6,1	6,0	5,5
Mittelwert des Konstrukts	6,0					6,1				6,2	5,9					
Median	6,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0
Modus	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7
Standardabweichung	0,9	1,4	1,6	1,2	1,2	0,9	0,8	1,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,4	1,2	1,6
Varianz	0,7	1,9	2,4	1,5	1,5	0,9	0,7	2,7	1,5	1,4	1,3	1,4	2,1	1,8	1,5	2,6
Spannweite	3	4	5	5	4	3	2	5	5	4	4	5	6	6	4	6

Die Ergebnisse zeigen, dass arithmetische Mittel und Median bei den meisten Fragen eng beieinander liegen, was auf eine weitgehend symmetrische Verteilung schließen lässt. Die Differenz zwischen beiden Kennwerten beträgt maximal 0,9 Punkte auf der Skala und weist damit lediglich auf eine geringe Asymmetrie der Verteilung hin. Der Modus beträgt bei 15 von 16 Fragen den höchsten möglichen Wert auf der Skala (7), was auf eine hohe Konsistenz der Antworten und eine starke Betonung der Relevanz der LZ hindeutet. Eine abweichende Bewertungstendenz zeigt sich ausschließlich bei der Fragestellung zur Relevanz der Transparenz über die Bauteilverwendung.

Die Analyse der Streuungsparameter zeigt hingegen deutliche Unterschiede zwischen den Items. Besonders geringe Standardabweichungen und Varianzen treten bei Fragen zur Bedeutung einheitlicher Standards sowie zur Sichtbarkeit kurzfristiger Planungsänderungen auf. Die geringen Streuungswerte lassen auf eine weitgehende Übereinstimmung in den Antworten schließen. Demgegenüber zeigen die Fragen zum variablen Detaillierungsgrad von Kapazitätsmeldungen sowie zur Nutzung föderierter Datenbanksysteme eine deutlich höhere Streuung, was auf divergierende Einschätzungen hindeutet. Die Spannweiten machen zudem deutlich, dass insbesondere bei den Items zur Transparenz über Bestände im Wertschöpfungsnetzwerk sowie zur wertschöpfungsstufenübergreifenden Transparenz der Bedarfe für Sekundärteile stark abweichende Einzelbewertungen vorliegen.

Zusammenfassend legen die deskriptiven Befunde nahe, dass die Befragten den definierten LZ überwiegend eine hohe Relevanz zuschreiben. Damit indizieren die Ergebnisse auf deskriptiver Ebene eine Bestätigungstendenz für Hypothese 1. Gleichzeitig weisen die identifizierten Streuungen auf unterschiedliche Bewertungstendenzen hin, die im Rahmen der differenzierten Analyse strategischer und operativer Stakeholdergruppen vertieft zu untersuchen sind. Die Grundauswertung schafft somit eine valide empirische Basis für die anschließende inferenzstatistische Hypothesenüberprüfung.

7.2.1.1 Ergebnisse der strategischen Stakeholdergruppe

Für die vorliegende Untersuchung wird die strategische Stakeholdergruppe als Teilmenge der Befragten definiert, die entweder auf höherer Managementebene in Unternehmen oder in leitenden Funktionen innerhalb der Forschung tätig sind. Ihr Verantwortungsbereich umfasst insbesondere die Festlegung langfristiger Unternehmens- und Forschungsziele, die Zuteilung kritischer Ressourcen sowie die Gestaltung übergeordneter Strukturen und Standards. Darüber hinaus initiieren und steuern sie Entwicklungs- und Innovationsvorhaben von strategischer Relevanz. Insgesamt liegen die Bewertungen von 14 strategischen Stakeholdern vor, die im Folgenden deskriptiv ausgewertet werden. Der Schwerpunkt der Analyse liegt auf den zentralen Tendenzen sowie der Variabilität der Antworten, um ein differenziertes Bild der Verteilungen zu erhalten.

Die Mittelwerte liegen bei allen 16 Items im Bereich zwischen 5,4 und 6,4. Die Kategorien Standardisierung und Zentralisierung sowie Simulation erzielten mit jeweils 6,1 die höchsten Werte. Bei 13 der 16 Items erreicht der Modus den Maximalwert der Skala, während er in den verbleibenden drei Fragen bei 6 liegt. Die Ergebnisse deuten zunächst darauf hin, dass die strategischen Stakeholder den LZ eine durchgängig hohe Bedeutung beimessen.

Im Hinblick auf die Streuungsparameter ergibt sich ein differenziertes Bild, das sowohl Items mit geringer als auch solche mit erhöhter Variabilität umfasst. Besonders geringe Standardabweichungen weisen die Fragen zur Bedeutung einheitlicher Standards sowie zur Sichtbarkeit kurzfristiger Planungsänderungen auf. Dies indiziert eine weitgehende Übereinstimmung innerhalb der Gruppe. Demgegenüber zeigen die Bewertungen zum Nutzen föderierter Datenbanksysteme sowie zur Gewährleistung kurzfristiger Änderungsflexibilität deutlich höhere Standardabweichungen, was auf heterogene Einschätzungen innerhalb der Gruppe schließen lässt.

Eine vollständige Übersicht der deskriptiven Ergebnisse der Stakeholdergruppe ist in **Tabelle 7-3** dargestellt. Da die Ergebnisse eine durchgängig hohe Relevanzzuweisung erkennen lassen, ist in der folgenden Analyse zu untersuchen, ob die operative Stakeholdergruppe ähnliche Muster aufweist oder abweichende Schwerpunkte setzt.

Tabelle 7-3: Ergebnisse der deskriptiven Statistiken für die strategische Stakeholdergruppe

	Steuerung und Flexibilität					Standards und Zentralisierung				Simulation	Transparenz und Vernetzung					
Item	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	6,4	5,6	5,6	5,9	5,8	6,5	6,5	5,4	6,0	6,1	5,9	5,7	6,1	6,1	6,1	5,4
Mittelwert des Konstrukts	5,8					6,1				6,1	5,9					
Median	7,0	6,5	6,0	6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0
Modus	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6
Standardabweichung	0,8	1,6	1,5	1,1	1,4	0,9	0,8	2,0	1,3	1,1	1,1	1,3	1,3	1,6	1,1	1,6
Varianz	0,7	2,7	2,2	1,1	1,9	0,8	0,7	3,8	1,7	1,3	1,2	1,8	1,6	2,5	1,2	2,5
Spannweite	2	4	5	4	4	3	2	5	5	4	3	5	3	6	4	5

7.2.1.2 Ergebnisse der operativen Stakeholdergruppe

Im Rahmen dieser Arbeit umfasst die operative Stakeholdergruppe diejenigen Rollen, die unmittelbar für die Umsetzung der strategischen Planungen im täglichen Betrieb verantwortlich sind. Dazu zählen Engpasssteuerer, Programmplaner, Disponenten sowie vergleichbare Funktionen, die durch ihre operative Tätigkeit die kurzfristige Planung, Steuerung, Ausführung und Überwachung des Produktions- und Lieferprozesses sicherstellen. Charakteristisch für diese Gruppe ist die Fokussierung auf die kurzfristige Sicherstellung des Betriebsablaufs sowie die Gewährleistung einer stabilen Prozessausführung. Für die operative Stakeholdergruppe liegen die Einschätzungen von 15 Befragten vor. Ziel der folgenden Auswertung ist es, zentrale Bewertungsschwerpunkte zu identifizieren und Unterschiede in der Streuung der Antworten aufzuzeigen, um die Wahrnehmungen innerhalb dieser Gruppe präzise abzubilden.

Die Mittelwerte der Items liegen in einem Bereich zwischen 5,3 und 6,5. Mit 6,3 erzielt die Kategorie Simulation den höchsten Mittelwert, was darauf hindeutet, dass diesem Konstrukt von den operativen Stakeholdern eine Relevanz beigemessen wird. Da die Kategorie jedoch lediglich durch ein einzelnes Item repräsentiert wird, ist der resultierende Mittelwert methodisch nur eingeschränkt interpretierbar, da Einzelitems eine geringere Robustheit gegenüber Verzerrungen aufweisen. Die Kategorie Vernetzung und Transparenz erreicht dagegen mit 5,8 den niedrigsten

Mittelwert. Aufgrund der größeren Anzahl an Items innerhalb dieses Konstrukts beruht der Mittelwert allerdings auf einer breiteren empirischen Basis und weist dadurch eine höhere Stabilität sowie Interpretierbarkeit auf.

Der Modus beträgt wie schon bei der strategischen Gruppe bei 13 der 16 Fragen den Wert 7 und weist damit auf eine überwiegend hohe Relevanzeinschätzung hin. Abweichungen zeigen sich bei der Bewertung der Nutzung föderierter Datenbanksysteme, der Möglichkeit, Planungsänderungen jederzeit sichtbar zu machen sowie bei der Transparenz über die Bedarfe kritischer Sekundärteile. Obwohl die Bewertungen dieser Themen mit einem Modus von 6 weiterhin hoch ausfallen, werden sie jedoch weniger stark gewichtet als andere Aspekte.

Hinsichtlich der Streuung zeigt sich, dass bestimmte Aspekte von den operativen Stakeholdern mit hoher Konsistenz bewertet werden. Dazu zählen bspw. die Bedeutung einheitlicher Standards für alle Beteiligten sowie die Möglichkeit, Planungsänderungen jederzeit sichtbar zu machen. Deutlich heterogener fallen die Einschätzungen zur kontinuierlichen Bedarfskommunikation sowie zur Flexibilität des Detaillierungsgrads von Kapazitätsmodellen aus.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass die operativen Stakeholder die LZ grundsätzlich als bedeutsam einstufen. Die vollständigen Ergebnisse der statistischen Analyse sind in **Tabelle 7-4** dargestellt. Im nächsten Schritt werden diese Ergebnisse den Einschätzungen der strategischen Gruppe gegenübergestellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten.

Tabelle 7-4: Ergebnisse der deskriptiven Statistiken für die operative Stakeholdergruppe

	Steuerung und Flexibilität					Standards und Zentralisierung				Simulation	Transparenz und Vernetzung					
Item	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	6,1	6,4	5,4	6,2	6,5	6,2	6,3	5,9	6,2	6,3	5,8	6,3	5,3	6,2	5,9	5,7
Mittelwert des Konstrukts	6,1					6,2				6,3	5,8					
Median	6,0	7,0	6,0	7,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,5	5,5	7,0	6,0	6,0
Modus	6	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7
Standardabweichung	0,9	0,9	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2	0,9	1,5	1,1	1,3	1,6
Varianz	0,7	0,8	2,5	1,8	0,9	0,8	0,6	1,6	1,3	1,5	1,5	0,8	2,4	1,2	1,7	2,5
Spannweite	3	3	5	5	3	3	2	4	4	4	4	3	6	4	4	6

7.2.2 Gegenüberstellung der Ergebnisse der Stakeholdergruppen

Ziel der folgenden Gegenüberstellung ist es, Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Wahrnehmung der betrachteten LZ zwischen strategischen und operativen Stakeholdern herauszuarbeiten. Diesbezüglich werden zunächst die deskriptiven Ergebnisse beider Gruppen gegenübergestellt, bevor im Anschluss ein Zwei-Stichproben-t-Test unter der Annahme ungleicher Varianzen durchgeführt wird, um zu prüfen, ob die beobachteten Mittelwertunterschiede statistisch signifikant sind (vgl. Kronthaler, 2015, S. 161ff.). Obwohl die Normalverteilungsannahme nicht empirisch überprüft wurde, gilt der t-Test in der einschlägigen Literatur als robust gegenüber leichten Abweichungen, insbesondere bei Skalen mit mindestens fünf Antwortstufen und vergleichbaren Gruppengrößen (vgl. Tsagris et al., 2020, S. 14). Vor diesem Hintergrund erscheint die Anwendung des Verfahrens auch im vorliegenden Fall angemessen. Ergänzend wurden Expertengespräche durchgeführt, um die quantitativen Befunde differenziert zu interpretieren und potenzielle

Implikationen für die Praxis abzuleiten. Abschließend erfolgt die Überprüfung der beiden Hypothesen auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse.

Die Auswertung der Mittelwerte der Konstrukte zeigt, dass die Einschätzungen der beiden Stakeholdergruppen insgesamt auf einem vergleichbaren Niveau liegen. Dies deutet darauf hin, dass die betrachteten LZ gruppenübergreifend als relevant eingestuft werden. Unterschiede treten stärker auf der Ebene einzelner Fragen auf. Besonders im Konstrukt Steuerung und Flexibilität zeigt sich eine vergleichsweise große Abweichung. Während die operativen Stakeholder innerhalb dieses Konstrukts bspw. die kurzfristige Änderungsflexibilität mit einem Mittelwert von 6,4 bewerten, liegt der entsprechende Wert bei den strategischen Stakeholdern bei 5,6. Dieser Unterschied lässt darauf schließen, dass operative Rollen den Bedarf an kurzfristigen Planungsanpassungen stärker hervorheben als strategische Rollen. Ergänzend zeigt sich, dass die Bewertungen innerhalb der operativen Gruppe für dieses Konstrukt konsistenter ausfallen. Ihre Standardabweichung liegt um 0,76 Einheiten unterhalb derjenigen der strategischen Stakeholder. Damit wird deutlich, dass sich die Gruppen nicht nur im Niveau der Bewertungen unterscheiden, sondern auch in der Homogenität ihrer Einschätzungen.

Auch im Hinblick auf die datenadaptive Allokationssteuerung ergeben sich Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Operative Stakeholder bewerten diesen Aspekt mit einem Mittelwert von 6,5 und damit höher als die strategischen Stakeholder, deren Mittelwert bei 5,8 liegt. Die Unterschiede legen nahe, dass die operativen Stakeholder der datenadaptiven Allokationssteuerung eine höhere Bedeutung für die Unterstützung kurzfristiger Entscheidungsprozesse beimessen. Demgegenüber bewerten die strategischen Stakeholder diesen Aspekt im Durchschnitt niedriger, was darauf hindeutet, dass er aus einer langfristigen-strategischen Perspektive weniger stark priorisiert wird. Gleichzeitig signalisiert die geringere Standardabweichung bei den operativen Stakeholdern, dass innerhalb dieser Gruppe eine vergleichsweise hohe Übereinstimmung in der Bewertung besteht. Bei den strategischen Stakeholdern fällt die Einschätzung zwar niedriger aus, jedoch mit einer höheren Streuung, was auf divergierende Sichtweisen innerhalb der Gruppe schließen lässt.

Bei der Transparenz über mehrstufige Stücklistenstrukturen zeigt sich hingegen eine entgegengesetzte Tendenz. Strategische Stakeholder bewerten dieses LZ mit einem Mittelwert von 6,1, während operative Stakeholder einen Wert in Höhe von 5,3 erreichen. Die Ergebnisse legen nahe, dass strategische Stakeholder der übergreifenden Transparenz über mehrstufige Stücklisten tendenziell eine höhere Bedeutung beimessen als operative Stakeholder. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass strategische Rollen stärker auf eine übergreifende Koordination im Produktionsnetzwerk ausgerichtet sind, während operative Rollen vor allem kurzfristige Steuerungsaspekte in den Vordergrund stellen. Die höhere Streuung der Antworten innerhalb der operativen Gruppe weist zudem darauf hin, dass die Einschätzungen zu diesem LZ weniger konsistent ausfallen. Angesichts der vergleichsweise geringen Differenz ist die Deutung jedoch vorsichtig vorzunehmen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass beide Gruppen die betrachteten LZ insgesamt auf einem hohen Niveau bewerten, was deren grundsätzliche Relevanz aus Sicht der Befragten unterstreicht. Unterschiede zeigen sich jedoch sowohl in der Höhe der Bewertungen als auch in

deren Konsistenz, was auf unterschiedliche Schwerpunktsetzungen und Bewertungsmuster hinweist. Besonders ausgeprägt treten diese Differenzen im Handlungsfeld Steuerung und Flexibilität auf, wo operative Stakeholder kurzfristige Steuerungsmechanismen tendenziell stärker priorisieren als strategische. Dies kann als Hinweis interpretiert werden, dass operative Stakeholder in höherem Maße auf die Bewältigung unmittelbarer Planungs- und Anpassungsbedarfe ausgerichtet sind. Um zu überprüfen, ob die beobachteten Unterschiede statistisch signifikant sind, wird im nächsten Schritt ein t-Test durchgeführt.

7.2.3 Zwei-Stichproben-t-Test

Zur Überprüfung, ob die Mittelwertunterscheide zwischen den Stakeholdergruppen statistisch signifikant sind, wurden Zweistichproben-t-Tests nach Welch durchgeführt. Das Verfahren eignet sich für unabhängige Gruppen und ist robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilungs- und Varianzannahme sowie gegenüber ungleichen Stichprobengrößen (vgl. Baker et al., 1966, S. 308; Norman, 2010, S. 631; Tsagris et al., 2020, S. 2). Vor diesem Hintergrund wurde es als angemessenes Verfahren für die vorliegende Analyse eingesetzt. Der t-Test wurde damit bewusst der nichtparametrischen Alternative des Mann-Whitney-U-Tests vorgezogen, da er in Simulationen eine höhere Teststärke aufweist und Ergebnisse leichter interpretierbar sind (de Winter & Dodou, 2010, S. 5f.; vgl. Tsagris et al., 2020, S. 13f.).

Für die statistische Auswertung wurde ein Signifikanzniveau von 5 % festgelegt. Der t-Test prüft die Nullhypothese, dass die Mittelwerte der beiden Gruppen identisch sind. Ein p-Wert kleiner als .05 wird als Hinweis auf einen statistisch signifikanten Unterschied interpretiert, sodass die Nullhypothese beibehalten wird. In diesem Fall konnte in der untersuchten Stichprobe kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. Ein solches Ergebnis darf jedoch nicht als Beleg vollständiger Übereinstimmung interpretiert werden, da mögliche Unterschiede aufgrund der Stichprobengröße oder eingeschränkter Teststärke statistisch unentdeckt bleiben können (vgl. Ahad & Yahaya, 2014, S. 889).

Für das Konstrukt Simulation wurde kein inferenzstatistischer Test berechnet, da dieses Konstrukt lediglich durch eine einzelne Frage abgebildet wird und somit keine ausreichende Reliabilität gewährleistet werden kann. Stattdessen erfolgte eine ausschließlich deskriptive Betrachtung, die im vorangegangenen Abschnitt dargestellt wurde. Für die übrigen Konstrukte wurden dagegen Mittelwertunterschiede inferenzstatistisch mit dem t-Test geprüft. In **Tabelle 7-5** sind die deskriptiven Kennwerte der untersuchten Konstrukte dargestellt. Sie bilden die Grundlage für die Tests.

Tabelle 7-5: Deskriptive Statistiken der Konstrukte nach Stakeholdergruppen

Konstrukt	Gruppe	Stichproben- größe (n)	Mittelwert (M)	Standard- abweichung (SD)
Steuerung & Flexibilität	Strategisch	14	5,8	1,3
	Operativ	15	6,1	1,1
Standardisierung & Zentralisierung	Strategisch	14	6,1	1,3
	Operativ	15	6,2	1,0
Vernetzung & Transparenz	Strategisch	14	5,9	1,3
	Operativ	15	5,8	1,3

Zur Beurteilung der Befunde wurden neben den p-Werten auch Effektstärken nach Cohen's d sowie Konfidenzintervalle ausgewiesen, um Aussagen zur praktischen Relevanz und Präzision der Schätzungen treffen zu können (vgl. Cummings, 2017, S. 15f.). Effektstärken quantifizieren die Größe der Gruppenunterschiede, während Konfidenzintervalle den Bereich angeben, in dem der wahre Mittelwertunterschied mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt (vgl. Fröhlich & Pieter, 2009, S. 141; Schäfer, 2016, S. 125ff.). Die Ergebnisse der Analyse sind in **Tabelle 7-6** dargestellt. Im Folgenden werden sie exemplarisch für das Konstrukt Steuerung und Flexibilität erläutert.

Tabelle 7-6: Ergebnisse der Zweistichproben-t-Tests für die untersuchten Konstrukte

Konstrukt	t(df)	p	Cohen's d	95%-KI der Differenz
Steuerung & Flexibilität	-0.67 (25.6)	.51	-0.25	[-1.22; 0.62]
Standardisierung & Zentralisierung	-0.24 (25.2)	.82	-0.09	[-0.98; 0.78]
Vernetzung & Transparenz	0.21 (26.7)	.84	0.08	[-0.89; 1.09]

Für das Konstrukt Steuerung und Flexibilität ergaben sich für die strategischen Stakeholder ein Mittelwert von 5,8 bei einer Standardabweichung von 1,3 und einer Stichprobengröße von 14 Teilnehmenden. Die operativen Stakeholder erreichten mit 15 Teilnehmenden einen Mittelwert von 6,1 bei einer Standardabweichung von 1,1. Der berechnete t-Wert betrug -0,67 bei rund 26 Freiheitsgraden und war mit einem p-Wert von .51 nicht signifikant. Die Effektstärke nach Cohen lag mit -0,25 im Bereich kleiner Effekte. Das 95 %-Konfidenzintervall reichte von -1,22 bis 0,62 und umfasste damit sowohl negative als auch positive Werte.

Insgesamt lassen die Ergebnisse keinen statistisch abgesicherten Unterschied in den Einschätzungen der beiden Gruppen erkennen, was auf eine weitgehende Übereinstimmung in ihrer Bewertung des Konstrukts hindeutet. Zudem legt die geringe Effektstärke nahe, dass die beobachteten Differenzen nicht nur statistisch, sondern auch inhaltlich von begrenzter Relevanz sind. Das breite Konfidenzintervall verdeutlicht, dass keine eindeutige Richtung des Unterschieds erkennbar ist und mögliche Abweichungen in beiden Richtungen nur gering ausfallen. Damit deuten die Ergebnisse insgesamt darauf hin, dass sich das unterschiedliche Rollenverständnis strategischer und operativer Stakeholder in diesem Konstrukt nicht in systematischen Unterschieden der Bewertungen manifestiert.

Für die Konstrukte Standardisierung und Zentralisierung sowie Vernetzung und Transparenz ergaben die Analysen ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Teststatistiken fielen insgesamt niedrig aus, während die zugehörigen p-Werte oberhalb des Signifikanzniveaus lagen. In Verbindung mit geringen Effektstärken und Konfidenzintervallen, die sowohl positive als auch negative Werte umfassen, deutet dies darauf hin, dass sich die Gruppen nicht nur statistisch, sondern auch inhaltlich kaum voneinander unterscheiden. Im Zusammenspiel mit den Ergebnissen für das Konstrukt Steuerung und Flexibilität ergibt sich somit ein konsistentes Gesamtbild einer weitgehenden Übereinstimmung in den Einschätzungen beider Stakeholdergruppen. Die unterschiedlichen Rollen und Aufgaben der Gruppen spiegeln sich somit nicht in signifikant voneinander abweichenden Einschätzungen wider.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die geringe Anzahl an Items und die begrenzte Stichprobengröße methodische Limitationen mit sich bringen, die sowohl die Reliabilität der Messung als auch die Teststärke der Analysen beeinträchtigen können. Vor diesem Hintergrund sind die Befunde vorsichtig zu interpretieren. Zur inhaltlichen Ergänzung der quantitativen Analysen werden im Folgenden die Ergebnisse der Expertengespräche herangezogen, die ein vertieftes Verständnis der Einschätzungen und Begründungen der Stakeholder ermöglichen.

7.2.4 Expertengespräche

Die statistische Analyse lieferte erste Hinweise auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Stakeholdergruppen, konnte jedoch keine tiefergehenden Rückschlüsse auf deren Ursachen ermöglichen. Um diese besser zu verstehen, wurde die quantitative Auswertung durch eine qualitative Erhebung ergänzt (vgl. Adato, 2011, S. 1f.). Ziel der Erhebung war es, implizite Annahmen sichtbar zu machen, die in standardisierten Skalen nicht erfasst werden. Hierzu wurden vier leitfadengestützte Expertengespräche durchgeführt, an denen jeweils zwei Vertreter der strategischen und zwei Vertreter der operativen Stakeholdergruppe teilnahmen. Die Auswahl der Gesprächspartner erfolgte mit dem Ziel, unterschiedliche Perspektiven innerhalb der Gruppen abzubilden. Der Leitfaden fokussierte insbesondere jene Konstrukte und Items, bei denen die Mittelwertvergleiche die größten Abweichungen zwischen den Gruppen erkennen ließen. Aufgrund der geringen Fallzahlen sind die Ergebnisse nicht generalisierbar, sondern als explorative Einsichten zu verstehen, die zur Kontextualisierung der quantitativen Befunde beitragen. Zur Wahrung der Anonymität der Befragten werden keine personenbezogenen Angaben berichtet.

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Expertengespräche entlang zentraler inhaltlicher Schwerpunkte dargestellt. Dabei werden zunächst gruppenspezifische Unterschiede herausgearbeitet, bevor übergreifende Gemeinsamkeiten in den Blick genommen werden. Ein Gedankenprotokoll der geführten Expertengespräche ist im Anhang A.8 dokumentiert.

Im Hinblick auf die kurzfristige Änderungsflexibilität verdeutlichen die Gespräche mit den strategischen Stakeholdern, dass deren vergleichsweise niedrigere Bewertung auf eine stärker präventiv ausgerichtete Handlungslogik zurückzuführen ist. Ihr Ziel besteht primär darin, potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und durch vorausschauende Maßnahmen langfristige Planungsstabilität zu sichern. Entsprechend messen sie einer kurzfristigen Reaktionsfähigkeit eine geringere Relevanz bei als operative Stakeholder, deren Handeln stärker auf die Bewältigung unmittelbarer Störungen ausgerichtet ist. Die Ergebnisse verdeutlichen damit, dass strategische und operative Stakeholder unterschiedliche Schwerpunkt setzen. Strategische Akteure orientieren sich stärker an Stabilität und Risikoprävention, während operative Akteure vor allem kurzfristige Reaktionsfähigkeit priorisieren.

Deutlich wurde zudem, dass strategische Stakeholder der Transparenz über mehrstufige Stücklistenstrukturen eine höhere Bedeutung beimessen. Diese Einschätzung resultiert nicht allein aus der Notwendigkeit einer vorausschauenden Risikosteuerung, sondern ebenso aus regulatorischen Anforderungen und der Bedeutung von Transparenz als Ressource zur Sicherung langfristiger Wettbewerbsfähigkeit. Für strategische Stakeholder besitzt Transparenz dabei eine doppelte

Funktion: Sie dient einerseits der Stabilisierung interner Prozesse und andererseits der Legitimation gegenüber externen Anspruchsgruppen wie z. B. Regulatoren, Investoren oder Kunden. Operative Stakeholder hingegen bewerten Transparenz primär nach ihrem funktionalen Nutzen im Tagesgeschäft, etwa zur effizienten Bewältigung kurzfristiger Herausforderungen und zur Sicherstellung störungsfreier Abläufe.

In den Gesprächen mit den operativen Stakeholdern wurde zudem deutlich, dass der datenadaptiven Allokationssteuerung eine hohe Relevanz zugeschrieben wird. Systeme, die aus vergangenen Zuteilungen, deren Ergebnissen sowie aus Kontextfaktoren fundierte Handlungsvorschläge generieren, ermöglichen Entscheidungsprozesse, die sowohl beschleunigt als auch stärker evidenzbasiert erfolgen. Für operative Stakeholder stellen sie eine zentrale Unterstützung dar, um in komplexen und zeitkritischen Situationen effizient reagieren zu können. Algorithmische Optimierungen erhöhen die Qualität operativer Entscheidungen, indem sie Daten zu Bedarfen, Kapazitäten, Beständen und Abhängigkeiten sowie weitere relevante Einflussgrößen simultan verarbeiten. Auf diese Weise reduzieren sie die Fehleranfälligkeit, machen komplexe Wechselwirkungen sichtbar und schaffen damit Handlungssicherheit in dynamischen Situationen.

Trotz unterschiedlicher Schwerpunkte wurden in den Gesprächen auch deutliche Übereinstimmungen in der Einschätzung zentraler LZ sichtbar. Als wesentliche Gemeinsamkeit der beiden Gruppen lässt sich ihre klare Orientierung an Stabilität und Berechenbarkeit hervorheben. Dies spiegelt sich in der Bewertung der Frage nach variablen Anpassungsmöglichkeiten des Detaillierungsgrads der Kapazitätsmodelle von Lieferanten wider. Im Rahmen der Gespräche wurde deutlich, dass dies aus Sicht beider Gruppen eher Unsicherheit als Nutzen erzeugen würde. Stattdessen präferieren sie klar definierte und einheitliche Standards, die Planungssicherheit schaffen und die Verlässlichkeit von Entscheidungen erhöhen. Flexibilität wird in diesem Zusammenhang nicht als Vorteil, sondern als potenzielles Risiko interpretiert, da sie etablierte Routinen in Frage stellen könnte.

Insgesamt machen die Expertengespräche deutlich, dass die in den statistischen Analysen sichtbar gewordenen geringen Mittelwertunterschiede auf unterschiedliche Schwerpunktsetzungen der Gruppen zurückzuführen sind. Während strategische Stakeholder insbesondere langfristige Stabilität, präventives Risikomanagement und regulatorische Anforderungen fokussieren, orientieren sich operative Stakeholder vorrangig an kurzfristiger Effizienz und einer reaktiven Bewältigung unmittelbarer Störungen im laufenden Betrieb. Trotz dieser verschiedenen Perspektiven zeigt sich jedoch eine weitgehende Übereinstimmung in der grundsätzlichen Bewertung der LZ. Unterschiede ergeben sich weniger in ihrer Relevanz, sondern vor allem in der Begründung und Priorisierung ihrer Umsetzung. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass kurzfristige Effizienz und langfristige Stabilität nicht im Widerspruch zueinander stehen, sondern sich als komplementäre Elemente eines integrativen Steuerungsansatzes erweisen, der die Handlungsfähigkeit der Organisation auch unter dynamischen und unsicheren Bedingungen sichert. Damit wird zugleich sichtbar, dass die Unterschiede in der Schwerpunktsetzung nicht zu gegensätzlichen Positionen führen, sondern auf einer gemeinsamen Basis aufbauen.

7.3 Zwischenfazit

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse der quantitativen Analysen und qualitativen Expertengespräche die hohe Relevanz der entwickelten LZ. Die erhobenen Mittelwerte deuten auf eine breite Zustimmung hin, die in den Expertengesprächen durch konkrete Praxisbezüge zusätzlich bekräftigt wurde. Damit wird Hypothese 1 (H1) bestätigt. Die entwickelten LZ greifen die zentralen Problemstellungen in der Zuteilung restriktiver Bauteile auf und stellen praxisrelevante Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung bestehender Systematiken dar. Einschränkend ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Generalisierbarkeit aufgrund der begrenzten Stichprobengröße limitiert ist und eine weiterführende empirische Überprüfung erfordert.

Bezüglich der Hypothese 2 (H2) zeigen die Analysen, dass strategische und operative Stakeholder unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Strategische Stakeholder agieren vor allem mit Blick auf vorausschauende Stabilität und regulatorische Absicherung, während operative Stakeholder primär auf unmittelbare Effizienz und schnelle Störungsbeseitigung ausgerichtet sind. Die qualitativen Ergebnisse verdeutlichen, dass diese Unterschiede weniger in der grundsätzlichen Bewertung der LZ selbst liegen, sondern vielmehr in deren Begründung und Priorisierung. Die quantitative Analyse ergab zwar keine signifikanten Mittelwertunterschiede, doch die Expertengespräche bestätigten differenzierte Perspektiven. Damit wird H2 teilweise gestützt: Unterschiede lassen sich identifizieren, treten jedoch weniger deutlich hervor, als es die Ausgangshypothese implizierte.

Insgesamt unterstreichen die Befunde, dass die LZ nicht nur theoretisch konsistent, sondern auch praktisch anschlussfähig sind. Sie besitzen Relevanz für beide Stakeholdergruppen und können damit als gemeinsame Grundlage für die Entwicklung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik dienen. Die Validierung schließt damit ab und eröffnet zugleich den Übergang zur abschließenden Zusammenfassung und kritischen Reflexion der Forschungsergebnisse.

8 Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick

Das abschließende Kapitel fasst die wesentlichen Forschungsinhalte zusammen und reflektiert die erzielten Ergebnisse kritisch. Es gliedert sich in zwei Teilabschnitte. Abschnitt 8.1 bündelt die zentralen Befunde und den erreichten Erkenntnisfortschritt, während Abschnitt 8.2 die Ergebnisse würdigt und Perspektiven für weiterführende Forschung aufzeigt.

8.1 Zusammenfassung der zentralen Forschungsergebnisse

Die Automobilindustrie befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, der einerseits durch die fortschreitende Elektrifizierung und Digitalisierung und andererseits durch die zunehmende Anfälligkeit gegenüber Störungen in global vernetzten Produktionsnetzwerken geprägt ist (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024, S. 4). Die jüngsten Krisen haben verdeutlicht, dass pandemiebedingte Produktionsausfälle, logistische Engpässe sowie geopolitische und handelspolitische Restriktionen erhebliche Unterbrechungen der Versorgung verursachen und damit die Stabilität industrieller Wertschöpfung beeinträchtigen können. Angesichts dieser Entwicklungen rückt die Frage in den Vordergrund, wie restriktive und voneinander abhängige Bauteile in Produktionsnetzwerken so gesteuert werden können, dass die Funktionsfähigkeit der Wertschöpfung auch unter unsicheren Bedingungen gewährleistet bleibt. Eine wirksame Steuerung setzt die frühzeitige Identifikation kritischer Teile voraus und erfordert anschließend die fundierte Priorisierung von Zuteilungsentscheidungen, um Produktionsausfälle zu vermeiden und verfügbare Ressourcen wirksam einzusetzen.

In der Praxis beschränken sich Verfahren zur Zuteilung von restriktiven Ressourcen vielfach auf einfache Heuristiken und algorithmische Verfahren (vgl. Hegmanns, 2010, S. 170; Toth, 2008, S. 126ff.). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sie mit geringem Datenaufwand implementierbar sind, eine hohe Geschwindigkeit bei der Entscheidungsfindung ermöglichen und auch in unsicheren Entscheidungssituationen als ausreichend verlässlich gelten. Zugleich wird darin eine strukturelle Grenze sichtbar, da komplexe Abhängigkeiten und dynamische Veränderungen nur unzureichend berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich ein erheblicher Forschungs- und Praxisbedarf. Ziel dieser Arbeit war es daher, eine multikriterielle Zuteilungssystematik zu entwickeln, die den Umgang mit Engpässen systematisiert und auf eine erweiterte Informationsgrundlage stellt. Darüber hinaus soll sie kollaborative Entscheidungsprozesse unterstützen, simulationsgestützte Szenarien einbeziehen und so eine schnellere und flexiblere Reaktion auf dynamische Rahmenbedingungen ermöglichen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden folgende drei Forschungsfragen formuliert:

Forschungsfrage 1

Welche Lösungsziele sind durch eine multikriterielle Zuteilungssystematik zu erfüllen?

Forschungsfrage 2

Wie ist ein Konzept für ein Prozessmodell zur Umsetzung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik zu gestalten?

Forschungsfrage 3

Nach welchen Designprinzipien wird eine multikriterielle Zuteilungssystematik gestaltet?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zunächst die grundlegenden Konzepte und Steuerungsmechanismen des EM aufgearbeitet und darauf aufbauend zentrale Allokationsstrategien analysiert, die in automobilen Produktionsnetzwerken bei der Bewältigung von Engpasssituationen Verwendung finden (Kapitel 2 und 3). Als methodischer Rahmen diente der problemzentrierte Ansatz der DSRM nach *Peffer et al. (2007)*, der eine enge Verzahnung von konzeptioneller Entwicklung und empirischer Überprüfung vorsieht (Kapitel 4) (vgl. *Peffer et al., 2007, S. 54*). Auf dieser Grundlage erfolgte zunächst die Definition und LZ, die im nächsten Schritt in einem Konzept für ein Prozessmodell strukturiert und schließlich in Form abstrahierter DP generalisiert wurden (Kapitel 5). Die Ergebnisse wurden anschließend durch eine empirische Fallstudie im industriellen Kontext überprüft, in der reale Auftragsdaten eingesetzt wurden (Kapitel 6). Auf diese Weise konnte die entwickelte Systematik nicht nur theoretisch begründet, sondern auch in ihrer praktischen Anwendbarkeit demonstriert werden. Eine weiterführende Validierung der Ergebnisse erfolgte durch eine Expertenbefragung mit 29 Fachvertreterinnen und -vertretern aus unterschiedlichen Branchen sowie durch vertiefende Expertengespräche, die quantitative Ergebnisse kontextualisierten und zusätzliche qualitative Einsichten ermöglichten (Kapitel 7). Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse dieser Schritte gebündelt dargestellt und hinsichtlich ihres Beitrags zum Forschungsfeld eingeordnet.

Die Definition von LZ stellt ein wesentliches Resultat der Arbeit dar. Insgesamt konnten 23 Ziele herausgearbeitet werden, die sich in vier Handlungsfelder gliedern: (1) Steuerung und Flexibilität, (2) Vernetzung und Transparenz, (3) Standardisierung und Zentralisierung und (4) Simulation. Diese Kategorisierung bietet eine inhaltliche Struktur, mit der die unterschiedlichen Anforderungen an die Zuteilung von restriktiven Bauteilen konsistent erfasst und priorisiert werden können. Während frühere Arbeiten häufig einzelne Aspekte wie Transparenzanforderungen, Kollaborations- und Standardisierungsinitiativen oder die szenariobasierte Simulation von Zuteilungsentscheidungen isoliert betrachteten, wird in der vorliegenden Arbeit ein integrativer Rahmen geschaffen, der diese Aspekte zusammenführt (vgl. *Hegmanns, 2010, S. 85*; *Opiel, 2021, S. 123f.*; *Wagenitz et al., 2020, S. 235*). Dieser trägt dazu bei, die praktischen Anforderungen systematisch zu ordnen und sie in den wissenschaftlichen Diskurs über resiliente Produktionsnetzwerke einzubetten.

Auf dieser Grundlage wurde als zweites Ergebnis ein Konzept für ein Prozessmodell entwickelt, das die Umsetzung der LZ in ein strukturiertes Ablaufmodell überführt. Das Modell umfasst vier aufeinanderfolgende Phasen: (1) Identifikation und initiale Bewertung potenzieller Engpässe, (2) systematische Analyse und Kommunikation der Zuteilungsentscheidung, (3) Evaluation der Entscheidung durch die Bedarfsträger und Feedbackerhebung sowie (4) Anpassung der Zuteilungsentscheidung und abschließende Kommunikation. Damit wird deutlich, dass die Zuteilung restriktiver Bauteile nicht als einmalige Entscheidung verstanden werden darf, sondern als iterativer Prozess, der sowohl Analyse- als auch Feedbackschleifen integriert. Ein wesentliches Gestaltungsmerkmal des Konzepts stellt zudem die Wahrung der Informationssouveränität dar. Die beteiligten Akteure entscheiden selbst, in welchem Umfang sie Daten teilen, wodurch ein Gleichgewicht zwischen Kooperationsnutzen und unternehmerischer Autonomie geschaffen wird.

Als drittes Ergebnis wurden aus den LZ und dem Konzept fünf DP abgeleitet, die den Kern der entwickelten Systematik verdichten und in eine übertragbare, abstrahierte Form überführen. Zu den abgeleiteten Prinzipien zählen (1) Interoperabilität, (2) Datendurchgängigkeit, (3) Datensouveränität, (4) Simulationsfähigkeit sowie (5) Universalisierungsgrundsatz. Die Prinzipien gewährleisten, dass die Zuteilungssystematik über den konkreten Anwendungsfall hinaus anschlussfähig bleibt und als Referenzrahmen für die Gestaltung von Allokationssystemen in unterschiedlichen industriellen Kontexten dient.

Die konzeptionellen Ergebnisse wurden in einem nächsten Schritt empirisch überprüft. Im Rahmen einer Fallstudie mit realen Auftrags- und Stücklistendaten wurde die technische Umsetzbarkeit der vorgeschlagenen Zuteilungssystematik demonstriert. Der Vergleich eines Ursprungsszenarios mit simulierten Anpassungen verdeutlichte, dass die Systematik Transparenz über die Auswirkungen von Planänderungen schafft und die Qualität von Zuteilungsentscheidungen durch die explizite Sichtbarmachung möglicher Konsequenzen erhöht.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse durch eine Befragung mit 29 Fachexpertinnen und -experten aus unterschiedlichen Branchen validiert. Die Befragung zeigte, dass die entwickelten LZ durchweg hohe Mittelwerte erzielten und als praxisnahe Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung bestehender Verfahren eingeschätzt wurden. Ergänzende Expertengespräche vertieften diese quantitativen Befunde. Sie verdeutlichten, dass strategische Stakeholder vor allem langfristige Stabilität, Risikoprävention und regulatorische Anforderungen hervorheben, während operative Stakeholder stärker auf kurzfristige Effizienz und unmittelbare Problembewältigung fokussieren. Trotz dieser unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen bilden die LZ insgesamt eine gemeinsame Grundlage für die Ausgestaltung einer effizienten Zuteilungssystematik.

Einordnung in das Forschungsfeld

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion und schließen zugleich eine praxisrelevante Lücke in der effizienten Steuerung restriktiver Bauteile. In der bestehenden Literatur zum EM und zur Ressourcenallokation lassen sich drei dominante Forschungsrichtungen identifizieren. Erstens finden sich heuristische Verfahren wie bspw. Prioritäts- oder Anteilsregeln, die aufgrund ihrer einfachen Anwendbarkeit und geringen Datenanforderungen eine schnelle Entscheidungsfindung unterstützen. Sie stoßen jedoch an Grenzen, sobald komplexe Abhängigkeiten zwischen Bauteilen oder dynamische Anpassungserfordernisse berücksichtigt werden müssen. Zweitens werden algorithmische Optimierungsansätze diskutiert, die auf formalisierten Modellen beruhen und eine hohe Effizienz im Sinne von Kosten- oder Durchsatzoptimierung anstreben. Ihre praktische Anwendung ist bislang jedoch eingeschränkt, da sie eine stabile Datenbasis, konstante Rahmenbedingungen sowie ein hohes Maß an Transparenz voraussetzen. Drittens existieren konzeptionelle Beiträge, die sich mit spezifischen Teilaspekten wie Transparenz, Standardisierung oder Kollaboration befassen, diese Aspekte jedoch weitgehend isoliert betrachten und nicht in einer übergreifenden Systematik integrieren. Insgesamt zeigt sich, dass die diskutierten Ansätze zwar wichtige Impulse liefern, bislang jedoch keine Zuteilungssystematik vorliegt, die die vielfältigen Anforderungen des EM konsistent verbindet.

Genau an dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an, indem sie die bislang getrennt behandelten theoretischen Ansätze und praktischen Verfahren zusammenführt und in ein konsistenten Rahmen

für die Entwicklung einer multikriteriellen Zuteilungssystematik verankert. Die Systematik verbindet inhaltliche Anforderungen mit einem strukturierten Prozessmodell und übergeordneten Gestaltungsprinzipien. Durch die Kombination aus konzeptioneller Entwicklung, praktischer Erprobung anhand realer Daten sowie Validierung durch Experten entsteht ein Ansatz, der die wissenschaftliche Analyse und industrielle Anwendung miteinander verknüpft.

Für die Praxis ergibt sich daraus ein klarer Handlungsrahmen. Die entwickelten LZ können als Orientierung für die Weiterentwicklung bestehender Systeme dienen, um sie gezielt an den aktuellen Anforderungen von Engpasssituationen auszurichten. Das Konzept für ein Prozessmodell bietet eine Grundlage, um Entscheidungen zur Zuteilung restriktiver Ressourcen in strukturierten Schritten vorzubereiten, umzusetzen und nachzuhalten. Die DP können als Leitlinien genutzt werden, um digitale Werkzeuge zu gestalten, die transparente Entscheidungsprozesse und die Simulation von Handlungsalternativen ermöglichen.

Der zentrale wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit liegt in der systematischen Konzeption und Validierung einer Zielstruktur für die Zuteilung restriktiver Bauteile in automobilen Produktionsnetzwerken. Mit den 23 entwickelten LZ wird erstmals ein Bezugsrahmen geschaffen, der die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Allokationsverfahren in der Engpasssteuerung systematisiert und als Grundlage für vergleichbare Untersuchungen und weiterführende Modellierungen dient. Durch die Integration dieser Zielstruktur in ein prozessuales Modell und die Ableitung abstrahierter DP entsteht ein Referenzrahmen, an den künftige Forschung anschließen kann.

8.2 Kritische Würdigung und weiterführender Forschungsbedarf

Die kritische Würdigung ordnet die erzielten Forschungsergebnisse ein und reflektiert ihren Beitrag zum Erkenntnisfortschritt. Neben den Stärken werden dabei auch bestehende Limitationen berücksichtigt, woraus abschließend Implikationen für weiterführende Forschungsarbeiten hervorgehen.

8.2.1 Würdigung der Forschungsergebnisse

Ein wesentlicher Mehrwert der Arbeit besteht darin, unterschiedliche bislang isoliert betrachtete Ansätze in einem konsistenten Rahmen zusammenzuführen und durch die Kombination konzeptioneller, methodischer und empirischer Elemente wissenschaftlich zu fundieren. Auf dieser Grundlage zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass die Integration simulationsbasierter Analysen mit kollaborativen Entscheidungsprozessen die Effizienz der Zuteilung restriktiver Bauteile mit komplexen Abhängigkeiten erhöhen kann. Besonders die durchgeführten Szenarioanalysen verdeutlichen, dass sich durch diese Kombination Transparenzgewinne erzielen, Entscheidungsalternativen systematisch vergleichen und Zuteilungsentscheidungen nachvollziehbarer gestalten lassen.

Die Simulation übernimmt in diesem Kontext die Funktion einer Vorschaukomponente, mit der sich die Auswirkungen von Planungsänderungen untersuchen und auf Basis der ursprünglichen Aufträge neue abgeleitete Auftragssätze generieren lassen. Sie dient damit zur modellbasierten Entscheidungsunterstützung, die eine frühzeitige Bewertung potenzieller Handlungsoptionen ermöglicht und zusätzliche Entscheidungsvorlaufzeit schafft. Durch die schnelle Berechnung mehrerer Alternativen lässt sich unmittelbar Feedback zu geplanten Szenarien geben. Auf diese Weise

kann ein mit den definierten Regeln konsistenter Planungsstand erreicht werden, der zugleich eine möglichst effiziente Ausschöpfung der vorhandenen Kapazitäten sicherstellt. Zugleich können alle beteiligten Wertschöpfungspartner die Auswirkungen ihrer Planung auf den gesamten Prozess bewerten und gemeinsam Szenarien untersuchen, um konsensfähige Lösungen zu entwickeln.

Darüber hinaus erweitert die Untersuchung das Verständnis der Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung der Zuteilungssystematik, indem sie aufzeigt, dass insbesondere die Qualität der Datenbasis und die Sicherung der Datensouveränität maßgebliche Erfolgsfaktoren darstellen. Durch die Berücksichtigung dieser Aspekte erweitert die Arbeit den bisherigen Forschungsstand um eine ganzheitlichere Betrachtung des Zuteilungsprozesses in automobilen Produktionsnetzwerken und liefert zugleich praxisrelevante Implikationen. Gleichwohl unterliegen die Ergebnisse bestimmten Einschränkungen, die im Folgenden als zentrale Limitationen kritisch reflektiert werden.

8.2.2 Bestehende Limitationen

Trotz der aufschlussreichen Untersuchungsergebnisse unterliegt die Arbeit mehreren Limitationen, die den Aussagegehalt der Ergebnisse begrenzen und Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschung eröffnen. Eine erste Einschränkung betrifft die Ableitung der DP. In der Literatur wird hierfür ein dreistufiges Vorgehen vorgeschlagen (vgl. Kopenhagen et al., 2012, S. 7). Dieses umfasst zunächst die Definition von LZ, die den übergeordneten Zielen des Artefakts entsprechen. Darauf aufbauend werden Meta-Anforderungen formuliert, welche die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen des Artefakts spezifizieren und durch untergeordnete Anforderungen präzisiert werden können (vgl. Heinrich & Schwabe, 2014, S. 155; Walls et al., 1992, S. 42). Den Abschluss bildet die Entwicklung expliziter DP.

In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine explizite Trennung zwischen LZ und Meta-Anforderungen verzichtet, um die Prinzipien unmittelbar aus den identifizierten Zielen und den kontextabhängigen Rahmenbedingungen des industriellen Umfelds abzuleiten. Dieses Vorgehen mindert zwar die formale Stringenz im Vergleich zu etablierten methodischen Ansätzen, ermöglicht jedoch eine engere Anbindung an den Wendungskontext und damit eine höhere Praxisrelevanz. Gleichwohl stellt das Fehlen einer Ableitung von Meta-Anforderungen eine methodische Limitation dar, die in zukünftigen Studien aufgegriffen werden sollte.

Eine weitere Limitation resultiert aus der in dieser Arbeit durchgeführten Fallstudie und den damit verbundenen methodischen Rahmenbedingungen. Zwar konnte die technische Machbarkeit einer schnellen Vorprüfung der Auswirkungen von Planungsänderungen auf den Teilebedarf demonstriert werden, jedoch stützt sich die Analyse auf einen begrenzten Datensatz. In der industriellen Praxis können reale Szenarien diese Dimensionen deutlich übersteigen, sodass die damit verbundene höhere Komplexität in zukünftigen Studien umfassender berücksichtigt werden sollte.

Darüber hinaus richtete die Umsetzung primär auf die technische Realisierung einer szenariogestützten Zuteilung. Eine umfassende Betrachtung der gesamten Prozesskette erfolgte dabei nicht, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Insbesondere wurde der Austausch relevanter Informationen zwischen den beteiligten Akteuren unter Wahrung der Datensouveränität nicht berücksichtigt. Damit blieben wesentliche Aspekte kollaborativer Entscheidungsprozesse in der

Demonstration unberücksichtigt, die für eine realistische Abbildung industrieller Planungsumgebungen von zentraler Bedeutung sind.

Zudem wurden im Rahmen der Demonstration lediglich die Bauteile mit den größten Bedarfsänderungen analysiert, während geringfügigere Bedarfsänderungen unberücksichtigt blieben. Dadurch konnten einzelne Einflussfaktoren auf den Teilebedarf nicht vollständig abgebildet werden, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Trotz dieser Limitationen liefert die Demonstration relevante Erkenntnisse zur Eignung simulationsgestützter Verfahren und bildet eine fundierte Grundlage für vertiefende Untersuchungen.

Eine weitere Limitation ergibt sich im Zusammenhang mit der empirischen Validierung. Zwar liefern die Befragung von 29 Teilnehmenden sowie die ergänzenden Expertengespräche wertvolle Einblicke in die Perspektiven der beteiligten Akteure, jedoch ist die Stichprobengröße begrenzt und die Abdeckung der relevanten Unternehmensbereiche unvollständig. Hinzu kommt, dass für das Konstrukt Simulation aufgrund der geringen Zahl an Indikatoren kein t-Test durchgeführt werden konnte. Dadurch war es nicht möglich, potenzielle Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen statistisch zu überprüfen. Die Aussagekraft hinsichtlich gruppenspezifischer Unterschiede in der Akzeptanz dieses Konstrukts ist daher eingeschränkt. Für künftige Untersuchungen erscheint daher eine erweiterte Operationalisierung erforderlich, die durch zusätzliche Indikatoren eine valide Anwendung inferenzstatistischer Verfahren sicherstellt.

Des Weiteren ist die entwickelte Zuteilungssystematik als idealtypischer Entwurf zu verstehen. Eine Implementierung in der industriellen Praxis wäre mit organisatorischen, technologischen und kulturellen Herausforderungen verbunden, die im Rahmen dieser Arbeit nicht vertieft untersucht werden konnten. Die Demonstration liefert zwar Hinweise auf die grundsätzliche Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Ansätze, ersetzt jedoch keine Langzeituntersuchung zur Effizienz, Akzeptanz und Nachhaltigkeit im laufenden Betrieb.

Insgesamt stellt die Arbeit einen strukturierten und fundierten Beitrag dar, der neue Impulse für Forschung und Praxis eröffnet. Gleichzeitig bleiben Fragen hinsichtlich Reichweite und Generalisierbarkeit unbeantwortet. Die daraus resultierenden Limitationen betreffen sowohl die konzeptionelle Modellierung, als auch die praktische Demonstration und die empirische Überprüfung. Diese Einschränkungen sind bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen und im Rahmen zukünftiger Forschung gezielt zu adressieren.

8.2.3 Weiterführender Forschungsbedarf

Aus den beschriebenen Einschränkungen ergeben sich vielfältige Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschung. Zukünftige Studien können an dieser Stelle anschließen und die Generalisierbarkeit des in dieser Arbeit entwickelten Ansatzes zur Zuteilung restriktiver Bauteile über den Kontext der Automobilindustrie hinaus untersuchen. Insbesondere Branchen mit ähnlich hohen Komplexitätsanforderungen in der Ressourcenzuteilung, wie das Gesundheitswesen, die Energieversorgung oder die Luftfahrt, stellen geeignete Anwendungsfelder dar, die wertvolle Vergleichsperspektiven für die zukünftige Forschung liefern (vgl. Corolli et al., 2014, S. 17; Yao et al., 2024, S. 352f.). Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, in welchem Umfang die entwickelten LZ und

DP auf Industriekontexte mit unterschiedlichen regulatorischen, technologischen und organisatorischen Rahmenbedingungen übertragbar sind und welche kontextspezifischen Anpassungen für eine erfolgreiche Implementierung erforderlich wären.

Darüber hinaus ist eine vertiefte Auseinandersetzung mit technologischen Innovationen erforderlich. Besonders Verfahren der KI, wie bspw. maschinelles Lernen oder Deep-Learning-Ansätze, eröffnen Potenziale für präzise Prognosen, eine beschleunigte Bewertung von Handlungsalternativen sowie eine dynamische Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen (vgl. Samouilidou et al., 2025, S. 1f.; Taherdoost, 2023, S. 16f.). Ebenso bietet die Blockchain-Technologie durch ihre Eigenschaften der Dezentralität, Transparenz und Datensicherheit neue Möglichkeiten für die Gestaltung von Zuteilungsprozessen, insbesondere durch den Einsatz sogenannter Smart Contracts (vgl. Guo, 2025, 721; Hübschke et al., 2025, S. 1; Kumar et al., 2025, S. 1f.). Die Nutzung dieser Technologien schafft zugleich die Möglichkeit, bislang nicht berücksichtigte LZ, wie z. B. eine datenadaptive Allokationssteuerung, in die vorgeschlagene Systematik zu integrieren. Zukünftige Forschung sollte daher untersuchen, wie digitale Technologien wie KI und Blockchain in industriellen Produktionsnetzwerken implementiert werden können, um die Zuteilung restriktiver Bauteile zu unterstützen. Dabei sind die erforderlichen technischen, organisatorischen und sozialen Voraussetzungen ebenso zu berücksichtigen wie die mit ihrer Anwendung verbundenen Risiken.

Schließlich besteht weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die organisatorischen Rahmenbedingungen einer erfolgreichen Implementierung. Grundlage der entwickelten Systematik bilden die in dieser Arbeit abgeleiteten LZ und DP, die als Orientierung für eine konsistente Gestaltung der Zuteilungsprozesse dienen. Der Ansatz fokussiert sich dabei bewusst auf den konzeptionellen und technischen Gestaltungsrahmen. Fragen der organisatorischen Einbettung und der Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren wurden dagegen nicht vertieft betrachtet, obwohl sie in der Praxis einen entscheidenden Einfluss auf die erfolgreiche Umsetzung haben können. Offene Forschungsfragen ergeben sich daher besonders hinsichtlich der Ausgestaltung transparenter Governance-Modelle, der Entwicklung fairer und verbindlicher Anreizsysteme für den Datenaustausch sowie der Etablierung tragfähiger Kollaborationsformen, die das Vertrauen zwischen den beteiligten Akteuren stärken und Interessenskonflikte ausgleichen. Weiterführende Studien könnten sich damit auseinandersetzen, welche organisatorischen und institutionellen Mechanismen erforderlich sind, um die entwickelte Systematik in komplexen Produktionsnetzwerken nachhaltig zu implementieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Frage, wie potenzielle Widerstände überwunden und ungleiche Einflussmöglichkeiten zwischen den beteiligten Akteuren so gestaltet werden können, dass eine kooperative und vertrauensbasierte Zusammenarbeit ermöglicht wird.

Der in dieser Arbeit aufgezeigte Forschungsbedarf umfasst demnach drei Dimensionen: die Generalisierbarkeit und Übertragbarkeit des entwickelten Ansatzes, die Integration neuer technologischer Innovationen sowie die organisatorischen und institutionellen Rahmenbedingungen einer erfolgreichen Implementierung. Die vertiefte Untersuchung dieser Dimensionen kann dazu beitragen, die Zuteilungssystematik methodisch zu erweitern, ihre Wirksamkeit in unterschiedlichen Anwendungskontexten empirisch zu überprüfen und ihre theoretische Fundierung im wissenschaftlichen Diskurs zu stärken.

Zusammenfassend zeigt die Arbeit, dass mit der entwickelten Systematik ein Orientierungsrahmen für die Zuteilung restriktiver Bauteile geschaffen wurde, der bislang fragmentierte Ansätze zusammenführt und eine fundierte Grundlage für weitere theoretische Entwicklungen und praktische Anwendungen bietet. Der wissenschaftliche Beitrag der Arbeit liegt in der Verbindung von LZ, einem Konzept für ein Prozessmodell und abstrahierten DP, die anhand einer Fallstudie demonstriert und durch empirische Untersuchungen in ihrer praktischen Relevanz bestätigt wurden. Zugleich wird deutlich, dass Fragen zur Generalisierbarkeit, zur technologischen Weiterentwicklung und zur organisatorischen Umsetzung nicht abschließend beantwortet wurden und wesentliche Ansatzpunkte für weiterführende Forschung darstellen. Auf diese Weise liefert die Arbeit nicht nur eine fundierte Grundlage für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen, sondern auch Orientierung für die Gestaltung effizienterer und resilienterer Produktionsnetzwerke in der Praxis.

Literaturverzeichnis

- Ackermann, F., Eden, C. & McKiernan, P. (2024). Stakeholders in strategy-making. *Journal of Strategy and Management*, 17(2), 35–48.
- Adams, A., Krautter, L. & Scheit, T. (2024). Stärkung der Supply Chain Resilienz durch Digitalisierung. In J. Schwille, T. Straub & W. Wenger (Hrsg.), *Resilientere Unternehmen, nachhaltigeres Wirtschaften – Lösungsansätze in Business und IT* (1. Aufl., S. 1–7). tredition.
- Adato, M. (2011). *Combining quantitative and qualitative methods for program monitoring and evaluation: Why are mixed-method designs best?* The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/633721468349812987>
- Agostino, I. R. S., Frazzon, E. M., Alcala, S. G. S., Basto, J. P. & Rodriguez, C. M. T. (2020). Dynamic production order allocation for distributed additive manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 10658–10663.
- Ahad, N. A. & Yahaya, S. S. S. (2014). Sensitivity analysis of Welch's t-test. In M. T. Ismail, S. Ahmad & R. Abdul Rahman (Hrsg.), *Proceedings of the 21st National Symposium on Mathematical Sciences (SKSM21)* (888–893). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4887707>
- Aithal, P. S. & Aithal, S. (2023). Key Performance Indicators (KPI) for Researchers at Different Levels & Strategies to Achieve it. *International Journal of Management, Technology, and Social Sciences (IJMTS)*, 8(3), 294–325.
- Alismail, S., Zhang, H. & Chatterjee, S. (2017). A Framework for Identifying Design Science Research Objectives for Building and Evaluating IT Artifacts. In A. Maedche, J. vom Brocke & A. Hevner (Hrsg.), *Designing the Digital Transformation* (S. 218–230). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59144-5_13
- Altenschmidt, S. & Helling, D. (2022). Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz). In *LkSG* (S. 1–21). Springer.
- Amico, A., Verginer, L., Casiraghi, G., Vaccario, G. & Schweitzer, F. (2024). Adapting to Disruptions: Flexibility as a Pillar of Supply Chain Resilience. *Science Advances*, 1–17. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adj1194>
- Aqlan, F. (2016). A software application for rapid risk assessment in integrated supply chains. *Expert Systems with Applications*, 109–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.08.028>
- Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H. & Furmans, K. (2008). *Handbuch logistik*. Springer.
- Arnold, V., Dettmering, H., Engel, T. & Karcher, A. (2011). Leithefte zu PLM-Aspekten. In *Product Lifecycle Management beherrschen: Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand* (S. 81–290). Springer.
- Arnott, D. (2006). Cognitive biases and decision support systems development: a design science approach. *Information Systems Journal*, 16(1), 55–78.

- Bader, S., Pullmann, J., Mader, C., Tramp, S., Quix, C., Müller, A., Akyürek, H., Böckmann, M., Imbusch, B., Lipp, J., Geisler, S. & Lange, C. (2020). The International Data Spaces Information Model – An Ontology for Sovereign Exchange of Digital Content. In J. Pan, V. Tamma, C. d'Amato, K. Janowicz, B. Fu, A. Polleres, O. Seneviratne & L. Kagal (Hrsg.), *The Semantic Web – ISWC 2020* (S. 176–192). Springer Nature.
- Baker, B. O., Hardyck, C. D. & Petrinovich, L. F. (1966). Weak measurements vs. strong statistics: An empirical critique of S. S. Stevens' proscriptions on statistics. *Educational and psychological measurement*, 26(2), 291–309.
- Bannour, W., Maalel, A. & Ben Ghezala, H. H. (2018). Towards a Collaborative Method for Crisis Management. In L. H. Belguith (Hrsg.), *Proceedings of the second International Conference on Language Processing and Knowledge Management (LPKM)* (S. 1–9). CEUR-WS.org.
- Barratt, M., Choi, T. Y. & Li, M. (2011). Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of operations management*, 29(4), 329–342.
- Barroga, E. & Matanguihan, G. J. (2022). A practical guide to writing quantitative and qualitative research questions and hypotheses in scholarly articles. *Journal of Korean medical science*, 37(16), 1–18. <https://doi.org/10.3346/jkms.2022.37.e121>
- Baur, N. & Blasius, J. (2014). *Handbuch methoden der empirischen sozialforschung*. Springer.
- Becker, T. (2005). *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*. Springer.
- Benninghaus, H. (2007). *Deskriptive Statistik: Eine Einführung für Sozialwissenschaftler*. Springer.
- Bockholt, F. (2012). *Operatives Störungsmanagement für globale Logistiknetzwerke: ökonomie- und ökologieorientiertes Referenzmodell für den Einsatz in der Automobilindustrie*. Verlag Praxiswissen.
- Boice, D. (2025). *Fragmented Systems Hurt Your Business - Here's How AI Can Fix the Automotive Industry's Tech Mess*. <https://aijourn.com/fragmented-systems-hurt-your-business-heres-how-ai-can-fix-the-automotive-industrys-tech-mess>
- Boone, H. N. & Boone, D. A. (2012). Analyzing likert data. *The Journal of extension*, 50(2).
- Braun, J. (1996). Leitsätze moderner Organisationsgestaltung. *Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management*, 119–145.
- Brinley, S. (2023). *The semiconductor shortage is - mostly - over for the auto industry*. S&P Global Mobility. <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/the-semiconductor-shortage-is-mostly-over-for-the-auto-industry.html?>
- Broy, M. & Kuhrmann, M. (2021). *Einführung in die Softwaretechnik*. Springer.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2024). *Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie – Bericht der Bundesregierung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/zukunftsinvestitionen-fahrzeughersteller-und-zulieferindustrie.pdf?>
- Bünnagel, W. (2024). Künstliche Intelligenz und Unternehmenswissen. *Springer Books*.
- Cachon, G. & Lariviere, M. (1999a). Capacity allocation using past sales: When to turn-and-earn. *Management science*, 45(5), 685–703.

- Cachon, G. & Lariviere, M. (1999b). Capacity choice and allocation: Strategic behavior and supply chain performance. *Management science*, 45(8), 1091–1108.
- Cachon, G. & Lariviere, M. (1999c). An equilibrium analysis of linear, proportional and uniform allocation of scarce capacity. *Iie Transactions*, 31(9), 835–849.
- Cachon, G. & Lariviere, M. (2001). Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain. *Management science*, 47(5), 629–646.
- Cai, X., Li, J [Jianbin], Lian, Z. & Liu, Z. (2022). Fixed allocation of capacity for multiple retailers under demand competition. *Omega*, 110, 102629.
- Cai, X., Li, J [Jianbin], Song, X., Yuan, F. & Luo, X. (2022). Capacity allocation with minimum order quantity: Fixed allocation and turn-and-earn allocation. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 1–11.
- Calder, B. J., Phillips, L. W. & Tybout, A. M. (1982). The concept of external validity. *Journal of consumer research*, 9(3), 240–244.
- Chandra, L., Seidel, S. & Gregor, S. (2015). Prescriptive Knowledge in IS Research: Conceptualizing Design Principles in Terms of Materiality, Action, and Boundary Conditions. In *48th Hawaii International Conference on System Sciences* (S. 4039–4048). IEEE Computer Society.
- Chandra Kruse, L., Seidel, S. & Purao, S. (2016). Making Use of Design Principles. In J. Parsons, T. Tuunanen, J. Venable, B. Donnellan, M. Helfert & J. Kenneally (Hrsg.), *Tackling Society's Grand Challenges with Design Science* (S. 37–51). Springer International Publishing.
- Cho, D. W., Lee, Y. H., Ahn, S. H. & Hwang, M. K. (2012). A framework for measuring the performance of service supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 801–818.
- Cho, S.-H. & Tang, C. S. (2014). Capacity allocation under retail competition: Uniform and competitive allocations. *Operations Research*, 62(1), 72–80.
- Cleff, T. (2008). *Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse*. Springer.
- Clemens, W. & Strübing, J. (2000). *Empirische Sozialforschung und gesellschaftliche Praxis*. Springer.
- Cohen-Vernik, D. A. & Purohit, D. (2014). Turn-and-earn incentives with a product line. *Management science*, 60(2), 1–45.
- Cornet, A., Heuss, R., Schaufuss, P. & Tschiesner, A. (2023). A road map for Europe's automotive industry, 1–14. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/a-road-map-for-europes-automotive-industry>
- Corolli, L., Lulli, G. & Ntamo, L. (2014). The time slot allocation problem under uncertain capacity. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 16–29.
- Corona, E. & Pani, F. E. (2013). A review of lean-kanban approaches in the software development. *WSEAS transactions on information science and applications*, 10(1), 1–13.
- Cummings, C. L. (2017). Cross-Sectional Design. *The SAGE Encyclopedia of Communication Research Methods*. Thousand Oaks: SAGE Publications Inc. Retrieved. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.4135/9781483381411.n118>

- Dangelmaier, W., Laroque, C. & Klaas, A. (2013). Ressourcenverteilung in mesoskopischen Simulationsmodellen für Produktions- und Logistiknetzwerke. *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, 459.
- de Winter, J. F. C. de & Dodou, D. (2010). Five-point likert items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 15(1).
<https://doi.org/10.7275/bj1p-ts64>
- Döring, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (6. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64762-2>
- Dörmer, J. (2013). *Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion: untersucht am Beispiel der Automobilendmontage*. Springer-Verlag.
- Dreher, D., Bauer, M. & Poss, C. (2023). Autonomisierung der Intralogistik – Konzepte und Anwendungsbeispiele für eine durchgängige Prozess-Orchestrierung in der automatisierten Fabrik von Morgen. In A. Lochmahr & M. Ewig (Hrsg.), *Praxishandbuch digitale Automobillogistik* (S. 251–271). Springer Gabler.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., Antunes Jr, José Antônio Valle & Antunes, J. A. V. (2015). *Design science research*. Springer.
- Dudenhöffer, F., Bussmann, L. & Dudenhöffer, K. (2013). Absatzprognosen und Technologie-sprung-Produkte. *Herausforderungen für das Automotive Engineering & Management: Technische und betriebswirtschaftliche Ansätze*, 65–81.
- Durango-Cohen, E. J. & Li, C. H. (2017). Modeling supplier capacity allocation decisions. *International journal of production economics*, 184, 256–272.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4), 532–550.
- Eisenhardt, K. M. & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25–32.
- El Baz, J. & Ruel, S. (2021). Can supply chain risk management practices mitigate the disruption impacts on supply chains' resilience and robustness? Evidence from an empirical survey in a COVID-19 outbreak era. *International journal of production economics*, 233, 107972.
- European Automobile Manufacturers' Association. (2023). *World motor vehicle production*.
<https://www.acea.auto/figure/world-motor-vehicle-production>
- Ewim, C. P., Achumie, G. O., Gbolahan, A., Adeleke, I. C. & Mokogwu, C. (2024). Strategic Planning and Operational Excellence: A Conceptual Model for Growth in Tech Businesses. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 342–351.
https://www.researchgate.net/publication/385995342_Strategic_Planning_and_Operational_Excellence_A_Conceptual_Model_for_Growth_in_Tech_Businesses
- Fandel, G., François, P. & Gubitz, K.-M. (1999). Durchlaufterminierung und Kapazitätsabgleich in integrierten betrieblichen Softwarelösungen mit Schwerpunkt PPS Ergebnisse einer Marktstudie. *Produktionswirtschaft 2000: Perspektiven für die Fabrik der Zukunft*, 371–385.
- Feth, D. & Polst, S. (2023). *Benutzerfreundliche Umsetzung von Datensouveränität in Digitalen Ökosystemen*. <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/datensouveraenitaet-in-digitalen-oekosystemen/>

- Fleischmann, B., Kopfer, H. & Sürie, C. (2014). Transport planning for procurement and distribution. In *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies* (S. 225–240). Springer.
- Friesenbichler, K. (2025). Rezession und Strukturwandel stellen die Automobilproduktion vor Herausforderungen. *Wirtschaftspolitische Blätter*, 56.
- Frieske, B. & Stieler, S. (2022). The “semiconductor crisis” as a result of the COVID-19 pandemic and impacts on the automotive industry and its supply chains. *World Electric Vehicle Journal*, 13(10).
- Frisch, A. & Jochem, R. (2020). Datengestütztes Qualitäts- und Komplexitätsmanagement am Beispiel des automobilen Konfigurationsmanagements. In *Datengetriebenes Qualitätsmanagement: Bericht zur GQW-Jahrestagung 2019 in Aachen* (S. 72–95). Springer.
- Fritzsche, A. (2009). *Heuristische Suche in komplexen Strukturen zur Verwendung Genetischer Algorithmen bei der Auftragseinplanung in der Automobilindustrie* (1. Aufl.). Gabler.
- Fröhlich, M. & Pieter, A. (2009). Cohen’s Effektstärken als Mass der Bewertung von praktischer Relevanz–Implikationen für die Praxis. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57(4), 139–142.
- Fuest, C. (2021). Neues Konjunkturrisiko: Engpässe bei Materialien und Vorprodukten. *Wirtschaftsdienst*, 101(9), 666–667.
- Gebhard, M. (2009). *Hierarchische Produktionsplanung bei Unsicherheit* (1. Aufl.). Gabler.
- Geutebrück, K. (2020). Das Potenzial der Digitalisierung–Ein (Video-) Bild sagt mehr als 1000 Daten. In P. Voß (Hrsg.), *Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie: Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0* (2. Aufl., S. 3–15). Springer Gabler.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-27317-01>
- Gibbert, M., Ruigrok, W. & Wicki, B. (2008). What passes as a rigorous case study? *Strategic management journal*, 29(13), 1465–1474. <https://doi.org/10.1002/smj.722>
- Goldratt, E. M. (1990). *Theory of constraints*. North River Press.
- Grabner, T. (2017). *Operations Management: Auftragserfüllung bei Sach- und Dienstleistungen* (3. Aufl.). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-14484-51>
- Grabosch, R. & Schönfelder, D. (2021). Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz: neue Pflichten zur Vermeidung menschen- und umweltrechtlicher Risiken weltweit. *Arbeit und Recht*, 69(12), 488–494. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/48735447>
- Gregor, S. (2006). The nature of theory in information systems. *MIS quarterly*, 611–642. <https://www.jstor.org/stable/25148742>
- Gregor, S., Chandra Kruse, L. & Seidel, S. (2020). Research Perspectives: The Anatomy of a Design Principle. *Journal of the Association for Information systems*, 21(6), 2. <https://doi.org/10.17705/1jais.00649>
- Gregor, S. & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS quarterly*, 337–355.
- Guo, L. (2025). Smart contracts in supply chains. *Journal of Marketing Research*, 721–739. <https://doi.org/10.1177/00222437251314003>

- Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V.-M. & Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International journal of production economics*, 90(1), 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.02.007>
- Hansen, M. R. P. & Haj-Bolouri, A. (2020). Design Principles Exposition: A Framework for Problematizing Knowledge and Practice in DSR. In S. Hofmann, O. Müller & M. Rossi (Hrsg.), *Designing for Digital Transformation: Co-Creating Services with Citizens and Industry* (S. 171–182). Springer Nature.
- Hanson, W. E., Creswell, J. W., Clark, V. L. P., Petska, K. S. & Creswell, J. D. (2005). Mixed methods research designs in counseling psychology. *Journal of counseling psychology*, 52(2), 224–235. <https://doi.org/10.1037/0022-0167.52.2.224>
- Hegmanns, T. (2010). *Dezentrales Planungs-und Prozesskonzept für ein kollaboratives Bedarfs-und Kapazitätsmanagement in Produktionsnetzwerken*. Verlag Praxiswissen.
- Heinrich, P. & Schwabe, G. (2014). Communicating Nascent Design Theories on Innovative Information Systems through Multi-grounded Design Principles. In M. C. Tremblay, D. VanderMeer, M. Rothenberger, A. Gupta & V. Yoon (Hrsg.), *Advancing the Impact of Design Science: Moving from Theory to Practice* (S. 148–163). Springer International Publishing.
- Hellmich, K. P. (2003). *Kundenorientierte Auftragsabwicklung - Engpassorientierte Planung und Steuerung des Ressourceneinsatzes* (1. Aufl.). Gabler.
- Herold, L. (2005). *Kundenorientierte Prozesssteuerung in der Automobilindustrie: Die Rolle von Logistik und Logistikcontrolling im Prozess* (1. Aufl.). Deutscher Universitäts-Verlag.
- Herrmann, F. & Manitz, M. (2021). Ein hierarchisches Planungskonzept zur operativen Produktionsplanung und -steuerung. In T. Claus, F. Herrmann & M. Manitz (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung: Forschungsansätze, Methoden und Anwendungen* (2. Aufl., S. 9–25). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64291-7_2
- Hevner, A. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian journal of information systems*, 19, 87–92.
- Hevner, A., March, S., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *Management Information Systems Quarterly*, 28, 75–105.
- Hickmann, J. & Wloka, J. (2003). Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen—Ein neuer Ansatz in der Automobilindustrie. *Simulation in der Automobilproduktion*, 197–209.
- Hildebrand, K., Mielke, M. & Gebauer, M. (2025). *Daten-und Informationsqualität: Die Grundlage der Digitalisierung*. Springer-Verlag.
- Hollmann, R. L., Scavarda, L. F. & Thomé, A. M. T. (2015). Collaborative planning, forecasting and replenishment: a literature review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64(7), 971–993.
- Holmström, J., Ketokivi, M. & Hameri, A.-P. (2009). Bridging practice and theory: A design science approach. *Decision sciences*, 40(1), 1–26.
- Holweg, M. & Pil, F. K. (2004). *The second century: Reconnecting customer and value chain through build-to-order ; moving beyond mass and lean production in the auto industry*. MIT Press.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch*. Springer Vieweg.

- Hübschke, M., Buss, E., Holschbach, E. & Lier, S. (2025). Blockchain in supply chain management: a comprehensive review of success measurement methods. *Management Review Quarterly*, 1–55. <https://doi.org/10.1007/s11301-025-00546-0>
- Huchzermeier, A. & Mönch, T. (2023). Mixed-model assembly lines with variable takt and open stations. *Production and Operations Management*, 32(3), 704–722.
- Hunziker, S. & Blankenagel, M. (2024). *Forschungsdesign im Bereich Betriebswirtschaft und Management: Ein praktischer Leitfaden für Studierende und Forschende*. Springer.
- Iivari, J. (2007). A paradigmatic analysis of information systems as a design science. *Scandinavian journal of information systems*, 19(2), 39–46.
- Iivari, J., Hansen, M. R. P. & Haj-Bolouri, A. (2018). A Framework for Light Reusability Evaluation of Design Principles in Design Science Research. In *Proceeds of the 13th International Conference on Design Science Research and Information Systems and Technology*, Chennai, India.
- Jäger, U. & Reinecke, S. (2009). Expertengespräch. In C. Baumgarth, M. Eisend & H. Evanschitzky (Hrsg.), *Empirische Mastertechniken: Eine anwendungsorientierte Einführung für die Marketing- und Managementforschung* (S. 29–76). Gabler.
- Jebb, A. T., Ng, V. & Tay, L. (2021). A review of key Likert scale development advances: 1995–2019. *Frontiers in psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.637547>
- Jenkins, A. (2023). *Supply Chain Fragmentation Explained*. <https://www.netsuite.com/portal-resource/articles/erp/supply-chain-fragmentation.shtml?>
- Johnson, R. B. & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational researcher*, 33(7), 14–26.
- Johnston, W. J., Leach, M. P. & Liu, A. H. (1999). Theory testing using case studies in business-to-business research. *Industrial marketing management*, 28(3), 201–213.
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S. & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British journal of applied science & technology*, 7(4), 396–403.
- Jüttner, U. (2005). Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. *The international journal of logistics management*, 16(1), 120–141.
- Kallio, H., Pietilä, A.-M., Johnson, M. & Kangasniemi, M. (2016). Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of advanced nursing*, 72(12), 2954–2965.
- Kappler, J. (2010). *Robuste intervallbasierte Primär- und Sekundärbedarfsplanung in automobilen Neuproduktprojekten* (Bd. 24). Shaker.
- Karabuk, S. & Wu, S. D. (2002). Decentralizing semiconductor capacity planning via internal market coordination. *Iie Transactions*, 34(9), 743–759.
- Kelle, U. (2008). *Die Integration qualitativer und quantitativer Methoden in der empirischen Sozialforschung: Theoretische Grundlagen und methodologische Konzepte*. Springer.
- Kemper, J. (2012). *Modellgestützte Bewertung der Potenziale einer beschaffungslogistikorientierten Programmplanung in der Automobilindustrie*. Verlag Praxiswissen.
- Kern, W. (1962). *Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung : Grundlagen und Verfahren*. Westdeutscher Verlag.

- Ketokivi, M. & Choi, T. (2014). Renaissance of case research as a scientific method. *Journal of operations management*, 32(5), 232–240.
- Keul, H.-K. & Schumann, O. J. (2022). Grundpositionen der philosophischen Ethik. In M. Aßländer (Hrsg.), *Handbuch Wirtschaftsethik* (2. Aufl., S. 19–28). Springer.
- Khosrawi-Rad, B., Grogorick, L., Strohmann, T. & Robra-Bissantz, S. (2024). Toward a Method for Design Science Research Meta-Studies to Improve the Reusability of Design Principles. In M. Mandviwalla, M. Söllner & T. Tuunanen (Hrsg.), *Design Science Research for a Resilient Future* (S. 182–196). Springer Nature.
- Kiebler, L., Ebel, D., Klink, P. & Sardesai, S. (2020). *Risikomanagement disruptiver Ereignisse in Supply Chains*. <https://doi.org/10.24406/iml-n-599788>
- Kilger, C. & Meyr, H. (2014). Demand fulfilment and ATP. In *Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software, and case studies* (S. 177–194). Springer.
- Kim, B., Kim, S. W., Iravani, S. & Park, K. S. (2021). Simple mechanisms for sequential capacity allocations. *Production and Operations Management*, 30(9), 2925–2943.
- Kim, T. K. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean journal of anesthesiology*, 68(6), 540–546.
- Klein, R. & Scholl, A. (2012). *Planung und Entscheidung: Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse* (2. Aufl.). Vahlen.
- Klug, F. (2018). *Logistikmanagement in der Automobilindustrie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55873-7>
- Knolmayer, G. F., Mertens, P., Zeier, A. & Dickersbach, J. T. (2009). *Supply chain management based on SAP systems: Architecture and planning processes*. Springer.
- Kochinka, A. (2010). Beobachtung. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie* (1. Aufl., S. 449–461). Springer.
- Kohn, W. & Öztürk, R. (2010). Mittelwert. In *Statistik für Ökonomen: Datenanalyse mit R und SPSS* (S. 33–38). Springer.
- Kopenhagen, N., Gaß, O. & Müller, B. (2012). Design Science Research in Action: Anatomy of Success Critical Activities for Rigor and Relevance. In J. Pries-Heje & M. Chiasson (Vorsitz), *Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS)*, Barcelona, Spain.
- Krebs, D. & Menold, N. (2022). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (3. Aufl., S. 549–565). Springer.
- Kronthaler, F. (2015). Der Test auf Differenz von Mittelwerten bei unabhängigen Stichproben. In *Statistik angewandt: Datenanalyse ist (k) eine Kunst Excel Edition* (S. 161–172). Springer.
- Kück, M. (2024). *Selbination: Ein hybrides Meta-Lernverfahren zur automatischen Selektion und Kombination geeigneter Prognosemodelle für die Produktionsplanung*. Springer.
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Springer-Verlag.
- Kuhn, A. & Hellingrath, B. (2002). *Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-10141-4>

- Kumar, N., Kumar, K., Aeron, A. & Verre, F. (2025). Blockchain technology in supply chain management: Innovations, applications, and challenges. *Telematics and Informatics Reports*, 1–9.
- Lambert, D. M. (2008). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance* (3. Aufl.). Supply Chain Management Institute.
- Lamnek, S. & Krell, C. (2024). *Qualitative Sozialforschung: mit Online-Material*. Beltz Verlagsgesellschaft.
- Lauras, M., Oger, R., Li, J [Jiayao], Montreuil, B., Kohl, M., Habl, A. & Lesbegueries, J. (2021). Towards a Collaborative and Open Supply Chain Management Operating Services Platform. In L. Camarinha-Matos, X. Boucher & H. Afsarmanesh (Hrsg.), *Smart and Sustainable Collaborative Networks 4.0* (S. 611–620). Springer Nature.
- Laux, H., Gillenkirch, R. M. & Schenk-Mathes, H. Y. (2014). *Entscheidungstheorie* (9. Aufl.). Springer Gabler.
- Lechner, A., Klingebiel, K. & Wagenitz, A. (2011). Evaluation of Product Variant-driven Complexity Costs and Performance Impacts in the Automotive Logistics with Variety-driven Activity-based Costing. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* (S. 1088–1096). International Association of Engineers (IAENG).
- Lee, C. & Park, K. S. (2016). Inventory and transshipment decisions in the rationing game under capacity uncertainty. *Omega*, 65, 82–97.
- Leong, S., Lee, T. & Riddick, F. (2006). A Core Manufacturing Simulation Data Information Model for Manufacturing Applications. In *Fall Simulation Interoperability Workshop* (S. 184–190). Curran Associates, Inc.
- Li, J [Jianbin], Cai, X. & Liu, Z. (2017). Allocating capacity with demand competition: Fixed factor allocation. *Decision sciences*, 48(3), 523–560.
- Li, J [Jianbin], Yu, N., Liu, Z. & Cai, X. (2017). Allocation with demand competition: Uniform, proportional, and lexicographic mechanisms. *Naval Research Logistics (NRL)*, 64(2), 85–107.
- Lin, C.-W. R. & Chen, H.-Y. S. (2003). Dynamic allocation of uncertain supply for the perishable commodity supply chain. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3119–3138.
- Lindner, M., Straub, S. & Kühne, B. (2020). *How to share data? Data-Sharing-Plattformen für Unternehmen: Betriebswirtschaftliche und juristische Grundlagen, aktuelle Praxisprojekte, erste Handlungsempfehlungen*. Begleitforschung Smarte Datenwirtschaft - Institut für Innovation und Technik.
- Lochmahr, A. & Wildemann, H. (2007). Die Einführung logistischer Konzepte in Theorie und Praxis – Fallbeispiel Kapazitätsmanagement. In W. Günthner (Hrsg.), *Neue Wege in der Automobillogistik: Die Vision der Supra-Adaptivität* (S. 509–525). Springer.
- Lödding, H. (2016). *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration* (3. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-48459-3>
- Lotz, T. (2014). *Ermittlung von Optimierungspotenzialen im Kapazitätsmanagement bei Fahrzeugneuanläufen aus Sicht der Beschaffung* [Bachelorarbeit]. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.

- Lu, L. X. & Lariviere, M. A. (2012). Capacity allocation over a long horizon: The return on turn-and-earn. *Manufacturing & Service Operations Management*, 14(1), 24–41. <https://doi.org/10.1287/msom.1110.0346>
- Lucassen, G., Dalpiaz, F., van der Werf, J. M. E. & Brinkkemper, S. (2016). The Use and Effectiveness of User Stories in Practice. In M. Daneva & O. Pastor (Hrsg.), *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (S. 205–222). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30282-9_14
- MacDuffie, J. P. (2013). Modularity-as-property, modularization-as-process, and ‘modularity’-as-frame: Lessons from product architecture initiatives in the global automotive industry. *Global strategy journal*, 3(1), 8–40. <https://doi.org/10.1111/j.2042-5805.2012.01048.x>
- Mallik, S. & Harker, P. T. (2004). Coordinating supply chains with competition: Capacity allocation in semiconductor manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 159(2), 330–347. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.019>
- Mangold, L. (2019). *Sublieferantenmanagement durch Directed Buy: Gründe, Konsequenzen und Alternativen*. Universitätsverlag Ulm. <https://doi.org/10.18725/OPARU-17803>
- Manns, P. (2020). Wege aus der Enge – Logistik in den Innenstädten. In P. Voß (Hrsg.), *Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie: Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0* (2. Aufl., S. 123–140). Springer Gabler.
- March, S. T. & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, 15(4), 251–266.
- March, S. T. & Storey, V. C. (2008). Design science in the information systems discipline: an introduction to the special issue on design science research. *MIS quarterly*, 725–730. <https://doi.org/10.2307/25148869>
- Markus, M. L., Majchrzak, A. & Gasser, L. (2002). A design theory for systems that support emergent knowledge processes. *MIS quarterly*, 179–212.
- Martin, R. C. *Design principles and design patterns* (Nr. 34). https://wnmurphy.com/assets/pdf/Robert_C._Martin_-_2000_-_Principles_and_Patterns.pdf
- Mauler, L. (2013). *Optimale Ressourcenallokation in Engpasssituationen unter Unsicherheit: Konzeption und Implementierung eines Algorithmus zur Entscheidungsunterstützung in der Beschaffungslogistik* [Diplomarbeit], Karlsruhe.
- McCarthy, T. M. & Golicic, S. L. (2002). Implementing collaborative forecasting to improve supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 431–454. <https://doi.org/10.1108/09600030210437960>
- McDonnell, M. & Taylor, P. (2022). *Critical Decisions for Critical Parts in Automotive Supply Chains: As automotive manufacturers pivot to recover their supply chains and build resilience against the background of perpetual disruption there is a class of parts which stands out*. teradata. <https://www.teradata.com/blogs/critical-decisions-for-critical-parts?>
- McGrath, J. E. & Brinberg, D. (1983). External validity and the research process: A comment on the Calder/Lynch dialogue. *Journal of consumer research*, 10(1), 115–124.

- Meissner, F., Shirokinskiy, K. & Alexander, M. (2020). *Computer on wheels: Disruption in automotive electronics and semiconductors*. <https://www.rolandberger.com/de/Insights/Publications/Das-Auto-wird-zu-einem-Computer-auf-R%C3%A4dern.html>
- Menk, D., Chen, Y. & Cregger, J. (2012). *Methodology for Creating a Matrix to Assess the Domestic Content of a Vehicle by Make and Model*. <https://www.cargroup.org/publication/methodology-for-creating-a-matrix-to-assess-the-domestic-content-of-a-vehicle-by-make-and-model/>
- Meyr, H. (2009). Customer segmentation, allocation planning and order promising in make-to-stock production. *OR spectrum*, 31(1), 229–256.
- Mieschner, M. & Mayer, G. (2020). Bereitstellung und Verwaltung von Simulationseingangsdaten. In G. Mayer, C. Pöge, S. Spiekermann & S. Wenzel (Hrsg.), *Ablaufsimulation in der Automobilindustrie* (S. 319–332). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59388-2>
- Mockenhaupt, A. & Schlagenhaut, T. (2024). *Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion: Grundlagen und Anwendung* (2. Aufl.). Springer Vieweg.
- Moder, M. (2008). *Supply Frühwarnsysteme: Die Identifikation und Analyse von Risiken in Einkauf und Supply Management*. Gabler.
- Moetz, A. (2020). *Beherrschung der Planungsinstabilität in automobilen Produktionsnetzwerken*. Verlag Praxiswissen.
- Mollemeier, A. (1997). *Integrierte Steuerung getakteter Variantenfließlinien*. Springer-Verlag.
- Möller, F., Guggenberger, T. M. & Otto, B. (2020). Towards a Method for Design Principle Development in Information Systems. In S. Hofmann, O. Müller & M. Rossi (Hrsg.), *Designing for Digital Transformation: Co-Creating Services with Citizens and Industry* (S. 208–220). Springer Nature.
- Müller, N. (2013). *Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen*. Herbert Utz Verlag.
- Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in health sciences education*, 15(5), 625–632.
- Norrman, A. & Jansson, U. (2004). Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 434–456. <https://doi.org/10.1108/09600030410545463>
- Opriel, S. (2021). *Austausch sensibler Informationen in Liefernetzwerken der Automobilindustrie*. Praxiswissen Verlag.
- Opriel, S. & Schmelting, J. (2022). Datensouveränität. In M. ten Hompel, M. Henke & B. Otto (Hrsg.), *Silicon Economy: Wie digitale Plattformen industrielle Wertschöpfungsnetzwerke global verändern* (S. 41–54). Springer Vieweg.
- Ören, T. (2011). A Basis for a Modeling and Simulation Body of Knowledge Index: Professionalism, Stakeholders, Big Picture, and Other BoKs. *SCS M&S Magazine*, 2(1), 40–48.
- Ottersböck, N., Prange, C., Dander, H. & Peters, S. (2024). Babyboomer weg, Wissen weg – Partizipative Entwicklung eines KI-basierten Assistenzsystems zur Erfassung und Sicherung erfahrungsbasierten Wissens in der Produktion. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 03(78), 194–206. <https://doi.org/10.1007/s41449-024-00419-4>

- Otto, B., Hompel, M. ten & Wrobel, S. (2018). Industrial Data Space: Referenzarchitektur für die Digitalisierung der Wirtschaft. *Digitalisierung: Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*, 113–133.
- Otto, B., Hompel, M. ten & Wrobel, S. (2019). International Data Spaces: Reference architecture for the digitization of industries. *Digital transformation*, 109–128.
- Otto, B., Korte, T., Azkan, C., Spiekermann, M., Lis, D., Gelhaar, J., Iggena, L., Meisel, L., Trautmann, B., Fiedler, J., Bresser, P., Müller, N., Goecke, H., Demary, V., Engels, B., Fritsch, M., Krotova, A., Rusche, C., Scheufen, M., . . . Bretfeld, J. (2019). *Data Economy: Status quo der deutschen Wirtschaft & Handlungsfelder in der Data Economy*.
- Patel, J. (2019). Overcoming Data Silos through Big Data Integration. *International Journal of Computer Science and Technology*, 3(1), 1–6.
<https://doi.org/10.5121/IJDMS.2019.1301>
- Pawlikowski, K., Klingebiel, K., Fruhner, D. & Wagenitz, A. (2017). A motivation and evaluation of hierarchical data structures for application in automotive demand and capacity management, 155–166.
- Peppers, K., Tuunanen, T., Gengler, C. E., Rossi, M., Hui, W., Virtanen, V. & Bragge, J. (2006). The Design Science Research Process: A Model for producing and presenting Information Systems Research. In *DESRIST International Conference on Design Science in Information Systems and Technology*, Claremont, CA, USA.
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Pekgün, P., Park, M., Keskinocak, P. & Janakiram, M. (2019). Does forecast-accuracy-based allocation induce customers to share truthful order forecasts? *Production and Operations Management*, 28(10), 2500–2513.
- Pennekamp, J., Henze, M., Schmidt, S., Niemietz, P., Fey, M., Trauth, D., Bergs, T., Brecher, C. & Wehrle, K. (2019). Dataflow Challenges in an Internet of Production: A Security & Privacy Perspective. In L. Cavallaro, J. Kinder & T. Holz (Hrsg.), *Proceedings of the ACM Workshop on Cyber-Physical Systems Security & Privacy (CPS-SPC)* (S. 27–38). ACM Press.
- Pettenpohl, H., Spiekermann, M. & Both, J. R. (2022). International Data Spaces in a Nutshell. In B. Otto, M. ten Hompel & S. Wrobel (Hrsg.), *Designing Data Spaces: The Ecosystem Approach to Competitive Advantage* (S. 29–40). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-93975-5>
- Plowman, E. G. (1964). *Lectures on Elements of Business Logistics*. Stanford University, Graduate School of Business.
- Przypadlo, T. (2007). In- und Outbound-Logistik eines 1st Tier Zulieferers: Logistikdienstleistungseinsatz im automobilen Netzwerk. In W. Günthner (Hrsg.), *Neue Wege in der Automobillogistik: Die Vision der Supra-Adaptivität* (S. 231–243). Springer.
- Reinbold, M., Windweh, J., Exo, M., Gümpel, P., Beißert, U., Schröder, M., Sümpelmann, A., Schmohl, L., Jung, F., Wienskowski, J., Thiele, B., Beyer, C., Lublow, R., Engel, C., Cramme, G., Hinrichs-Stark, W., Freigang, S. & Sydow, A. (2016). *Visual Logistics*

- Management: gemeinschaftlicher Abschlussbericht.*
<https://doi.org/10.2314/GBV:880312610>
- Reinhart, G., Egbers, J., Hüttner, S., Geiger, F. & Hatwig, J. (2010). Nivellierung variantenreicher Serienprodukte. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 105(4), 356–361.
<https://doi.org/10.3139/104.110292>
- Richter, K. & Hartig, P. (2007). Aufbau globaler Netzwerke als Erfolgsfaktor in der Automobilindustrie. In F. Sanz, K. Semmler & J. Walther (Hrsg.), *Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz: Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten* (S. 251–264). Springer.
- Ridder, H.-G. (2020). *Case Study Research: Approaches, Methods, Contribution to Theory* (2. Aufl.). Rainer Hampp Verlag. <https://doi.org/10.3635>
- Romeike, F. & Huth, M. (2016). Struktur des Risikomanagements in der Logistik. In M. Huth & F. Romeike (Hrsg.), *Risikomanagement in der Logistik: Konzepte – Instrumente – Anwendungsbeispiele* (S. 49–84). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05896-8>
- Romme, A. G. L. (2003). Making a difference: Organization as design. *Organization science*, 14(5), 558–573. <https://doi.org/10.1287/orsc.14.5.558.16769>
- Rommelfanger, H. J. & Eickemeier, S. H. (2002). *Entscheidungstheorie: Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56252-5>
- Rosemann, M. & Vessey, I. (2008). Toward improving the relevance of information systems research to practice: the role of applicability checks. *MIS quarterly*(32), 1–22.
- Rupp, C., Simon, M. & Hocker, F. (2009). Requirements Engineering und Management. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*(46), 94–103. <https://doi.org/10.1007/BF03340367>
- Samouilidou, M. E., Passalis, N., Georgiadis, G. P. & Georgiadis, M. C. (2025). Enhancing Industrial Scheduling through Machine Learning: A Synergistic Approach with Predictive Modeling and Clustering. *Computers & Chemical Engineering*, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2025.109174>
- Sandau, J., Bovermann, J., Exler, T. & Maithel, P. (2022). *Aufbau von resilienten Liefernetzwerken in einer Ära der Unsicherheit*.
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2007). The nature of business and management research and structure of this book. In M. Saunders, P. Lewis & A. Thornhill (Hrsg.), *Research Methods for Business Students* (4. Aufl., S. 2–17). Pearson Education.
- Schäfer, T. (2016). *Methodenlehre und Statistik: Einführung in Datenerhebung, deskriptive Statistik und Inferenzstatistik*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11936-2>
- Scherenberg, F. von, Hellmeier, M. & Otto, B. (2024). Data Sovereignty in Information Systems, 34(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12525-024-00693-4>
- Schlüter, F. (2001). *Hybride PPS für heterogene Fertigungsstrukturen* (1. Aufl.). Deutscher Universitäts-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-90349-5>
- Schmidt, M. & Nyhuis, P. (2021). *Produktionsplanung und-steuerung im Hannoveraner Lieferkettenmodell: Innerbetrieblicher Abgleich logistischer Zielgrößen*. Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63897-2>
- Schneeweiß, C. (1999). *Einführung in die Produktionswirtschaft* (7. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-06876-2>

- Schön, D. A. (1988). Designing: Rules, types and worlds. *Design studies*, 9(3), 181–190. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(88\)90047-6](https://doi.org/10.1016/0142-694X(88)90047-6)
- Schönsleben, P. (2020). *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend* (8. Aufl.). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60673-5>
- Schoormann, T., Möller, F. & Hansen, M. (2021). How Do Researchers (Re-)Use Design Principles: An Inductive Analysis of Cumulative Research. In L. Chandra Kruse, S. Seidel & G. I. Hausvik (Hrsg.), *The Next Wave of Sociotechnical Design* (S. 188–196). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82405-1>
- Schreckenber, F., Motta, M., Kamphues, J., Sardesai, S. & Klink, P. (2021). *ACES-Eine Revolution auch für das Risikomanagement in der Automobilbranche? Erste Ansätze zur Nutzbarmachung und Anreicherung von Unternehmensdaten für das Management lieferantenbezogener Risiken*. <https://doi.org/10.24406/IML-N-635040>
- Schuh, G., Brandenburg, U. & Cuber, S. (2012). Aufgaben. In G. Schuh & V. Stich (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen der PPS* (4. Aufl., S. 29–81). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25423-9>
- Schuh, G., Brosze, T. & Brandenburg, U. (2012). Aachener PPS-Modell. In G. Schuh & V. Stich (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen der PPS* (4. Aufl., S. 11–28). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25423-9>
- Schuh, G., Gottschalk, S., Hensgen, L., Gützlaff, A., Schmidhuber, M. & Rolfes, D. (2021). Erhöhung der Akzeptanz von Produktionssimulationen: Mithilfe der Gestaltung anwenderorientierter Benutzerschnittstellen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 116(4), 222–226. <https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0052>
- Schuh, G., Schmidt, C. & Bauhoff, F. (2014). Produktionsprogrammplanung. In G. Schuh & C. Schmidt (Hrsg.), *Produktionsmanagement: Handbuch Produktion und Management 5* (2. Aufl., S. 63–108). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54288-6>
- Schuh, G., Schmidt, C. & Helmig, J. (2012). Prozesse. In G. Schuh & V. Stich (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen der PPS* (4. Aufl., S. 109–194). Springer Vieweg.
- Schuh, G., Schürmeyer, M. & Hering, N. (2012). Funktionen. In G. Schuh & V. Stich (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen der PPS* (4. Aufl., 195–296). Springer Vieweg.
- Schwede, C. (2014). *Integration von Auftragsreihenfolge- und Distributionstransportplanung in der Automobilindustrie*. Praxiswissen Verlag.
- Seidel, S., Chandra Kruse, L., Székely, N., Gau, M. & Stieger, D. (2018). Design principles for sensemaking support systems in environmental sustainability transformations. *European Journal of Information Systems*, 27(2), 221–247. <https://doi.org/10.1057/s41303-017-0039-0>
- Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M. & Lindgren, R. (2011). Action Design Research. *MIS quarterly*(35), 37–56.
- Seufert, S. (2015). Design Research für die Implementation von eLearning: ein vielversprechendes Paradigma für die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis? *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(1), 120–131. <https://doi.org/10.1365/s40702-014-0113-1>

- Sheth, A. P. & Larson, J. A. (1990). Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 22(3), 183–236. <https://doi.org/10.1145/96602.96604>
- Shirodkar, S. & Kempf, K. (2006). Supply chain collaboration through shared capacity models. *Interfaces*, 36(5), 420–432. <https://doi.org/10.1287/inte.1060.0235>
- Sinz, C. (2003). *Verifikation regelbasierter Konfigurationssysteme*. <https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/48542>
- Söhner, V. (1991). Reihenfolgeplanung bei Fließbandfertigung. In C. Schneeweiß & V. Söhner (Hrsg.), *Kapazitätsplanung bei moderner Fließfertigung* (S. 9–104). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-12136-8>
- Sonnenberg, C. & vom Brocke, J. (2012). Evaluations in the Science of the Artificial – Reconsidering the Build-Evaluate Pattern in Design Science Research. In K. Peffers, M. Rothenberger & B. Küchler (Hrsg.), *Design Science Research in Information Systems: Advances in Theory and Practice* (S. 381–397). Springer.
- Sprumont, Y. (1991). The division problem with single-peaked preferences: a characterization of the uniform allocation rule. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 509–519.
- Stäblein, T. (2008). *Integrierte Planung des Materialbedarfs bei kundenauftragsorientierter Fertigung von komplexen und variantenreichen Serienprodukten*. Shaker.
- Steiner, C. M. & Albert, D. (2017). Validating domain ontologies: A methodology exemplified for concept maps. *Cogent Education*, 4(1), 1–39. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2016.1263006>
- Steinrücke, M. (2007). *Termin-, Kapazitäts- und Materialflussplanung bei auftragsorientierter Werkstattfertigung* (1. Aufl.). Deutscher Universitäts-Verlag.
- Stich, V., Reschke, J., Holtkemper, D., Kraut, A., Pause, D. & Marek, S. (2020). Digitalisierung der Supply-Chain. *Logistik–die unterschätzte Zukunftsindustrie: Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0*, 17–32.
- Störk, L. S. (2023). Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz. In *Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) Gesetzesanforderungen, Umsetzung und Fortentwicklungsbedarf in der Textilbranche* (S. 19–67). Springer.
- Strnadl, C. F. & Schöning, H. (2023). Datenplattformen, Datenräume und (Daten-) Ökosysteme–Einordnung und strategische Aspekte. In *Data Governance: Nachhaltige Geschäftsmodelle und Technologien im europäischen Rechtsrahmen* (S. 83–103). Springer.
- Stuffer, R. & Kleedörfer, R. (1997). *Prozessmanagement im Wandel: Zeitgerechte Ansätze zur Prozessplanung und -steuerung*. https://www.schwanconsult.com/Glossar/Prozessmanagement_im_Wandel.pdf
- Subedi, B. P. (2016). Using Likert type data in social science research: Confusion, issues and challenges. *International journal of contemporary applied sciences*, 3(2), 36–49.
- Suchanek, A. (2022). Das Verhältnis von Markt und Moral. In M. Aßländer (Hrsg.), *Handbuch Wirtschaftsethik* (S. 109–121). Springer.
- Taherdoost, H. (2023). Deep learning and neural networks: Decision-making implications. *Symmetry*, 15(9).

- Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International journal of production economics*, 103(2), 451–488.
- Tardieu, H. (2022). Role of Gaia-X in the European data space ecosystem. In B. Otto, M. ten Hompel & S. Wrobel (Hrsg.), *Designing Data Spaces: The Ecosystem Approach to Competitive Advantage* (S. 41–59). Springer International Publishing.
- Tashakkori, A. & Creswell, J. W. (2007). The New Era of Mixed Methods. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 3–7. <https://doi.org/10.1177/2345678906293042>
- Teich, T. & Oestreich, E. (2006). Produktdifferenzierung durch Individualisierung von Ausstattungspaketen im Rahmen der Mass Customization im Bereich der Automobilindustrie. In K. Meißner & M. Engelen (Hrsg.), *Gemeinschaften in Neuen Medien (GeNeMe)* (S. 399–412). TUDpress.
- Temur, L. (2021). *Konzepterstellung zur ereignisorientierten Initiierung einer Bewertung von automobilen Produktionsprogrammen im mittelfristigen Zeithorizont*. <https://doi.org/10.17877/DE290R-21991>
- Terzi, S. & Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, 53(1), 3–16.
- Thommen, J.-P., Achleitner, A.-K., Gilbert, D. U., Hachmeister, D., Jarchow, S. & Kaiser, G. (2023). Beschaffungsplanung. In *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht* (S. 179–190). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-39395-3_12
- Thun, J.-H., Drüke, M. & Hoenig, D. (2009). Fehlteilmanagement als Herausforderung für Industriebetriebe. In J. Strohhecker & A. Größler (Hrsg.), *Strategisches und operatives Produktionsmanagement: Empirie und Simulation* (S. 167–184). Gabler.
- Tietze, A.-C. (2021). *Zeitkritisches Wissensmanagement im Engpassmanagement der Automobillogistik*. Praxiswissen Verlag.
- Tietze, A.-C., Cirullies, J. & Otto, B. (2017). Automotive supply-chain requirements for a time-critical knowledge management. In W. Kersten, T. Blecker & C. M. Ringle (Hrsg.), *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics* (Vol. 23, S. 467–489). epubli GmbH. <https://doi.org/10.15480/882.1468>
- Tietze, A.-C., Cirullies, J., Otto, B. & Holtz, A. (2020). From crisis to bottleneck management: integration of social media analysis for early response in the automotive supply chain event management. *International Journal of Integrated Supply Management*, 13(4), Artikel 110741, 418–444. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2020.110741>
- Tiss, S., Thierry, C., Lamothe, J. & Rousse, C. (2019). Toward an agile adaptation of supply chain planning: a situational use case. In L. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh & D. Antonelli (Hrsg.), *Collaborative Networks and Digital Transformation* (S. 344–354). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-030>
- Toth, M. (2008). *Eine Methodik für das kollaborative Bedarfs- und Kapazitätsmanagement in Engpasssituationen: Ein ganzheitlicher Ansatz zur Identifikation, Anwendung und Bewertung von Engpassstrategien am Beispiel der Automobilindustrie*. Praxiswissen Verlag.
- Trauth, D. & Mayer, J. (2022). Grenzkostenfreie IoT-Services in den Datenmarktplätzen der Zukunft. In M. Rohde, M. Bürger, K. Peneva & J. Mock (Hrsg.), *Datenwirtschaft und*

- Datentechnologie: Wie aus Daten Wert entsteht* (S. 11–29). Springer Vieweg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-65232-9>
- Tsagris, M., Alenazi, A., Verrou, K.-M. & Pandis, N. (2020). Hypothesis testing for two population means: parametric or non-parametric test? *Journal of statistical computation and simulation*, 90(2), 1–19. <https://doi.org/10.1080/00949655.2019.1677659>
- Tsutsui, S., Kaihara, T., Kokuryo, D., Fujii, N. & Harano, K. (2022). A proposal of production scheduling method with dynamic parts allocation for mass customization. *Procedia CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 107, 882–887.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.079>
- Uslar, M., Rohjans, S., Specht, M. & Vazquez, J. M. G. (2010). What is the CIM lacking? In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 2010 IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638926>
- van Aken, J., Chandrasekaran, A. & Halman, J. (2016). Conducting and publishing design science research: Inaugural essay of the design science department of the Journal of Operations Management. *Journal of operations management*, 47, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.06.004>
- van Lamsweerde, A. (2000). Requirements engineering in the year 00: A research perspective. In C. Ghezzi, M. Jazayeri & A. L. Wolf (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Software Engineering (ICSE)* (S. 5–19). IEEE Computer Society.
<https://doi.org/10.1145/337180.337184>
- Vogel, S. & Meyr, H. (2015). Decentral allocation planning in multi-stage customer hierarchies. *European Journal of Operational Research*, 246(2), 462–470.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.009>
- vom Brocke, J., Hevner, A. & Maedche, A. (2020). Introduction to design science research. In J. vom Brocke, A. Hevner & A. Maedche (Hrsg.), *Design Science Research. Cases* (S. 1–13). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4>
- vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Reimer, K., Plattfaut, R. & Cleven, A. (2009). Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. In S. Newell, E. A. Whitley, N. Pouloudi, J. Wareham & L. Mathiassen (Hrsg.), *17th European Conference on Information Systems (ECIS)*. Association for Information Systems. <https://aisel.aisnet.org/ecis2009/161>
- vom Brocke, J., Simons, A., Riemer, K., Niehaves, B., Plattfaut, R. & Cleven, A. (2015). Standing on the shoulders of giants: Challenges and recommendations of literature search in information systems research. *Communications of the Association for Information Systems*, 37(1). <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03709>
- vom Brocke, J., Winter, R., Hevner, A. & Maedche, A. (2020). Accumulation and Evolution of Design Knowledge in Design Science Research – A Journey Through Time and Space. *Journal of the Association for Information systems*, 21(3), 1–39.
<https://doi.org/10.17705/1jais.00611>
- Wack, K.-J. (2020). *Interdisziplinäre Absicherung der Produktionsplanung in der Automobilindustrie*. Universitätsverlag Ilmenau. <https://doi.org/10.22032/dbt.40550>

- Wagenitz, A. (2007). *Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie*. <https://doi.org/10.17877/DE290R-15701>
- Wagenitz, A., Klingebiel, K., Toth, M., Motta, M. & Weibels, D. (2020). Integrierte Simulation von Auftragsabwicklungs- und Supply Chain-Prozessen. In G. Mayer, C. Pöge, S. Spiekermann & S. Wenzel (Hrsg.), *Ablaufsimulation in der Automobilindustrie* (S. 231–245). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59388-2>
- Wagner, P., Nagel, T., Hennebold, C., Huber, M. & Kraus, W. (2023). KI-Anwendungsfälle in der Produktion. In T. Bauernhansl, B. Vogel-Heuser & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0* (3. Aufl., S. 71–94). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58532-0>
- Walls, J. G., Widmeyer, G. R. & El Sawy, O. A. (1992). Building an information system design theory for vigilant EIS. *Information systems research*, 3(1), 36–59.
- Wang, J., Zhang, W., Shi, Y., Duan, S. & Liu, J. (2018). Industrial Big Data Analytics: Challenges, Methodologies, and Applications, 1–13.
- Wang, J.-Q., Chen, J., Zhang, Y. & Huang, G. Q. (2016). Schedule-based execution bottleneck identification in a job shop. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 308–322. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.039>
- Wannes, A. & Ghannouchi, S. A. (2019). KPI-Based Approach for Business Process Improvement. In M. M. Cruz-Cunha, R. Martinho, R. Rijo, E. Peres & D. Domingos (Hrsg.), *Procedia Computer Science 164, CENTERIS 2019 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2019 - International Conference on Project Management / HCist 2019 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies* (S. 265–270). elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.182>
- Webster, J. & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS quarterly*, 13–23.
- Wegner, P. (1996). Interoperability. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(1), 285–287.
- Wehking, K.-H., Popp, J., Hagg, M. & Pfleger, D. (2020). Simulationsgestützte Planung. In K.-H. Wehking (Hrsg.), *Technisches Handbuch Logistik 2: Fördertechnik, Materialfluss, Intralogistik* (S. 141–165). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60869-2>
- Wessler, M. (2012). *Entscheidungstheorie: Von der klassischen Spieltheorie zur Anwendung kooperativer Konzepte*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-3734-6>
- Wilke, J. (2012). *Supply Chain Koordination durch Lieferverträge mit rollierender Mengenflexibilität: Eine Simulationsstudie am Beispiel von Lieferketten der deutschen Automobilindustrie*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-3948-7>
- Wöhner, H. & Schuberthan, J. Kollaboratives Kapazitätsmanagement mit digitalen Werkzeugen. In F. Schupp & H. Wöhner (Hrsg.), *Digitalisierung im Einkauf* (2. Aufl., S. 251–266). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-40570-015>
- Yao, X., Shehadeh, K. S. & Padman, R. (2024). Multi-resource allocation and care sequence assignment in patient management: a stochastic programming approach. *Health Care Management Science*, 27(3), 352–369. <https://doi.org/10.1007/s10729-024-09675-6>
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications.

- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6. Aufl.). Sage Publications.
- Yost, T. (2021). *Shortages related to semiconductors to cost the auto industry \$210 billion in revenues this year, says new AlixPartners forecast*. AlixPartners. <https://www.alixpartners.com/newsroom/press-release-shortages-related-to-semiconductors-to-cost-the-auto-industry-210-billion-in-revenues-this-year-says-new-alixpartners-forecast>
- Zeng, M. L. (2019). Interoperability. *KO Knowledge Organization*, 46(2), 122–146. <https://doi.org/10.5771/0943-7444-2019-2-122>
- Zernechel, T. (2007). Gestaltung und Optimierung von Unternehmensnetzwerken: Supply Chain Management in der Automobilindustrie. In F. Sanz, K. Semmler & J. Walther (Hrsg.), *Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz: Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten* (S. 367–378). Springer.
- Zrenner, J. (2020). *Interorganisationale Informationssysteme für das kollaborative Risikomanagement in automobilwirtschaftlichen Liefernetzwerken*. Praxiswissen Verlag.

Anhang

A.1: Engpassverdachtsfälle: Monatsanalyse

Tabelle A1-1 zeigt die Anzahl der in den jeweiligen Monaten identifizierten Engpassverdachtsfälle im Untersuchungszeitraum von Januar 2020 bis Juli 2021. Die dargestellten Werte bilden die empirische Basis für die in Kapitel 5 erfolgte Analyse der Zuteilungssystematik.

Tabelle A1-1: Auswertung Engpassverdachtsfälle (Stand: 30. Juli 2021)

	Jan. 2020	Feb. 2020	März 2020	Apr. 2020	Mai 2020	Jun. 2020	Jul. 2020	Aug. 2020	Sept. 2020	Okt. 2020	Nov. 2020	Dez. 2020	Jan. 2021	Feb. 2021	März 2021	Apr. 2021	Mai 2021	Jun. 2021	Jul. 2021	Summe
Summe Engpass- verdachtsfälle	8	20	7	-	8	13	16	14	26	45	29	21	29	25	41	23	24	9	11	369
Eingang kumuliert	8	28	35	-	43	56	72	86	112	157	186	207	236	261	302	325	349	358	369	369

A.2: Verweildauer von Engpassverdachtsfällen

Abbildung A2-1 enthält die ermittelten Verweildauern der Engpässe bis zu ihrer Auflösung. Die Daten wurden für die Untersuchung der Reaktionsfähigkeit innerhalb der Zuteilungssystematik herangezogen.

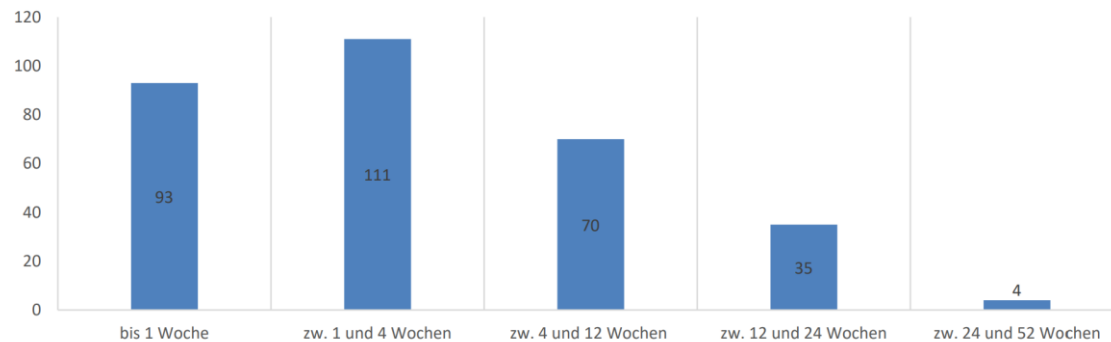


Abbildung A2- 1: Verweildauer von Engpassverdachtsfällen

A.3: Auswertung der Zuteilungen

Tabelle A3-1 gibt einen Überblick über die Abweichungen zwischen den geplanten und tatsächlichen Zuteilungen im Untersuchungszeitraum von Kalenderwoche 09 (KW09) im Jahr 2022 bis KW 26 2022. Sie umfasst sowohl Bauteile, die nicht benötigt und an andere Bedarfsträger verliehen, als auch solche, die aufgrund zusätzlicher Bedarfe ausgeliehen wurden.

Tabelle A3- 1: Auswertung der Zuteilungen (Stand: 28. Juli 2022)

	KW09 2022	KW10 2022	KW11 2022	KW12 2022	KW13 2022	KW14 2022	KW15 2022	KW16 2022	KW17 2022	KW18 2022	KW19 2022	KW20 2022	KW21 2022	KW22 2022	KW23 2022	KW24 2022	KW25 2022	KW26 2022	Summe
Werk A	-103.919	-102.993	-247.317	-277.892	-251.983	-237.586	-47.684	-269.214		-57.141	-189.003		-172.004	-10.957	-141.791	-18.646	-135.037	-1.448	-2.264.615
Werk B	-15.221	-15.404	-11.292	561	-9.705	296	72	86		157	186		236	261	302	325	349	358	369
Werk C	11.725	11.438	-115.206	-153.682	-100.199	-72.650	-85.106	-49.524		-38.127	42.788		35.403	-76.345	44.614	-51.655	45.137	-22.518	-573.907
Werk D	16.689	16.217	22.939	19.322	21.257	17.785	3.229	15.518		-13.035	15.789		18.440	-557	16.277	-253	13.877	-10.948	172.546
Werk E	8.739	8.625	-17.710	-18.777	-8.497	-27.627	-3.238	-47.174		1.191	11.340		6.412	22.867	16.939	14.751	14.077	5.140	-12.942
Werk F	65.619	87.256	187.414	193.660	157.778	175.094	70.451	194.737		61.084	202.099		215.960	81.961	189.487	56.365	189.962	16.890	2.145.817
Werk G	-36.218	-36.289	24.268	27.433	27.718	29.064	23.508	23.503		5.786	25.090		13.810	12.764	8.308	7.261	9.259	6.342	171.607
Werk H	425	397	1.758	1.829	2.890	2.675	4.986	-878		1.981	23.606		30.680	22.828	29.707	26.022	29.961	26.581	205.448
Werk I	378	378	0	0	0	0	0	0		0	0		0	0	0	0	0	0	756
Werk J	-10.036	-10.036	-924	-1.115	-1.084	-1.084	239	-1.319		-566	-5.633		-4.049	-3.946	-5.739	-5.720	-3.739	-3.720	-58.471
Werk K	108.311	131.096	184.647	220.119	174.025	127.162	48.983	243.103		27.928	40.195		-28.179	19.520	-50.445	19.171	-43.844	7.716	1.229.508
Werk L	2.624	2.615	2.961	5.131	5.131	8.181	8.181	7.254		0	485		3	3	3	3	3	3	42.581
Werk M	3.970	3.970	0	0	0	0	0	0		-88.455	0		0	0	0	0	0	0	-80.515
Werk N	-23.401	-38.447	-19.409	-28.523	-30.125	-32.764	-17.956	-41.657		-24.285	-52.479		-51.523	-24.148	-46.423	-24.265	-51.239	45	-506.599
Werk O	0	0	9	1	1	1	0	1		0	1		1	0	1	0	1	0	17
Andere	15.214	12.319	6.597	7.502	9.150	8.093	5.137	5.621		13.280	-39.406		-52.079	-16.776	-57.897	-17.614	-65.311	-19.303	-185.473
Summe	44.899	71.142	18.735	-4.431	-3.643	-3.360	10.802	80.057		-110.202	75.058		13.111	27.475	3.343	5.745	3.456	5.138	286.127

A.4: Anschreiben zur Expertenbefragung

Sehr geehrte Frau / sehr geehrter Herr XY,

Wolfsburg, den XX.XX.XXXX

ich bin Ahmed Khechen und bin Doktorand am Lehrstuhl für Unternehmenslogistik an der Technischen Universität Dortmund. Im Rahmen meiner Doktorarbeit beschäftige ich mich mit der Zuteilung von restriktiven Bauteilen mit komplexer Abhängigkeit in großen Produktionsnetzwerken.

Hintergrund der Thematik:

Aufgrund der zahlreichen unvorhergesehenen Ereignisse in näherer Vergangenheit kommt es weltweit zu Lieferverzögerungen von benötigten Rohstoffen, wodurch Unternehmen dazu gezwungen werden, auf die veränderten Bedingungen zu reagieren und sich vielfältig anzupassen. Speziell in der Automobilindustrie hat die Fragilität globaler Wertschöpfungsstrukturen verdeutlicht, dass es für Unternehmen besonders wichtig ist, kurzfristig dynamisch auf die bestehenden Krisen zu reagieren und sich gleichzeitig langfristig gut aufzustellen und auf verschiedene Szenarien vorbereitet zu sein.

Die Zuteilung von begrenzten Fertigungskapazitäten auf eingehende Bedarfe weist heute noch Optimierungspotentiale auf. Die Ursache hierfür liegt sowohl in der schweren Zugänglichkeit sowie der vorhandenen Qualität von Daten, als auch an der Notwendigkeit der manuellen Verarbeitung der Informationen. Fortschreitende technologische Entwicklungen bieten zwar wachsende Möglichkeiten zur Überwindung dieser Herausforderungen, deren Potenziale werden in der Praxis jedoch längst noch nicht ausgeschöpft. Eine wesentliche Fragestellung, die sich daraus ergibt, ist wie eine Systematik gestaltet werden muss, um eine effiziente Zuteilung von verfügbaren Kapazitäten unter Beachtung logistischer Rahmenbedingungen zu ermöglichen.

Ziele der Mitarbeiterbefragung:

Die Engpasssteuerung umfasst die Steuerung der Materialströme und ist eine übergreifende Querschnittsaufgabe, die sich über alle Wertschöpfungsstufen erstreckt und verschiedene Geschäftsbereiche betrifft. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer intensiven Abstimmung, die eine Vielzahl praktischer Herausforderungen mit sich bringt. Die dadurch erforderliche hohe Abstimmungsdichte verdeutlicht die Komplexität des Themas.

Der Fokus meiner aktuellen Forschungsarbeit liegt auf der Zuteilung von restriktiven Engpassteilen in großen Produktionsnetzwerken. In diesem Kontext zielt die Befragung darauf ab, wertvolle Erkenntnisse und Perspektiven zu sammeln und die Forschungsarbeit hinsichtlich des Beitrags zum Erkenntnisfortschritt, der Schließung der Forschungslücke sowie der Übertragbarkeit der Erkenntnisse zu bewerten. Ihr Fachwissen in diesem Bereich kann in diesem Zusammenhang einen bedeutenden Beitrag zu meiner Forschung leisten.

Vor dem Hintergrund des Forschungsthemas möchte ich ihre Fachexpertise zu dem Thema nutzen, um die gewonnenen Erkenntnisse anhand einer Onlinebefragung zu validieren. Die Dauer der Befragung beträgt ca. 10 Minuten und die Teilnahme ist freiwillig und erfolgt anonym, sodass

ein Rückschluss auf Einzelpersonen nicht möglich ist. Die Befragung erfolgt online über das Befragungstool LimeSurvey und wird im Zeitraum zwischen dem XX.XX.XXXX und XX.XX.XXXX durchgeführt.

Die Ergebnisse der Doktorarbeit bzw. der Befragung werden Ihnen auf Wunsch gerne zur Verfügung gestellt, sobald die Auswertung abgeschlossen ist. Dies soll bis spätestens zur Fertigstellung der Doktorarbeit zum XX.XX.XXX erfolgen. Bei Rückfragen stehe ich Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung. Für die Unterstützung im Rahmen meiner Doktorarbeit bin ich Ihnen sehr dankbar.

Mit freundlichen Grüßen,
Ahmed Khechen

A.5: Fragebogen zur Expertenbefragung

Zur Erhebung der Experteneinschätzungen wurde ein standardisierter Fragebogen verwendet, der in zwei Abschnitte gegliedert ist.

- Teil 1 umfasst rollenspezifische Angaben der Teilnehmenden sowie allgemeine Fragen zur Unternehmens- und Prozessumgebung (Tabelle A5-1).
- Teil 2 enthält anwendungsbezogene Fragen, die auf die Bewertung der im Rahmen der Arbeit entwickelten LZ abzielen (Tabelle A5-2).

Die Leitfrage für den zweiten Abschnitt lautete:

„Inwiefern stimmen Sie folgenden Aussagen zu? Bei einem Versorgungsengpass sind mir folgende Aspekte wichtig, um eine optimale Planungsqualität zu erreichen.“

Zur Beantwortung wurde eine siebenstufige Likert-Skala verwendet (1 = stimme gar nicht zu – 7 = stimme voll zu).

Tabelle A5- 1: Rollenspezifische Angaben und allgemeine Fragen

Nr.	Frage / Thema	Antwortformat	Zweck / Kategorie
1	Bitte geben Sie das Datum der Befragung an.	Datum (TT.MM.JJJJ)	Erhebungsinformation
2	Bitte nennen Sie ihr Unternehmen bzw. ihre Institution.	Freitext	Kontextangabe
3	In welcher Branche ist ihr Unternehmen tätig?	Auswahl (z. B. Automobil, Zulieferer, Beratung)	Kontextangabe
4	Welche Rolle bzw. Position üben Sie im Unternehmen aus?	Freitext	Rollenspezifische Angabe
5	Wie lange sind Sie bereits in ihrem Unternehmen tätig?	Numerisch (Jahre)	Erfahrungshintergrund
6	Befassen Sie sich derzeit mit der Steuerung von Kapazitätsengpässen? Wenn nicht, haben Sie Erfahrung im Umgang mit der Steuerung von restriktiven Kapazitäten?	Ja / Nein	Relevanzprüfung und Erfahrungsbezug
7	Können Sie uns allgemeine Informationen über ihre Aufgaben in der Engpasssteuerung geben? Bitte konzentrieren Sie sich dabei auf Ihre Kernaufgaben.	Freitext	Aufgabenbeschreibung / Kontextverständnis
8	Wie wichtig ist es aus Ihrer Sicht eine wirksame Zuteilung von restriktiven Kapazitäten durchzuführen?	Skala (1 = gar nicht wichtig – 7 = sehr wichtig)	Allgemeine Einschätzung
9	Wie wichtig ist aus Ihrer Sicht die Verfügbarkeit eines Entscheidungsunterstützungssystems, um eine wirksame Zuteilung von restriktiven Kapazitäten durchzuführen?	Skala (1 = gar nicht wichtig – 7 = sehr wichtig)	Allgemeine Einschätzung

Tabelle A5- 2: Anwendungsbezogene Fragen

Nr.	Frage / Aussage	Antwort-format	Kategorie
1	Die Möglichkeit jederzeit Planungsänderungen für alle sichtbar anzumelden, um diese frühzeitig beim Auftreten von Abweichungen in der Lieferkette bekannt machen zu können	Skala (1-7)	Steuerung & Flexibilität
2	Flexible Einstellungsmöglichkeiten, um die Zuteilungslogik bei Bedarf an die aktuelle Situation anzupassen	Skala (1-7)	Steuerung & Flexibilität
3	Eine möglichst stabile und stetige Bedarfskommunikation, ohne Bedarfssprünge zwischen den Planungshorizonten	Skala (1-7)	Steuerung & Flexibilität
4	Angepasste Steuerungsregeln für Cross, Dual und Local Sourcing, um resilient gegenüber globalen Verwerfungen / Krisen zu sein	Skala (1-7)	Steuerung & Flexibilität
5	Tools, die aus getroffenen Allokationen, Umfeldbedingungen und Allokationsergebnissen lernen und Allokationsvorschläge generieren	Skala (1-7)	Steuerung & Flexibilität
6	Was möchten Sie uns noch mitteilen? Hier finden Sie Platz für Kommentare und Anregungen.	Freitext	Steuerung & Flexibilität
1	Standardisierte schlanke und unbürokratischere Prozesse in jeder Planungsperiode	Skala (1-7)	Standardisierung & Zentralisierung
2	Für alle Teilnehmer gleiche Standards an einer Stelle verortet, um Transparenz und Akzeptanz zu schaffen	Skala (1-7)	Standardisierung & Zentralisierung
3	Plattformen und föderierte Daten mit standardisierten Informationen, um Akzeptanz für einen intensivierten und anwendungsgerechten Datenaustausch in den Supply Chains zu schaffen und so die Transparenz für verlässliche Planungen zu erreichen	Skala (1-7)	Standardisierung & Zentralisierung
4	An die Fertigungsprozesse angepasste Beauftragungsprozesse (Berücksichtigung der Produktionszeiten, Kapazitäten und Flexibilität), um die Verbindlichkeit zu erhöhen und damit die Bedarfsabdeckung zu optimieren	Skala (1-7)	Standardisierung & Zentralisierung
5	Was möchten Sie uns noch mitteilen? Hier finden Sie Platz für Kommentare und Anregungen.	Freitext	Standardisierung & Zentralisierung
1	Vorlaufzeittransparenz, um Primär- und Sekundärbedarfe in der Planung auf die Bedarfszeitpunkte des jeweiligen Wertschöpfungspartners / Fertigungsabschnitts zu terminieren.	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
2	Transparenz über die Bauteilverwendung, um deckungsbeitragsoptimiert/kundenorientiert zu allokalieren.	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
3	Wertschöpfungsstufenübergreifende Transparenz der Sekundärteilbedarfe für kritische Sekundärteile (bspw. über Auszüge der Lieferantenstückliste auf die Bedarfsmenge der kritischen Sekundärteile)	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
4	Transparenz über Bestände und Transitbestände im Wertschöpfungsnetzwerk um u. a. belastbare Versorgungssimulationen durchzuführen	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
5	Transparenz über die Güte der Bedarfsprognose eines Bauteils, die sich bspw. aus der Komplexität der Abhängigkeit des Bauteils von Kunden wählbaren Eigenschaften/Paketen und/oder Modellen ergibt.	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
6	Variabel detaillierte Kapazitätsmodelle von Lieferanten	Skala (1-7)	Transparenz & Vernetzung
7	Was möchten Sie uns noch mitteilen? Hier finden Sie Platz für Kommentare und Anregungen.	Freitext	Transparenz & Vernetzung
1	Ein experimentierbarer digitaler Zwilling, um eine ausreichende Anzahl an Szenarien bewerten zu können und einen schnellen Vorab-Check der Auswirkungen von Planungsänderungen vorzunehmen (Echtzeitsimulation)	Skala (1-7)	Simulation
2	Was möchten Sie uns noch mitteilen? Hier finden Sie Platz für Kommentare und Anregungen.	Freitext	Simulation

A.6: Übersicht der kodierten Antworten

Tabelle A6-1 zeigt die Kodierung der erhobenen Antworten aus den Expertenbefragungen. Die Kodierung diente der quantitativen Auswertung der anwendungsbezogenen Fragen (siehe Kapitel 7). Dabei wurden die Antworten den entsprechenden numerischen Ausprägungen zugeordnet.

Tabelle A6- 1: Übersicht der Kodierung der erhobenen Antworten

	Steuerung und Flexibilität					Standards und Zentralisierung				Simulation	Transparenz und Vernetzung					
Item	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6
TN 1	5	7	0	6	5	7	7	4	0	6	5	0	0	5	6	0
TN 2	6	7	5	7	7	6	5	6	6	7	0	6	6	7	7	5
TN 3	6	7	6	0	7	6	6	7	7	7	6	7	5	6	3	7
TN 4	6	5	6	6	5	5	5	0	7	7	5	6	5	5	7	7
TN 5	7	7	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	0	6	5	5
TN 6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	7	7	7
TN 7	7	7	2	7	7	6	6	7	0	7	7	7	1	7	7	0
TN 8	5	6	4	0	7	7	7	6	6	4	6	5	6	7	5	5
TN 9	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7	7	6
TN 10	6	7	6	6	7	6	7	6	6	7	4	5	7	7	6	6
TN 11	5	3	2	3	3	7	7	2	6	3	5	6	4	5	3	2
TN 12	4	4	3	2	4	4	5	4	3	3	3	4	4	3	3	1
TN 13	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TN 14	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7
TN 15	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TN 16	6	6	7	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	6	6
TN 17	6	7	7	5	7	7	7	6	7	7	4	7	6	7	7	7
TN 18	0	6	7	6	3	7	7	2	2	6	5	2	0	5	7	0
TN 19	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	7	6	6
TN 20	7	3	5	5	6	7	7	6	6	7	5	6	7	7	6	7
TN 21	7	4	4	6	5	7	5	5	5	5	5	4	4	1	6	4
TN 22	6	5	5	5	6	6	5	7	6	5	6	6	5	6	5	6
TN 23	6	6	5	6	7	6	7	6	7	5	6	6	5	6	6	6
TN 24	6	6	4	7	7	5	6	3	6	7	5	6	6	6	6	5
TN 25	7	5	4	5	5	5	6	4	5	6	0	6	7	6	5	3
TN 26	7	7	7	7	7	7	7	2	7	7	7	7	7	7	7	5
TN 27	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TN 28	5	7	6	7	5	7	7	7	7	7	7	6	6	7	6	6
TN 29	5	3	5	6	7	4	5	6	6	6	5	6	4	6	6	4

A.7: Aufbau der leitfadengestützten Expertengespräche

Zur Ergänzung der Befragungen wurden leitfadengestützte Expertengespräche durchgeführt, um die Befragungsergebnisse zu validieren und ergänzende qualitative Erkenntnisse zu gewinnen. Der Leitfaden diente der thematischen Strukturierung der Gespräche und gewährleistete eine Vergleichbarkeit der erhobenen Aussagen. Tabelle A8-1 zeigt den Aufbau des Leitfadens sowie die zugehörigen Themenbereiche und Vertiefungsfragen.

Tabelle A7- 1: Aufbau und Struktur des Leitfadens für die Expertengespräche

Themenbereich	Leitfrage	Mögliche Nachfragen / Vertiefungen
Einleitung	Welche Aspekte sind aus Ihrer Sicht für das Thema XX besonders relevant?	Welche Erfahrungen prägen Ihre Einschätzung?
Allgemeine Wahrnehmung der Handlungsfelder	Wie beurteilen Sie die Bedeutung von Steuerung & Flexibilität / Standardisierung & Zentralisierung / Vernetzung & Transparenz / Simulation für Ihre Arbeit?	Welche Herausforderungen treten in diesem Bereich aus Ihrer Rolle heraus auf?
Gruppenunterschiede	Wie nehmen Sie die Sichtweisen der anderen Stakeholdergruppe wahr?	Wo bestehen aus Ihrer Sicht Unterschiede oder Gemeinsamkeiten?
Bezug zu quantitativen Ergebnissen	Die Auswertung hat gezeigt, dass sich die Bewertungen bei XX zwischen den Gruppen leicht unterscheiden. Wie erklären Sie sich diesen Befund?	Können Sie Beispiele nennen, die Ihre Einschätzung verdeutlichen?
Kontextfaktoren / Ursachen	Welche strukturellen oder organisatorischen Rahmenbedingungen beeinflussen Ihre Bewertung?	Inwiefern spielen Ihre Rolle oder Ihre Aufgaben im Unternehmen eine Rolle?
Abschluss	Gibt es aus Ihrer Sicht noch Aspekte, die wir bisher nicht angesprochen haben, die aber wichtig für das Verständnis der Ergebnisse sind?	–

A.8: Gedankenprotokoll der Expertengespräche

Begleitend zu den Expertengesprächen wurden unmittelbar nach jedem Interview kurze Gedankenprotokolle erstellt. Diese dienten der Festhaltung zentraler Eindrücke, Beobachtungen und spontaner Reflexionen, die für die Interpretation der Gesprächsinhalte relevant sind. Die nachfolgende Tabelle A8-1 fasst die wesentlichen Beobachtungen und thematischen Schwerpunkte zusammen.

Tabelle A8- 1: Übersicht zentraler Beobachtungen aus den Expertengesprächen

Themenfeld	Strategische Stakeholder	Operative Stakeholder	Übergreifende Beobachtungen
Schwerpunktsetzung	Fokus auf langfristige Stabilität und präventives Risikomanagement. Ziel ist die Sicherung planungsstabiler Prozesse. Kurzfristige Reaktionsfähigkeit wird eher nachrangig bewertet.	Handlungslogik reaktiv geprägt. Fokus auf kurzfristige Effizienz und schnelle Störungsbewältigung.	Unterschiedliche zeitliche Horizonte, aber gemeinsames Ziel der Sicherung stabiler Abläufe.
Bedeutung von Transparenz	Hohe Bedeutung von Transparenz über mehrstufige Stücklisten (sowohl zur internen Stabilisierung als auch zur externen Legitimation).	Transparenz wird vorrangig funktional verstanden (als Voraussetzung für effiziente operative Abläufe und schnelle Entscheidungsfindung).	Einigkeit über grundsätzliche Relevanz von Transparenz, jedoch unterschiedliche Begründung.
Einsatz datenadaptiver Systeme	Strategischer Fokus auf Integration solcher Systeme in langfristige Planungsprozesse und Risikofrüherkennung.	Hohe Relevanz datenadaptiver Systeme zur Entscheidungsunterstützung im Tagesgeschäft. Verbesserung der Reaktionsgeschwindigkeit und Entscheidungsqualität.	Übereinstimmung hinsichtlich des Nutzens datenadaptiver Entscheidungsunterstützung. Unterschiede in Anwendungsfokus und Zeithorizont.
Bewertung von Flexibilität und Standardisierung	Präferenz für standardisierte, klar definierte Prozesse. Variable Modellierungen werden als potenzielle Unsicherheitsquelle betrachtet.	Ebenfalls Präferenz für stabile Standards. Variable Anpassungen gelten als störanfällig und risikobehaftet.	Beide Gruppen betonen den Wert von Stabilität und Berechenbarkeit gegenüber Flexibilität.
Übergreifende Perspektive	Betonung von Planungsstabilität, Risikoabsicherung und strategischer Transparenz als Grundlage organisationaler Handlungsfähigkeit.	Betonung operativer Effizienz, schneller Entscheidungswege und datenbasierter Reaktionsfähigkeit.	Beide Perspektiven lassen sich als ergänzende Elemente eines integrativen Steuerungsansatzes verstehen, der sowohl kurzfristige Reaktionsfähigkeit als auch langfristige Stabilität berücksichtigt.