

**Entwicklung eines Bewertungsvorgehens für automobiler
Inbound-Logistiknetzwerke**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieurin / Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)**

von Dipl.-Ing. Simon Jegelka

geb. am 23.04.1983 in Emden

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult. M. Schenk

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h. c. W. Sihn

Promotionskolloquium am 05.11.2020

Kurzzusammenfassung

Durch den Aufbau eines Lean-Logistiknetzwerks können die Ziele der Automobilhersteller, welche bereits eine schlanke Strategie in der Fertigung verfolgen, verwirklicht werden. Denn oftmals sammeln sich durch den Lean-Ansatz als Verschwendung bezeichnete Bestände weiterhin im Wareneingangslager oder werden in den Verantwortungsbereich werksnaher Lieferanten verschoben. Eine Lean-Strategie, die konsequent im Inbound-Logistiknetzwerk fortgeführt wird, ermöglicht jedoch durch eine hochfrequente Anlieferung und weitere Konzepte den Abbau dieser Bestände.

Während die hochfrequente und lagerlose Anlieferung bereits standardmäßig in den JIT-Direktrelationen westlicher Automobilhersteller angewandt wird, fehlt es vor allem an einer Umsetzung im übrigen Logistiknetzwerk. Für die Warenbereitstellung beim Lieferanten, im Vorlauf, der Konsolidierung und im anschließenden Hauptlauf bestehen konkret anwendbare Lean-Konzepte, die sich übertragen ließen. Welche Voraussetzungen jedoch für eine erfolgreiche Umsetzung vorliegen müssen, ist nicht vollständig bekannt.

Ohne Kenntnisse zu den Voraussetzungen und der Eignung der eigenen Randbedingungen birgt das Treffen von Entscheidungen Risiken. Ein Beispiel ist Ford Amerika. Das vom Management beschlossene und unter der Losung „Every Day, Every Part“ umgesetzte Konzept der hochfrequenten Transporte führte zu prozessualen und wirtschaftlichen Verwerfungen. Eine unreflektierte direkte Übernahme der Lean-Konzepte kann somit problematisch sein.

Dass große Unterschiede zwischen den Automobilherstellern herrschen, die potenziell die Eignung beeinflussen, wird allein durch die beispielhafte Betrachtung des Kundenauftragsprozesses deutlich. Während manche eine hohe Konfigurierbarkeit mit einer Vielzahl von Optionen und der Flexibilität, Änderungen bis kurz vor Produktionsbeginn vorzunehmen, anbieten, gibt es Hersteller, die nur eine geringe Anzahl von Optionen zulassen und Änderungen massiv einschränken. Dies führt zu Unterschieden in der Modell- und Teileanzahl und zu einer unterschiedlichen Stabilität der Produktion.

Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Randbedingungen erarbeitet die Dissertation ein Bewertungsvorgehen, um Entscheidungen zur Einführung der Lean-Konzepte im Inbound-Logistiknetzwerk zu begründen. Mittels zu erhebender Kenngrößen werden Aussagen zur Umsetzbarkeit der logistischen Idealkonzepte getroffen und Handlungsoptionen in Form von realisierbaren Konzeptvarianten aufgezeigt. In einer Fallstudie mit einem großen europäischen Automobilhersteller wird die entwickelte Vorgehensweise zur Bewertung schließlich validiert und die Anwendbarkeit demonstriert.

Abstract

By setting up a lean inbound logistics network, the goals of automotive lean manufacturers can be achieved. A lean logistics network realizes small lot sizes and a high frequent delivery of the required goods. As a result, the stock of vehicle plants or nearby located supplier managed inventory can be eliminated. Thus, the lean philosophy of eliminating waste and creating flow in the entire value chain can be realized by linking the vehicle plants with a corresponding lean approach to the logistics network.

In the Western automotive industry, by now it is common to connect single supplier with a JIT direct transport to achieve the described effects. As the remaining logistics network often is not run lean, those goals are undermined. To realize a lean approach throughout the entire transport network, there is a number of concepts which are aimed at the supplier pickup process, the material consolidation and the final main run to the automotive plants. Still, the restrictions for a successful implementation of these concepts are not fully known.

Decision making under unknown restrictions followed by stringent implementations can result in processual and economical distractions. The practical experience of implementing Ford America's "Every Day, Every Part" high frequent lean approach is a good example of an attempt where the condition of the car manufacturer did not meet the concept's requirements. Lean concepts can therefore not simply be transferred to other vehicle manufacturers without reflecting the specific circumstances.

The customer order process serves as a valid example for the differing conditions within the automotive industry. While there are manufacturers that offer a high degree of configurability with hundreds of options and the flexibility of change right up till shortly before the start of production, there are, on the other hand, manufacturers that offer only a small number of options and restrict changes. This leads to a difference in number of vehicle and part variances as well as in the stability of the production program. It is also known that manufacturers decisions are not always concerned with being optimal for logistics. Product development, production and sales decisions for example can be classified from manufacturer to manufacturer with a varying degree of importance.

Considering the differences between vehicle manufacturers, the dissertation at hand focuses on developing an assessment method to evaluate the individual conditions for implementing lean concepts in automotive inbound logistics networks. Figures of merit are developed and an evaluation model is proposed. Based on ideal lean concepts, recommendations for an individual concept design are given. The developed method aims to support decision making to prevent misguided deployments and therefore shows realistic chances for a lean implementation. In a case study with a European car manufacturer the developed assessment method was validated and its applicability demonstrated.

Disclaimer

Im Rahmen der Dissertation wurden in einer Fallstudie Daten der Volkswagen Aktiengesellschaft genutzt. Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation/ Veröffentlichung sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	IV
Abstract	VI
Disclaimer	VIII
Inhaltsverzeichnis	X
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Abgrenzung	5
1.4 Methodik und Vorgehensweise	6
2 Stand der Technik	9
2.1 Lean Logistics	9
2.1.1 Ursprünge und wissenschaftliche Thematisierung.....	9
2.1.2 Gestaltungsprinzipien	10
2.1.3 Wirkweise eines Lean-Logistics-Systems.....	12
2.1.4 Fazit zu Lean Logistics	14
2.2 Bisherige Bewertungsvorgehen	15
2.2.1 Verbrauchsbezogene Segmentierungsansätze.....	15
2.2.2 Weitere Kriterien für Segmentierungsverfahren.....	17
2.2.3 Neuere Ansätze mit gestufter Eignungslogik.....	18
2.2.4 Fazit zu den bisher bestehenden Vorgehensweisen.....	19
3 Lean-Inbound-Logistik	22
3.1 Implikation der Lean-Strategie auf die Inbound-Konzepte	22
3.1.1 Bedingungen des Pull-Prinzips	22
3.1.2 Bedingungen des Fluss-Prinzips.....	23
3.1.3 Bedingungen des Kunden-Prinzips.....	24
3.1.4 Bedingungen des Takt-Prinzips.....	25
3.2 Konzepte der Lean-Inbound-Logistik	25
3.2.1 Verbindlicher Pull-Abruf.....	26
3.2.2 Auftragsbezug.....	27
3.2.3 Vorgezogener Wareneingang.....	28
3.2.4 Hochfrequente Transporte	28
3.2.5 Feste Routen & Fahrplantaktung	29
3.2.6 Crossdocking	30
3.2.7 Anschlussfähigkeit: Lean-Inhouse-Konzepte ab dem Wareneingang.....	31

4	Anforderungsanalyse.....	33
4.1	Methodik	33
4.1.1	Grundlagen & Voranalyse.....	33
4.1.2	Vorgehensweise der durchgeführten Anforderungsanalyse.....	36
4.1.3	Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen.....	38
4.2	Anforderungserhebung	39
4.2.1	Analyse des verbindlichen Pull-Abrufs.....	39
4.2.2	Analyse des Auftragsbezugs.....	44
4.2.3	Analyse des vorgezogenen Wareneingangs	48
4.2.4	Analyse der hochfrequenten Transporte.....	51
4.2.5	Analyse der festen Routen und Fahrplankartung	54
4.2.6	Analyse des Crossdockings	57
4.3	Anforderungsmodularisierung	60
4.3.1	Anforderungen des verbindlichen Pull-Abrufs	60
4.3.2	Anforderungen des Auftragsbezugs.....	61
4.3.3	Anforderungen des vorgezogenen Wareneingangs.....	62
4.3.4	Anforderungen der hochfrequenten Transporte	63
4.3.5	Anforderungen der festen Routen und Fahrplankartung.....	63
4.3.6	Anforderungen des Crossdockings.....	64
4.4	Anforderungsgruppierung.....	64
4.4.1	Bündel 1: Planbarkeit des Teilebedarfs.....	65
4.4.2	Bündel 2: Erfüllung des Teileabrufs (Prozessqualität)	65
4.4.3	Bündel 3: Hinreichende Größe des Transportvolumens	66
4.4.4	Bündel 4: Planbarkeit des Transportvolumens	67
4.4.5	Bündel 5: Schwankung des Transportvolumens.....	67
4.4.6	Nichtbündelbare Konzeptabhängigkeiten	68
5	Entwicklung anforderungsspezifischer Kenngrößen.....	69
5.1	Methodik	69
5.1.1	Grundlagen & Voranalyse.....	69
5.1.2	Vorgehensweise der durchgeführten Kenngrößenbildung.....	74
5.1.3	Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen.....	75
5.2	Betrachtung der Datengrundlage	76
5.2.1	Bedarfsrechnung	77
5.2.2	Liefereinteilung bzw. Lieferabruf.....	78
5.2.3	Zwischen- und Wareneingangsprüfung	79
5.2.4	Weitere üblicherweise vorliegende Stammdaten.....	80
5.3	Bildung der Kenngrößen	82
5.3.1	Kenngröße 1: Planbarkeit des Teilebedarfs	82
5.3.2	Kenngröße 2: Liefertreue	90
5.3.3	Kenngröße 3: Durchschnittliches Transportvolumen.....	94
5.3.4	Kenngröße 4: Planbarkeit des Transportvolumens.....	96

5.3.5	Kenngröße 5: Theoretische logistische Auslastung	99
6	Entwicklung eines methodischen Bewertungsvorgehens	105
6.1	Methodik	105
6.1.1	Grundlagen & Voranalyse	105
6.1.2	Vorgehensweise zur Ableitung des Bewertungsvorgehens	109
6.1.3	Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen	110
6.2	Entwicklung der konzeptbezogenen Bewertung	111
6.2.1	Verbindlicher Pull-Abruf	112
6.2.2	Auftragsbezug	115
6.2.3	Vorgezogener Wareneingang	118
6.2.4	Hochfrequente Transporte	120
6.2.5	Feste Routen & Fahrplantaktung	124
6.2.6	Crossdocking	127
6.3	Formalisierte Beschreibung des Bewertungsvorgehens	129
7	Validierung mittels Fallstudie	131
7.1	Methodik	131
7.1.1	Grundlagen & Voranalyse	131
7.1.2	Vorgehensweise	132
7.2	Beschreibung der Fallstudienbasis	133
7.3	Anwendung des Bewertungsvorgehens	133
7.3.1	Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs	134
7.3.2	Umsetzbarkeit des Auftragsbezugs und vorgezogenen Wareneingangs	135
7.3.3	Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte	136
7.3.4	Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplantaktung	138
7.3.5	Umsetzbarkeit des Crossdockings	140
7.4	Ergebnis der Validierung	141
8	Zusammenfassung und Ausblick	143
8.1	Zusammenfassung	143
8.2	Einordnung und Ausblick	146
A.	Anlagen	148
A.1	Herkömmlicher Inbound Logistikprozess	148
A.2	Lean-Inbound-Logistikprozess	151
A.3	Tabellen der Anforderungsgruppierung	152
A.4	Fallbeispiel: Programmstabilität unter Logistikgesichtspunkten	155
A.5	Fallbeispiel: Umstellung der Abrufsystematik gem. Lean Logistics	157
A.6	Kenngrößen-Steckbriefe	159
B.	Literaturverzeichnis	166

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logistiknetzwerk der Automobilindustrie (eigene Darstellung)	3
Abbildung 2: Zweistufiges Logistiknetzwerk (eigene Darstellung).....	6
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).....	7
Abbildung 4: Prinzipien im Produktionssystem Porsches (Helmold und Terry 2016, S. 99).....	11
Abbildung 5: a) freie Terminierung b) Rückwärtsterminierung ohne Zeitpuffer (eigene Darstellung)	12
Abbildung 6: Lorenzkurve (Teile, Bedarf) mit eingezeichneten XYZ-Segmenten (eigene Darstellung).....	16
Abbildung 7: Konzepte der Lean-Inbound-Logistik (eigene Darstellung)	26
Abbildung 8: Prozess der Anforderungsbündelung	38
Abbildung 9: Äquivalenz und Konjunktion der Anforderungen A1 und A2	39
Abbildung 10: Bildung der Liefereinteilung mittels Dispositionsparameter (eigene Darstellung)	41
Abbildung 11: Bedarfsermittlung durch revolvierende Bedarfsrechnungsläufe (eigene Darstellung).....	43
Abbildung 12: Masterlabel Toyotas (eigene Darstellung).....	45
Abbildung 13: Beschilderung einer Bereitstellfläche für Hauptläufe (Karlin 2004, S. 34)	47
Abbildung 14: Zweistufiger Prüfprozess des vorgezogenen Wareneingangs (eigene Darstellung)	50
Abbildung 15: Frequenzerhöhung im Anliefernetzwerk (eigene Darstellung)	53
Abbildung 16: Milkrun mit Leergut-Vollgut-Tausch und „reserviertem“ Laderaum (eigene Darstellung)	55
Abbildung 17: Prinzipskizze zum Aufbau eines Crossdocks (eigene Darstellung)	58
Abbildung 18: Crossdock-Ticket zur internen Koordinierung und Kontrolle (Karlin 2004, S. 36)	59
Abbildung 19: Bedarf einer Teilenummer am Einbautag (eigene Darstellung)	70
Abbildung 20: Praktische Bezugsgrößen entlang der Logistikkette (eigene Darstellung)	72
Abbildung 21: Entwicklung der Bedarfsmenge für einen Tag T (eigene Darstellung).....	83
Abbildung 22: Periode der absoluten Planbarkeit für einen Bedarfstag T (eigene Darstellung)	84
Abbildung 23: Periode der ausreichenden Planbarkeit eines Bedarfstags T (eigene Darstellung)	85
Abbildung 24: Ausgewertete Planbarkeit der erhobenen Bedarfstage (eigene Darstellung)	86
Abbildung 25: Einführung von Toleranzgrenzen (eigene Darstellung)	87
Abbildung 26: Abbildung des Stichprobenergebnisses der Planbarkeit für ein Teil (eigene Darstellung)	89
Abbildung 27: Verschiebung des Kurvenverlaufs um die Durchlaufzeit (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 28: Histogramm der Transportvolumina verschiedener Hersteller (eigene Darstellung)	96
Abbildung 29: Planbarkeit des aggregierten Transportvolumens (eigene Darstellung).....	98
Abbildung 30: Schwankungsbreite des Transportvolumens eines Lieferanten (eigene Darstellung).....	100
Abbildung 31: Bei gleichbleibenden Routen vorzuhaltender Laderaum eines LKW (eigene Darstellung)	101
Abbildung 32: Kombination der Ladung mehrerer Lieferanten im Vorlauf (eigene Darstellung)	103
Abbildung 33: Punktdiagramm als Grundlage der Visualisierung (eigene Darstellung)	107
Abbildung 34: Kennzeichnung der Annahmebereiche (eigene Darstellung).....	107
Abbildung 35: Aufzeigen von Konzeptvarianten mit verminderten Anforderungen	108
Abbildung 36: Bewertungsschema für das Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs (eigene Darstellung).....	114
Abbildung 37: Bewertungsschema für das Konzept des Auftragsbezugs (eigene Darstellung).....	117
Abbildung 38: Bewertungsschema des Konzepts „vorgezogener Wareneingang“ (eigene Darstellung)	119
Abbildung 39: Bewertungsschema für das Konzept „hochfrequenten Transporte“ (eigene Darstellung)	123
Abbildung 40: Bewertungsschema für das Konzept „feste Routen & Fahrplantaktung“ (eigene Darstellung)	126
Abbildung 41: Im Rahmen der Fallstudie untersuchtes logistisches Teilnetz (eigene Darstellung).....	133
Abbildung 42: Auswertung zur Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs (eigene Darstellung).....	134
Abbildung 43: Auswertung zur Umsetzbarkeit hochfrequenter Transporte (eigene Darstellung)	136
Abbildung 44: Auswertung zur Umsetzbarkeit fester Routen & Fahrplantaktung (eigene Darstellung)	138
Abbildung 45: Bewertungsvorgehen zur Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Logistiknetzwerk	145
Abbildung 46: Prozesselemente der herkömmlichen automobilen Inbound-Logistik (eigene Darstellung) ..	148

Abbildung 47: Prozesselemente der automobilen Lean Inbound Logistik (eigene Darstellung)	151
Abbildung 48: Verschiedenfarbige Tankdeckel in einheitlichen Behältern	156
Abbildung 49: Verbesserte Bedarfsabbildung durch den Abruf (eigene Darstellung)	157
Abbildung 50: Erhöhung der Transportfrequenz in Folge der Abrufanpassung (eigene Darstellung)	158

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gestaltungsprinzipien der Lean Logistics in der Literatur	11
Tabelle 2: Analyse der Kriterien bisheriger Vorgehensweisen zur Bewertung.....	20
Tabelle 3: SIPOC-Analyse am Beispiel einer Autolackierung (in Anlehnung an: Lunau 2007, S. 35).....	35
Tabelle 4: Muster einer Tabelle zur systematischen Anforderungsbeschreibung.....	37
Tabelle 5: Anforderungskategorien	37
Tabelle 6: SIPOC-Analyse des verbindlichen Pull-Abrufs.....	40
Tabelle 7: SIPOC-Analyse des Auftragsbezugs.....	44
Tabelle 8: SIPOC-Analyse des vorgezogenen Wareneingangs.....	48
Tabelle 9: SIPOC-Analyse der hochfrequenten Transporte.....	51
Tabelle 10: SIPOC-Analyse der festen Routen und Fahrplantaktung	54
Tabelle 11: Beispiel einer Fahrplaninformation für den Lieferanten.....	57
Tabelle 12: SIPOC-Analyse des Crossdockings	57
Tabelle 13: Bündel 1: Planbarkeit des Teilebedarfs.....	65
Tabelle 14: Bündel 2: Erfüllung des Teileabrufs.....	66
Tabelle 15: Bündel 3: Hinreichende Größe des Transportvolumens.....	66
Tabelle 16: Bündel 4: Planbarkeit des Transportvolumens.....	67
Tabelle 17: Bündel 5: Schwankung des Transportvolumens.....	67
Tabelle 18: Konzeptabhängigkeiten.....	68
Tabelle 19: Betrachtung der für jeden Tag ermittelten Bedarfsmengen	82
Tabelle 20: Bewertungsvorgehen zur Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Inbound-Netzwerk.....	129
Tabelle 21: Anforderung A1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.1).....	152
Tabelle 22: Anforderung A2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.1).....	152
Tabelle 23: Anforderung B1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2).....	152
Tabelle 24: Anforderung B2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2).....	152
Tabelle 25: Anforderung B3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2).....	152
Tabelle 26: Anforderung C1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3).....	153
Tabelle 27: Anforderung C2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3).....	153
Tabelle 28: Anforderung C3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3).....	153
Tabelle 29: Anforderung D1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.4).....	153
Tabelle 30: Anforderung D2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.4).....	153
Tabelle 31: Anforderung E1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.5).....	154
Tabelle 32: Anforderung E2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.5).....	154
Tabelle 33: Anforderung F1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6).....	154
Tabelle 34: Anforderung F2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6).....	154
Tabelle 35: Anforderung F3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6).....	154

Abkürzungsverzeichnis

DFL	Design For Logistics
DFM	Design For Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
EFP	Einsatzfahrplan
EPK	Ereignisgesteuerte Prozessketten
FTL	Full Truck Load
GLT	Großladungsträger
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMPV	International Motor Vehicle Program
INCOSE	International Council of System Engineering
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
JIS	Just in Sequence
JIT	Just in Time
KEP	Kurier-, Express- und Paketdienst
KLT	Kleinladungsträger
LKW	Lastkraftwagen
LTL	Less Than Truckload
RFP	Regelfahrplan
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer (Analysemethode)
QCO	Quick Change Over
SMED	Single Minute Exchange of Dies
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

1 Einleitung

Die Strategie der Lean Logistics umfasst verschiedene logistische Konzepte, welche idealerweise zu einem verlässlichen, verschwendungsfreien und bestandsarmen Prozess mit der Konsequenz einer bedarfsgenauen JIT-Belieferung führen.¹ Die Konzepte sind nicht aus der Theorie heraus, sondern aus einer ständigen Verfeinerung innerhalb der automobilen Praxis entstanden (vgl. Klug 2018, S. 287 f.).

Maßgeblich für die Entwicklung der Konzepte waren betriebliche Zwänge innerhalb der Produktion des japanischen Automobilherstellers Toyota. Diese führten seit den 1940er Jahren zur Bildung einer eigenständigen Strategie für die Produktion und Logistik (vgl. Ohno 1988, S. 3). Die betrieblichen Zwänge bestanden in einer vorherrschenden Teileknappheit bei gleichzeitig vorhandenen Beständen nicht benötigter Teile (vgl. Ohno 1988, S. 12). Bereits in den 1960er Jahren begann Toyota, diese Strategie auf die Inbound-Logistik zu übertragen und so die Konzepte weiterzuentwickeln (vgl. Johnes et al. 1997, S. 157).

Sich abzeichnende Produktivitätsvorteile der Lean-Strategie führten verstärkt seit den 1990er Jahren zur Übernahme der Konzepte durch westliche Automobilhersteller (vgl. Elis 2009, S. 174). Hierzu trug insbesondere eine im Rahmen des International Motor Vehicle Program veröffentlichte Studie bei, welche die Produktivitätsvorteile der japanischen Strategie gegenüber amerikanischen und europäischen Herstellern empirisch belegen konnte (vgl. Womack et al. 1990, S. 85 ff.). Nach wie vor sind die Lean-Konzepte jedoch in keinem Unternehmen in Europa vollständig umgesetzt (vgl. Boppert et al. 2013, S. 13).

1.1 Motivation

Eine Analyse der Umsetzung in der europäischen – und insbesondere der deutschen Automobilindustrie – zeigt eine weitverbreitete Anwendung der Lean-Konzepte in der Produktionslogistik (vgl. Holweg 2008, S. 20; Ludwig 2013, S. 19). So konnten vielfach eine verschwendungsarme Produktion und eine dazu synchronisierte Produktionslogistik umgesetzt werden.² In der vorangehenden Inbound-Logistik gehört die mit Lean Logistics verbundene JIT-Direktanlieferung zu den Standardanlieferungsformen der deutschen Automobilindustrie (vgl. VDA 2008, S. 18 ff.). Hierbei findet eine tägliche bis mehrfach tägliche lagerlose und sortenreine Anlieferung vom Lieferanten direkt an den Bedarfsort statt (vgl. Klug 2018, S. 341). Der Spezialfall der JIS-Direktanlieferung, bei der in Montagesequenz angeliefert wird, kann ebenfalls als Standard angesehen werden (vgl. VDA 2008, S. 12 ff.).

¹ Das Zielsystem der Lean Logistics wird oftmals mit einem an ein Haus erinnernden Leitbild beschrieben, wobei die JIT-Anlieferung als Ergebnis in Form eines Daches oder einer tragenden Säule dargestellt wird (siehe hierzu 2.1.2). Die genannte bestandsarme Anlieferung kann auch unter eine verschwendungsfreie Anlieferung subsumiert werden, welche bspw. Bestände, aber auch unnötige Transporte im Sinne der Lean Logistics vermeidet (vgl. Klug 2018, S. 288).

² Popp (2018, S. 36 f.) beschreibt die aktuellen Konzepte der automobilen Produktionslogistik auf Basis einer Literaturanalyse sowie einer Bestandsaufnahme bei den Herstellern Mercedes und Audi. Zu den üblichen Lean-Konzepten gehören die KANBAN-Verbrauchssteuerung, die Materialbereitstellung im Werkerdreieck, fertigungsnah Supermärkte sowie Routenzüge. Die Konzepte der Produktionslogistik werden in Abschnitt 3.2.7 zusammenfassend beschrieben. Ein Vergleich mit Dokumenten der Hersteller Porsche (vgl. Vogt 2017, S. 17) sowie Volkswagen (vgl. Heizmann 2009, S. 17) bestätigt die Annahme der weitverbreiteten Anwendung.

Bisher kommt die JIT-Anlieferung jedoch hauptsächlich bei verbauort- bzw. werksnahen Standorten der Lieferanten zum Tragen (vgl. Klug 2018, S. 343). Zur Auswahl der gelieferten Teileumfänge wird vielfach die ABC- und XYZ-Analyse eingesetzt (vgl. Boppert et al. 2013, S. 19).³ Hierbei weisen Teile mit einem hohen Wert und einem hohen Verbrauch eine besondere Eignung auf (vgl. Ihme 2006, S. 296). Insbesondere gilt dies für die Komponenten- und Modulanlieferung. Das Kriterium eines verbauortnahen Lieferantenstandorts ergibt sich aus der benötigten kurzen Lieferzeit bei einem bedarfssynchron erfolgenden Abruf, generiert aus der feststehenden Montagereihenfolge (vgl. Baumgarten 2001, S. 60).⁴

Besteht zwischen den Automobilherstellern und den Lieferanten eine zu große räumliche Distanz oder eignen sich die Teileumfänge nach durchgeführter ABC- und XYZ-Analyse nicht zur direkten JIT-Anlieferung, wird eine Lagerstufe zwischengeschaltet.⁵ Dies trifft für einen Großteil der Zulieferteile zu (vgl. Conze 2014, S. 2). Eine Alternative zu dem vom Automobilhersteller selbst betriebenen Eingangslager ist die des werksnahen Lieferantenlagers oder des Betriebs eines Lagers auf dem Werksgelände in Verantwortung eines Lieferanten. In diesem Fall spricht man von einem Vendor Managed Inventory (VMI) (vgl. Boppert et al. 2013, S. 19). Aus Sicht des Automobilherstellers ist hieraus auf Grund der Nähe eine lagerlose, produktionssynchrone Teilelieferung möglich. Bei einer Betrachtung der gesamten Lieferkette sind die Bestände und die damit bestehende Verschwendung im Sinne der Lean Logistics jedoch nicht beseitigt.⁶

Für das Logistiknetzwerk ist, mit Ausnahme der bestehenden lagerlosen JIT-Direktlieferungen, somit nicht von einer Umsetzung der Lean Logistics zu sprechen.⁷ Dies illustriert auch die Abbildung 1, in der die umgesetzten Direktrelationen sowie die Produktionslogistik der Fahrzeugwerke ausgegraut sind. Im übrigen Netzwerk findet zumeist eine zweistufige Anlieferung ins Lager mit einem dazwischengeschalteten konsolidierenden Warenumschatz statt (vgl. Conze 2014, S. 2). Die Abbildung 1 verdeutlicht dies mit der Darstellung der Lieferanten auf der linken Seite, dem mittleren Konsolidierungspunkt und zwei beispielhaften Fahrzeugwerken auf der rechten Seite. Der Netzwerkcharakter wird dadurch deutlich, dass anders als bei einer Direktrelation mehrere Fahrzeugwerke bei den Lieferanten abrufen. Die Abholung der Materialien aller Werke wird üblicherweise von einer Gebietspedition durchgeführt (VDA 2008, S. 39 f.). Diese organisiert die Transporte selbstständig auf Tagesbasis und mit wechselnden Sammelrouten (vgl. Meyer 2015, S. 2).

³ Weitere Kriterien werden ausführlich in Abschnitt 2.2 dieser Arbeit untersucht.

⁴ Steht die Montagereihenfolge bspw. durch die Bildung einer festen Produktreihenfolge (Perlenkette) bereits vor der physischen Fixierung auf dem Montageband fest, kann die Entfernung des Lieferantenstandorts gemäß der längeren Steuerzeit erhöht werden (vgl. VDA 2008, S. 12).

⁵ Über die beschriebenen Fälle hinaus bestehen weitere Gründe für eine Lagerhaltung. So nimmt das Lager eine wichtige Sicherheitsfunktion bei Lieferrisiken ein. Auch können bei der Beschaffungs- und Transportstrategie bewusst andere Losgrößen in Kauf genommen werden, um Kosten zu optimieren. In diesem Fall erfüllt das Lager eine Ausgleichsfunktion.

⁶ Die Strategie der Lean Logistics verlangt eine ganzheitliche Sichtweise über die Firmengrenze hinaus (vgl. Durchholz 2013, S. 57). Allgemein werden sieben Arten der Verschwendung definiert, die es zu eliminieren gilt. Dies sind Überproduktion, Bestände, Wartezeit, unnötige Transporte, unnötige Bewegung, unnötige Arbeitsschritte sowie Fehler/Nacharbeit (vgl. Klug 2018, S. 288). Die Sammlung der Verschwendung in Form von Beständen außerhalb der Fabrik widerspricht dem Ziel der Lean Logistics, auch wenn es sich um ein Lieferantenlager handelt.

⁷ Es werden zwei Drittel aller Teile nicht im JIT-Verfahren angeliefert (vgl. Fromm 2016; Göpfert et al. 2016, S. 205).

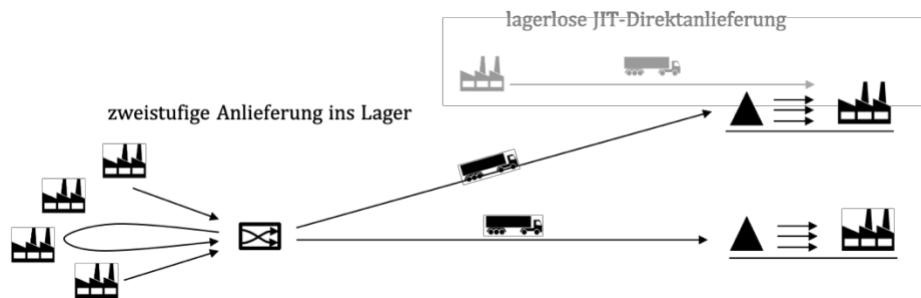


Abbildung 1: Logistiknetzwerk der Automobilindustrie (eigene Darstellung)

Im Kontrast zur Anlieferung ins Lager mit den beschriebenen Abläufen der Gebietsspedition realisiert Toyota im gesamten Logistiknetzwerk eine hochfrequente, bedarfsgerechte Anlieferung (vgl. Karlin 2004, S. 16 ff.). Bei der zweistufig erfolgenden Anlieferung werden feste Routen gefahren und Fahrpläne verfolgt (vgl. Heyn 2014, S. 5). Der Prozessablauf hat hierdurch eine höhere Verlässlichkeit für die Lieferanten, Spediteure und Fahrzeugwerke. Die Anlieferung erfolgt zum Bedarfszeitpunkt (vgl. Meißner 2013, S. 300).⁸

Aus dem Vergleich der Anlieferungsformen im Logistiknetzwerk wird deutlich, dass Potenzial für eine weitere Umsetzung der Lean Logistics im Inbound-Logistiknetzwerk besteht. So steht der täglich neu geplanten Anlieferung ins Lager eine Anlieferung zum Bedarfszeitpunkt gegenüber, welche auf feststehenden Routen und Fahrplänen aufbaut. Popp (2018, S. 68 f.) vertritt die Meinung, dass der Handlungsdruck für die Ausweitung der somit als produktionssynchron zu bezeichnenden Anlieferung auf Grund des erfolgenden Anstiegs der Modell- und Variantenvielfalt weiter zunehmen wird. Dies gilt insbesondere, da kaum zusätzliche Stellfläche für Teile in den Automobilwerken vorhanden und auch die Möglichkeiten der Auslagerung an externe Dienstleister begrenzt sind.

Festzustellen ist, dass bei den westlichen Automobilherstellern bereits Versuche unternommen wurden, die Konzepte der Lean Logistics ins zweistufige Inbound-Netzwerk zu integrieren. Ein Beispiel hierfür ist Volkswagen mit dem sogenannten Neuen Logistikkonzept (vgl. Ludwig 2011, S. 20). Eine vollständige Umsetzung ist jedoch nicht bekannt. Insbesondere sind gescheiterte Versuche der Umsetzung, etwa durch Ford Amerika, in der Literatur verzeichnet (vgl. Alrifai 2008, S. 5 f.). So versuchte Ford unter der Vorgabe „every day, every part“ das Konzept der hochfrequenten, bedarfssynchronen Anlieferung auf alle Teileumfänge auszudehnen. Die strategisch getroffene und dogmatisch verfolgte Entscheidung ließ sich jedoch nicht umsetzen. Sie führte zu prozessualen Verwerfungen (vgl. Liker 2004, S. 203 ff.).

Trotz des festgestellten konzeptuellen Potenzials bleibt somit fraglich, ob und wie sich die Konzepte der Lean Logistics bei anderen Automobilherstellern als Toyota umsetzen lassen. Gerade strategische Entscheidungen sollten auf einer vorher abgeschätzten logistischen Machbarkeit fußen. Als positive Voraussetzung für eine Umsetzung sehen Boppert et al. (2013, S. 18 f.) bspw. eine geringe Variantenanzahl der angebotenen Fahrzeugmodelle. Hier ist jedoch ein großer Unterschied unter den Automobilherstellern festzustellen. Der Hersteller BMW bietet bspw. im Jahr 2013 insgesamt 22

⁸ Die Lean Logistics fügt einige weitere zu den hier zur Verdeutlichung der Unterschiede genannten Konzepten hinzu. Auf diese geht das Kapitel 3 ausführlich ein.

Modelle und 1.295 Modellvarianten an. Im gleichen Zeitraum kommt Citroën bei einer ähnlichen Anzahl von 19 Modellen auf nur 264 Varianten (vgl. Partz 2013, S. 4).⁹ Wie die konkrete Anzahl der Varianten insbesondere hinsichtlich der Umsetzung der Lean-Konzepte im Logistiknetzwerk zu interpretieren ist, wird jedoch nicht ersichtlich.¹⁰ Gerade im Logistiknetzwerk wirken weitere Faktoren auf die Logistik ein wie die Anzahl der Fahrzeugwerke, welche gemeinsam bei den Lieferanten abrufen, oder die Lieferantenzahl selbst. Miemczyk und Holweg (2004, S. 175) weisen daher auf die Gestalt des Logistiknetzwerks als kritische Einflussgröße hin. Auch hier liegen deutliche Unterschiede bei den Automobilherstellern vor. So nennen Holweg und Pil (2004, S. 139) für japanische Automobilwerke 206, für europäische 341 und für US-amerikanische Werke durchschnittlich 376 Lieferanten. Wie der Einfluss der Anzahl der Lieferanten vor dem Hintergrund der Umsetzbarkeit der Lean-Konzepte bewertet werden soll, wird jedoch nicht präzisiert.

Für die Logistikplanung ist die qualifizierte Bewertung der Umsetzbarkeit jedoch wichtig. Fehlgeleitete Umsetzungsstrategien können, wie bei Ford geschehen, zu prozessualen Problemen führen und bergen in Folge das Risiko von Kostensteigerungen (vgl. Liker 2004, S. 203 ff.). Die Randbedingungen sind daher bei der Wahl eines Anlieferkonzepts zu berücksichtigen (vgl. Klug 2018, S. 329). In Anlehnung an Kostka (2017, S. 39) können die Randbedingungen als herstellereigenspezifische Umstände definiert werden, welche nicht unmittelbar oder gar nicht durch die Entscheidungsträger der Logistik geändert werden können und daher mindestens mittelfristig als gegebene Größe hingenommen werden müssen.¹¹ Dies spiegelt die Realität der Funktionseinheit der Logistik in vielen Unternehmen wieder, bei der bspw. die Produktentwicklung oder auch Produktion eigenständig Entscheidungen treffen, welche nur in begrenztem Maße durch die Entscheidungsträger der Logistik beeinflusst werden können.

Für die Bewertung der individuell vorliegenden Randbedingungen sind jedoch die bestehenden Kriterien und Vorgehensweisen, wie beispielhaft angedeutet und in einer vertieften Analyse in Abschnitt 2.2 gezeigt, nicht ausreichend. Bestehende Vorgehensweisen, Methoden und Kriterien gehen nicht speziell auf das Logistiknetzwerk und die hier vorliegenden Konzepte der Lean Logistics ein. Auf Ebene der Logistikplanung lässt sich daher keine klar begründete Entscheidung hinsichtlich der Umsetzbarkeit und Ausgestaltung der Lean-Logistik-Konzepte im Netzwerk treffen. Ein zu entwickelndes Bewertungsvorgehen könnte helfen, bestehende Handlungsoptionen und Risiken für eine Umsetzung zu identifizieren, um Entscheidungen im frühen Stadium zu unterstützen.

⁹ Ein Vergleich zeigt, dass die höchste Variantenvielfalt in Europa, eine mittelgroße in den USA und eine relativ geringe in Südamerika und Asien besteht (vgl. Scavarda 2009, S. 397).

¹⁰ Hinzu kommt, dass mittelfristig ein paralleles Angebot von elektro-, hybrid- und auch verbrennungsbetriebenen Fahrzeugen zu erwarten ist (vgl. VDMA 2018, S. 13). Die herstellereigenspezifischen Strategien hierzu werden für eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Modell- und Variantenzahl sorgen.

¹¹ Umstände, die nicht unmittelbar durch die Logistik geändert werden können, sind bspw. Entscheidungen in der Produktentwicklung oder in der Produktion. In vielen Unternehmen werden Entscheidungen der Produktion höher priorisiert, da sie unmittelbar die Produktherstellung und somit das Geschäft des Unternehmens betreffen. Die Logistik wird oftmals nur als Supportfunktion wahrgenommen, auch wenn sich die Sichtweise in den letzten Jahren stark ändert. Arbeitet die Produktion bspw. nach dem Maximumprinzip, wird versucht, jeden Tag mit den gegebenen Faktoren so viel wie möglich zu produzieren (vgl. Franken 2004, S. 12). Die vielfach für die Logistik wichtige Programmstabilität kann in diesem Fall niedriger priorisiert sein und muss nach der vorgestellten Definition als mittelfristig gegebene Randbedingung angesehen werden.

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit möchte die unter 1.1 aufgezeigte Lücke des nicht vorliegenden Bewertungsvorgehens schließen und einen wissenschaftlich fundierten Beitrag zur Einführbarkeit von Lean-Logistik-Konzepten liefern.

Ziel ist es, ein Bewertungsvorgehen zu entwickeln, welches eine Aussage zur Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Inbound-Logistiknetzwerk eines Automobilherstellers ermöglicht. Das Vorgehen soll bestehende Handlungsoptionen verdeutlichen und hiermit die Entscheidungsfindung unterstützen.

Durch die getroffene Zielsetzung lässt sich die Arbeit in den Bereich der anwendungsorientierten Forschung einordnen, deren Ergebnis das methodische Planungsvorgehen unterstützen will. Das Vorgehensmodell soll bei der strategischen Konzeptauswahl bis hin zur Konzeptzuweisung auf Teileebene anwendbar sein. Um das Ziel eines methodisch abgesicherten und validierten Vorgehens zu erreichen, wurden die folgenden Teilziele formuliert:

- Z.1 Wissenschaftliche Einordnung und Beschreibung der Lean-Inbound-Konzepte*
- Z.2 Identifikation der aus den Konzepten hervorgehenden Anforderungen*
- Z.3 Entwicklung von Kenngrößen zur Bewertung der herstellerepezifischen Randbedingungen*
- Z.4 Methodische Nutzung der Kenngrößen mit dem Ziel, die Komplexität der Ergebnisse zu reduzieren und ein Bewertungsvorgehen zu definieren*
- Z.5 Aufbau einer Interpretationshilfe zur Ableitung von Handlungsoptionen*
- Z.6 Vornehmen einer ersten Validierung der Vorgehensweise*

1.3 Abgrenzung

Die Zielsetzung verfolgt ausdrücklich die Entwicklung eines Bewertungsvorgehens, um die Umsetzbarkeit der Lean-Konzepte unter den individuellen Randbedingungen eines Automobilherstellers zu untersuchen. Ob die Lean-Strategie grundsätzlich erfolversprechender als andere Strategien ist, wird dabei nicht untersucht. Zum Treffen dieser Entscheidung können andere Methoden, z. B. die Benchmark-Methodik, herangezogen werden. Insofern kann die zu entwickelnde Methodik auf eine strategische Entscheidung nur insoweit Einfluss nehmen, als die Umsetzbarkeit unter den gegebenen Randbedingungen festgestellt wird.

Wie in der Motivation unter 1.1 deutlich wurde, liegen für Direktrelationen bereits Methoden zur Identifikation von Teileumfängen und Lieferanten, welche für eine JIT-Anlieferung in Frage kommen, vor. Die Untersuchung kann somit diese Verkehre ausschließen und sich folglich auf das mehrstufige Netzwerk konzentrieren. Das mehrstufige Netzwerk wird weiterhin nach VDA (2008, S. 39) auf die übliche Prozessstruktur der heutigen Gebietsspedition bestehend aus Vorlauf, Umschlag und Hauptlauf eingegrenzt. Abbildung 2 zeigt dazu den typischen zweistufigen Transportprozess.

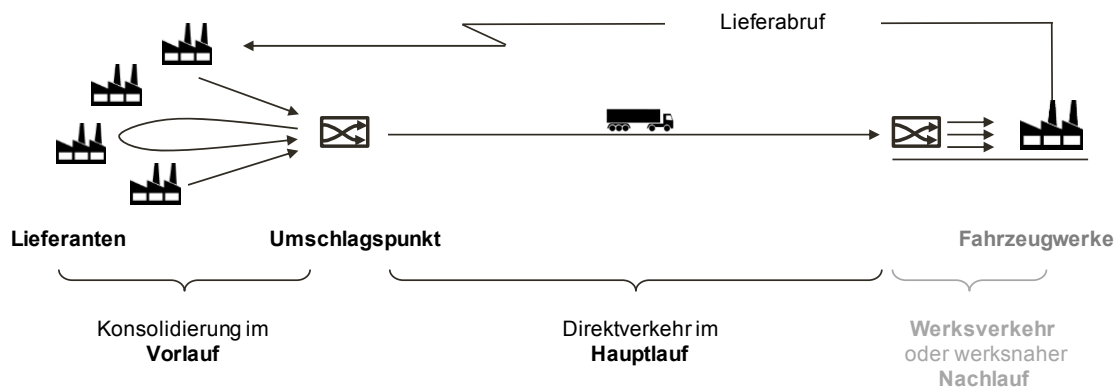


Abbildung 2: Zweistufiges Logistiknetzwerk (eigene Darstellung)

Die Sendungen werden beim Lieferanten mittels eines Vorlaufs abgeholt, im Umschlags- und Konsolidierungspunkt gebündelt und anschließend in Hauptläufen zu den verschiedenen Empfängern verfahren. Die Abbildung 2 verkürzt die Sichtweise des Netzwerks dadurch, dass nur ein Fahrzeugwerk als Empfänger dargestellt wird.

Die Betrachtung endet bei den Empfangswerken des Fahrzeugherstellers. Eine Verteilung und Routing der einzelnen Sendungen durch Werksverkehre wird nicht mehr betrachtet, da eine Umsetzung der Lean Logistics in der Produktionslogistik, wie unter 1.1 gezeigt wurde, bereits weit verbreitet ist und hier keine Fragestellungen vorliegen. Die Eingrenzung trifft auch auf werksnahe Sammelpunkte zu, bei denen ein zu den Werksverkehren analoger Nachlauf stattfindet.¹²

Weiterhin werden nur die bedarfssynchrone JIT-Anlieferung und die damit verbundenen Lean-Logistics-Konzepte betrachtet, bei denen sortenrein angeliefert wird. Der Untersuchungsgegenstand schließt die Betrachtung der Spezialform der JIS-Anlieferung aus, welche einzelne Teile in der Produktionssequenz sortiert anliefert. Eine Umsetzung der JIS-Anlieferung im zweistufigen Logistiknetzwerk, bei dem die von mehreren Fahrzeugwerken abgerufenen Teile zusammengefahren werden, ist nicht bekannt.

Bei den Lieferumfängen der Automobilindustrie handelt es sich ferner um Teile und Module zur Automobilfertigung. Da im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit auch eine Validierung des zu entwickelnden Bewertungsvorgehens stattfindet, soll für die Erstellung der Datenbasis darauf hingewiesen werden, dass Spezialtransporte (Schüttgut, Silo, Sonderfahrten, ...), die teilweise auch von den Fahrzeugwerken geordert werden, von der Betrachtung ausgeschlossen sind.

1.4 Methodik und Vorgehensweise

Grundsätzlich wählt die vorliegende Arbeit einen analytischen Ansatz zum Erreichen ihrer Forschungsziele. So wird der Untersuchungsgegenstand in einzelne logisch aufeinander aufbauende Teilbereiche unterteilt, die schrittweise eine Beantwortung der Teilziele zulassen und im Ergebnis zum übergeordneten Ziel, der Entwicklung eines Bewertungsvorgehens, führen. Nach Borchert et al. (2004, S. 10) kann diese Arbeitsweise als ein deduktiv-theoriekritischer Erkenntnisweg beschrieben

¹² Die werksnahe Konsolidierung und die von dort ausgehende Verteilung an die Bedarfssorte werden bspw. von Toyota Amerika genutzt (vgl. Ludwig 2013, S. 20).

werden, bei dem zunächst eine allgemeine Theorie entwickelt wird, welche danach in einer empirischen Prüfung kritisch hinterfragt werden soll. Zur Prüfung wird die Methode der Fallstudie herangezogen.

Der Stand der Technik wird methodisch mittels Literaturanalyse nachvollzogen. Unterstützend werden die Dokumentenanalyse sowie Bestandsaufnahme als weitere Methoden angewandt. Da die hier eingesehenen Quellen nicht immer öffentlich sind, wurde dies hauptsächlich dazu genutzt, um die Ergebnisse der Literaturrecherche auf ihre Relevanz in der Praxis hin zu überprüfen. Durch die Entstehung der Lean Logistics aus der Praxis heraus (vgl. Klug 2018, S. 287 f.) kommt diesem Abgleich eine besondere Bedeutung zu. Durch Gespräche, Besuche und Einblick in Dokumente konnten so die Lean-Praxis Toyotas, Volkswagens, Fords, Audis und Bentleys sowie deren Logistikdienstleister Transfreight (USA), Ryder (USA), DHL (Europa) und NYK Logistics (Europa) berücksichtigt werden. Die in dieser Arbeit getroffenen Aussagen zu den Konzepten der Lean Logistics sind jedoch durchweg nachvollziehbar mit Literatur belegt.

Bei der Entwicklung und Validierung des Bewertungsvorgehens wurden zudem weitere Forschungsmethoden zum Einsatz gebracht. Dies sind bspw. die Anforderungsanalyse oder Vorgehensweisen der deskriptiven Statistik. Um einem sauberen methodischen Arbeiten gerecht zu werden, wurde bei jedem Arbeitsschritt vorangehend die Thematik untersucht und eine eigene methodische Auswahl und Vorgehensweise begründet. Dies schlägt sich jeweils am Anfang jedes Kapitels in den Phasen der Methodenentwicklung und Validierung (siehe Abbildung 3) nieder.

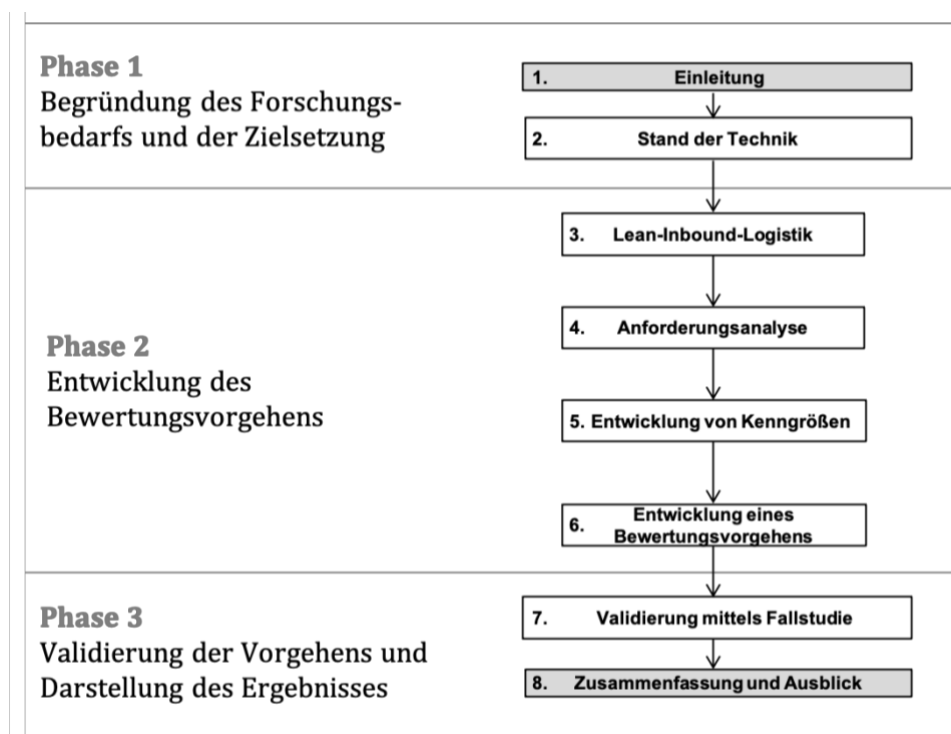


Abbildung 3: Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung)

Systematisch lässt sich das in der Arbeit gewählte Vorgehen in drei Phasen einteilen, die nachfolgend beschrieben werden. Die Gliederung der Arbeit spiegelt dies wider.

In der **ersten Phase** wird mit der hier vorliegenden Einleitung und der Untersuchung des Stands der Technik die theoretische Grundlage der Arbeit gelegt. Der Forschungsbedarf wird begründet und präzisiert. Explizit wird hierzu in Kapitel 2 ein Fazit zur Lean Logistics und zu den bisher bestehenden Vorgehensweisen und Methoden der Bewertung gezogen.

Die **zweite Phase** bildet den Hauptteil und gleichzeitig die schrittweise Beantwortung der Teilziele der Forschungsarbeit. Den ersten Schritt zur Entwicklung des Bewertungsvorgehens unternimmt Kapitel 3 mit einer genauen Beschreibung der Lean-Strategie und den hieraus hervorgehenden Konzepten der Lean-Inbound-Logistik. Mit Hilfe einer Anforderungsanalyse werden in Kapitel 4 die Anforderungen der Konzepte erfasst und gebündelt. So ist es möglich, auf Basis dieser Anforderungen in Kapitel 5 gezielt Kenngrößen zu entwickeln. Das Bewertungsvorgehen ergibt sich schließlich aus einem systematischen Einsatz der Kenngrößen zur Prüfung der Konzeptanforderungen in Kapitel 6. Hierbei werden mittels einer gestuften Konzeptlogik Handlungsmöglichkeiten der Umsetzung aufgezeigt.

Die **dritte Phase** bildet den Abschluss der Arbeit. Mit der Methodvalidierung in Kapitel 7 wird die Eignung des Bewertungsvorgehens untersucht. Das Gesamtergebnis der Arbeit wird schließlich in Kapitel 8 zusammengefasst und es wird ein Ausblick mit Bezug auf die entwickelten Ergebnisse gegeben.

2 Stand der Technik

Die Lean Logistics und die Bewertung ihrer Umsetzbarkeit bilden den Kern dieser Arbeit. Für beide Bereiche wird nachfolgend der Stand der Technik durch Literaturrecherche nachgezeichnet und jeweils ein Fazit gezogen.

2.1 Lean Logistics

Zum Aufbau eines übergreifenden Verständnisses der Lean Logistics kann ein Blick auf ihre Entstehung in der Praxis und den damit einhergehenden wissenschaftlichen Diskurs geworfen werden.

2.1.1 Ursprünge und wissenschaftliche Thematisierung

Die Ursprünge der Lean Logistics entwickelten sich nach dem Zweiten Weltkrieg im Produktionssystem des Automobilherstellers Toyota. Taiichi Ohno, ehemaliger Produktionsleiter Toyotas, umschreibt den Antrieb, der zur Entwicklung dieser Strategie führte, mit dem einfachen Satz (1988, S. 13): „In the beginning there was need.“ In dem zitierten Kontext kann „need“ mit „Mangel“ übersetzt werden. Konkret zeigten sich dieser Mangel und die Notwendigkeit, sich zu verändern, in einem massiven Produktivitätsnachteil (vgl. Ohno 1988, S. 3), einhergehend mit einer Teileknappheit bei gleichzeitig hohen Lagerbeständen nicht gebrauchter Teile (vgl. Ohno 1988, S. 12).

Geschichtlich gesehen führte Toyota die Lean-Methoden und -Prinzipien, nach deren Entwicklung in der Produktion, bereits in den 1960er Jahren in seine Inbound-Logistik ein. Bis Anfang der 1970er Jahre wurden daraufhin in Japan große Teile der Lieferkette bis zu den Second-Tier-Lieferanten im Sinne einer JIT-Anlieferung umorganisiert (vgl. Jones et al. 1997, S. 157). Die Umorganisation der Produktion und Logistik sorgte dafür, dass japanische Automobilhersteller in den 1980er und 1990er Jahren erhebliche Produktivitätsvorsprünge gegenüber ihren westlichen Konkurrenten aufwiesen. Eine der ersten groß angelegten empirischen Untersuchungen, welche die Produktivitätsunterschiede zwischen den Herstellern aufzeigte, wurde ab dem Jahr 1985 im Rahmen des International Motor Vehicle Program (IMVP) durchgeführt (vgl. Womack et al. 1990). Die Untersuchungsergebnisse lösten bereits in den 1990er Jahren eine breite Auseinandersetzung mit der Thematik in Wissenschaft und Praxis aus.

Wissenschaftlich wird das Thema Lean Production oft kritisch hinterfragt, da es an einer klaren Abgrenzung mangelt und die in der Praxis entstandenen Konzepte, die zum Erreichen der verschwendungsarmen JIT-Abläufe dienen, nur in einen unzureichend deterministisch beschreibbaren Ursache-Wirkzusammenhang gebracht werden können. Untersuchungsgebiete, die sich im Zusammenhang mit der Lean Production und Lean Logistics gebildet haben, befassen sich mit daher mit sehr unterschiedlichen Themen. Dies sind zum einen quantitative Untersuchungen wie simulationsunterstützte Studien zur Performance von JIT- und Kanban-Systemen (bspw. Corbett 1993; Rao 1991), Methoden zur Gestaltung des Produktionsprogramms (bspw. Disney et al. 1997; Inman und Bulfin 1991; Meißner und Günthner 2009) oder Lösungen für Tourenplanungsprobleme und Milkruns (bspw. Alrifai 2008; Meyer 2015). Zum anderen sind eher qualitative, zumeist

managementorientierte Untersuchungen zu finden, die sich mit Themen der Gestaltung der Produktionsstrategie (bspw. Jina et al. 1997; Voss 1995; Wildemann 1997), der Unternehmensphilosophie und -kultur (bspw. Spear und Bowen 1999; Althoff 2009; Martichenko und Taylor 2006), Aspekten des Qualitätsmanagements (bspw. Goldsby 2005; Powell 1995) sowie allgemein mit der Organisationstheorie und im Speziellen der Teamarbeit (bspw. Pfeiffer 1994) befassen. Die Aufzählung verdeutlicht die weite Spreizung des Themas und die Schwierigkeit einer genauen Abgrenzung. Unter dem reinen Schwerpunkt der Lean Logistics finden sich vergleichsweise wenig wissenschaftliche Publikationen. Insbesondere lassen sich hierzu die Veröffentlichungen von Durchholz 2014, Günthner und Boppert 2013, Jones 1997, Karlin 2004, Klug 2018 sowie Meißner und Günthner 2009 zählen. Zudem ist eine Reihe von aktuellen Dissertationen entstanden, die sich dem Umfeld der Lean Logistics zuordnen lassen (vgl. Conze 2014, Dornhöfer 2016, Meyer 2015, Popp 2018, Schröder 2017). Veröffentlichungen mit dem reinen Fokus auf der Inbound-Logistik und einer zusammenhängenden Ausformulierung der hier vorzufindenden Konzepte sind selten. Hervorzuheben ist jedoch die Beschreibung der Abläufe im zweistufigen Logistiknetzwerk in der Dissertation von Karlin 2004. Zur Umsetzbarkeit der Konzepte im Bereich des zweistufigen Inbound-Logistiknetzwerks finden sich keine expliziten Veröffentlichungen.

Von Seiten der Praxis wird dem Thema der Lean Logistics weitaus mehr Beachtung geschenkt, sodass sich hier eine umfangreiche anwendungsorientierte Literatur ergeben hat (bspw. Baudin 2004; Dennis 2007; Gilligan 2004; Liker 2004; Martichenko 2017; Rother und Shook 2003). Treiber hierfür waren in großem Maße die Automobilhersteller selbst, die sich, wie bereits einleitend bemerkt, mit der Einführung Effizienz- und Effektivitätsverbesserungen versprochen. So bietet die Literatur eine Vielzahl von Beispielen und Vorgehensweisen zur operativen Umsetzung, wie bspw. die Publikation zur Wertstromanalyse von Rother und Shook (2003).

Die Implementierung der Lean-Konzepte erfolgte in vielen Unternehmen trotz der zahlreichen praktisch orientierten Literatur, wie in der Motivation unter 1.1 beschrieben, nicht immer ideal. So kam es oftmals zur dogmatisch geführten Übernahme von Elementen aus dem Toyota-Produktionssystem (vgl. Furmans 2007, S. 183). Die versprochenen Vorteile konnten dabei nicht immer realisiert werden. Gründe hierfür können auch in dem Fehlen von klaren Analysewerkzeugen, des nicht eindeutigen Gesamtbildes der Lean-Strategie sowie dem oftmals an ein „Glaubensbekenntnis“ grenzenden Verständnis vieler Lean-Praktiker gesehen werden.

2.1.2 Gestaltungsprinzipien

Auf strategischer Ebene sind die Lean-Produktion und -Logistik durch eine Reihe von Gestaltungsprinzipien definiert, an denen sich die Konzeptplanung, aber auch die operative Prozessplanung und -optimierung orientiert. Eine durchgeführte Literaturanalyse zeigt, dass diese von einer Vielzahl von Publikationen, insbesondere in der anwendungsorientierten Literatur, als universell gültige Prinzipien für die Gestaltung und Umsetzung jeglicher Prozesse im Unternehmens- und Zuliefernetz aufgefasst werden. Im Rahmen der Produktionsstrategie der Automobilhersteller werden diese Prinzipien oft in einem Leitbild festgehalten, das einem Haus gleicht (Abbildung 4).

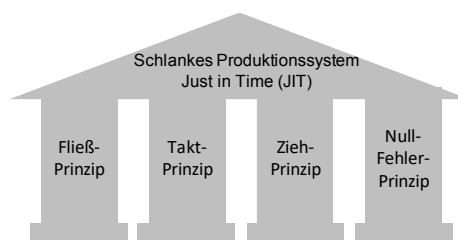


Abbildung 4: Prinzipien im Produktionssystem Porsches (Helmold und Terry 2016, S. 99)

Die in der Literatur aufgeführte Prinzipienauswahl ähnelt sich, es besteht jedoch keine einheitliche Auffassung hierzu. Eine im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene Analyse der verschiedenen Publikationen verfolgt daher das Ziel, eine enge Auswahl als akzeptierte Basisprinzipien zu identifizieren. Das Ergebnis der Analyse ist Tabelle 1 zu entnehmen. Wenn in der Literatur eine Differenzierung der Prinzipien in Produktion und Logistik vorgenommen wurde, wurden nur die Logistikprinzipien in die Auswertung aufgenommen.

Tabelle 1: Gestaltungsprinzipien der Lean Logistics in der Literatur

Prinzipien	Baudin 2004, S.27 ff.	Dennis 2007, S.19	Dickmann 2009, S.33	Dornhöfer 2016, S. 156	Durchholz 2014, S.47 ff.	Hines 2010, S.9	Klug 2018, S.290	Scharf 2009, S.3	Schröder 2017, S.24	Licker 2004, S.37 ff.	Martichenko, Grabe 2010, S.6 ff.	Meißner, Günthner 2009, S.281	Rother und Shook (2003), S.44 ff.	Womack, Jones 2003, S.15 ff.	Summe	Rang
Pull	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	1
Fluss	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	2
Kunden-Prinzip	1	1		1	1				1		1	1	1	1	9	3
Takt			1	1		1	1	1	1				1	1	8	4
Perfektion/ Null Fehler		1			1		1	1		1		1		1	7	5
Standardisierung		1			1		1			1		1			5	6
Glättung & Nivellierung						1				1	1		1		4	7
Stabilität		1					1				1	1			4	7
Gesamtprozesssicht					1						1	1			3	8
Visualisierung										1	1				2	9
Teamarbeit, Mitarbeiter involvieren		1			1										2	9
JIT		1													1	10
Langfristiges Denken					1										1	10
Robuste Prozesse					1										1	10
Rüstzeitoptimierung						1									1	10

Analysiert wurden in der Gesamtheit vierzehn Quellen. Am meisten Nennungen erzielten das Pull- sowie das Fluss-Prinzip, die ohne Weiteres als die wichtigsten Prinzipien identifiziert werden können. Bildet man den Rang nach Häufigkeit der Nennung, zählen auch das Kunden- und Takt-Prinzip hierzu (Rang 1–4). Im weiteren Verlauf der Arbeit sollen die vier wichtigsten Prinzipien Pull, Fluss, Kunde und Takt für die weitere Ausarbeitung übernommen werden.

Neben den genannten Prinzipien wird im Rahmen der Lean Logistics oftmals die Eliminierung von Verschwendung als eines der Hauptanliegen genannt.¹³ Zu großen Teilen geht die Idee der Verschwendungseliminierung im Kunden-Prinzip auf, welches eine strikte Ausrichtung an der Wertschöpfung des Prozesses propagiert und somit nicht wertschöpfende Tätigkeiten vermeidet. Um das Verständnis für die Wirkweise der Prinzipien zu vertiefen, beschäftigt sich der nachfolgende Abschnitt eingehender mit dieser Thematik.

¹³ Toyota definiert sieben Arten von Verschwendung: Überproduktion, Wartezeit, unnötige Transporte, Bestände, überflüssige Arbeitsprozesse und Bewegung, Fehler/Nacharbeit (vgl. Piaw 1998, S. 69).

2.1.3 Wirkweise eines Lean-Logistics-Systems

Aus den Prinzipien lassen sich qualitativ die Wirkmechanismen eines hiernach aufgebauten Systems ableiten. Quantitative Untersuchungen, welche einen Nachweis über die Effizienz des Gesamtsystems der Produktion und Logistik erbringen, existieren nicht. Es werden einzelne Prozesse untersucht (vgl. Rao und Grenoble 1990) oder empirische Studien wie das bereits angeführte Motor Vehicle Program (IMVP) (vgl. Womack et al. 1990) als Nachweis vorgebracht. Bis heute versuchen sich immer wieder Studien an einer Überprüfung der postulierten Effizienzgewinne (vgl. u. a. Belekoukias et al. 2014).

Wie aufgezeigt werden konnte, ist eines der zentralen Prinzipien der Lean Logistics das **Kunden-Prinzip**, welches die Wertschöpfung in den Mittelpunkt stellt. Wertschöpfend für einen logistischen Prozess ist, den nachfolgenden Prozess (Kunden) optimal zu bedienen. Tätigkeiten darüber hinaus sind nicht wertschöpfend. Diese Definition ermöglicht es auch, logistische Tätigkeiten als wertschöpfend zu bezeichnen. Im idealen Fall wäre es für einen nachfolgenden Prozess wünschenswert, dass ein einzelnes Teil genau in dem Moment angeliefert und in der Weise (z. B. Lage) übergeben wird, wie es zur Vollziehung der wertschöpfenden Tätigkeit benötigt wird. Diese Systematik wird auch als „One-Piece-Flow“ bezeichnet (vgl. Althoff 2009, S. 51). Wie bereits aus der Bezeichnung deutlich wird, sollten hierbei alle Teile gemäß dem zweiten identifizierten Prinzip der Lean Logistics, dem **Fluss-Prinzip**, ständig in Bewegung sein. Wartezeiten und Lagerprozesse sind in diesem Idealbild kein Bestandteil eines Lean-Logistics-Prozesses. In der realen Umsetzung ergeben sich so äußerst hochfrequente Lieferprozesse.

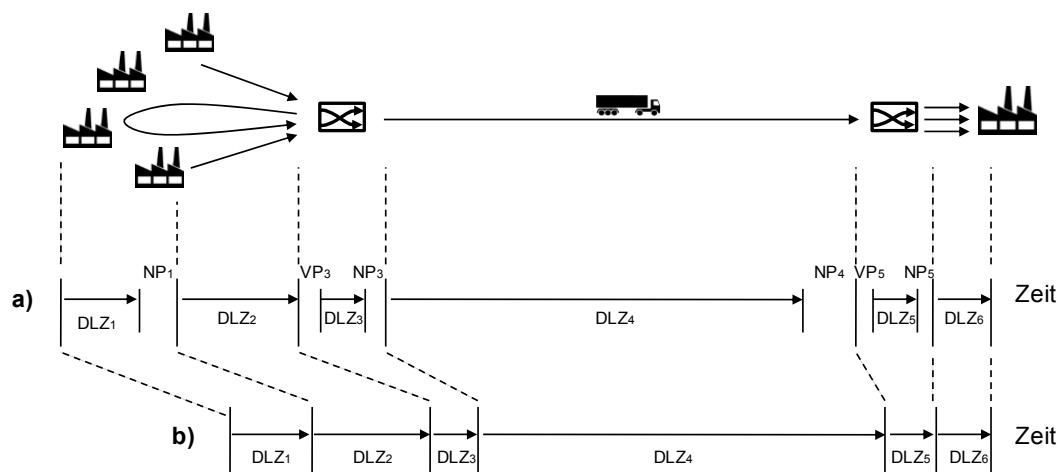


Abbildung 5: a) freie Terminierung b) Rückwärtsterminierung ohne Zeitpuffer (eigene Darstellung)

Unterstützend wird die Steuerung der Prozesse nach dem **Pull-Prinzip** aufgebaut. Der Bedarf eines nachgelagerten Prozesses stößt den Prozessstart des vorgelagerten Prozesses an. So wird garantiert, dass jeweils nur das Teil produziert und geliefert wird, welches tatsächlich gebraucht wird. Zur Ermittlung des Starttermins findet bei der Auslegung der Prozesse eine Rückwärtsterminierung basierend auf dem benötigten Ankunftsstermin statt. Bei einer solchen Rückwärtsterminierung entfallen – gegenüber einer den Prozesspartnern selbst überlassenen freien Terminierung – Zeitpuffer zwischen den einzelnen Prozessschritten (vgl. Gudehus 2010, S. 232 ff.). Die Terminierung der Inbound-Lieferkette nach dem Pull-Prinzip ist in Abbildung 5 der einer freien Terminierung

gegenübergestellt. Im Einzelnen entfallen Vorpuffer- (VP) und Nachpufferzeiten (NP), wenn das Pull-Prinzip ideal verfolgt wird. Ein manuelles Instrument dieser Art der Terminierung ist die Kanban-Karte, wobei die Anzahl der Karten wiederum durch eine rückwärtsberechnete Durchlaufzeit ermittelt wird (vgl. Sugimori et al. 1977, S. 559 f.).

Das letzte der vier identifizierten Prinzipien der Lean Logistics, das **Takt-Prinzip**, erzeugt eine Regelmäßigkeit in den Prozessen. Die Anwendung dieses Prinzips ist in der konventionellen Logistik, insbesondere der Inbound-Logistik, nicht üblich. Gemäß dem aus der Produktion bekannten Arbeiten in Takten soll auch hier zyklisch – mit ausgeglichenen und sich wiederholenden Arbeitsinhalten – gearbeitet werden (vgl. Rother und Harris 2001, S. 13 ff.).

Aus der beschriebenen prozessualen Wirkung ergibt sich auch die wirtschaftliche Wirkweise des Lean-Logistics-Systems. So bewirken die Kundenorientierung und das Pull-Prinzip eine schnelle Reaktionsfähigkeit sowie die genaue Erfüllung der Kundenwünsche, ohne Überbestände aufzubauen (vgl. Womack und Jones 2003, S. 73). Das Nichtvorhandensein sowohl der Zeit- als auch der Mengenpuffer führt dazu, dass die Kapitalbindung im Gesamtsystem deutlich sinkt (vgl. Jina et al. 1997, S. 5; Meißner und Günthner 2009, S. 282). Durch die zeitliche Taktung der Logistikabläufe wird eine Beruhigung und Planbarkeit des Gesamtprozesses erreicht. Zusätzlich vorgehaltene Kapazitäten zur Leistungserfüllung ungeplanter Durchsatzanforderungen werden hierdurch nicht mehr benötigt. Spediteure müssen so beispielsweise keine zusätzlichen LKW vorhalten, um den unkalkulierbaren Durchsatz zu erfüllen. Weiterhin führt die Taktung dazu, dass sich jeder Akteur innerhalb des Taktes optimieren kann. Arbeitsinhalte können genau den Taktlängen angepasst werden und Leerzeiten vermieden werden (vgl. Rother und Harris 2001, S. 15). Die Prozesskosten sinken in Folge für jeden Prozessteilnehmer. Aus Sichtweise der gesamten Logistikkette führt die Taktung zu einer Beruhigung und Verminderung des Bullwhip-Effekts. Das Pull- sowie das Kunden-Prinzip sorgen schließlich dafür, dass keine unnötigen Arbeitsschritte durchgeführt werden. Es wird nur das angeliefert, was auch tatsächlich benötigt wird. Verschwendung wird weitestgehend minimiert.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass sich die Umsetzung der Lean-Prinzipien sowohl positiv auf die Kundenwunscherfüllung, die Kapitalbindung als auch auf die Prozesskosten auswirken kann. Zum Erreichen der idealen Umsetzung der Prinzipien ist die beständige Optimierung hierzu Teil einer jeden Lean-Strategie. Diese auch als „kontinuierlicher Verbesserungsprozess“ bzw. „Kaizen“ titulierte Strategie hat zur Folge, dass die Kapitalbindung und die Prozesskosten dauerhaft durch immer weiter verbesserte Maßnahmen reduziert werden (vgl. Imai 1993, S. 50). Diese schrittweise durchgeführte Verbesserung kann beispielsweise bereits eine Änderung der Lage der Lieferteile im Behälter sein.¹⁴ Unterstützt wird die beständige Optimierung durch die konsequente Standardisierung der Arbeitsabläufe (vgl. Takeda 2012, S. 123).

Gegenüber den aufgeführten wirtschaftlich positiv wirkenden Folgen besteht eine Reihe potenziell negativer Wirkweisen. Durch den Wegfall von Mengen- und Zeitpuffern erhöht sich in der Folge das Risiko eines Lieferausfalls. So kann das gänzliche Verzicht auf Mengen- und Zeitpuffer nur bei vollständiger Prozessbeherrschung geschehen. Folgekosten eines Lieferausfalls entstehen

¹⁴ Der Effekt der vielen kleinen Optimierungen ist mit ursächlich dafür, dass eine quantitative Bewertung des Gesamtkonzepts, evaluiert beispielsweise durch Simulation, schwer möglich ist.

beispielsweise durch Produktionsausfall und durch Sonderfahrten zum Ausgleich der Fehlmenge. Zudem erhöht das Weglassen der Puffer die Abhängigkeit in der Lieferkette, was zu weiteren Negativeffekten führen kann (vgl. Wildemann 2001, S. 179). Der Universalansatz der Anlieferung aller Teile im JIT-Verfahren kann zudem nachteilig wirken. Optimierungsmöglichkeiten wie die Bündelung bestimmter Abholmengen entfallen (vgl. Gudehus 2010, S. 232). Kostengünstige Direkttransporte, die vom Lieferanten zum Zielwerk bspw. einmal wöchentlich stattfinden, müssten bei der Konzeption einer idealen Lean-Logistics-Lösung zugunsten einer hochfrequenten Flussanlieferung aufgelöst werden. Auch liegen die Randbedingungen für die Einführung der Lean-Logistics-Prozesse nicht immer im Verantwortungsbereich der Logistik, wie in der Einleitung gezeigt wurde (siehe 1.1). So besteht bspw. oftmals kein Einfluss auf die Produktentwicklung, Modell- und Teilevarianten und die Produktion. Die Anlieferung aller Teile nach den Lean-Prinzipien braucht daher nicht zwingend kostenoptimal zu sein.

2.1.4 Fazit zu Lean Logistics

Mittels der geschichtlichen Einordnung konnte gezeigt werden, dass die Entwicklung der Konzepte und Methoden bei Toyota nach Ende des Zweiten Weltkriegs begann. Deutlich wurde, dass der damalige Mangel an benötigten Teilen bei gleichzeitig bestehenden Lagerbeständen nicht-benötigter Teile zu einer bedarfsgerechten Anlieferung ohne Bestände führte. Die hierdurch entstandenen Produktivitätsunterschiede zwischen westlichen und japanischen Automobilherstellern, welche hauptsächlich durch empirische Studien nachgewiesen werden konnten, führten maßgeblich zu einer Ausbreitung der Lean-Konzepte und -Methoden.

Die Vielzahl an Publikationen, gerade auch in der praxisnahen Literatur, unterstreicht das Interesse von Anwendern an dem Thema. Literatur mit einem reinen Fokus auf Lean Logistics ist jedoch erheblich seltener. Insbesondere die Inbound-Logistik und deren Konzepte werden bislang kaum zusammenhängend beschrieben.

Durch die große Themenspreizung der allgemein unter den Oberbegriffen der Lean Production und Lean Logistics veröffentlichten Literatur wird zudem deutlich, dass es an einer klaren Abgrenzung der Thematik mangelt. Die fehlende Abgrenzung, das teils an ein „Glaubensbekenntnis“ grenzende Verständnis mancher Praktiker sowie eine damit einhergehende dogmatische Einführung der Konzepte, welche die eigenen Voraussetzungen hierfür vernachlässigt, können als Gründe dafür angeführt werden, dass eine vorteilhafte Umsetzung nicht immer gelingt.

Dass sich aber bestimmte Vorteile durch die Einführung der Lean Logistics realisieren lassen, konnte qualitativ aufgezeigt werden. Hierfür wurden die wichtigsten Prinzipien der Lean Logistics mittels Literaturanalyse herausgearbeitet. Diese werden als universell gültig angesehen, um hierauf aufbauend die Konzept- und Prozessausgestaltung vorzunehmen. Durch die qualitative Beschreibung der Wirkweise konnten neben den positiven, auch die negativen Effekte und Risiken der Lean-Strategie verdeutlicht werden. So erwachsen Risiken aus dem Entfall der Mengen- und Zeitpuffer sowie der Beschränkung von Optimierungsmöglichkeiten, etwa der

Transportmengenbündelung. Gleichzeitig hat die Logistik als eigenständige Unternehmensfunktion nicht immer den notwendigen Einfluss auf die Schaffung der benötigten Randbedingungen.¹⁵

Zusammenfassend kann für die weitere Ausarbeitung festgehalten werden:

1) Die Konzepte der Lean-Inbound-Logistik müssen klarer beschrieben werden. In der Literatur erfolgt eine vereinzelte Nennung dieser Konzepte. Es fehlt jedoch eine zusammenhängende Darstellung. Da die Lean-Systematik, wie herausgearbeitet werden konnte, eine Ableitung der Konzepte aus den Prinzipien vornimmt, sollten die erfassten Prinzipien hierzu genutzt werden.

2) Der Bedarf an einer wissenschaftlich begründeten Analyse- und Bewertungsmethode zur Umsetzbarkeit der Konzepte wird nochmals festgestellt. Ein systematisches Bewertungsvorgehen kann dabei helfen, Fehler und Negativeffekte bei der Einführung der Lean-Inbound-Konzepte zu begrenzen und einer in der Praxis zum Teil unzureichend begründeten und dogmatisch vorgenommenen Einführung entgegenzuwirken. Das Vorgehensmodell sollte in der Lage sein, Handlungsoptionen zu verdeutlichen, um die qualitativ aufgezeigten Vorteile zu realisieren und Risiken zu begrenzen.

2.2 Bisherige Bewertungsvorgehen

Im Folgenden werden die bisher bestehenden Methoden und Vorgehensweisen untersucht, welche zur Bewertung der Eignung oder Auswahl von Teilen und Lieferanten genutzt werden, die für eine Umsetzung der Lean-Logistics-Konzepte in Frage kommen. Basis der Untersuchung ist eine Literaturrecherche. Aufgenommen wurden Ansätze, die sich mit der Anlieferung unter dem Aspekten Lean Logistics, schlanke Logistik oder JIT befassen.

Bei der nachfolgenden Darstellung werden die zum Ansatz gebrachten Kriterien besonders herausgestellt, um zu ermitteln, welchen Voraussetzungen und Randbedingungen eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Viele Ansätze verfolgen die Idee einer Segmentierung, wodurch die Eignung der Umsetzung für eine bestimmte Teilmenge der untersuchten Merkmale festgestellt wird. Übersichtshalber wurden die untersuchten Methoden und erfassten Kriterien in die drei Cluster „verbrauchsbezogene Segmentierungsansätze“ (2.2.1), „weitere Segmentierungsansätze“ (2.2.2) sowie „Ansätze mit gestufter Eignungslogik“ (2.2.3) eingeteilt.

2.2.1 Verbrauchsbezogene Segmentierungsansätze

Verschiedene Autoren führen als Instrument für eine Bewertung die ABC- und XYZ-Analyse an (vgl. Ihme 2006, S. 296 ff.; Wildemann 2001, S. 191 ff.; Wannenwetsch 2010, S. 178). Sie beziehen sich dabei sowohl auf eine JIT-Logistik im internen als auch externen Bereich. Die Umsetzbarkeit bestimmter Konzepte, basierend auf den vorgestellten Prinzipien der Lean Logistics, wird nicht explizit geprüft. Vielmehr wird auf das abstrakte Konzept der Anlieferung eines Teils nahe dem Bedarfszeitpunkt abgestellt.

¹⁵ Unter 1.1 wurden die Randbedingungen entsprechend als nicht unmittelbar oder gar nicht durch die Entscheidungsträger der Logistik änderbar beschrieben.

Als wesentlich für eine JIT-Eignung wird hierbei das Ergebnis der XYZ-Analyse angesehen, welche die Teile nach der Verbrauchshäufigkeit innerhalb der untersuchten Periode klassifiziert. Hintergrund ist, dass angenommen wird, dass ein hoher Verbrauch einen stetigen Bedarf aufweist und somit eine planbare JIT-Belieferung begünstigt (vgl. Wildemann, 2001, S. 191).

Die XYZ-Analyse wird zumeist durch die ABC-Analyse ergänzt. Die ABC-Analyse segmentiert das Teilespektrum nach den Kosten bzw. dem Wert eines Teils. Diese Einteilung dient vor allem dazu, die Teile mit der höchsten Kapitalbindung im Lager zu identifizieren, um durch die JIT-Anlieferung Kapital freizusetzen (vgl. Wildemann 2001, S. 193).

Kriterien: **Verbrauch**
Wert/Kosten

Bei beiden Analysemethoden wird für alle zu analysierenden Teile eine Pareto-Klassifizierung der aufgenommenen Eigenschaftsausprägungen (Verbrauch und Wert) vorgenommen. Das Ergebnis ist eine Lorenzkurve, wie sie in Abbildung 6 exemplarisch dargestellt wird. Übliche Klassengrenzen werden durch die Differenzierung nach der Auftretenshäufigkeit im Verhältnis 80 % : 15 % : 5 % gezogen (vgl. Gudehus 2010, S. 133). Die Aufteilung kann jedoch auch anders vorgenommen werden.

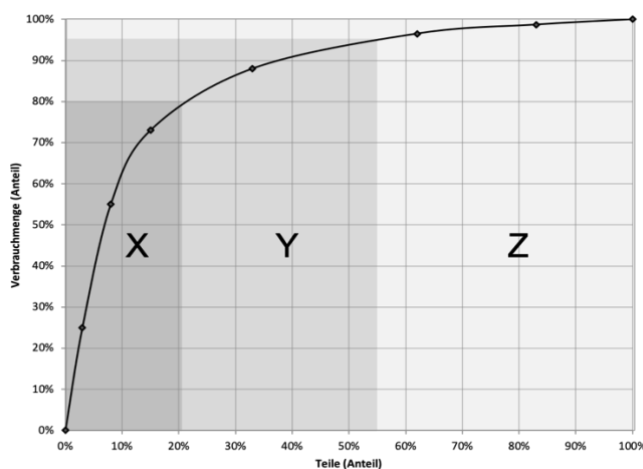


Abbildung 6: Lorenzkurve (Teile, Bedarf) mit eingezeichneten XYZ-Segmenten (eigene Darstellung)

Die Auswahl der Teile, die eine Eignung zur Anlieferung im JIT-Verfahren aufweisen, erfolgt durch die Auswahl geeigneter Segmente. Als besonders geeignet für eine JIT-Anwendung wird das AX-Segment angesehen (A = hoher Wert, X = hoher Verbrauch). Die Eignung nimmt nach außen von X bis Z und A bis C ab, wonach die CZ-Gruppe die am wenigsten geeignetste ist. Zumeist gelten nur die Teile der Gruppen AX und BX als geeignet (vgl. Ihme 2006, S. 296).

Weitere Ansätze stellen ebenso den Verbrauch eines Teils in den Vordergrund, zielen aber auf das dahinterliegende Produktionsprogramm (vgl. Baudin 2004, S. 4; Klug 2006, S. 187 ff.). So formuliert Waters (2003, S. 119 ff.) die Anforderung eines gleichmäßigen und kontinuierlichen (Volumen-)Flusses der Produkte im Inbound-Netzwerk als Bedingung für die Einführung von Lean-Logistics-Konzepten. Verantwortlich sind hierfür die „Pacemaker“ des gesamten Logistiknetzwerkes, welche

die Produktreihenfolge bestimmen (vgl. Rother und Harris 2001, S. 14 ff.). Im Logistiknetzwerk der Automobilhersteller sind „Pacemaker“ die Fahrzeugwerke und das damit verbundene Produktionsprogramm. Die Anforderungen werden jedoch nicht weiter präzisiert und mit einer Prüf- und Analyselogik verbunden. Die in den genannten Quellen beschriebenen Kriterien lassen sich wie folgt festhalten:

Kriterien: **Produktreihenfolge**
 Gleichmäßiger Fluss
 Kontinuierlicher Fluss

2.2.2 Weitere Kriterien für Segmentierungsverfahren

Weitere Ansätze, die eine Segmentierung des Teilekontingents und anschließende Auswahl einer geeigneten Teilegruppe zur Umsetzung von JIT-Anlieferungen vorschlagen, zielen konkreter auf das Inbound-Logistiknetzwerk. Wildemann (2001, S. 210 f.) nennt hierfür drei weitere Kriterien, die untersucht werden sollten:

Kriterien: **Lieferantenkonzentration**
 Beauftragungssystem
 Versorgungssystem

Die Lieferantenstruktur solle hinsichtlich sich ergebender Mengenkonzentrationen und der Versorgungssicherheit untersucht werden. Zur Einführung von JIT-Lieferkonzepten sollte das Beauftragungssystem eine hohe Verlässlichkeit hinsichtlich der Auftragsdaten aufweisen. Das Versorgungssystem wiederum sollte eine einfache Kontrolle ermöglichen. Als geeignet für die JIT-Inbound-Logistik wird die Gruppe angesehen, welche in den Untersuchungsgebieten die besten Eigenschaften aufweist. Zusätzlich führt Wildemann (2001, S. 211) die bereits oben thematisierte Materialstruktur und den hierbei erforderlichen stetigen Bedarf an. Wie genau die Untersuchung vorgenommen werden soll, welche Kenngrößen genutzt und wie die Auswertung vollzogen werden soll, wird nicht weiter präzisiert.

Das Beauftragungs- und Versorgungssystem wird indirekt auch von anderen Autoren für eine Segmentierung zur JIT-Eignung genutzt (vgl. bspw. Baumgarten 2001, S. 60). Diese setzen das Kriterium der Dauer der Steuerzeit in Relation zur Lieferzeit an.

Kriterien: **Steuerzeit**
 Lieferzeit (oder auch: Reaktionszeit)

Die Steuerzeit ist die Zeit, die zwischen dem Zeitpunkt der Festlegung der Verbaureihenfolge im Produktionsprogramm und dem tatsächlichen Einbau eines Teils besteht. Sie beschreibt somit die Zeitspanne, ab welcher feststeht, dass ein bestimmtes Bauteil tatsächlich benötigt wird. Ob die Zeitspanne zur Steuerung einer JIT-Belieferung ausreichend ist, wird indirekt über die Entfernung des Lieferanten zum Fahrzeugwerk bestimmt. Aus der Entfernung ergeben sich die Fahrzeit und somit die Lieferzeit, die notwendig ist. Bezieht man weitere Zeiten wie bspw. die Produktionszeit des

Lieferanten mit ein, kann auch von der Reaktionszeit gesprochen werden. Eine Eignung liegt vor, wenn das Verhältnis der Lieferzeit zur Steuerzeit größer eins ist. In diesem Fall kann genau das Teil abgerufen, produziert und angeliefert werden, welches benötigt wird. Aus diesem Grund wird die Untersuchung auch für die noch präzisere Anlieferung im JIS-Verfahren genutzt.

Oftmals wird für die Bestimmung der Steuerzeit der Zeitpunkt der physischen Festlegung der Montagesequenz genutzt. Der Zeitpunkt beschreibt den Moment, bei dem die Fahrzeugkarosse auf das Montageband gesetzt wird und die Reihenfolge und somit der Bedarfszeitpunkt nicht mehr geändert werden kann. So kommt es, dass JIT-Lieferkonzepte, wie in der Einleitung unter 1.1 beschrieben, oft nur bei werksnahen Direktrelationen umgesetzt werden. Hierbei spielen fabriknaher Lieferantenparks und -lager eine wichtige Rolle.

Auf den Punkt der Versorgungssicherheit stellen weitere Autoren als Kriterium ab (vgl. bspw. Hilhorst 2002, S. 24 f.), denn ohne Lagerbestände kommt es bei einer Fehllieferung im JIT-Verfahren sofort zu Fehlteilen und Produktionsausfällen. Die Versorgungssicherheit und somit die Qualität des logistischen Prozesses können durch den Servicegrad, der sich wiederum aus sechs Untergrößen bildet, beschrieben werden (vgl. Schenk 2010, S. 43). Die Versorgungssicherheit kann damit durch einen hohen Servicegrad sichergestellt werden. Vereinfacht bildet sich der Lieferservicegrad aus dem Quotienten der Gesamtzahl der erfüllten Bedarfsanforderungen zu allen gestellten Bedarfsanforderungen (vgl. Bichler 2007, S. 57). Eine Größe des Servicegrades stellt die Termintreue dar. Sie wird von verschiedenen Autoren besonders hervorgehoben, da sie die rechtzeitige Anlieferung des Materials beschreibt (vgl. Corbat 2009, S. 85; Lutz 2008, S. 110). So ist die von ihr abgebildete Zuverlässigkeit des Lieferunternehmens und des Spediteurs für den JIT-Prozess von großer Bedeutung. Eine Segmentierung könnte somit nach den genannten Kriterien erfolgen:

Kriterium: **Versorgungssicherheit**
Servicegrad
Termintreue

Weiterhin wird die Variantenvielfalt der Teile als eine weitere entscheidende Größe für die Durchführbarkeit eines Lean-Logistics-Prozesses und somit für die Eignung bspw. eines Automobilherstellers genannt (vgl. Boppert et al. 2013, S. 18 f.). Jedoch handelt es sich eher um eine Beobachtung als um die klare Formulierung eines Kriteriums für eine Segmentierung. So merkt beispielsweise Klug (2006, S. 27) an, dass die Anzahl der Varianten eines im JIT-Verfahren angelieferten Teils eher niedriger ist. Es ließe sich daraus folgern, dass eine hohe Variantenvielfalt eines Bauteils eher als Hinderungsgrund für die Umsetzung der Lean Logistics angesehen werden kann. Hiernach ließe sich eine nicht näher beschriebene Segmentierungslogik aufbauen.

Kriterium: **Variantenvielfalt**

2.2.3 Neuere Ansätze mit gestufter Eignungslogik

Anders als die zuvor aufgeführten Verfahren, welche mittels Segmentierung einen Annahme- und Ausschlussbereich definierten, wird in einigen Publikationen die Idee einer gestuften Eignung

präsentiert. Mit diesen Ansätzen kann eine gestufte Umsetzung von Konzeptbestandteilen vorgenommen werden, um sich dem Idealkonzept zu nähern.

Beispielsweise wendet sich Baudin (2004, S. 4) von einer reinen Ausschlusslogik gemäß der Segmentierung einer XYZ-Analyse ab und gibt zu verstehen, dass die Konzepte auch ohne den von ihm favorisierten gleichmäßigen Verbrauch funktionieren. Sie könnten nur nicht im Idealzustand betrieben werden. Er schreibt mit Bezug auf das Fertigungsprogramm, dass ohne einen Überbau, der einen passenden Ablauf vorgibt, nicht der volle Vorteil aus einer Lean-Infrastruktur gezogen werden kann.

Unter der Bezeichnung „Lean Six Sigma Logistics“ gibt es daher den Ansatz, keine absolute Eignung nachzuweisen, sondern sich schrittweise oder auch kontinuierlich dem Idealkonzept zu nähern (vgl. Goldsby und Martichenko 2005). Dazu werden bestimmte Fähigkeiten (Capabilities) beständig überprüft und verbessert, um auf dieser Basis die Abläufe anzupassen. Auch wenn dieser Ansatz stark von der operativen Sichtweise der Prozessverbesserung getrieben ist, bietet er dennoch Hinweise für die in dieser Arbeit beabsichtigte Entwicklung eines planerischen Bewertungsvorgehens.

Die Schlantheit des Prozesses und somit das gewählte Lean-Konzept werden je nach Level der Schwankung in den Kennzahlen, welche an die Theorie des Six-Sigma-Qualitätsmanagements angelehnt sind, ausgelegt. Unter Capability subsumieren Goldsby und Martichenko (2005, S. 68) die drei nachfolgenden Kriterien:

Kriterium: **Vorhersehbarkeit**
Stabilität
Sichtbarkeit

Die Herangehensweise gibt durch die schrittweise Näherung an das Idealkonzept der Lean Logistics einen Ausblick auf die Möglichkeit einer gestuften Eignungslogik in Anlehnung an ein gestuftes Planungsvorgehen (vgl. Schenk et al. 2014, S. 290). Die Nutzung des Erfüllungsgrades einer idealen Anforderung zur Erarbeitung einer abgestuften Logik soll als Anregung für diese Arbeit genutzt werden (siehe auch Kapitel 6).

2.2.4 Fazit zu den bisher bestehenden Vorgehensweisen

Die untersuchten Bewertungsvorgehen verfolgen einen analytischen Ansatz zur Bewertung der Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten auf Basis sehr heterogener Kriterien. Die nachstehende Tabelle 2 dient zur Übersicht und Analyse der herausgearbeiteten Kriterien. Zunächst werden die auf der linken Seite aufgeführten Kriterien in Struktur- und Prozessparameter des Logistiknetzwerks aufgeteilt. Danach findet eine Einordnung in festgestellte Bezugsarten statt. Manche Kriterien können, je nach Auslegung, in mehrere Kategorien eingeordnet sein.

In Bezug auf die Parameter des Logistiknetzwerks ist zunächst auffällig, dass sich eine viel größere Anzahl an Kriterien mit der Auswertung von Prozessparametern befasst. Strukturelle und damit statische Parameter wie der Systemaufbau oder die Lieferantenkonzentration zeigen viel weniger Nennungen. Bei den Prozessparametern werden sowohl Eingangsparameter wie bspw. der

Teilverbrauch eines Fahrzeugwerks als auch Ausgangsparameter wie der erreichte Servicegrad zur Eignungsbewertung vorgeschlagen. Die Ausgangsparameter erscheinen auf Grund der höheren Nennung als wichtiger. Durch die Ähnlichkeit mancher der genannten Kriterien wie Versorgungssicherheit, Servicegrad und Termintreue relativiert sich dieses Bild jedoch.

Tabelle 2: Analyse der Kriterien bisheriger Vorgehensweisen zur Bewertung

Identifizierte Kriterien	Logistiknetzwerk				Bezugsart			
	Strukturparameter	Prozessparameter	Eingang	Ausgang	Teilebezug	Verbrauchsbezug	Sicherheitsbezug	Systembezug
1 Verbrauch		1	1		1	1		
2 Wert	1				1			
3 Produktreihenfolge		1	1		1	1		
4 Gleichmäßiger Fluss		1	1	1	1	1		
5 Kontinuierlicher Fluss		1	1	1	1	1		
6 Lieferantenkonzentration	1							
7 Beauftragungssystem	1							1
8 Versorgungssystem	1						1	1
9 Steuerzeit	1	1	1		1			
10 Lieferzeit		1		1	1			
11 Versorgungssicherheit		1		1	1		1	
12 Servicegrad		1		1	1		1	
13 Termintreue		1		1	1		1	
14 Variantenvielfalt	1				1			
15 Vorhersehbarkeit		1		1	1	1	1	
16 Stabilität		1		1	1	1	1	1
17 Sichtbarkeit		1		1			1	
Auswertung	6/17	12/17	5/17	9/17	14/17	6/17	7/17	2/17

Die nach dem Bezug vorgenommene weitere Auswertung ergibt folgendes Bild:

Teilebezug: Den Vorgehensweisen und Methoden liegt überwiegend ein Teilebezug zu Grunde (14 von 17 Kriterien). Sie untersuchen verschiedene mit den Teilen verbundene Attribute. Die starke Präsenz des Teilebezugs ist nachvollziehbar, da die JIT-Anlieferung einzelner Teilenummern im Mittelpunkt der Betrachtung steht. In den vorgestellten Verfahren werden Attribute wie Verbrauch (Teil, Menge), Wert (Teil, Wert), Variantenvielfalt (Teil, Ausprägungen) untersucht.

Verbrauchsbezug: Der Verbrauch als Unterkategorie des Teilebezugs macht eine der häufigsten Nennungen innerhalb dieser Kategorie aus (Teilebezug: 6 von 14 Kriterien). Zum Verbrauch zählt nicht nur der Verbrauch (Teil, Menge, Verteilung), sondern auch die Betrachtung der Produktreihenfolge (Reihenfolge des Mengenverbrauchs pro Teil) oder die Vorhersehbarkeit (Zeitabschnitt nach Bekanntwerden der Verbrauchsabsicht pro Teil).

Sicherheitsbezug: Die Prozesssicherheit steht im Fokus vieler Umsetzbarkeitsuntersuchungen (7 von 17 Kriterien). Betrachtet werden die Termintreue, die Versorgungssicherheit oder die Sichtbarkeit von Abweichungen. Aber auch der abstrakte Begriff der Stabilität kann u. a. der Sicherheit zugeordnet werden. Da ein JIT-Prozess ohne Sicherheitsbestände betrieben wird, besteht ein offensichtlicher Zusammenhang zur Untersuchung dieses Kriteriums.

Systembezug: Losgelöst von einzelnen Kenngrößen und Attributen lässt sich eine Betrachtung des Systems feststellen (3 von 17 Kriterien). Der Begriff des Systems wird hier in Bezug auf die funktionale und prozessuale Ausgestaltung des Versorgungs- und Beauftragungssystems gesehen. Oftmals wird auch mit einem notwendigen stabilen Gesamtsystem argumentiert. Diese relativ abstrakte Einordnung zeigt die wenig präzise Beschreibung mancher Kriterien.

Über die tabellarisch vorgenommene Auswertung der Kriterien hinaus können die folgenden Punkte zu den bisher vorliegenden Bewertungsvorgehen festgestellt werden:

- 1) Kein Ansatz geht spezifisch auf die Lean-Konzepte der Inbound-Logistik sowie deren Anforderungen ein. Es wird relativ pauschal von einer JIT-Anlieferung gesprochen. So lässt sich keine differenzierte Aussage zu den einzelnen Konzepten, beispielsweise zur Fahrplankontaktung, treffen.
- 2) Die vorgestellten Ansätze beziehen sich überwiegend auf JIT-Direktrelationen. Zum Teil ist der Bezug darüber hinaus abstrakt auf die Inbound-Logistik gerichtet. Keiner der untersuchten Ansätze bezieht sich jedoch explizit auf zweistufige Netzwerkverkehre.
- 3) Bei allen untersuchten Ansätzen ist auffällig, dass keine genaue Formalisierung der Kriterien erfolgt. Auch bleibt in vielen Fällen unerklärt, wie eine konkrete Durchführung beispielsweise der Segmentierung nach der Vorhersehbarkeit oder dem Versorgungssystem geschehen soll. So wird bspw. nur die Wichtigkeit des Versorgungssystems für die Eignung hervorgehoben. Einzig bei der XYZ- und ABC-Analyse ist die Methode der Bewertung sauber beschrieben.
- 4) Die gefundenen Ansätze verfolgen überwiegend eine Ausschlusslogik. Mittels der Segmentierung werden für Lean-Konzepte geeignete Logistikumfänge identifiziert und die übrigen Umfänge wie bspw. Teilegruppen ausgeschlossen. Eine Ausnahme bilden die Arbeiten von Baudin (2004, S. 4) sowie Goldsby und Martichenko (2005). Sie propagieren keine Ausschließlichkeit und ziehen eine schrittweise bzw. gestufte Umsetzung und Annäherung an das Idealkonzept der Lean Logistics in Betracht.

Als abschließendes Fazit kann festgehalten werden, dass es an einem Ansatz mangelt, der sich auf die konkreten Konzepte der Lean Logistics im Inbound-Netzwerk bezieht. Die Methoden sind, bis auf die XYZ-Analyse, mangelhaft ausformuliert und liefern nur Hinweise für ein Vorgehen. Die Prozessparameter des Logistiknetzwerks scheinen wichtiger zu sein als die reinen Strukturparameter. Mit den Prozessparametern, bspw. dem Verbrauch, lässt sich jedoch indirekt die Bewertung von Strukturparametern wie der Variantenvielfalt durchführen. Die Kriterien haben darüber hinaus überwiegend einen Teile- und Verbrauchsbezug. Auch stehen Sicherheitsaspekte wie die Prozessqualität im Mittelpunkt. Kriterien, die sich auf den reinen Transport beziehen, liegen derzeit nicht im Fokus. Positiv für die weitere Ausarbeitung wird die Idee der gestuften Eignungslogik bewertet.

3 Lean-Inbound-Logistik

Wie im vorangegangenen Kapitel festgestellt, sind die Lean-Logistics-Konzepte im Inbound-Netzwerk bislang nur unzureichend beschrieben (2.1.4). Um sich dem Ziel der Arbeit, der Definition eines Bewertungsvorgehens, zu nähern, müssen die Konzepte präzisiert werden. Wie das Fazit unter 2.1.4 weiterhin feststellt, sind die Konzepte im Kontext der Lean-Strategie auf Basis der erfassten Prinzipien der Lean Logistics zu begründen. Nachfolgend werden daher in einem ersten Schritt die Implikationen der Strategie der Lean Logistics untersucht, um darauf die Konzepte herauszuarbeiten.

3.1 Implikation der Lean-Strategie auf die Inbound-Konzepte

Die Logistikstrategie wurde in Abschnitt 2.1.2 als ein System von Prinzipien und Orientierungsgrundlagen beschrieben. Als prägend konnten die Prinzipien Pull, Fluss, Kunde und Takt herausgearbeitet werden. Die sich hieraus explizit für die Inbound-Logistik ergebenden Folgerungen werden nachfolgend pro Prinzip untersucht und beschrieben. Jeder Folgerung bzw. Bedingung werden gemäß ihrem Bezug ein oder mehrere Netzwerkelemente (Lieferant, Vorlauf, Umschlag, Hauptlauf, Empfangswerk) zugeordnet, ebenso die damit verbundenen Prozesse.¹⁶

Die beschriebene Vorgehensweise wird zu Übersichtlichkeitszwecken mit der nachfolgenden Notation unterstützt:

Formulierung der Bedingung

Adressat: Netzwerkelement 1 (Prozess), Netzwerkelement 2: (Prozess), ...

Beschreibung der Bedingung

3.1.1 Bedingungen des Pull-Prinzips

Das Pull-Prinzip fordert, dass der konkrete Bedarf eines Prozesses jeweils den Start des Vorgängerprozesses auslöst. Für die Logistik heißt dies vereinfacht nach Baudin (2004, S. 35), dass sich nichts bewegt, bis das Empfangswerk oder explizit die Fertigung das Signal eines Bedarfs gibt. Aus dem Prinzip lässt sich eine Verkettung ableiten, bei der die einzelnen Prozesse mittels einer Pull-Systematik miteinander verbunden sind. Im Deutschen ist hierfür auch der Begriff „ziehende Prozesse“ bekannt (vgl. Durchholz 2014, S. 61). Aus dem Pull-Prinzip lassen sich die folgenden Bedingungen für ein Konzept der Inbound-Logistik ableiten:

Abgerufen werden nur Teile mit einem konkret bestehenden Bedarf

Adressat: Empfangswerk (Materialabruf), Lieferant (Produktion und Vollgutbereitstellung)

Ausgehend vom Prozess des Fahrzeugwerks wird der vorangehende Prozess der Inbound-Logistik angestoßen bzw. gezogen. Der Prozess des Fahrzeugwerks ist die Fahrzeugfertigung. Daher werden nur die Teilenummern abgerufen, die für die Fertigung gebraucht werden. Es wird jeweils nur die

¹⁶ Im Anhang befindet sich unter A.1 eine Übersicht über die konventionellen Prozesse der Inbound-Logistik. Die Prozesse sind dabei den Netzwerkelementen zugeordnet und werden knapp erläutert. Die so beschriebenen Netzwerkelemente und Prozesse sind Basis der durchgeführten Analyse.

Menge an Teilen abgerufen, die auch verbaut wird. Es werden keine Teile abgerufen, die vielleicht gebraucht werden könnten. Auch andere Begründungen der Lagerhaltung sind nicht zulässig.

Kein Vorziehen und Schieben der Bedarfe (Bedarfszeitraum)

Adressat: Empfangswerk (Materialabruf)

Durch den Pull des konkret bestehenden Bedarfs wird im jeweiligen Abrufzyklus nur das abgerufen, was in dieser Periode gebraucht wird. Es darf keine zeitliche Bedarfsbündelung darüber hinaus vorgenommen werden. Wird bspw. täglich oder untertägig abgerufen, darf keine Bündelung zu einem Wochenbedarf, der geliefert werden soll, stattfinden. Im Idealfall wird zu jedem Zeitpunkt genau das abgerufen, was in dem Zeitpunkt für die Fertigung angestoßen werden muss.

Der Abholtermin wird durch Rückwärtsterminierung bestimmt

Adressat: Lieferant (Bereitstellung), Vorlauf (Transport), Hauptlauf (Transport)

Im Abruf werden nicht der Liefertermin und somit der Ankunftsstermin der Teile im Fahrzeugwerk angegeben. Stattdessen wird durch Rückwärtsterminierung ein Abholtermin beim Lieferanten ermittelt. Der Vorgängerprozess wird so durch seinen Nachfolger angestoßen (siehe auch Abbildung 5). Der Abholtermin ist fixiert und nicht der freien Optimierung beispielsweise des Lieferanten oder Transportdisponenten unterworfen.

Geliefert werden nur Teile mit einem konkret bestehenden Bedarf

Adressat: Lieferant (Bereitstellung), Vorlauf (Transport), Hauptlauf (Transport)

Ebenso wie die Abrufmenge ist auch die Liefermenge durch das Pull-Prinzip vorbestimmt. So darf keine Bündelung von Liefermengen, z. B. zur Transportmengenoptimierung durch die Transportdisposition, durchgeführt werden. Es wird nur das geliefert, was der Nachfolgeprozess der Fertigung braucht.

3.1.2 Bedingungen des Fluss-Prinzips

Nach Martichenko und Grabe (2010, S. 8) ist es das Ziel des Fluss-Prinzips, dass sich alle Materialien und Informationen in einer vorhersehbaren, gleichmäßigen und ununterbrochenen Weise entlang der Wertschöpfungskette bewegen.

Hochfrequente Transporte

Adressat: Vorlauf (Transport), Hauptlauf (Transport)

Theoretisch ergibt sich als beste Annäherung an den kontinuierlichen Flusszustand ein One-Piece-Flow (vgl. Althoff 2009, S. 51). Hierbei wandert jedes Teil einzeln durch die Logistik- und Wertschöpfungskette. Ein One-Piece-Flow ist jedoch in der Inbound-Logistik aus praktischen Erwägungen nicht zu realisieren. Abgemildert lässt sich daher die Anforderung nach hochfrequenten Transporten kleiner Losgrößen ableiten.

Keine Lager

Adressat: Lieferant (Bereitstellung), Umschlagspunkt (Umschlag)

Nach dem Fluss-Prinzip sollten entlang der Lieferkette keine Lager bestehen. Für die Inbound-Logistik heißt dies, dass es keine Zwischenlager und Lieferantenlager geben sollte. Teile werden möglichst mit kurzem Durchlauf von der Fertigung des Lieferanten an das Empfangswerk geliefert.

Minimale Umlaufbestände

Adressat: Lieferant (Bereitstellung), Umschlagspunkt (Umschlag)

Die Begründung, warum es keine Lager im Prozess geben darf, lässt sich auf die Umlaufbestände ausweiten. Teile sollten ebenso wenig in Warteschlangen oder Puffern gebunden sein.¹⁷

3.1.3 Bedingungen des Kunden-Prinzips

Das Kunden-Prinzip stellt die optimale Bedienung des nachfolgenden Prozesses in den Mittelpunkt. Der Kunde der Inbound-Logistik ist das Fahrzeugwerk. Aber auch in der Lieferkette ergeben sich zwischen den einzelnen Elementen immer wieder Kunde-Lieferant-Beziehungen. So beispielsweise zwischen dem Vorlauf und dem Umschlagspunkt. Aus dem Kunden-Prinzip lassen sich die folgenden Bedingungen ableiten:

Die Transport- und Teileverpackung richtet sich nach dem Kunden

Lieferant (Bereitstellung)

Dekliniert man die Kunden-Lieferant-Kette durch, so gibt der Verbauort die optimale Anlieferung für die Inhouse-Logistik vor (z. B. Lage der Teile, Art der Schutzverpackung, Art Behälter). Die Inhouse-Logistik gibt wiederum ihre optimale Anlieferung an die Inbound-Logistik weiter.

Hieraus resultiert, dass die Teile möglichst bereits ab Lieferant in kleinen Produktionsbehältern (oftmals KLT) geliefert werden, in denen die Teile optimal für die Produktion bereitgestellt werden können. Da der Transport auch seine Vorgaben für den Lieferanten macht, besteht die Forderung, dass die Gebinde eine volle obere Behälterebene aufweisen, damit sie stapelbar sind.

Es wird nur nach Kundenbeauftragung und -vorgabe gearbeitet

Adressat: Lieferant/Vorlauf/Umschlag/Hauptlauf (Label, Zeitfenster)

Eine Konsequenz aus dem Kunden-Prinzip ist, dass jeder Arbeitsschritt vom Kunden angestoßen sein muss. Nur so kann der Kunde optimal bedient werden. Zusammen mit dem Pull-Prinzip hat dies die Auswirkung, dass für jede beim Lieferanten bereitgestellte Teilemenge der beauftragende Kundenprozess feststeht. Hieraus ergibt sich, dass während der gesamten Prozesskette ein Auftragsbezug besteht. Dieser beinhaltet die Kundenangaben des Erfüllungsortes sowie des -zeitpunkts.

¹⁷ In der Produktion steht daher das Senken der Losgrößen durch Verkürzen der Rüstzeiten im Mittelpunkt. Das Thema wird unter den Stichpunkten SMED (Single Minute Exchange of Dies) oder QCO (Quick Change Over) diskutiert. Prägend ist ein von Shingo (1985) verfasstes Buch: „The Revolution in Manufacturing: The SMED System“. Diese Verkürzung der Wartezeit lässt sich bspw. auf die Umschlagzentren übertragen. Die oftmals üblichen Warteschlangen an LKW vor dem Dock sollen möglichst minimiert werden. Dies geschieht in den Lean Logistics durch regelmäßige, geplante Abläufe.

3.1.4 Bedingungen des Takt-Prinzips

Das Takt-Prinzip erzeugt eine Regelmäßigkeit der Lean-Prozesse. Gleichzeitig sorgt es durch die Taktrate für eine Synchronisation der gesamten Lieferkette mit der Verkaufsrate des Fahrzeugwerkes (vgl. Rother und Harris 2001, S. 13 ff.). Die stringente Anwendung dieses Prinzips ist in der konventionellen Logistik, insbesondere der Inbound-Logistik, nicht üblich. Gemäß dem aus der Produktion bekannten Arbeiten in Takten soll demnach auch in der Logistik zyklisch und mit möglichst ausgeglichenen Arbeitsinhalten gearbeitet werden.

Feststehende Fahrpläne

Adressat: Vorlauf (Transport), Hauptlauf (Transport)

Durch die feststehende Taktung findet in der Transportdisposition keine Ad-hoc-Transportplanung in Bezug auf Routen und Zeiten statt. Stattdessen sollten feststehende, regelmäßige Transporte stattfinden.

Feststehende Zeitfenster

Adressat: Vorlauf (Vorlauf), Hauptlauf (Transport)

Da die Routen und Zeiten vorbestimmt sind und nicht durch eine dynamische Optimierung der Transportdisposition beständig angepasst werden, bestehen feste Zeiten für die Abholung, den Umschlag und die Ankunft. So wird auch von einem LKW-Anliefertakt gesprochen (vgl. Klug 2018, S. 295).

Feste Arbeitsintervalle

Adressat: Lieferant (Bereitstellung), Umschlagpunkt (Umschlag), Empfangswerk (Entladung)

Auch die Arbeiten an den Belade- und Entladepunkten der Transporte sollen getaktet sein. Es findet ein getakteter Fluss bspw. von der Anlieferrampe des Umschlagpunktes zur Sammelfläche und schließlich zur Bereitstellfläche statt.

3.2 Konzepte der Lean-Inbound-Logistik

Aus den Bedingungen der Lean-Strategie haben sich in der Lean-Inbound-Logistik verschiedene Konzepte herausgebildet. Die Konzepte können als Arbeits- und Ablaufbeschreibungen für die Ausgestaltung der Prozesse gesehen werden.¹⁸ Sie werden in der folgenden Abbildung 7 den Abschnitten der Inbound-Lieferkette zugeordnet.

Zum Herausarbeiten der Konzepte wurde eine Literaturrecherche durchgeführt und mit den Erfahrungen in der Automobilindustrie abgeglichen. Durch Gespräche, Besuche und Einblick in Dokumente konnten die Konzepte so mit den Lean-Konzepten von Toyota, Volkswagen, Ford, Audi und Bentley sowie deren Logistikdienstleistern Transfreight (USA), Ryder (USA), DHL (Europa) und NYK Logistics (Europa) abgeglichen werden.

¹⁸ Im Anhang werden die herkömmlichen Prozesselemente unter A.1 und die Lean-Elemente unter A.2 behandelt.

Die Beschreibung der Konzepte beginnt mit dem Lieferabruf und folgt anschließend dem Materialstrom ins Fahrzeugwerk. Die Abschnittsüberschriften entsprechen den Konzeptbezeichnungen in Abbildung 7. Die in grauer Schrift eingezeichneten Konzepte fallen nicht mehr in den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit, werden jedoch zur Bildung eines Gesamtverständnisses in Abschnitt 3.2.7 ergänzend behandelt.

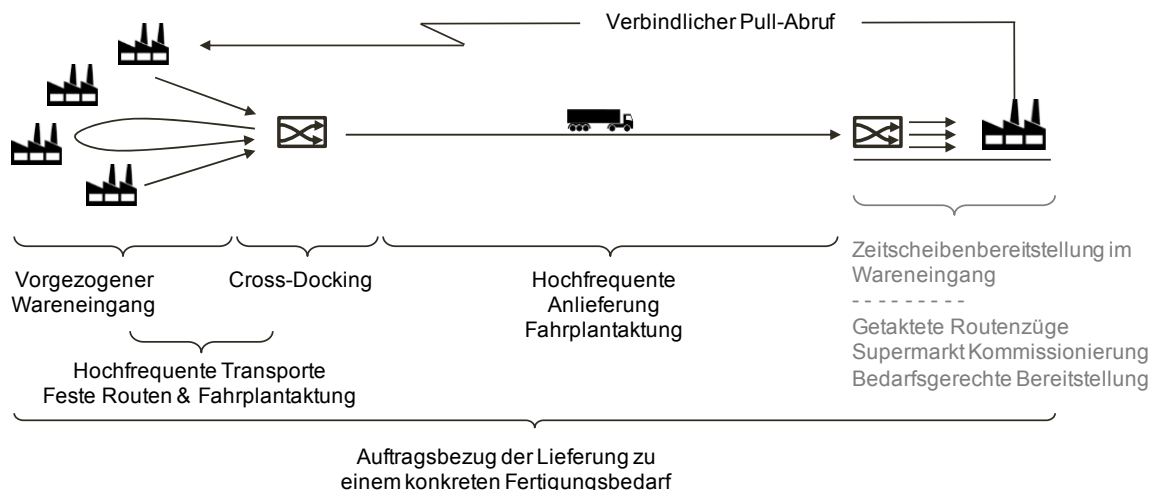


Abbildung 7: Konzepte der Lean-Inbound-Logistik (eigene Darstellung)

3.2.1 Verbindlicher Pull-Abruf

Der vom Fahrzeughersteller an die Lieferanten versendete Abruf bildet den Ausgangspunkt der Lean-Inbound-Logistik. Während bei werksnahen Lieferrelationen Kanban-Karten zum Einsatz kommen, wird im Logistiknetzwerk auf Grund der Zyklusdauer mit einem aus dem Fahrzeugprogramm generierten verbindlichen Pull-Abruf gearbeitet (vgl. Gudehus 2010, S. 261; Louis 2006, S. 72 f.; Meißner 2013, S. 300). Dieser erfüllt die zuvor herausgearbeiteten Bedingungen:

- Abgerufen werden nur Teile mit einem konkret bestehenden Bedarf
- Geliefert werden nur Teile mit einem konkret bestehenden Bedarf

Konzeptbeschreibung:

Der verbindliche Pull-Abruf kann in zwei Konzeptbestandteile unterteilt werden. Dies sind die Verbindlichkeit und der Pull-Abruf.

Ziel der Verbindlichkeit ist es, eine Verlässlichkeit für den Lieferanten und die Warenbereitstellung zu generieren. So schreiben Meißner und Günther (2009, S. 282): „Der frühe und verbindliche Abruf ersetzt mehr oder weniger unzuverlässige Bedarfsprognosen.“ Hierzu wird ein Planungshorizont über mehrere Tage mengen- und zeitstabil gehalten und an die Lieferanten versandt.¹⁹ Der Abruf wird in dieser Zeit nicht mehr geändert, so dass auch von einem Order-Freeze gesprochen wird (vgl. Grinninger 2013, S. 25). Hierdurch können die Lieferanten ihre eigenen Produktionsprozesse im

¹⁹ Das Vorhaben kann von der operativen Produktionsplanung und -steuerung durch eine stabile Auftragsreihenfolge, auch als Perlenkettenkonzept bezeichnet, unterstützt werden (vgl. Copaciu 2012, S. 1). Oftmals wird das Perlenkettenkonzept jedoch unter dem Gesichtspunkt einer gleichmäßigen Auslastung der Produktion optimiert. Hierbei stehen Zeitdauern bestimmter Arbeitsinhalte im Mittelpunkt. Das Ergebnis braucht daher nicht zwangsläufig ideal für die Logistik sein.

Sinne des Pull-Prinzips ausgestalten und Lagerbestände abbauen. Für die gesamte Lieferkette wirkt dies beruhigend. Sowohl die Lieferanten als auch die Logistikdienstleister profitieren von der hohen Verlässlichkeit.

Ziel des zweiten Konzeptbestandteils ist die Herstellung der Pull-Systematik. Da auch herkömmliche Push-Konzepte einen verbindlichen Abruf generieren können, ist dieser Aspekt für die Lean Logistics von zentraler Bedeutung. Der Abruf leitet sich hierbei direkt aus den eingeplanten Fahrzeugaufträgen (Primärbedarf) ab, welche über die Stückliste in den Teilebedarf (Sekundärbedarf) aufgelöst werden.²⁰ Im Gegensatz zu einer Kanban-Steuerung handelt es sich um eine zentrale Disposition nach dem Pull-Prinzip, bei der Auftragsergebnisse erst weitergegeben werden, wenn der nachfolgende Prozess dies verlangt. (vgl. Gudehus 2010, S. 227 f.). Hierzu wird die Beauftragung der Prozessteilnehmer (Lieferanten, Spediteure) unabhängig vorgenommen. Gleichzeitig zum Lieferabruf werden die Transportaufträge inkl. der durch Rückwärtsterminierung ermittelten Abholtermine versandt.²¹

3.2.2 Auftragsbezug

Der Auftragsbezug ist die Umsetzung des Kunden- und Pull-Prinzips in der Lieferkette. Durch den Auftragsbezug wird der verbindliche Pull-Abruf im Materialstrom fortgeführt. Konkret erfüllt das Konzept die folgenden Bedingungen:

- Geliefert werden nur Teile mit einem konkret bestehenden Bedarf
- Es wird nur nach Kundenbeauftragung und -vorgabe gearbeitet

Konzeptbeschreibung

Der Auftragsbezug findet durch die Beschriftung (Label) der Lieferungen Ausdruck. Jede Sendung und darin befindliche Behälter werden hierdurch gekennzeichnet. Entscheidend ist die Information über Teilmenge, Bedarfsort und -zeitpunkt. So werden auf dem Label der Bestimmungsort, die Lade- sowie Ankunftszeiten, innerbetriebliche Routen und der Abstell- bzw. Zielort, zum Beispiel ein Fertigungssupermarkt, angegeben (vgl. Ludwig 2013, S. 24, Volkswagen 2016, S. 2).²²

Zur Herstellung des Auftragsbezugs werden die Daten der Label dem Lieferanten durch den Fahrhersteller initial zur Verfügung gestellt (vgl. Ludwig 2013, S. 20). Der Auftragsbezug dient auch als Qualitätsbaustein, da die Richtigkeit des Prozesses anhand der nicht veränderbaren Zuordnung kontrolliert werden kann. Durch die unabhängige Beauftragung der Spediteure findet ein weiterer Abgleich statt.

²⁰ Alternativ kann auch ein „Long Distance Kanban“ genutzt werden, bei dem die Kanban-Karte nicht vom Lieferanten abgeholt, sondern elektronisch an diesen übermittelt wird (vgl. Louis 2006, S. 73). In der vorliegenden Arbeit wird jedoch nicht näher auf dieses Konzept eingegangen.

²¹ Durch die Generierung des Abholtermins und des Transportauftrags wird verhindert, dass der Lieferant die Aufträge in seiner eigenen Zeitsystematik erfüllt und durch das Transportnetzwerk schiebt (Push). Ausgangspunkt ist hierdurch immer der Pull und somit der Bedarfstermin des Fahrzeugwerks.

²² Der Auftragsbezug und die entsprechende Kennzeichnung der Ware werden auch mittels (Supplier-)Kanban-Karte umgesetzt (vgl. Monden 2012, S. 61 ff.). Oftmals ist dies jedoch nur eine andere Bezeichnung für das Behälterlabel, welches dann auch Kanban-Label genannt wird. So wird beim entsprechenden E-Kanban die Karte bzw. das Label vom Lieferanten ausgedruckt und dem einzelnen Behälter angehängt.

3.2.3 Vorgezogener Wareneingang

Das Konzept betrachtet den Warenausgang des Lieferanten. In der Lean Logistics wird dieser zum „vorgezogenen Wareneingang“ umgewidmet.²³ Das Konzept berücksichtigt die folgenden Bedingungen:

- Der Abholtermin wird durch Rückwärtsterminierung bestimmt
- Die Transport- und Teileverpackung richtet sich nach dem Kunden
- Für jede Liefermenge liegt ein konkreter Bedarfszeitpunkt und -ort vor.

Konzeptbeschreibung

Beim vorgezogenen Wareneingang handelt es sich konzeptionell um eine Verschiebung von Teilen der Wareneingangsprüfung zum Lieferanten. Dabei ist es nicht Ziel, die eigentliche Wareneingangsprüfung zu ersetzen, sondern bereits zu einem früheren Zeitpunkt detaillierte Informationen über den Erfüllungsgrad des Lieferabrufs zu erlangen und die korrekte Erfüllung des Lieferabrufs sicherzustellen.

Der Lieferant stellt in einem ersten Schritt die Waren auf Basis des Abrufs und der im Rahmen des Auftragsbezugs übermittelten Daten für die Sendungen zusammen. Abweichungen müssen gemeldet werden, weil die Label sonst nicht angepasst werden können. Im zweiten Schritt führt der Vorlaufspediteur auf Basis der Transportbeauftragung des Fahrzeugherstellers eine Kontrolle der bereitgestellten Waren mittels einer Checkliste durch (vgl. Liker 2008, S. 263; Martichenko 2012, S. 174; Schneider 2016, S. 233).²⁴ Die Kontrolle findet als Sichtprüfung zur Identitäts-, Mengen- und Verpackungskontrolle statt (vgl. Klug 2018, S. 322). Bei Abweichungen zur Checkliste dürfen die Waren nicht aufgeladen und mitgenommen werden, um Über-, Unter- und Fehllieferungen zu verhindern.

Bei festgestellten Abweichungen, die nicht sofort vom Lieferanten behoben werden können, nimmt das darauffolgende Reporting eine wichtige Stellung ein (vgl. Baudin 2004, S. 142 f.). In der Regel gibt es hierfür vorgeschriebene Eskalationsstufen über zugewiesene Verantwortliche entlang der Logistikkette. Dies kann im ersten Schritt ein Mitarbeiter des Spediteurs und hiernach der Teiledisponent des Fahrzeugwerkes sein. Mit diesen werden Gegenmaßnahmen definiert, die oftmals für verschiedenen Abweichungsarten bereits vorbeschrieben sind (vgl. Karlin 2004, S. 32).²⁵

3.2.4 Hochfrequente Transporte

Mittels des Konzepts der hochfrequenten Transporte wird eine praktische Umsetzung des Fluss-Prinzips angestrebt. Toyota (1998, S. 42) sieht die hochfrequenten Transporte als ein Kernelement

²³ Die dem Warenausgang vorgelagerten lieferanteninternen Prozesse werden gemäß der Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit (siehe 1.3) nicht weiter betrachtet. Hier gelten die Konzepte der Lean-Inhouse-Logistik.

²⁴ Die Checkliste kann auch als Abholliste oder Pickup-Sheet bezeichnet werden.

²⁵ Die Praxis entspricht dem „automatischen Bandstop“ in der Fertigung. Stellt ein Montagearbeiter einen Fehler fest, wird die Reißleine gezogen. Hierdurch wird der Teamleiter zur Fehlerbehebung hinzugezogen. Stellt der LKW-Fahrer einen Fehler fest, werden Waren nicht mitgenommen und ein Eskalationsprozess durch Einbeziehen der nächsthöheren Stufe ausgelöst. Der ausgelöste Eskalationsprozess beinhaltet immer die Suche nach dem Fehler und sollte den Fehler nachhaltig abstellen (vgl. Karlin 2004, S. 33).

der Lean Logistics zur Erzielung einer JIT-Belieferung. Durch das Konzept finden die folgenden Bedingungen ihre Umsetzung:

- Kein Vorziehen und Schieben der Bedarfe (Bedarfszeitraum)
- Keine Lager
- Minimale Umlaufbestände
- Hochfrequente Transporte

Konzeptbeschreibung

Nach dem Kunden-Prinzip werden produktionsgerechte Losgrößen und Abrufe statt logistikoptimierter Losgrößen favorisiert. Dies führt im Idealfall zu einem One-Piece-Flow, bei dem jedes Teil einzeln angeliefert wird. Diese höchstmögliche Transportfrequenz ist jedoch in der Inbound-Logistik sowohl prozessual als auch wirtschaftlich illusorisch.

Eine Literaturrecherche zeigt, dass sich konzeptuell eine regelmäßige, mindestens einmal täglich erfolgende Abholung beim Lieferanten durchgesetzt hat (vgl. Heizmann 2009, S. 40; Jones et al. 1997, S. 159; Klug 2018, S. 323; Liker 2004, S. 163; Takeda 2008, S. 64). Diese Frequenz wird im Logistiknetzwerk durch die Konsolidierung im Crossdock noch einmal gesteigert. Bei Toyota wird hierdurch eine sehr hohe Hauptauffrequenz erzielt, die es erlaubt, die Fahrzeugwerke in Zeitscheiben von zwei Stunden bis hin zu einer Stunde zu beliefern (vgl. Liker 2008, S. 263).

Die von der Transportfrequenz unabhängig verfolgte Zeitscheibensystematik teilt das Produktionsprogramm in einzelne damit korrespondierende Teilmengen ein (vgl. Klug 2008, S. 59; Heizmann 2009, S. 37). Die hierdurch mögliche Zuordnung der Lieferungen nach Zeitscheiben schafft eine praktikable Ordnungsstruktur, die bspw. bereits für die Hauptläufe genutzt werden kann. Dies offenbart ein Paradigma der Lean Logistics: Während im Werk die Zeit als flexible Variable gilt (ziehen der Bereitstellung mittels Kanban), wird die Variable der Zeit im Inbound-Netzwerk fixiert.²⁶ Durch den Wareneingang findet die notwendige Synchronisation der Systeme statt (siehe 3.2.7).

3.2.5 Feste Routen & Fahrplanktaltung

Das Konzept der festen Routen & Fahrplanktaltung wird in der Lean Logistics vielfach unter dem Begriff „Milkrun“ beschrieben (vgl. Baudin 2004, S. 134 f.; Womack und Jones 2003, S. 350; Silva et al. 2016, S. 650 f.). Meyer (2015, S. 40) nutzt den Begriff „Constant-Cycle“. Um die Konzepteigenschaften klarer zu benennen, wird nachfolgend von festen Routen & Fahrplanktaltung gesprochen. Hierdurch werden die folgenden Bedingungen erfüllt:

- Bestimmung des Abholtermins
- Feststehende Fahrpläne
- Feststehende Zeitfenster

²⁶ Dies gilt andersherum für die Teilmengen: In der Inbound-Logistik werden diese flexibel einer Zeitscheibe zugeteilt, während in der Inhouse-Logistik eine fixierte Teilmenge gezogen wird.

Konzeptbeschreibung

Das Konzept der Fahrplanktation basiert auf festen Routen mit jeweils definierten Zeitfenstern für die Ankunft und Abfahrt (vgl. Takeda 2008, S. 64). Es findet sowohl im Vorlauf als auch im Hauptlauf Anwendung. Im Vorlauf können die Transporte in Form einer Sammelgutabholung als Milkrun konzipiert sein, bei dem der LKW auf der festgelegten Route von Lieferant zu Lieferant fährt (vgl. Baudin 2004, S. 134). Der Hauptlauf stellt eine Direktrelation zum Fahrzeugwerk dar. Auch hier sind klare Zeitfenster definiert. Die Routen sind in beiden Fällen über einen mittelfristigen bis längerfristigen Zeitraum mitsamt den Zeitfenstern festgelegt, sodass sich alle Beteiligten hiernach richten und optimieren können. Beispielsweise plant Toyota North America die Routen zentral und justiert diese bis zu zehn Mal im Jahr (vgl. Ludwig 2013, S. 17). Die Zeitfenster sind bei Lean-Logistics-Fahrplänen zudem nicht wie frühere 24-Stunden-Anlieferfenster zu sehen, sondern reduzieren sich auf Zeitintervalle von 120 bis 20 Minuten (vgl. Martichenko und Taylor 2006, S. 8).

3.2.6 Crossdocking

Das Crossdock ist ein Bestandteil der zweistufigen Lieferkette und bezeichnet das Konzept für den Umschlag. In der Lean Logistics ist es ein wesentliches Konzeptelement zur Umsetzung des Fluss-Prinzips, um mit hochfrequenten Verkehren den Materialfluss mit dem Verbrauch im Fahrzeugwerk zu synchronisieren (vgl. Ludwig 2013, S. 20). Hierbei werden die nachfolgenden Bedingungen berücksichtigt:

- Keine Lager
- Minimale Umlaufbestände
- feststehende Zeitfenster
- feste Arbeitsintervalle

Konzeptbeschreibung

Die Funktionalität des Crossdocks innerhalb der zweistufigen Lieferkette ist die der Konsolidierung und Sortierung. Es wird lieferantennah angesiedelt, um im Vorlauf die gemeinsame Abholung für alle Fahrzeugwerke zu ermöglichen. Anschließend findet das Verfahren der nach Fahrzeugwerken gebündelten Mengen in Hauptläufen statt (vgl. Popp 2018, S. 49). Ziel ist es, hierdurch einen hohen Auslastungsgrad der Frachttäger und eine hohe Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses trotz hochfrequenter Transporte zu ermöglichen (vgl. Ludwig 2013, S. 20).

Auf strategischer Ebene unterscheidet sich ein Crossdock von einem herkömmlichen Verteilzentrum durch die Festlegung des schnellen Warenumschlages ohne Lagerhaltung. Es handelt sich somit um eine reine „Flow-Through Facility“ (vgl. Liker 2004, S. 203). Die Verweildauer der Ladungsträger im Crossdock ist hierdurch sehr begrenzt und zumeist kleiner als 24 Stunden (vgl. Karlin 2004, S. 19).

Eine weitere Festlegung ist, dass im Crossdock nur auf Sendungsebene sortiert wird. So sind die Ladungsträger bereits ab dem Lieferanten zielrein zusammengestellt (vgl. Gudehus 2010, S. 893 f.). Eine Kommissionierung auf Behälterebene ist ausgeschlossen. So kommen an einem Crossdock täglich mehrere Transporte an, deren Ladungsträger entsprechend den Zielorten auf Bereitstellflächen verteilt und anschließend auf Hauptlauf-LKW verladen werden.

Operativ finden die Arbeiten im Crossdock getaktet statt. Dies resultiert in einer getakteten und zeitenfensterbezogenen Be- und Entladung. Durch die hierzu harmonisierte Fahrplanktation werden Wartezeiten der LKW reduziert, während eine gleichmäßige Arbeitsbelastung innerhalb des Crossdocks besteht. Der Durchlauf der Sendungen wird im Crossdock durch ein internes Kanban- bzw. Ticket-System unterstützt (vgl. Karlin 2004, S. 35).

3.2.7 Anschlussfähigkeit: Lean-Inhouse-Konzepte ab dem Wareneingang

Zum Aufbau eines anschlussfähigen Bildes der Inbound-Logistik an die werksinterne Inhouse-Logistik werden nachfolgend in kurzer Form die Konzepte ab Wareneingang des Fahrzeugwerkes beschrieben. So gelten in der Lean-Inhouse-Logistik die gleichen Prinzipien wie bei der Inbound-Logistik (Abschnitt 2.1.2). Die Materialien werden vom Wareneingang ins Werk gezogen (Pull). Dabei durchlaufen sie möglichst wenig Handlingsstufen und Pufferzonen (Fluss) und gelangen passend zum Fertigungstakt an die Fertigungslinie (Kunde). Nach hochfrequenter, getakteter Ankunft der vom Crossdock kommenden Hauptläufe geschieht in idealer Weise dies:

Bereitstellung nach Zeitscheibensystematik

Die ankommenden Materialien werden im Wareneingang entladen und gemäß der geplanten Verbrauchszeit auf Bereitstellflächen platziert. Die so nach Zeitscheiben sortierten Materialien entsprechen dann einem Abschnitt des geplanten Produktionsprogramms (auch: Produktionsscheibe). Beispielsweise werden auf einer Bereitstellfläche alle Ladungsträger mit den Teilen des für „14–15 Uhr“ geplanten Programms gesammelt. Ein Tag hätte bei einem Dreischichtbetrieb dann 24 Zeitscheiben. Die nach Zeitscheiben sortierten Bereitstellflächen werden bei Toyota P-Lanes (Progress-Lanes) genannt, da sie die Inbound-Logistik von der Werkslogistik entkoppeln und es ermöglichen, die Produktionsscheiben gemäß dem Fertigungsfortschritt ins Werk zu ziehen (vgl. Nemoto et al. 2010, S. 5980).

Getaktete Routenzüge

Die bereitgestellten Materialien der Zeitscheibe „14–15 Uhr“ werden nachfolgend durch Routenzüge, beispielsweise durch Kanban gesteuert, ins Werk gezogen. Die Kanban-Steuerung ist eine von Toyota entwickelte kartenbasierte manuelle Methode sich selbst steuernder Regelkreise (vgl. Schürle 2009, S. 227 ff.). Durch die Kanban-Karten erfolgt so die Feinabstimmung zum aktuellen Fertigungsfortschritt des bis zum Wareneingang nur grob mittels des „verbindlichen Pull-Abrufs“ synchronisierten Materialstroms.

Routenzüge bestehen aus einem Zugfahrzeug mit mehreren Anhängern, auf denen die Ladungsträger verladen werden. In einem getakteten Rundlauf werden hiermit mehrere Empfänger – wie Supermärkte oder die Montagelinie – angefahren und es wird jeweils ein Vollgut-Leerguttausch durchgeführt (vgl. Günthner 2011, S. 12; Reuter 2009, S. 64). Das System entfaltet seine Vorteile vor allem dadurch, dass es sich gut zur Ausbringung vieler Kleinladungsträger eignet, deren Anzahl durch das Fluss-Prinzip und die Zielvision des One-Piece-Flow zunimmt. Ebenso entspricht es dem Prinzip der Taktung und wirkt beruhigend auf die Fabrikverkehre. Vereinfacht ist es daher oftmals das Ziel, in einer Fabrik ohne Gabelstapler auszukommen (vgl. Reuter 2009, S. 65).

Supermarkt Kommissionierung

Sofern die Routenzüge die angelieferten Materialien von den Bereitstellflächen nicht direkt an die Fertigungslinie fahren, werden sie an einen Supermarkt geliefert. Ausschlaggebend hierfür ist, ob die Teile, aus der Inbound-Logistik kommend, bereits ideal und dem Kunden-Prinzip entsprechend „mundgerecht“ für die Fertigungslinie vorbereitet sind (Ladungsträger, Verpackung, Lage, ...) oder noch im Supermarkt vorbereitet werden müssen.

So hat der Fertigungssupermarkt ähnlich wie sein Namensgeber aus dem Einzelhandel (vgl. Ohno 1988, S. 25 f.) die Funktion, die ankommenden Materialien zu portionieren, zu sortieren und zu sequenzieren, sodass sie ideal vom Kunden, in diesem Fall der Fertigungslinie, entgegengenommen werden können. Logistisch gesehen handelt es sich somit bei einem Supermarkt um eine fertigungsnahe Kommissionierfläche. Klug (2018, S. 225) zählt die Tätigkeiten des fertigungsnahe Supermarkts wie folgt auf:

- Bedarfsgesteuerte Kommissionierung von fahrzeugspezifischen Warenkörben
- Bedarfsgesteuerte Sequenzierung von Fahrzeugteilen
- Verbrauchsgesteuerter Materialnachschub für die Fertigungslinie
- Portionierung von Logistikeinheiten (Umpackvorgänge GLT auf KLT)

Bedarfsgerechte Bereitstellung

An die Fertigungslinie gelangen die Teile entweder durch einen Routenzug direkt von der Bereitstellfläche am Wareneingang oder mittels eines Routenzuges aus einem Supermarkt. Die Bereitstellung orientiert sich insbesondere an den Bedingungen des Kunden-Prinzips. So werden die Teile an der Fertigungslinie im sogenannten Werkerdreieck bereitgestellt. Das Werkerdreieck spannt sich bei einer fließbandbezogenen Tätigkeit zwischen dem örtlichen Anfang der taktgebundenen Montagetätigkeit, der Materialaufnahme an der Seite des Fließbandes und dem örtlichen Ende der Tätigkeit eines Montagewerkers auf. Mit dem Werkdreieck wird so der Raum für den idealen, verschwendungsarmen Bewegungsablauf des Werkers und die Bereitstellung der Logistik in der Montage beschrieben (vgl. Klug 2018, S. 299).

Technisch umgesetzt wird die konzentrierte Bereitstellung im Werkerdreieck oftmals mittels eines Durchlaufregals als Verbindungselement zwischen Routenzug und Montagetätigkeit. Ein Durchlaufregal besteht aus einer Rollenbahn, welche es ermöglicht, das Regal auf der einen Seite mit einem Ladungsträger zu bestücken, während der Ladungsträger zur Entnahme auf die andere Seite rollt. So kann erreicht werden, dass die Tätigkeiten der Logistik und der Fertigung konsequent getrennt sind, um störende Interdependenzen zu vermeiden. Gleichzeitig bedeutet das rein mechanische Funktionsprinzip eines Durchlaufregals (Ausnutzung der Schwerkraft) eine äußerst robuste, wartungsarme und günstige Technik.²⁷

²⁷ Die Nutzung äußerst einfacher technischer Prinzipien ist in der Lean Logistics unter dem Stichwort „Low-Cost-Automation (LCA)“ bekannt. Die Verfahren sind einfach, sollen Fehler vermeiden, die Eindeutigkeiten im Arbeitsablauf erhöhen und die Wirtschaftlichkeit verbessern. Auch soll erreicht werden, das notwendige Qualifikationsniveau zur Durchführung der Arbeitsschritte zu senken, sodass sich die Arbeitskräfte einfacher mit Ideen zu Verbesserungen einbringen können (vgl. Takeda 2006, S. 24 f.).

4 Anforderungsanalyse

Zur Bestimmung des Begriffs der Anforderung stützt sich diese Arbeit auf eine Definition aus der Qualitätswissenschaft. So definiert die DIN EN ISO 9000:2015 (DIN 2015, S. 39) eine Anforderung als ein Erfordernis oder eine Erwartung, das oder die festlegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend sind. Ziel des Kapitels ist es herauszuarbeiten, welche Erfordernisse die Voraussetzung dafür sind, dass die unter 3.2 beschriebenen Lean-Logistics-Konzepte umgesetzt werden können. In Analogie zur Materialwissenschaft, welche Anforderungen als physikalische Kenngrößen betrachtet, die Materialien für bestimmte Anwendungen aufweisen müssen (Bspw.: Härte, Zugfestigkeit – vgl. Weißbach et al. 2015, S. 483), sollen die Erfordernisse durch zu findende Kenngrößen der Randbedingungen und des Logistikprozesses selbst ausgedrückt werden.

Für die vorliegende Arbeit ergibt sich daraus die folgende Definition:

Eine Anforderung ist ein Erfordernis sowohl an die Randbedingungen als auch den Prozess der automobilen Inbound-Logistik, deren Erfüllung für die Einführung eines Lean-Logistik-Konzepts vorausgesetzt wird. Die Anforderung kann durch eine Kenngröße ausgedrückt werden.

4.1 Methodik

Zur Erfassung und Strukturierung von Anforderungen bestehen verschiedene Vorgehensmodelle, die zunächst betrachtet werden sollen.

4.1.1 Grundlagen & Voranalyse

Mit dem Fokus auf Ingenieursdisziplinen empfiehlt die VDI-Richtlinie 2221 ein schrittweises Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren, bei dem aus dem ersten Schritt des „Klärens und Präzisierens der Aufgabenstellung“ eine Anforderungsliste hervorgeht (vgl. VDI 1993, S. 9). Die VDI-Richtlinie geht jedoch nicht näher auf das methodische Vorgehen zur Erstellung dieser Liste ein. So werden das „Zusammentragen aller verfügbaren Informationen“ und das „Erkennen von Informationslücken“ nur abstrakt erwähnt, nicht aber beschrieben (vgl. VDI 1993, S. 10). Die VDI-Richtlinie zielt vor allem auf die Produktentwicklung und gibt Beispiele für die Bereiche Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Feinwerktechnik und Softwareentwicklung. Unter Anforderungen werden insbesondere Kunden-Anforderungen verstanden.

Beim speziellen Fokus auf der Softwareentwicklung, die bereits in der VDI-Richtlinie mit einem Beispiel bedacht ist, wird deutlich, dass hier dem Thema der Anforderungserhebung und -analyse ein sehr hoher Stellenwert beigemessen wird. Dies drückt sich in Form von Richtlinien und einer Vielzahl von Publikationen aus (bspw. Bourque und Fairley 2014; Chemuturi 2013; IEEE 1998).

Anforderungen werden im Rahmen der Softwareentwicklung nach funktionalen Anforderungen („Es bedarf eines Schalters, der das grüne Licht anstellt.“) und nicht-funktionalen Anforderungen („Der Prozess kann nur bei Tageslicht ablaufen.“) unterschieden (vgl. Bourque und Fairley 2014, S. 2). In Bezug auf die vorliegende Arbeit lässt sich feststellen, dass es sich um zu erhebende, nicht-

funktionale Anforderungen handelt. Es sollen die Anforderungen der Lean-Inbound-Logistik an die Randbedingungen und den Prozess der Logistik, also an das Logistiksystem als Ganzes, ermittelt werden.

Die IEEE-Richtlinie std 830-1998 zur Anforderungserhebung beschreibt Kriterien für die Formulierung von Anforderungen (vgl. IEEE 1998, S. 4). So sollten die Anforderungen wie folgt beschaffen sein:

- korrekt
- eindeutig
- vollständig
- konsistent
- nachprüfbar
- nach Wichtigkeit geordnet
- modifizierbar
- nachverfolgbar

Die ersten vier Ansprüche an die Eigenschaft einer Anforderung beziehen sich auf das Erheben und Zusammentragen der Anforderungen selbst (vgl. IEEE 1998, S. 4 ff.). Eine Anforderung sollte demnach korrekt und somit hinreichend genau begründet sein. Sie sollte eindeutig von den anderen Anforderungen abgegrenzt werden und nicht im Widerspruch oder in Abhängigkeit zu einer der anderen Anforderungen stehen. Zudem sollten nach Möglichkeit alle Anforderungen identifiziert werden. Die Ansprüche können für diese Arbeit übernommen werden.

Die letzten vier Ansprüche beziehen sich auf den späteren Umgang mit der Anforderung im Projektverlauf der Softwareentwicklung (vgl. IEEE 1998, S. 6 ff.). So soll die Erfüllung einer Anforderung, die beispielsweise in einem Pflichtenheft festgehalten wird, nachprüfbar sein, hierbei eine Ordnung bestehen und Änderungen sollen zum Beispiel durch die Nutzung einer Versionierungstabelle nachverfolgbar sein. Während die Nachprüfbarkeit einer Anforderung in dieser Arbeit im Mittelpunkt steht, richten sich die übrigen drei Kriterien an die Handhabung der Anforderungen im Verlauf eines Entwicklungsprojektes und haben daher nur geringe Relevanz. Die Nachprüfbarkeit soll im Rahmen dieser Arbeit jedoch konkret mit Hilfe von zu bildenden Kenngrößen erfolgen.

Die oben getroffene Feststellung, dass es sich um nicht-funktionale Anforderungen mit einem Bezug zum System der Inbound-Logistik handelt, lässt die Frage zu, wie im Bereich des System Engineering und der Systemanalyse Anforderungen erhoben und analysiert werden. So ist es interessant, dass auch der International Council of System Engineering, ähnlich wie die zuvor beschriebenen Ansprüche der IEEE-Richtlinie, Kriterien für Anforderungen aufstellt (vgl. INCOSE 2012, S. 13 ff.). So werden die gleichen Anspruchskriterien zuzüglich zweier weiterer aufgezählt. Die Anforderungen sollten demnach zusätzlich wie folgt beschaffen sein:

- singulär
- praktikabel

Die Eigenschaft der Singularität meint, dass sich eine Anforderung immer nur auf einen Sachverhalt beziehen sollte. Die Anforderungserhebung geschieht dabei zunächst textlich, um später modular in Gruppen nach einem singulären Bezug sortiert zu werden (vgl. INCOSE 2012, S. 16). Nur durch einen einzelnen Bezug kann im weiteren Verlauf jeweils eine Kennzahl pro Anforderung gebildet werden. Die Anforderungsbeschreibung im System Engineering erfolgt daher gestuft. Von einer einfachen kontextbezogenen Beschreibung der Anforderung hin zu einer abstrahierten modularen Beschreibung, die schließlich in gebündelter Form in eine spezifische Systemanforderung gewandelt wird (vgl. INCOSE 2012, S. 10 f.). Diese Vorgehensweise erscheint insbesondere für die in der vorliegenden Arbeit beabsichtigte spätere Erstellung von Kenngrößen als sinnvoll. Die weiterhin aufgeworfene Forderung nach Praktikabilität erschließt sich von selbst.

Um die initiale textliche Beschreibung der Anforderungen zu erlangen, werden in der Systemanalyse verschiedene Methoden vorgeschlagen. Bei der Primärerhebung werden die Anforderungen direkt, bspw. in einem Interview mit einem Prozessbeteiligten, erhoben, bei der Sekundärmethode werden die Anforderungen indirekt, mittels Auswertung vorhandener Dokumente, zusammengetragen. Typische Methoden der Primärerhebung sind die Interview-, Fragebogen- und Berichtsmethode sowie die Beobachtung (vgl. Chemuturi 2013, S. 34 ff.). Die Methode der Sekundärerhebung ist die der Literaturanalyse und Inventurmethode, bei der alle zur Verfügung stehenden schriftlichen Quellen ausgewertet werden (vgl. Krallmann et al. 2002, S. 64 ff.). Wie bereits in der Einleitung unter 1.4 vertreten, stützt sich diese Arbeit auf die Sekundärerhebung mittels Literatur, wobei die hier getroffenen Feststellungen mit den eigenen Beobachtungen abgeglichen wurden.

Tabelle 3: SIPOC-Analyse am Beispiel einer Autolackierung (in Anlehnung an: Lunau 2007, S. 35)

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Kunde	Auftrag	Start		
Karosseriebau	Fahrzeug	Fahrzeug erhalten		
		Aufbereiten		
Lackverkäufer	Lack	Grundierung		
		Decklack		
		Trocknen		
		Fahrzeug ausliefern	Fahrzeug	Kunde
		Ende		

Um eine systematische Untersuchung der in der Literatur beschriebenen Konzepte und der damit verbundenen Prozesse durchzuführen, können weitere Methoden der Prozessanalyse und Qualitätswissenschaft herangezogen werden. Methoden wie beispielsweise die Wertstromanalyse oder die Beschreibung mit ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) setzen auf eine systematische Prozessbeschreibung mittels Flussdiagrammen (vgl. Krallmann et al. 2002, S. 245 ff.; Rother und Shook 2003). Aus der Prozessbeschreibung leiten sich Maßnahmen und Anforderungen an eine Prozessänderung ab.

Die in der Qualitätswissenschaft genutzte Methode der SIPOC-Analyse erweitert methodisch den Blick auf die Randbedingungen des Prozesses. So strukturiert sie nach Supplier, Input, Process, Output und Customer (vgl. Schwulera 2004, S. 424 ff.).²⁸ Hierzu werden die wesentlichen Elemente mit Hilfe einer Tabelle abgebildet, wobei ein abstraktes Flussdiagramm des Prozesses im Mittelpunkt steht. Tabelle 3 zeigt hierzu das fiktive Beispiel einer SIPOC-Analyse für eine Autolackiererei. Die Tabelle eignet sich dazu, die einzelnen Elemente nachfolgend textlich zu beschreiben und zu untersuchen. Sie ist für das zuvor beschriebene Vorgehen der textlichen Identifizierung von Anforderungen geeignet, um einen möglichst vollständigen Überblick über die Anforderungen zu erlangen.

4.1.2 Vorgehensweise der durchgeführten Anforderungsanalyse

Die vorgenommene Auseinandersetzung mit den vorliegenden Vorgehensmodellen für die Erfassung und Analyse von Anforderungen favorisiert das von INCOSE (2012, S. 10 f.) vorgeschlagene Vorgehensschema. Demnach sollen zunächst kontextbezogen Anforderungen erhoben werden, diese modularisiert und anschließend gebündelt werden. Nachfolgend wird das so begründete schrittweise Vorgehen präzisiert.

1.) Anforderungserhebung

Basis der Anforderungserhebung bilden die in Kapitel 3 beschriebenen idealen Lean-Logistics-Konzepte. Die Konzepte werden einzeln, in der unter 3.2 gewählten Reihenfolge, untersucht, wobei zusätzliche Literatur herangezogen wird.

Zur Systematisierung des Vorgehens wird die SIPOC-Analyse herangezogen. Hierfür wird zunächst eine Tabelle nach dem Beispiel aus Tabelle 3 aufgebaut. In der anschließend qualitativ erfolgenden Analyse wird das Lineback-Prinzip, das auch in der Lean Logistics angewandt wird, genutzt (vgl. Meißner und Günthner 2009, S. 282). Das Konzept wird – ausgehend vom Customer, gefolgt vom Output, dem Prozess und seinem Input und dem Input-Lieferanten – auf seine Anforderungen hin untersucht. Das beim Customer startende Vorgehen der Untersuchung wird auch durch andere Autoren vorgeschlagen (vgl. Lunau 2007, S. 34).

2.) Anforderungsmodularisierung

Im Rahmen der Anforderungsmodularisierung findet eine modulare Ordnung der erhobenen Anforderungen statt. Hierzu wird jede Anforderung in ihrer Aussage verdichtet und tabellarisch beschrieben. Durch die Tabellenform wird die Einhaltung der eingangs unter 4.1.1 herausgearbeiteten Anforderungseigenschaften unterstützt:

- korrekt
- eindeutig
- vollständig
- konsistent

²⁸ Der Name der Methode leitet sich aus den Anfangsbuchstaben der betrachteten Bereiche Supplier, Intput, Process, Output, Customer ab.

- singularär

So besteht für jede Anforderung eine Tabelle nach dem Beispiel der .

Tabelle 4, die sich ausschließlich auf einen singularären Sachverhalt bezieht. Dieser muss durch einen Titel in wenigen Worten aussagekräftig beschreibbar sein. Hiernach folgt zeilenweise zunächst eine qualitative Beschreibung der Anforderung, die Nennung des Adressaten, von dem diese erfüllt werden muss, sowie die Ausweisung eines Bezugszeitraums, soweit dieser vorhanden ist. Hierdurch ergibt sich ein konsistentes Gesamtbild der Anforderung.

Tabelle 4: Muster einer Tabelle zur systematischen Anforderungsbeschreibung

Name der Anforderung (Titel)	
Qualitative Beschreibung	
Art	
Adressat der Anforderung	
Bezugszeitraum	

Bei der so vorgenommenen Anforderungsmodularisierung findet zudem eine Einordnung der Anforderung in drei Kategorien nach der Art der Anforderung statt. So kann eine Anforderung als Muss-, Soll- oder als Kann-Anforderung qualifiziert werden (vgl. Holzbaur 2007, S. 57). Die drei Arten sind in der anstehenden

Tabelle 5 nach in Wichtigkeit absteigender Reihenfolge beschrieben.

Tabelle 5: Anforderungskategorien

Muss-Anforderung	Zwingende Voraussetzung, deren Erfüllung zur Umsetzung des Konzeptes gegeben sein muss.
Soll-Anforderung	Nicht-zwingende Voraussetzung, deren Erfüllung wünschenswert ist. Der Erfüllungsgrad dieser Anforderung sollte Anlass zur Diskussion über die Umsetzbarkeit und das mögliche Vorgehen dazu sein.
Kann-Anforderung	Nicht-zwingende und nicht notwendigerweise zu erfüllende Anforderung, die jedoch Hinweise auf die Konzeptausgestaltung geben kann.

Im Sonderfall, dass sich eine Anforderung nur auf die Umsetzung eines anderen Konzepts bezieht, so wie die beispielhafte Forderung „Es muss das Konzept des vorgezogenen Wareneingangs umgesetzt sein“, wird nur der Titel der Tabelle ausgefüllt und eine Einordnung in die Art der Anforderung nach Muss, Soll und Kann vorgenommen.

3.) Anforderungsgruppierung

Ziel des Schrittes ist es, sich gleichende Anforderungen zu bündeln. Auf diese Weise kann, ohne den Konzeptbezug zu verlieren, eine einzelne Anforderungsdefinition pro Bündel herausgebildet werden. Hierdurch wird die Gesamtzahl der Anforderungen reduziert und die Basis für eine vereinfachte Kenngrößenbildung in Kapitel 6 gelegt. Abbildung 8 zeigt das Vorgehen der Anforderungsbündelung.

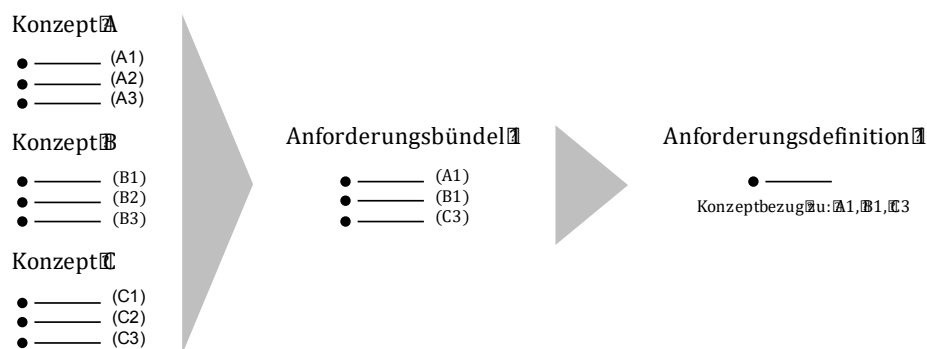


Abbildung 8: Prozess der Anforderungsbündelung

Dadurch, dass im Prozess der Bündelung nicht der ursprüngliche Konzeptbezug aufgegeben wird, verliert die Prüfung der Anforderung nicht ihren Aussagegehalt hinsichtlich der Umsetzbarkeit eines einzelnen Konzepts. Die Anforderungsbündelung und -definition erfolgt unter dem Aspekt der folgenden Anforderungseigenschaften:

- Nachprüfbar
- Praktikabilität

Die Anforderungstabelle wird durch die Angabe eines Bezugsobjekts sowie seiner Attribute, bspw. Bezugsobjekt „Bedarfsrechnung“ mit den Attributen „Bedarfsmenge“ sowie „Bedarfszeitpunkt“, weiter ergänzt. Dies soll die Eindeutigkeit einer Anforderung stärken und die spätere Bildung der Kenngrößen erleichtern.

4.1.3 Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen

Mit Hilfe der SIPOC-Methode wird im Rahmen der Anforderungserhebung eine systematische Betrachtung der Lean-Logistics-Konzepte vorgenommen, um die vorliegenden Anforderungen zu erfassen. Es wird somit von der Betrachtung des theoretischen Konzepts darauf geschlossen, dass die Anforderungen allgemein bei jeder realen Umsetzung gelten. Betrachtet man die Methode kritisch, kann hinterfragt werden, ob auf diese Art und Weise alle existierenden Anforderungen erfasst werden und ob diese wirklich in jeder realen Situation bestehen. Dem Arbeitsschritt der initialen Anforderungserhebung kommt deshalb eine entscheidende Bedeutung zu, da nachfolgend auf dieser Grundlage weitergearbeitet wird.

Um Fehler zu minimieren, wurden die Konzepte methodisch und hinsichtlich der sich gleichenden Arbeitsschritte untersucht. Dabei wurde hauptsächlich auf Basis der Auswertung vorhandener wissenschaftlicher und praxisorientierter Literatur vorgegangen, jedoch wie im Kapitel 3 zuvor wurden Erfahrungen aus Gesprächen, Besuchen und Dokumenteneinsichten der Praxis genutzt, um die Ergebnisse zu bestätigen. Die so identifizierten und zunächst qualitativ beschriebenen Anforderungen dürften daher eine realitätsnahe Zusammenstellung der Konzeptanforderungen ergeben. Wie Leffingwell und Widrig (2000, S. 83) jedoch feststellen, ist es das Phänomen der Anforderungen, dass diese niemals komplett sind. Eine spätere Ergänzung der in dieser Arbeit gefundenen Anforderungen sollte daher nicht ausgeschlossen werden.

Die gewählte Methodik lässt zudem die Frage zu, in welcher Abhängigkeit die identifizierten Anforderungen zueinander stehen. Da das gewählte Verfahren zunächst rein qualitativ vorgeht, könnten die Anforderungen logisch verkettet, sprich mathematisch abhängig oder unabhängig sein. Dieser auch durch die aufgestellten Kriterien der Konsistenz und Singularität hervorgehobene Aspekt könnte bei einer nicht erfolgten Identifikation zu Folgefehlern führen. Während die nicht bemerkte totale Äquivalenz zweier Anforderungen (Doppelprüfung) ein geringes Risiko bedeutet, können aus einer schwachen Äquivalenz die falschen Schlüsse gezogen werden. Bei dem Fall einer Anforderung A1, die automatisch zur Erfüllung der Anforderung A2 führt ($A_1 \Rightarrow A_2$), könnte die Erfüllung der Anforderung A2 fälschlicherweise so gedeutet werden, dass auch hier immer eine volle Anforderungserfüllung vorliegt. Die umgekehrte Äquivalenz besteht jedoch nicht (siehe auch Abbildung 9). Weiterhin könnte der Fall der Konjunktion zweier Anforderungen dazu führen, dass eine Anforderung übersehen wird, insbesondere dann, wenn der Bereich der Konjunktion der Anforderungen A1 und A2 recht groß ist ($A_1 \wedge A_2$). So könnte bspw. die gesamte Anforderung A2 übersehen werden und fälschlicherweise die Erfüllung von A1 als hinreichend interpretiert werden. Die beschriebenen und ähnlich gelagerte Fehler können nur durch sorgfältige Abwägung und Durchdringung der logischen Zusammenhänge verringert werden.

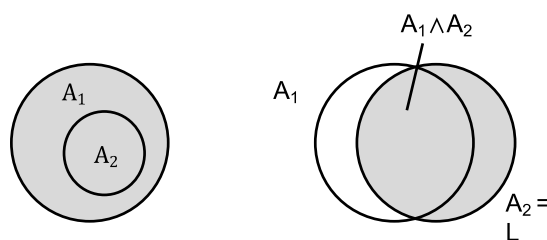


Abbildung 9: Äquivalenz und Konjunktion der Anforderungen A1 und A2

4.2 Anforderungserhebung

Gemäß der in 4.1.2 beschriebenen Vorgehensweise werden nachfolgend die einzelnen Konzepte aus 3.2 auf ihre Anforderungen hin analysiert. Dabei wird die SIPOC-Analyse von hinten nach vorne durchlaufen, sodass zuerst der Kunde und der Output betrachtet werden, um anschließend den Prozess und den hierfür notwendigen Input sowie Input-Lieferanten zu untersuchen.

4.2.1 Analyse des verbindlichen Pull-Abrufs

Beim verbindlichen Pull-Abruf handelt es sich um einen Teileabruf, der vom Fahrzeughersteller an die Lieferanten gesendet wird. Durch den Abruf wird der physische Prozess des Warenstroms angestoßen. Tabelle 6 gibt die SIPOC-Analyse des Konzepts wieder.

Tabelle 6: SIPOC-Analyse des verbindlichen Pull-Abrufs

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Kunden				
Programmplanung				
Fahrzeugwerke	Fahrzeugprogramm	Start		
Fertigung	Fertigungsbedarfe	Brutto- bedarfe		
		Liefereinteilung vornehmen		
		Teileabruf versenden	Verbindlicher Abruf	Lieferanten
		Ende		Fahrzeugwerke

Betrachtung der Customer

Kunde des verbindlichen Pull-Abrufs sind die Lieferanten. Sie verarbeiten den Abruf und stellen die Ware gemäß der Abrufinformation in den vereinbarten Ladungsträgern bereit.

Durch das Wort „Pull“ werden jedoch auch die Fahrzeugwerke – und hier konkret die Fertigung als Kunde – deutlich. Die Fahrzeugwerke ziehen ihren Fertigungsbedarf durch die Prozesskette. Der versendete Bedarf ist soweit spezifisch, dass die von den Lieferanten bereitgestellte Menge genau dem Abruf entsprechen muss, da nur der Fertigungsbedarf abgerufen wird. Hierdurch wird eine erste Anforderung deutlich. Die bereitgestellte Menge des Lieferanten muss genau dem Abruf entsprechen, da der direkte und ausschließliche Abruf der Fertigungsbedarfe ansonsten zu Engpässen führt.

Betrachtung des Outputs

Der Output ist der in seinem Wesen bereits in Abschnitt 3.2.1 beschriebene verbindliche Pull-Abruf. Hauptmerkmal ist, dass der Abruf über mehrere Tage in der Zukunft mengen- und zeitstabil ist. Dabei setzt sich ein Abruf aus bindenden Bestellmengen für die nächsten Tage nebst Vorschau für die darauffolgenden Wochen zusammen (vgl. Meyr 2004, S. 452). Gegenüber einem herkömmlichen Abruf wird zudem nicht der Liefertermin, sondern ein Bereitstelltermin versandt. Aus dem verbindlichen Pull-Abruf lässt sich somit die Anforderung generieren, dass sich in der bindenden Phase weder die Abrufmengen noch die Zeitpunkte für die Bereitstellung ändern dürfen.

Es stellt sich dabei die Frage, was die bindende Phase bedeutet und welche genaue Anforderung sich hieraus spezifizieren lässt. Zunächst beschreibt die bindende Phase einen Zeitraum. Eine Mindestanforderung lässt sich hierfür aus dem Grundgedanken der JIT-Belieferung konstruieren. So muss der Abruf (Menge, Bereitstellzeitpunkt) mindestens über die Dauer des Transportprozesses unverändert bleiben. Denn sollte währenddessen noch eine Änderung geschehen, passt die Liefermenge nicht mehr zum aktuellen Bedarf. In diesem Fall wäre eine Entkoppelung des Inbound-Prozesses vom Inhouse-Logistikprozess zwingend erforderlich, was dem Fluss-Prinzip widerspricht (siehe 3.1).

Viele Lean-Logistics-Publikationen schreiben dem verbindlichen Pull-Abruf darüber hinaus eine Beruhigung der Situation beim Lieferanten und in der weiteren Lieferkette zu (vgl. Grinninger u. Meißner 2006, S. 56). So sollten die Lieferanten den verbindlichen Abruf für die Optimierung der eigenen Produktion nutzen (vgl. Klug 2018, S. 324). In diesem Fall müsste der Zeitraum der Verbindlichkeit über die Transportzeit hinaus auch die Produktionszeit des Lieferanten umfassen. Der Zeitraum der bindenden Phase umfasst somit mindestens die Transportzeit und kann optional die Produktionszeit des Lieferanten und weitere Zeiten davor umfassen.

Betrachtung des Prozesses

Anders als bei den herkömmlichen Abrufen, bei denen durch Abgleich mit den Lagerbeständen der Nettobedarf die Basis des Abrufs darstellt, wird beim Pull-Abruf direkt der Fertigungsbedarf und damit der Bruttobedarf für die Erstellung des Abrufs genutzt. Aus dem Bruttobedarf wird durch die Materialdisposition eine Liefereinteilung für jeden Lieferanten erstellt. Diese wird traditionell von verschiedenen dispositiven Parametern beeinflusst (siehe Abbildung 10). Dispositionsparameter stellen Restriktionen dar, die sich aus der Fertigung, der Logistik sowie allgemein der Strategie ergeben. Bei der Generierung des verbindlichen Pull-Abrufs ist es das Ziel, die Bedarfsmenge so unverfälscht wie möglich an den Lieferanten weiterzugeben und somit die Einflüsse der Liefereinteilung zu minimieren.²⁹

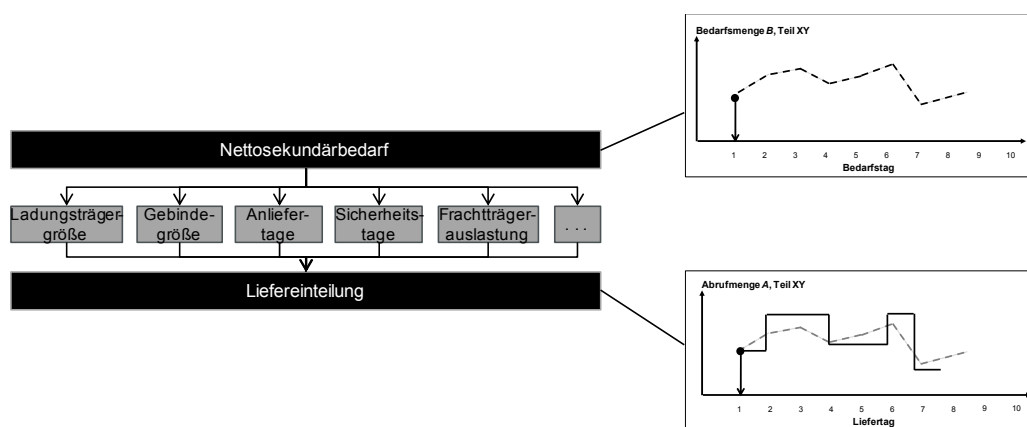


Abbildung 10: Bildung der Liefereinteilung mittels Dispositionsparameter (eigene Darstellung)

Bei der Erstellung der Liefereinteilung für den verbindlichen Pull-Abruf sind jedoch prozessbedingt Anpassungen der reinen Bedarfsmengen zwingend nötig. So wird die Teilemenge entsprechend der Ladungsträgergröße (Anzahl Teile im Behälter) angepasst, da in der Regel nur vollständig gefüllte Behälter abgerufen werden. Entspricht der Nettobedarf 256 Teilen einer Sachnummer, muss diese beispielsweise auf einen Ladungsträgerinhalt von 280 Teilen aufgerundet werden. Eine ähnliche Problematik besteht bei der Gebindegröße. Werden mehrere Kleinladungsträger auf einer Palette transportiert, besteht zumeist auf Grund der Stapelbarkeit im Transport die Vorgabe einer vollständigen Gebindelage. Im Sinne der Lean Logistics sollte die Gebindelage dann jedoch mit leeren Behältern aufgefüllt werden.

²⁹ Die Anpassung der Liefereinteilung gemäß der Lean Logistics wurde prototypisch im Rahmen einer Fallstudie durchgeführt. Siehe zu den Ergebnissen den Anhang A.5.

Weitere Größen der Liefereinteilung sind Anliefertage entsprechend den Öffnungszeiten der Lieferanten, den Entladestellen der Fahrzeugwerke und die Berücksichtigung von länderspezifischen Feiertagen. Letztendlich muss die Liefereinteilung die Restriktionen in der Rückwärtsterminierung so berücksichtigen, dass aus dem Bedarfstermin im Fahrzeugwerk ein Bereitstelltermin beim Lieferanten wird. Für die Rückwärtsterminierung müssen die Zeiten des Logistikprozesses bekannt und hinterlegt sein. Bei der Kalkulation der Zeiten kann ggf. durch das Einfügen von Entkopplungszeit (bspw. 2 Stunden „sleep time“, Toyota USA) berücksichtigt werden, dass z. B. durch Staus und Wettereinflüsse Verspätungen entstehen (vgl. Karlin 2004, S. 28). Weitere Parameter der herkömmlichen Liefereinteilung wie Sicherheitstage (Vortermminierung der Bedarfe) oder eine frachtkostenoptimierende Parametereinstellung entfallen (siehe auch 3.1).

Betrachtung des Inputs

Der Fertigungsbedarf als Ausgangspunkt der zuvor verwendeten Bruttobedarfe ergibt sich aus dem Fahrzeugprogramm, welches zuvor auf Basis von Händler- und Vertriebsdaten erstellt wurde. Dieses durchläuft in der Entstehung verschiedene Aggregationsebenen und Zeithorizonte, wobei die Überplanung revolvierend stattfindet. Um festzustellen, auf welches Element sich die Anforderung einer bindenden Phase (Teilemenge und Zeitpunkt) beziehen kann, wird nachfolgend die Entstehung des Fahrzeugprogramms näher beleuchtet.

Zu Anfang hat das Fahrzeugprogramm noch Prognosecharakter und beschränkt sich auf Märkte, Modelle und Stückzahlen (vgl. Zernechel 2007, S. 369). Es kann noch nicht zur konkreten Zuweisung der Anforderung genutzt werden. Mit fortschreitender Zeit wird die Prognose jedoch Schritt für Schritt verfeinert. So fließen Restriktionen des Einkaufs und der Logistik wie beispielsweise Informationen des Bedarfs- und Kapazitätsmanagements (BKM) in die Programmgestaltung ein, die sich aber noch auf einem hohen Aggregationslevel befindet (vgl. Meyr 2004, S. 255 ff.). Hieraus wird mit fortschreitender Zeit ein vorläufiges Produktionsprogramm gebildet, das bereits präzisere Eigenschaftszuweisungen aufweist. Es detailliert die Angaben um die Ausstattungsvarianten der Fahrzeuge, z. B. durch Motoren, Radio- und Klimalagen. Jedoch fehlt es noch immer an einer konkreten Fahrzeugwerks-, Lieferanten- und Zeitzuordnung, welche für den Inbound-Logistikprozess entscheidend sind. Der Prognosezeitraum (Vorplanung) wird nach und nach immer weiter mit konkret vorliegenden Kundenbestellungen nachpräzisiert. Die Zuweisung und Überplanung findet hierbei auf Wochenbasis statt (vgl. Holweg und Pil 2004, S. 29). Die Reihenfolge der Aufträge wird so immer konkreter und schon fast für den verbindlichen Pull-Abruf nutzbar. Der Zeitraum, in dem das Produktionsprogramm schließlich konkrete Bestellungen (Primärbedarfe) aufweist, liegt je nach Unternehmen und Marktlage zwischen zwei und zwölf Wochen, wobei in den letzten zwei Wochen vor Produktionstermin eine tägliche Bedarfsrechnung stattfindet (vgl. Zernechel 2007, S. 369).³⁰ Teilweise wird das Produktionsprogramm bis zu diesem Zeitpunkt zentral verwaltet, da, falls die Möglichkeit der Fertigung desselben Modells in mehreren Werken besteht, diese Flexibilität der Werkszuweisung ausgenutzt werden kann (vgl. Wagenitz 2007, S. 18).

³⁰ Entscheidend hierfür ist u. a. die Gestaltung des Auftragsabwicklungsprozesses. Kauft der Kunde vom Händlerbestand (Dealer Stock) und bestehen dabei frühzeitige Abnahmeverpflichtungen der Händler, ist der Zeitraum der eingeplanten Bestellungen größer als bei einer strengen Kundenauftragseinplanung (Build-to-Order) (vgl. Miemczyk und Holweg 2004, S. 71).

Spätestens ab der Werkszuweisung kann durch die Bedarfsrechnung, in der das Produktions- bzw. Fahrzeugprogramm mit Hilfe der technischen Stückliste jedes bestellten Fahrzeugs aufgelöst wird, der konkrete Bruttobedarf für jedes Teil berechnet werden. Ab hier liegen die Input-Daten für die Erstellung des verbindlichen Pull-Abrufs fest, da ein Bezug zwischen Teilebedarf, Lieferant und Empfangswerk hergestellt werden kann. Die Anforderung des verbindlichen Pull-Abrufs nach einer stabilen, sich in der Menge und den Zeitpunkten nicht ändernden Grundlage kann somit an die Bedarfsrechnung der Fahrzeugwerke gerichtet werden.

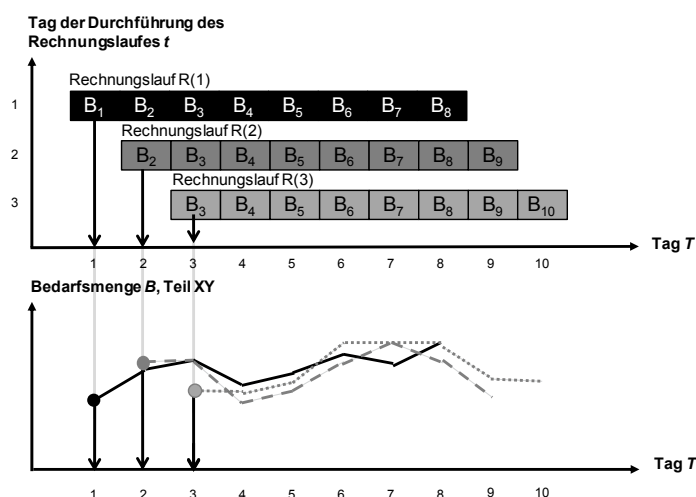


Abbildung 11: Bedarfsermittlung durch revolvierende Bedarfsrechnungsläufe (eigene Darstellung)

Dass das Fahrzeugprogramm und somit die Bedarfsrechnung verbindlich sind, ist keine Selbstverständlichkeit. Die Bedarfsrechnung der Fahrzeugwerke findet, wie durch Abbildung 11 illustriert, in der Regel täglich revolvierend statt. So wird jeden Tag ein Rechnungslauf durchgeführt, der den Bedarf des Tages und der weiteren Tage in der Vorschau ermittelt.³¹ Die Rechnungsläufe können, wie ersichtlich ist, mit jeder Aktualisierung in der Bedarfsmenge voneinander abweichen. Verantwortlich hierfür sind sowohl externe als auch interne Einflüsse. So führt das späte Zulassen von Auftragsänderungen durch den Kunden oder Händler, als Beispiel für einen externen Einfluss, zur Änderung des Programms und so zur Anpassung der Bedarfsmenge (vgl. Wagenitz 2007, S 17 f.). Die internen Ursachen sind so mannigfaltig, dass sie nicht vollständig erfasst werden können. Meißner (2009, S. 58 ff.) nennt beispielsweise kurzfristige Priorisierungen, Qualitätssperrungen, Nacharbeit oder Fehlteile als Ursachen der von der Fertigung selbstinduzierten Verwirbelung im Fahrzeugprogramm.

In vielen Fällen ruft eine Änderung der Fertigungsreihenfolge zudem weitere Verwirbelungen hervor, weswegen die eigentliche Ursache oft unklar ist. Zur Veranschaulichung lässt sich das folgende Beispiel konstruieren: In der Lackiererei kommt es zur Qualitätssperrung mehrerer Fahrzeuge. Zum Ausgleich werden andere Fahrzeuge im Programm zeitlich vorgezogen. Diese haben andere Ausstattungsmerkmale als die ursprünglich geplanten. In Folge des Vorziehens der

³¹ Mit Bezug auf das Inbound-Logistiknetzwerk stellt Baudin in einem Interview mit Heyn (2014, S. 2) fest, dass viele Analysten fälschlicherweise meinen, dass die Vorschau für die Lean Logistics keine Rolle spielt. Bei werksnahen durch Kanban gesteuerten oder an die Montagelinie angebundenen Lieferanten mag dies stimmen, jedoch nicht im Logistiknetzwerk.

Fahrzeuge kommt es zur Diskrepanz des Anliefertermins der hierfür benötigten Teile gegenüber dem Fertigungstermin. Dies führt schließlich dazu, dass Fehlteile nachfolgend eine weitere Verwirbelung auslösen.

Betrachtung der Supplier

Wie bereits in der Betrachtung des Inputs deutlich wurde, tragen mehrere Ebenen zum Entstehen der Fertigungsbedarfe bei. Angefangen vom Kunden über die Programmplanung hin zu den Fahrzeugwerken und schließlich zur Fertigung selbst werden das Fertigungsprogramm und der ausschlaggebende Bedarf geformt. Bei der Betrachtung der Supplier wird insbesondere ein weiterer Einfluss auf den Abruf deutlich. In Tabelle 6 steht das Wort „Fahrzeugwerke“ im Plural. Deutlich wird hierdurch, dass die vom Lieferanten zu produzierende und bereitzustellende Teilemenge mehrere Abnehmer haben kann. Insbesondere die Plattform- und Baukastenstrategie der Fahrzeughersteller, bei der versucht wird, möglichst viele Gleichteile über die Fahrzeugmodelle hinweg zu nutzen (vgl. Muffato 1999, S. 147; Volkswagen 2012), führt dazu, dass ein Teil mehrere Fahrzeugwerke als Abnehmer haben kann (siehe auch Fallstudie, Kapitel 7). Dieser Netzwerkeffekt wirkt sich erschwerend auf die Stabilität der Bedarfsmengen pro Teilenummer aus. Die Verwirbelung in einem Fahrzeugwerk kann dafür sorgen, dass die Summe des Teilebedarfs trotz der Stabilität der übrigen Fahrzeugwerke nicht verbindlich ist. Die Anforderung an die Stabilität des Bedarfs einer Teilenummer weitet sich demnach auf die Summe des Bedarfs aller Fahrzeugwerke aus, welche beim selben Lieferanten abrufen.

4.2.2 Analyse des Auftragsbezugs

Der Auftragsbezug weist jeder Teilelieferung im Inbound-Prozess einen Bedarf im Fahrzeugwerk zu (3.2.2). Das dahinterstehende Konzept wird nachfolgend beschrieben und auf seine Anforderungen hin durchleuchtet. Tabelle 7 gibt das Ergebnis der SIPOC-Analyse wieder.

Tabelle 7: SIPOC-Analyse des Auftragsbezugs

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Fahrzeugwerke	Teileabruf	Start		
	Fahrpläne	Abruf & Labeldaten		
	Labeldaten	Label drucken		Lieferanten
		Label an Behälter		Vorlauf
		Behälter bereitstellen	Label	Umschlagpunkt
		Ende		Hauptlauf
				Fahrzeugwerk

Betrachtung der Customer

Kunde des Auftragsbezugs ist in erster Linie das Fahrzeugwerk, dessen Teilebedarf ab Lieferant mit der Lieferung verbunden wird. Da das Konzept jedoch auch dem Lieferanten, dem Vor- und Hauptlaufpediteur und dem Umschlagspunktbetreiber Informationen zur Verfügung stellt, sind auch dies Kunden. Denn das Konzept entfaltet seine Durchgängigkeit über die gesamte Inbound-Logistikkette.

Betrachtung des Outputs

Der Output des Auftragsbezugs wird in Form des Transportlabels für alle Prozessteilnehmer ersichtlich.³² Das Paletten- bzw. Masterlabel fasst die übergreifenden Informationen zusammen, wobei die Palette als eine Sendung (oder Teil einer solchen) den gesamten Prozess durchläuft. Die Behälterlabel spezifizieren den konkreten Inhalt. Behälterlabel werden bei Toyota auch als externe Kanban-Label bezeichnet.

Durch das Behälterlabel wird die Teilenummer und -menge eindeutig einem Bedarfsort und -zeitpunkt zugeordnet. Die Bedarfsmenge des Pull-Abrufs wird hierdurch mit einer physischen Menge im Warenstrom kombiniert. Der Ort des Teilebedarfs braucht hierbei nicht immer der Verbauort sein, da die Feinsteuerung im Fahrzeugwerk oftmals mit Kanban-Karten erfolgt (3.2.7). So kann der werksinterne Bestimmungsort bspw. auch ein Fertigungssupermarkt sein, in dem die Teile nach Fahrzeugsequenz sortiert und entsprechend dem Fertigungsfortschritt von der Fertigungslinie abgerufen werden (vgl. Volkswagen 2016, S. 2). Durch die Anknüpfung an den Pull-Abruf wird deutlich, dass der Auftragsbezug zwingend die Umsetzung des Pull-Abrufs voraussetzt.



Empfangswerk		
Entlade- stelle	Werksinterne Information	
	Routen-Nr:	Ankunfts- datum & -zeit
Vorlauf		
Hauptlauf		
Nachlauf		
Werksintern		

Abbildung 12: Masterlabel Toyotas (eigene Darstellung)

Das Masterlabel ergänzt Informationen zur Lieferkette. Dies sind die LKW-Routen (Vor- und Hauptlauf), die damit verbundene Zwischenankunftszeit und Entladezeit sowie die Route und

³² Zusammenschlüsse verschiedener Automobilhersteller aus Europa (Odette), Japan (JAMA/JAPIA) und Nordamerika (AIAG) haben einen gemeinsamen Standard für das Transportlabel, das Global-Transport-Label (GTL), entwickelt. Dies kann unter Umständen für einen Lean-Logistics-Prozess genutzt werden. Jedoch zielt das Masterlabel von Toyota noch stärker auf die Unterstützung des Lean-Inbound-Prozesses ab (siehe Abbildung 12).

Bereitstellfläche im Crossdock (vgl. Ludwig 2013, S. 24). Neben der Abladestelle und dem Eintrefftermin im Fahrzeugwerk kann das Label auch die innerbetriebliche Route zum Bedarfsort enthalten (vgl. Volkswagen 2016, S. 2). Als Beispiel für ein derartiges Label ist in der Abbildung 12 das Masterlabel von Toyota aufbereitet. Die Wiedergabe der Zwischenankunftszeiten und Routen kann nur geschehen, wenn auch das Konzept der festen Routen und Fahrplanktation umgesetzt wird, sodass dies bereits die zweite Konzeptabhängigkeit ist, die als Anforderung identifiziert werden kann.

Um die Zeiten festzuschreiben zu können und somit eine verbindliche Übereinstimmung der Sendung zum Transport zu erzielen, nimmt der Fahrzeughersteller oder eine für ihn arbeitende zentrale Instanz die Transportbeauftragung der Spediteure vor. Der Auftragsbezug greift somit stark in den Prozess ein und bestimmt die Abläufe und Zuordnung. Um einen Transportauftrag generieren zu können, wird ebenso auf dem verbindlichen Pull-Abruf aufgebaut, da hier die genauen Informationen vorliegen, was wann transportiert werden muss. Durch die so vorbestimmten Abläufe und genaue Zuordnungen jeder Lieferung werden eine stark erhöhte Transparenz, aber auch eine Einschränkung des Prozesses erreicht.

Die Einschränkung der Handlungsfreiheit äußert sich darin, dass bspw. der Lieferant nicht mehr den Versand gemäß seiner eigenen Optimierungsstrategie auslösen kann. So könnte ein Lieferant für den Fall, dass seine eigene Produktion bereits abgeschlossen ist, die Teile für die nächste Schicht oder auch den nächsten Tag avisieren und abholen lassen. Da der Auftragsbezug den einzelnen Teileumfängen jedoch gemäß dem Pull-Prinzip eine Abholzeit, die Zwischenzeiten und eine Ankunftszeit zuweist, ist kein Verschieben der Teilelieferung mehr möglich. Das Gleiche gilt für die Spediteure und Umschlagpunktbetreiber, welche die LKW-Auslastung nicht nach eigenem Ermessen optimieren können. Vielmehr läuft der Prozess strikt entsprechend der Rückwärtsterminierung, sodass keine Lager und Bestände durch „zu frühe“ Teilelieferungen entstehen.

Die durch die Zuordnung und Label entstandene Transparenz ermöglicht einen weiteren Output. So lässt sich die Einhaltung der Planung bei jedem informativ festgehaltenen Zwischenschritt überprüfen. Daher wird das Konzept in 3.2.2 auch als Qualitätsbaustein bezeichnet. Karlin (2004, S. 33) beschreibt den Ablauf für den Fall eines Crossdocks im amerikanischen Inbound-Netzwerk von Toyota. So dient die Bereitstellfläche, die durch die Beschilderung in

Abbildung 13 ausgewiesen wird, zwischen 23:50 und 13:55 dem Sammeln des Materials für die Hauptlauf-Route 3010. Sollte jedoch Material während dieser Zeit ankommen, welches auf Grund seines auftragsbezogenen Labels der späteren Route 3090 zugeordnet werden kann, wird der Fehler sofort bemerkt. So kann der festgeschriebene Eskalationsprozess zur Problemlösung aktiviert werden.

Ähnlich wie im vorherigen Beispiel führt Ludwig (2013, S. 24) das Beispiel einer LKW-Entladung in einem Crossdock Toyotas an, bei dem zu wenig Material angeliefert wird. So werden die Paletten bei dem beschriebenen Crossdock während der Entladung mit elektronischen Handgeräten gescannt,

die automatisch einen Fehler anzeigen, wenn die Ladung nicht dem vom Fahrzeughersteller generierten Transportauftrag bzw. Avis entspricht.

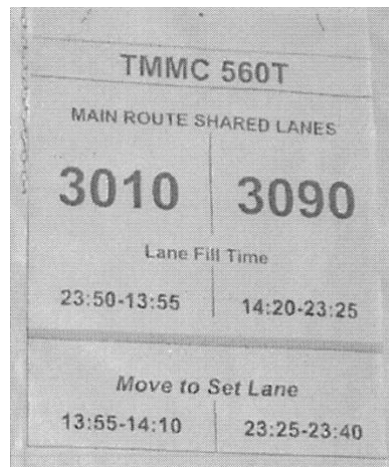


Abbildung 13: Beschilderung einer Bereitstellfläche für Hauptläufe (Karlin 2004, S. 34)

Betrachtung des Prozesses

Um den Auftragsbezug herzustellen, bekommt der Lieferant vom Fahrzeughersteller die Daten für die Label und Sendungsbegleitpapiere zur Verfügung gestellt. Er muss dann nur noch die Behälterlabel und den dazugehörigen Sendungsbeleg ausdrucken und an den entsprechenden Behältern anbringen. Der Zeitpunkt, ab dem die notwendige Stabilität hierfür besteht, lässt sich als der „verbindliche Zeitpunkt“ definieren. Zu diesem Zeitpunkt stehen alle notwendigen Informationen zur Verfügung, ändern sich nicht mehr und das Label mit den vollständigen Angaben kann gedruckt werden (vgl. VDA 2016c, S. 41). Ideal wäre, wenn die verbindliche Periode für die gesamte Zeit der Produktion des Lieferanten besteht. In diesem Fall könnte bedarfssynchron gefertigt werden.

Ab dem Zeitpunkt des Anbringens der Label und der anschließend erfolgenden Abholung, initiiert durch den Transportauftrag, besteht der Auftragsbezug in der gesamten Inbound-Prozesskette. Alle Prozesse können sich fortan an die genauen Vorgaben halten. Durch die exakte Vorbestimmung der Abläufe werden jedoch hohe Standards an die Arbeitsqualität der Prozessteilnehmer gelegt. Die genaue Einhaltung wird äußerst wichtig, da Abweichungen auf Grund der genauen Vorgaben nur durch Sonderprozesse ausgeglichen werden können. So schreibt Liker (2004, S. 199), dass Toyota unbedingt die Erfüllung der gesetzten Standards von allen Prozessteilnehmern erwartet. Durch den Auftragsbezug steigt damit die Anforderung an die Arbeitsgenauigkeit in der Inbound-Logistik.

Betrachtung des Inputs

Der Input des Auftragsbezugs sind die warenbegleitenden Belege (Sendungsbeleg, Palettenlabel, Behälterlabel), welche an die Lieferanten versandt werden, sowie die Transportaufträge an die übrigen Prozessteilnehmer (Vor- und Hauptlauf, Crossdock), deren Daten denen der Sendungsbelege entsprechen. Die Daten hierfür können nur vom Fahrzeughersteller oder einem zentralen Netzbetreiber generiert werden, da anders als beim konventionellen Prozessablauf in der Automobilindustrie nicht nur ein Teileabruf erfolgt, sondern detaillierte Vorgaben zum Prozess

(Routen, Zeiten etc.) gemacht werden.³³ So übernimmt im Falle Toyotas der Fahrzeughersteller selbst diese Aufgabe (vgl. Ludwig 2013, S. 20).

Die für den Prozessinput erforderlichen Daten stammen aus der gleichen Basis wie der verbindliche Pull-Abruf und werden durch Rückwärtsterminierung (Line-Back) generiert. Hierfür ist es wichtig, die genauen Durchlaufzeiten des Materials zu kennen: Vom Werksdurchlauf über den Wareneingang, den Hauptlauf, das Crossdock, den Vorlauf bis hin zu der Zeit, die der Lieferant nach Eingang des verbindlichen Pull-Abrufs bis zur Warenbereitstellung braucht (Abbildung 5). Basierend auf der so stattfindenden Rückwärtsterminierung werden die Routen zugeordnet. Um die Terminierung so zu gestalten, dass der Prozess real auf diese Weise ablaufen kann, müssen weitere Restriktionen, bspw. die Laderaumverfügbarkeiten, berücksichtigt werden. Um das Konzept umzusetzen, muss sich ein Fahrzeughersteller somit weitreichende Kompetenzen aneignen oder diese zukaufen.

Betrachtung der Supplier

Supplier des Auftragsbezugs ist der Automobilhersteller. Die Fahrzeugwerke stellen die Daten zur Generierung des Auftragsbezugs durch die Label und den Transportauftrag zur Verfügung.

4.2.3 Analyse des vorgezogenen Wareneingangs

Beim Konzept des vorgezogenen Wareneingangs handelt es sich um den wichtigsten Qualitätsbaustein der Lean-Inbound-Logistikette. Die Überprüfung der Bereitstellung soll eine frühzeitige und präzise Aussage über den Erfüllungsgrad des Abrufs beim Lieferanten ergeben und so die gesamte Prozesskette absichern. Die zum Konzept durchgeführte SIPOC-Analyse zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: SIPOC-Analyse des vorgezogenen Wareneingangs

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Fahrzeugwerke	Fahrzeugprogramm	Start		
Fertigung	Verb. Pull-Abruf	Eingang Abruf		
Lieferant	Label	Schritt 1: Prüfung durch Lieferant	Quittierung. Lieferant	
	Transportauftrag			
	Bereitgestellte Ware	Schritt 2: Prüfung durch Spediteur	Quittierung Spediteur	
		Abfahrt Spediteur	Ausgelöster Eskalationsprozess	Fahrzeugwerke
		Ende		

³³ Ein Transportauftrag durch den Fahrzeughersteller setzt „Ex-Works“-Frankaturen im Logistiknetzwerk voraus, was heute in der Automobilindustrie Europas üblich ist. Eine Steuerung des Logistiknetzwerks durch den Automobilhersteller ist auf Grund der sonst bestehenden Einzellösungen je Lieferanten unmöglich und ist zwingende Voraussetzung für die Konzepte der Lean-Inbound-Logistik. Die Ergebnisse der Arbeit können daher nur begrenzt auf Länder wie China übertragen werden, wo „Frei-Haus“-Lieferungen vielfach die Standardanlieferungsform darstellen.

Betrachtung der Customer

Endkunde des Prozesses ist das Fahrzeugwerk. Es ist Abnehmer des beim Lieferanten in Form des vorgezogenen Wareneingangs geprüften Warenstroms und hochgradig von einer korrekten Erfüllung abhängig, wenn auch der Pull-Abruf umgesetzt wird. Ziel ist daher immer die 100-Prozent-Erfüllung des Abrufs.

Betrachtung des Outputs

Auf Basis des Warenstroms bewirken der vorgezogene Wareneingang und die bei Abweichung ausgelösten Eskalationsprozesse eine hohe Erfüllung des Teileabrufs. Das frühzeitige Erkennen und Managen der Abweichung ermöglicht es, mit entsprechenden Maßnahmen im logistischen Ablauf zu reagieren (vgl. Klug 2018, S. 322).

Betrachtung des Prozesses

Wie bereits in der Konzeptbeschreibung unter 3.2.3 geschildert, besteht der Prozess des vorgezogenen Wareneingangs aus zwei Schritten. Abbildung 14 visualisiert diese.

Im ersten Schritt 1 bekommt der Lieferant den Abruf übersendet und prüft, ob dieser von ihm erfüllt werden kann. Der Fahrzeughersteller definiert über die hierbei vorgenommene Rückwärtsterminierung (2.1.3), welche Teile wann abgeholt werden, und stellt die Daten für die Sendungsbelege und Label bereit. Die kumulative Erfüllung der Abrufmenge einer bestimmten Periode, bei der die Abrufe zwar in der Gesamtheit erfüllt werden, die Erfüllungszeitpunkte jedoch leicht nach vorne oder nach hinten geschoben werden können, ist hierdurch nicht mehr möglich. Im Idealfall beinhaltet der Prozess eine Quittierung des Abrufs.

Im nachfolgenden Schritt 2 wird eine Überprüfung der bereitgestellten Waren vom LKW-Fahrer des Vorlaufspediteurs vorgenommen. Hierfür nutzt er die vom Fahrzeughersteller in Verbindung mit dem Transportauftrag zur Verfügung gestellten Papiere. Bei den Papieren handelt es sich im Allgemeinen um Checklisten (vgl. Karlin 2004, S. 32; Schneider 2016, S. 233). Das Vorgehen entspricht nicht der einfachen Colli-Kontrolle, sondern einer genauen Prüfung nach Behälterart, Teilenummer und angegebener Teilemenge. Hierfür werden die Behälterlabel genutzt, da in der Regel keine Behälter zur Kontrolle geöffnet werden. Der Automobilzulieferer Delphi umschreibt die Durchführung in seinem Lean Logistics Network (LLN) wie folgt (vgl. Delphi 2015, S. 28): Für den Fahrer muss ausreichend Zugang bestehen, um die Teilenummern und Teilemenge zu überprüfen. Die Label müssen hierfür sichtbar nach außen zeigend angebracht sein. Die Waren werden nicht aufgeladen und mitgenommen, wenn keine Verifizierung vorgenommen werden konnte. Die Kontrolle kann durch elektronische Scanner unterstützt werden (vgl. Klug 2018, S. 322; Ludwig 2013, S. 23).

Wird im Schritt 2 eine Abweichung festgestellt, hat der Lieferant die Chance, den Fehler in der Zeit des vorbestimmten Abholzeitfensters zu korrigieren. Ist alles erfüllt, quittiert dies der LKW-Fahrer. Ansonsten wird der Eskalationsprozess ausgelöst und – je nach Art des Fehlers – vorbestimmte Meldestufen innerhalb der Lieferkette werden kontaktiert. In jedem Fall verlässt der LKW den Hof

des Lieferanten gemäß Fahrplan des Vorlaufs. Der Lieferant trägt die Kosten sowie die Organisation der Nachlieferung (vgl. Karlin 2004, S. 32).

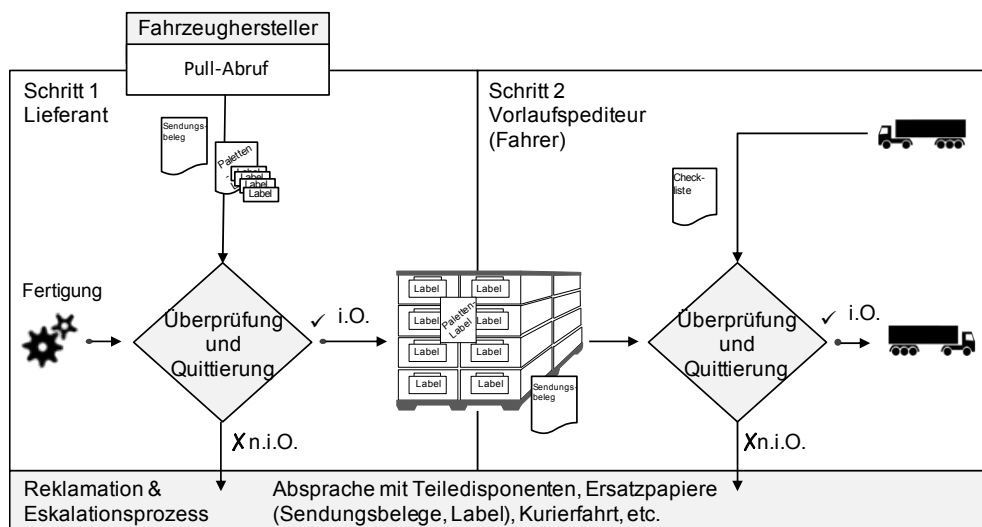


Abbildung 14: Zweistufiger Prüfprozess des vorgezogenen Wareneingangs (eigene Darstellung)

Aus den beiden beschriebenen Schritten wird besonders deutlich, dass der vorgezogene Wareneingang eine hohe Anforderung an die Arbeitsqualität sowohl des Lieferanten als auch des Spediteurs stellt.

Der Lieferant hat die Ware akkurat nach Abruf bereitzustellen und auch die Abweichung zu melden. Da vom Spediteur insbesondere bei Kleinteilen keine Prüfung der inhaltlichen Übereinstimmung einer Labelangabe mit dem Behälterinhalt (Teileart und -menge) durch Öffnen des Behälters mehr durchgeführt werden kann, besteht eine Entdeckenswahrscheinlichkeit vor Ankunft im Fahrzeugwerk von nahezu null. So besteht die Anforderung für eine Prozessumstellung, dass die Bereitstellung durch den Lieferanten bereits zuvor auf hohem Niveau erfolgen sollte (vgl. Schneider 2016, S. 234).

Auch die Tätigkeit des Vorlaufspediteurs erfordert ein sehr genaues, unbeeinflusstes Arbeiten und Kommunizieren der Fehler. Nur wenn hier sorgfältig gearbeitet wird, können entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Die Sendungsprüfung, die der LKW-Fahrer bereits heute anhand der Sendungsbelege bei der Übernahme vornimmt, wird insofern verschärft, als jeder einzelne Behälter geprüft werden sollte. Für die Lean Logistics ist die Bewertung der akkuraten Arbeitsausführung des Spediteurs daher sehr wichtig (vgl. Heyn 2014, S. 5). Die bereits heute stattfindende Arbeit kann hierdurch als Gütemaßstab herangezogen werden, ob die Voraussetzung besteht, die Anforderungen noch einmal zu erhöhen.

Betrachtung des Inputs

Der vom Fahrzeughersteller erzeugte verbindliche Pull-Abruf ist die Grundlage des vorgezogenen Wareneingangs. Liegt keine Verbindlichkeit der Abrufmenge vor, ist es nicht möglich, einen für die Prozessdurchführung akkuraten Transportauftrag inklusive der Checklisten für den vorgezogenen Wareneingang zu generieren. In diesem Fall kann es sein, dass die bereitgestellte Ware nicht der Checkliste entspricht, weil beide auf unterschiedliche Zeitpunkte und damit geänderte Mengen

referenzieren. Die Verbindlichkeit des Abrufs ist damit zwingende Voraussetzung für die Umsetzung des Konzepts (3.2.1). Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, kann der Abruf nur kumulativ im Wareneingang des Fahrzeugherstellers erfüllt werden. In diesem Fall bedarf es keiner vertieften Prüfung und es bräuchte nur die herkömmliche Systematik der Prüfung der Sendungsbelege gegenüber der Bereitstellung auf Colli-Ebene. Der Pull-Bestandteil des Abrufs ist nicht zwingend erforderlich zur Durchführung des Konzepts.

Als Input sind auch der Auftragsbezug und hier insbesondere die Transport- und Behälterlabel zu werten (3.2.2). Dadurch, dass die Label im Rahmen des Auftragsbezugs vom Fahrzeughersteller bereitgestellt werden, wird der vorgezogene Wareneingang zusätzlich abgesichert. Treten bei der Prüfung der Bereitstellung Abweichungen auf, müssen diese gemeldet werden, da die Label nur vom Hersteller entsprechend angepasst werden können. Die Einhaltung des offiziellen Reklamations- und Eskalationsprozesses wird somit erzwungen. Als Anforderung kann somit auch die Umsetzung des Auftragsbezugs identifiziert werden. Diese sollte im idealen Fall vorliegen.

Betrachtung der Supplier

Suppliers des Inputs sind die Fahrzeugwerke oder eine damit verbundene und für das Logistiknetzwerk zuständige Instanz. Die Fahrzeugwerke generieren die Abruf- und Labeldaten sowie den Transportauftrag inkl. Checklisten.

4.2.4 Analyse der hochfrequenten Transporte

Hochfrequente Transporte sind Kernbestandteil der Lean Logistics. Sie sorgen dafür, dass die Teile in einem kontinuierlichen Fluss in kleinen Losgrößen zum Fahrzeugwerk und schließlich an die Fertigungslinie gelangen. Wie in 3.2.4 ausgeführt, liegt die übliche Frequenz bei mindestens einer Abholung pro Tag. Tabelle 9 gibt die angefertigte SIPOC-Analyse des Konzepts wieder.

Tabelle 9: SIPOC-Analyse der hochfrequenten Transporte

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Fahrzeugwerke	Fahrzeugprogramm			
	Fertigungsbedarf	Start		
	Transportbedarf	Abfahrt		
		Vorlauf Sammelroute	Hohe Vorlauffrequenz	Lieferanten
		Crossdocking	Schneller Umschlag	Umschlagpunkt
		Hauptlauf Direkttransport	Hohe Hauptlauffrequenz	Fahrzeugwerke
		Ankunft		
		Ende		

Betrachtung der Customer

Kunden des Konzepts der hochfrequenten Transporte im Inbound-Netzwerk sind primär die Fahrzeugwerke. Die hochfrequente Anlieferung ist nach der Line-back-Sichtweise die logische Konsequenz der bedarfsgerechten und in kleinen Losgrößen stattfindenden Bereitstellung an der Fertigungslinie, die über hochfrequent stattfindende Routenverkehre an den möglichst lagerlosen Wareneingang angebunden ist. Neben den Fahrzeugwerken sind die sekundären Faktoren des Konzepts die Lieferanten und der Umschlagpunkt. Durch den erhöhten Warenumschlag verringern sich auch hier die Bestände.

Betrachtung des Outputs

Der Output des Konzepts ist die hohe Vorlauf- und Hauptlauffrequenz der Transporte. Weiterhin steigt die Umschlaghäufigkeit. Durch die gestiegene Frequenz erhöht sich zudem die Reaktionsfähigkeit des Gesamtsystems. Wird beispielsweise ein Qualitätsfehler innerhalb einer Lieferung bemerkt, betrifft dies nicht eine gesamte Wochenlieferung, sondern bestenfalls eine untertägige Liefermenge. Ein schnelles Feedback zum Lieferanten kann dafür sorgen, dass der Fehler abgestellt wird und nach Möglichkeit bereits die nächsten Lieferungen in Ordnung sind. Kurzfristig sorgt die hochfrequente lagerlose Anlieferung bei Qualitätsmängeln jedoch dafür, dass Abweichprozesse durchgeführt werden müssen, da keine Ausgleichsmenge aus dem Lager entnommen werden kann.

Betrachtung des Prozesses

Wie Karlin (2004, S. 46) ausführt, wird innerhalb des Vorlaufs eines Lean-Logistics-Systems nach Möglichkeit nicht nur ein LKW gesendet, der eine (große) Tagesmenge abholt. Stattdessen werden bevorzugt mehrere LKWs in regelmäßigen Abständen über den Tag verteilt gesendet, die in einem Rundlauf jeweils kleinere Losgrößen von mehreren Lieferanten aufnehmen. Die gebildete Vorlaufroute wird hierfür zum Zweck der Frequenzerhöhung gespiegelt, sodass sich zeitlich hintereinanderliegend mehrfach die gleiche Routendurchführung an einem Tag ergibt.

Nach dem Vorlauf wird das Material im Crossdock auf die Hauptlauf Routen verteilt. Durch das über mehrere Lieferanten konsolidierte größere Hauptlaufvolumen ist es möglich, die Frequenz noch einmal zu steigern und dennoch mit vollen LKW-Ladungen zu fahren. Die anstehende Abbildung 15 verdeutlicht diese erneute Frequenzsteigerung. Innerhalb des Fahrzeugwerks wird schließlich eine weitere Frequenzerhöhung mittels P-Lanes und der Ausbringung in Routenzügen durchgeführt (3.2.7). Hierzu kann auch ein werksnahe Crossdock beitragen.

Das Beispiel in Abbildung 15 zeigt, wie das Material eines Lieferanten durch vier Vorläufe abgeholt und in acht Hauptläufen zum Fahrzeugwerk gefahren wird. Hier erhöht sich die Frequenz noch einmal auf schließlich 24 Anlieferungen an den Verbauort pro Tag. Ersichtlich wird, dass innerhalb der Lean Logistics innerhalb jeder Prozessstufe eine Erhöhung der Frequenz vorgenommen wird.

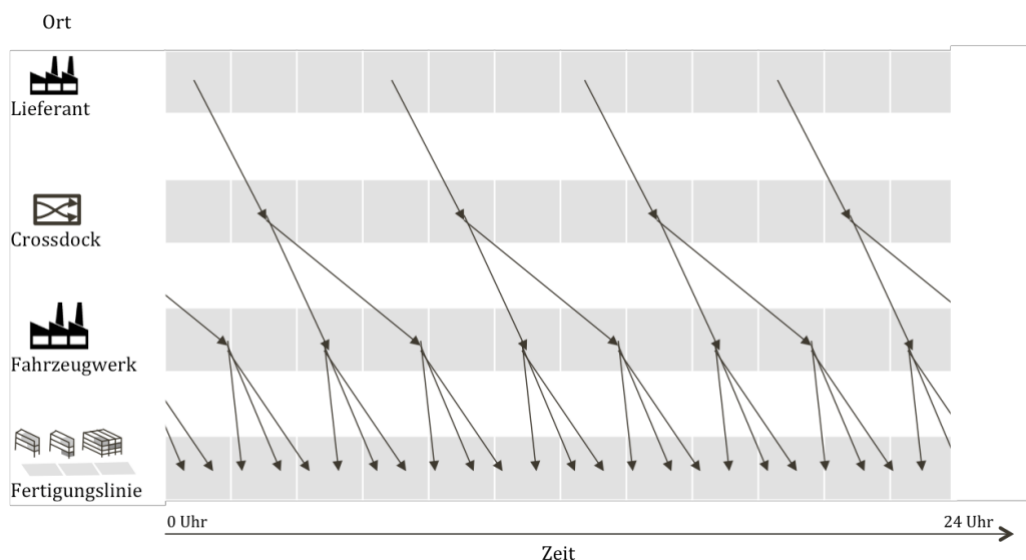


Abbildung 15: Frequenzerhöhung im Anliefernetzwerk (eigene Darstellung)

Wie bereits eingangs hervorgehoben, fordert das Konzept mindestens eine Abholung am Tag. Das Beispiel von vier Abholungen erfüllt diese Anforderung somit. Eine solch hohe Frequenz kann jedoch nur erreicht werden, wenn hierfür genügend Transportvolumen besteht. Zur Umsetzbarkeit muss somit ein hinreichend großes Transportvolumen vorliegen, um mindestens einmal am Tag eine Abholung zu rechtfertigen.

Bei der Anforderungsformulierung kann berücksichtigt werden, dass Einzelteile oder auch Kleinstmengen zumeist nicht in das normale Transportnetzwerk integriert werden, sodass eine untere Grenze für das Transportvolumen besteht.³⁴ Dahinter steht das Problem der Laderaumausnutzung, da in diesem Fall nicht auf Standardbehälter zurückgegriffen werden kann (Stapelbarkeit, ...) und infolgedessen der Wirtschaftlichkeit der Transporte abnimmt. Weiterhin führen sehr kleine Mengen zu langen und schwierig zusammenzustellenden Sammelrouten im Vorlauf, sodass die Praktikabilität bei einer großen Anzahl kleiner Transportvolumen sinkt.

Bei der Betrachtung der Anforderung sollte zudem die Schwankung des Transportvolumens geprüft werden. Ist die Schwankung sehr groß, kann dies ebenfalls zu teils sehr kleinen Mengen und einer nicht umsetzbaren hohen Frequenz führen.

Betrachtung des Inputs

Input des Prozesses sind die vom Lieferanten bereitgestellten und durch den Abruf definierten Liefermengen, welche den Transportbedarf in Form des Transportvolumens und -gewichts ergeben. Verfolgt man die Kette zurück, ergibt auch aus dem Fertigungsbedarf der Fahrzeugwerke bei bestehender Pull-Systematik direkt der Transportbedarf. Aus der Anzahl und dem Gewicht der benötigten Teile ergibt sich gepaart mit dem zugewiesenen Transportbehälter das

³⁴ Einzelteile und Kleinstmengen werden in der Regel über das Paket- und Kuriernetz externer Dienstleister (KEP), die sich auf solche Sendungsgrößen spezialisiert haben, abgewickelt.

Transportvolumen und -gewicht.³⁵ Die identifizierte Anforderung an ein hinreichend großes nicht schwankendes Transportvolumen richtet sich somit an diesen Prozessinput.

Betrachtung der Supplier

Supplier des Konzepts sind die Fahrzeugwerke, aus deren Fahrzeugprogramm sich der Fertigungs- und anschließend der Transportbedarf ergibt.

4.2.5 Analyse der festen Routen und Fahrplantaktung

Wie in 3.2.5 beschrieben, sind die wesentlichen Merkmale des Konzepts die für eine bestimmte Periode festgeschriebenen Routen sowie ein Fahrplan mit festgeschriebenen Ankunfts- und Abfahrtszeitfenstern. Tabelle 10 führt die Ergebnisse der SIPOC-Analyse auf.

Tabelle 10: SIPOC-Analyse der festen Routen und Fahrplantaktung

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Fahrzeugwerke	Fahrzeugprogramm	Start Abfahrt Hinfahrt Beladen Rückfahrt Entladen Ankunft Ende	Durchgeführter Fahrplan	Lieferanten Vorlauf Umschlagpunkt Hauptlauf Fahrzeugwerk Fertigung
	Transportbedarf			
	Routen			
	Fahrplan			

Betrachtung der Customers

Kunden des Konzepts sind die gesamten Prozessteilnehmer der Inbound-Logistikkette. So findet das Konzept im Vorlauf zwischen den Lieferanten und dem Crossdock sowie im Hauptlauf zwischen dem Crossdock und den Fahrzeugwerken Anwendung.

Betrachtung des Outputs

Als Output des Konzepts besteht ein vorgeplanter und regelmäßiger Fahrplan, der für die Prozessteilnehmer eine erhöhte Planungssicherheit und weniger Koordinierungsaufwand bedeutet (vgl. Karlin 2004, S. 64). Die Vor- und Hauptlaufpediteure können ihre Kapazität innerhalb der festgeschriebenen Fahrplanperiode exakt optimieren. Das Gleiche gilt für die Lieferanten, das Crossdock sowie die Warenannahme der Fahrzeugwerke. Diese können die Arbeitsplanung und den Flächenbedarf für Stellflächen anpassen und optimieren. Im Empfangswerk kann zudem mittels der

³⁵ In der Regel definieren die Automobilhersteller in ihren Lieferbedingungen und Verpackungsvorschriften Standardbehälter für jede Teilnummer. Dem Standardbehälter ist eine Anzahl an Teilen und ein Volumen und Gewicht zugewiesen.

Zeitscheibensortierung eine Taktsynchronisation der eingehenden getakteten Verkehre mit der Taktrate der Fahrzeugfertigung vollzogen werden (P-Lanes, Abschnitt 3.2.7). Die höhere Planungssicherheit wirkt sich letztendlich wirtschaftlich aus, da Überkapazitäten abgebaut werden können, sich Wartezeiten verringern und kurzfristige Spitzen nicht durch teure – bspw. am Spotmarkt beschaffte – Ladekapazitäten aufgefangen werden müssen.

Betrachtung des Prozesses

Der Vorlaufspediteur fährt in Rundtouren, auch Milkruns genannt, von Lieferant zu Lieferant (Abbildung 16). Die Reihenfolge innerhalb der Route sowie die Zeiten hierfür sind mittels eines Fahrplans festgelegt und werden in Zyklen durchgeführt. Die Route beginnt beim Crossdock, in dem die Leerbehälter der Lieferanten aufgeladen werden. Die Leerbehälter befinden sich im Rücklauf aus den Fahrzeugwerken kommend. Nach dem Beladen wird der erste Lieferant der Route angefahren und hier ein Leergut-Vollgut-Tausch vollzogen. Das Gleiche vollzieht sich bei den darauffolgenden Lieferanten, bis das Leergut vollständig durch volle Behälter, gemäß dem Abruf, ersetzt ist und das Crossdock angefahren werden kann.

Durch diese Systematik ergibt sich die erste Anforderung. Der vorgehaltene Laderaum pro Lieferant ist im Idealfall eines sich zyklisch gleichenden Milkruns über die gesamte Gültigkeit des Fahrplans gleichbleibend. Hierdurch darf das Liefervolumen innerhalb der Gültigkeitsperiode keinen großen Schwankungen unterliegen, da ansonsten entweder der Laderaum nicht ausreicht oder eine nur sehr geringe Auslastung besteht.

Ähnlich sieht es für den Hauptlauf aus. Für den Hauptlauf zwischen einem Crossdock und einem Fahrzeugwerk existiert ebenso ein Fahrplan, wobei eine 1:1-Beziehung besteht und nicht mehrere Fahrzeugwerke angefahren werden. Das im Crossdock konsolidierte Liefervolumen wird vom Spediteur in geplanten, regelmäßig stattfindenden Transporten zum Fahrzeugwerk gefahren.

Operative Voraussetzung für einen Fahrplan ist es weiterhin, dass die Zeiten eingehalten werden. Wie bereits beim Konzept des vorgezogenen Wareneingangs beschrieben, verlässt der LKW den Lieferanten daher planmäßig, auch wenn noch keine Ware verladen ist, um innerhalb der Zeitplanung des Routenfahrplans zu bleiben (vgl. Kalrin 2004, S. 32). Der Lieferant muss selbstverschuldete Verspätungen ausgleichen.

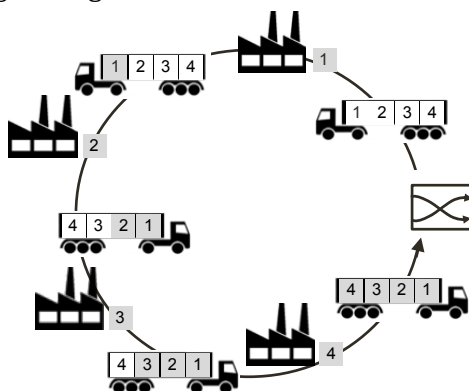


Abbildung 16: Milkrun mit Leergut-Vollgut-Tausch und „reserviertem“ Laderaum (eigene Darstellung)

Betrachtung des Inputs

Input zur Durchführung des Prozesses ist der generierte Fahrplan. Die Fahrpläne gelten jeweils für eine bestimmte Fahrplanperiode. Innerhalb dieser Periode bleiben die Routen (Weg, Zeit) unverändert. Toyota North America (TEMA) plant und überplant bspw. die Routen bis zu zehnmal im Jahr, sodass sich Fahrplanperioden von vier bis fünf Wochen ergeben (vgl. Ludwig 2013, S. 17).

Grundsätzliche Voraussetzung zur Bildung der Fahrpläne ist die bereits identifizierte Anforderung, dass das Transportvolumen hinreichend stabil ist. Bei konstanten, täglich wiederkehrenden Zyklen kommt es ansonsten zu Minderauslastungen. Der eingeplante und somit reservierte Laderaum bleibt in Teilen ungenutzt.

Eine weitere ergänzende Anforderung ist, dass die Vorhersage des Transportvolumens hinreichend genau sein muss. In diesem Fall können der Fahrplan und die reservierten Laderäume so angepasst werden, dass auf leicht schwankende Liefermengen reagiert wird, ohne die grundsätzlich bestehende Fahrplansystematik in Frage zu stellen. Diese zweite formulierte Anforderung ist jedoch zur ersten Anforderung nachrangig. Besteht ein äußerst konstantes Transportvolumen, ist die Vorhersage ohnehin erfüllt, da immer die gleiche Menge gefahren wird (Konjunktion der Anforderungen).

Zur Generierung der Fahrpläne liegen verschiedene Verfahren vor. Insbesondere die Bildung der Rundtour im Vorlauf stellt einen komplexen Optimierungsfall mit zum Teil konkurrierenden Optimierungskriterien dar. Dies können bspw. die Wegstrecke, Auslastung, Kosten oder die Frequenz sein. Oftmals ist es nicht möglich, in einer annehmbaren Zeit eine eindeutige Lösung zu ermitteln, da der Lösungsraum zu groß ist. So bieten sich heuristische Verfahren der Operations Research an, welche durch vergleichsweise wenig Rechenoperationen eine vergleichsweise gute Lösung des Problems hervorbringen. Beispiele sind der Nächster-Nachbar-Algorithmus oder der Saving-Algorithmus (vgl. Kämpf 2006, S. 53 f. und S. 58 f.). Gudehus (2010, S. 789) weist jedoch darauf hin, dass es in vielen Fällen einfacher und ausreichend sein kann, eine analytische Herangehensweise zur Bestimmung des Fahrweges zu wählen. Er schlägt hierfür die Streifenstrategie oder das Drehstrahlverfahren vor, bei denen die Standorte der Lieferanten auf einer geografischen Karte eingetragen werden.

Unabhängig von der Lösungsstrategie zur Bildung der Routen müssen die Eingangsdaten bekannt sein, an die sich auch die Anforderungen richten. Dies sind neben dem Ort des Lieferanten vor allem die Transportbedarfe der Fahrzeugwerke. Auch müssen zur Generierung der Fahrpläne die Durchlaufzeiten sowie umweltbezogene Verzögerungen durch bspw. Staus bekannt sein. So plant Toyota für die einzelnen Routen eine „sleep time“ ein, die ein LKW bei einem idealen Durchlauf vor dem Crossdock wartet, um eventuelle Verzögerungen auszugleichen und konstante Routenzeiten zu ermöglichen (vgl. Karlin 2004, S. 22 f.).

Tabelle 11: Beispiel einer Fahrplaninformation für den Lieferanten

Lieferant A						
Route 2030	7:15	9:30	11:45	13:45	15:30	16:45
Teilnummer A	x		x		x	
Teilnummer B	x	x	x	x	x	x
Teilnummer C		x		x		x

Nach Erstellung der generellen Fahrpläne werden die Informationen zusammengestellt und den Prozessteilnehmern zur Verfügung gestellt. Das Beispiel in Tabelle 11 zeigt die Fahrplaninformation für den Lieferanten A. In der Regel müssen die Lieferanten und übrigen Prozessteilnehmer zu den Entwürfen der Fahrpläne Stellung beziehen, sodass am Ende ein von allen Teilnehmern angenommener Fahrplan vorliegt.

Betrachtung der Supplier

Supplier des Konzepts ist in erster Linie der Fahrzeughersteller. Er ist für das Fahrzeugprogramm, die Lieferantenauswahl und die Wahl des Crossdock-Standorts direkt oder zumindest indirekt verantwortlich. Aus den Transportbedarfen aller Fahrzeugwerke ergibt sich das Transportvolumen, welches Basis für die Routengestaltung und Fahrpläne ist.

4.2.6 Analyse des Crossdockings

Das Crossdock ermöglicht die Konsolidierung der Vorlaufvolumina, um eine möglichst wirtschaftliche Frequenzsteigerung in der Anlieferung der Fahrzeugwerke durch Hauptläufe zu realisieren (Abbildung 15). Die zum Konzept durchgeführte SIPOC-Analyse zeigt Tabelle 12.

Tabelle 12: SIPOC-Analyse des Crossdockings

Supplier	Input	Logistik-Prozess	Output	Customer
Fahrzeugwerke	Fahrzeugprogramm	Start Entladen Verteilen auf Sammelfläche Verfahren auf Bereitstellfläche Beladen Ende	Gebündeltes Hauptlaufvolumen	Hauptlaufpediteur
	Routen & Fahrplan			
Vorlaufpediteur	Vorlauf			
	Transportvolumen			

Betrachtung der Customers

Direkter Kunde des Crossdocks ist der Hauptlaufpediteur. Er nimmt die Dienstleistung des Crossdocks in Anspruch. Der Vorlaufpediteur ist ebenso Kunde, aber auch Input-Lieferant.

Betrachtung des Outputs

Output ist das gebündelte und auf die Hauptläufe sortierte Transportvolumen. Hieran kann die Anforderung nach einer fehlerfreien Sortierung gestellt werden.

Betrachtung des Prozesses

Innerhalb der Crossdocks erfolgt eine einfache Prozessorganisation anhand der Prinzipien der Lean Logistics. So soll sich ein fließender Materialstrom einstellen, der Verschwendung auf ein Minimum reduziert (vgl. Liker 2008, S. 263).

Die Wege durch das Crossdock sind möglichst kurz und entsprechen einem direkten Fluss bspw. von links nach rechts (siehe Abbildung 17). Die LKWs kommen getaktet, in Zeitfenstern und vorbestimmten Routen an (3.2.5). Die Entladung erfolgt auf eine Fläche an der Laderampe, sodass ein nachfolgendes Verfahren der einzelnen Paletten und Behälter auf Sammelflächen erfolgen kann. Da gemäß dem Auftragsbezug bereits die Zusammenstellung der Sendungen beim Lieferanten erfolgte, bedarf es keiner Neusortierung und neuer Transportlabel. Die Sammelflächen befinden sich in der Mitte des Crossdocks und sind nach Hauptläufen entsprechend der Zieldestination geordnet.³⁶ Wenn die Zeit für die Beladung eines Hauptlaufs heranrückt, werden die gesammelten Sendungen auf eine Bereitstellfläche an der Laderampe verfahren. Diese hat die Größe eines LKW und erlaubt die Zusammenstellung der Ladung, wie sie auch später auf dem LKW erfolgen soll (vgl. Karlin 2004, S. 34). Hierzu sind die Bereitstellflächen klar durch Bodenmarkierungen visualisiert, nach Hauptlaufkennungen nummeriert und weisen abgehängte Höhenbegrenzungen auf, um die maximale Packhöhe auf dem LKW anzuzeigen. Je höher die Vorlauf- und Hauptlauffrequenz ist, desto schneller fließt der beschriebene Prozess.

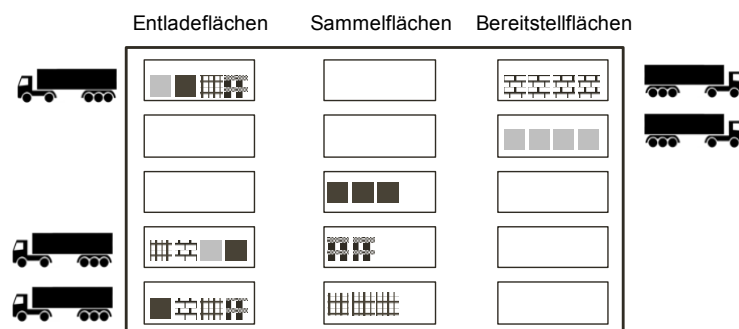


Abbildung 17: Prinzipskizze zum Aufbau eines Crossdocks (eigene Darstellung)

Da dem Crossdock die einzelnen Routen mit den angefahrenen Lieferanten sowie die Hauptläufe bekannt sind, wird jedem einzelnen Ladungsträger oder Gebinde ein vorbereitetes Ticket (auch: Crossdock-Kanban) mit den internen Routeninformationen des Crossdocks angehängt (vgl. Karlin 2004, S. 35). Die Tickets werden nur im Crossdock verwendet und bei der Verladung wieder eingesammelt. Sie finden durch die feststehenden Fahrpläne rotierend Verwendung, sodass sie auch dazu genutzt werden, Fehler anzuzeigen. Kommt beispielsweise ein Vorlauf ohne eine Sendung eines auf der Route liegenden Lieferanten an, fällt dies durch das übrig bleibende Crossdock-Ticket auf. Zur Zuordnung enthalten die Tickets verschiedene Informationen wie die Vorlauf-Routennummer

³⁶ Die Sortierung kann zusätzlich nach Zeitscheiben geschehen (siehe Erläuterung unter 3.2.4 und 3.2.7).

(sub-route), den Lieferanten, die Hauptlauf-Routennummer (main-route), die internen Zeiten für das Bereitstellen (set-time) sowie das Beladezeitfenster (load-time). Die Abbildung 18 zeigt hierzu das Foto eines Tickets aus einem von Transfreight für Toyota in den USA betriebenen Crossdock. Um den Prozess getaktet ablaufen zu lassen, erfolgt eine Unterstützung der Arbeiten mittels Andon-Tafeln, welche den Teams (Entlader, Gabelstaplerfahrer etc.) ihren Status, beispielsweise mit grünen Lichtern für „On Time“ und Orange für „leichte Verspätung“ bis hin zu Rot für „zu spät“, aufzeigen (vgl. Ludwig 2013, S. 24).

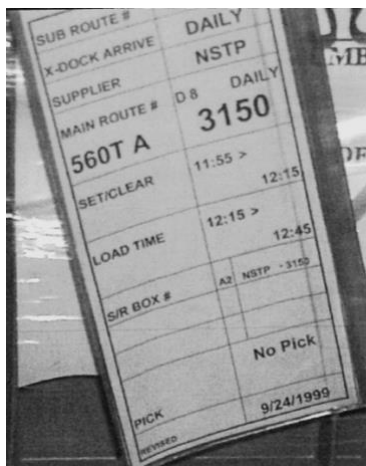


Abbildung 18: Crossdock-Ticket zur internen Koordinierung und Kontrolle (Karlin 2004, S. 36)

Die Qualitätskontrolle findet durch die Crossdock-Mitarbeiter auf Basis der Label im Abgleich zu den internen Tickets statt. Tritt ein Fehler auf, wird zunächst der Teamleiter informiert. Dieser hilft, den Fehler abzustellen, und greift unterstützend ein, um bspw. Verspätungen auszugleichen (vgl. Karlin 2004, S. 41 f.). Bei fehlenden Sendungsbestandteilen oder anderen prozessgefährdenden Fehlern wird der übergreifende Eskalationsprozess ausgelöst und bspw. der Teilemanager des Fahrzeugherstellers involviert. Unter dem Gesichtspunkt der kontinuierlichen Verbesserung wird im Crossdock versucht, soweit eigenverantwortet, den Fehler nachhaltig abzustellen (vgl. Liker 2004, S. 206 f.).

Betrachtung des Inputs

Input des Crossdocks ist die Ladung der Vorläufe. Der Input ist dabei dafür entscheidend, wie gut das Crossdock seine Funktion als Durchflusseinrichtung erfüllen kann. Je hochfrequenter der Input aus den Vorläufen ist, desto schneller kann das Material weitergeleitet werden. Besteht jedoch bspw. nur ein Vorlauf pro Woche, der mit einer relativ großen Liefermenge eines Lieferanten ankommt, müssen die Lieferungen ggf. über mehrere Tage gemäß der Lean-Strategie auf die entsprechenden Hauptläufe aufgeteilt werden. Hierdurch entsteht ein Bestand beim Crossdock, der durch die Zielsetzung einer reinen Durchflusseinrichtung nicht gewollt ist. Daher kann die Anforderung abgeleitet werden, dass die ankommenden Transporte hochfrequent stattfinden.

Einen weiteren Input stellen die feststehenden Fahrpläne im Vor- und Hauptlauf dar. Diese sind entscheidend dafür, dass auch im Crossdock in Takten gearbeitet werden kann. Bestehen keine Fahrpläne, kann das Crossdock reagieren und eine Zeitfenstervergabe einführen. Die Anforderung

an die Umsetzung des Konzepts der festen Routen und Fahrpläne betrifft daher nur den Idealfall der Lean Logistics.

Um das Crossdock auszulegen und eine gleichmäßige Nutzung der Kapazitäten zu ermöglichen, sollte die Auslastung des gesamten über das Crossdock abgewickelten Transportvolumens gleichmäßig sein. Unter anderem sind die Flächenbedarfe auf die maximale Auslastung auszulegen. Die hierdurch formulierbare Anforderung an die Auslastung stellt sich jedoch bei jedem Umschlagspunkt und ist nicht ausschlaggebend für die Umsetzung des spezifischen Crossdocks-Konzepts mit seinem wesentlichen Merkmal des schnellen Durchflusses.

Betrachtung der Supplier

Supplier des Crossdocks sind die Vorlaufspediteure, welche die durch das Crossdock zu routenden Sendungen anliefern. Indirekter Supplier sind die Fahrzeugwerke, die für den Transportbedarf sorgen.

4.3 Anforderungsmodularisierung

Nachfolgend werden die zuvor in Textform beschriebenen und mittels der SIPOC-Analyse identifizierten Anforderungen einzeln in komprimierter Form beschrieben und einer Tabellenform zugeführt. Diese sich ergebenden und alphabetisch nummerierten Anforderungs-Module dienen als Basis für die im nächsten Schritt 4.4 stattfindende Bündelung der Anforderungen. Die Bearbeitung erfolgt in der gleichen Konzeptreihenfolge wie bei der ursprünglichen Anforderungserhebung unter 4.2.

Die zu den komprimierten Anforderungen gehörenden Tabellen sind dem Anhang A.3 zu entnehmen. Entsprechend erfolgen hierauf gezielt Verweise. Durch die abschließende Bündelung im nachfolgenden Abschnitt ist das Endergebnis der Formalisierung und somit die finale Form der Tabellen unter 4.4 zu finden.

4.3.1 Anforderungen des verbindlichen Pull-Abrufs

Die unter 4.2.1 vorgenommene Analyse stellt zunächst fest, dass sich in der bindenden Phase des Abrufs weder die Bedarfsmengen noch die Zeitpunkte für den Bedarf ändern dürfen. Die hierdurch für den Lieferanten planbare Zeitphase umfasst dabei mindestens die Transportzeit und kann optional die Produktionszeit des Lieferanten sowie weitere Zeiten davor umfassen. Nur wenn die Fahrzeugwerke hierfür die Voraussetzung schaffen, kann mittels der Liefereinteilung ein der Lean Logistics entsprechender verbindlicher Abruf versendet werden.

Weiterhin wird bei der Analyse des Inputs festgestellt, dass sich die Anforderung auf die Summe des Teilebedarfs aller Fahrzeugwerke bezieht, welche beim selben Lieferanten abrufen. Die Summe des Teilebedarfs muss zwingend hinreichend planbar sein. Planbarkeit besteht, wenn die in der Vorschau angegebene Teilemenge über mehrere Tage unverändert bleibt und sich schließlich im Verbau realisiert. Hieraus ergibt sich die erste Anforderung:

⇒ **Anforderung A1: Planbarkeit des Teilebedarfs**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 21)

Als weitere Anforderung wurde festgestellt, dass zur Umsetzung der Pull-Systematik, bei der im Rahmen der Liefereinteilung keine zusätzlichen Sicherheitsmengen abgerufen werden, ein sehr hoher Erfüllungsgrad des Abrufs vorliegen sollte. Die Erfüllung bezieht sich durch die Einflussmöglichkeiten aller Prozessteilnehmer innerhalb der Logistikkette, vom Lieferanten über den Spediteur und Umschlagspunktbetreiber, auf den gesamten Inbound-Prozess und kann somit an dessen Ende im Wareneingang der Fahrzeugwerke überprüft werden.

⇒ **Anforderung A2: Erfüllungsgrad des Abrufs**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 22)

Die beiden Anforderungen A1 und A2 sind eindeutig in ihrem Bezug und werden als unabhängig voneinander interpretiert.

4.3.2 Anforderungen des Auftragsbezugs

Durch die Analyse unter 4.2.2 wird deutlich, dass der Auftragsbezug zwingend die Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs benötigt, ohne den keine Verbindung zwischen den Produktionsbedarfen (Menge, Zeit, Ort) und einer bestimmten Teilmenge in der Lieferkette möglich ist. Erst durch die Pull-Systematik ist es dem Fahrzeughersteller möglich, die hierfür notwendigen Label zu generieren und bereitzustellen. Weiterhin darf sich der zur Herstellung des Auftragsbezugs zugrunde gelegte Abruf während der gesamten Prozesslaufzeit nicht mehr ändern, sodass neben dem Pull auch die Verbindlichkeit des Abrufs eine Voraussetzung für den durchgängigen Auftragsbezug ist.

⇒ **Anforderung B1: Umsetzung des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 23)

Weiterhin wurde bei der Analyse des Auftragsbezugs bei der Betrachtung des Inhalts der Transportlabel deutlich, dass diese, neben der Referenz auf den Bedarfszeitpunkt und -ort, die Zwischenzeiten sowie die definierten Routen enthalten. Daher kann als weitere Voraussetzung die Umsetzung des Konzepts der festen Routen und Fahrpläne identifiziert werden. Es handelt sich jedoch nur um eine Sollte-Anforderung, da das Hauptmerkmal des Auftragsbezugs die Verbindung des Produktionsbedarfs mit der dazugehörigen Liefermenge ist.

⇒ **Anforderung B2: Umsetzung des Konzepts der festen Routen und Fahrpläntaktung**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 24)

Eine weitere Anforderung ergibt sich aus dem Umstand, dass durch den Auftragsbezug die Prozessabläufe der Inbound-Logistik exakt vorbestimmt werden, während die Handlungsfreiheit und Flexibilität abnehmen. Die Analyse stellt daher eine stark gestiegene Anforderung an die Arbeitsgenauigkeit aller Prozessteilnehmer fest. Als Voraussetzung für das Konzept sollte daher bereits vor der Umsetzung eine hohe Arbeitsqualität in der Inbound-Logistik vorliegen.

⇒ **Anforderung B3: Arbeitsqualität im Inbound-Prozess**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 25)

Neben den festgestellten Anforderungen kann auf den folgenden Umstand hingewiesen werden: Die Anforderung B3 wird bereits innerhalb der Anforderungen B1 zum verbindlichen Pull-Abruf indirekt erhoben (4.3.1). Bei der späteren Entwicklung der Kenngrößen und des Bewertungsvorgehens ist somit eine Konjunktion des Lösungsraums der beiden Konzepte zu erwarten.

4.3.3 Anforderungen des vorgezogenen Wareneingangs

Der vorgezogene Wareneingang sichert die Richtigkeit des Warenstroms im Inbound-Prozess ab, indem er sowohl vom Lieferanten (Schritt 1) als auch vom Vorlaufpediteur (Schritt 2) eine vertiefte Kontrolle der Übereinstimmung des Abrufs zur Bereitstellung verlangt. Die Analyse unter 4.2.3 zeigt, dass hierfür als Mindestvoraussetzung ein verbindlicher Abruf vorliegen muss. Ohne einen verbindlichen Abruf ist es nicht möglich, einen Transportauftrag inklusive der Checklisten für die Prüfung der Bereitstellung zu generieren.

⇒ **Anforderung C1: Umsetzung des Konzepts eines verbindlichen Abrufs**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 26)

Bei Schritt 1, der Überprüfung und Quittierung der Bereitstellung durch den Lieferanten, wird auf Basis des Auftragsbezugs sichergestellt, dass eine Abweichung gemeldet wird. Um die Sendungsbelege und Label neu generieren zu lassen, muss der Lieferant den Fahrzeughersteller kontaktieren. So wird der Eskalationsprozess zwingend initiiert. Hieraus ergibt sich die Anforderung C2. Da der vorgezogene Wareneingang auch ohne diesen Bestandteil umgesetzt werden kann, handelt es sich um eine Sollte-Anforderung.

⇒ **Anforderung C2: Umsetzung des Konzepts des Auftragsbezugs**

(siehe Anhang A.3, Tabelle 27)

Innerhalb der Analyse des Prozesses wurde weiterhin deutlich, dass der vorgezogene Wareneingang zu einer Tätigkeitsanreicherung beim Lieferanten und Vorlaufpediteur führt. An das Arbeitsniveau des Lieferanten und Vorlaufpediteurs wird hierdurch eine erhöhte Anforderung gestellt. Als Voraussetzung für die Umsetzung des Konzepts sollte die Arbeitsqualität bereits vor Umstellung auf einem hohen Niveau liegen.

⇒ **Anforderung C3: Arbeitsqualität im Inbound-Prozess**

(Anhang A.3, Tabelle 28)

4.3.4 Anforderungen der hochfrequenten Transporte

Bei der Analyse des Prozesses unter 4.2.4 wurde deutlich, dass das Konzept mindestens einen Transport pro Tag fordert. Um dies zu erreichen, muss ein hinreichend großes tägliches Transportvolumen vorliegen, da Einzelteile und auch Kleinstmengen nicht praktikabel im normalen Netzwerkbetrieb integriert werden können. Die Analyse zeigt Implikationen sowohl hinsichtlich der Praktikabilität als auch der Wirtschaftlichkeit. Hieraus lässt sich die Anforderung D1 ableiten.

⇒ **Anforderung D1: Hinreichende Größe des Transportvolumens**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 29)

Die Analyse hat weiterhin gezeigt, dass als Voraussetzung nicht nur die Größe des Transportvolumens, sondern auch dessen Schwankung betrachtet werden sollte. So sollte ein gleichmäßiges Transportvolumen vorliegen.

⇒ **Anforderung D2: Schwankung des Transportvolumens**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 30)

4.3.5 Anforderungen der festen Routen und Fahrplantaktung

Die Analyse unter 4.2.5 stellt fest, dass als Voraussetzung für einen sich täglich gleichenden Fahrplan (konstante, wiederkehrende Zyklen) ein gleichmäßiges Transportvolumen vorliegen muss. Beim Vorlauf wirkt hierbei erschwerend, dass mehrere Lieferanten hintereinander angefahren werden. Um während der gesamten Fahrplangültigkeit eine reibungslose Abholung garantieren zu können, muss für jeden Lieferanten genügend Laderaum reserviert sein. Dieser muss sich am maximal möglichen Transportvolumen eines Lieferanten orientieren. Jede Schwankung führt daher zu Minderauslastungen.

Aus Gründen der Auslastung wird daher die Anforderung E1 an die Gleichmäßigkeit des Transportvolumens formuliert. Sie gilt für den Vor- und Hauptlauf und richtet sich an die Fahrzeugwerke, welche die Transportbedarfe auslösen.

⇒ **Anforderung E1: Schwankung des Transportvolumens**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 31)

Zusätzlich zur Gleichmäßigkeit wird die Anforderung der Planbarkeit des Transportvolumens erhoben. Diese Anforderung bringt jedoch nur zusätzlichen Nutzen und ist keine zwingende Voraussetzung. So kann innerhalb des Fahrplans auf leicht schwankende Liefermengen reagiert werden, wenn diese früh genug bekannt sind. Früh genug heißt in diesem Fall mindestens vor Antritt der Fahrt. Hieraus lässt sich die nachfolgende Anforderung formulieren.

⇒ **Anforderung E2: Planbarkeit des Transportvolumens**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 32)

Wie bereits in der Analyse unter 4.2.5 festgestellt, ist die zweite formulierte Anforderung E2 gegenüber der ersten Anforderung E1 nachrangig. Denn gleichen sich die Transportvolumina je Tag, so ist das Volumen vorbestimmt und daher planbar ($E1 \Rightarrow E2$). Eine umgekehrte Äquivalenz besteht jedoch nicht. Die Anforderung E2 kann einen wichtigen Hinweis zur Konzeptausgestaltung liefern.

4.3.6 Anforderungen des Crossdockings

Das Crossdock unterscheidet sich von einem herkömmlichen Umschlagspunkt hauptsächlich durch seinen Betrieb als reine Durchflusseinrichtung. So soll sich ein fließender Materialstrom in der Inbound-Logistik einstellen. Als Grundvoraussetzung stellt die unter 4.2.6 durchgeführte Analyse hierfür die hohe Frequenz der Vor- und Hauptläufe fest.

⇒ **Anforderung F1: Umsetzung des Konzepts der hochfrequenten Transporte**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 33)

Weiterhin soll in einem Crossdock gleichmäßig und getaktet gearbeitet werden. Dies setzt eine gleichmäßige und planbare Arbeitslast voraus. Das getaktete Arbeiten ergibt sich aus einer bestehenden Fahrplansystematik im Haupt- und Vorlauf, kann aber auch durch die selbstständige Vergabe von Ladezeitfenstern vom Crossdock gesteuert werden. Daher handelt es sich bei der Forderung nach bestehenden Fahrplänen nur um eine Sollte-Anforderung.

⇒ **Anforderung F2: Umsetzung des Konzepts der festen Routen und Fahrplantaktung**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 34)

Die gleichmäßige Auslastung wird weiterhin durch ein konstantes Transportvolumen gefördert, welches über das Crossdock abgewickelt wird. Diese Anforderung gilt auch für einen herkömmlichen Umschlagspunkt und ist nicht spezifisch für das Konzept eines Crossdocks, kann jedoch zusätzlich geprüft werden.

⇒ **Anforderung F3: Schwankung des Transportvolumens**
(siehe Anhang A.3, Tabelle 35)

In der Analyse konnte zusätzlich gezeigt werden, dass die Anforderungen an die Arbeitsgenauigkeit im Betrieb steigen. Insbesondere ist die Strategie der Lean Logistics, ohne Lager und mittels Pull-Abruf auf zusätzliche Sicherheiten im Prozess zu verzichten, ursächlich für die Anforderung. Da die Arbeitsgenauigkeit bereits im Rahmen der Anforderungen des verbindlichen Pull-Abrufs (4.3.1) sowie der damit verbundenen Konzepte des Auftragsbezugs (4.3.2) und des vorgezogenen Wareneingangs (4.3.3) geprüft wird, ist keine gesonderte Untersuchung und Anforderungserhebung für das Konzept des Crossdocks erforderlich.

4.4 Anforderungsgruppierung

Nachfolgend werden gemäß der unter 4.1.2 beschriebenen Vorgehensweise aus den im vorigen Abschnitt definierten Anforderungen sogenannte Anforderungsbündel gebildet. Hierdurch werden

die sich im Sachverhalt gleichenden Anforderungen zusammengeführt. Der Konzeptbezug bleibt jedoch erhalten. Die Anforderungsbündel sind Basis der Kenngrößenbildung in Kapitel 5.

4.4.1 Bündel 1: Planbarkeit des Teilebedarfs

Das Anforderungsbündel 1 in Tabelle 13 basiert auf der Anforderung A1 des verbindlichen Pull-Abrufs. Die Anforderung richtet sich an die Bedarfsrechnung, die aus dem Fahrzeugprogramm des Fahrzeugherstellers hervorgeht. Wie die Analyse unter 4.2.1 gezeigt hat, werden die innerhalb der Bedarfsrechnung ermittelten Bruttobedarfe möglichst in Reinform an den Lieferanten weitergeleitet. Da alle Fahrzeugwerke bei einem Lieferanten gemeinsam abrufen, bezieht sich die Anforderung entweder auf den kumulierten Bedarf eines spezifischen Teils oder vereinfachend auf den Bedarf aller Teile eines Lieferanten.

Tabelle 13: Bündel 1: Planbarkeit des Teilebedarfs

Planbarkeit des Teilebedarfs	
Qualitative Beschreibung	Der Bedarf bzw. dessen Vorschau (Menge/Zeiteinheit) einer Teilenummer darf sich bis zur Realisierung im Verbaupunkt nicht ändern.
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller (alle Fahrzeugwerke)
Bezugsobjekte	Bedarfsrechnung (Bruttobedarf)
Attribut 1	Teilenummer
Attribut 2	Teilemenge
Attribut 3	Lieferant
Bezugszeitraum	Durchlaufzeit (Lieferant bis Verbau im Fahrzeugwerk)
Basiert auf:	
Muss-Anforderung	A1

4.4.2 Bündel 2: Erfüllung des Teileabrufs (Prozessqualität)

Das Anforderungsbündel 2 in Tabelle 14 bezieht sich auf die Qualität im Prozess und damit auf die Arbeit der einzelnen Prozesspartner. Das Bündel integriert die Anforderungen des verbindlichen Pull-Abrufs A2, des Auftragsbezugs B3 sowie des vorgezogenen Wareneingangs C3.

Alle drei ursprünglichen Anforderungen stehen in engem Zusammenhang zur Pull-Systematik der Lean Logistics. Während der verbindliche Pull-Abruf diese direkt umsetzt, dienen die anderen beiden Konzepte der Absicherung. So wird mittels der Anforderung geprüft, ob die derzeitige Arbeitsqualität für eine Umstellung und Absicherung einer bedarfsgenauen Anlieferung ausreicht.

Der gesamte Inbound-Prozess ist hierzu im Wareneingang des Automobilherstellers überprüfbar. Als Bezugsgrößen gelten daher der Abruf (Soll-Ergebnis) sowie die Wareneingangsprüfung (Ist-Ergebnis). Prinzipiell kann die Anforderung auch abschnittsweise, z. B. beim Eingang des Umschlagspunkts, geprüft werden.

Tabelle 14: Bündel 2: Erfüllung des Teileabrufs

Erfüllung des Teileabrufs (Prozessqualität)	
Qualitative Beschreibung	Vor Umstellung auf das Konzept sollte bereits eine hohe Qualität im Inbound-Prozess vorliegen und somit der Abruf in der erforderlichen Teilemenge und den damit verbundenen Bestimmungen (Teilequalität, Behälter, ...) genau erfüllt werden.
Adressat der Anforderung	Lieferant, Spediteur, Umschlagspunktbetreiber
Bezugsgröße I	Teileabruf
Attribut 1	Teilenummer
Attribut 2	Teilemenge
Attribut 3	Liefertermin
Attribut 4	Verpackung/Behälter
Bezugsgröße II	Zwischen- und Wareneingangsprüfung
Attribut 1	Teilenummer
Attribut 2	Teilemenge
Attribut 3	Ankunftstermin
Attribut 4	Verpackung/Behälter
Attribut 5	Sonstige Qualitätsfehler
Bezugszeitraum	unbestimmt
Basiert auf: Soll-Anforderung	A2, B3, C3

4.4.3 Bündel 3: Hinreichende Größe des Transportvolumens

Das Konzept der hochfrequenten Transporte formuliert mit der Anforderung D1 als einziges Konzept eine Anforderung an die Größe des Transportvolumens. Das Transportvolumen kann als theoretischer Wert aus der Bedarfsrechnung der Fahrzeugwerke errechnet werden, um eine tägliche bis untertägige Anlieferung der Produktionsbedarfe zu prüfen. Die Anforderung wird in Tabelle 15 präzisiert.

Tabelle 15: Bündel 3: Hinreichende Größe des Transportvolumens

Hinreichende Größe des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit verlangen ein hinreichend großes tägliches Transportvolumen je Lieferant und Hauptlauf.
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller
Bezugsobjekt	Bedarfsrechnung
Attribut 1	Teilemenge
Attribut 2	Verpackung/Behälter (Volumen, Gewicht)
Attribut 3	Lieferant
Attribut 4	Konsolidierungspunkt
Bezugszeitraum	unbestimmt
Basiert auf: Muss-Anforderung	D1

4.4.4 Bündel 4: Planbarkeit des Transportvolumens

Das Anforderungsbündel 4 in Tabelle 16 basiert auf der Anforderung E2 der festen Routen und Fahrplantaktung nach einem planbaren Transportbedarf. Ebenso wie im Bündel 3 kann das theoretische Transportvolumen gemäß der Lean-Systematik auf Basis der Bedarfsrechnung ermittelt werden.

Tabelle 16: Bündel 4: Planbarkeit des Transportvolumens

Planbarkeit des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Vorhersage sollte mit dem tatsächlich eintreffenden Transportvolumen übereinstimmen, um eine Planung zu ermöglichen.
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugsobjekt	Bedarfsrechnung
Attribut 1	Teilemenge
Attribut 2	Verpackung/Behälter (Volumen, Gewicht)
Attribut 3	Lieferant
Attribut 4	Konsolidierungspunkt
Bezugszeitraum	Größer als die Transportzeit
Basiert auf: Kann-Anforderung	E2

4.4.5 Bündel 5: Schwankung des Transportvolumens

Die Anforderung an die Gleichmäßigkeit des Transportvolumens wird durch Bündelung der Anforderungen der festen Routen und Fahrplantaktung E1, der hochfrequenten Transporte D2 sowie des Crossdocks F3 gebildet. Das Anforderungsbündel wird in Tabelle 17 wiedergegeben.

Tabelle 17: Bündel 5: Schwankung des Transportvolumens

Schwankung des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Größe des Transportvolumens sollte über die Zeit betrachtet gleichmäßig und ohne große Schwankungen sein.
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugsobjekt	Bedarfsrechnung
Attribut 1	Teilemenge
Attribut 2	Verpackung/Behälter (Volumen, Gewicht)
Attribut 3	Lieferant
Bezugszeitraum	Konsolidierungspunkt
Basiert auf:	unbestimmt
Muss-Anforderung	E1
Soll-Anforderung	D2
Kann-Anforderung	F3

4.4.6 Nichtbündelbare Konzeptabhängigkeiten

Da manche Lean-Logistics-Konzepte als Voraussetzung die Umsetzung eines anderen Konzepts oder zumindest von Teilen hieraus bedingen, werden die somit bestehenden Konzeptabhängigkeiten in der nachfolgenden Tabelle 18 gesammelt dargestellt. Eine einzelne gebündelte Anforderung lässt sich hieraus nicht generieren.

Tabelle 18: Konzeptabhängigkeiten

Anforderung	Umsetzung des Konzepts	Art der Anforderung
B1, C1	Verbindlicher Pull-Abruf	Muss-Anforderung
F1	Hochfrequente Transporte	Muss-Anforderung
B2, F2	Feste Routen und Fahrplanktaltung	Soll-Anforderung
C2	Auftragsbezug	Soll-Anforderung

5 Entwicklung anforderungsspezifischer Kenngrößen

Während in Kapitel 4 die Anforderungen beschrieben wurden, deren Erfüllung für die Einführung der jeweiligen Lean-Logistics-Konzepte vorausgesetzt wird, sollen nun die zur Prüfung der Anforderungen notwendigen Kenngrößen entwickelt werden. Neben der gewählten Bezeichnung „Kenngröße“ sind auch die Bezeichnungen Kennzahl, Kennziffer, Messgröße oder Messzahl üblich (vgl. Becker 2005, S. 163). Grundsätzlich wird durch Kenngrößen ein quantitativ messbarer Sachverhalt erfasst und der Zusammenhang in einfacher, verdichteter Form präsentiert (vgl. Richter 2007, S. 25).

Entsprechend der Zielsetzung der Arbeit wird für eine Kenngröße die folgende Definition gebildet:

Eine Kenngröße ist eine mittels definierter Rechenvorschrift gebildete Zahl, welche die Prüfung der Erfüllung einer Anforderung zulässt. Basis der Berechnung sind zu erhebende definierte Daten sowohl der Randbedingungen als auch des Prozesses der automobilen Inbound-Logistik. Die Erfüllung der Anforderung kann durch Festlegung eines Zielwerts oder -wertebereichs für die sich ergebende Größe geprüft werden.

Mit der gewählten Definition soll es möglich sein, auf Basis der Kenngrößenausprägung eine Entscheidung zur Einführung der Lean-Logistics-Konzepte zu treffen.

5.1 Methodik

Bei der Kenngrößenbildung wird auf den Anforderungsbündeln aus 4.4 aufgebaut und die Sachverhalte werden in mathematisch prüfbare Funktionen umgewandelt. Eingang finden historisierte Daten der Logistik, die hierdurch bewertet werden können.

5.1.1 Grundlagen & Voranalyse

Die unter 4.4 gruppierten Bündel stellen Anforderungen an bestimmte Randbedingungen und Prozesse der Logistik. So werden beispielsweise unter 4.4.1 gezielt das Fahrzeugprogramm und spezifischer die Bedarfsrechnung adressiert. Die somit bereits grob spezifizierten Bezugsgrößen und Datengrundlagen müssen weiter untersucht werden.

Deskriptive Statistik

Die deskriptive Statistik untersucht die vorliegenden Daten mit der Absicht, diese so zu beschreiben, dass im konkreten Fall der vorliegenden Arbeit ein Schluss hinsichtlich der Erfüllung der Anforderung gezogen werden kann. Da die Kenngrößen bewusst zur Anwendung bei verschiedenen Automobilherstellern entwickelt werden (1.1), müssen sie hinreichend robust gegenüber unterschiedlichen Mustern und Strukturen der Daten sein. Auf Grund der somit anzunehmenden unterschiedlichen Datenzusammensetzung soll darauf verzichtet werden, bestimmte Verteilungen anzunehmen oder vorauszusetzen. So können keine Wahrscheinlichkeiten aus bestehenden Tabellenwerken für bestimmte Verteilungen (Gaußverteilung, t-Verteilung, χ^2 -Verteilung etc.)

angewandt werden. Insbesondere kann die Gaußverteilung nicht zum Ansatz gebracht werden, da oftmals nicht klar ist, ob die Voraussetzungen zur Anwendung des zentralen Grenzwertsatzes (Zusammensetzung aus einer Vielzahl voneinander unabhängiger Einflussgrößen) gegeben ist. Eine Prüfung der Verteilung für die über 10.000 Teilenummern eines Fahrzeugmodells ist nicht realistisch.³⁷ Für Teile mit einem sporadischen Bedarf ist bspw. bekannt, dass die Annahme einer Normalverteilung oftmals völlig ungeeignet ist (vgl. Kühn 2013, S. 158).

Aus den geschilderten Gründen wurde der Ansatz gewählt, einen kompletten Ausschnitt der Grundgesamtheit deskriptiv zu betrachten, um keine Hypothese zur Verteilung aufstellen zu müssen. Durch die Speicherfähigkeit und die heutzutage üblicherweise in digitaler Form vorliegenden Daten ist dies technisch möglich. Die zu bildenden Kenngrößen müssen dann die in der Grundgesamtheit vorliegenden Merkmalsausprägungen vor dem Hintergrund der Anforderung beschreiben. Hierbei wird die Annahme zu Grunde gelegt, dass die in der bewerteten Periode vorliegenden Werte alle möglichen Merkmalsausprägungen des Untersuchungsgegenstands wiedergeben.

Wie Abbildung 19 exemplarisch zeigt, ist bei der Bildung von Kenngrößen auch bei der Anwendung von Lageparametern Vorsicht geboten. Das in der Abbildung präsentierte Beispiel zeigt hierzu den Bedarf eines bei einem europäischen Automobilhersteller zufällig ausgewählten Teils über einen Betrachtungszeitraum von 89 Tagen. Durch die bimodale und asymmetrische Häufigkeitsverteilung ist bspw. der Aussagegehalt des Mittelwerts oder der Standardabweichung genau zu hinterfragen.

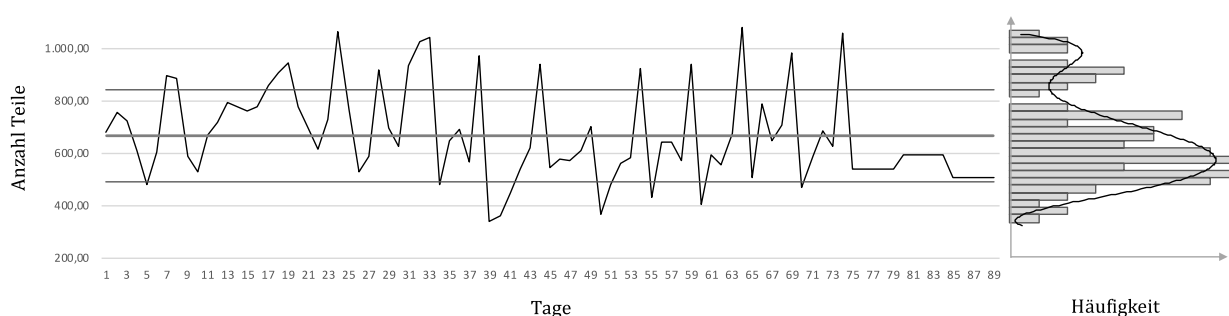


Abbildung 19: Bedarf einer Teilenummer am Einbautag (eigene Darstellung)

Bei der deskriptiven Statistik spielt weiterhin der Stichprobenumfang eine wichtige Rolle. Dabei werden traditionell Stichprobendesigns festgelegt, die beschreiben, wie einzelne Ziehungen (Datenermittlungen) aus der Grundgesamtheit vorgenommen werden (vgl. Stahel 2002, S. 334 ff.). Da hier jedoch ein vollständiger Ausschnitt der Grundgesamtheit betrachtet werden soll, spielt das Design einer Ziehung keine Rolle. Wichtig ist unter diesem Aspekt jedoch die Größe des betrachteten Abschnitts.

Wie bereits dargelegt, sollten in dem gewählten Zeitraum die festgehaltenen Merkmalsausprägungen nach Möglichkeit alle Verhaltensweisen des Merkmalsträgers, bspw. des Bedarfs, widerspiegeln, um die Ergebnisse der Betrachtung mit einer gewissen Sicherheit zu extrapolieren. Der Zeitraum der

³⁷ Je nach Anzahl der Modell- und Ausstattungsvarianten ergibt sich eine Vielzahl von Teilen. Dies können zwischen 10.000 bis 20.000 unterschiedliche Teile sein ist (vgl. Rinza und Boppert 2007, S. 19; Schedlbauer 2008, S. 23).

Betrachtung ist daher hinreichend groß zu wählen. Grundsätzlich kann die Position vertreten werden, dass je größer der Zeitraum ist, desto sicherer alle Verhaltensweisen und Merkmalsausprägungen erfasst werden. Da das Ergebnis der Bewertung und die Extrapolationsfähigkeit jedoch entscheidend davon abhängen, dass einmalige Sonderereignisse erkannt und gegebenenfalls exkludiert werden, ist ein überschaubarer und daher praktikabler Zeitraum zu wählen. Vorgeschlagen wird daher ein Zeitraum von mindestens vier Wochen. Auf die Extrapolationsfähigkeit wird später noch einmal gesondert eingegangen.

Bezugsgrößen der Logistikplanung

Grundsätzlich kann bei der Betrachtung aus dem Blickwinkel eines Logistikplaners festgestellt werden, dass entlang des Warenstroms an den verschiedenen Stellen der Lieferkette unterschiedliche Größen für die Praxis relevant sind, in denen gedacht und gerechnet wird. Abbildung 20 greift diese Sichtweise auf und beschreibt in einfacher Weise den Fokus des Planers und die dafür relevanten Zeitintervalle. Die Kenngrößen sollten sich an dieser Betrachtung orientieren, um eine leichte Interpretation zu ermöglichen.

Beginnt man die Betrachtung beim Lieferanten, erscheint klar, dass hier das zu liefernde Teil im Vordergrund steht. Dieses muss in der abgerufenen Menge an einem bestimmten Tag oder sogar innerhalb einer bestimmten Zeitscheibe bereitgestellt werden (3.2.4). Der Prozess des Lieferanten ist daher am abgerufenen Teil und der Teilemenge orientiert. Hiernach richten sich die internen Abläufe, z. B. die Produktions- und Logistikplanung des Lieferanten, sowie die externe Bewertung, etwa die Liefertreue.

Im Transportprozess verliert die Betrachtung der Teilnummer verknüpft mit der Teilemenge an Interesse. Ein Transportplaner denkt vielmehr an den zu planenden und auszulastenden Frachtraum eines LKW. Dieser ist begrenzt durch das maximal mögliche Ladevolumen sowie das maximale zulässige Ladegewicht. In der Stauraumplanung müssen beide Restriktionen genau bedacht werden, um zu einer optimalen Auslastung zu gelangen. Im Bereich der Abrechnung wird zum vereinfachten Umgang mit dieser Doppelrestriktion oftmals auf die vereinheitlichende Ersatzgröße des frachtpflichtigen Gewichts zurückgegriffen (vgl. Hoepke 1997, S. 87). Dies kann auch im Bereich der beabsichtigten planerischen Bewertung möglich sein, muss jedoch genau begründet werden.³⁸

Mit der Ankunft der Lieferung im Fahrzeugwerk ist ein erneuter Wechsel der Betrachtungsebene feststellbar. Der Wechsel läuft zweistufig ab, zurück von der Volumen- zur Mengeneinheit. Während zunächst einzelne Behälter und deren Durchsatz für die Auslegung von Logistikprozessen, bspw. Routenzügen, von Interesse sind, gewinnt das einzelne Teil und die damit verknüpfte Menge bei der Bereitstellung an Interesse. Auch werden die Zeitintervalle, je näher der Verbauort kommt, kleingliedriger. Während die Inhouse-Logistik innerhalb der Lean Logistics einem Logistiktakt folgt,

³⁸ Während auf strategisch-taktischer Planungsebene eher übergeordnete Muster auf aggregierter Betrachtungsebene analysiert werden, muss die operative Umsetzung jeden Prozessschritt bedenken. Würde das frachtpflichtige Gewicht zur Stauraumplanung genutzt, wäre zwar abgesichert, den LKW nicht zu überladen, jedoch besteht das Risiko, sowohl beim Volumen als auch beim Gewicht eine zu geringe Auslastung zu realisieren. Das Standardbeispiel hierfür ist die Verladung von Federn, die ein großes Volumen ausschöpfen. Durch das große Volumen würde den Federn ein hohes frachtpflichtiges Gewicht beigemessen. Die weitere Zuladung würde so begrenzt werden, obwohl sehr gewichtige und kleinvolumige Teile ergänzt werden könnten.

der einem ganzzahligen Vielfachen des Montagetaktes entspricht (vgl. Durchholz und Boppert 2013, S. 48), beherrscht den Verbau an der Montagelinie oder eines fertigungsnahen Supermarkts der Produktions- und somit der Kundentakt des Werkes.

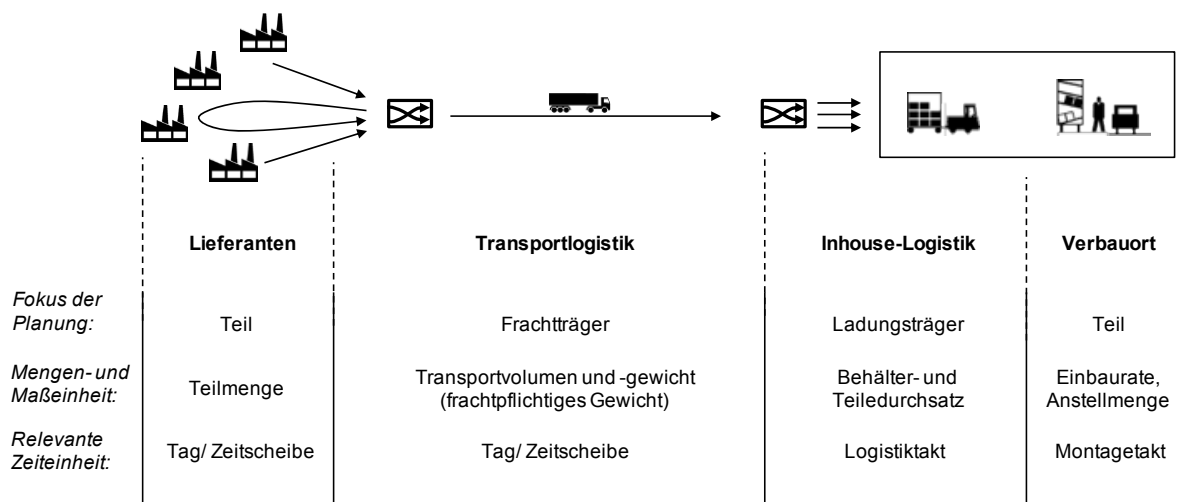


Abbildung 20: Praktische Bezugsgrößen entlang der Logistikkette (eigene Darstellung)

Extrapolation der Ergebnisse

Für die Interpretation des Ist-Standes gilt, dass die Übertragung der aus den Kenngrößen gewonnenen Erkenntnis nur dann zulässig ist, wenn sich die genutzten Daten genauso in die Zukunft fortschreiben lassen. Die Fähigkeit zur Extrapolation kann daher nur unter bestimmten Voraussetzungen angenommen werden. Leider lassen sich die Voraussetzungen jedoch nicht immer klar erkennen. Nachfolgend werden einige Vorgehensweisen und Anforderungen an die Datengrundlage gestellt, um eine Orientierung zu geben.

Um eine Einschätzung basierend auf den ausgewählten historischen Daten vorzunehmen, können verschiedene Komponenten der hierdurch abgebildeten Zeitreihen betrachtet werden. Nach Pruschna (2006, S. 318) bestehen Zeitreihen aus drei Komponenten:

- **Trendkomponente:** Meint eine systematische Veränderung, die oftmals erst über den Verlauf mehrerer Perioden ersichtlich wird. So kann es beispielsweise ein negatives Wachstum (linear, quadratisch oder exponentiell) für Teile von Verbrennungsmotoren geben, während die Menge an Teilen, die für den elektrischen Antriebsstrang benötigt werden, durch Kundenbestellungen kontinuierlich steigt.
- **Saisonkomponente:** Ist eine zyklische Komponente mit bestimmter Periodenlänge. Diese kann aus bekannten Begebenheiten resultieren (Wochenenden, Feiertage) oder aus deren Überlagerung. In diesem Fall ist die Ursache schwieriger zu identifizieren.
- **Stochastische Komponente:** Ist dem Einfluss von zufallsabhängigen Größen geschuldet und sorgt für die Schwankung bspw. der qualitativ einwandfreien Lieferungen im Wareneingang.

Während die stochastische Komponente vielfach Gegenstand der Untersuchung ist, beispielsweise um die Anforderung der Planbarkeit des Teilebedarfs (4.4.1) nachzuweisen, kann eine nicht identifizierte Trendkomponente das Ergebnis verfälschen. Bei periodisch erfolgenden Veränderungen ist davon auszugehen, dass diese einplanbar sind, sofern diese weit genug im Voraus bekannt sind. Werden bspw. vor dem Sommer vermehrt Cabrios bestellt, kann ein Fahrplan hierauf reagieren, indem die Fahrplanperiode und -gültigkeit daran angepasst wird (3.2.5). Das Wissen über besondere Einflüsse und Perioden ist vom durchführenden Planer in die Analyse einzubringen. Grundsätzlich sollten die zu bildenden Kenngrößen jedoch eine gewisse Robustheit gegenüber solchen Veränderungen aufweisen.

Die Extrapolationsfähigkeit ist grundsätzlich in Frage zu stellen, wenn Ereignisse vorliegen oder zukünftig anzunehmen sind, die einen massiven Einfluss auf die Inbound-Logistik und somit auf das Zeitverhalten haben. Beispiele hierfür sind eine bereits beschlossene Managemententscheidung zur Umgestaltung der Systematik des Fahrzeugprogramms oder eine sich in der Durchführung befindliche physische Prozessänderung, z. B. der Einbau von Sortierpuffern im Fahrzeugwerk.

Liegt ein bestimmtes Sonderereignis innerhalb des betrachteten Zeitraums vor wie der kurzfristige Ausfall einer Schicht durch Tarifstreitigkeiten oder eine nicht übliche Sonderschicht sind die Daten gegebenenfalls hiervon zu bereinigen. Ist diese Art von Ereignissen jedoch immer wieder spontan in der Zukunft zu erwarten, dürfen die Daten nicht bereinigt werden. Die Bereinigung der Daten ist daher nur sehr vorsichtig vorzunehmen, zu kennzeichnen und innerhalb der Analyse zu diskutieren. Bei der Begutachtung der Datengrundlage und der Feststellung der Extrapolationsfähigkeit kommt es daher ganz besonders auf die Erfahrung und das Wissen der die Analyse durchführenden Person an.

Bekanntes Vorgehensweisen zur Kenngrößenbildung

Nach grundsätzlicher Betrachtung der Hinweise aus der deskriptiven Statistik mit Bezug auf die Logistik und Extrapolationsfähigkeit der Ergebnisse soll ein Überblick der üblichen Vorgehensweisen zur Kenngrößenbildung folgen, um das Bild zur Erstellung eines eigenen Vorgehensmodells abzurunden.

Weber et al. (1995, S. 195 ff.) beschreiben die Ableitung von Kennzahlen zum einen aus der Unternehmensstrategie und zum anderen aus den Merkmalen der Material- und Warenflüsse. In diesem Sinn wird in der vorliegenden Arbeit eine Ableitung aus der Unternehmensstrategie, präziser der Lean-Strategie, vorgenommen (3.1).

Entgegen einem klaren Vorgehensmodell werden in der Literatur jedoch nur Hinweise auf die Gestaltung gegeben. Dörnhöfer (2016, S. 45 f.) analysiert diese im Kontext der Logistik. Zusammenfassen lassen sich danach drei Gestaltungskriterien, welche auf diese Arbeit übertragen werden:

- Orientierung am Zweck: Die Kenngrößenbildung soll sich an der gewünschten Aussage und dem spezifischen Teilaspekt orientieren (vgl. Dörnhöfer, S. 46). In Bezug auf die vorliegende Arbeit soll

gezielt eine Aussage über die Erfüllung eines Anforderungsbündels (Teilaspekt) getroffen werden. So ist gezielt der Sachverhalt je Anforderungsbündel zu untersuchen.

- Eindeutige und einheitliche Definition: Die Kenngröße sollte mit einer definierten Rechenvorschrift gebildet werden, sodass eine eindeutige Kennzahlenbeschreibung entsteht (vgl. Dörnhöfer 2016, S. 46). Für das eigene Vorgehen heißt dies, zunächst eine klare Beschreibung der Eingangsdaten sowie eine konsequente nachfolgende mathematische Formalisierung.
- Wertbeitrag: Es sollte eine einfache Interpretation der Kenngröße möglich sein (vgl. Dörnhöfer 2016, S. 45). Mit Hilfe der mathematischen Formulierung soll es daher möglich sein, die Einflussgrößen und Auswirkungen klar zu benennen. Bei jeder zu bildenden Kenngröße soll dieser Aspekt durch eine abschließende Diskussion untersucht werden.

Zum Wertbeitrag zählt Dörnhöfer (2016, S. 46) weiterhin eine effiziente und automatisierbare Kennzahlenbereitstellung. Dieser Punkt soll noch einmal besonders hervorgehoben werden, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit die methodische Lücke in der angewandten Logistikplanung geschlossen werden soll (1.2). Durch diese Zielsetzung gewinnt der Aspekt der genutzten Daten eine besondere Wichtigkeit, denn das Ergebnis der Arbeit soll nicht rein theoretischer, sondern auch praktischer Natur sein. In diesem Zusammenhang fordert auch Groschla (1983, S. 79 f.), bereits bei der Konzeption der Kenngrößen die Datenverfügbarkeit einzubeziehen. So liefert die Basis einer effizienten Kennzahlenbereitstellung die Datenverfügbarkeit der IT-Systeme (vgl. Grininger 2013, S. 62). Im Rahmen der eigenen Kenngrößenentwicklung ist daher darauf zu achten, dass die genutzten Daten üblicherweise in der Automobilindustrie vorliegen.

5.1.2 Vorgehensweise der durchgeführten Kenngrößenbildung

Aus den in den Grundlagen unter 5.1.1 getätigten Vorüberlegungen wurde das folgende Vorgehensschema entwickelt:

Beschreibung der Datengrundlage

Vor der eigentlichen Kenngrößenbildung sollen für die in den Anforderungen unter 4.4 identifizierten Bezugsobjekte, die in der Automobilindustrie üblicherweise in den IT-Systemen vorliegenden Datengrundlagen, beschrieben werden. Diese werden mathematisch so definiert, dass sie anschließend bei der Kenngrößenentwicklung genutzt werden können. Die Beschreibung der Datengrundlage erfolgt daher zunächst im folgenden Abschnitt 5.2.

Die Kenngrößenbildung erfolgt anschließend unter 5.3 je Anforderungsbündel und entspricht der Forderung einer Orientierung an den spezifischen Teilaspekten. Die einzelnen Schritte zur Bildung jeder Kenngröße sind:

1.) Analyse der qualitativ beschriebenen Anforderung

Zunächst wird die im Anforderungsbündel in Abschnitt 4.4 gebildete qualitative Anforderung wiedergegeben und in einen Zusammenhang mit den zuvor in 5.2 beschriebenen Datengrundlagen gesetzt.

2.) Mathematische Beschreibung des Sachverhalts

Mit Hilfe der Bezugsgrößen wird der in der Anforderung thematisierte Sachverhalt mathematisch eindeutig beschrieben. Basierend hierauf wird eine Funktion entwickelt, mit deren Hilfe sich die Anforderungserfüllung überprüfen und analysieren lässt. Es wird sowohl eine Nulltoleranz (absolute Anforderungserfüllung) als auch die Einführung eines Toleranzfeldes (ausreichende Anforderungserfüllung) betrachtet, um eine spätere praxisnahe Parametrisierung der Anforderung zu ermöglichen.

3.) Bildung der Kenngröße mit entsprechendem Aggregationsniveau

Aus der im vorangegangenen Arbeitsschritt entwickelten Prüffunktion wird eine Kenngröße gebildet, welche eine Auswertung auf dem für die Bewertung der Anforderungserfüllung notwendigen Aggregationsniveau (z. B. Lieferantenebene) zulässt. Mit Hilfe der formulierten Formel lässt sich die gesamte Grundgesamtheit einer festgelegten Zeitperiode überprüfen.

4.) Diskussion der Kenngröße

Zum Verständnis werden die Kenngrößenfunktion, deren Bestandteile und die damit verbundenen Einflussparameter näher beschrieben. Die Betrachtung kann grafisch durch beispielhafte Funktionsverläufe unterstützt werden. Hierdurch soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, welche Wirkung von den Einflussvariablen ausgeht und wie darauf basierende Ergebnisse zu interpretieren sind. Aus der Betrachtung lässt sich auch eine Aussage zur Extrapolationsfähigkeit des Ergebnisses und der Robustheit der gefundenen Kenngröße formulieren.

Kenngrößensteckbriefe

Im Anhang A.6 „Kenngrößen-Steckbriefe“ werden die entwickelten Kenngrößen zusätzlich in kurzer und prägnanter Form wiedergegeben. Auf die in der Entwicklung notwendigen Hinweise und Verweise wird dabei verzichtet und nur das Endergebnis der Kenngrößenentwicklung wird wiedergegeben.

5.1.3 Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen

Bei der beschriebenen Vorgehensweise bestehen denkbare Schwachstellen, die sich grob in die folgenden Bereiche der Eingangsdaten, der Umsetzung und der Ausgangsdaten einordnen lassen.

Eingangsdaten

Bei der Auswahl und Interpretation der Daten könnte der Fehler auftreten, dass die Daten nicht vorliegen oder aber falsch interpretiert werden. Der Fehler, dass die unter 5.2 beschriebenen Daten überhaupt nicht vorliegen, wird dabei als relativ klein angenommen, da sowohl die Ermittlung der benötigten Bedarfsdaten als auch die Aufnahme der Wareneingangsdaten (siehe 5.2) für die Organisation und Durchführung einer Fertigung nahezu zwingend erforderlich sind. Dies ist insbesondere bei den hohen Stückzahlen, die in der automobilen Serienfertigung üblich sind, der Fall. Es ist daher davon auszugehen, dass die Daten vorliegen und bereits digital gespeichert werden oder aber im Rahmen einer geplanten Kenngrößenermittlung gezielt ermittelt werden können. Die Fehlinterpretation, als zweite Fehlerquelle, wird durch die genaue und quellenbasierte Analyse in

der Beschreibung der Datengrundlage (5.2) sowie der im Rahmen der Kenngrößenbildung vorgenommenen mathematischen Formalisierung des Sachverhalts minimiert (5.3).

Umsetzung

Die mathematische Interpretation der Anforderung könnte fehlerhaft vorgenommen werden, sodass die Anforderung nicht vollständig bis hin zu falsch abgebildet wird. Hierdurch könnte in Analogie zur Statistik ein Fehler 1. und 2. Art entstehen (vgl. Bissell 1995, S. 103):

- Es könnte die Anforderung als nicht erfüllt abgelehnt werden, obwohl die Daten eine Annahme zulassen (Fehler 1. Art).
- Es könnte die Anforderung als erfüllt angesehen werden, obwohl dies nicht gegeben ist (Fehler 2. Art).

Zur Minimierung der Fehler werden die aufgestellten mathematischen Beschreibungen sowie die daraus gebildeten Prüf- und Kenngrößenfunktionen in einer Fallstudie am Ende der Arbeit validiert und in diesem Rahmen mit Experten diskutiert (Kapitel 7).

Ausgangsdaten

Die Extrapolationsfähigkeit der Ergebnisse kann fälschlicherweise vorgenommen werden, obwohl hierfür die in 5.1.1 beschriebenen Grundlagen fehlen. Dieser Fehler tritt jedoch erst bei der Nutzung der Kennzahl und nicht bei deren Bildung auf. Entscheidend hierfür sind das Wissen und die Erfahrung des Anwenders.

5.2 Betrachtung der Datengrundlage

Ziel der Arbeit ist es, Daten zu verwenden, die heute üblicherweise in der Automobilindustrie und hier beim Fahrzeughersteller vorliegen. Schön wäre es zwar, tief in das Logistiknetzwerk hineinzublicken, doch durch die in aller Regel erfolgende Beauftragung von Logistikdienstleistern in der Inbound-Logistik fehlt hier fast immer die erforderliche Datentiefe.³⁹ Da sich die in der Anforderungsgruppierung (4.4) identifizierten Anforderungen glücklicherweise in ihrer Mehrzahl auf die vom Automobilhersteller selbst in das Logistiknetzwerk induzierten Größen beziehen (Bedarf, Abruf, Transportvolumen), ist anzunehmen, dass diese Daten vorliegen. Bei den die Qualität des physisch durchgeführten Logistikprozesses beschreibenden Daten liegen jedoch verlässlich nur Wareneingangsdaten beim Fahrzeughersteller selbst zur Bewertung vor. Sollten jedoch auch Zwischenpunkte im Logistiknetzwerk, z. B. am Umschlagspunkt, entsprechend gebucht werden und zur Verfügung stehen, können diese analog zu den Wareneingangsdaten für den entsprechenden Netzwerkabschnitt ausgewertet werden. Die Beschreibung erfolgt nachfolgend allgemeingültig für alle Hersteller.

³⁹ Die Datenverfügbarkeit hängt auch von der Steuerung des Logistik-Netzwerks ab. Während Toyota eine zentrale Steuerung in vielen Teilen selbst vornimmt und daher eine gute Datengrundlage anzunehmen ist, vergeben andere Hersteller die Steuerung oftmals an Dienstleister (vgl. Fabbe-Costes et al. 2006, S. 103). Ford Amerika hat diese bspw. an einen zentralen Lead-Logistik-Provider übertragen (vgl. Lischke 2008, S. 22), während europäische Hersteller diese oftmals zu großen Teilen dezentral an autark arbeitende Gebietsspeditionen übertragen.

5.2.1 Bedarfsrechnung

Die Bedarfsrechnung lässt sich in die Ermittlung der Brutto- und Nettobedarfe unterteilen.

Bruttobedarfe

Die Bruttobedarfsermittlung erfolgt direkt aus dem Produktionsprogramm über die Auflösung der Stückliste (vgl. Zernechel 2007, S. 370).⁴⁰ Die so stattfindende Bedarfsrechnung erfolgt in der Regel revolvierend einmal am Tag und berücksichtigt alle innerhalb dieses Zeitintervalls stattgefundenen Änderungen des Produktionsprogramms.⁴¹ Das Zeitintervall der Ermittlung kann jedoch auch kleiner sein. Nachfolgend wird das übliche Zeitintervall von einem Tag als maßgebend angenommen.⁴²

Ein Rechnungslauf R , durchgeführt am Tag t , enthält dann je Teilnummer die Bedarfsmengen r_i^t für $i = 0, \dots, n$ mit $r_i^t \in \mathbb{N}$.

$$R(t) = (r_0^t, \dots, r_n^t) \quad \text{Formel 1}$$

r_0^t entspricht dem tatsächlichen Bedarf am Tag t der Durchführung der Berechnung und alle weiteren Werte r_i^t mit $i = 1, \dots, n$ der Vorschau am i -ten darauffolgenden Tag.

Durch die an jedem Tag t revolvierend durchgeführte Berechnung ergeben sich mehrere Bedarfswerte B eines bestimmten Tages T , die wie folgt gekennzeichnet werden können.

$$B_T(t) = r_{T-t}^t \quad \text{Formel 2}$$

Gelesen werden kann dies als Bedarfsmenge B einer Teilnummer für einen konkreten Tag T , ermittelt durch einen Rechnungslauf am Tag t , wobei für $t = T$ der tatsächlich eingetretene Bedarf und mit $t < T$ die Vorschauwerte vorangegangener Rechnungsläufe für den Tag T beschrieben werden. $B_T(t)$ beschreibt somit alle verfügbaren Bedarfswerte für den Tag T .

Abweichungen im Verbrauch gegenüber dem ermittelten Bedarf können insofern auftreten, als für den hinterlegten tatsächlichen Bedarfswert bei $t = T$ nicht erfasste Abweichungen zur Realität bestehen.⁴³ Es soll daher angemerkt werden, dass für jeden Tag T zwischen dem in den Daten enthaltenen tatsächlichen Bedarf B und dem realen Bedarf \bar{B} eine Abweichung ε (ein Fehler) bestehen kann.

⁴⁰ In der Automobilindustrie ist die beschriebene deterministische oder auch regelbasierte Ermittlung der Bedarfe nach Ausstattungsvarianten üblich. Im Gegensatz hierzu steht die stochastische Ermittlung der Bedarfsmengen. Da mit Hilfe der Lean Logistics genau das Teil, das tatsächlich verbraucht wird, angeliefert werden soll, ist die stochastische Ermittlung nicht geeignet, um als Eingangsgröße für den Inbound-Prozess zu fungieren.

⁴¹ Die Bedarfsrechnung wurde innerhalb der Anforderungserhebung unter 4.2.1, Abschnitt Input, ausführlich beschrieben und mit Quellen belegt, sodass an dieser Stelle darauf verzichtet wird. Dies gilt auch für den nachfolgenden Nettobedarf und die Liefereinteilung bzw. den Lieferabruf. Zum Verständnis der Rechnungslauflogik wird insbesondere auf Abbildung 11 hingewiesen.

⁴² Die in dieser Arbeit entwickelten Formeln können auch bei entsprechend kleineren Intervallen genutzt werden. Im weiteren Verlauf wird hierauf noch einmal gesondert hingewiesen.

⁴³ Entscheidend hierfür sind der Zeitpunkt der Durchführung der Bedarfsrechnung und die Hinterlegung und Erfassung der tatsächlichen Produktionsverbräuche.

$$\bar{B}_T = B_T + \varepsilon_T$$

Formel 3

Der Fehler ist vom Nutzer der entsprechenden Kenngröße abzuschätzen oder stichprobenweise zu ermitteln, um das Ergebnis der Kenngrößenbewertung zu interpretieren.

Aus dem Bruttobedarf ergeben sich die nachfolgend beschriebenen Größen des Nettobedarfs sowie des Lieferabrufs. Da der Bruttobedarf den zur direkten Umsetzung des Produktionsprogramms benötigten Bedarf widerspiegelt, stellt er als „reiner“ Bedarf die Basis bzw. das Potenzial der Fertigung für eine Umsetzung der Lean-Inbound-Logistik dar. Bereits der nachfolgende Nettobedarf ist so verfälscht, dass er nicht der Systematik der Lean Logistics nach einer direkten Bedarfserfüllung ohne Lagerhaltung entspricht. Nachfolgend wird daher mit dem Bruttobedarf gearbeitet, der Nettobedarf kann jedoch zu Analysen herangezogen werden.

Nettobedarfe

Die Nettobedarfsrechnung leitet sich aus der Bruttobedarfsrechnung ab. Grundsätzlich bestehen in der Automobilindustrie hierfür verschiedene Verfahren.⁴⁴ Ergebnis ist jeweils der Teilebedarf, der sich durch die Abzüge der im Fahrzeugwerk bereits vorliegenden Teile ergibt.

Soll der Nettobedarf genutzt und beschrieben werden, können die Formeln 1 und 2 des Bruttobedarfs verwendet werden. Es sollte jedoch eine klare Kennzeichnung vorgenommen werden. Auch kann ein Fehler gegenüber der Realität durch Fehlerfortpflanzung aus der Bruttobedarfsrechnung sowie weiter Einflussgrößen wie einer falschen Annahme der Bestände entstehen, sodass auch Formel 3 übertragen werden kann.

Wie bereits bemerkt, stellt der Nettobedarf nicht mehr das reine Potenzial der Fertigung des Automobilherstellers für die Inbound-Logistik dar. Vielmehr wurde der Bedarf bereits durch bestehende Konzepte und Strategien verändert. Daher kann es z. B. von Interesse sein zu bewerten, ob sich diese Einflüsse für die Umsetzung der Lean Logistics als positiv oder negativ herausstellen. Die Nettobedarfszahlen können zu diesem Zweck analog zu den Bruttobedarfszahlen in die Kenngrößenbildung eingesetzt werden.

Weiterhin kann festgestellt werden, ob nach erfolgter Umsetzung des Lean-Logistics-Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs (3.2.1) der Nettobedarf weitestgehend dem Bruttobedarf entspricht.

5.2.2 Liefereinteilung bzw. Lieferabruf

Mittels der Liefereinteilung werden die Basisdaten für den Lieferabruf (LAB) erzeugt, indem die Nettobedarfe bspw. entsprechend der Behältergröße oder der Anliefertage angepasst werden (siehe 4.2.1). Zum Teil finden durch die Liefereinteilung auch manuelle Korrekturen durch den

⁴⁴ Mittels eines Fortschrittszahlensystems ermitteln manche Hersteller ab einem Stichtag alle eingehenden physischen Wareneingänge und stellen sie den ebenso ab diesem Stichtag kumulierten Bruttobedarfen gegenüber (vgl. Klug 2018, S. 427; Schenk und Wojanoswi 2018, S. 98 f.). Aus dem ermittelten Delta können so die zu disponierenden Nettobedarfe ermittelt werden. Andere Hersteller greifen zur Nettobedarfsermittlung auf die Bestandsführung des Werkes zurück. Durch Ermittlung der Differenz aus der Bedarfsmenge und dem Bestand ergibt sich der zu beschaffende Nettobedarf (vgl. Ihme 2006, S. 250).

Teiledisponenten, basierend auf Erfahrungswerten, statt. Die hierdurch generierten Teilmengen pro Tag werden als Lieferabruf an die Lieferanten versendet. Im kurzfristigen Zeitraum wird der Lieferabruf als Feinabruf (FAB) versandt. Dieser umfasst die Abrufmengen von min. 5 bis max. 18 Arbeitstagen (vgl. VDA 1996, S. 3). Neben den durch den VDA genormten Abrufformaten LAB und FAB bestehen weitere international genutzte Formate wie EDIFACT oder auch das vielgenutzte Subformat ODETTE sowie Web-Portale (Web-EDI), mittels derer die Abrufdaten an die Lieferanten übertragen werden. Nachfolgend wird der Einfachheit halber allgemein vom Lieferabruf gesprochen, dessen Merkmale (wenn vorhanden) wie folgt beschrieben werden können.

Ein Lieferabruf L , durchgeführt am Tag t , enthält je Teilenummer die Abrufmengen s_i^t für $i = 0, \dots, n$ Tage. Die Abrufmenge für $i = 0$ kennzeichnet die Menge einer Teilenummer, die am Tag des Abrufes angeliefert werden soll. Da keine halben Teile abgerufen werden, gilt $s_i^t \in \mathbb{N}$.

$$L(t) = (s_0^t, \dots, s_n^t) \quad \text{Formel 4}$$

Durch die revolvierend ermittelte Abrufmenge A für einen Tag T ergeben sich für einen Tag in historischer Sichtweise somit mehrere Werte, die wie folgt gekennzeichnet werden.

$$A_t(T) = s_{T-t}^t \quad \text{Formel 5}$$

Die Formel 4 und 5 legen nahe, dass täglich bis zum Tag des Verbrauchs ein Abruf herausgegeben wird. Tatsächlich braucht dies nicht so zu sein, sondern stellt eine Möglichkeit dar, um die Abrufmenge den Gegebenheiten anzupassen. Bspw. kann bereits zwei Tage vor dem Eintrefftermin das letzte Mal ein Abruf für diesen Tag erfolgen, wenn keine Korrektur mehr durchgeführt wird. In diesem Fall werden die Mengen s_i^t für die Tage, nach denen keine Änderung mehr eingetreten ist, gleichgesetzt, so sodass sich beispielhaft ergibt: $s_0^t = s_1^t = s_2^t$. So kann sichergestellt werden, dass für die Analyse keine falsch zu interpretierende Lücke entsteht.

Mittels der Lieferabrufdaten kann vergleichend analysiert werden, welche Auswirkung das reale System auf das von der Fertigung bereitgestellte Potenzial hat (siehe 5.2.1). Wird in einer Kenngröße unter 5.3 der Bedarf als Datengrundlage genutzt, kann dieser zu diesem Zweck durch den Lieferabruf ersetzt werden.

5.2.3 Zwischen- und Wareneingangsprüfung

Der Wareneingang beginnt mit dem Entladen der angelieferten Ware und endet mit dem Einlagern oder mit der direkten Übergabe der Teile an die Produktion (vgl. VDI 2001, S. 4). Im Rahmen der Tätigkeiten des Wareneingangs werden die Teilelieferungen identifiziert und verbucht. Hierbei wird eine Prüfung der Qualität vorgenommen, sodass Beschädigungen oder Falschlieferungen (möglichst) identifiziert werden.

Der Wareneingang WE enthält für jeden Tag T die eingegangene Menge einer Teilenummer $w_T \in \mathbb{Z}$.

$$WE(T) = w_T \quad \text{Formel 6}$$

Durch die Qualitätsprüfung ist ebenso die Menge an beanstandeten Teilen $q_T \in \mathbb{Z}$ bekannt, sodass sich für die unbeanstandete Wareneingangsmenge die folgende Formel ergibt.⁴⁵

$$WE_q(T) = w_T - q_T \quad \text{Formel 7}$$

Ebenso wie bei den beschriebenen Bedarfen können die Daten des Wareneingangs einen Fehler gegenüber der Realität aufweisen. Die nachfolgende Formel beschreibt diesen Fehler.

$$\overline{WE}(T) = w_T + \varepsilon_T \quad \text{Formel 8}$$

Neben dem hier vorgenommenen Bezug auf die Liefermenge (Anzahl Teile) kann auch allgemeiner nach Wareneingangspositionen, aber auch weitergehend nach den termingerechten Wareneingangspositionen differenziert werden (vgl. VDI 2001, S. 18 ff.). Eine Auflösung in termingerechte Wareneingänge kann jedoch nur vorgenommen werden, wenn ein Auftragsbezug besteht oder gegen eine Abrufbestätigung geprüft werden kann.

5.2.4 Weitere üblicherweise vorliegende Stammdaten

Die beschriebenen Daten werden im Rahmen der Kenngrößenbildung mit weiteren üblicherweise vorliegenden Stammdaten verknüpft. Die nachfolgend genutzten sind:

Behälterdaten

Die Liefervereinbarungen bzw. -bedingungen definieren in der Regel einen Standardbehälter für jedes Teil Q . Der Lieferant muss die Teile hierin bereitstellen. Zu den Stammdaten der Logistik gehören hierdurch das Behältervolumen $BV_Q \in \mathbb{R}$ in Kubikmeter und das Fassungsvermögen des Behälters in der Anzahl an Teilen $AT_Q \in \mathbb{N}$. Hierdurch lässt sich das spezifische Transportvolumen jedes Teils Q errechnen.

$$bv_Q = \frac{BV_Q}{AT_Q} \quad \text{Formel 9}$$

Gewichtsdaten

Ebenso lässt sich aus den Standardbehälter- sowie Stammdaten der Teile ein spezifisches Transportgewicht bilden. Dieses umfasst das Teilegewicht $g_Q \in \mathbb{R}$ und das anteilige Behältergewicht, ermittelt aus dem Gewicht eines Behälters $BG_Q \in \mathbb{R}$ geteilt durch die Anzahl an Teilen im Behälter AT_Q . Im Rahmen einer ersten Abschätzung kann das Behältergewicht auch vernachlässigt werden, wenn die notwendigen Daten nicht vorliegen oder eine Ermittlung nicht praktikabel erscheint.

$$bg_Q = g_Q + \frac{BG_Q}{AT_Q} \quad \text{Formel 10}$$

⁴⁵ Beanstandungen können durch Qualitätsmängel, verursacht durch den Lieferanten, oder Transportschäden, verursacht durch die Logistikdienstleister, entstehen. In der hier getätigten Definition wird zwischen den Ursachen nicht unterschieden.

Frachtpflichtiges Gewicht

Aus den Behälter- und Gewichtsdaten lässt sich kalkulatorisch bestimmen, ob das Volumen oder das Gewicht eines Teils überproportional den Stauraum eines LKW belasten. Die zur Abbildung dieses Sachverhalts gebildete Größe des frachtpflichtigen Gewichts wird in der Transportlogistik zu Abrechnungszwecken genutzt (5.1.1). Hierzu wird jeweils das frachtpflichtige Gewicht einer Sendung berechnet. Zur kalkulatorischen Abschätzung des Einflusses kann eine Abwägung jedoch bereits auf Teileebene vollzogen werden.

Ausschlaggebend ist der im Logistiknetzwerk eines Automobilherstellers genutzte Standard-LKW mit seinem maximalen Ladegewicht $G_m \in \mathbb{R}$ und dem maximalen Ladevolumen $V_m \in \mathbb{R}$. In der europäischen Automobilindustrie ist der Standard-LKW beispielsweise der Megatrailer, welcher eine Zuladung von maximal ca. 25 t Gewicht und 100 m³ Volumen zulässt (vgl. Hoepke 1997, S. 151 ff.). Das Volumen eines Teils lässt sich hierzu in Relation setzen und gewichten.⁴⁶ Es ergibt sich aus der Maximierung das spezifische frachtpflichtige Gewicht eines Teils Q .

$$fpg_Q = \max\left(bg_Q, bv_Q \frac{G_m}{V_m}\right) \quad \text{Formel 11}$$

Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit DLZ beschreibt die Zeitdauer einer Teilelieferung vom Lieferanten bis zum Verbauort. Bei der Betrachtung der Lieferrelationen eines Fahrzeugwerks kann sie für jeden Lieferanten L gebildet werden.

Den ersten Bestandteil bildet die Inhouse-Durchlaufzeit. Bei einer idealen Lean-Logistics-Konzeption entfallen hierbei die Lager, sodass eine reine Verteilzeit v im Werk angesetzt werden kann. Die Verteilzeit kann im Rahmen der ersten planerischen Bewertung pauschal geschätzt werden.

Die Inbound-Durchlaufzeit als zweiter Bestandteil wird durch die Transportzeit einer Sendung vom Lieferanten bis zum Wareneingang eines Fahrzeugwerks gebildet. Die hiermit beschriebene Zeitspanne wird als Sendungslaufzeit s_L bezeichnet und ist der Logistik und insbesondere den Teiledisponenten eines Automobilherstellers bekannt.

Zur Durchlaufzeit der Inbound-Logistik kann weiterhin optional die Reaktionszeit des Lieferanten hinzugerechnet werden. Da in der Lean Logistics keine Lager bestehen, wäre dies im Wesentlichen seine Produktionszeit p_L . Wahlweise können weitere Zeiten ergänzt werden. Die Durchlaufzeit wird nachfolgend in Tagen angegeben, mit $DLZ_L \in \mathbb{R}$.

$$DLZ_L = v + s_L + (p_L + \dots) \quad \text{Formel 12}$$

⁴⁶ Für den Standard-LKW der europäischen Automobilindustrie, den Megatrailer, ergibt sich aus G_m/V_m ein Umrechnungsfaktor von 0,25. Dadurch, dass die LKWs eher auf Größe ausgelegt sind und der Umrechnungsfaktor somit recht klein ausfällt, wird deutlich, dass bei der überwiegenden Zahl der in der Automobilindustrie gefahrenen Teile das Volumen ausschlaggebend ist.

5.3 Bildung der Kenngrößen

Nachfolgend werden die Kenngrößen mittels der unter 5.1.2 beschriebenen Vorgehensweise entwickelt.

5.3.1 Kenngröße 1: Planbarkeit des Teilebedarfs

Grundlage des Anforderungsbündels aus 4.4.1 bildet die Anforderungen des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs (A1).

Qualitativ wird die Anforderung in Tabelle 13 wie folgt beschrieben:

„Der Bedarf bzw. dessen Vorschau (Menge/Zeiteinheit) einer Teilenummer darf sich bis zur Realisierung im Verbaupunkt nicht ändern.“

Bezug genommen wird dabei auf die Bedarfsrechnung, welche in der Regel täglich revolvierend den aktuellen Tagesbedarf am Tag der Berechnung sowie vorausschauend für die kommenden Tage ermittelt.⁴⁷

Mit den unter 5.2.1 für den Bedarf festgelegten Definitionen für einen Rechnungslauf R (Formel 1) und eine Bedarfsmenge B (Formel 2) lässt sich eine Betrachtung der erhobenen Zeitreihe von mehreren Rechnungsläufen realisieren. Hierfür wurden in der nachfolgenden Tabelle 19 die jeden Tag t durchgeführten Rechnungsläufe mit den darin enthaltenen $n + 1$ Tupeln von r_i^t übereinander auf einer Zeitachse abgetragen. Es wird deutlich, dass sich für den beispielhaften Produktionstag $T = 6$ ein Vektor, bestehend aus Vorschauwerten und dem tatsächlichen realisierten Tagesbedarf, ergibt (grau markiert).

Tabelle 19: Betrachtung der für jeden Tag ermittelten Bedarfsmengen

$R(t)$																				
$R(6)$						r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}				
$R(5)$				r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}						
$R(4)$			r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}							
$R(3)$		r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}								
$R(2)$		r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}								
$R(1)$	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}									
$R(0)$	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	\dots	T	

⁴⁷ Die Berechnung der Bedarfe kann auch, wie unter 5.2.1 angemerkt, in kleineren Zeitintervallen erfolgen. Die erarbeitete Systematik lässt hierauf übertragen. In diesem Fall wird der Tag durch einen das kleinere Zeitintervall beschreibenden Wert ersetzt.

Der Vektor des Bedarfs am Tag T kann dadurch wie nachfolgend beschrieben werden, wobei mit größer werdendem Index weiter in die Vorschau gegangen wird. Da für manche Tage der Stichprobe, wie beispielsweise für $T = 1$ in der Tabelle 19, keine ausreichende Anzahl an Vorschautagen besteht, kann mit einer Mindestgröße für j definiert werden, wie viele Werte betrachtet werden sollen. Bedarfstage mit weniger als j Vorschauwerten entfallen dann für die Bewertung.

$$\begin{aligned} B_T &= (r_0^T, \dots, r_j^{T-j}) \\ &= (B_T(T), \dots, B_T(T-j)) \end{aligned} \quad \text{Formel 13}$$

Der Vektor der Bedarfsmenge B_T kann zudem, wie in der nachfolgenden Abbildung 21 geschehen, mit Hilfe eines Graphen visualisiert werden. So wird die zeitliche Entwicklung der Bedarfsmenge deutlich, wobei $B_T(T-0) = r_0^T$ den tatsächlichen Bedarf am Bedarfstag T darstellt und mit wachsendem Index frühere Vorschauwerte wiedergegeben werden. Zur Veranschaulichung wurden die eigentlich zeitdiskreten Ausprägungspunkte mit einer Linie verbunden.

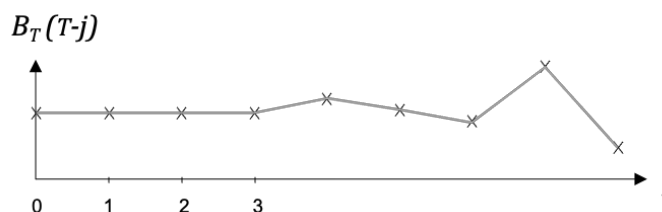


Abbildung 21: Entwicklung der Bedarfsmenge für einen Tag T (eigene Darstellung)

In dem beispielhaft in Abbildung 21 gezeichneten Verlauf ist zu sehen, dass die Vorschautage 1 bis 3 genau die gleiche Bedarfsmenge enthalten, wie sie am Tag 0 tatsächlich benötigt wird. Anschließend sind leichte Abweichungen festzustellen, die im weiteren Verlauf größer werden.

Da die Anforderung verlangt, dass sich der Bedarf vor seinem Eintreten nicht ändern darf, können die Vorschautage jeweils mit dem Bedarf am Tag 0 bzw. mit $B_T(T)$ verglichen werden. Weicht der Bedarf des ersten Vorschautages mit $B_T(T) - B_T(T-1) = 0$ nicht vom tatsächlich eintretenden Bedarf ab, so besteht für diesen Tag Planungsstabilität. Das Gleiche kann für den jeweils weiter vorangegangenen Tag nachvollzogen werden. Hieraus lässt sich die maximale Anzahl an zusammenhängenden Tagen, ausgehend von $B_T(T)$, ermitteln, an denen der Vorschaubedarf nicht vom tatsächlich eintretenden Bedarf abweicht.

Um eine etwas allgemeinere Definition zu finden, kann eine Toleranzvariable z eingeführt werden, welche den Wert beschreibt, den ein Vorschaubedarf maximal vom tatsächlich eintretenden Bedarf abweichen darf. Die nachfolgende Formel beschreibt daher die maximale Anzahl an Tagen k , an denen sich die Abweichung innerhalb dieser Toleranz befindet.

$$\max_{k \in \{0, \dots, n\}} \text{s. d. } \max_{j=0, \dots, k} (|B_T(T) - B_T(T-j)|) \leq z \quad \text{Formel 14}$$

Mit den getätigten Vorüberlegungen kann nun eine erste Prüffunktionen für die Planbarkeit des Teilebedarfs formuliert werden.

Absolute Planbarkeit (Nulltoleranz)

Die Anforderung aus 4.4.1, dass es keine Änderung des Bedarfs geben darf, kann so interpretiert werden, dass bereits bei der Abweichung von nur einem einzigen Teil keine Planbarkeit besteht. Diese Sichtweise wird unterstützt von der idealen Beschreibung der Lean-Inbound-Logistik, die besagt, dass es keine Sicherheitsbestände gibt und nur das JIT im Fahrzeugwerk ankommt, was bereits wenig später benötigt wird (Kapitel 3).

Bei der Verneinung jeglicher Abweichung wird von einer Nulltoleranz gesprochen und die obige Toleranzvariable z auf null gesetzt. Das Ergebnis ist die folgende Formel 15 für die absolute Planbarkeit des Teilebedarfs PB^0 in Abhängigkeit zum betrachteten Tag T .

$$PB^0(T) = \max_{k \in \{0, \dots, n\}} \text{s. d. } \max_{j=0, \dots, k} (|B_T(T) - B_T(T-j)|) = 0 \quad \text{Formel 15}$$

Die nachfolgende Abbildung 22 visualisiert die Zeitspanne, bei der eine absolute Planbarkeit vorliegt, beispielhaft.

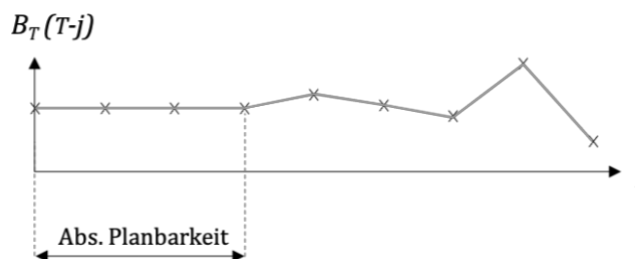


Abbildung 22: Periode der absoluten Planbarkeit für einen Bedarfstag T (eigene Darstellung)

Ausreichende Planbarkeit (Mengentoleranz)

Neben der absoluten kann eine ausreichende Planbarkeit definiert werden, wenn die Meinung vertreten wird, dass kleine Abweichungen in der Bedarfsmenge erlaubt sind. Während die absolute Planbarkeit sich eher an der idealen Theorie der Lean Logistics orientiert, wäre die ausreichende Planbarkeit, wie auch aus der nachfolgenden Beschreibung ersichtlich wird, realitätsnäher.

Die Definition einer zulässigen Abweichung ließe sich nämlich an die Vorgehensweise in der Qualitätswissenschaft anlehnen, bei der reale Produktionsprozesse mit Qualitätsregelkarten bewertet werden. Denn reale Prozesse wie der von einer Fräsmaschine streuen im Ergebnis um einen zu erreichenden Zielwert. Um die Streuung zu bewerten, definieren Qualitätsregelkarten eine Obergrenze OG und eine Untergrenze UG , in der eine Abweichung erlaubt und vertretbar ist. So kann ein Prozess mit dem Ziel bewertet werden, ob er stabil und unter Kontrolle ist und ob die Fähigkeit

vorliegt, eine bestimmte Anforderung zu erfüllen (vgl. Bissell 1995, S. 99). Bezogen auf die Planbarkeit der Teilemenge könnte die symmetrische Ober- und Untergrenze durch die bereits eingeführte Toleranzvariable z ausgedrückt werden.

Bezogen auf die Logistik bestehen in der Realität immer kleine Abweichungen in der Bedarfsmenge, die bspw. durch Qualitätsmängel oder durch eine fehlerhafte Anzahl an Teilen in einem Behälter zustande kommen. In der Lean Logistics kann eine geringe, vorher definierte Schwankungsbreite bspw. durch den Pufferbestand in den Behältern an der Fertigungslinie ausgeglichen werden. Die Behälter werden dabei durch ziehende Prozesse mittels Kanban-Karten gemäß dem realen Bedarfsfortschritt ausgetauscht, sodass ein Angleich der vorgehaltenen und vorbestimmten Teilemenge an den tatsächlichen Bedarf stattfindet (3.2.7).⁴⁸ Der Pull-Abruf zum Lieferanten muss diese Abweichung aufnehmen und innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit ausgleichen. Je nachdem, wo systemtechnisch ein Abgleich mit dem tatsächlichen Verbrauch stattfindet, kann bspw. die Nettobedarfsrechnung oder die Liefereinteilung die real vorkommenden Schwankungen widerspiegeln.⁴⁹ Durch die mindestens tägliche Transportfrequenz (3.2.4) kann in der Lean Logistics schnell reagiert werden, sodass für kleine Schwankungen keine Lager aufgebaut werden müssen.

Die Planbarkeit kann somit trotz Abweichung gegeben sein, wenn sich diese in klar definierten Grenzen bewegt. Die nachfolgend definierte ausreichende Planbarkeit PB^z berücksichtigt daher eine Mengentoleranz durch Setzen der Toleranzvariable $z > 0$.

$$PB^z(T) = \max_{k \in \{0, \dots, n\}} \text{s. d. } \max_{j=0, \dots, k} (|B_T(T) - B_T(T-j)|) \leq z \quad \text{Formel 16}$$

In der anstehenden Abbildung 23 wird die Zeitspanne der ausreichenden Planbarkeit am bereits zuvor genutzten beispielhaften Bedarfsverlauf verdeutlicht. Die durch die Toleranzvariable z beschriebene Toleranzbreite ist, wie in der Qualitätswissenschaft, mit einer Obergrenze OG und Untergrenze UG eingezeichnet.

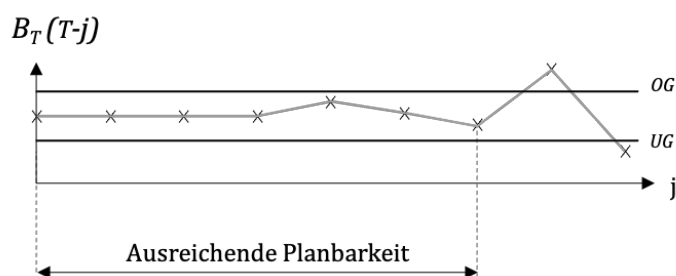


Abbildung 23: Periode der ausreichenden Planbarkeit eines Bedarfstags T (eigene Darstellung)

Die ausreichende Planbarkeit besteht nur so lange, wie sich die Abweichung des Bedarfs $B_T(T) - B_T(T-i)$ innerhalb der gesetzten Grenzen bewegt. Dies steht in Analogie zur Qualitätsregelkarte,

⁴⁸ Die Schwankung wird bei der Auslegung des Kanban-Regelkreises bspw. durch statistische Werte zum Anteil an Gutteilen und zur Bedarfsschwankung berücksichtigt (vgl. Zäh und Möller 2009, S. 173).

⁴⁹ Die Bedarfsrechnung muss dazu mit dem ziehenden System der Inhouse-Logistik gekoppelt sein. Dafür können bspw. die Kanban-Karten elektronisch eingelesen werden. Der Pull-Abruf wird dadurch zu einer Art E-Kanban.

bei der als klares Kriterium dafür, dass ein Prozess außer Kontrolle ist, gilt, dass eine der angenommenen Grenzen überschritten wird (vgl. Bissell 1995, S. 108).

Aggregation zur Kenngröße: Planbarkeit des Teilebedarfs eines Teils

Mit Hilfe der entwickelten Prüffunktionen kann eine Kenngröße auf dem benötigten Aggregationsniveau gebildet werden. In einem ersten Schritt soll die Planbarkeit des Teilebedarfs für ein Teil bestimmt werden.

Zunächst wird die zuvor erarbeitete Prüfung auf alle auswertbaren Bedarfstage N einer Erhebung vom Umfang M mit $N = M - j$ ausgeweitet. Die j zuletzt erhobenen Bedarfstage haben nicht genug Vorschauwerte und werden von der Betrachtung ausgeschlossen. Für ein betrachtetes Teil ergibt sich hieraus für jeden Bedarfstag T der Erhebung ein Wert für die Planbarkeit $PB^z(T)$. Der Graph in Abbildung 24 gibt dies für beispielhafte 18 auswertbare Tage wieder.

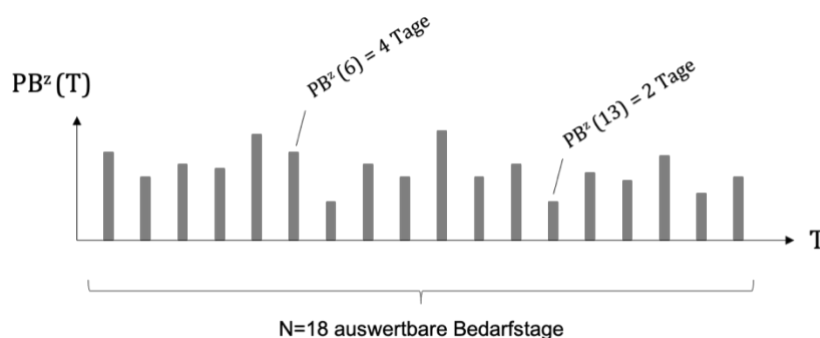


Abbildung 24: Ausgewertete Planbarkeit der erhobenen Bedarfstage (eigene Darstellung)

In der Abbildung sind für zwei Beispielbedarfstage die Planbarkeiten angegeben. So war der Bedarf an Tag 6 bereits vier Tage im Voraus exakt bekannt und damit planbar. Der Bedarf am Tag 13 war hingegen nur zwei Tage zuvor in der tatsächlich eingetretenen Menge bekannt. Durch das Beispiel wird deutlich, dass die Bedarfstage innerhalb einer Erhebung ganz unterschiedliche Planbarkeitsspannen für ein Teil aufweisen können.

Ähnlich wie zuvor lässt sich für die Gesamtplanbarkeit eines Teils eine Nulltoleranz festlegen, indem der kleinste Wert der Erhebung ausschlaggebend ist. Alle ermittelten Werte für $PB^z(T)$ wären dann mindestens so hoch wie dieser kleinste Wert. Diese so ermittelte untere Grenze ließe sich zudem nach oben verschieben. Hierdurch entsteht eine „Planbarkeitstoleranz“, die einen bestimmten Anteil von Werten unter der Toleranzgrenze akzeptiert. Die Abbildung 25 zeigt die Nulltoleranz beim kleinsten Wert von 2 Tagen und eine Toleranzgrenze bei 3 Tagen, die dazu führt, dass nur noch 83 % der Werte der auswertbaren Bedarfstage N über der Grenze liegen.

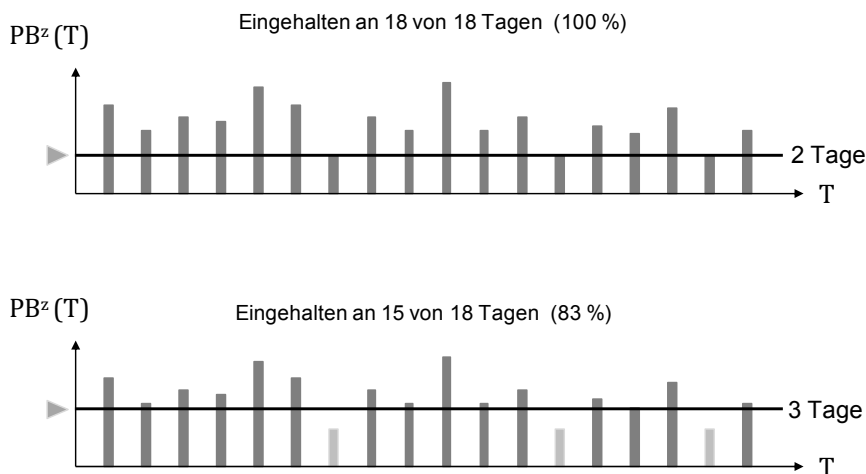


Abbildung 25: Einführung von Toleranzgrenzen (eigene Darstellung)

Aus dieser Überlegung heraus lässt sich eine Kenngröße aus allen auswertbaren Bedarfstagen N der Erhebung bilden. Hierfür wird die Variable Z eingeführt, welche in Prozentwerten den Anteil der Planbarkeitstage angibt, welche durch die Kennzahl abgebildet werden. Mit $Z = 100\%$ wird dann die Nulltoleranz beschrieben. Dies entspricht dem ersten Beispiel aus Abbildung 25. Mit $Z = 83\%$ würde der zweite Fall der Abbildung 25 beschrieben.

Z gibt somit eine relative Sicherheit für den ermittelten Wert der Planbarkeit an. Bei $Z = 100\%$ haben alle Bedarfstage in der Erhebung den ermittelten Wert der Planbarkeit erfüllt. Je kleiner Z wird, desto wahrscheinlicher wird eine Abweichung. Die Formel zur Ermittlung der Planbarkeit PBT des Teilebedarfs eines Teils der Erhebung wird nachfolgend aufgeführt.

$$PBT(Q) = PBT_{N,n}^{z,Z}(Q) \quad \text{Formel 17}$$

$$= \max_{k \in \{0,1, \dots, n\}} \left(\sum_{T=1}^N 1_{|PB^z(T) \geq k} \right) N^{-1} \cdot 100 \geq Z$$

Mit der genutzten Indexfunktion lässt sich für jeden Bedarfstag bestimmen, ob die Grenze k der Planbarkeit eingehalten wurde:

$$1_{|PB^z(T) \geq k} = \begin{cases} 0, & \text{wenn } PB^z(T) < k \\ 1, & \text{wenn } PB^z(T) \geq k \end{cases} \quad \text{Formel 18}$$

Die durch die Formeln 17 und 18 abschließend bestimmte Kenngröße der Planbarkeit des Teilebedarfs eines Teils wird im Anhang unter A.6 in komprimierter Form als Kenngrößensteckbrief wiedergegeben.

Aggregation zur Kenngröße: Planbarkeit des Teilebedarfs eines Lieferanten

Soll die Planbarkeit für alle bei einem Lieferanten L abgerufenen Teile ermittelt werden, kann dies auf Basis der ermittelten Planbarkeitswerte PB^z aller auswertbaren Tage $T = 1, \dots, N$ der Erhebung und aller $Q = 1, \dots, P$ Teilenummern, welche der Lieferant für den Automobilhersteller produziert,

geschehen. Mit Z wird, wie zuvor, der Anteil der Tage beschrieben, welche die Planbarkeit von k Tagen erfüllen.

$$PBT(L) = PBT_{N,n}^{z,Z}(L) \quad \text{Formel 19}$$

$$= \max_{k \in \{0,1, \dots, n\}, s. d.} \left(\sum_{Q=1}^P \sum_{T=1}^N 1_{|PB^z(T) \geq k} \right) (NP)^{-1} \cdot 100 \geq Z$$

Bei $Z = 100$ liefert die Formel die absolute Planbarkeit. Alle Teile des Lieferanten haben dann für jeden betrachteten Tag T der Erhebung mindestens die ermittelte Planbarkeit $PBT(L)$ in Tagen. Dies entspricht bezogen auf den betrachteten Lieferanten L dem Minimum der in der Erhebung festgestellten Planbarkeit.

Bei $Z < 100$ ergibt sich die ausreichende Planbarkeit, die bspw. bei $Z = 90$ nur von 90 % aller erhobenen Werte erfüllt wird. Dies kann dazu führen, dass eine Teilenummer mit einer sehr guten Planbarkeit die Ergebnisse einer Teilenummer mit schlechter Planbarkeit ausgleicht, da nur die schlechten Ergebnisse der zweiten Teilenummer aussortiert werden.

Die aggregierte Betrachtung aller Teile eines Lieferanten durch die Kennzahl $PBT(L)$ ist somit vorsichtig und mit möglichst großem Z durchzuführen, um Negativeffekte auszuschließen. Für die frühzeitige strategische Bewertung der Konzeptumsetzbarkeit stellt die Vereinfachung eine zulässige Komplexitätsreduzierung dar. Eine vertiefte Betrachtung der Planbarkeit jedes einzelnen Teils des Lieferanten mit $PBT(Q)$ ist zur genauen Analyse insbesondere zur späteren taktischen und operativen Planung erforderlich.

Diskussion der Kenngröße

Zu Analysezwecken kann es sinnvoll erscheinen, nicht die relative Sicherheit in Form von Z anzugeben, um, wie in Formel 17 oder 18 geschehen, die Anzahl der im Voraus planbaren Tage für die Bedarfsmenge zu ermitteln, sondern eine Planbarkeit in k Tagen anzugeben, um zu bestimmen, wie groß die dazugehörige Sicherheit bzw. Häufigkeit in der Erhebung ist. Dieses Vorgehen ist mit der nachfolgenden Formel beispielhaft für eine Teilenummer Q möglich.

$$\tilde{Z}(Q) = \tilde{Z}_{N,n}^{z,k} = \left(\sum_{T=1}^N 1_{|PB^z(T) \geq k} \right) N^{-1} \cdot 100 \quad \text{Formel 20}$$

Wie leicht zu erkennen ist, sind die formulierten Funktionen für PBT (Formel 17) und \tilde{Z} (Formel 20) nahezu Umkehrfunktionen voneinander. Je nach Präferenz kann entweder die gewünschte Sicherheit Z vorgegeben werden, um die dazugehörige Planbarkeit zu ermitteln, oder die gewünschte Planbarkeit in k Tagen vorgegeben werden, um die dazugehörige Sicherheit \tilde{Z} zu bestimmen.

In Abbildung 26 wurden zur weiteren Diskussion verschiedene beispielhafte Verläufe der Sicherheit Z gegenüber der Anzahl planbarer Tage k dargestellt, wobei der maximale Wert der theoretischen Planbarkeit bei der maximalen Vorschaulänge n in Tagen liegt. Die eigentlich diskreten Werte wurden, wie schon zuvor, verbunden, sodass sich ein Kurvenverlauf ergibt.

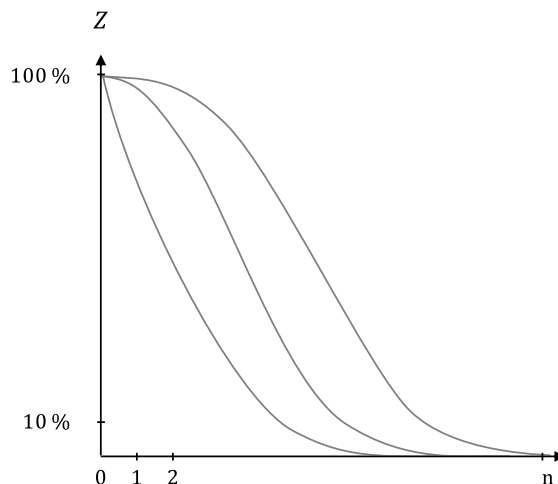


Abbildung 26: Abbildung des Stichprobenergebnisses der Planbarkeit für ein Teil (eigene Darstellung)

Mittels der Grafik lässt sich erfassen, wie die Planbarkeit beschaffen ist. Je länger sich die Kurve bei wachsendem k annähernd bei $Z = 100\%$ hält und somit fast alle Werte der Erhebung die Planbarkeit von k Tagen erfüllen, desto besser ist die Stabilität der Bedarfsvorschau. Bei sehr stabilen Fahrzeugwerken würde der Verlauf über einen längeren Zeitraum bei 100% verweilen, um am Ende des Vorschauzeitraums abrupt auf null zu fallen.

Die hinter der Planbarkeit des Teilebedarfs stehende Stabilität der Bedarfsrechnung ist, wie bereits unter 4.2.1 diskutiert, das Ergebnis einer ganzen Reihe von Einflussfaktoren, die sich außerhalb des Geltungsbereichs der Logistik befinden. Mit der Kenngröße kann das Ergebnis der Einflüsse auf die Logistik analysiert werden, jedoch einzelne Einflussfaktoren können nicht identifiziert werden. Einen tieferen Einblick kann nach erfolgter Auswertung die Betrachtung der einzelnen Teile und ihrer Bedarfscharakteristik liefern. Im Anhang A.4 „Fallbeispiel Programmstabilität unter Logistikgesichtspunkten“ werden hierzu gezielt Teile mit einer 100-Prozent-Einbaurrate betrachtet und logistische Kriterien entwickelt, um die Chancen eines stabilen Programms aus Logistiksicht zu erhöhen. Allerdings ist die Betrachtung einzelner Einflussfaktoren auch durch die gegenseitige Beeinflussung der Fahrzeugwerke, die alle zusammen im Netzwerk abrufen, nur begrenzt möglich. Die entwickelte Kenngröße bietet daher die Chance einer schnellen und Komplexität reduzierenden Betrachtung der Planbarkeit im Netzwerk.

Neben der aufgezeigten Analysemöglichkeit aus Abbildung 26 bietet sich die Möglichkeit, die Auswertung zu erweitern. So kann die für die Inbound-Logistik wichtige Durchlaufzeit DLZ des Prozesses der Planbarkeit entgegeng gehalten werden (Anforderungsbündel 4.4.1). Die DLZ wird hierzu in Formel 12 beschrieben. Es sollte über die Zeitspanne des Inbound-Prozesses mindestens Planbarkeit herrschen. Die nachfolgende Abbildung 27 subtrahiert daher die Durchlaufzeit von der jeweiligen Planbarkeit. Der Kurvenverlauf verschiebt sich hierdurch um den Wert der DLZ nach links.

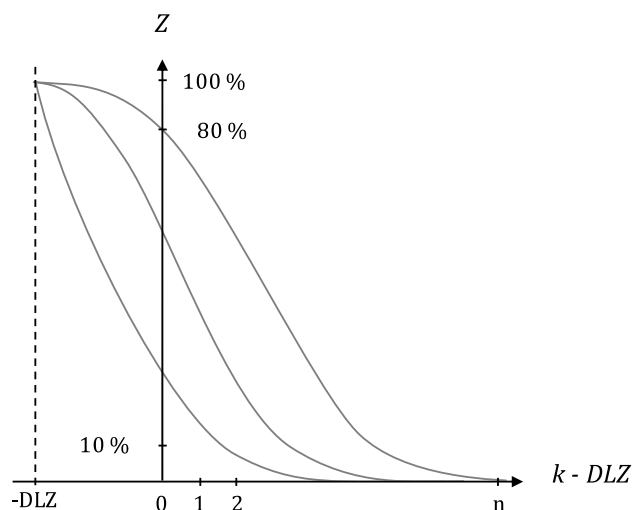


Abbildung 27: Verschiebung des Kurvenverlaufs um die Durchlaufzeit (eigene Darstellung)

Für die Umsetzbarkeit der Konzepte sollte der Kurvenverlauf einen möglichst hohen Schnittpunkt mit der Z-Achse aufweisen, da in diesem Punkt die Planbarkeit der Durchlaufzeit entspricht. Um die Voraussetzungen zu verbessern, werden aus der gewählten Systematik zwei Ansatzpunkte deutlich:

Die Variable z (Mengentoleranz) kann genutzt werden, um eine erhöhte Planbarkeit zu erreichen. Eine Vergrößerung von z führt zu einer Verbesserung des Kurvenverlaufs nach oben. Gleichzeitig müssen die damit tolerierten erhöhten Schwankungen durch Prozesspuffer aufgefangen werden (5.1.2).

Weiterhin kann die Verkürzung der DLZ zur Verschiebung der Kurve nach rechts führen. Die Durchlaufzeit kann durch die Verlegung des Lieferantenstandorts hin zum Fahrzeugwerk (Verkürzung der Transportstrecke), durch eine Erhöhung der Transportfrequenz (Verkürzung der Liegedauer der Teile, z. B. im Konsolidierungspunkt) oder sonstige Prozessmaßnahmen verkürzt werden. Der deutlich gewordene Sachverhalt zeigt, warum in der Vergangenheit Lieferanten für eine JIT-Anlieferung in Werksnähe angesiedelt wurden.

Unter dem Aspekt der Robustheit kann bemerkt werden, dass die Kenngröße, die auf der Bedarfsrechnung des Automobilherstellers fußt, relativ robust gegenüber den folgenden beispielhaften Vorkommnissen ist: wechselnde Ausstattungsmerkmale im Produktionsmix, Veränderung des Fahrzeugoutputs, Veränderungen in den Arbeitszeitmodellen. Alles, was keinen massiven Einfluss auf die Arbeitsweise der Produktion oder die Gestaltung des Produktionsprogramms hat, sollte keine systematische Änderung auf das durch die Planbarkeit des Teilebedarfs gemessene Stabilitätsverhalten haben.

5.3.2 Kenngröße 2: Liefertreue

Grundlage des Anforderungsbündels aus 4.4.2 bilden die Anforderungen der Konzepte des verbindlichen Pull-Abrufs (A2), des Auftragsbezugs (B3) sowie des vorgezogenen Wareneingangs (C3). Den Konzepten ist gemein, dass sie eine sehr hohe Anforderung an die Prozessdurchführung stellen.

Qualitativ wird das Anforderungsbündel in

Tabelle 14 wie folgt beschrieben:

„Vor Umstellung auf das Konzept sollte bereits eine hohe Qualität im Inbound-Prozess bestehen und somit der Abruf in der erforderlichen Teilemenge und den damit verbundenen Bestimmungen (Teilequalität, Behälter, ...) genau erfüllt werden.“

Eine ungenügende Anforderungserfüllung bedeutet, dass, auch wenn alle anderen Voraussetzungen für die Konzeptumsetzung gegeben sind, eine Umsetzung Schwierigkeiten hervorrufen könnte, da die Prozesspartner nicht das Vermögen einer hinreichend genauen Arbeitsweise aufweisen. Genau kann in diesem Zusammenhang zwei Bedeutungen haben. Sowohl eine Über- als auch eine Unterlieferung führen nicht zum Zielzustand der Lean Logistics, einer JIT-Anlieferung.

Für eine Prüfung wird im Allgemeinen die in Literatur und Praxis bekannte Größe der Liefertreue ermittelt (vgl. Schenk et al. 2014, S. 365). Hierfür wird entsprechend der in dieser Arbeit verfolgten Vorgehensweise aus 5.1.2 eine Formel hergeleitet.

Zunächst ist der Wareneingang, der den Endpunkt der Inbound-Logistikkette bedeutet, interessant für die Betrachtung. Jeder Automobilhersteller kann an dieser Stelle, unabhängig von der Tiefe der Zusammenarbeit mit den Prozesspartnern, die Prozessgüte beurteilen (5.2.3). Die von einer Teilenummer fehlerfrei an einem Tag T eingegangene Teilemenge wird mit $WE_q(T)$ bezeichnet (Formel 7).

Dem gegenüber steht der getätigte Lieferabruf, welcher für den Tag T die Teilmengen $A_t(T)$ des betrachteten Teils aufweist (Abschnitt 5.2.2). Mit t wird der Tag, an dem der Abruf erfolgte, gekennzeichnet. Nach der in Formel 5 getätigten Definition enthält A für $t = T$ den letztmalig getätigten Abrufwert mit $A_T(T) = s_o^T$.

Mittels eines Vergleichs der beiden Größen $A(T)$ und $WE_q(T)$ kann dann eine binäre Entscheidung zur Anforderungserfüllung „Entspricht der Wareneingang dem Abruf?“ herbeigeführt werden. Um zudem die Einführung eines Toleranzfeldes zu ermöglichen, wird wie im Abschnitt zuvor eine Variable z eingeführt, welche die maximale Abweichung gegenüber der Abrufmenge definiert, die noch als akzeptabel gilt. Es ergibt sich die folgende Prüffunktion der Liefertreue einer Teilenummer an einem Anliefertag:

$$\begin{aligned} lt(T) &= 1_{|A_T(T) - WE_q(T)| \leq z} \\ &= 1_{|s_o^T - w_T + q_T| \leq z} \end{aligned} \tag{Formel 21}$$

Die in Formel 21 aufgestellte allgemeine Definition kann jedoch noch weiterentwickelt werden, um die unter 4.4.2 getroffene qualitative Anforderungsbeschreibung besser abzubilden. Denn die Anforderung zielt darauf ab, die Qualität des Inbound-Prozesses zu bewerten. Bei diesem spielt der Lieferant als Ausgangspunkt des Transports eine wichtige Rolle. So kann es in der Realität

vorkommen, dass die örtliche Entfernung eines Lieferanten mit entsprechender Durchlaufzeit dazu führt, dass ein neuer bzw. aktualisierter Lieferabruf auch noch nach dem physischen Start des Transports beim Lieferanten eintrifft.⁵⁰ Die hieraus resultierende Abweichung würde die in Formel 21 beschriebene Liefertreue verschlechtern, obwohl die Ursache dem Fahrzeughersteller zugeschrieben werden kann. Die mathematische Prüfung sollte diesen Einfluss berücksichtigen, um eine reine Bewertung der Arbeitsqualität zu erlauben.

Eine Korrektur der Prüffunktion kann daher durch die Berücksichtigung der Inbound-Durchlaufzeit *DLZ* (Formel 12) geschehen.⁵¹ Weil es sich bei der Durchlaufzeit um eine reelle Zahl handelt, wie beispielsweise 2,6 Tage, wird hierfür die Aufrundungsfunktion $\lceil \cdot \rceil$ genutzt, da für Abrufe in der Zeiteinheit von ganzen Tagen gerechnet wird.⁵² Es wird dann gegen den Abruf geprüft, der am Tag der Abholung an den Lieferanten gesandt wurde.

$$lt(T) = 1 \left| \left| s_{\lceil DLZ \rceil}^{T - \lceil DLZ \rceil} - w_T + q_T \right| \leq \dot{z} \right. \quad \text{Formel 22}$$

Aus der Formel lässt sich die *absolute Liefertreue* eines Anliefertages mit $\dot{z} = 0$ bilden (Nulltoleranz). Um die Prüfung anwendungsnäher zu gestalten, kann der Anwender die Toleranz \dot{z} , in Anzahl Teilen, nutzen. Begründet werden kann die Nutzung einer Mengentoleranz mit vorliegenden kleinen Prozesspuffern, die im nächsten Lieferzyklus wieder aufgefüllt werden (siehe Begründung unter 5.3.1). Hierdurch lässt sich die *ausreichende Liefertreue* formulieren.

Aggregation zur Kenngröße: Liefertreue eines Teils

In der Regel wird mittels der zuvor aufgestellten Formel zur Bewertung eines einzelnen Wareneingangs die aggregierte Kenngröße der Liefertreue gebildet, welche die Wareneingänge einer bestimmten Periode den Abrufen gegenüberstellt und die Quote der Erfüllung als Ergebnis hat (vgl. VDI 2001, S. 18). So wird für eine Teilenummer Q die Summe aller mittels Formel 22 bewerteten Tage 1, ... N einer Erhebung gebildet. Die Summe repräsentiert die Tage, an denen der Wareneingang den Abruf korrekt erfüllt. Diese werden der Gesamtzahl an Tagen N gegenübergestellt.

$$LT(Q) = LT_N^{\dot{z}}(Q) = \frac{\sum_{T=1}^N lt(T)}{N} \quad \text{Formel 23}$$

Aggregation zur Kenngröße: Liefertreue eines Lieferanten

Um die Kenngröße auf alle Teile eines Lieferanten $Q = 1, \dots, M$ auszuweiten, kann der Quotient aus der Summe der Liefertreue jedes Teils zur Anzahl aller Teile des Lieferanten gebildet werden.

⁵⁰ Die Durchlaufzeit oder wenigstens deren Bestandteil, die Sendungslaufzeit, wird heute nicht unbedingt bei den Fahrzeugherstellern berücksichtigt. So gilt der letzte gesendete Abruf, obwohl ein Lieferant diesen im physischen Prozess nicht mehr berücksichtigen kann.

⁵¹ In der Praxis erfolgt die Berücksichtigung der Durchlaufzeit bereits teilweise bei der Bestimmung der Liefertreue. So bewertet der Zulieferer ZF die Liefertreue so, dass das System bei der Bewertung auf bis zu zwei vergangene Lieferabrufe zurückgreift, um zu prüfen, ob die Wareneingangsmeldung mit einem der letzten beiden Lieferabrufe übereinstimmt. ZF erkennt die hiermit immer noch bestehende Ungenauigkeit an und merkt daher an „Kurzfristige Lieferabrufänderungen von unserer Seite gehen in Ihre Bewertung mit ein“ (ZF 2017, S. 4).

⁵² Wird im Rahmen der Abrufsystematik in anderen Zeiteinheiten als in ganzen Tagen gearbeitet, kann diese entsprechend angepasst werden.

$$LT(L) = \frac{\sum_{Q=1}^M LT(Q)}{M}$$

Formel 24

Stellvertretend für beide Aggregationsstufen der Liefertreue wird im Anhang unter A.6 der Kenngrößensteckbrief der Liefertreue eines Teils in komprimierter Form wiedergegeben.

Diskussion der Kenngröße

Die Liefertreue wird durch die Gegenüberstellung des Abrufs und des Wareneingangs gemessen, deren Variablen in Formel 21 und 22 ersichtlich werden. Seitens der Wareneingangsdaten findet hierdurch die zum Liefertermin eingegangene Menge eines Teils w_T sowie die dabei qualitativ beanstandete Teilemenge q_T Berücksichtigung in der Kenngröße. Möchte man detailliertere Informationen zu den einzelnen Fehlern haben, kann auch die spezifische Mengen-, Termin- und Qualitätstreue gebildet werden (vgl. VDI 2001, S. 20 ff.). Es müssen hierfür jedoch die erforderlichen Voraussetzungen bestehen (siehe 5.2).

Unter der im Rahmen dieser Arbeit definierten Liefertreue (Formel 23, Formel 24) werden durch die Erfassung im Wareneingang die gesamten Fehler des Lieferprozesses subsumiert. Dies können sein: Lieferantenfehler, Routing-Fehler, Transportschäden. Eine klare Zuweisung zu einzelnen Prozessabschnitten und Verursachern ist hierdurch nicht möglich. Die Kenngröße gibt durch den Vergleich mit den Abrufdaten nur einen ersten Anhaltspunkt über die Güte der Arbeitsqualität wieder.

Um eine Zuordnung zu ermöglichen, kann die Liefertreue im Rahmen einer Analyse auch zu Teilen des Logistiknetzwerks gebildet werden. Insbesondere da sich die Anforderungen (A2, B3, C3) an die Arbeitsqualität der Prozessteilnehmer richten, kann eine spezifische Betrachtung Sinn ergeben. Wenn die entsprechenden Daten hierzu vorliegen, wie bspw. in Form von Eingangsbuchungen im Umschlagspunkt, kann die Formel 24 analog angewandt werden. Die Datentiefe liegt jedoch oftmals nicht beim Automobilhersteller vor (5.2), weshalb die hingegen üblicherweise vorliegenden Wareneingangsdaten als ein Hinweis auf die Arbeitsqualität genutzt werden.

Ein gravierender Einfluss, der die Bewertung der Arbeitsqualität negativ beeinflussen kann, wurde bereits innerhalb der Kenngrößenbildung erkannt und es wurde versucht, diesen zu eliminieren. Dies ist die Güte der Planbarkeit des Teilebedarfs. So kann es sein, dass die Arbeitsqualität in den einzelnen Prozessschritten hoch ist und die Materialbereitstellung und Transport genau nach den Bestimmungen ablaufen, die täglichen Abrufaktualisierungen und die damit verbundenen Mengenschwankungen den Start des Prozesses jedoch so verwirbeln, dass der Abruf nur ungenau erfüllt werden kann. Durch die Berücksichtigung des der Durchlaufzeit entsprechenden Abrufs in Formel 22 wird versucht, den Einfluss gering zu halten, bei stark schwankenden Abrufen ist jedoch die Güte der Kenngröße zu hinterfragen.

In Bezug auf die Robustheit sollte ein erfasstes Kenngrößenergebnis recht robust und gut extrapolierbar sein, da nicht davon auszugehen ist, dass die Arbeitsqualität bei gleichen Prozessbeteiligten schnell gesteigert werden kann. Wird jedoch ein wichtiger Prozesspartner wie der Teilelieferant gewechselt, kann das Ergebnis nicht ohne Weiteres übertragen werden.

5.3.3 Kenngröße 3: Durchschnittliches Transportvolumen

Grundlage des Anforderungsbündels 4.4.3 „hinreichende Größe des Transportvolumens“ bildet die Anforderung des Konzepts der hochfrequenten Transporte (D1).

Qualitativ wird die Anforderung in Tabelle 15 wie folgt beschrieben:

„Die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit verlangen ein hinreichend großes tägliches Transportvolumen je Lieferant und Hauptlauf.“

Bezug genommen wird dabei auf die Bedarfsrechnung, welche die Basisdaten für die Ermittlung des Transportvolumens liefert. So enthält die Bedarfsrechnung für einen Tag T den zuletzt eingetretenen Bedarf r_0^T (Formel 2). Dieser bezieht sich immer auf ein konkretes Teil Q . Da die Vorschauwerte der Bedarfsrechnung für die Betrachtung uninteressant sind, kann auf die Null im Index verzichtet und stattdessen die Kennzeichnung des Teils Q ergänzt werden. Nachfolgend wird daher r_Q^T statt r_0^T geschrieben.

Aus der Verknüpfung des Bedarfs mit dem spezifischen Transportvolumen bv_Q (Formel 9) ergibt sich für $T = 1, \dots, N$ Tage der Erhebung das mittlere tägliche Transportvolumen \bar{V}_Q .⁵³

$$\bar{V}_Q = \frac{\sum_{T=1}^N (r_Q^T * bv_Q)}{N} \quad \text{Formel 25}$$

Um die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit zu bewerten, könnte jedoch die reine Betrachtung des Volumens unzureichend sein. Im Rahmen der Voranalyse wird bei der Betrachtung der Bezugsgrößen der Logistik unter 5.1.1 festgestellt, dass zu Abrechnungszwecken zumeist auf das frachtpflichtige Gewicht zurückgegriffen wird. Dieses vereint kalkulatorisch die Transportrestriktion des Volumens und des Gewichts. Da zu Abrechnungszwecken bereits zumeist auf das frachtpflichtige Gewicht zurückgegriffen wird, kann die Wirtschaftlichkeit auf dieser Basis bewertet werden.

Bei der Praktikabilität ist die Einschätzung nicht so einfach vorzunehmen. Im Rahmen der operativen Stauraumplanung müssen immer beide Restriktionen und somit das Volumen und das Gewicht betrachtet werden. Die zu Grunde liegende Anforderung D1 zielt vor allem darauf ab, die Folgen einer Frequenzerhöhung auf die Stauraumplanung und infolgedessen auch auf die Routenzusammenstellung zu bewerten (0). Entstehen sehr viele kleine Sendungen, ist die Praktikabilität niedrig. So sind bspw. viele Lieferanten anzufahren und deren unterschiedliche Teile und Behälter laderaumoptimal zu stapeln. Die reine Angabe des Volumens kann bei dem Auftreten vieler kleiner Transportumfänge zu einem falschen Schluss führen, da das Gewicht nicht dargestellt

⁵³ Soll eine andere Frequenz als eine tägliche Transportfrequenz zu Grunde gelegt werden, kann das Intervall der Bedarfsrechnung als ausschlaggebende Eingangsgröße geändert werden. Unter 5.2.1 wird darauf hingewiesen, dass in dieser Arbeit mit der üblichen täglich erfolgenden Bedarfsrechnung und folglich dem Tagesbedarf r_Q^T gearbeitet wird. Wird eine höhere Frequenz und somit mehr als ein Transport pro Tag eingeplant, muss das Bedarfsintervall entsprechend verkleinert werden. Gleiches gilt dafür, dass bspw. nur alle zwei Tage ein Transport erfolgen soll. In diesem Fall wird der Bedarfsintervall entsprechend verlängert. Die Variable T entspricht dann nicht einem Tag, sondern dem angesetzten Zeitintervall. Auf diese Weise können alle in dieser Arbeit entwickelten Formeln generisch genutzt werden.

wird. Das frachtpflichtige Gewicht kann daher auf übergeordneter planerischen Ebene helfen, eine schnelle und bessere Einordnung der Verteilung vorzunehmen. Da mit Hilfe der Kenngröße keine direkte operative Steuerung angestrebt wird, brauchen so die Einzelgrößen des Gewichts und des Volumens nicht betrachtet werden.

Das mittlere Transportvolumen \bar{V}_Q wird als frachtpflichtiges Gewicht aus Formel 25 durch Austausch des spezifischen Volumens bv_Q mit dem spezifischen frachtpflichtigen Gewicht eines Teils $fp g_Q$ aus Formel 11 ermittelt.

$$\bar{V}_Q = \frac{\sum_{T=1}^N (r_Q^T * fp g_Q)}{N} \quad \text{Formel 26}$$

Aggregation zur Kenngröße: Durchschnittliches Transportvolumen eines Lieferanten

Im Anforderungsbündel 0 wird die Anforderung an das bei einem Lieferanten abzuholende Transportvolumen gestellt. Nachfolgend wird daher das durchschnittliche Transportvolumen eines Lieferanten L als frachtpflichtiges Gewicht für die Summe aller beim Lieferanten abzuholenden Teile $Q = 1, \dots, M$ berechnet. Die Bildung der Summe der Durchschnittswerte ist in diesem Fall zulässig, da derselbe Quotient in Anzahl Tagen der Erhebung besteht.

$$\bar{V}_L = \sum_{Q=1}^M \bar{V}_Q \quad \text{Formel 27}$$

Aggregation zur Kenngröße: Durchschnittliches Transportvolumens eines Hauptlaufs

Das Hauptlaufvolumen wird aus allen Teilen $Q = 1, \dots, P$ gebildet, die für das entsprechende Fahrzeugwerk F einer betrachteten Hauptlaufrelation bestimmt sind. Eingesetzt in die Formel 27 ergibt sich hierdurch das durchschnittliche Transportvolumen \bar{V}_F .

Stellvertretend für beide Aggregationsstufen gibt der Kenngrößensteckbrief im Anhang unter A.6 die Kenngröße des durchschnittlichen Transportvolumens eines Lieferanten in komprimierter Form wieder.

Diskussion der Kenngröße

Wie in der Voranalyse unter 5.1.1 bemerkt, ist der Aussagegehalt eines gebildeten Mittelwerts zu hinterfragen. So zeigt das mittlere tägliche Transportvolumen zwar einen Durchschnittswert an, durch die eventuelle Schwankung der Abrufe kann es jedoch sein, dass die Aussagekraft gering ist. Das die Anforderung D1 erhebende Konzept der hochfrequenten Transporte (0) fordert zur Überprüfung der Umsetzbarkeit daher ausdrücklich eine ergänzende Untersuchung der Schwankung durch eine weitere Kenngröße (5.3.5). Erst hierdurch wird das durchschnittlichen Transportvolumen interpretierbar.

Um das Verständnis für die Kenngröße zu vertiefen und die Einflussparameter zu verdeutlichen, wurde das anstehende Diagramm der Abbildung 28 erstellt. Es gibt zwei fiktive Beispiele für die Verteilung des durchschnittlichen Transportvolumens im Vorlauf eines Logistiknetzwerks wieder. Basis ist jeweils das Transportvolumen eines Lieferanten L unter der theoretischen Annahme eines täglichen Transports, angegeben durch das frachtpflichtige Gewicht \bar{V}_L (Formel 27).

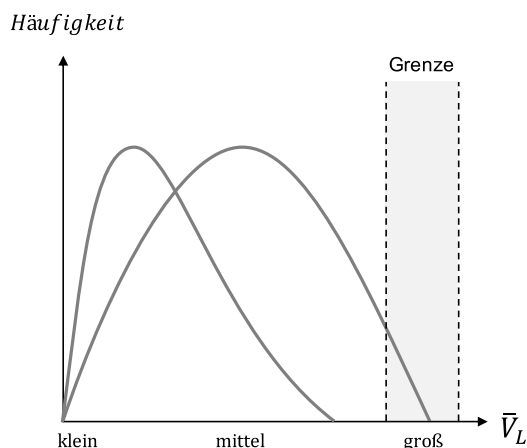


Abbildung 28: Histogramm der Transportvolumina verschiedener Hersteller (eigene Darstellung)

Aus dem Diagramm werden zunächst die Grenzen einer Verteilung deutlich. So liegt die natürliche untere Grenze des Transportvolumens bei null. Eine obere Grenze besteht im Vorlauf implizit dadurch, dass große Transportvolumen, die in den Bereich einer ganzen LKW-Ladung fallen, aus wirtschaftlichen Gründen als Direkt- und nicht als Netzwerkverkehr abgewickelt werden. In der Abbildung 28 ist die obere Grenze als grauer Bereich dargestellt. Die Grenze ist fließend, da für einen Direktverkehr auch die Schwankung des Volumens zu bewerten ist.

Anzunehmen ist, dass das Aussehen der Kurve, das sich auch in den beiden beispielhaft angegebenen Verteilungen in Abbildung 28 unterscheidet, herstellerspezifisch ist. Hauptausschlaggebend ist hierfür in Formel 26 in Verbindung mit Formel 25 der Parameter des Teilebedarfs r_Q^T . Hinter dem Teilebedarf, der zum Transportvolumen eines Lieferanten führt, stehen mehrere Einflüsse. So bspw. die Gesamtausbringung an Fahrzeugen, die Variantenanzahl an Teilen, die Gleichteilstrategie zwischen unterschiedlichen Modellen und auch, wie viele Fahrzeugwerke bei einem Lieferanten abrufen (1.1). Die meisten dieser Einflüsse sind vom Automobilhersteller selbst zu gestalten und somit zu verantworten.

Durch den identifizierten Haupteinfluss des Bedarfs wird auch eine Aussage zur Robustheit der Kenngröße möglich. Sollten in dem betrachteten Logistiknetzwerk gerade keine neuen Fahrzeugmodelle in der Produktion eingeführt werden oder sollte die Ausbringungsmenge, z. B. durch eine Anpassung des Schichtmodells, erheblich gesteigert werden, sollte die direkte Extrapolation der Ergebnisse problemlos im Bereich möglich sein. Finden zudem keine größeren Änderungen in der Produkt- und Produktionsstrategie (Fahrzeug- und Teilevarianten) sowie der Einkaufsstrategie (Anzahl Lieferanten) statt, sollten mittels der Ergebnisse weitreichende planerische Aussagen für eine Entscheidung innerhalb der Logistik getroffen werden können.

5.3.4 Kenngröße 4: Planbarkeit des Transportvolumens

Grundlage des Anforderungsbündels aus 4.4.4 bildet die Anforderung des Konzepts der festen Routen & Fahrplantaktung (E2).

Qualitativ wird die Anforderung in Tabelle 16 wie folgt beschrieben:

„Die Vorhersage sollte mit dem tatsächlich eintreffenden Transportvolumen übereinstimmen, um eine Planung zu ermöglichen.“

Zunächst ist das Transportvolumen von Interesse. Dieses kann, wie bereits zuvor in Formel 25 geschehen, auf Grundlage des Bedarfs berechnet werden. Allerdings sind hier nicht nur die aktuellen Bedarfe, sondern auch alle in der Vorschau ermittelten Bedarfe von Interesse, um eine Aussage über die Planbarkeit zu generieren. Da zur Feststellung der Planbarkeit das Zutreffen und die Konstanz der Vorhersage bewertet werden, ist es zunächst unerheblich, ob dies auf Grundlage des Teilevolumens oder des frachtpflichtigen Gewichts geschieht. Um die Durchgängigkeit zu wahren, wird jedoch wie bei der vorherigen Kenngröße 5.3.3 das frachtpflichtige Gewicht angesetzt.

Zur Berechnung des Transportvolumens werden die Werte der Bedarfsrechnung (Formel 2) mit dem spezifischen frachtpflichtigen Gewicht (Formel 11) multipliziert. So lässt sich für ein Teil Q das jeweils am Zeitpunkt t ermittelte Transportvolumen $V_{Q,T}(t)$ für einen betrachteten Tag T beschreiben.

$$V_{Q,T}(t) = r_{T-t}^t * fp_{gQ} \quad \text{Formel 28}$$

Mittels der nachfolgenden Formel 29 ergibt sich in Analogie zur Formel 16 die Planbarkeit des Transportvolumens eines Teils Q bezogen auf einen betrachteten Tag T .

$$PBTV_Q^{\ddot{z}}(T) = \max_{k \in \{0, \dots, n\}} k, \text{ s. d. } \max_{j=0, \dots, k} (|V_{Q,T}(T) - V_{Q,T}(T-j)|) \leq \ddot{z} \quad \text{Formel 29}$$

Durch die Toleranzvariable \ddot{z} kann eine Schwankung des Transportvolumens in Gewicht definiert werden, bei dem dennoch ausreichend Planungssicherheit vorliegt. Die Nulltoleranz wird dann als absolute Planbarkeit und die mit einem $\ddot{z} > 0$ festgelegte Toleranz als ausreichende Planbarkeit des Transportvolumens bezeichnet.⁵⁴

Aggregation zur Kenngröße: Planbarkeit des Transportvolumens eines Lieferanten

Bei der Aggregation auf Lieferantenebene wird das Transportvolumen aller Teile, welche im Vorlauf abgeholt werden, summiert. Produziert ein Lieferant für einen Fahrzeughersteller verschiedene Teile, kann sich die Schwankung des Transportvolumens der einzelnen Teile in der Summe unter Umständen ausgleichen.⁵⁵

Abbildung 29 zeigt beispielhaft die gemeinsame Betrachtung des Transportvolumens zweier Teile Q1 und Q2 für einen betrachteten Tag T . Mit der Laufvariablen j werden die in der historisierten Vorschau für den Tag T bestimmten Transportvolumen aufgerufen, während bei $j = 0$ das tatsächlich eingetretene Transportvolumen beschrieben wird. Im beispielhaften Verlauf gleichen

⁵⁴ Das Ergebnis der Planbarkeit des Transportvolumens (Formel 28) entspricht der Planbarkeit des Teilebedarfs (Formel 16), solange nur ein Teil Q betrachtet wird und das Toleranzfeld sich gleicht.

⁵⁵ Hier gewinnt die Angabe des Volumens als frachtpflichtiges Gewicht an Relevanz, da bei der Aggregation mehrere Teile zusammen betrachtet werden.

sich die Transportvolumina der beiden Teile so aus, dass eine ausreichende Planbarkeit über einen längeren Zeitraum gegeben ist.

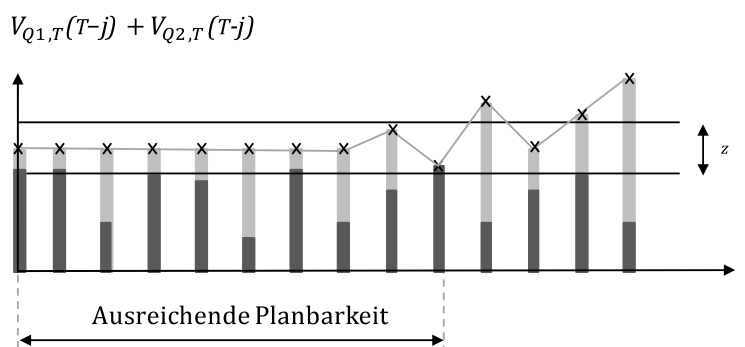


Abbildung 29: Planbarkeit des aggregierten Transportvolumens (eigene Darstellung)

Zur Ermittlung der Planbarkeit des Transportvolumens eines Lieferanten L an einem betrachteten Tag T wird die Formel 29 daher durch Summation aller von einem Lieferanten gelieferten Teile $Q = 1, \dots, M$ erweitert.

$$PBTV_L^{\check{z}}(T) = \max_{k \in \{0, \dots, n\}}, \text{ s. d. } \max_{j=0, \dots, k} \left(\left| \sum_{Q=1}^M V_{Q,T}(T) - \sum_{Q=1}^M V_{Q,T}(T-j) \right| \right) \leq \check{z} \quad \text{Formel 30}$$

Die Formel beschreibt die Planbarkeit jedoch nur für einen betrachteten Anliefertag. Mittels Betrachtung aller auswertbaren Tage einer Erhebung (ausschlaggebend ist hier die Anzahl der Vorschautage, siehe 5.3.1) lässt sich die aggregierte Kenngröße der Planbarkeit des Transportvolumens eines Lieferanten bilden. Die geringste Planbarkeit innerhalb der erhobenen Tage bestimmt hierbei den Wert der abschließenden Kenngröße.

$$PBV(L) = PBV_{N,n}^{\check{z},\check{z}}(L) \quad \text{Formel 31}$$

$$= \max_{k \in \{0, 1, \dots, n\}}, \text{ s. d. } \left(\sum_{T=1}^N 1_{|PBTV_L^{\check{z}}(T) \geq k} \right) N^{-1} \cdot 100 \geq \check{z}$$

Um nicht den kleinsten erhobenen Wert als ausschlaggebend zu betrachten ($\check{z} = 100\%$, absolute Planbarkeit), kann durch ein kleineres \check{z} ein Erfüllungsgrad bestimmt werden (ausreichende Planbarkeit). So können bspw. Ausreißer eliminiert werden. Der durch \check{z} angegebene Anteil der erhobenen Tage erfüllt dann die Planbarkeit von k Tagen. Eine ausführliche Diskussion und grafische Veranschaulichung erfolgten hierzu unter 5.3.1.

Aggregation zur Kenngröße: Planbarkeit des Transportvolumens eines Hauptlaufs

Zur Ermittlung der aggregierten Kenngröße werden alle Teile $Q = 1, \dots, P$, welche auf einer Hauptlaufrelation zu einem Fahrzeugwerk F gefahren werden, betrachtet. Analog zu Formel 31 ergibt sich hierdurch die Planbarkeit des Transportvolumens eines Hauptlaufs $PBV(F)$.

Stellvertretend für beide Aggregationsstufen gibt der Kenngrößensteckbrief unter A.6 die Kenngröße der Planbarkeit des Transportvolumens eines Lieferanten in komprimierter Form wieder.

Diskussion der Kenngröße

Die Diskussion der Kenngröße stützt sich im Wesentlichen auf die Aussagen der bereits diskutierten Planbarkeit des Teilebedarfs (5.3.1). So ist der theoretische Wert der Planbarkeit in erster Linie von der Stabilität der Bedarfsrechnung abhängig. Hierdurch wird das durch die Produktionsplanung und Produktion der Logistik zur Verfügung gestellte Potenzial deutlich. Das Ergebnis der Kenngrößenermittlung ist daher relativ robust, wenn keine wesentlichen Änderungen in der Produktion und der Programmplanung vorgenommen werden.

Durch die Betrachtung des kombinierten Transportvolumens mehrerer Teile in Abbildung 29 wird zudem deutlich, dass sich die Planbarkeit des Transportvolumens von der Planbarkeit des Teilebedarfs unterscheiden kann. Während sich die Transportvolumen addieren lassen, da sie gemeinsam den Laderaum eines LKW ausfüllen, lässt sich der Teilebedarf unterschiedlicher Teile nicht addieren, da für jede Teilnummer unter Umständen unterschiedliche Produktionstechniken und -kapazitäten benötigt werden.

5.3.5 Kenngröße 5: Theoretische logistische Auslastung

Grundlage des Anforderungsbündels 4.4.5 sind die Anforderungen der Konzepte der Routen und Fahrplankonzepte E1, der hochfrequenten Transporte D2 sowie des Crossdocks F3.

Qualitativ wird die Anforderung wie in Tabelle 17 folgt beschrieben:

„Die Größe des Transportvolumens sollte über die Zeit betrachtet gleichmäßig und ohne große Schwankungen sein.“

Grundsätzlich kann der mathematische Sachverhalt zunächst mit der bereits bekannten Formel 28 für das Transportvolumen beschrieben werden. Da nur das tatsächlich eingetretene Transportvolumen bei $t = T$ des Bedarfs r_{T-t}^t aus Formel 2 von Interesse ist und nicht die im Rechnungslauf enthaltenen Vorschauwerte, wird nachfolgend nur mit r_0^T weitergearbeitet. Da dieser Bedarf für ein Teil Q spezifisch ist, wird, wie bereits unter 5.3.3 geschehen, hierfür r_Q^T geschrieben. Durch Multiplikation mit dem spezifischen frachtpflichtigen Gewicht $fp g_Q$ aus Formel 11 lässt sich das für den Tag T durch den Bedarf des Teils Q hervorgerufene Transportvolumen ermitteln.⁵⁶

$$V_Q(T) = r_Q^T * fp g_Q \quad \text{Formel 32}$$

⁵⁶ Zur Nutzung des frachtpflichtigen Gewichts wird die Argumentation aus 5.3.3 aufgenommen. Es handelt sich um eine strategische Einschätzung des Transportvolumens. Dabei ermöglicht es das frachtpflichtige Gewicht, die Doppelrestriktion für einen Transport, bestehend aus Volumen und Gewicht, in einer Größe zu berücksichtigen, damit die verschiedenen Transportumfänge zur Bewertung addiert werden können.

Um das Schwankungsverhalten des Transportvolumens im Zeitverlauf zu analysieren, kann eine für $V_Q(T)$ erhobene Zeitreihe ausgewertet werden. So können bspw. die Minimal- und Maximalwerte identifiziert werden und die Schwankungsbreite kann ausgegeben werden. Abbildung 30 illustriert dies.

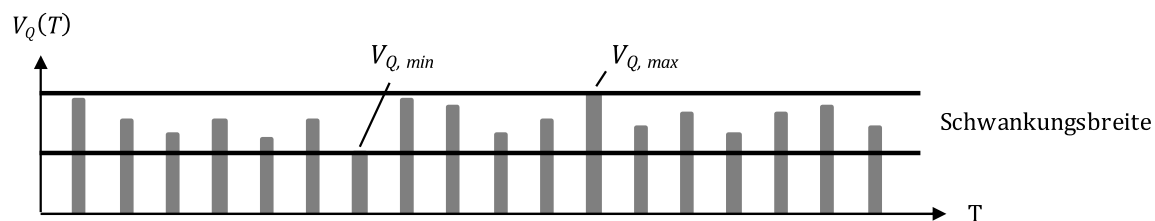


Abbildung 30: Schwankungsbreite des Transportvolumens eines Lieferanten (eigene Darstellung)

In Bezug auf die Schwankung erhebt die eingangs wiedergegebene qualitative Anforderungsbeschreibung die zu prüfende Anforderung, dass das Transportvolumen möglichst gleichmäßig und ohne große Schwankungen sein sollte. Eine Bewertung, ob eine Schwankung bereits als groß zu bezeichnen ist, fällt durch die reine Angabe bspw. der Minimal- und Maximalwerte oder der Schwankungsbreite jedoch schwer. Diese müssen sinnvoll in Relation gesetzt werden, um eine Bewertung zuzulassen.

Eine sinnvolle Relation kann über die Betrachtung des Logistikprozesses und der damit verbundenen Logistikkonzepte gefunden werden. Zunächst lässt sich feststellen, dass die Logistikprozesse auf den Maximalwert des Transportvolumens ausgelegt werden müssen, um den maximalen Durchsatz erfüllen zu können. Für die festen Routen & Fahrpläne heißt dies, dass sie entsprechend dem Abholintervall jeweils den maximalen Frachtraum vorhalten müssen. Gleiches gilt für das Crossdock, welches eine entsprechende maximale End- und Beladungs- sowie Flächenkapazität vorsehen muss.

Da in der idealen Lean Logistics mindestens einmal täglich eine Abholung erfolgt (3.2.4), wird das betrachtete Intervall auf einen Tag gesetzt.⁵⁷ Das maximale Transportvolumen, angegeben in frachtpflichtigem Gewicht, kann dann wie folgt für alle betrachteten Tage $1, \dots, N$ der Erhebung ermittelt werden.

$$V_{Q,max} = \max_{T=1,\dots,N} V_Q(T) \quad \text{Formel 33}$$

Wie bereits bei den anderen Kenngrößen geschehen, kann eine Toleranz vorgesehen werden. Das ermittelte Maximum gilt hierdurch nur für einen bestimmten Anteil \check{Z} der betrachteten Tage. Beispielsweise würde bei $\check{Z} = 95\%$ ein Anteil von 5% der betrachteten Tage über diesem Maximum liegen. Hierdurch können Ausreißer ausgeschlossen oder theoretisch bewusst Sonderfahrten hingenommen werden.

⁵⁷ Sollte ein kleineres oder größeres Transportintervall vorliegen, können die Transportvolumen entsprechend zusammengefasst oder geteilt werden. Die grundlegende Systematik der erarbeiteten Prüfung bleibt hiervon unberührt. Die Transportvolumen werden entsprechend dem gewählten Zeitintervall in die Formeln eingesetzt.

$$V_{Q,max}^{\bar{z}} = \min_{T=1,\dots,N} V_Q(T), \text{ s. d. } \left(\sum_{i=1}^N 1_{|V_Q(T) \geq V_Q(i)} \right) N^{-1} \cdot 100 \geq \bar{z} \quad \text{Formel 34}$$

Die vorgenommene Betrachtung des Prozesses der festen Routen & Fahrplanktation lässt sich hiernach fortsetzen, indem der Frachtraum eines LKW betrachtet wird (Abbildung 31). Um genügend Frachtraum für die schwankende Transportmenge zur Verfügung zu stellen, wird der Bereich des maximalen Transportvolumens innerhalb eines LKW reserviert.

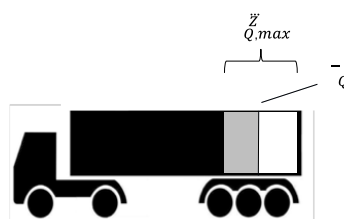


Abbildung 31: Bei gleichbleibenden Routen vorzuhaltender Laderaum eines LKW (eigene Darstellung)

Durch die Schwankung des Transportvolumens wird der reservierte Frachtraum jedoch nur durchschnittlich in Größe des mittleren Transportvolumens \bar{V}_Q (Formel 26) ausgelastet (grau hinterlegter Bereich). In Relation zum mittleren Transportvolumen wird das maximale Transportvolumen somit bewertbar.

Aus den getätigten Überlegungen lässt sich die Bestimmung einer theoretischen Auslastung begründen. Die Auslastung lässt sich mittels des Durchsatzes, geteilt durch den Grenzdurchsatz, beschreiben (vgl. Gudehus 2010, S. 156). Die nachfolgende Formel gibt die Berechnungsvorschrift hierfür wieder.

$$AUS_Q^{\bar{z}} = \frac{\bar{V}_Q}{V_{Q,max}^{\bar{z}}} \quad \text{Formel 35}$$

Die Bezeichnung „theoretische Auslastung“ verdeutlicht, dass es sich um keine reale Auslastung handelt. Die theoretische Auslastung kann durch eine genaue Analyse der für die operative Stauraumplanung relevanten Größen des Gewichts und Volumens, der Behälter, der Sendungsgrößen und Lieferantenfolgen einer Route verbessert werden.⁵⁸ Innerhalb der planerischen Betrachtung liefert die theoretische Auslastung jedoch einen guten Hinweis darauf, welche Auswirkungen die Konzeptauswahl für den operativen Prozess haben kann.

Aggregation zur Kenngröße: Theoretische logistische Auslastung im Vorlauf

Zur Ermittlung der Kenngröße wird das Transportvolumen eines Lieferanten bestimmt. Hierzu wird zunächst das Transportvolumen resultierend aus der Summe aller Teile $Q = 1, \dots, M$ eines Lieferanten gebildet.

⁵⁸ Beispielsweise kann auch die Routenzusammenstellung in die Stauraumplanung einbezogen werden. Unter Umständen ergänzen sich Lieferantenfolgen vorteilhaft, da die Sendungsgrößen asynchron schwanken und in dem Fall nicht das maximale Transportvolumen pro Lieferant vorgehalten werden muss.

$$V_L(U) = \sum_{Q=1}^M (r_Q^U * f p g_Q)$$

Formel 36

Hieraus lassen sich das mittlere Transportvolumen gemäß Formel 27 sowie das maximale Transportvolumen durch Anwendung der Formel 34 bestimmen. Eingesetzt in Formel 35 ergibt sich die theoretische logistische Auslastung je Lieferant $AUS_L^{\ddot{z}}$.

Aggregation zur Kenngröße: Theoretische logistische Auslastung im Hauptlauf

Die Kenngrößenbildung erfolgt analog der Kenngröße für einen Vorlauf, indem alle Teile $Q = 1, \dots, P$, welche auf einer Hauptlaufrelation zu einem Fahrzeugwerk F gefahren werden, in die Betrachtung einfließen. Es ergibt sich hieraus die Kenngröße $AUS_F^{\ddot{z}}$.⁵⁹

Aggregation zur Kenngröße: Theoretische logistische Auslastung im Crossdock

Die Kenngröße bildet das höchste Aggregationsniveau durch die Betrachtung aller Teile $Q = 1, \dots, P$ des Einzugsgebiets des Crossdocks. Ergebnis ist die Kenngröße $AUS_C^{\ddot{z}}$.

Im Anhang wird unter A.6 stellvertretend für alle Aggregationsstufen der Kenngrößensteckbrief für die theoretische logistische Auslastung im Vorlauf wiedergegeben.

Diskussion der Kenngröße

Bei der Kenngröße der theoretischen logistischen Auslastung handelt es sich um eine relative Größe, die ohne Maßeinheit auskommt. Dadurch, dass die Auslastung ein für den Planer bekanntes Maß darstellt, kann das Ergebnis leicht eingeordnet werden. Die Bezeichnung als „theoretische Auslastung“ kennzeichnet den Unterschied zu einer operativ erzielbaren Auslastung und stellt zugleich die größte Schwachstelle der Verwechslung mit der realen Auslastung, dar.

Im Vergleich zur theoretischen Auslastung kann die reale Auslastung anders ausfallen, da die Betrachtung des frachtpflichtigen Gewichts stark vereinfacht (Praktikabilität, 5.3.3). Die Behälterarten, Gebindegrößen etc. werden nicht betrachtet, sondern nur eine vereinfachte Abschätzung, ob das Gewicht oder das Volumen ausschlaggebend sind, in die Bewertung einbezogen. Auf der einen Seite kann die reale Stauraumplanung daher zu einem besseren Ergebnis führen, insbesondere wenn sie es schafft, schwankende Transportbedarfe auszugleichen. Das relativ starre Konzept der festen Routen & Fahrplanktation (3.2.5) steht jedoch einer dynamischen Optimierung der Routenzusammenstellung und somit Stauraumoptimierung entgegen. Bei der Taktung im Crossdock verhält es sich ähnlich (3.2.6). Die nachfolgende Betrachtung der Abbildung 32 greift zur Verdeutlichung den Fall einer festen Route im Vorlauf auf.

⁵⁹ Da beim Hauptlauf keine Sammelrouten gefahren werden und eine Direktrelation zwischen Umschlagspunkt und Empfangswerk besteht, könnte auch direkt die maximale Zuladung eines Standard-LKW betrachtet werden. Der Quotient der Auslastung wäre in diesem Fall nicht $V_{F,max}^{\ddot{z}}$, sondern das hierzu ganzzahlige Vielfache der maximalen LKW-Zuladung. In diesem Fall würde die Auslastung in Abhängigkeit von dem durchschnittlichen Transportvolumen eine gestufte Form annehmen, was die Interpretation jedoch erschweren würde. Eine schlechte Auslastung könnte dann auch darauf zurückzuführen sein, dass der Schwellenwert einer LKW-Größe überschritten wurde. Dieser Einfluss besteht nicht in der ursprünglichen Form der Auslastungsdefinition durch Formel 35. Es wird daher von einer einheitlichen Definition der Auslastung im Vor- und Hauptlauf ausgegangen und nicht auf die maximale LKW-Zuladung Bezug genommen.

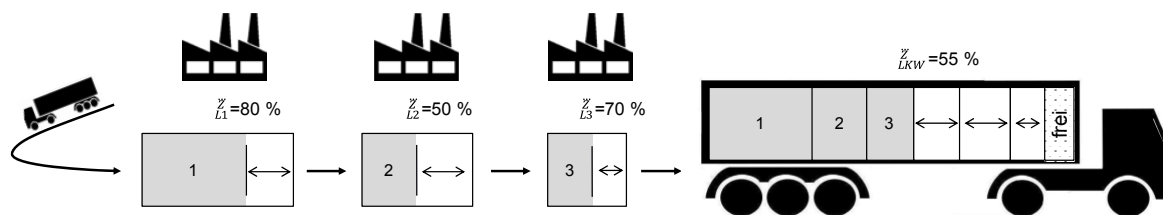


Abbildung 32: Kombination der Ladung mehrerer Lieferanten im Vorlauf (eigene Darstellung)

Abbildung 32 zeichnet eine Rundlauf-Tour des LKW nach, der bei drei Lieferanten Materialien abholt. Zunächst ergänzen sich die zu einer Route zusammengefassten Lieferanten in dem Beispiel der Abbildung nicht vollständig, sodass Laderaum regelmäßig frei bleibt (gepunktetes Feld). Durch die feststehende und unveränderliche Route müssen die maximal möglichen Auslenkungen des Transportvolumens freigehalten werden (weiße Felder). Im Durchschnitt ist der LKW nur mit dem mittleren Transportvolumen der Lieferanten ausgelastet (graue Felder). Die Gesamtauslastung des LKW liegt hierdurch bei nur 55 %.

Durch das Beispiel wird deutlich, dass die auf das Transportvolumen eines Lieferanten bezogene theoretische Auslastung keinen direkten Schluss auf die reale Transportauslastung eines LKW zulässt. Eine hohe theoretische Auslastung des Transportvolumens jedes Lieferanten ist jedoch die beste Voraussetzung, um die reale Auslastung anzuheben (Verkleinerung der weißen Felder in Abbildung 32). Im Fall einer guten theoretischen Auslastung eines Lieferanten im Vorlauf kommt es auf die Routenfindung an, eine gute Kombination der einzelnen Transportvolumen der Lieferanten zu finden, um die reale Auslastung tatsächlich hoch zu gestalten.

Eine schlechte theoretische Auslastung je Lieferant hingegen ist eine schlechte Voraussetzung für eine gute reale Auslastung. Die limitierende Größe des LKW und der durch eine nicht ideale Routenzusammenstellung entstehende Freiraum sind ein weiteres Hemmnis. Um bei einer schlechten theoretischen Auslastung trotz des Konzepts der festen Routen & Fahrpläne die Chancen auf eine gute reale Auslastung zu erhöhen, bestehen verschiedene konzeptionelle Möglichkeiten. Beispielsweise kann bei einer planmäßigen sporadischen Überlastung des Stauraums bei bestehender Notwendigkeit eine Extrafahrt (Zusatztakt) eingeführt werden. Abschnitt 6.2.5 geht daher weiter auf bestehende Handlungsoptionen innerhalb der Lean Logistics ein.

Um die weiteren Beeinflussungsmöglichkeiten der Auslastung zu analysieren, kann ein Blick auf die Formel 36 helfen. Hier zeigt sich, dass das Transportvolumen direkt vom Bedarf r_Q^T und somit dem Verhalten der Fahrzeugwerke des Automobilherstellers abhängt. Da in der Lean Logistics keine Bündelung der Transportmengen durch zeitliches Schieben und Ziehen mehr möglich ist (3.1), besteht hier ein direkter Zusammenhang. Die Möglichkeit der Verbesserung der Auslastung liegt somit beim Fahrzeughersteller und seinem Einfluss auf den Bedarfsverlauf (Produktentwicklung, Produktion etc., siehe auch 4.2.1).

Unter dem Aspekt der Robustheit kann auf die Diskussion in Abschnitt 5.3.1 zur Planbarkeit des Teilevolumens verwiesen werden. Ergeben sich keine wesentlichen Änderungen im Produkt, in der Programmplanung und Produktion selbst, kann das Ergebnis extrapoliert werden.

6 Entwicklung eines methodischen Bewertungsvorgehens

Auf Basis der aus den Anforderungen (Kapitel 4) gebildeten Kenngrößen (Kapitel 5) wird nachfolgend ein Bewertungsvorgehen definiert. Mit Hilfe dessen soll die Umsetzbarkeit der einzelnen Konzepte der Lean-Inbound-Logistik (Kapitel 3) überprüfbar werden. Das Vorgehensmodell soll dabei eine gestufte Umsetzungslogik zulassen, was bisherige Verfahren nicht vorsehen (Analyse 2.2.4). So soll dem Anwender, dem Logistikplaner, ein konzeptueller Lösungsweg aufgezeigt werden, der die lokalen, spezifischen Randbedingungen eines Automobilherstellers berücksichtigt. Wenn die Prüfung ergibt, dass unter den vorherrschenden Bedingungen keine ideale Umsetzung möglich ist, werden durch das Stufenmodell machbare Varianten deutlich, die eine spätere Weiterentwicklung hin zur idealen Umsetzung ermöglichen. Eine strukturierte und methodisch abgesicherte Entscheidungsfindung wird so unterstützt.⁶⁰

6.1 Methodik

Zunächst sollen wie in den vorangegangenen Kapiteln die Grundlagen für die nachfolgende Ausarbeitung dargelegt werden. Die Annahmen und Feststellungen hieraus bestimmen maßgeblich die Vorgehensweise zur Erarbeitung des methodischen Bewertungsvorgehens.

6.1.1 Grundlagen & Voranalyse

Jede Kenngröße aus dem vorangegangenen Kapitel 5 lässt die Prüfung eines der erarbeiteten Anforderungsbündel zu. Anhand des Beispiels der Planbarkeit des Teilebedarfs (Abschnitt 5.3.1, Formel 17) werden nachfolgend die Grundlagen für die Überprüfung einer Anforderung erarbeitet.

Beispiel: Planbarkeit des Teilebedarfs

Mit einer Sicherheit von $Z = 95\%$ soll für ein bestimmtes Teil Q die Planbarkeit aus einer Erhebung mit einem auswertbaren Umfang von $N = 120$ Bedarfstagen ermittelt werden. Beim Teil Q handelt es sich um die optionale Rückfahrkamera. Die Mengentoleranz wird mit $z = 10$ Teilen gewählt, deren Schwankung in der Menge durch die Pufferbestände im Fahrzeugwerk abgedeckt wird. Die betrachteten Rechnungsläufe des Fahrzeugherstellers ermitteln jeweils den Bedarf von $n = 7$ Vorschautagen. Eine längere Planbarkeit kann sich somit technisch nicht ergeben.

Das Ergebnis der Analyse ergibt die Planbarkeit $PBT_{N,n}^{z,Z}(Q) = 5 \text{ Tage}$. Bereits fünf Tage vor dem Eintreten des Bedarfs stand somit die korrekte Bedarfsmenge unter den getroffenen Annahmen fest.

Um eine Bewertung dieser Zahl vorzunehmen, muss auf die Anforderung referenziert werden. Diese resultiert aus dem Anforderungsbündel aus 4.4.1 und bezieht sich auf das Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs mit der Anforderung A1, die in Tabelle 21 beschrieben wird. So sollte die Planbarkeit mindestens der Durchlaufzeit entsprechen, die mittels Formel 12 ermittelt wird. Für die Rückfahrkamera als gewähltes Teil Q wird durch den Lieferantenstandort die Sendungslaufzeit $s_L =$

⁶⁰ Fehlimplementierungen mit schwerwiegenden Folgen, wie bei Ford geschehen, können so hoffentlich vermieden werden und einer dogmatischen Meinung kann eine differenzierte Analyse entgegengesetzt werden. Siehe zu Ford auch in der Motivation unter 1.1 und weiterführend die Beschreibung von Liker (2004, S. 203 ff.).

2,5 Tage, eine Vorlaufzeit beim Lieferanten von $p_L = 0,5$ Tage sowie eine Verteilzeit im Werk von $v = 1,0$ Tage angesetzt, was zu einer resultierenden Durchlaufzeit von $DLZ_L = 4,5$ Tagen führt.

Für die Anforderung kann hieraus die folgende Annahmebedingung formuliert werden. Diese kann sowohl zur Prüfung der Planbarkeit eines Teils Q als auch auf der Aggregationsstufe der Planbarkeit eines Lieferanten L angewandt werden.

$$PBT_{N,n}^{z,z}(Q) - DLZ_L \geq 0 \quad \text{Formel 37}$$

Die Bedingung ist erfüllt, da in dem gewählten Beispiel eine Planbarkeit von 5 Tagen und eine Durchlaufzeit von 4,5 Tagen vorliegt. Für das allgemeine Vorgehen kann aus dem Beispiel geschlossen werden, dass je Konzept auf Grundlage der Kenngrößen in einem ersten Schritt Annahmebedingungen formuliert werden müssen.

Visualisierung

Die rein zahlenbasierte Formulierung der Annahmebedingung kann durch eine geeignete Visualisierung unterstützt werden. Hierdurch können die Analyse, das Verständnis sowie die Kommunikation der späteren Ergebnisse entscheidend unterstützt und somit erleichtert werden (vgl. Schumann und Müller 2000, S. 5). Eine Visualisierung versetzt den Anwender zudem in die Lage, mit seinem menschlichen Wahrnehmungsapparat Muster, Anomalien und Ausreißer zu erkennen (vgl. Wierse und Riedel 2017, S. 109). Eine Visualisierung kann zum Zweck der verbesserten Wahrnehmung durch grafische Elemente wie Punkte, Linien, Kurven und geometrische Formen gebildet werden und mittels der Darstellungsattribute wie Farbe oder Textur weiter differenziert werden (vgl. Schumann und Müller 2000, S. 126).

Wie im Schritt zuvor soll durch ein weiteres Beispiel analysiert werden, ob sich aus der Prüfung der Anforderungen eines Konzepts ein Diagramm ergibt, welches durch weitere grafische Elemente wie durch Kennzeichnung der Annahmebereiche erweitert werden kann, sodass eine Analyse der Ergebnisse durch reine Betrachtung erleichtert wird.

Beispiel: Verbindlicher Pull-Abruf

Die Anforderungen des verbindlichen Pull-Abrufs werden in Abschnitt 4.3.1 beschrieben. Es bestehen zwei Anforderungen. Die erste der beiden, die Muss-Anforderung A1, wurde bereits im vorausgegangenen Beispiel behandelt. Sie lässt sich mittels der Kenngröße 1, der Planbarkeit des Teilebedarfs, überprüfen (5.3.1). Die zweite Anforderung, die Sollte-Anforderung A2, ist durch die Kenngröße 2, die Liefertreue, überprüfbar (5.3.2). Es kann somit von zwei Prüfdimensionen gesprochen werden. Hierdurch entstehen für die Bewertung, ob das Konzept bei $L = 1, \dots, M$ Lieferanten angewandt werden kann, einzelne Datenpunkte p , welche für die Attribute der Liefertreue $LT(L)$ und der Planbarkeit des Teilebedarfs $PBT(L)$ spezifische Werte annehmen (Formel 38).

$$p = \begin{pmatrix} LT(L) \\ PBT(L) \end{pmatrix}, L = 1, \dots, M \quad \text{Formel 38}$$

Die so gebildeten Datenpunkte lassen sich im Allgemeinen in einfacher Art und Weise als Punktdiagramm (Scatter Plot) visualisieren. Dies erlaubt es, die eingangs beschriebenen Wahrnehmungsmöglichkeiten des Menschen zu nutzen, da die Verteilung ersichtlich wird. So kann der Mensch bei einem Punktdiagramm seine sehr guten Fähigkeiten, relative Positionen einzuschätzen und zu vergleichen, nutzen (vgl. Schumann und Müller 2000, S. 131). Weiterhin ist das Punktdiagramm prädestiniert, chaotisch verteilte Daten darzustellen (vgl. Wierse und Riedel 2017, S. 141).

Für die nachfolgende Abbildung 33 wurden beispielhafte Daten erzeugt. Auf der Abszisse ist hierzu die Liefertreue $LT(L)$ und auf der Ordinate die Planbarkeit $PBT(L)$ abgetragen. Deutlich wird, dass die lokale Dichte, Streuung sowie Ausreißer gut ersichtlich werden. Hierdurch erwächst der Vorteil, dass der die Bewertung durchführende Logistikplaner seine eigene Expertise in die Bewertung einfließen lassen und die Muster mit möglichen Ursachen in Verbindung bringen kann.

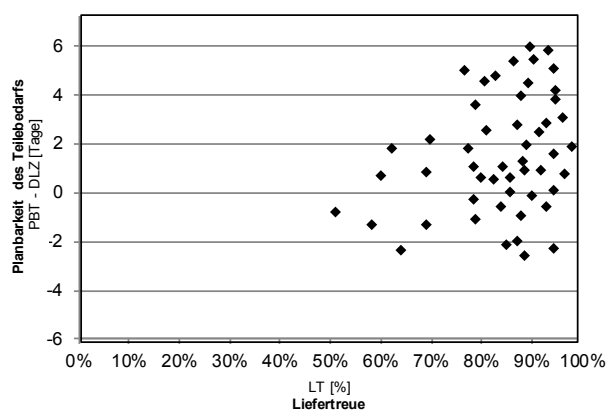


Abbildung 33: Punktdiagramm als Grundlage der Visualisierung (eigene Darstellung)

Die gewählte Darstellung zeigt zudem einen weiteren methodischen Ansatzpunkt. So kann für eine schnellere visuelle Erkennung der Anforderungserfüllung die bereits im ersten Beispiel aufgestellte Formel 37 so genutzt werden, dass $PBT_{N,n}^{z,z}(L) - DLZ_L$ auf der Ordinate abgetragen wird, sodass folglich alle Punkte über dem Nullpunkt die Anforderung erfüllen. Der hierdurch vereinfachte ersichtliche Annahmebereich kann weiter durch eine Schattierung der Flächen hervorgehoben werden. In der nachfolgenden Abbildung 34 ist der beispielhaft gebildete Annahmebereich grau hinterlegt.

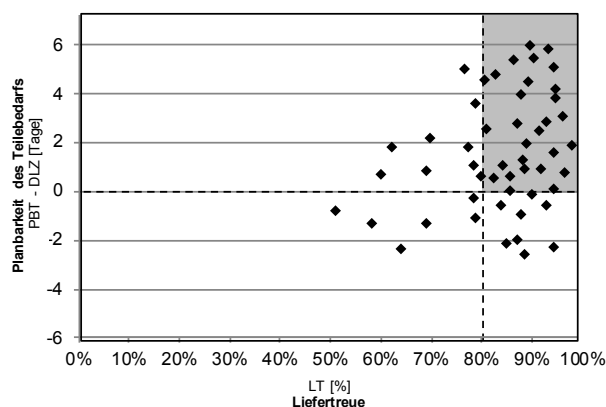


Abbildung 34: Kennzeichnung der Annahmebereiche (eigene Darstellung)

Alle Punkte, die in den Annahmereich fallen, erfüllen die Muss-Anforderung des verbindlichen Pull-Abrufs hinsichtlich der Planbarkeit (Formel 37: Werte größer null). Ebenso erfüllen sie die hier beispielhaft parametrisierte Soll-Anforderung einer Liefertreue von größer als 80 %.⁶¹ Festzustellen ist, dass die Verteilung auf diese Weise visuell recht einfach zu bewerten ist, ohne weitere Vereinfachungen wie z. B. die Zusammenfassung der Punkte zu Dichtespots vorzunehmen. So bleibt die Detailtiefe erhalten und wird nur mittels der schattierten Flächen um wichtige Informationen zur Bewertung ergänzt. Im Beispiel wird hierdurch ersichtlich, dass die Konzentration der Punkte in deutlicher Anzahl über den Annahmereich hinausgeht und so eine Umsetzung des Idealkonzepts schwierig werden dürfte.

Stufenweise Ausbildung von Konzeptvarianten

Die Kennzeichnung von weiteren schattierten Flächen eröffnet die Möglichkeit, Konzeptvarianten aufzuzeigen, die umsetzbar sind, falls die bewerteten Daten keine ideale Umsetzung ermöglichen und wie in Abbildung 34 zu großen Teilen nicht die notwendige Planbarkeit aufweisen. Die Systematik knüpft an das Vorgehen bei der Fabrikplanung an, bei der, ausgehend von einem idealen Entwurf, reale Lösungsvarianten entwickelt werden, welche die in der Realität vorliegenden Bedingungen berücksichtigen (vgl. Grundig 2018, S. 151; Schenk et al. 2014, S. 290).

Um Konzeptvarianten in die Darstellungslogik zu integrieren, müssen die Folgen sowohl der Teil- bzw. Nichterfüllung der Muss- als auch der Soll-Anforderungen analysiert werden. Hiernach können, ausgehend vom Idealkonzept, Abstufungsvarianten entwickelt werden, deren geringere Anforderungen ebenso durch schattierte Flächen in die Visualisierung integriert werden. Die Konzeptvarianten führen so zu einer Klassifizierung der Daten. Die beschriebene Systematik und visuelle Umsetzung sind in Abbildung 35 beispielhaft dargestellt.

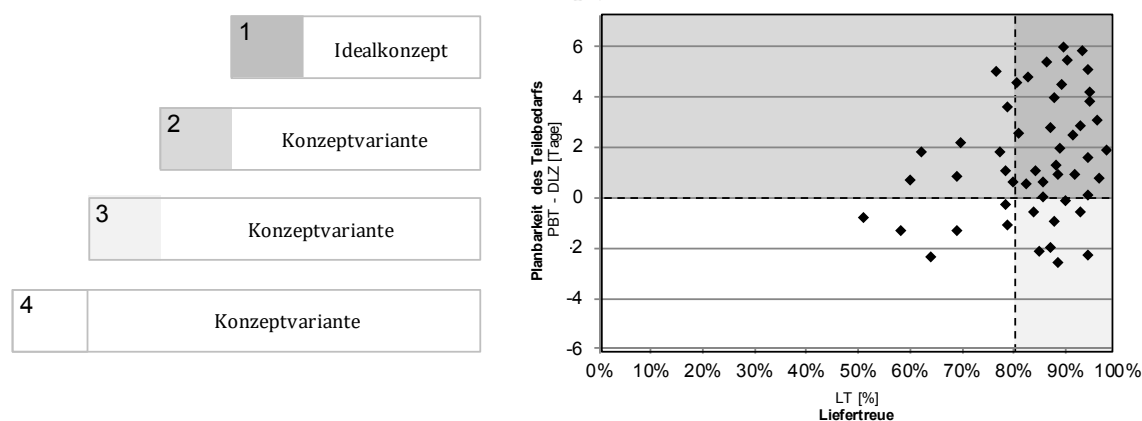


Abbildung 35: Aufzeigen von Konzeptvarianten mit verminderten Anforderungen

Um eine Bewertung vorzunehmen, kann die Verteilung der Punkte in den formulierten Bereichen analysiert werden. In dem Beispiel könnte so gegebenenfalls die Konzeptvariante 2 möglich sein. Der Großteil der Ausprägungen befindet sich direkt im Annahmereich oder sogar im nächsthöheren Bereich des Idealkonzepts (Variante 1). Ein Teil der Punkte erfüllt die Voraussetzungen jedoch nicht. Um eine Entscheidung zu treffen, ist eine vertiefte Analyse der herausfallenden Ausprägungen

⁶¹ Die detaillierte Entwicklung methodischen Vorgehensweise zur Bewertung des verbindlichen Pull-Abrufs findet unter 6.2.1 statt. Die hier gemachten Annahmen sind beispielhaft zur Erarbeitung der methodischen Grundlagen.

notwendig. Das Bewertungsvorgehen liefert so den ersten Schritt und gibt Hinweise darauf, welche Ausprägungen (Teile, Lieferanten) ggf. näher betrachtet werden sollten.

Konzeptabhängigkeiten

Neben der bereits beispielhaft betrachteten Prüfung von Anforderungen mittels Kenngrößen bestehen Anforderungen, welche sich auf keine Kenngröße beziehen, sondern nur Konzeptabhängigkeiten darstellen (0). Konzeptabhängigkeiten beschreiben den Fall, dass zur Umsetzung eines Konzepts Teile eines anderen Konzepts notwendig sind. Für den zuvor beispielhaft analysierten Fall des verbindlichen Pull-Abrufs bestehen keine solchen Abhängigkeiten. Wohl aber stellt die Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs eine Voraussetzung für andere Konzepte dar. So bedarf das Konzept des Auftragsbezugs die Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs (Anforderung B1, 4.3.2).

Die Prüfung von Konzeptabhängigkeiten gehört somit zur Bewertung hinzu und ist neben der Auswertung der Kenngrößen durchzuführen. Die Prüfung der Konzeptabhängigkeiten sollte in einem ersten Schritt stattfinden, da sich die aufwendige Auswertung der Kenngrößen gegebenenfalls erübrigt, wenn bereits bekannt ist, dass sich andere Konzepte nicht umsetzen lassen.

6.1.2 Vorgehensweise zur Ableitung des Bewertungsvorgehens

Durch die erarbeiteten Grundlagen ist es nun möglich, eine methodische Reihenfolge zur Bildung des Vorgehensmodells zu entwickeln. Zunächst scheint klar, dass sich die Vorgehensweise für alle Lean-Logistics-Konzepte gleichen soll, jedoch individuell pro Konzept eine Bewertung aufgebaut werden muss. Ziel ist es daher, eine Bewertungslogik zu definieren, welche es ermöglicht, die individuellen Anforderungen je Konzept aus 4.3 zu überprüfen und auf dieser Basis Umsetzungsvarianten aufzuzeigen. Basis der Bewertung bildet jeweils die Ergebnismenge der Kenngrößenbewertung für ein Logistiknetzwerk bzw. ein Teilnetz. Die nachfolgenden Schritte beschreiben den Ablauf zur Bildung des konzeptbezogenen Bewertungsvorgehens.

1.) Abhängigkeiten zu anderen Konzepten

In einem ersten Schritt sollen die vorliegenden Konzeptabhängigkeiten betrachtet werden. Es wird analysiert, welcher Konzeptbestandteil eines anderen Konzepts für die Umsetzung vorausgesetzt wird. Unter Umständen wird ein gesamtes anderes Konzept als Voraussetzung für die Umsetzung gesehen. Die nachfolgende Analyse kann sich hieran orientieren und auf die Bewertung des vorausgesetzten Konzepts referenzieren.

2.) Zuordnung der Kenngrößen

Über die durchgängig vorgenommene Erarbeitung der konzeptuellen Anforderung (4.3) – Anforderungsbündel (4.4) – Kenngrößen (5.3) lassen sich jedem Konzept Kenngrößen zuordnen. Durch die Auflistung dieser Kenngrößen sowie die Beschreibung des notwendigen Aggregationsniveaus werden die zur nachfolgenden Prüfung notwendigen Grundlagen geschaffen.

3.) Prüfung der Muss-Anforderungen

Wie in der Vorbetrachtung festgestellt, können auf Basis der identifizierten Kenngrößen Annahmebereiche definiert werden, welche eine Umsetzung des Konzepts zulassen. Ein Annahmebereich erlaubt so die Identifikation einer Teilmenge der gesamten Ergebnismenge. Die Aufteilung in Teilbereiche durch die Definition von Teilmengen erlaubt es, eine gestufte Konzept- bzw. Anforderungslogik aufzubauen. Die vorgenommene Definition der Bereiche soll beispielhaft parametrisiert werden, um das Verständnis für die Methodik zu verbessern. Schließlich kann auch ein Ablehnungsbereich definiert werden, bei dem keine Umsetzung mehr möglich erscheint.

4.) Prüfung der Soll- und Kann-Anforderungen

Ebenso wie bei der Prüfung der Muss-Anforderungen wird mit den Soll- und Kann-Anforderungen verfahren. Die Ergebnismenge wird basierend auf einer Definition von Annahmebereichen in Teilmengen aufgeteilt.

5.) Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Auf Basis der Kenngrößen, welche die Prüfdimensionen und somit Achsen bilden, wird jeweils ein Punktediagramm aufgebaut. Die in Schritt drei und vier definierten Annahmebereiche werden durch Schattierungen eingezeichnet (Abbildung 35). Hierdurch ergibt sich eine Aufteilung, auf deren Basis Konzeptvarianten entwickelt werden.

Ausgangspunkt der Konzeptvariantenbildung ist jeweils die vollständige Erfüllung der Anforderungen. In diesem Fall ist das unter 3.2 beschriebene jeweilige Idealkonzept umsetzbar. Die Bereiche darunter erfüllen die Anforderungen nicht ideal. Die abgestuften Konzeptvarianten müssen somit die Untererfüllung ausgleichen und dennoch einen Migrationsweg zum Idealkonzept aufzeigen. Nach Möglichkeit sind die aufgezeigten Konzeptvarianten in der Praxis erprobt und durch Literatur belegt.

6.) Zusammenführung zu einem Bewertungsvorgehen

Zur Bildung eines gesamten Bewertungsvorgehens werden die einzelnen, konzeptbezogenen Bewertungen zusammengeführt. Um der Zielsetzung eines planerisch anwendbaren, systematischen Vorgehens zu entsprechen, werden die durchzuführenden Schritte des Bewertungsvorgehen formalisiert. Dabei soll auf die in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten Grundlagen verwiesen werden, so dass sich über die Auswahl des Analysebereichs, der Erhebung der Datengrundlagen bis zur Bewertung ein geschlossenes Bewertungsvorgehen ergibt.

6.1.3 Diskussion der methodischen Grenzen und Schwachstellen

Die gewählte Vorgehensweise führt das analytische Gesamtverfahren der vorliegenden Arbeit fort indem sie prüft, welche Bereiche einer potenziellen Ergebnismenge den zuvor formulierten Anforderungen genügen. Hierfür werden die zur Anforderungsüberprüfung entwickelten Kenngrößen genutzt. Durch das stringente Vorgehen von der Anforderungsanalyse (Kapitel 4) über die daraus entwickelten Kenngrößen (Kapitel 5) bis zur hier vorgenommenen Entwicklung der Bewertung und Definition der dazu notwendigen Vorgehensweise (Kapitel 6) wird somit einer klaren Logik gefolgt. Ob die Einteilung der Ergebnismenge in einzelne die Anforderung erfüllende

Teilmengen sachlich richtig und vollständig geschieht, ist durch das analytische Vorgehen stets fallbezogen zu hinterfragen.

Die dargelegte Vorgehensweise sieht zur Minimierung der hiermit verbundenen Fehler ein schrittweises Vorgehen vor. Auf diese Weise und insbesondere durch die einzeln durchgeführten Prüfungen der Anforderungen zur Festlegung der Annahmebereiche wird eine Begründung jeder Einzelentscheidung erzwungen, sodass der finale Schritt der Bewertung auf einer nachvollziehbaren Grundlage fußt. Zur Absicherung wird die Einteilung der Annahmebereiche beispielhaft parametrisiert. Dies ermöglicht es, die Einteilung durch den beispielhaften Bezug zu realen Größen der Logistik nachzuvollziehen und deren Richtigkeit abzuschätzen. Eine solche Prüfung wäre ohne ein konkretes Zahlenbeispiel auf rein theoretischer Basis schwierig. Die Parametrisierung an sich ist zwar leicht angreifbar, die Falsifizierung der aufgebauten Methodik jedoch Ziel des Schrittes. Die analytisch bestimmten Annahmebereiche wurden auf diese Weise durch Diskussion mit praxiserfahrenen Logistikplanern möglich. Dies geschieht in der sich diesem Kapitel anschließenden Fallstudie.

Dadurch, dass das entwickelte Bewertungsvorgehen klar auf die Prüfung der Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Inbound-Netzwerk zielt, findet eine deutliche Eingrenzung möglicher Konzeptvarianten beim Aufbau der gestuften Konzeptlogik statt. Konzeptvarianten werden ausgehend vom Idealkonzept und als Reaktion auf eine Mindererfüllung bestimmter Anforderungen vorgeschlagen. Der hierdurch eingegrenzte Konzeptraum minimiert Fehler und lässt einzig Abwandlungen des Idealkonzepts zu, bis keine Möglichkeit der Umsetzung mehr gesehen wird. In diesem Fall wird von einer Umsetzung abgeraten und ein Beibehalten des derzeit üblichen methodischen und konzeptionellen Vorgehens im Inbound-Netzwerk wird empfohlen. Durch die Bildung von Konzeptvarianten als Reaktion auf die Mindererfüllung von Anforderungen entsteht ein für die spätere Anwendung der Methodik umgekehrter klar gestufter Entwicklungsweg, der in der Spitze zur Realisierbarkeit des Idealkonzepts führt. Die vorgeschlagenen Konzeptvarianten orientieren sich dabei an bekannten Konzepten der Logistik und versuchen, diese zur Absicherung mit Literatur zu belegen. Limitierender Faktor ist hier, wie beim analytischen Vorgehen insgesamt, die Kenntnis des Methodenentwicklers. Neben dem intensiven Literaturstudium wurde daher bei der Entwicklung versucht, mögliche Schwachstellen der Konzepte durch eine ausreichende Diskussion zu minimieren.

6.2 Entwicklung der konzeptbezogenen Bewertung

Wie in der Voranalyse (6.1.1) und der darauf aufbauenden Vorgehensweise (6.1.2) dargelegt, wird für jedes Lean-Logistics-Konzept eine Bewertungslogik entwickelt, um die Prüfung der individuellen Anforderungen zu ermöglichen. Das nachfolgende Vorgehen richtet sich nach den zuvor unter 6.1.2 beschriebenen Schritten 1 - 5. Die Reihenfolge der Konzepte entspricht deren Einführung in dieser Arbeit, wie im Abschnitt 3.2 dargelegt.

6.2.1 Verbindlicher Pull-Abruf

Es soll bewertet werden, ob das Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs, eingangs beschrieben unter 3.2.1 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 4.2.1, unter den gegebenen Bedingungen umgesetzt werden kann. Hierfür müssen die unter 4.3.1 aufgeführten Anforderungen erfüllt sein. Abhängigkeiten zu anderen Konzepten bestehen nicht, sodass eine Umsetzung, sollten die Voraussetzungen erfüllt sein, auch alleinstehend vorgenommen werden kann.

Zuordnung der Kenngrößen

Um eine Aussage über die Erfüllung der Anforderungen treffen zu können, können die Kenngrößen der „Planbarkeit des Teilebedarfs“ (5.3.1) sowie der „Liefertreue“ (5.3.2) zur Bewertung der vorliegenden Randbedingungen und Prozesse der automobilen Inbound-Logistik herangezogen werden.

Hierfür wird die Planbarkeit (Formel 19) auf dem Aggregationsniveau des Lieferanten L mit $PBT_{N,n}^{z,z}(L)$ gebildet.⁶² Nachfolgend wird hierfür vereinfachend PBT geschrieben. Zur Prüfung der Anforderungserfüllung wird die Durchlaufzeit je Lieferant zum Abzug gebracht (Formel 12). So bildet $PBT - DLZ$ die erste Prüfdimension (Begründung siehe 6.1.1).

Als Grundlage der Berechnung der Planbarkeit werden die Bruttobedarfe (Formel 2) genutzt, da sie das Potenzial für eine Konzeptumsetzung wiedergeben. Potenzial in diesem Sinne heißt, dass die Produktionsbedarfe in Reinform ausgewertet werden und noch keine Veränderungen durch Maßnahmen und bestehende Konzepte der Logistik, bspw. die Liefereinteilung (Sicherheitstage, Gebindegrößen etc.), vorliegen.⁶³ Bei der Bildung der Kenngröße werden die Bedarfe aller Fahrzeugwerke berücksichtigt, die bei den betrachteten Lieferanten abrufen.

Die Liefertreue $LT(L)$ als zweite Prüfdimension wird mittels Formel 24 auf dem Aggregationsniveau des Lieferanten L gebildet. Nachfolgend wird auch hier vereinfachend die Kennzeichnung des Lieferanten vernachlässigt, sodass LT geschrieben wird. Ebenso wie bei der Ermittlung der Planbarkeit werden bei der Liefertreue alle Fahrzeugwerke berücksichtigt, die bei den Lieferanten abrufen.

Prüfung der Muss-Anforderung

Die Muss-Anforderung besagt, dass sich die Bedarfe bzw. deren Vorschau (Menge/Zeiteinheit) im Bezugszeitraum und somit während der Durchlaufzeit, vom Lieferanten zum Bedarfsort, nicht ändern dürfen (Anforderung A1: Tabelle 21) In diesem Fall besteht Planbarkeit und somit die Voraussetzung, den Abruf im Sinne des Lieferanten verbindlich auszugestalten. Durch die Anforderung lässt sich die Gesamtergebnismenge aller Ausprägungen p in zwei Teilmengen aufteilen:

$$A_{PBT} = \{p | (PBT - DLZ) \geq 0\}$$

⁶² Die Formel und ihre Variablen werden neben der Erläuterung innerhalb der Entwicklung der Kenngröße (5.3.1) im Anhang unter A.6 beschrieben.

⁶³ Die Liefereinteilung wird im Rahmen der Analyse des verbindlichen Pull-Abrufs unter 4.2.1 näher erläutert.

Formel 39

$$B_{PBT} = \{p | (PBT - DLZ) < 0\}$$

Alle Ergebnisse der Menge A_{PBT} erfüllen die Voraussetzung, den Abruf durch die Logistik verbindlich zu gestalten, da die Randbedingungen nach Abzug der Durchlaufzeit noch eine ausreichende Planbarkeit von größer null aufweisen. Durch Anpassung der Abrufsystematik kann ein möglichst unverfälschter Bedarfsabruf (Pull) an die Lieferanten gesendet werden.⁶⁴

B_{PBT} ist dabei der absolute Komplementär von A_{PBT} . Die Menge der Ergebnisse erfüllt die Muss-Anforderung nicht, da sich die Bedarfe noch innerhalb der Durchlaufzeit der Inbound-Logistik ändern.

Prüfung der Soll-Anforderung

Die Soll-Anforderung bezieht sich auf die vorliegende Prozessqualität. Hierbei gibt die Liefertreue den Prozentsatz der Teilmenge an, die durch den Lieferanten und den damit verbundenen Inbound-Prozess im Vergleich zum Abruf sowohl mengen- als auch qualitätsgerecht angeliefert wurde. Die Soll-Anforderung besagt, dass hierbei bereits vor Umstellung auf das Konzept ein hoher Erfüllungsgrad des Abrufs vorliegen sollte. Durch diese Anforderung lässt sich die Menge der Ergebnisse wie zuvor in zwei Teilmengen aufteilen.

$$A_{LT} = \{p | LT \geq x\}$$

Formel 40

$$B_{LT} = \{p | LT < x\}$$

Da es sich um keine „harte“ Anforderung handelt, bei der eine natürliche Ausprägungsgrenze vorliegt, könnte die Aufteilung auch in mehr als zwei Bereiche vorgenommen werden. Die ABC-Analyse wählt beispielsweise im Standardfall eine Aufteilung nach dem Paretoprinzip in drei Bereiche (siehe 2.2.1). Eine Aufteilung in zwei Bereiche wird für die Ausarbeitung der Systematik jedoch zunächst als ausreichend empfunden.

Die Teilmenge A_{LT} kennzeichnet den Bereich einer hohen Liefertreue. Da bei einer idealen Umsetzung des Pull-Abrufs keine Sicherheitsmengen mehr bestehen, ist dies unabdingbar, um Prozessbehinderungen wie teure Ausweichprozesse (Sonderfahrten etc.) bis hin zu einem Produktionsstopp in den Fahrzeugwerken zu vermeiden. Für die Parametrisierung muss der Anwender abschätzen, welche Liefertreue er vor Umsetzung des Konzepts erwartet. Es ist bei der Überlegung einzubeziehen, dass der verbindliche Abruf zu einer Verbesserung der Liefertreue führt (vgl. Klug 2018, S. 438). Eine ebenfalls vorgenommene Einführung des vorgezogenen Wareneingangs (3.2.3) oder des Auftragsbezugs (3.2.2) kann zu einer weiteren Steigerung der Lieferqualität führen. Als Voraussetzung zur Umsetzung des Idealkonzepts vertritt diese Arbeit die Meinung, dass die Parametrisierung von x bei mindestens 80–90 % liegen sollte.

⁶⁴ Im Anhang A.5 wird ein Fallbeispiel für eine reale Anpassung der Abrufsystematik gegeben.

Dadurch, dass die Menge B_{LT} den absoluten Komplementär zu A_{LT} bildet, wird hierdurch der Teil der Ergebnismenge gekennzeichnet, bei dem man auf Grund der heute bestehenden Liefertreue Schwierigkeiten bei der Umsetzung erwarten muss. Es ist abzuschätzen, ob und mit welchen Maßnahmen eine ausreichende Verbesserung der Qualität erreicht werden kann.

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Für die Überprüfung der beschriebenen Muss- und Sollte-Anforderung wurde die nachfolgende Visualisierung der Abbildung 36 entwickelt. Sie erlaubt durch Kennzeichnung der jeweiligen Annahmebereiche eine Bewertung der vorliegenden Bedingungen zur Konzeptumsetzung.

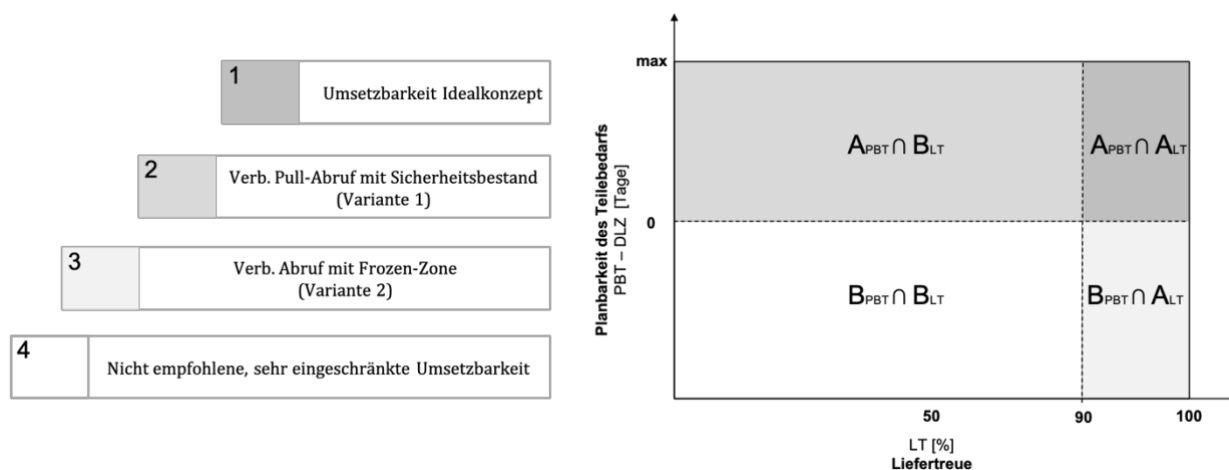


Abbildung 36: Bewertungsschema für das Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs (eigene Darstellung)

$A_{PBT} \cap A_{LT}$: Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs (Idealkonzept)

Die Planbarkeit des Teilebedarfs ist bereits ausreichend, sodass eine Umstellung des Logistikkonzepts erfolgen kann. Die sehr hohe Liefertreue unterstützt die Umstellung.

Im Rahmen der Umsetzung müssen durch die Logistik Behältergrößen, Gebindegrößen, Sicherheitstage, Sicherheitsmengen, Verpackungsvorschriften etc. so abgeändert werden, dass der Bruttobedarf möglichst in Reinform, als unverfälschter Bedarfsabruf der Produktionsmenge, verbindlich an die Lieferanten gesendet wird.⁶⁵ Kleine Schwankungen in der Bedarfsmenge, welche innerhalb der Parametrisierung der Kenngröße als akzeptabel betrachtet wurden, müssen über Pufferbestände abgefangen werden.⁶⁶

$A_{PBT} \cap B_{LT}$: Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs mit Sicherheitsbestand (Variante 1)

Die Planbarkeit des Teilebedarfs ist ausreichend, sodass ein verbindlicher Pull-Abruf umgesetzt und an die Lieferanten versandt werden kann. Die erforderlichen Maßnahmen zur Umsetzung können von der Logistik selbst getroffen werden. Da die erforderliche Liefertreue jedoch nicht besteht, sodass mit Unter- und Überlieferungen aus dem operativen Prozess zu rechnen ist, sind weiterhin Sicherheitsbestände mit einem werksnahen Lager⁶⁷ vorzusehen, um die Schwankungen aufzufangen.

⁶⁵ Die Umstellung des Teileabrufs als möglichst unverfälschte Weitergabe der Produktionsbedarfe wurde in einer Fallstudie durchgeführt. Siehe hierzu den Anhang A.5.

⁶⁶ Ein Beispiel für die Parametrisierung der Kenngröße ist den Grundlagen aus 6.1.1 zu entnehmen.

⁶⁷ Der Begriff des werksnahen Lagers kennzeichnet ein Lager in Nähe des Fahrzeugwerkes oder aber das Eingangslager des Fahrzeugwerkes selbst. Dies gilt auch für die folgenden Konzepte.

$B_{BPT} \cap A_{LT}$: Umsetzbarkeit des verbindlichen Abrufs mit Frozen Zone (Variante 2)

Die Liefertreue ist sehr gut, sodass gute Voraussetzungen für eine Prozessumstellung bestehen. Allerdings weisen die Bruttobedarfe nicht die erforderliche Stabilität auf, um hieraus einen verbindlichen Pull-Abruf bilden zu können. Als gestufte Konzeptvariante kann eine logistische Frozen-Zone mit Entkopplung über ein werksnahes Lager eingeführt werden. Diese bietet die Möglichkeit, den Abruf im Bereich der Inbound-Logistik, trotz fehlender planbarer Voraussetzung der Produktion, hinreichend verbindlich auszugestalten.

Die „Frozen-Zone“ ist generell ein zwischen dem Fahrzeughersteller und dem Lieferanten vereinbarter Zeitraum, in dem die Mengen und Termine der Bestellung nicht mehr geändert werden (vgl. Barthel 2006, S. 79).⁶⁸ Durch die Entkopplung mittels eines Lagers kann die Anforderungsuntererfüllung durch selbstständige Maßnahmen der Logistik ausgeglichen werden.⁶⁹ Es ist hierfür zu prüfen, ob die Vorhaltung der Schwankungsmenge im Lager operativ möglich und wirtschaftlich angemessen umgesetzt werden kann.

$B_{BPT} \cap B_{LT}$: Nicht empfohlene, sehr eingeschränkte Umsetzbarkeit

Sowohl die Voraussetzung der Planbarkeit als auch die relativ schlechte Liefertreue bergen zu viele Unwägbarkeiten für eine Umsetzung aus Logistiksicht. Prinzipiell könnten jedoch durch eine Entkopplung mittels eines werksnahen Lagers sowohl die Unregelmäßigkeit der Produktionsbedarfe als auch der Lieferqualität aufgefangen und ein verbindlicher Abruf könnte umgesetzt werden. In Summe ergibt sich hierdurch jedoch keine Konzeptvariante im Sinne der Lean Logistics.

6.2.2 Auftragsbezug

Es soll bewertet werden, ob das Konzept des Auftragsbezugs, eingangs beschrieben unter 3.2.2 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 4.2.2, umgesetzt werden kann. Hierfür müssen die unter 4.3.2 aufgeführten Anforderungen erfüllt sein. Zunächst sind hierzu die Konzeptabhängigkeiten festzustellen.

Abhängigkeiten zu anderen Konzepten

Das Konzept des Auftragsbezugs ist die Weiterführung des Pull-Abrufs im physischen Inbound-Prozess. Durch den Auftragsbezug wird eine klare Zuordnung der Teile auf Behälterbasis zu einem Bedarfsort- und Zeitpunkt vorgenommen (4.2.2). Dabei ist die Umsetzung des Auftragsbezugs ohne Pull-Abruf nicht möglich, da erst dieser die Produktionsbedarfe direkt mit den Abrufmengen verbindet.

⁶⁸ Der Zeitraum der Frozen-Zone sollte sich nach der Inbound-Durchlaufzeit richten und spiegelt somit die Entfernung zum Lieferanten wieder. In der Praxis experimentieren die Fahrzeughersteller mit einer Frozen-Zone der Länge von 4 bis 6 Tagen (vgl. Corsten und Gabriel 2004, S. 256).

⁶⁹ Von der Definition her ähnlich wird die Frozen-Zone häufig auf die Produktion und die Produktionsprogrammgestaltung bezogen. So sieht beispielsweise Klug (2018, S. 438) die Frozen-Zone im Zusammenhang mit der Perlenkettenstrategie, die zur einer Sequenzeinhaltung der Produktionsreihenfolge führt. So wird mittels der stabilen Auftragsreihenfolge schon mehrere Tage vor Produktionsbeginn eine feste Sequenz der zu produzierenden Fahrzeuge hergestellt (vgl. Weyer 2002, S. 88 ff.). Die Frozen-Zone auch auf die Produktion auszudehnen ist ein weitreichenderer Schritt als die Entkopplung mittels eines Lagers.

Die Verbindlichkeit des Abrufs ist zudem die Voraussetzung dafür, dass es keine Abruf-Änderungen mehr während des physischen Inbound-Prozesses gibt. Sollte die Verbindlichkeit in Frage stehen, ergibt der Auftragsbezug einer Lieferung zu einem Bedarfsort und -zeitpunkt keinen Sinn, wenn dieser sich noch ändert. Als Konsequenz hieraus muss daher zuerst die Bewertung zur Einführbarkeit des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs vorgenommen (6.2.1) oder diese muss gemeinsam mit der Bewertung zum Auftragsbezug durchgeführt werden.

Neben dem verbindlichen Pull-Abruf führt der Abschnitt 4.3.2 eine weitere Konzeptabhängigkeit auf. Diese entspricht einer Soll-Anforderung und ist daher nicht zwingend notwendig. Die Abhängigkeit besteht zum Konzept der Routen & Fahrplantaktung. So können die Routen und Zwischenzeiten im Auftragsbezug berücksichtigt und auf den Labeln angegeben werden. Hierdurch werden eine höhere Verbindlichkeit und Überprüfbarkeit während des Prozesses geschaffen. Die Bewertung des Konzepts der festen Routen & Fahrplantaktung (6.2.5) kann durch den Soll-Bezug auch nach der Bewertung des Auftragsbezugs durchgeführt werden und die Ergebnisse können anschließend zusammengeführt werden.

Zuordnung der Kenngrößen

Die Kenngröße der „Liefertreue“ (5.3.2) kann zur Bewertung der Umsetzbarkeit des Konzepts herangezogen werden. Eine sehr gute Liefertreue stellt eine Soll-Anforderung dar. Weitere Anforderungen bestehen nicht. Die Liefertreue LT wird gemäß Formel 24 auf dem Aggregationsniveau des Lieferanten L gebildet.

Prüfung der Soll-Anforderung

Wie im vorangegangenen Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs (6.2.1) bewertet die Soll-Anforderung die vorliegende Prozess- und Arbeitsqualität als Voraussetzung für eine Konzeptumsetzung. Der Auftragsbezug erhöht die Anforderung an eine akkurate Arbeitsweise der Prozesspartner, da die Prozessschritte genau vorgegeben werden und kaum Flexibilität für eine eigenständige Prozessausgestaltung vorliegt. So sind im Idealfall für die einzelnen Behälter bis zum Bedarfsort die Zwischenzeiten und Orte festgelegt. Abweichungen fallen hierdurch schneller auf, um die Wahrscheinlichkeit und somit das Risiko für einen durchlaufenden Fehler zu senken.

Um zu bewerten, ob die Prozesspartner die durch das Konzept weiter gestiegene Qualitätsanforderung umsetzen können, wird die zu dem Zeitpunkt der Bewertung vorliegende Arbeitsqualität mittels der Liefertreue bewertet. Nur wenn hier bereits sehr gute Ergebnisse vorliegen, ist es den Prozesspartnern zuzutrauen, erhöhte Prozessanforderungen zu erfüllen. Zur Bewertung kann die gleiche Abgrenzung wie bei der Bewertung zum verbindlichen Pull-Abruf genutzt werden.

Formel 40 definiert mit der Menge A_{LT} einen Annahme- und mit der Komplementärmenge B_{LT} einen Ablehnungsbereich.

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Da das Konzept des Auftragsbezugs nur zusammen mit dem Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs umgesetzt werden kann, wird vorgeschlagen, die Bewertung in die bereits konzipierte Visualisierung des Pull-Abrufs aus 6.2.1 zu integrieren. So muss die Visualisierung nur einmal erstellt werden. Die

Bewertung findet dann nachgelagert oder zusammen mit der Bewertung des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs statt. Das Bewertungsschema für den Auftragsbezug wird nachfolgend in Abbildung 37 dargestellt.

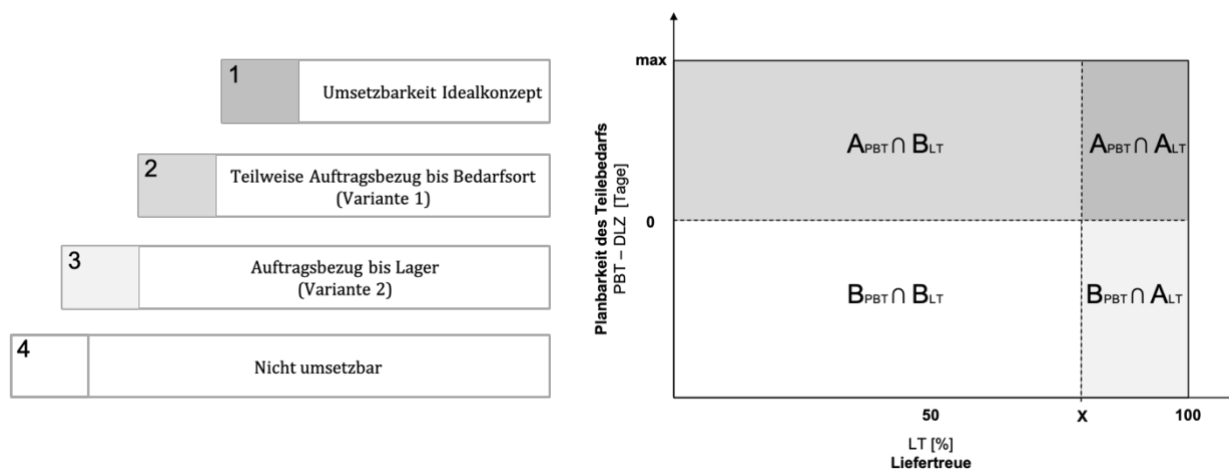


Abbildung 37: Bewertungsschema für das Konzept des Auftragsbezugs (eigene Darstellung)

Generell gilt durch die bestehende Konzeptabhängigkeit zur Umsetzung der Routen & Fahrplansystematik, dass Zwischenzeiten nur berücksichtigt werden können, wenn auch die Fahrplankontaktung (6.2.5) umgesetzt wird. Eine Entscheidung hierzu kann durch den Soll-Bezug auch nachträglich getroffen werden.

$A_{PBT} \cap A_{LT}$: Umsetzbarkeit des Auftragsbezugs (Idealkonzept)

Als Voraussetzung für den Auftragsbezug besteht die Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs (Bewertung unter 6.2.1). Da die Liefertreue ebenfalls die Anforderungen erfüllt, bestehen die Voraussetzungen, um den Auftragsbezug in idealer Form umzusetzen.

$A_{PBT} \cap B_{LT}$: Teilweise Auftragsbezugs bis Bedarfsort (Konzeptvariante 1)

Da die Planbarkeit die Umsetzung eines verbindlichen Pull-Abrufs zulässt, besteht die Voraussetzung, den Auftragsbezug bis zum Bedarfs- und Verbauort umzusetzen. Es sollte jedoch ein genauer Blick auf die Liefertreue geworfen und die Verteilung und Ursache der geringen Ausprägung analysiert werden.

Zum Ausgleich der geringen Liefertreue kann für den betreffenden Anteil der Teile ein Sicherheitsbestand im Fahrzeugwerk aufgebaut werden. Dies sieht auch die Bewertung für den verbindlichen Pull-Abruf unter 6.2.1 vor. Hierdurch wird der Auftragsbezug unterbrochen und nur bis zum Sicherheitsbestand als neuem Bedarfsort aufgebaut. Die Konzeptvariante bietet den Vorteil, dass sich durch Verbesserung der Lieferqualität dem Idealkonzept genähert werden kann, indem der Auftragsbezug der Teile sukzessive auf den Verbauort und -zeitpunkt ausgeweitet wird.

Die Konzeptvariante sollte dennoch nur umgesetzt werden, wenn der Auftragsbezug bei einem hinreichend großen Anteil der Lieferungen nicht unterbrochen wird. Liegt die Verteilung der Liefertreue so, dass ein Großteil der Teile eines Sicherheitsbestandes bedarf, ist Konzeptvariante 2 mit einer generellen Entkoppelung durch ein Lager vorzuziehen.

$B_{BPT} \cap A_{LT}$: Auftragsbezugs bis Lager (Konzeptvariante 2)

Konzeptvariante 2 schlägt eine generelle Abstufung des Auftragsbezugs vor. Dies ist der Fall, wenn der verbindliche Pull-Abruf mittels Entkopplung durch ein Lager umgesetzt wird (siehe 6.2.1) oder wenn eine geringe Liefertreue für den überwiegenden Anteil aller Teile einen Sicherheitsbestand erfordert. Der Auftragsbezug würde in diesem Fall nur bis zum Lager des Fahrzeugwerks umgesetzt werden und nicht, wie im Idealkonzept, bis zum Verbauort. Hierdurch besteht eine einheitliche Systematik für alle Teilelieferungen aus dem Logistiknetzwerk.

Durch die Entkopplung über ein werksnahes Lager ist die Umsetzungsvariante sehr gut geeignet, um als Vorstufe zum Idealkonzept zu dienen. Der Prozess des Auftragsbezugs kann erlernt werden, ohne die Produktion im Fahrzeugwerk zu gefährden. Bei einer Verbesserung der Liefertreue kann nahtlos auf die Konzeptvariante 1 umgestellt werden.

 $B_{BPT} \cap B_{LT}$: Nicht umsetzbar, wenn keine Umsetzung des Pull-Abrufs vorgenommen wird

Sollte sich ergeben, dass die Randbedingungen zur Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs nicht bestehen (siehe 6.2.1), kann auch das Konzept des Auftragsbezugs nicht umgesetzt werden.

6.2.3 Vorgezogener Wareneingang

Es soll bewertet werden, ob das Konzept des vorgezogenen Wareneingangs, vereinfacht beschrieben unter 3.2.3 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 4.3.3, umgesetzt werden kann. Hierfür müssen die unter 4.3.3 aufgeführten Anforderungen erfüllt sein. Es sind zunächst die Konzeptabhängigkeiten festzustellen.

Abhängigkeiten zu anderen Konzepten

Wie auch beim Auftragsbezug besteht beim vorgezogenen Wareneingang die Muss-Anforderung der Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs. Zwingender Bestandteil ist jedoch nur die Verbindlichkeit des Abrufs.

Liegt keine Verbindlichkeit der Abrufmenge vor, ist es dem Fahrzeughersteller nicht möglich, einen Transportauftrag inklusive der Checklisten für den vorgezogenen Wareneingang zu generieren (4.2.3). Der Lieferant reagiert in diesem Fall kurzfristig und eigenständig auf Abrufänderungen. Er avisiert nach eigenem Ermessen den Transport und ordnet den Abruf einer Abholung zu.

Weiterhin besteht eine Soll-Abhängigkeit zur Umsetzung des Auftragsbezugs. Da im Zuge des Auftragsbezugs Label zur Verfügung gestellt werden, welche der Lieferant an die Sendungen und einzelnen Behälter hängt, sichert der Schritt indirekt den vorgezogenen Wareneingang ab. Werden innerhalb der Bereitstellung Abweichungen, die nicht behoben werden können, festgestellt, muss eine Meldung und offizielle Anpassung der Label durch den Fahrzeughersteller erfolgen. Die Fehlermeldung und Eskalation im Rahmen des vorgezogenen Wareneingangs wird somit erzwungen (4.2.3).

Zuordnung der Kenngrößen

Neben den beiden Konzeptabhängigkeiten, welche für die Umsetzung des vorgezogenen Wareneingangs entscheidend sind, ist eine hohe Liefertreue erforderlich (Soll-Anforderung). So sollte wie in den zuvor geprüften Konzepten auch hier eine hohe Liefertreue als Grundlage für eine Prozessumstellung vorliegen, da die Prozessanforderungen steigen. Zur Überprüfung wird die Liefertreue $LT(L)$ mittels Formel 24 auf dem Aggregationsniveau des Lieferanten L gebildet.

Prüfung der Soll-Anforderung

Auf Basis der Liefertreue kann die Ergebnismenge in zwei Teilmengen unterteilt werden. Hierzu wird die unter 6.2.1 vorgenommene Argumentation aufgenommen. Somit erfolgt eine Aufteilung in eine „hohe“ und eine „niedrige“ Liefertreue. Da durch die Konzeptabhängigkeiten bereits festgestellt wurde, dass zunächst das Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs zu bewerten ist, kann auch die Parametrisierung übernommen werden, um die Bewertung im gleichen Prüfschema vorzunehmen. Durch Abgrenzung mittels eines Wertes x entstehen die Menge A_{LT} und die Komplementärmenge B_{LT} .

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Für die Bewertung wird dasselbe Diagramm wie beim verbindlichen Pull-Abruf genutzt. Maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung nehmen die Konzeptabhängigkeiten zum verbindlichen Pull-Abruf (6.2.1) und zum Auftragsbezug (6.2.2). Abbildung 38 gibt das entwickelte Bewertungsschema für das Konzept wieder.

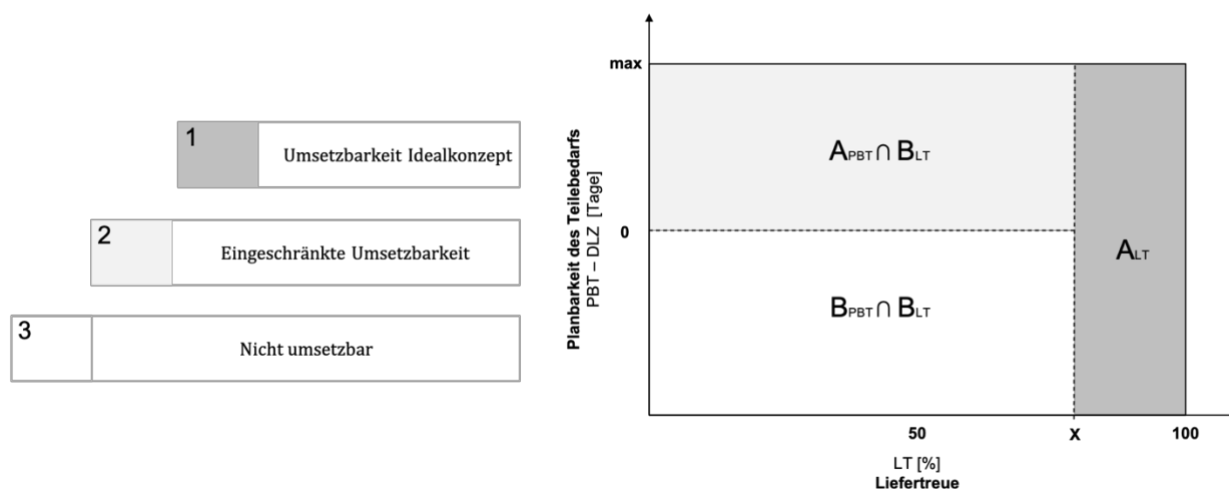


Abbildung 38: Bewertungsschema des Konzepts „vorgezogener Wareneingang“ (eigene Darstellung)

A_{LT} : Umsetzbarkeit des vorgezogenen Wareneingangs (Idealkonzept)

Die Grundbedingungen für den vorgezogenen Wareneingang sind erfüllt: Es sind sowohl der verbindliche Abruf als auch ein Auftragsbezug bis zum Fahrzeugwerk umsetzbar (siehe 6.2.1 und 6.2.2).

Da auch eine hohe Liefertreue vorliegt, ist die Voraussetzung für eine ideale Konzeptumsetzung gegeben. Es wird angenommen, dass sowohl der Lieferant als auch der Vorlaufpediteur in der Lage sind, den erhöhten Prozessanforderungen gerecht zu werden.

$A_{BPT} \cap B_{LT}$: Eingeschränkte Umsetzbarkeit des vorgez. Wareneingangs (Konzeptvariante 1)

Die Grundvoraussetzung der Umsetzbarkeit eines verbindlichen Abrufs besteht. Auch kann der Auftragsbezug, zumindest bis zum Sicherheitsbestand oder Lager der Fahrzeugwerke, umgesetzt werden. Der vorgezogene Wareneingang ist somit umsetzbar.

Da eine niedrige Liefertreue vorliegt, ist jedoch anzuzweifeln, ob die Bereitstellung und Überprüfung bei der Abholung ordnungsgemäß durchgeführt werden kann. Es besteht zumindest ein erheblicher Qualifizierungsbedarf. Die Arbeitsqualität des Vorlaufpediteurs sollte daher vor einer Umstellung genau untersucht werden. Insgesamt kann nur eine eingeschränkte Umsetzungsempfehlung gegeben werden.

 $B_{BPT} \cap B_{LT}$: Nicht umsetzbar, wenn keine Umsetzung des verbindlichen Abrufs vorgenommen wird

Da für den gekennzeichneten Bereich keine Empfehlung der Umsetzung für den verbindlichen Abruf (Muss-Anforderung) als auch den Auftragsbezug (Soll-Anforderung) besteht und eine niedrige Liefertreue vorliegt, kann keine Umsetzung des vorgezogenen Wareneingangs empfohlen werden.

6.2.4 Hochfrequente Transporte

Es soll bewertet werden, ob das Konzept der hochfrequenten Transporte, vereinfacht beschrieben unter 3.2.4 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 0, umgesetzt werden kann. Hierfür müssen die unter 0 aufgestellten Anforderungen erfüllt sein. Da keine Konzeptabhängigkeiten bestehen, muss einzig eine Prüfung auf Basis der Kenngrößen durchgeführt werden. Es empfiehlt sich jedoch eine gemeinsame Bewertung mit dem Konzept der Routen & Fahrplantaktung (6.2.5), da beide Konzepte auf die Transportsystematik einwirken und sich ergänzen.

Zuordnung der Kenngrößen

Zur Überprüfung der Anforderungen aus 0 wurden zwei Kenngrößen entwickelt. So muss ein hinreichend großes „durchschnittliches Transportvolumen“ (5.3.3) vorliegen, welches möglichst wenig schwankt und so eine gute „theoretische logistische Auslastung“ (5.3.5) ermöglicht. Beide Kenngrößen beschreiben die Randbedingungen einer täglichen Transportfrequenz.

Als erste Kenngröße wird das durchschnittliche Transportvolumen \bar{V} aufgeführt. Es wird anhand der Formel 27 als \bar{V}_L auf dem Aggregationsniveau des Lieferanten L zur Bewertung der Vorlauffrequenz sowie analog als \bar{V}_F auf dem Aggregationsniveau einer Hauptlaufrelation, gekennzeichnet durch das Fahrzeugwerk F , gebildet und in frachtpflichtigem Gewicht angegeben.

Die zweite zur Prüfung heranzuziehende Kenngröße ist die dimensionslose theoretische logistische Auslastung AUS . Sie wird zur Bewertung des Vorlaufs mit Hilfe der Formel 36 ebenso auf dem Aggregationsniveau eines Lieferanten L gebildet. Geschrieben wird sie in diesem Fall als $AUS_L^{\bar{V}}$. Für die Bewertung des Hauptlaufes findet die analoge Bildung als $AUS_F^{\bar{V}}$ statt, wobei F wiederum das Fahrzeugwerk der Hauptlaufrelation kennzeichnet. Grundsätzlich gibt die Kenngröße das Verhältnis

des maximalen Ausschlags des Transportvolumens zu seinem mittleren Wert wieder. Die Variable \bar{Z} bietet die Möglichkeit zu definieren, mit welcher Sicherheit diese Schwankung eintritt. Dies soll nachfolgend jedoch nicht explizit betrachtet werden und kann unter 5.3.5 nachgelesen werden.

Im weiteren Verlauf wird vereinfachend das durchschnittlichen Transportvolumen mit \bar{V} und die theoretische logistische Auslastung mit AUS gekennzeichnet.

Prüfung der Muss-Anforderungen

Grundvoraussetzung für eine hohe Frequenz ist das Vorhandensein eines hinreichend großen Transportvolumens. Da eine Bewertung sowohl für den Vorlauf als auch den Hauptlauf entwickelt werden soll, finden nachfolgend zwei Betrachtungen statt. Die Bewertung des Vorlaufes ist dabei komplexer und wird ausführlich behandelt, während sich die Bewertung des Hauptlaufes aus der zuvor erarbeiteten Systematik ableiten lässt.

Um zu bewerten, ob die Bedingung für die Umsetzung des Konzepts der hochfrequenten Transporte im Vorlauf gegeben ist, kann die Ergebnismenge mit Hilfe des durchschnittlichen Transportvolumens \bar{V} eines Lieferanten in drei Teilmengen unterteilt werden.

$$A_{\bar{V}} = \{p | \bar{V} \geq a\}$$

Formel 41

$$B_{\bar{V}} = \{p | b \leq \bar{V} < a\}$$

$$C_{\bar{V}} = \{p | \bar{V} < b\}$$

Da \bar{V} in Form des frachtpflichtigen Gewichts angegeben wird, kann die obere Grenze a durch die maximale Zuladung des als Standardtransportmittel genutzten LKW definiert werden. Ein Megatrailer, welcher in der Regel in der europäischen Automobilindustrie eingesetzt wird, hat eine maximale Zuladung von ca. 25 Tonnen (vgl. Hoepke 1997, S. 151 ff.). Für alle Transportvolumen, die nahe oder über dieser Grenze liegen, sollte geprüft werden, ob sie als Direktrelation gefahren werden können, da sie bereits einen gesamten LKW ausfüllen (FTL-Bereich, $A_{\bar{V}}$).

Mit der unteren Grenze b wird das Transportvolumen gekennzeichnet, das normalerweise im KEP-Bereich liegt und daher nicht im automobilen Logistiknetzwerk gefahren wird (4.2.4). Diese kleinen Sendungen werden zumeist von Paketdienstleistern abgewickelt. Die maximale Größe liegt in der Regel bei ca. 0,03 Tonnen.⁷⁰ Durch die Steigerung der Frequenz kann es passieren, dass viele Sendungen sehr klein werden und dadurch in den Bereich $C_{\bar{V}}$ fallen.

Der sich durch die beiden formulierten Grenzen bildende mittlere Bereich $B_{\bar{V}}$ kennzeichnet die Teilmenge an Ergebnissen, die grundsätzlich mit Sammelguttransporten im automobilen Logistiknetzwerk gefahren werden. Alle Sendungen sind kleiner als die einer LKW-Ladung (FTL-Bereich) und größer als die einer typischen Paketsendung (KEP-Bereich).

⁷⁰ Oftmals wird die Grenze für den KEP-Bereich bei einem Gewicht von bis zu 31,5 kg gesehen (vgl. BME 2015, S. 13). Der Markt ist jedoch recht heterogen und im Automobilbereich auch von den geschlossenen Rahmenverträgen abhängig.

Da grundsätzlich für die Zusammenstellung von Routenverkehren eher größere Volumen von Vorteil sind, kann der Bereich zu Analyse Zwecken noch weiter unterteilt werden. Beispielsweise könnte eine weitere Grenze bei 10 m³ bzw. nach Formel 11 entsprechend 2,5 t für Teilladungen eingeführt werden (schwache Markierung, Abbildung 39).⁷¹ Nachfolgend soll jedoch im Rahmen der Bewertung zunächst auf eine feinere Einteilung verzichtet werden, da die Systematik der Bewertung bereits mit den in Formel 41 beschriebenen Bereichen verdeutlicht werden kann.

Für die Prüfung des Transportvolumens hinsichtlich einer hochfrequenten Hauptlaufdurchführung können die gemachten Feststellungen übertragen werden. Für den Hauptlauf werden die Transportvolumina des gesamten Vorlaufgebietes im Umschlagpunkt konsolidiert und entsprechend der Zieldestination aggregiert, sodass sich größere Transportvolumen ergeben (5.3.3). Zielsetzung ist es dabei, dass möglichst volle LKW auf der Hauptlaufroute fahren. Ideal ist daher ein Transportvolumen in Nähe der oberen Grenze a oder ein Vielfaches davon. Der Restbetrag eines Vielfachen kann entsprechend den gemachten Feststellungen für den Vorlauf bewertet werden.

Prüfung der Soll-Anforderungen

Mit der theoretischen logistischen Auslastung AUS lässt sich die Schwankung des Transportvolumens beschreiben. Wie bereits zuvor soll zunächst der Vorlauf betrachtet werden, um die Ergebnisse danach auf den Hauptlauf zu übertragen.

Bei der Entwicklung der Kenngröße der theoretischen Auslastung wurde davon ausgegangen, dass im Rahmen von Routenverkehren jeweils der Stauraum für das maximale Transportvolumen eines Lieferanten freigehalten werden muss. Daher wird für jeden Lieferanten das mittlere Transportvolumen dem maximalen Transportvolumen gegenübergestellt und so ein theoretischer Wert für die Auslastung AUS errechnet (5.3.5). Eine große Schwankungsbreite erzeugt somit eine kleine theoretische Auslastung.

Basierend auf diesen Überlegungen wird vorgeschlagen, die Ergebnismenge einer Erhebung in drei Teilmengen zu unterteilen.

$$A_{AUS} = \{p | AUS \geq u\} \quad \text{Formel 42}$$

$$B_{AUS} = \{p | v \leq AUS < u\}$$

$$C_{AUS} = \{p | AUS < v\}$$

Durch die Variable u kann eine Teilmenge mit einer sehr hohen Auslastung, beispielsweise von $\geq 90\%$, und folglich sehr kleiner Schwankung beschrieben werden. Transportvolumen, die in diese Teilmenge fallen, weisen eine hohe Konstanz auf und sind ideal für die Transportlogistik.

⁷¹ Der VDA (2008, S. 39) differenziert im Rahmen der Gebietsspedition zwischen Sammelgut (Gewicht $> 32 \text{ kg} \leq 2,5 \text{ t}$) und Teilladungen ($> 2,5 \text{ t}$ und $< 11 \text{ Lademeter}$). Dies entspricht im Wesentlichen der hier getroffenen Abgrenzung in frachtpflichtigem Gewicht für den unteren mittleren Bereich (Sammelgut) und den oberen mittleren Bereich (Teilladung).

Durch v wird eine mittlere Teilmenge, die unterhalb von u beginnt, nach unten abgegrenzt. Hintergrund dieser Einteilung ist die Analyse der Schwankungsbreite. Schwankt das Transportvolumen so stark, dass die theoretische Auslastung bei $AUS = 50\%$ liegt, kann der Fall eintreten, dass im Vergleich zum mittleren Transportvolumen an manchen Tagen überhaupt keins und an manchen Tagen ein doppelt so hohes vorliegt. Eine solch große Schwankung, bei der an manchen Tagen unter Umständen gar kein Transportvolumen auftritt, ist nicht geeignet, um tägliche Fahrten zu rechtfertigen. Mit der unteren Grenze v kann somit eine Abgrenzung vorgenommen werden, unter der eine tägliche Transportfrequenz als nicht machbar eingestuft wird. Es wird zunächst vorgeschlagen, $v \geq 60\%$ zu parametrisieren.⁷²

Das für die Transportfrequenz im Vorlauf ausgearbeitete Prüfschema kann ebenso auf die Hauptlauffrequenz angewandt werden. Die Auslastung gibt einen Richtwert zur Konstanz des Transportvolumens im Hauptlauf wieder.⁷³

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Mit Hilfe der Kenngrößen und der zur Prüfung formulierten Einteilung kann die nachfolgende Abbildung 39 zur Bewertung der Vorlauffrequenz gebildet werden. Hierdurch wird die Ergebnismenge auch visuell in verschiedene Teilmengen eingeteilt. Eine Bewertung der Hauptlauffrequenz wird am Ende des Abschnitts diskutiert.

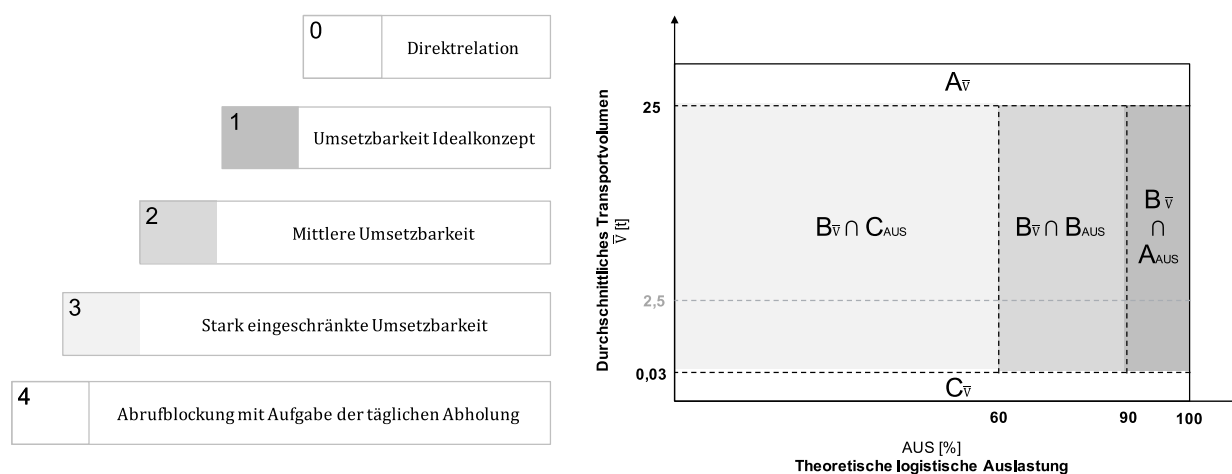


Abbildung 39: Bewertungsschema für das Konzept „hochfrequenten Transporte“ (eigene Darstellung)

$A_{\bar{V}}$: Direktrelation auch bei einer Umsetzung der hochfrequenten Transporte (Variante 1)

Es liegt ein mehr als ausreichendes Transportvolumen vor, um eine hohe (tägliche) Transportfrequenz zu realisieren. Das Volumen ist so groß, dass es nicht im Transportnetzwerk gefahren werden sollte und die Umsetzung einer Direktrelation vom Lieferanten zum Fahrzeugwerk zu prüfen ist. Gegebenenfalls ergeben sich hieraus jedoch Restmengen, die durch die Anforderung einer täglichen Lieferung weiterhin im Netzwerk gefahren werden müssen.

⁷² Die Abgrenzung ist zusätzlich abhängig vom gewählten Transportkonzept. Dies wird im nachfolgenden Abschnitt 7.3.4 bewertet (feste Routen & Fahrplankartung).

⁷³ Da im Hauptlauf Direktrelationen bestehen, könnte die theoretische Auslastung auch direkt auf einen LKW bezogen werden. In Abschnitt 5.3.5 wird hierzu die Referenzierung der Auslastung auf eine bestimmte LKW-Art in der Fußnote 59 diskutiert.

$B\bar{v} \cap A_{AUS}$: Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte (Idealkonzept)

Es liegt ein ausreichendes und recht konstantes Transportvolumen zur Realisierung einer täglichen Transportfrequenz vor.

 $B\bar{v} \cap B_{AUS}$: Mittlere Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte

Auch hier liegt ein ausreichendes Transportvolumen zur Realisierung einer täglichen Transportfrequenz vor. Jedoch schwanken die Transportmengen, sodass im Rahmen der Auswahl des Transportkonzepts (siehe auch 6.2.5) auf die Auslastung geachtet werden sollte.

 $B\bar{v} \cap C_{AUS}$: Stark eingeschränkte Umsetzbarkeit, da eine zu große Schwankung besteht

Das Transportvolumen ist zwar im Mittel ausreichend groß für eine tägliche Transportfrequenz, jedoch ist die Schwankung hierbei so groß, dass es an einigen Tagen nicht zu einem Transport kommen dürfte bzw. die Menge so gering ist, dass eine wirtschaftliche Fahrweise nach der Maxime „jeden Tag ein Transport“ nicht zu empfehlen ist.⁷⁴ Dies ist bei der Wahl des Transportkonzepts zu berücksichtigen (siehe 6.2.5).

 $C\bar{v}$: Nicht umsetzbar: Abrufblockung mit Aufgabe der täglichen Abholung

Die Transportvolumina werden durch die Vorgabe einer täglichen Frequenz zu klein. Daher ist die Umsetzung einer täglichen Abholung nicht zu empfehlen. Eine transportoptimierte Abrufblockung kann zur Kostenoptimierung angewandt werden, um nicht zu viele Sendungen im KEP-Bereich fahren zu müssen.

Bewertung der Hauptlauffrequenz: Wie bei der Prüfung der Muss-Anforderung beschrieben, sollten die Transportvolumina in die Nähe einer vollen LKW-Ladung oder in den Bereich eines ganzzahligen Vielfachen einer vollen LKW-Ladung fallen. Die Auslastung kann daraufhin ähnlich wie beim Vorlauf bewertet werden.

6.2.5 Feste Routen & Fahrplantaktung

Es soll bewertet werden, ob das Transportkonzept der festen Routen & Fahrplantaktung, eingangs beschrieben unter 3.2.5 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 4.2.5, umgesetzt werden kann. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt bemerkt, sollte die Bewertung gemeinsam mit der Bewertung für eine hohe Transportfrequenz durchgeführt werden (6.2.4). Andere Abhängigkeiten bestehen nicht.

Zuordnung der Kenngrößen

Um eine Aussage über die Erfüllung der Anforderungen treffen zu können, sollen die Kenngrößen der „Theoretischen logistische Auslastung“ (5.3.5) sowie der „Planbarkeit des Transportvolumens“ (5.3.4) zur Bewertung der vorliegenden Randbedingungen herangezogen werden.

⁷⁴ Unter der fixierten Vorgabe „Every day, every part“ führte eine derartige Frequenzsteigerung bei Ford in den USA zu Milliarden an Mehrausgaben (vgl. Liker 2004, S. 203 ff.).

Die theoretische logistische Auslastung AUS lässt eine Bewertung der Schwankung des Transportvolumens unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität der Umsetzung einer festen Route zu (siehe auch Erläuterung 6.2.4). So bedingt das Idealkonzept einer sich täglich gleichenden Route ein äußerst konstantes Transportvolumen, da sich die Stauraumplanung immer nach dem maximal benötigten Transportvolumen richten muss. Wie 5.3.5 beschreibt, führt daher jede Schwankung des Transportvolumens zu Minderauslastungen. Abbildung 32 visualisiert hierzu erläuternd den Laderaum. Zur Bewertung des Vorlaufs kann die Kenngröße auf Ebene des Lieferanten L und für den Hauptlauf auf Ebene des Fahrzeugwerks F gebildet werden.

Die Planbarkeit des Transportvolumens drückt aus, inwiefern eine Vorhersage mit dem tatsächlich eintretenden Transportvolumen übereinstimmt. Die Planbarkeit wird mit $PBV(L)$ für den Vorlauf und mit $PBV(F)$ für den Hauptlauf gebildet. Analog zur Bewertung der Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs unter 6.2.1 kann die spezifische Durchlaufzeit DLZ zum Abzug gebracht werden, um eine schnelle Einordnung des Ergebnisses zu ermöglichen. Für den Vorlauf wird die Durchlaufzeit je Lieferant DLZ_L abgezogen (Formel 12). Für die Bewertung des Hauptlaufs wird die verkürzte Durchlaufzeit ausgehend vom Umschlagspunkt angesetzt, indem in Formel 12 die Sendungslaufzeit ab Lieferant s_L durch die Sendungslaufzeit des Hauptlaufs s_F ersetzt wird. Es ergibt sich durch den Abzug der Durchlaufzeit die vereinfacht geschriebene Prüfdimension $PBV - DLZ$.

Prüfung der Muss-Anforderung

Die Muss-Anforderung des Konzepts besagt, dass die Größe des Transportvolumens über die Länge der Fahrplanperiode gleichmäßig und ohne große Schwankungen sein sollte (4.3.5). Eine Fahrplanperiode sollte daher nur über einen überschaubaren Zeitraum reichen, für den das Ergebnis der Bewertung extrapoliert werden kann (5.1.1).

Wie bei der Bewertung zum vorangegangenen Konzept der hochfrequenten Transporte (6.2.4) kann eine erste Einteilung der Ergebnismenge mit Hilfe der theoretischen logistischen Auslastung AUS in drei Teilmengen vorgenommen werden. Formel 42 gibt diese Einteilung wieder. Die erste so entstehende Teilmenge kennzeichnet den Anteil an Ergebnissen, bei denen die Anforderung voll erfüllt ist und somit weitgehende Konstanz im Transportvolumen vorliegt. Weiterhin werden eine zweite Menge mit mittlerer Schwankung sowie eine dritte Menge definiert, bei der zu große Schwankungen im Transportvolumen vorliegen. Bei der Parametrisierung kann das unter 6.2.4 beispielhaft vorgenommene Verfahren übernommen werden.

Prüfung der Soll-Anforderung

Die Soll-Anforderung des Konzepts besagt, dass die Vorhersage mit dem tatsächlich eintreffenden Transportvolumen übereinstimmen sollte. Dies ist mit Hilfe der Planbarkeit des Transportvolumens überprüfbar. Im idealen Fall eines sich täglich gleichenden Transportvolumens liegt eine Konjunktion der die Muss- und Sollte-Anforderung erfüllenden Mengen vor. Denn besteht jeden Tag das gleiche Volumen, ist dieses konstant sowie planbar.

Für den Fall eines nicht konstanten Transportvolumens gewinnt die sich an die Planbarkeit richtende Soll-Anforderung an Relevanz. Besteht Planbarkeit, kann unter Umständen trotz der fehlenden Konstanz im Volumenstrom eine Fahrplansystematik aufgebaut werden. Die Planbarkeit muss dabei

mindestens so hoch sein, dass das zu transportierende Transportvolumen vor Beginn der Transporte feststeht.

Durch diese Feststellung lassen sich alle bestehenden Kenngrößenausprägungen p der gesamten Ergebnismenge in zwei Teilmengen aufteilen, sodass A_{PBV} die ausreichende Planbarkeit kennzeichnet und B_{PBV} den absoluten Komplementär hierzu bildet.

$$A_{PBV} = \{p | (PBV - DLZ) \geq 0\} \quad \text{Formel 43}$$

$$B_{PBV} = \{p | (PBV - DLZ) < 0\}$$

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Aus der gewählten Aufteilung der Ergebnismenge zur Prüfung der Muss- und Soll-Anforderung wurde die folgende Visualisierung in Abbildung 40 erstellt, welche eine Bewertung der Umsetzbarkeit des Konzepts der festen Routen & Fahrplantaktung zulässt.

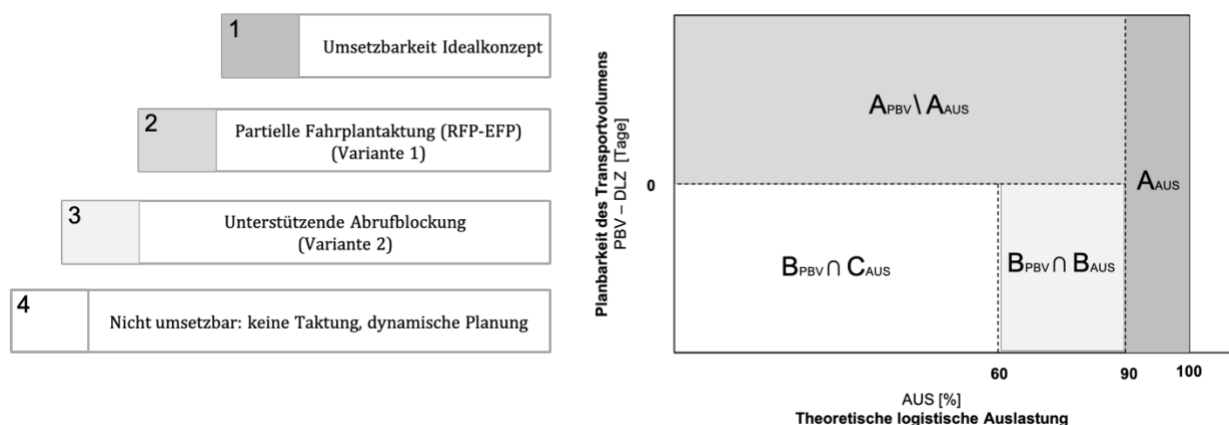


Abbildung 40: Bewertungsschema für das Konzept „feste Routen & Fahrplantaktung“
(eigene Darstellung)

A_{AUS} : Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplantaktung (Idealkonzept)

Das Idealkonzept einer Fahrplantaktung mit sich täglich gleichenden Routen ist umsetzbar, da das Transportvolumen die hinreichende Konstanz aufweist.

$A_{PBV} \setminus A_{AUS}$: Partielle Fahrplantaktung mit Regel- und Einsatzfahrplansystematik (Variante 1)

Es bestehen Schwankungen in der Transportmenge, was zu einer schlechten Auslastung der Routen führen kann. Gleichzeitig ist die Planbarkeit jedoch so groß, dass vor Beginn der Durchführung des Transportprozesses verbindlich bekannt ist, was transportiert werden soll. Hierdurch ist es möglich, die Fahrplantaktung gezielt zu unterstützen.

Bei der vorgeschlagenen Konzeptvariante wird ein Regelfahrplan über die Länge der gesamten Fahrplanperiode ausgelegt und festgeschrieben. Im kurzfristigen Bereich wird dieser Fahrplan durch einen Einsatzfahrplan präzisiert (vgl. Wagner 2009, S. 19). Grundsätzlich sind dabei zwei Varianten möglich:

A) Subtraktionsmodell: Der Regelfahrplan wird auf die Beförderung des maximalen Transportvolumens ausgelegt. In diesem Fall können im Rahmen der Einsatzfahrplan-Systematik gezielt Takte (Fahrten) gestrichen werden, um auf Schwankungen im Transportvolumen zu reagieren.

B) Additionsmodell: Der Regelfahrplan wird auf Basis eines geringeren Transportvolumens als das des Maximalvolumens ausgelegt. Im Rahmen der Einsatzfahrplan-Bildung werden dann Takte hinzuaddiert, um ein höheres Transportvolumen zu befördern.

Die Zusatztake des Additionsmodells brauchen sich nicht zwangsläufig an den festen Routen orientieren. Dies erhöht die Flexibilität des Modells. Durch den bestehenden Regelfahrplan wird bereits für mehr Konstanz im Sinne der Lean Logistics gesorgt, während der Auslastungsproblematik wirkungsvoll begegnet werden kann.

Beide Modellvarianten sind geeignet, um sich sukzessive dem Idealkonzept anzunähern, wenn sich die Randbedingungen der Konstanz im Volumenstrom verbessern.

$B_{PBV} \cap B_{AUS}$: Unterstützende Abrufblockung (Variante 2)

Die theoretische Auslastung liegt im mittleren Bereich, da das Transportvolumen Schwankungen unterliegt. Da keine ausreichende Planbarkeit gegeben ist, muss die Inbound-Logistik ohnehin mittels eines Lagers von der Inhouse-Logistik des Fahrzeugherstellers entkoppelt werden. So ist es möglich, die bestehenden Schwankungen in der Transportmenge durch die Praxis der transportoptimierten Abrufblockung zu minimieren und eine Fahrplantaktung zu unterstützen.

$B_{PBV} \cap C_{AUS}$: Keine Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplantaktung

Die Schwankungen im Transportvolumen sind so groß, dass von einer Fahrplantaktung abgesehen werden sollte. Das Transportnetzwerk sollte mit einer dynamischen Planung der Transporte betrieben werden, um wirtschaftlich zu sein (siehe auch Bereich $B_{\bar{V}} \cap C_{AUS}$ in der Bewertung der hochfrequenten Transporte unter 6.2.4).

6.2.6 Crossdocking

Es soll bewertet werden, ob das Konzept des Crossdockings, eingangs beschrieben unter 3.2.6 und vertiefend behandelt in der Anforderungsanalyse unter 4.2.6, umgesetzt werden kann. Hierzu müssen die unter 4.3.6 beschriebenen Anforderungen erfüllt sein.

Abhängigkeiten zu anderen Konzepten

Zunächst lässt sich feststellen, dass die Umsetzbarkeit des Konzepts des Crossdocks insbesondere von anderen Konzepten abhängt. So ist die wesentliche Eigenschaft, im Unterschied zum Betrieb eines normalen Umschlagpunktes, dass das Crossdock als Durchflusseinrichtung umgesetzt werden sollte. Dies ist nur möglich, wenn die eingehenden und ausgehenden Transporte hochfrequent durchgeführt werden, da ansonsten die Verweildauer im Crossdock zwangsweise steigt. Die Umsetzung ist daher als Muss-Anforderung an die Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte gekoppelt (6.2.4).

Eine weitere Abhängigkeit besteht zur Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplanktation (6.2.5). Diese stellen die Voraussetzung für ein getaktetes Arbeiten im Crossdock dar. Da das Crossdock im Zweifel durch eine eigens durchgeführte Zeitfenstervergabe der Be- und Entladung für eine gleichmäßige Arbeitsbelastung sorgen kann, handelt es sich nur um eine Soll-Anforderung.

Zuordnung der Kenngrößen

Es wurde festgestellt, dass die Schwankung des Transportvolumens für eine gleichmäßige Auslastung des Crossdocks entscheidend ist. Diese Anforderung gilt jedoch für den Betrieb eines jeden Umschlagspunkts und ist unabhängig vom Betrieb eines Crossdocks. Da die Erfüllung jedoch wünschenswert ist und eine Prüfung mittels der erarbeiteten Kenngröße der theoretischen logistischen Auslastung AUS (5.3.5) möglich ist, wird diese Kenngröße durch eine Kann-Anforderung dem Konzept zugeordnet.

Die theoretische logistische Auslastung AUS wird auf Basis der Formel 36 auf dem Aggregationsniveau des Crossdocks gebildet (5.3.5). Das heißt, dass die Volumina des gesamten Einzugsgebiets aggregiert werden.

Prüfung der Kann-Anforderung

Die Prüfung der Kann-Anforderung an die theoretische logistische Auslastung ist ausdrücklich als optional zu bezeichnen, da sie nicht ausschließlich auf die Umsetzbarkeit eines für Lean Logistics spezifischen Konzeptbestandteils zielt.

Wie bereits zuvor unter 6.2.4 geschehen, kann die Aufteilung der Ergebnismenge mit Hilfe der theoretischen logistischen Auslastung AUS in drei Teilmengen vorgenommen werden. Formel 42 gibt diese Einteilung wieder. Die Parametrisierung eines Bereichs mit einer hohen Auslastung und somit geringen Schwankung bei $AUS \geq 90\%$ wurde hierfür vorgeschlagen. Ein mittlerer Bereich ergibt sich für $60\% \leq AUS < 90\%$. Der Bereich mit einer niedrigen Auslastung besteht für $AUS < 60\%$.

Die Parametrisierung ist ausdrücklich als ein Vorschlag zu sehen. Es handelt sich dabei um eine weiche Parametrisierung, da keine scharfe Grenze wie bei der Planbarkeit, bei der diese mindestens größer null sein sollte, gezogen werden kann.

Beschreibung der konzeptbezogenen Bewertung

Die Umsetzung des Konzepts ist stark von der Umsetzung anderer Konzepte abhängig, sodass zunächst die Umsetzung der hochfrequenten Transporte (6.2.4, Muss-Anforderung) sowie der festen Routen & Fahrplanktation (6.2.5, Soll-Anforderung) zu prüfen ist. Da die Kenngrößenprüfung mittels der theoretischen logistischen Auslastung AUS auf dem Aggregationsniveau des gesamten Einzugsgebiets geschieht, kommt hier nur ein einzelner Ergebniswert zustande, der eine Visualisierung zur Einordnung der Verteilung als nicht sinnvoll erscheinen lässt.

Die Bewertung der Auslastung in den zuvor aufgezeigten drei Bereichen kann ergänzend zu der nachfolgenden Bewertung auf Basis der Konzeptabhängigkeiten vorgenommen werden.

Umsetzbarkeit des Crossdockings (Idealkonzept)

Die ideale Voraussetzung zur Einrichtung einer Durchflusseinrichtung ist gegeben, wenn sich die hochfrequenten Transporte und die Fahrplantaktung umsetzen lassen.

Hochfrequentes Crossdocking mit Vorlauf-Zeitfenstervergabe (Variante 1)

Die Voraussetzungen zur Einrichtung einer Durchflusseinrichtung ist gegeben, wenn sich die hochfrequenten Transporte umsetzen lassen. Sollte die Fahrplantaktung nur eingeschränkt möglich sein, kann als Zwischenstufe eine Fahrplansystematik der Hauptläufe initiieren werden, während die Vorläufe mittels Zeitfenstervergabe gesteuert werden. So kann ein getaktetes Arbeiten im Crossdock weitestgehend ermöglicht werden.

Crossdocking mit Vor- und Hauptlauf-Zeitfenstervergabe (Variante 2)

Sollten sich die hochfrequenten Transporte nur im Hauptlauf realisieren lassen und sich die Fahrplantaktung sowohl im Vor- als auch im Hauptlauf als nicht umsetzbar erweisen, kann das Crossdocking mit einer dynamische Zeitfenstervergabe für die ein- und ausgehenden Verahre umgesetzt werden.

Eingeschränkte Umsetzbarkeit des Crossdockings

Sollten hochfrequenten Transporte überhaupt nicht umsetzbar sein, ergeben sich längere Verweildauern der Lieferungen im Crossdock. Dies geschieht insbesondere, wenn die Vorläufe die Bedarfe mehrerer Tage anliefern und die Hauptläufe hierzu keine Synchronisation aufweisen. Durch eine Abkehr von der Pull-Systematik können längere Verweildauern im Crossdock vermieden werden.

6.3 Formalisierte Beschreibung des Bewertungsvorgehens

Nachfolgend wird durch Zusammenführung der Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel die Vorgehensweise zur Durchführung der Bewertung der Umsetzbarkeit von Lean-Logistics-Konzepten im Inbound-Netzwerk beschrieben. Das so beschriebene Bewertungsvorgehen formalisiert hierzu die einzeln durchzuführenden Schritte in Tabelle 20. Hierbei wird jeweils auf die weiterführenden Informationen und Begründungen innerhalb der vorliegenden Arbeit referenziert.

Tabelle 20: Bewertungsvorgehen zur Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Inbound-Netzwerk

<p>1. Auswahl des Analysebereichs</p>	<p>Analysiert werden Teilnetze des gesamten Logistiknetzwerks eines Automobilherstellers. Ein Teilnetz besteht aus einem Umschlagpunkt und den dazugehörigen Lieferanten $L = 1, \dots, N$ sowie den Fahrzeugwerken $F = 1, \dots, M$. Ein Teilnetz entspricht dem Gebiet einer heutigen Gebietsspedition. Soll das gesamte Logistiknetzwerk bewertet werden, müssen alle Teilnetze einzeln ausgewertet werden.</p>
	<p>→ Beispiel: Abbildung 41</p>

<p>2. Erhebung der Datengrundlage</p>	<p>Zunächst müssen die grundlegenden Daten zur Bildung der Kenngrößen erhoben werden. Bei der Entwicklung des Bewertung wurde darauf geachtet, dass die genutzten Daten üblicherweise vorliegen. Im besten Fall liegen alle benötigten Daten in einer konzernweiten Datenbank vor, ansonsten müssen diese für den gewählten Erhebungszeitraum zusammengetragen werden.</p> <p>→ Erhebungszeitraum & Explorationsfähigkeit: 5.1.1 → Zu erfassende Daten: 5.2</p>
<p>3. Generierung der Kenngrößen</p>	<p>Aus den erhobenen Daten werden die Kenngrößen berechnet. In Kapitel 5.3 sowie im Anhang unter A.6 „Kenngrößen-Steckbriefe“ sind die fünf entwickelten Kenngrößen hierzu hinreichend beschrieben. Die Kenngrößen sind jeweils auf dem beschriebenen Aggregationsniveau zu bilden.</p> <p>→ Kenngröße 1, Planbarkeit des Teilebedarfs: 5.3.1 → Kenngröße 2, Liefertreue: 5.3.2 → Kenngröße 3, Durchschnittliches Transportvolumen: 5.3.3 → Kenngröße 4, Planbarkeit des Transportvolumens: 5.3.4 → Kenngröße 5: Theoretische logistische Auslastung: 5.3.5</p>
<p>4. Visualisierung des Punktdiagramms</p>	<p>Aus den Kenngrößenergebnissen sind die unter 6.2 entwickelten Visualisierungen abzuleiten. Punktediagramme können hierzu mit jedem heutzutage üblichen Statistik- oder Tabellenkalkulationsprogramm erstellt werden. Weiterhin ist eine Entscheidung zur Parametrisierung der Annahmebereiche zu treffen und diese ist in die Visualisierung aufzunehmen.</p> <p>→ Visualisierung 1, Konzept des verbindlichen Pull-Abrufs: Abbildung 36 → Visualisierung 2, Konzept des Auftragsbezugs: Abbildung 37 → Visualisierung 3, Konzept des vorgezogenen Wareneingangs: Abbildung 38 → Visualisierung 4, Konzept der hochfrequenten Transporte: Abbildung 39 → Visualisierung 5, Konzept der festen Routen & Fahrplantaktung: Abbildung 40</p>
<p>5. Durchführung der Bewertung</p>	<p>Auf Basis der gebildeten Diagramme und der unter 6.2 vorgenommenen gestuften Konzeptzuordnung ist eine Bewertung der Umsetzbarkeit vorzunehmen. Da sich reale Ergebnisausprägungen nicht an definierte Klassengrenzen halten werden, sind diese als Entscheidungshilfen zu interpretieren und die Handlungsoptionen abzuwägen. Grundsätzlich ist bei der Bewertung die Erfahrung des durchführenden Logistikplaners gefragt, da er die Ergebnisse einordnen und in einen Zusammenhang zu realen Vorkommnissen stellen kann.</p> <p>→ Bewertung des verbindlichen Pull-Abrufs: 6.2.1 → Bewertung des Auftragsbezugs: 6.2.2 → Bewertung des vorgezogenen Wareneingangs: 6.2.3 → Bewertung der hochfrequenten Transporte: 6.2.4 → Bewertung der festen Routen & Fahrplantaktung: 6.2.5 → Bewertung des Crossdockings: 6.2.6</p>

7 Validierung mittels Fallstudie

Die bisher auf theoretischen Annahmen und Analysen beruhende Entwicklung des Bewertungsvorgehens soll nun anhand einer Fallstudie validiert werden. Zunächst müssen das Ziel und die Vorgehensweise der Validierung festgelegt werden.

7.1 Methodik

Wie bei den bisherigen Entwicklungsschritten soll auch hier eine Analyse der Grundlagen durchgeführt werden, um das Vorgehen zu begründen.

7.1.1 Grundlagen & Voranalyse

Zur Einordnung kann zunächst festgestellt werden, dass die zu validierende Vorgehensweise zur Bewertung analytisch erarbeitet wurde. Es sollen mit ihr die realen Randbedingungen und Prozesse der Inbound-Logistik hinsichtlich der Anforderungen der Lean Logistics untersucht werden. Recherchiert man bekannte Verfahren der Logistik, um analytisch entwickelte Methoden zu validieren, so lassen sich kaum beschriebene Ansätze finden. Busse et al. (2007, S. 78) erwähnen eine durchgeführte Methodvalidierung für die logistische Lageranalyse, beschreiben das Vorgehen und die zugrunde gelegten Kriterien jedoch nicht. Im Gegensatz dazu finden sich jedoch zahlreiche Beispiele für die Validierung logistischer Simulationsmodelle. Oftmals erfolgt eine Kalibrierung und Validierung anhand von real gemessenen Kenngrößen (vgl. Braun et al. 2014, S. 3). Da die formulierte Bewertungsvorgehen jedoch selbst Kenngrößen vorschlägt, die bislang nicht vorliegen, kann keine Referenz auf bekannte Auswertungen zu diesen Kenngrößen hergestellt werden.

Wie bereits unter 4.1.1 durchgeführt, könnten ergänzend Anleihen aus anderen Forschungsdisziplinen gezogen werden, um für den beschriebenen Fall die Validierung zu begründen. Eine genaue Definition und Beschreibung von Zielen der Methodvalidierung findet man vor allem in den Bereichen der Chemie, Biologie sowie der Umwelttechnik. Hier handelt es sich explizit um eine Validierung analytisch bestimmter Methoden. So soll der Nachweis geführt werden, dass eine Analysemethode für ihren Einsatzzweck geeignet ist und die an sie gestellten speziellen Anforderungen erfüllt (vgl. Wellmitz und Gluschke 2005, S. 3). Dies kann wie folgt auf die eigene Validierung übertragen werden:

Ziel der Validierung ist die Nachweisführung, dass das Bewertungsvorgehen zur Abschätzung der Umsetzbarkeit der Lean-Logistik-Konzepte im Inbound-Logistiknetzwerk geeignet ist.

Bei den zu validierenden Methoden der Chemie und Umwelttechnik handelt es sich um Laboruntersuchungen, die bspw. die Wasserqualität feststellen. Die Anforderungen, die an diese Validierung gestellt werden, sind bspw. die Feststellung der (Mess-)Präzision, der Richtigkeit und Selektivität und die Ermittlung von Nachweis- und Bestimmungsgrenzen (vgl. Kromidas 2011, S. 43 ff.). Da es sich um Laborversuche handelt, können Vergleichsmessungen zu Referenzgegenständen vorgenommen werden. Die direkte Übertragung auf die Logistik, bei der eine Messung im freien Feld erfolgt, ist schwierig. Es können jedoch eigene Anforderungen gemäß dem

Untersuchungsgegenstand und den Forschungszielen gegenüber dem entwickelten Bewertungsvorgehen erhoben werden, deren Erfüllung dann qualitativ bewertet wird.

Bei den Forschungszielen (1.2) kann die Erfüllung der beiden abschließenden Ziele, welche sich auf die Gesamtmethodik beziehen, validiert werden. So soll die Bewertungsvorgehen die Komplexität der Ergebnisse reduzieren und eine Interpretationshilfe mit Handlungsoptionen für die Konzeptausgestaltung bieten. Ergänzt man diese Ziele um allgemeine Erwartungen an das methodische Vorgehen, wie die Durchführbarkeit, Richtigkeit sowie Anschlussfähigkeit, ergeben sich die folgenden Anforderungen an das entwickelte Bewertungsvorgehen:

- Funktionsfähigkeit der Methode mit Echtdateien (*Durchführbarkeit*)
- Fachliche Verifizierung der Ergebnisse (*Richtigkeit*)
- Einfachheit in der Vermittlung komplexer Zusammenhänge (*Verständnis*)
- Verdeutlichung von Handlungsoptionen (*Anwendbarkeit*)
- Ableitbarkeit weiterführender Analysen und Handlungen (*Anschlussfähigkeit*)

Die Anforderungen können mittels einer Anwendung des Bewertungsvorgehens im Rahmen einer im realen Feld durchgeführten Fallstudie überprüft werden.

7.1.2 Vorgehensweise

Um das Bewertungsvorgehen und die damit verbundene Methodik zu validieren, wird das Vorgehen gemäß den einzelnen Schritten aus 6.3 durchgeführt. Die Validierung folgendermaßen durchgeführt:

1. Beschreibung der Fallstudienbasis

Das zur Validierung ausgewählte Teilnetz aus dem Logistiknetzwerk eines Automobilherstellers wird vorgestellt. Die Auswahl des Teilnetzes entspricht Schritt 1 des entwickelten Vorgehensmodells aus 6.3.

2. Durchführung des Bewertungsvorgehens

Es werden die Schritte 2–5 des Bewertungsvorgehens aus 6.3 durchlaufen und das Ergebnis präsentiert. Auf dessen Basis wird die Umsetzbarkeit bewertet und die weiterführenden Handlungsoptionen des Automobilherstellers aufgezeigt.

3. Fazit der Validierung

Die zu validierenden und somit vom methodischen Bewertungsvorgehen zu erfüllenden Anforderungen aus 7.1.1 werden einzeln abgehandelt. Die qualitativ getroffenen Feststellungen zu den Anforderungen fußen auf einer Diskussion der Fallstudienresultate mit den Logistikplanern und Entscheidungsträgern des die Datenbasis stellenden Automobilherstellers.

7.2 Beschreibung der Fallstudienbasis

Die zur Validierung genutzten Daten eines automobilen Logistiknetzes wurden vom Automobilhersteller Volkswagen zur Verfügung gestellt. Das untersuchte Teilnetz wird durch den Umschlagspunkt in Bratislava, Slowakei definiert. Insgesamt werden von dem gewählten Umschlagspunkt fünf europäische Fahrzeugwerke beliefert und hierzu die Sendungen von 134 Lieferanten konsolidiert. Die Lieferanten produzieren zum Zeitpunkt der Untersuchung 2.626 unterschiedliche Teile. Die anstehende Abbildung 41 zeigt das gewählte Teilnetz.

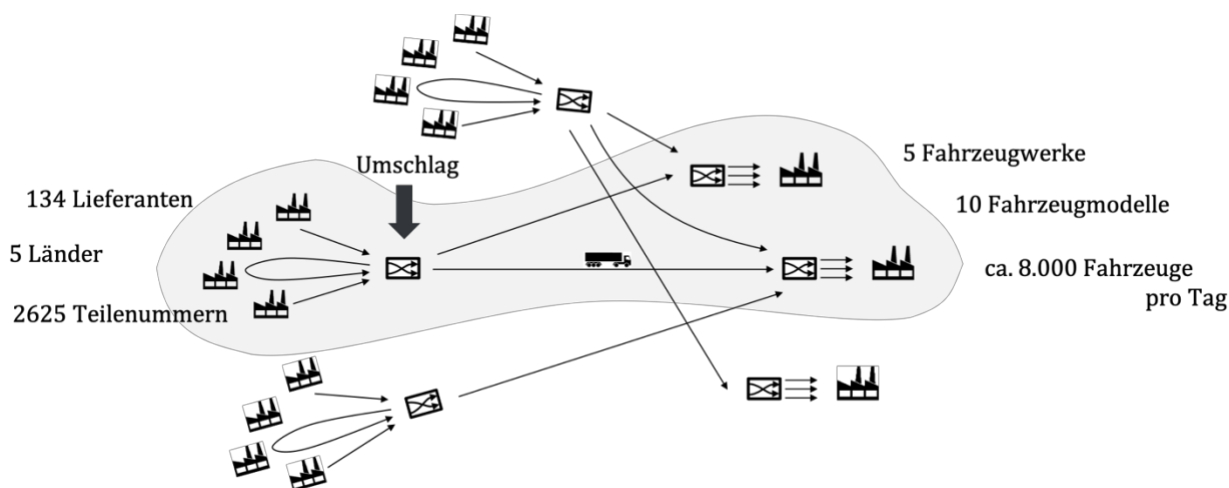


Abbildung 41: Im Rahmen der Fallstudie untersuchtes logistisches Teilnetz (eigene Darstellung)

Die erhobenen Daten beziehen sich auf einen Zeitraum von 23 Produktionstagen. Es handelt sich hierbei um historische Daten aus dem Jahr 2012, sodass kein Rückschluss auf eine aktuelle Situation gezogen werden kann. Für den Erhebungszeitraum wurden die Brutto- und Nettobedarfsrechnungen, Abrufs- und Wareneingangsdaten auf täglicher Basis sowie die Stammdaten (Behältergrößen, Sendungslaufzeiten, ...) entsprechend der identifizierten Datengrundlage aus 5.2 erhoben.

In der betrachteten Periode wurden mit Blick auf das Transportnetz in etwa 28.125 m³ Transportvolumen befördert. Dahinter steht ein Teilebedarf von insgesamt 6.734.896 Teilen. Bei 79 % der untersuchten Lieferanten ruft hierfür mehr als ein Fahrzeugwerk ab. Dies bedeutet, dass der auf die Logistik wirkende Netzwerkcharakter deutlich zum Tragen kommt.

7.3 Anwendung des Bewertungsvorgehens

Für das ausgewählte Logistiknetz der Fallstudie wird nachfolgend die Bewertung zur Umsetzbarkeit der Lean-Inbound-Logistikkonzepte aus 3.2 durchgeführt. Entsprechend dem Vorgehensmodell aus 6.3 wurden die Schritte Datenerhebung und Generierung der Kenngrößen durchgeführt, sodass nachfolgend die Visualisierung, Bewertung und Ableitung der Handlungsoptionen aufgezeigt werden kann. Anhand der Konzepte sollen dabei die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der entwickelten Bewertungsmethodik aufgezeigt werden.

Die ermittelten Kenngrößen werden mit einer Sicherheit von $Z = 95 \%$ erhoben.⁷⁵ Das heißt, dass 95 % der Erhebung den ermittelten Wert widerspiegeln.

7.3.1 Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs

Zur Bewertung der Umsetzbarkeit des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs wurde die unter 6.2.1 entwickelte Visualisierung aufgebaut. Hierfür wurden alle in der Fallstudie betrachteten Lieferanten gemäß ihren Werten für die Planbarkeit des Teilebedarfs sowie der Liefertreue als einzelne Punkte in das Diagramm der Abbildung 42 eingezeichnet.

Innerhalb der Bewertung wurde für die Unterteilung der Liefertreue die Parametrisierung von $LT = 80 \%$ gewählt. Weiterhin markiert die Abgrenzung der Planbarkeit bei $PBT - DLZ = 0$ den Punkt, bei dem die Bedarfsmenge bereits am Tag der Abholung feststeht und sich nachfolgend keine Änderung mehr ergibt.

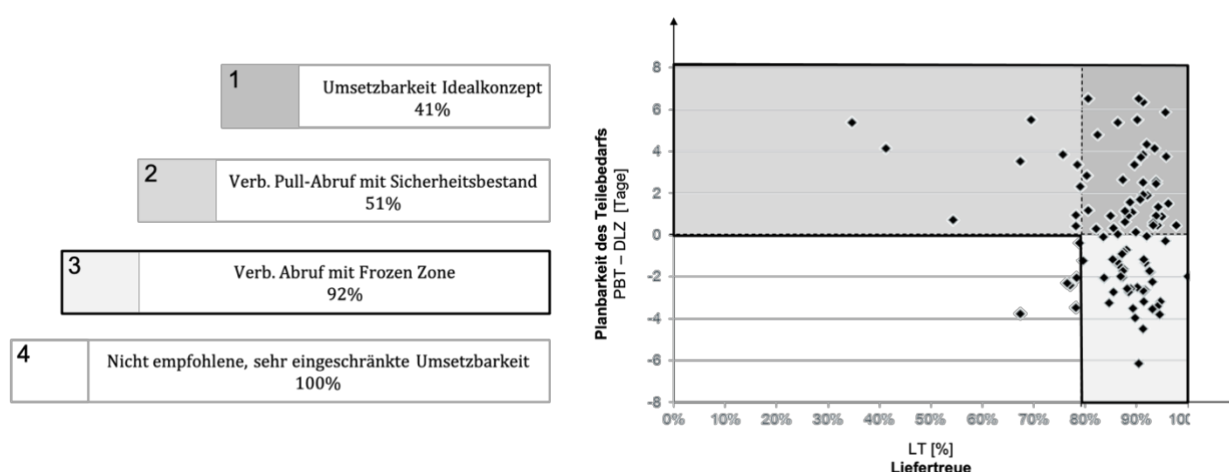


Abbildung 42: Auswertung zur Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs (eigene Darstellung)

Die Zuordnung der Ergebnisse zu den gebildeten Konzeptvarianten, dargestellt auf der linken Seite der Abbildung 42, erfolgte kumulativ, sodass 41 % der Ausprägungen in die erste Stufe des Idealkonzepts und schließlich 100 % in die vierte Stufe der nicht empfohlenen Konzeptumsetzung fallen.

Bewertung der Umsetzbarkeit

Die Voraussetzungen, einen verbindlichen Abruf direkt mittels des Pull-Prinzips aus den Produktionsbedarfen abzuleiten, bestehen nicht. Um einen verbindlichen Abruf zu erzeugen, muss die Logistik gesonderte Voraussetzungen hierfür schaffen. Dies wäre mit der Einführung einer Frozen-Zone möglich, welche die für den Abruf verantwortliche Bedarfsstruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt einfriert und hieraus einen nicht änderbaren Abruf generiert. Für die Auswahl dieses Konzepts spricht, dass 92 % der Ausprägungen die hieran gestellten Anforderungen erfüllen. Das Konzept, das mit dem Aufbau eines Lagers einhergeht, um die nachträglich erfolgende

⁷⁵ Zur weiterführenden Erläuterung siehe die Kenngrößenentwicklung unter 5.3. Konkret beispielsweise die Formel 17 der Planbarkeit des Teilebedarfs, an Hand derer eine Erläuterung stattfindet.

Bedarfsschwankung auszugleichen, kann sukzessive mit steigender Planbarkeit sowie verbesserter Liefertreue in das Idealkonzept überführt werden.

Im Rahmen der Entscheidungsfindung ist im nächsten Schritt zu klären, wie groß die absolute Abweichung in den Bedarfen zwischen Einfrier- und Verbrauchszeitpunkt ist, um die hierfür notwendige Lagerhaltung operativ und wirtschaftlich abzuschätzen. Hierzu kann die Planbarkeit auf dem Aggregationsniveau eines Teils gebildet werden (5.3.1).⁷⁶

Ableitung von Handlungsoptionen

Durch die Bewertung können Handlungsoptionen aufgezeigt werden, um die Voraussetzungen für eine Einführung des verbindlichen Pull-Abrufs zu verbessern.

1) Verbesserung der Planbarkeit: Mit Hilfe der Bewertung kann ein gezielter Dialog zur Produktion und Produktionsplanung aufgebaut werden, da die Auswirkungen auf die Inbound-Logistik durch die Visualisierung erstmals verdeutlicht werden. Hierzu kann die Auswertung für jedes Fahrzeugwerk einzeln durchgeführt und in festen Zyklen wiederholt werden, um den Fortschritt zu verfolgen.

2) Verbesserung der Liefertreue: Um eine Pull-Systematik ohne Sicherheitsbestände umzusetzen, muss die Liefertreue verbessert werden. Auf Basis der Bewertung können einzelne Lieferanten oder auch -gruppen ausgewählt werden, welche deutlich von der allgemeinen Verteilung abweichen. Hier können gezielt Qualifizierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

7.3.2 Umsetzbarkeit des Auftragsbezugs und vorgezogenen Wareneingangs

Die Bewertung der Umsetzbarkeit des Auftragsbezugs (6.2.2) und des vorgezogenen Wareneingangs (6.2.3) wird nachfolgend nur schriftlich vorgenommen. Zur Visualisierung wird das Diagramm aus Abbildung 42 genutzt. Beide Konzepte hängen von der Umsetzbarkeit des verbindlichen Pull-Abrufs ab.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Auftragsbezugs

Basierend auf der möglichen Umsetzung des verbindlichen Abrufs mit Frozen-Zone (7.3.1) ist eine Umsetzung des Auftragsbezugs bis zum den Prozess entkoppelnden Lager möglich. Die Systematik des Auftragsbezugs kann somit vom Lieferanten bis zum Fahrzeugwerk umgesetzt werden. Mit Abbau des mit der Frozen-Zone verbundenen Lagers kann der Auftragsbezug sukzessive bis zum Verbauort fortgeführt werden.

Da die Flexibilität im Transportprozess entsprechend den im Auftragsbezug fixierten Zeiten sinkt, ist davon auszugehen, dass die Aufwände für das Handling von Abweichungen zunächst steigen. Ohne ein stringentes Eskalationsmanagement, welches hilft, Abweichungen dauerhaft zu minimieren, ist eine Senkung der Lagerbestände nicht erreichbar.

⁷⁶ Weitere Ansatzpunkte zeigt die Betrachtung im Anhang unter A.4 „Fallbeispiel: Programmstabilität unter Logistikgesichtspunkten“. Hierbei werden einzelne Teilenummern untersucht.

Bewertung der Umsetzbarkeit des vorgezogenen Wareneingangs

Mit Einführung des verbindlichen Abrufs mit Frozen-Zone sowie des Auftragsbezugs ist die Umsetzung des vorgezogenen Wareneingangs möglich. Der vorgezogene Wareneingang intensiviert die Kontrolle der Bereitstellung sowohl durch den Lieferanten als auch durch den abholenden Spediteur. Hierzu muss die Transportbeauftragung inklusive der Generierung von Checklisten für den LKW-Fahrer zwingend vom Fahrzeughersteller oder von einem von ihm beauftragten Logistikdienstleister durchgeführt werden. Die heute übliche Praxis der Avisierung der Transporte durch den Lieferanten wird aufgegeben oder allenfalls als zusätzlicher Abgleich beibehalten. Die Umsetzung bedeutet somit neben der Prozessumstellung einen recht großen Eingriff in die informationstechnischen Systeme.

Ableitung von Handlungsoptionen

Durch die bestehenden Konzeptabhängigkeiten sowie den Bezug auf dieselbe Kenngröße der Liefertreue kann auf die unter 7.3.1 beschriebenen Handlungsoptionen verwiesen werden.

7.3.3 Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte

Für die Bewertung der Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte (6.2.4) wurden die Kenngrößenausprägungen des durchschnittlichen Transportvolumens und der theoretischen logistischen Auslastung ermittelt. Exemplarisch wird nachfolgend die Auswertung für den Vorlauf durchgeführt. Hierzu visualisiert die Abbildung 43 die Ergebnisse der Kenngrößenbildung, welche auf dem Aggregationsniveau der einzelnen Lieferanten erstellt wurden. Zur Bewertung wurden die Kenngrößen des durchschnittlichen Transportvolumens und der theoretischen logistischen Auslastung erhoben.

Bei der Visualisierung wurde auf die unter 6.2.4 entwickelte Darstellung der gestuften Bewertung verzichtet, um die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse zu verdeutlichen.

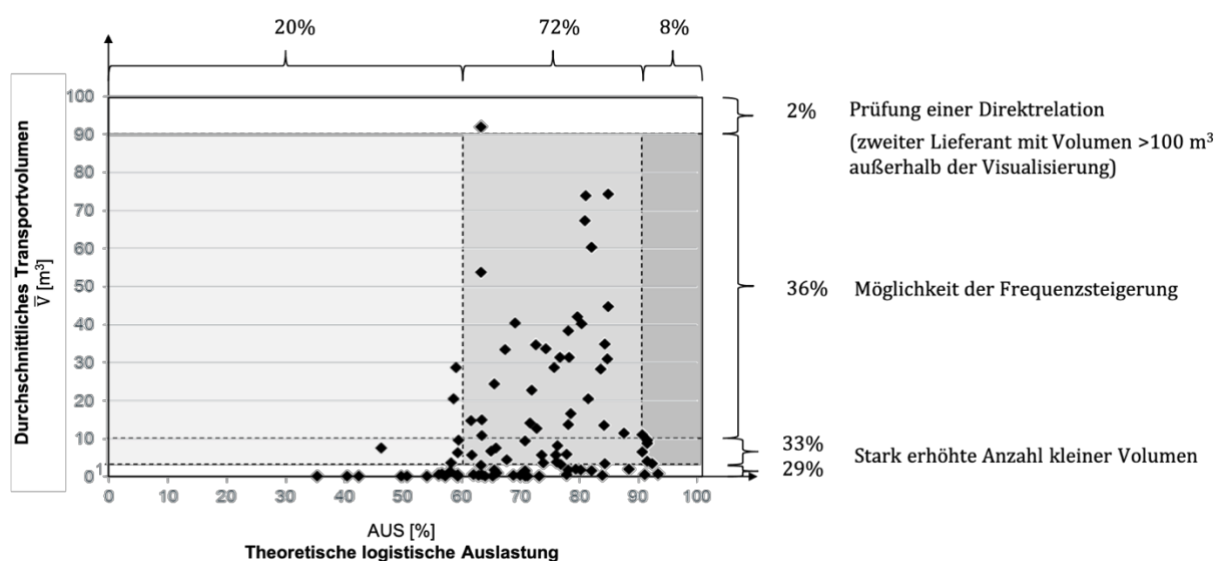


Abbildung 43: Auswertung zur Umsetzbarkeit hochfrequenter Transporte (eigene Darstellung)

Hervorzuheben ist, dass die Auswertung auf Grund der zur Verfügung gestellten Daten für das Transportvolumen nicht in frachtpflichtigem Gewicht in Tonnen, sondern in Kubikmetern erfolgte. Die grundsätzliche Systematik der Kenngrößenbildung bleibt hiervon jedoch unverändert.⁷⁷ Die Bereichsgrenzen in Abbildung 43 wurden ebenfalls in Kubikmeter angegeben. Bei der Bewertung muss berücksichtigt werden, dass schwere, jedoch kleinvolumige Teile nicht angemessen berücksichtigt sein könnten.

Bewertung der Umsetzbarkeit

Durch eine tägliche Frequenz würde eine große Anzahl sehr kleiner Transportvolumina entstehen. Allein bei 29 % aller Lieferanten liegt die Transportmenge zwischen 0–1 m³, obwohl die Bedarfe aller hier abrufenden Fahrzeugwerke berücksichtigt werden. Fasst man den darüber liegenden Bereich von bis zu 10 m³ zu diesem hinzu, ergibt sich ein erweiterter KEP-Bereich von 62 % aller Lieferanten.

Bei der theoretischen Auslastung ist eine Konzentration im mittleren Bereich zwischen 60 % und 90 % festzustellen. Basis der hier zu Grunde liegenden Schwankungen des Transportvolums können unausgeglichene Produktionsprogramme, aber auch Interdependenzen in den Abrufen der unterschiedlichen Fahrzeugwerke sein.

In der abschließenden Bewertung kann keine generelle Umsetzung der hochfrequenten Transporte empfohlen werden. Allein die Transportvolumina erscheinen hierfür zu klein, wobei auch eine Prüfung auf Basis des Transportgewichts zur Bestätigung erfolgen sollte. Gegebenenfalls kann eine Umsetzung für einen Teil der Lieferanten erwogen werden. So liegen 36 % der Lieferanten im Bereich eines täglichen Transportvolumens. Die Schwankung des täglichen Transportvolumens und folglich nur mäßige theoretische Auslastung legt jedoch ein dynamisches Transportkonzept und die Abkehr vom Konzept der hochfrequenten Transporte nahe (7.3.4).

Ableitung von Handlungsoptionen

Wie bereits zuvor gezeigt, können Handlungsoptionen systematisch entlang der Kenngrößen entwickelt werden. Nachfolgend wird nur das durchschnittliche Transportvolumen betrachtet. Die Betrachtung der theoretischen logistischen Auslastung erfolgt nachfolgend unter 7.3.4.

Das Transportvolumen ergibt sich aus dem spezifischen Volumen bzw. frachtpflichtigem Gewicht einer Teilenummer multipliziert mit dem dazugehörigen Tagesbedarf (Formel 32). Während der erste Wert als unveränderliche Konstante zu interpretieren ist, variiert der tägliche Bedarf. Der Bedarf ist dabei abhängig von der Gesamtproduktion an Fahrzeugen und der durch die Variantenvielfalt entstehenden Einbaurrate für eine Teilenummer. Während die Gesamtproduktion der Fallstudie mit ca. 8.000 Fahrzeugen pro Tag bereits sehr hoch ist (7.2), muss die Ursache somit in einer geringen Verbau- bzw. Einbaurrate für ein betrachtetes Teil liegen.

⁷⁷ Im Rahmen der Kenngrößenbildung unter 5.3.3 wird nur auf die Umrechnung in frachtpflichtiges Gewicht mittels Formel 26 verzichtet. Alle andern Berechnungsschritte bleiben bestehen.

Eine Ausweitung der Plattform- und Baukastenstrategie, welche den Anteil an Gleichteilen in den Modellen erhöht, kann ein langfristiger Ansatzpunkt zur Verbesserung der Einbaurrate sein.⁷⁸ Aus Sicht der Inbound-Logistik kommt dabei eine Besonderheit hinzu. Auch unterschiedliche Teile, die ein gleiches Transportvolumen und -gewicht aufweisen sowie vom gleichen Lieferanten geliefert werden, stellen für die Transportlogistik Gleichteile dar. Ob entweder das eine oder das andere Teil eingebaut wird, stellt keinen Unterschied für die Logistik dar. Derartige Teile können auch logistische Substitutionsteile genannt werden.⁷⁹ Eine Berücksichtigung derartiger logistischer Anforderungen in der Produktentwicklung ist eine Handlungsoption, derzeit jedoch nicht üblich.⁸⁰

Ein weiter Ansatzpunkt zur Erhöhung des Transportvolumens liegt in der Einkaufsstrategie. So ergibt sich im Vorlauf das Transportvolumen eines Lieferanten aus der Summe der Transportvolumen aller von ihm produzierten Teile (Formel 27). Eine Handlungsoption könnte daher sein, die Lieferantenzahl zu reduzieren und, falls möglich, gezielt Lieferanten mit kleinen Transportvolumen zu stärken. Dass Automobilhersteller eine sich teils stark unterscheidende Lieferantenzahl haben, wurde bereits in der Einleitung aufgezeigt und scheint ein Merkmal der Differenzierung zu sein (1.1).

7.3.4 Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplanktaltung

Exemplarisch soll die Umsetzbarkeit der festen Routen & Fahrplanktaltung für den Vorlauf bewertet werden. Hierzu werden nach 6.2.5 die Kenngrößen der Planbarkeit des Transportvolumens sowie der theoretischen logistischen Auslastung herangezogen. Die nachfolgende Abbildung 44 gibt das Ergebnis der Auswertung wieder.

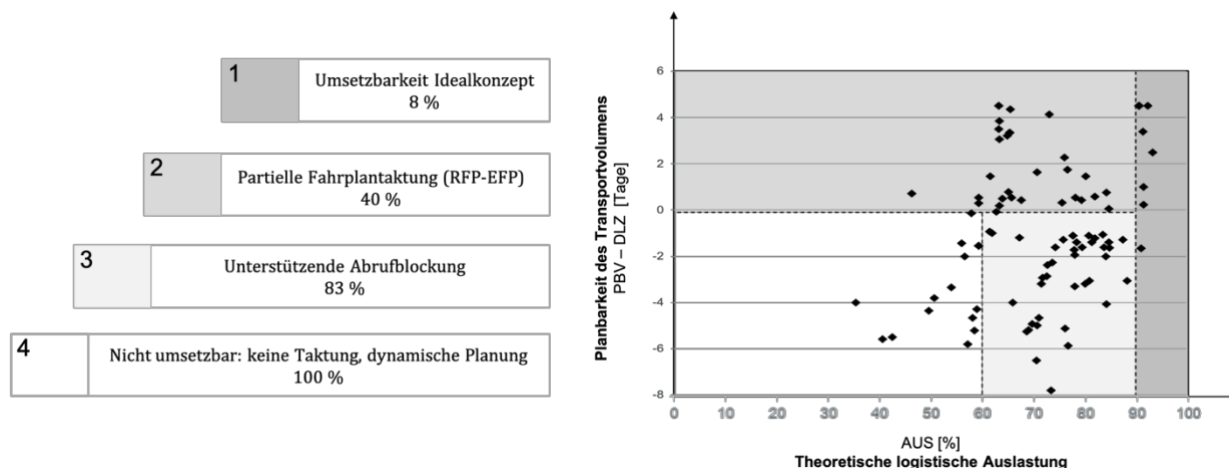


Abbildung 44: Auswertung zur Umsetzbarkeit fester Routen & Fahrplanktaltung (eigene Darstellung)

⁷⁸ In Bezug auf die Fallstudie kann festgestellt werden, dass der Ansatz von Volkswagen zum Zeitpunkt der Studie bereits verfolgt wird. So reduziert die Einführung des Modulare Querbaukastens nach Herstellerangaben die Motoren- und Getriebevarianten um 88 % (Volkswagen 2012, S. 7).

⁷⁹ Siehe hierzu das Fallbeispiel in Anhang A.4.

⁸⁰ Analog zum Design for Manufacturing (DFM), bei dem die Restriktionen der Fertigung im Produktentwicklungsprozess berücksichtigt werden, können die logistischen Restriktionen durch ein Design for Logistics (DFL) innerhalb der Produktentwicklung berücksichtigt werden (vgl. Mather 1992, S. 7).

Die Zuordnung der Ergebnisse zu den Konzeptstufen erfolgte wie in 7.3.1 kumulativ, sodass angegeben wird, wie viel Prozent der Lieferanten bei der Umsetzung des Konzepts insgesamt einbezogen werden könnten.

Bewertung der Umsetzbarkeit

Die Voraussetzungen zur Umsetzung des Idealkonzepts bestehen nicht. So schwankt das Transportvolumen zu sehr und erzeugt bei vielen Lieferanten eine zu geringe theoretische Auslastung, als dass mit festen Routen und sich gleichenden Fahrplankontakten gearbeitet werden könnte.⁸¹ Empfohlen werden kann die dritte Konzeptstufe der unterstützenden Abrufblockung, welche hilft, die Transportvolumen gleichmäßiger zu gestalten (83 % der Lieferanten). Hiermit könnte eine Fahrplansystematik nach dem Modell der partiellen Fahrplankontaktung erreicht werden. Hierbei wird ein Regelfahrplan bekannt gegeben, bei dem auf Basis der Abrufblockung im kurzfristigen Bereich Takte addiert oder subtrahiert werden (6.2.5). Allerdings liegen 17 % der Ergebnisse außerhalb dieser Konzeptstufe. Die Ursachen sollten näher untersucht werden und im Zweifel sollte auf eine Umsetzung der Fahrplansystematik ganz verzichtet werden.

Ableitung von Handlungsoptionen

Um die Ausgangsposition zu verbessern und ggf. erst später in die Fahrplansystematik einzusteigen, müssen die Voraussetzungen hierfür verbessert werden. Die Handlungsoptionen lassen sich entlang der Kenngrößen formulieren.

1) Verbesserung der Planbarkeit: Um das Transportvolumen für den Spediteur planbarer zu gestalten, muss die hierfür bestehende Basis verbessert werden. Basis der Planbarkeit des Transportvolumens ist eine stabile Vorschau in der Bedarfsrechnung (Formel 28, Formel 29). Um die Planbarkeit des Teilebedarfs zu erhöhen, wird unter 7.3.1 die Entkoppelung der Abrufe durch die Einführung einer Frozen-Zone mit Lagerhaltung vorgeschlagen. Des Weiteren wird vorgeschlagen, einen gezielten Dialog mit der Produktion und Produktionsprogrammplanung aufzubauen, um deren Effekt auf die Logistik zu verdeutlichen und die Voraussetzungen gezielt zu verbessern. Zum Überwachen eines Verbesserungsprozesses können die Abbildungen 42 und 44 genutzt werden.

2) Verbesserung der theoretischen logistischen Auslastung: Die theoretische Auslastung stellt das mittlere zum maximalen Transportvolumen ins Verhältnis (Formel 35). Ursächlich für eine schlechte theoretische Auslastung könnte die gemeinsame Abholung aller Transportumfänge eines Lieferanten im Vorlauf und entsprechende Aggregation des Transportvolumens einzelner Teilenummern sein (Formel 36). Im Einzelfall könnten sich hierdurch ungünstige Maxima der Transportmenge ergeben. Die Konzentration der Auslastung in Abbildung 44 im mittleren Bereich lässt jedoch den Schluss zu, dass es sich nicht um Einzelfälle handelt. Wie Formel 32 zeigt, führt der Produktionsbedarf zum Transportvolumen. Ursächlich kann daher ein schwankender Gesamtoutput der Fahrzeugwerke oder ein unregelmäßiger Verbau einzelner Teilenummern sein. Da der Gesamtoutput im Betrachtungszeitraum relativ konstant ist, wird der zweite Faktor als Ursache gesehen.

⁸¹ Die Auswertung fand unter der Maßgabe einer täglichen Anlieferung statt. Sollte die Bewertung zu den hochfrequenten Transporten (7.3.3) die Umsetzung einer anderen Frequenz nach sich ziehen, sollte die Auswertung zu den festen Routen mit dieser Frequenz wiederholt werden. Ggf. ergeben sich hier geringere Schwankungen der Volumen.

Um den Verbau und somit den Bedarf einzelner Teilenummern im Produktionsprogramm gleichmäßig auszutarieren, bestehen verschiedene Möglichkeiten. Insbesondere Toyota als ursprünglicher Entwickler der Lean-Konzepte (2.1.1) legt viel Wert auf ein gleichmäßiges (sogenanntes geglättetes) Produktionsprogramm. Unter dem Begriff Heijunka bezeichnet Toyota die regelmäßige Sequenzierung von Produktvarianten, sodass ein wiederkehrendes Muster mit konstanten Verbräuchen entsteht (vgl. Womack und Jones 2003, S. 348). Die eng damit verbundene Perlenkettenstrategie versucht ebenfalls, eine Glättung des Programms zu realisieren und diese im nachfolgenden Produktionsablauf sequenzstabil zu halten (vgl. Klug 2018, S. 435). Grundsätzlich sinkt mit einer Verringerung der Produkt- und Teilevarianten die Komplexität bei der Erzeugung eines geglätteten Programms, sodass auch hier ein Ansatzpunkt besteht.

7.3.5 Umsetzbarkeit des Crossdockings

Die Umsetzbarkeit des reinen Konzepts des Crossdockings ist hochgradig von anderen Konzepten abhängig. So verweist 6.2.6 mit der Muss-Anforderung auf die Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte und mit der Soll-Anforderung auf die Umsetzung der festen Routen & Fahrplantaktung. Gleichzeitig besteht die Kann-Anforderung einer hohen theoretischen logistischen Auslastung.

Bewertung der Umsetzbarkeit

Die Umsetzbarkeit der hochfrequenten Transporte 7.3.3 als Muss-Anforderung ist im geprüften Vorlauf nicht gegeben. Die ebenfalls vorgenommene, aber nicht dargestellte Untersuchung zur Hochfrequenz im Hauptlauf zeigt, dass zumindest hier das notwendige Volumen und eine gleichmäßige theoretische Auslastung bestehen, sodass die Umsetzung empfohlen werden kann. Hierdurch ergibt sich das Bild, dass die Transporte in niedrigerer Frequenz auf ein mögliches Crossdock fahren und dieses mit hoher Frequenz wieder verlassen könnten.

Die unter 7.3.4 vorgenommene Prüfung der Soll-Anforderung der Umsetzung der festen Routen & Fahrplantaktung ergibt ein ähnliches Bild. Der Vorlauf ist hierzu bedingt bis nicht geeignet, während der Hauptlauf die Möglichkeit der Fahrplantaktung bietet.⁸²

Auch die Prüfung der Kann-Anforderung ergibt eine sehr gute theoretische Auslastung durch Aggregation des gesamten über das Crossdock laufenden Transportvolumens von ca. 90 %, sodass abschließend Variante 2 für den Betrieb eines Crossdocks empfohlen werden kann (6.2.6). So fungiert das Crossdock bei Anwendung einer Pull-Systematik als Frequenzbeschleuniger, hat durch die unterschiedlichen Transportfrequenzen im Vor- und Hauptlauf jedoch längere Verweildauern der Sendungen im Crossdock selbst. Die Verteilflächen sind daher entsprechend groß auszulegen. Operativ ist eine Zeitfenstervergabe für den Vorlauf einzurichten.

Ableitung von Handlungsoptionen

⁸² Auch die Prüfung der festen Routen & Fahrplantaktung im Hauptlauf wurde nicht dargestellt, aber im Rahmen der Fallstudie vorgenommen. Sowohl die Planbarkeit als auch die theoretische Auslastung lassen hier eine nahezu ideale Umsetzung zu.

Zur Verbesserung der Voraussetzung und einer schrittweisen möglichen Annäherung an das Idealkonzept ist insbesondere die Transportfrequenz im Vorlauf zu erhöhen. Die entsprechenden Handlungsoptionen hierfür wurden unter 7.3.3 aufgezeigt.

7.4 Ergebnis der Validierung

Gemäß dem Vorgehensmodell zur Validierung aus 7.1.2 werden nachfolgend die an das Bewertungsvorgehen gestellten Anforderungen einzeln betrachtet.

Durchführbarkeit

Es konnte gezeigt werden, dass die Vorgehensweise auf der Basis von Realdaten durchführbar ist. Die verwendete Datengrundlage zur Bildung der Kenngrößen ließ sich ohne größeren Aufwand beschaffen. Dies bestätigt die unter 5.2 getroffene Annahme, dass die verwendeten Daten heute üblicherweise in der Automobilindustrie vorliegen.

Die Ermittlung und Prüfung der Datenerfassungsmethode sowie die damit verbundene Auswahl geeigneter Datenquellen machte einen wesentlichen Zeitanteil der Durchführung aus.⁸³ Deutlich wurde, dass die zentrale Datenhaltung, bei der Kenntnisse zum Ursprung der Daten verloren gehen, ein Risiko darstellt. Dies bestätigt die unter 5.1.3 identifizierte Schwachstelle bestehender Eingangsdaten.

Die mathematisch eindeutige Beschreibung aus 5.3 wurde in eine algorithmische Schreibweise überführt, die informationstechnisch in einer Datenbankauswertung umgesetzt wurde. Die finale Erstellung der Visualisierung erfolgte anschließend mit Hilfe der Tabellenkalkulation Microsoft Excel. Hierbei konnten keine Probleme festgestellt werden.

Richtigkeit

Die Ergebnisse der Bewertung wurden anhand der Visualisierungen aus 7.3 plausibilisiert. Dabei stimmten die Ergebnisse mit den Erfahrungswerten und Einschätzungen der Logistikplaner überein. Die aufgestellten Konzeptanforderungen aus 4.3 und die hierauf basierenden Kenngrößen aus 5.3 wurden nicht in Frage gestellt und allgemein akzeptiert.

Das in den Kenngrößen 3 und 5 unter 5.3 zum Ansatz gebrachte frachtpflichtige Gewicht wurde gesondert diskutiert. Hier konnte festgestellt werden, dass dieses auf planerischer Ebene in der Praxis ebenso für Abwägungen wie bspw. bei der Konzeptplanung eines Crossdocks genutzt wird. Eine Nutzung über die reine Transportabrechnung hinaus erscheint daher plausibel.

Verständnis

Mit Hilfe der für das Bewertungsvorgehen entwickelten Kenngrößen und Visualisierungen lässt sich ein schnelles Verständnis aufbauen und einfach in eine fachliche Diskussion zur Bewertung einsteigen. Die Kenngrößenbezeichnungen wurden schnell verstanden und in ihrem Aussagegehalt

⁸³ Bei der Prüfung der Datenerfassungsmethode sollten folgende Fragen gestellt werden: „Erfolgte die Erfassung manuell oder automatisch?“, „Welche Kriterien wurden genau erfasst?“, „Wie gut in Bezug auf Vollständigkeit und Fehleranfälligkeit ist die Methode?“ Dadurch, dass Daten heute oftmals digital vorliegen und die Auswertung an einem vollständig anderen Ort als die Erfassung vonstattengeht, liegt hier eine große Gefahr der Fehlinterpretation.

richtig eingeordnet. Auch die Punktdiagramme erwiesen sich als Anreiz, sowohl die Ursachen als auch Handlungsoptionen anhand der Verteilung zu diskutieren. Die Argumente zur Nutzung eines Punktdiagrammes aus 6.1.1 wie die gute Darstellbarkeit und Interpretierbarkeit chaotischer Daten konnten zumindest für diese Anwendung bestätigt werden.

Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit konnte sich insofern erweisen, als zunächst nicht umsetzbare Konzepte eindeutig identifiziert wurden. Eine gescheiterte Einführung wie die beispielhaft unter 1.1 vorgestellte und mit der Vorgabe „every part, every day“ umschriebenen Umsetzung des Konzepts der hochfrequenten Transporte durch Ford Amerika kann so unter Umständen verhindert werden.

Der Ansatz der Stufenlogik zum Aufzeigen umsetzbarer Konzeptvarianten konnte sich in der Fachdiskussion bewähren, sodass die Anwendbarkeit hier gegeben ist. Ob sich die jeweils vorgeschlagene Konzeptvariante sowie erörterte Handlungsoptionen tatsächlich in einer Umsetzung bestätigen lassen, muss die Praxis zeigen. Hier liegt sicherlich weiteres Potenzial einer fortschreitenden Validierung und methodischen Fortentwicklung.

Anschlussfähigkeit

Die im Rahmen der Vorgehensweise entwickelte Bewertungsmethodik bietet die Möglichkeit, die Ergebnisverteilung zu analysieren und hieraus weiterreichende Untersuchungen abzuleiten. Dies bezieht sich auf die Gesamtverteilung (Konzentration, Breite etc.) sowie einzelne Ausreißer. Teils lassen sich auch weitere Untersuchungen ableiten, um das Bild zu präzisieren. Abschnitt 7.3.1 schlägt hierzu bspw. die detaillierte Betrachtung der Planbarkeit auf Ebene einzelner Teilenummern vor. Dies ist mit Hilfe der entwickelten Kenngröße der Planbarkeit des Teilebedarfs eines Teils möglich (Formel 17).⁸⁴

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Methodik die Möglichkeit bietet, Ursachen und Handlungsoptionen aufzuzeigen. So können Handlungsoptionen direkt aus den Einflussfaktoren der Kenngrößen abgeleitet werden. Auch kann mit den Visualisierungen gezielt der Dialog zur Produktion und Produktionsprogrammplanung gesucht werden, da sich deren Einfluss auf die Logistik abbilden und aufzeigen lässt (bspw. Handlungsoption 1, Abschnitt 7.3.4).

Insgesamt kann auf Basis der untersuchten Anforderungen ein positives Fazit zur Validierung gezogen werden. Nach einer ersten Durchführung scheint die Vorgehensweise geeignet, planerische Aussagen zur Umsetzbarkeit von Lean-Logistics-Konzepten im Inbound-Logistiknetzwerk zu ermöglichen. Weitere Durchführungen sollten zur Bestätigung und zur Verfeinerung des Bewertungsvorgehens genutzt werden.

⁸⁴ Weiterhin werden im Anhang unter A.4 „Fallbeispiel: Programmstabilität unter Logistikgesichtspunkten“ die Programmstabilität unter logistischen Gesichtspunkten betrachtet und die Einbaurrate einer Teilnummer als weiteres Kriterium herangezogen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit behandelt die Frage, mit welcher Vorgehensweise sich die Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im automobilen Logistiknetzwerk bewerten lässt. Ausgangspunkt ist die Feststellung, dass sich die Randbedingungen der Umsetzbarkeit ganz offensichtlich unter den Automobilherstellern unterscheiden. Mit Hilfe einer zu entwickelnden Vorgehensweise und Methodik sollten daher die bestehenden Optionen für eine Lean-Umsetzung verdeutlicht und die Entscheidungsfindung der Logistikplanung unterstützt werden. Die Arbeit grenzt hierzu den Untersuchungsgegenstand auf das automobile Inbound-Netzwerk mit einem Vorlauf zur Abholung bei den Lieferanten, einer Konsolidierung im Umschlagpunkt sowie dem darauffolgenden Hauptlauf auf die einzelnen Fahrzeugwerke ein.

8.1 Zusammenfassung

Zur Entwicklung des Bewertungsvorgehens wurden sechs sekundäre Ziele (Z.1–6) formuliert und sukzessive beantwortet.

Z.1 Wissenschaftliche Einordnung und Beschreibung der Lean-Inbound-Konzepte

Mittels Literaturanalyse werden die maßgeblichen Prinzipien und hierauf basierend die Konzepte der Lean Logistics im Logistiknetzwerk herausgearbeitet. Dies sind der verbindliche Pull-Abruf, ein Auftragsbezug, der vorgezogene Wareneingang, hochfrequente Transporte, feste Routen und Fahrplankontakung sowie das Crossdocking. Die in der Literatur heterogen und unvollständig vorliegende Beschreibung konnte hierdurch vereinheitlicht werden.

Z.2 Identifikation der aus den Konzepten hervorgehenden Anforderungen

Für eine systematische Analyse fasst die Arbeit eine Anforderung als Erfordernis sowohl an die Randbedingungen als auch den Prozess der automobilen Inbound-Logistik auf, deren Erfüllung für die Einführung eines Lean-Logistics-Konzepts vorausgesetzt wird. Die Anforderungen werden innerhalb der Arbeit tabellarisch beschrieben und modularisiert, um als Grundlage für eine nachfolgende Kenngrößenbildung zu fungieren. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Lean-Konzepte eine erhöhte Stabilität in Bezug auf die Planbarkeit, die Konstanz des Teilebedarfs und Transportvolumens sowie eine hohe Qualität in der Umsetzung verlangen.

Z.3 Entwicklung von Kenngrößen zur Bewertung der herstellerepezifischen Randbedingungen

Für jedes Anforderungsmodul entwickelt die Arbeit eine definierte Rechenvorschrift zur quantitativen Prüfung der Anforderungserfüllung. Grundsätzlich wird dabei der Ansatz verfolgt, einen vollständigen Ausschnitt der Grundgesamtheit mit Hilfe der deskriptiven Statistik zu beschreiben, da die heutzutage zumeist digital vorliegenden Massendaten ohne Probleme bei der Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit ausgewertet werden können. Auf ein Stichprobendesign und eine Annahme der Verteilungsart konnte so verzichtet werden. Im Ergebnis ergeben sich fünf Kenngrößen, welche nachfolgend verkürzt dargestellt werden.

Planbarkeit des Teilebedarfs: Die Kenngröße beschreibt wie viele Tage vor Eintreten des Produktionsbedarfs die Bedarfsmenge einer Teilenummer hinreichend genau bekannt ist.

Liefertreue: Die Kenngröße beschreibt den Anteil an Tagen, an denen die Anlieferung einer Teilenummer im Wareneingang gegenüber dem Abruf qualitativ einwandfrei erfolgt.

Durchschnittliche Transportvolumen: Die Kenngröße beschreibt das mittlere Transportvolumen in frachtpflichtigem Gewicht.

Planbarkeit des Transportvolumens: Die Kenngröße beschreibt, wie viele Tage vor Eintrefftermin das Transportvolumen und -gewicht hinreichend genau bekannt ist.

Theoretische logistische Auslastung: Die Kenngröße beschreibt das Verhältnis des maximalen zum mittleren Transportvolumen einer Transportrelation.

Während die Liefertreue als Kenngröße allgemein bekannt ist, wurden die übrigen Kenngrößen anforderungsbezogen entwickelt. Die für eine Bewertung notwendigen Aggregationsniveaus wurden ebenso definiert. Alle Kenngrößen weisen die Parametrisierung einer Nulltoleranz (absolute Anforderungserfüllung) wie auch die Möglichkeit der Nutzung eines Toleranzfeldes (ausreichende Anforderungserfüllung) auf. In Anlehnung an die Qualitätswissenschaft können durch die Wahl einer Toleranz kleine Abweichungen vom Zielwert als hinnehmbar eingestuft werden. Hierdurch wird eine anwenderbezogene Ausgestaltung möglich.

Z.4 Methodische Nutzung der Kenngrößen mit dem Ziel, die Komplexität zu reduzieren und ein Bewertungsvorgehen zu definieren

Die Bewertungsvorgehen zielt darauf, Teilnetze des Logistiknetzwerks, entsprechend einem heutigen Gebietsspeditionsgebiet, bestehend aus Vorlauf, Umschlag und Hauptlauf einzeln zu bewerten. So kann den verschiedenen Charakteristiken des Teilnetzes Rechnung getragen werden.

Als Visualisierung spannt die entwickelte Methode die einzelnen Kenngrößen als Prüfdimensionen zu einem Diagramm auf und trägt die Ausprägungen der ausgewerteten Erhebung als Punkte ein. In Abbildung 45 werden die Auswahl des Teilnetzes und das gebildete Diagramm exemplarisch aufgezeigt. Die Nutzung eines Punktediagramms wurde als vorteilhaft identifiziert, da hierdurch die Wahrnehmungs- und Analysefähigkeit des Menschen für unterschiedliche Verteilungen genutzt werden kann.

Zum Zwecke der Bewertung werden im Diagramm unterschiedliche Bereiche mit Hilfe schattierter Flächen voneinander abgegrenzt. Die Bereiche bilden Annahme- und Ablehnbereiche für das jeweils untersuchte Lean-Konzept. Eine initiale Parametrisierung der Bereichsgrenzen wird innerhalb der Arbeit analytisch begründet, sollte jedoch fallspezifisch nachvollzogen werden.

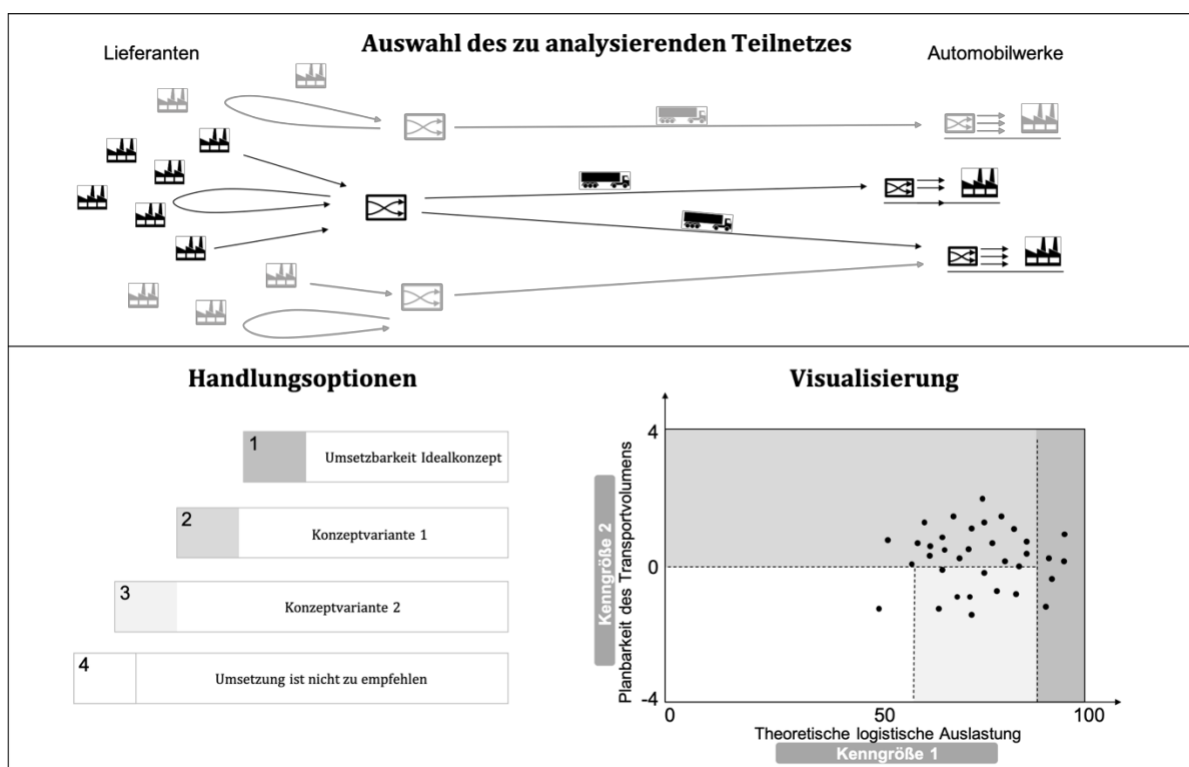


Abbildung 45: Bewertungsvorgehen zur Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Logistiknetzwerk
(eigene Darstellung)

Z.5 Aufbau einer Interpretationshilfe zum Ableiten von Handlungsoptionen

Im Sinne einer gestuften Planungslogik werden durch die gebildeten Annahmebereich, ausgehend vom Idealkonzept, Konzeptvarianten aufgezeigt, welche eine Anforderungsmindererfüllung berücksichtigen. Zu einem späteren Zeitpunkt ist hierdurch eine stufenweise Weiterentwicklung zum Idealkonzept möglich. Die gestuften Konzeptvarianten sind Abbildung 45 auf der linken unteren Seite dargestellt.

Die Visualisierung erlaubt ebenfalls die Diskussion der Ergebnisse bspw. mit der Produktion und Programmplanung des Fahrzeugherstellers. Hierdurch können die Auswirkungen äußerer Einflüsse auf die Logistik verdeutlicht werden. Ein anschließendes Monitoring von Verbesserungen und ggf. Erreichen einer neuen Konzeptstufe kann mit Hilfe der Visualisierung überprüft werden.

Z.6 Vornehmen einer ersten Validierung der Vorgehensweise

Durch vom Automobilhersteller Volkswagen zur Verfügung gestellte Daten konnte das Bewertungsvorgehen auf ein Logistiknetzwerk mit 134 Lieferanten und fünf Fahrzeugwerken angewandt werden. Da Vergleichsmessungen auf Grund fehlender bisheriger Methoden nicht zur Bestätigung der Ergebnisse herangezogen werden konnten, wurde die Analyse qualitativ durch Diskussion mit Fachplanern und Entscheidungsträgern des Automobilherstellers plausibilisiert. Im Ergebnis zeigt sich, dass das methodische Vorgehen anwendbar ist, ein einfaches Verständnis für die vorliegenden Ausgangsbedingungen der Lean-Einführung schafft und eine Anschlussfähigkeit zur weiteren planerischen Tätigkeit bietet.

8.2 Einordnung und Ausblick

Das entwickelte Bewertungsvorgehen sichert die Entscheidungsfindung zur Einführung von Lean-Logistics-Konzepten im automobilen Inbound-Netzwerk methodisch ab. Insbesondere bei der Einführung von Lean-Strategien wurde in der Vergangenheit oftmals ohne eine quantifizierbare Entscheidungsgrundlage gearbeitet. Fehlgeleitete Entscheidungen wie die bei Ford unter dem Motto „every day, every part“ vorgenommene Umsetzung der hochfrequenten Transporte können so möglicherweise in Zukunft verhindert werden.

Betrachtet man die Ergebnisse vor dem Hintergrund der herrschenden Trends in der Automobilindustrie, so kann ein Ausblick auf die zukünftige Anwendbarkeit und Relevanz des Bewertungsvorgehens gegeben werden. Bauer et al. (2018, S. 1) sehen die weiter voranschreitende Lokalisierung, die Digitalisierung sowie Dekarbonisierung bzw. Elektrifizierung als Megatrends.

Während die Automobilhersteller global agieren, ist gleichzeitig eine **Lokalisierung** festzustellen. So bestehen in den wachsenden Märkten zunehmend lokale Produktionsstätten (vgl. Bauer et al. 2018, S. 9). Für die Umsetzbarkeit von Lean-Konzepten im Logistiknetzwerk kann sich dies positiv auswirken. Dies wäre der Fall, wenn gleichzeitig zur lokalen Produktion ein hoher Anteil an lokalen Lieferanten vorliegt. Denn zur Prüfung der für die Konzepte erforderlichen Stabilität setzen die Kenngrößen der Planbarkeit des Teilebedarfs und der Planbarkeit des Transportvolumens die Inbound-Durchlaufzeit in Relation. Müssen Teile bspw. von Europa nach Asien gebracht werden, ist eine bedarfssynchrone Anlieferung unmöglich und eine lokale Entkopplung notwendig. Der Trend zur weiteren Lokalisierung ermöglicht somit tendenziell den vermehrten Einsatz von Lean-Logistics-Konzepten.

Die **Digitalisierung** als zweiter Megatrend ändert vor allem die Sichtbarkeit in der Lieferkette. So bieten internetfähige Sensoren und ein durchgängiger Datenaustausch eine wesentliche Verbesserung zur Überwachung der Prozesse (vgl. Kersten et al. 2017, S. 41). Dies ist zwar ein Vorteil und mag die Voraussetzungen zur Einführung der Lean-Logistics-Konzepte verbessern, da Abweichungen und drohende Produktionsausfälle schneller bemerkt und verhindert werden können, ersetzt jedoch nicht die Befähigung der Prozesse. Stabile Prozesse werden auch weiterhin die Grundlage der Logistik und insbesondere der Lean Logistics bilden. Agilitätskonzepte, durch prädiktive Analysen oder dynamische Optimierung mittels künstlicher Intelligenz möglich werdend (vgl. Kersten et al. 2017, S. 14), könnten jedoch die Lieferkette flexibilisieren und somit die starren Konzepte der Lean Logistics ablösen.

Ein Ausblick und Einschätzung zu den Lean-Konzepten unter den Folgen der **Elektrifizierung** als letztem der genannten Trends bietet ein interessantes Bild. Während das Aufkommen von rein elektrischen und hybridbetriebenen Fahrzeugen, neben den herkömmlichen Verbrennungsmotoren, die Automobilindustrie grundlegend umzuwälzen droht, scheinen die Folgen auf die Lean-Konzepte überschaubar. Zum einen ist hervorzuheben, dass in einem Elektroantrieb nur ein Viertel der Teile verbaut sind wie in einem klassischen Verbrennungsmotor (vgl. Appel 2017, S. 3). Gleichzeitig ist jedoch zu erwarten, dass die verschiedenen Antriebsformen noch auf längere Zeit parallel existieren

(vgl. VDMA 2018, S. 13). Hierdurch ist je nach verfolgter Elektrifizierungsstrategie eine weitere Differenzierung der Randbedingungen für die Umsetzung der Lean Logistics zu erwarten.

Die Gründe, die zuvor für die Einführung der Lean-Konzepte gesprochen haben, bleiben von der Elektrifizierung jedoch unberührt. So kann die Lean-Inbound-Logistik auch bei weniger Teilen einen produktionssynchronen und verschwendungsarmen Gesamtprozess unterstützen. Weniger Teilevarianten könnten zu einem stabileren Bedarf führen und sogar förderlich wirken. Gleichzeitig sinkt jedoch das im Netzwerk zu konsolidierende Transportvolumen. Je nachdem, wie die Struktur des Netzwerks beschaffen ist, ergeben sich hierdurch weitere zu beachtende Effekte auf das durch das Bewertungsvorgehen betrachtete durchschnittliche Transportvolumen sowie die theoretische Auslastung. Die Durchführung einer Bewertung bleibt somit zur Identifizierung von Handlungsoptionen und Risiken zu empfehlen.

A. Anlagen

A.1 Herkömmlicher Inbound Logistikprozess

Nachfolgend werden die Elemente des zweistufigen Logistiknetzwerks (Lieferant, Vorlauf, Umschlag, Hauptlauf, Empfangswerk) mit den darin befindlichen herkömmlichen logistischen Prozessen näher beschrieben. Die Abbildung 46 bietet einen unterstützenden Überblick, indem je Netzwerkelement die darunterliegenden Prozesse aufgeführt werden.

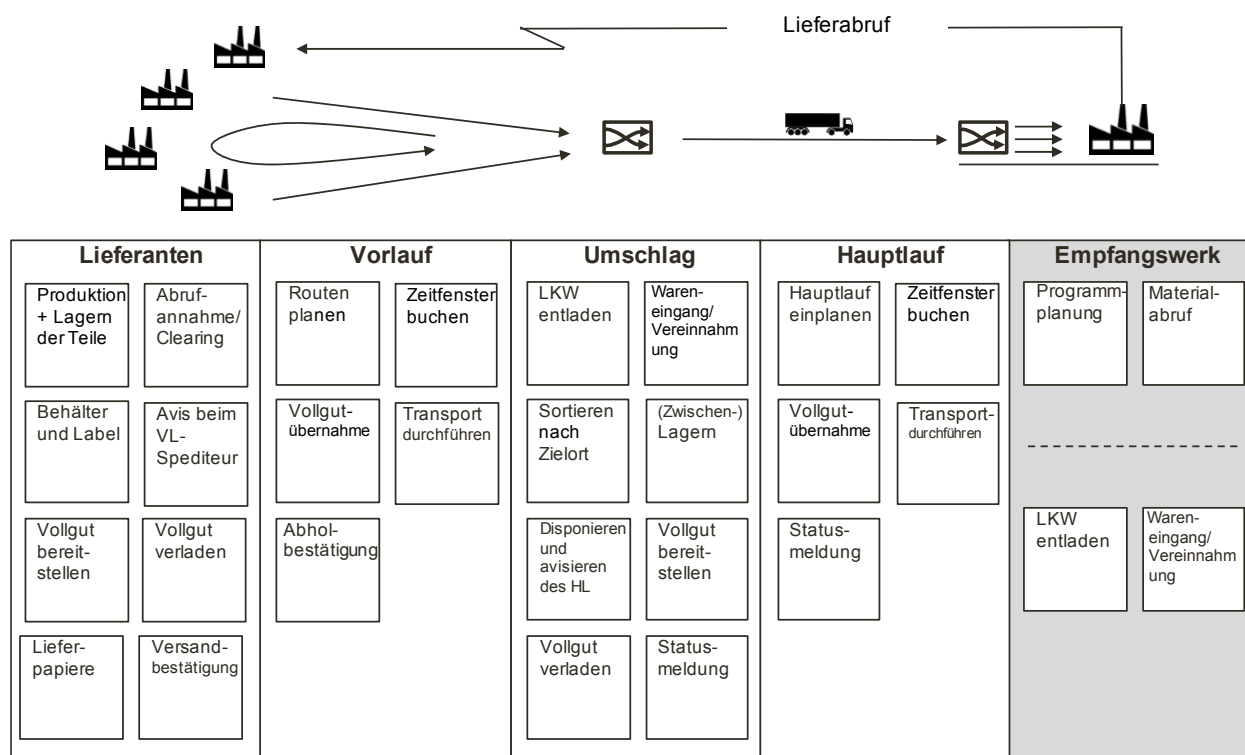


Abbildung 46: Prozesselemente der herkömmlichen automobilen Inbound-Logistik (eigene Darstellung)

Lieferant

Der Lieferant ist der Ausgangspunkt des Materialflussprozesses. Vertraglich vereinbaren die Automobilhersteller mit ihren Lieferanten Abnahmemengen in einer bestimmten Bandbreite. Der Lieferant kann seine Produktion an dieser Kapazität ausrichten und sich an der im Lieferabruf beinhalteten Liefervorschau orientieren. Mittels des Kurzfristbereichs des Abrufs wird die tägliche Abnahmemenge präzisiert. Da der jeweils neue Abruf immer den älteren Abruf überschreibt, kommt es teils zu drastischen Schwankungen der gültigen Abrufmenge, auf die nicht immer reagiert werden kann, weil bspw. die Menge bereits anders an den Spediteur avisiert wurde. In diesem Fall erfüllen die Lieferanten den Abruf kumulativ über mehrere Sendungen. Kann ein Abruf nicht wie vereinbart erfüllt werden, bestehen je Automobilhersteller unterschiedliche Clearing- bzw. Eskalationsprozesse.

Durch die Avisierung der Versandmenge fordert der Lieferant bei einem herkömmlichen Prozessablauf einen Tag vor Abholung den vom Automobilhersteller beauftragten Spediteur an (vgl.

Klug 2010, S. 334). Im Zuge der Materialbereitstellung hat der Lieferant die Teile in den vereinbarten Behältern und mit Behälterlabeln versehen bereitzustellen sowie die Lieferpapiere auszustellen.

Vorlauf

Im Vorlauf führt der (Gebiets-) Spediteur auf Basis des Transportavis des Lieferanten eine Tourenplanung durch. Entscheidend hierfür ist, dass verlässliche Angaben bezüglich des benötigten Transportvolumens bestehen. Dieses setzt sich aus dem Volumen und Gewicht der einzelnen Packstücke und deren Stapelbarkeit zusammen. Unter Berücksichtigung der Transportkapazität (Laderaum, Nutzlast) seines Transportmittels plant der Spediteur mithilfe dieser Informationen die Touren zur Abholung der Sendungen. Später werden diese operativ von den LKW abgefahren.

Der Frachtführer (LKW-Fahrer) hat im Rahmen der Übernahme die Ladung gegen die Angaben auf den vom Lieferanten erstellten Lieferpapieren nach Art und Menge zu prüfen. Nach erfolgter Ladung kann durch den Spediteur optional eine elektronische Statusmeldung an den Fahrzeughersteller erfolgen. Es stehen hierfür verschiedene genormte Formate zur Verfügung. So wird beispielsweise ein Lieferavis oder eine Advanced-Shipping-Notice versandt (Normen: VDA 4921, DESADV, EDI856, ...). Ziel der Routen im Vorlauf ist der Umschlagspunkt.

Umschlag

Bei einem herkömmlichen Prozessablauf wird der Umschlagspunkt zumeist ebenfalls vom Gebietsspediteur betrieben. Es kann sich jedoch auch um einen anderen Dienstleister handeln. Der Umschlag als Netzwerkelement der mehrstufigen Logistikkette kann grundsätzlich in zwei unterschiedliche Arten unterschieden werden (vgl. Gudehus 2010, S. 893 f.). Zum einen in ein reines Crossdocking, bei dem ein Umschlag ohne Ladungsträgerwechsel stattfindet. Die Ladungsträger werden in diesem Fall nur entladen und auf Flächen gemäß dem Empfangsort sortiert. Bei der zweiten Art findet zusätzlich ein Ladungsträgerwechsel statt. Hierbei werden Mischgebände, bei denen mehrere kleine Ladungsträger mit unterschiedlichen Zielen auf einer Palette stehen, neu zusammengestellt. Hierdurch kann unter Umständen eine verbesserte Auslastung des Hauptlauf-LKW erreicht werden und im Vorlauf können Waren mit verschiedenen Empfangsorten auf einem Ladungsträger transportiert werden.

In der Automobilindustrie ist das Crossdocking, bei dem kein Ladungsträgerwechsel besteht, die übliche Praxis in der Gebietsspedition. In der Regel findet heute der Umschlag, der dem Zeitintervall zwischen Wareneingang und Warenausgang entspricht, innerhalb von 24 Stunden statt (vgl. Gudehus 2010, S. 893). Die Entlade-, Sortier- und Beladetätigkeiten werden durch Gabelstapler ausgeführt.

Hauptlauf

Entsprechend dem Transportaufkommen plant der (Gebiets-)Spediteur die Hauptlauftouren ein. Diese werden entsprechend dem Transportavis durch den Umschlagspunkt konkretisiert. Basierend auf den geplanten Touren kann eine Zeitfensteranmeldung vorgenommen werden. So kann die Tour präziser und ohne stark schwankende Wartezeiten ausgelegt und die Kapazität ausgelastet werden. Jedoch verfügen nicht alle Umschlagspunktbetreiber und Automobilwerke für alle stattfindenden Transporte über eine Zeitfenstersteuerung (vgl. Gehr und Hellingrath 2007, S. 93).

In der operativen Abwicklung findet entsprechend der Vollgutübernahme im Vorlauf auch im Hauptlauf eine Prüfung der Ladung durch den Frachtführer statt. Bei Abfahrt sowie auf der Transportstrecke kann durch elektronische Transportmeldungen eine Information über den Status an den Automobilhersteller gesendet werden.

Empfangswerk

Im Empfangswerk findet die Warenvereinnahmung durch den Automobilhersteller statt. Diese läuft in mehreren Schritten ab. Zunächst findet eine Anmeldung nebst einem administrativen Wareneingang am LKW-Eingang statt. Hier wird die Überprüfung der LKW-Identifikation, der Einhaltung des Zeitfensters sowie ein Abgleich der Frachtpapiere mit den bereits elektronisch übermittelten Lieferdaten durchgeführt (vgl. Klug 2018, S. 378). Den Lieferpapieren wird an dieser Stelle eine eindeutige Wareneingangsnummer zugeordnet. Da Automobilwerke durch ihre verschiedenen Gewerke funktional und auch örtlich unterteilt sind, befinden sich zumeist mehrere Entladestellen an einem Lieferort. So z. B. für den Karosseriebau und die Montagen. Im Rahmen des administrativen Wareneingangs kann deshalb für den LKW-Fahrer eine Route zur Entladung im Werk erstellt werden. Dies insbesondere, wenn es sich um größere Automobilwerke handelt. Im sehr großen Volkswagenwerk in Wolfsburg bestehen beispielsweise 76 Entladestellen. Der LKW wird entlang der ermittelten Route durch das Werk geschickt. An den verschiedenen Entladestellen findet schließlich die Entladung und der physische Wareneingang (Vereinnahmung der Waren) statt. Eventuell aufgetretene Transportschäden werden hierbei registriert.

A.2 Lean-Inbound-Logistikprozess

Zur Komplementierung und im Gegensatz zum herkömmlichen Prozess unter A.1 stellt das nachfolgende Schaubild in Abbildung 47 den Lean-Logistik-Prozess dar. Hierbei wurden die Prozesse, bei denen konzeptionelle Änderungen anfallen, grau markiert. Ebenso wurden die Änderungen mit einem Schlagwort in dem Feld des Prozesses umschrieben. Eine Beschreibung der Lean-Prozesse ist innerhalb der Anforderungsanalyse unter 4.2 zu finden. Die nicht mehr zum Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit gehörende Programmplanung kann ebenfalls Änderungen enthalten. Diese wurden jedoch nicht markiert, da sie unabhängig vom Lean-Inbound-Prozess eingeführt werden können.

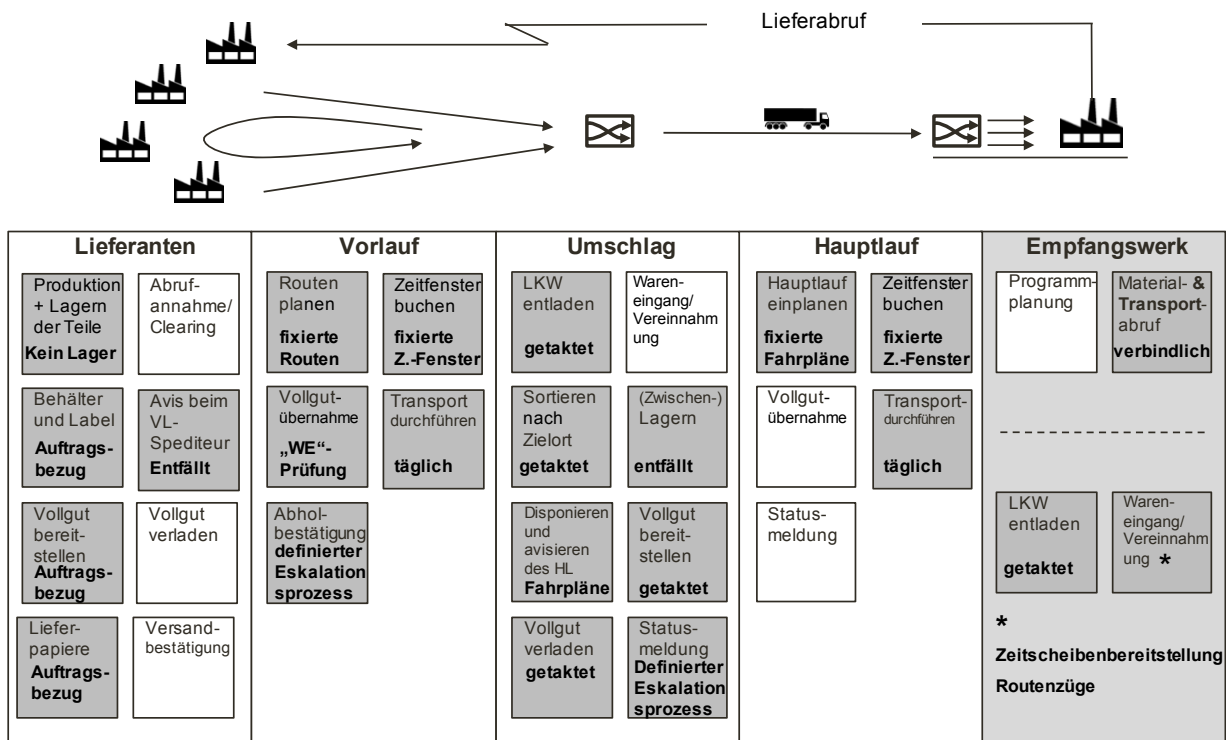


Abbildung 47: Prozesselemente der automobilen Lean Inbound Logistik (eigene Darstellung)

A.3 Tabellen der Anforderungsgruppierung

Nachfolgend werden die aus der Anforderungsanalyse in Kapitel 4 hervorgegangenen Anforderungsmodule, welche einen Zwischenschritt zu den finalen Anforderungsbündeln darstellen, wiedergegeben. In der Tabellenbezeichnung ist jeweils in Klammern ein Verweis auf den erläuternden Textabschnitt gegeben.

Tabelle 21: Anforderung A1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.1)

Planbarkeit des Teilebedarfs	
Qualitative Beschreibung	Der Bedarf bzw. dessen Vorschau (Menge/Zeiteinheit) einer Teilenummer darf sich bis zur Realisierung im Verbaupunkt nicht ändern.
Art	Muss-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller (alle Fahrzeugwerke)
Bezugszeitraum	Durchlaufzeit (Lieferant bis Verbau im Fahrzeugwerk)

Tabelle 22: Anforderung A2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.1)

Erfüllungsgrad des Abrufs	
Qualitative Beschreibung	Vor Umstellung auf das Konzept sollte ein hoher Erfüllungsgrad des Abrufs im Wareneingang des Fahrzeugwerkes vorliegen.
Adressat der Anforderung	Lieferant, Spediteur, Umschlagpunktbetreiber (Crossdock)
Art	Soll-Anforderung
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 23: Anforderung B1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2)

Umsetzung des Konzepts des verbindlichen Pull-Abrufs	
Art	Muss-Anforderung

Tabelle 24: Anforderung B2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2)

Umsetzung des Konzepts der festen Routen und Fahrplanktaltung	
Art	Soll-Anforderung

Tabelle 25: Anforderung B3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.2)

Arbeitsqualität im Inbound-Prozess	
Qualitative Beschreibung	Vor Umstellung auf das Konzept sollte bereits eine hohe Qualität im Inbound-Prozess bestehen und somit der Abruf und damit verbundene Bestimmungen im Prozess sollten möglichst genau erfüllt sein.
Adressat der Anforderung	Lieferant, Spediteur, Umschlagpunktbetreiber (Crossdock)
Art	Soll-Anforderung
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 26: Anforderung C1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3)

Umsetzung des verbindlichen Pull-Abrufs (Muss-Bestandteil: verbindlicher Abruf)	
Art	Muss-Anforderung

Tabelle 27: Anforderung C2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3)

Umsetzung des Auftragsbezugs	
Art	Soll-Anforderung

Tabelle 28: Anforderung C3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.3)

Arbeitsqualität im Inbound-Prozess	
Qualitative Beschreibung	Vor Umstellung auf das Konzept sollte bereits eine hohe Arbeitsqualität im Inbound-Prozess bestehen
Adressat der Anforderung	Lieferant, (Vorlauf-)Spediteur
Art	Soll-Anforderung
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 29: Anforderung D1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.4)

Hinreichende Größe des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit verlangen ein hinreichend großes tägliches Transportvolumen je Lieferant und Hauptlauf.
Art	Muss-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 30: Anforderung D2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.4)

Schwankung des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Größe des Transportvolumens sollte innerhalb der betrachteten Zeitperiode konstant und somit gleichmäßig, ohne große Schwankungen sein.
Art	Soll-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 31: Anforderung E1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.5)

Schwankung des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Größe des Transportvolumens sollte über die Länge der Fahrplanperiode des Vorlaufs- und Hauptlaufs gleichmäßig, ohne große Schwankungen sein.
Art	Muss-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugszeitraum	unbestimmt

Tabelle 32: Anforderung E2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.5)

Planbarkeit des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Die Vorhersage sollte mit dem tatsächlich eintreffenden Transportvolumen übereinstimmen, um eine Planung zu ermöglichen.
Art	Kann-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugszeitraum	Größer als die Transportzeit

Tabelle 33: Anforderung F1 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6)

Umsetzung der hochfrequenten Transporte	
Art	Muss-Anforderung

Tabelle 34: Anforderung F2 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6)

Umsetzung der festen Routen und Fahrplantaktung	
Art	Soll-Anforderung

Tabelle 35: Anforderung F3 (Erläuterung in Abschnitt 4.3.6)

Schwankung des Transportvolumens	
Qualitative Beschreibung	Das Transportvolumen sollte über die Zeit betrachtet gleichmäßig und ohne große Schwankungen sein.
Art	Kann-Anforderung
Adressat der Anforderung	Fahrzeughersteller, Fahrzeugwerke
Bezugszeitraum	unbestimmt

A.4 Fallbeispiel: Programmstabilität unter Logistikgesichtspunkten

Die unter 5.3.1 entwickelte Kenngröße untersucht die Planbarkeit des Teilebedarfs. Für die Betrachtung einer Teilenummer könnte diese Analyse erweitert werden, um vereinfacht planbare Teileumfänge zu identifizieren oder Kriterien zu entwickeln, die für eine weitere Stabilisierung des Fahrzeugprogramms aus Logistiksicht genutzt werden können. Hierzu kann die Bedarfscharakteristik eines Teils näher untersucht werden.

Innerhalb eines Fahrzeugmodells sollte eine Teilenummer, welche in jedes Fahrzeug eingebaut wird, am wenigsten von einer Reihenfolgen-Verwirbelung in der Fertigung betroffen sein. Diese Teile, welche eine hundertprozentige Einbaurrate aufweisen, können auch als 100-Prozent-Teile bezeichnet werden. Einzig eine variierende Gesamtausbringung an Fahrzeugen pro Tag kann sich auf die Planbarkeit des Bedarfs auswirken.

Werden mehrere Fahrzeugmodelle in einer Fabrik gebaut, muss neben der Betrachtung des hundertprozentigen Verbaus einer Teilenummer in einem Fahrzeugmodell auch der Verbau des gleichen Teils in den übrigen Fahrzeugmodellen geprüft werden. Denn wenn eine hundertprozentige Einbaurrate in einem Modell besteht, diese aber bei einem zweiten Modell nur bei achtzig Prozent liegt, kann folglich wieder eine Verwirbelung mit in Summe nicht planbaren Bedarfen entstehen. Da im Logistiknetzwerk zudem mehrere Fahrzeugwerke abrufen, muss diese Aussage auf das Netzwerk übertragen werden. Besonders planbare Teile sollten über eine hundertprozentige Einbaurrate in allen dieses Teil verbauenden Fahrzeugwerken im betrachteten Netzwerk verfügen. Ein so aus Sicht der Inbound-Logistik definiertes 100-Prozent-Teil hätte eine besonders hohe Planbarkeit. Der betroffene Lieferant könnte für dieses Teil unter einfachen Bedingungen Lean-Prozesse in seiner Fertigung aufbauen und eine bedarfsgenaue Bereitstellung realisieren.

Der Begriff des 100-Prozent-Teils kann zudem erweitert werden, wenn der Bezug auf den Transport ausgedehnt wird. Im Sinne des vorherigen Ansatzes sollte es bei einem 100-Prozent-Teil auch hier keinen Unterschied machen, welche Reihenfolge im Produktionsprogramm und -prozess des Automobilherstellers besteht. Die Sichtweise des Transportprozesses auf das zu transportierende Transportvolumen und -gewicht vereinfacht die Analyse. So macht es für den Transport keinen Unterschied, wenn bspw. immer eins von drei technisch unterschiedlichen Teilen eingebaut wird, diese aber das gleiche Transportvolumen und -gewicht aufweisen und vom gleichen Lieferanten produziert werden. Diese Teile substituieren sich so, dass sich keine Auswirkung auf den Transport ergibt. Man kann somit auch von logistischen Substitutionsteilen sprechen.

Zur Identifikation dieser Teile können die folgenden Kriterien angesetzt werden:

- **Identischer Lieferant (Quelle)**
- **Identisches Transportvolumen**
- **Identisches Transportgewicht⁸⁵**
- **Identischer Zielort (Senke)**

⁸⁵ Beim Transportgewicht und -volumen könnte auch eine Bandbreite eingeführt werden, so dass vom Gewicht und Volumen her ähnlich charakterisierte Teile als identisch gelten.

Die mit Hilfe der Kriterien identifizierten Teilenummern müssten zusammengenommen eine hundertprozentige Einbaurate, wie zuvor beschrieben, ergeben. Hierdurch könnte der Anteil der 100-Prozent-Teile bzw. der Teilefamilien an der Gesamtzahl der Teile eines Automobilherstellers anwachsen.

Beispiele für logistische Substitutionsteile sind Getriebe, wenn diese im gleichen Transportbehälter geliefert werden. Ein weiteres sehr einfaches Beispiel sind Tankdeckel. Hierbei spielt es keine Rolle, ob sich in einem ansonsten identischen Behälter rote, gelbe, blaue oder schwarze Deckel befinden (Abbildung 48).



Abbildung 48: Verschiedenfarbige Tankdeckel in einheitlichen Behältern
(eigene Darstellung mit Bildmaterial der Volkswagen AG)

Die aufgezeigte zusätzliche Möglichkeit der Analyse könnte alternativ zur Kenngröße der „Planbarkeit des Teilebedarfs“ durchgeführt werden. Zusammen mit den übrigen in Kapitel 4 identifizierten und mit Kenngrößen bewerteten Anforderungen könnte so ggf. eine einfachere und schnellere Auswertung durchgeführt werden.

Weiterhin könnte die Logistik versuchen, die Stabilisierung des Fahrzeugprogramms aus Logistiksicht mit Hilfe der identifizierten Kriterien voranzutreiben, indem die Logistik bspw. die Behälter vereinheitlicht und hierdurch gezielt logistische Substitutionsteile erzeugt.

Eine im Rahmen dieser Arbeit testweise durchgeführte Analyse brachte jedoch keine zufriedenstellenden Ergebnisse zur angedachten Methodik. So fällt die Identifikation der 100-Prozent-Teile und insbesondere der Teilefamilien der logistischen Substitutionsteile schwer, da die Systematik der Bedarfsrechnungssysteme nicht hierfür ausgelegt ist. Teilenummern kennzeichnen technische Unterschiede der Bauteile, aber nicht logistische Unterschiede. Die Analyse der Bedarfe, um einen Rückschluss auf Substitutionsteile zu ziehen, funktionierte zumindest in der vorgenommenen Erhebung bei Volkswagen nicht (siehe Fallstudie, Kapitel 7). Der Vergleich zur unter 5.3.1 vorgeschlagenen Kenngröße der Planbarkeit des Teilebedarfs, deren Berechnung sich in der Fallstudie als relativ einfach herausstellte, bestätigt somit die getroffene Ausgestaltung der Kenngröße innerhalb der Arbeit. Dennoch soll nicht ausgeschlossen werden, dass sich die ergänzend vorgeschlagene Analyse der 100-Prozent-Teile bei anderen Herstellern als nützliches Mittel herausstellen kann.

A.5 Fallbeispiel: Umstellung der Abrufsystematik gem. Lean Logistics

In einem diese Arbeit ergänzenden Versuch wurde die Abrufsystematik Volkswagens für mehrere Teilenummern entsprechend den Bedingungen der Lean Logistics (3.1) angepasst. Die Einflüsse der Liefereinteilung sind hierzu zurückzuführen, um möglichst die direkten Produktionsbedarfe abzurufen. Abschnitt 4.2.1 zählt unterschiedliche Einflussparameter auf, welche hierzu angepasst werden können.

Beispielweise kann die Restriktion, dass nur 4 Gebindelagen einer Teilenummer abgerufen werden, auf das Minimum einer Gebindelage pro Palette reduziert werden oder es kann sogar die Möglichkeit, einzelne Behälter abzurufen, geschaffen werden. Manche Restriktionen der Liefereinteilung können jedoch nicht verändert werden. Hierzu zählt bspw. die Restriktion, dass nur volle Behälter abgerufen werden, da ansonsten tief in die Systematik der bestehenden Prozesse eingegriffen wird. Die Restriktion der vollen Behälter müsste bei ideeller Umsetzung der Lean Logistics jedoch zugunsten eines genauen Abrufs des Produktionsbedarfs aufgegeben werden.

Die versuchsweise vorgenommene Anpassung der Liefereinteilung an die Lean-Systematik kann in der Gegenüberstellung der Bedarfs- zur Abrufmenge verfolgt werden. In Abbildung 49 ist hierzu der Bedarf einer exemplarischen Teilenummer als kontinuierlicher Verlauf mittels einer dunkelgrauen Fläche zu sehen. Im Vordergrund sind die einzelnen Abrufmengen als diskrete Balken dargestellt. Die Abbildung zeigt zudem einen sechswöchigen Referenzzeitraum vor der Umstellung und einen ebenso langen hellgrau hinterlegten Zeitraum nach der Umstellung.

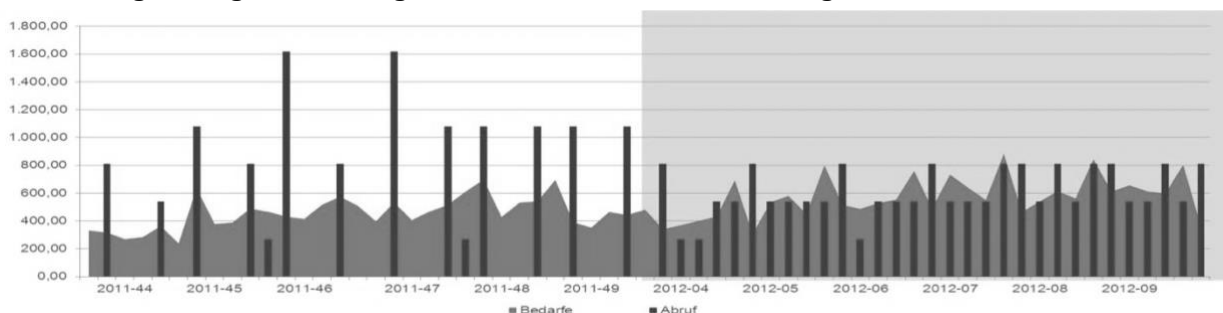


Abbildung 49: Verbesserte Bedarfsabbildung durch den Abruf (eigene Darstellung)

Im Ergebnis passt sich die abgerufene Liefereinteilung besser an die tatsächlichen Bedarfe des Fahrzeugwerkes an. Gut ersichtlich ist in Abbildung 49, dass sich jedoch kein genaueres Abgleich zur Bedarfsmenge einstellt, da die Restriktion der vollen Behälter für eine Treppenfunktion in den Abrufen sorgt. Weiterhin scheint im Zeitraum der Umstellung eine systematische Verschiebung der Abrufe gegenüber dem Bedarf vorzuliegen, die jedoch nicht näher untersucht wurde.

Die Aufgabe von Restriktionen in der Liefereinteilung führte auch bei den Transporten zu einer erhöhten Lieferfrequenz. Bei den fünf untersuchten Lieferanten, bei denen die Umstellung der Abrufsystematik stattfand, konnte eine tägliche Lieferfrequenz im Sinne der Lean Logistics erzielt werden. Die nachfolgende Abbildung 50 zeigt die Transportfrequenz in einem Referenzzeitraum vor der Umstellung und einem Zeitraum nach Umstellung (hellgrau hinterlegt).

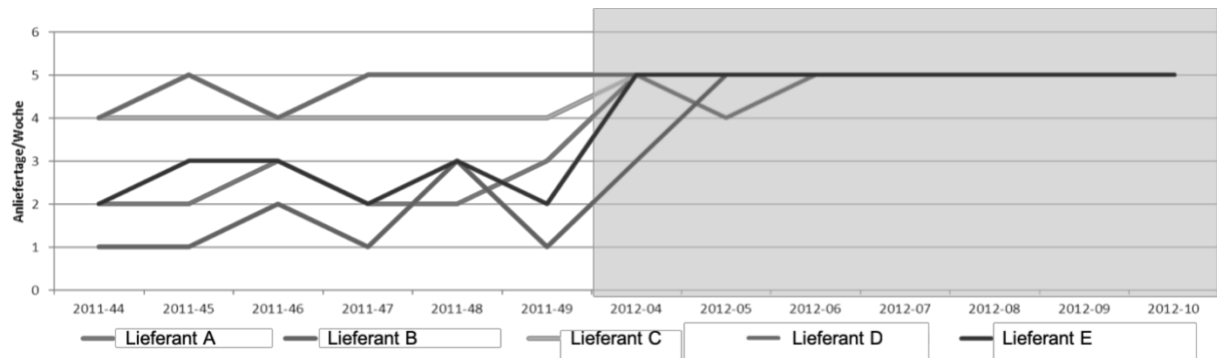


Abbildung 50: Erhöhung der Transportfrequenz in Folge der Abrufanpassung (eigene Darstellung)

Die Umstellung und Analyse erfolgte jedoch nicht unter Kostenaspekten. Da die Abrufe vorher zum Teil kostenoptimiert stattfanden, kann keine Aussage darüber getroffen werden, welches System sich als wirtschaftlicher herausstellte.

A.6 Kenngrößen-Steckbriefe

Nachfolgend werden die in Kapitel 5 entwickelten Kenngrößen in Form knapper Kenngrößensteckbriefe zusammenfassend wiederholt. Es wird jeweils die einfachste Form der Kenngröße wiedergegeben. Zur Bildung eines höheren Aggregationsniveaus wird auf Kapitel 5 verwiesen.

Steckbrief Kenngröße 1: Planbarkeit des Teilebedarfs

Beschreibung

Die Planbarkeit des Teilebedarfs PBT beschreibt, wie viele Tage vor Eintreten des tatsächlichen Bedarfs die Bedarfsmenge einer Teilenummer Q hinreichend genau bekannt ist.⁸⁶

Formel

$$\begin{aligned} PBT(Q) &= PBT_{N,n}^{z,Z}(Q) \\ &= \max k \in \{0, 1, \dots, n\}, \text{ s. d. } \left(\sum_{T=1}^N 1_{|PB^z(T) \geq k} \right) N^{-1} \cdot 100 \geq Z \end{aligned}$$

Die Indexfunktion prüft für jeden Tag T der Erhebung, ob die Planbarkeit von k Tagen gegeben ist.

$$1_{|PB^z(T) \geq k} = \begin{cases} 0, & \text{wenn } PB^z(T) < k \\ 1, & \text{wenn } PB^z(T) \geq k \end{cases}$$

Hierzu wird die Bedingung geprüft, ob der Betrag der Bedarfsmenge B am Bedarfstag T minus der Bedarfsmenge der Vorschau bei $T - j$ kleiner als die vorgegebene Mengentoleranz z ist. Das Maximum der die Bedingung erfüllenden hintereinander folgenden Tage ergibt die Planbarkeit.

$$PB^z(T) = \max l \in \{0, \dots, n\}, \text{ s. d. } \max_{j=0, \dots, l} (|B_T(T) - B_T(T - j)|) \leq z$$

Variablen

z : Mengentoleranz [Anzahl an Teilen]

Definiert die zulässige Abweichung der Vorhersagemenge zur tatsächlich eintretenden Bedarfsmenge.

Z : relative Sicherheit [%]

Gibt den Anteil der Bedarfstage an, mit welcher die ausgegebene Planbarkeit im Betrachtungszeitraum erreicht wurde.

N : Größe der Erhebung [Tage]

Gibt die Anzahl der Bedarfstage an, für die eine auswertbare Anzahl j an Vorschauwerten vorliegt.

⁸⁶ Die Kenngröße kann auch auf dem Aggregationsniveau eines Lieferanten gebildet werden und wird unter 5.3.1 beschrieben. Die Bildung der Kenngröße erfolgt auf Basis der im Steckbrief aufgeführten Planbarkeit des Teilebedarfs.

n: Vorschautage [Tage]

Gibt an, wie viele Vorschautage pro Rechnungslauf aufgeführt werden (bzw. in der Erhebung berücksichtigt wurden).

j: Mindestanzahl an Vorschautagen [Tage]

Benennt die Anzahl an Vorschautagen (Rechnungsläufe), die für einen Bedarfstag vorliegen sollen, um die Planbarkeit auszuwerten. Bei einer großen Erhebung kann auch $j = n$ gesetzt werden.

Steckbrief Kenngröße 2: Liefertreue

Beschreibung

Die Liefertreue LT gibt für eine Erhebung von $T = 1, \dots, N$ Tagen den Anteil der durch den Inbound-Prozess termin-, mengen- und qualitätsgerecht erfüllten täglichen Abrufe einer Teilenummer Q an.⁸⁷

Formel

$$LT(Q) = LT_N^z(Q) = \frac{\sum_{T=1}^N lt(T)}{N}$$

Die Indexfunktion prüft für jeden Tag T der Erhebung, ob der beim Start des Inbound-Prozesses zum Zeitpunkt $T - [DLZ]$ getätigte Abrufwert s dem Wareneingang entspricht. Der Wareneingang wird gebildet aus der eingegangenen Menge einer Teilenummer w_T abzüglich der Menge an beanstandeten Teilen q_T .

$$lt(T) = 1 \left| \left| s_{[DLZ]}^{T-[DLZ]} - w_T + q_T \right| \leq z \right.$$

Ist für einen Tag T der Betrag der Abweichung aus Abruf und Wareneingang kleiner als die Mengentoleranz z , nimmt die Indexfunktion den Wert 1 an. Der Wareneingang wird dann als dem Abruf entsprechend gewertet.

Variablen

z : Mengentoleranz [Anzahl an Teilen]

Definiert die zulässige Abweichung der Wareneingangsmenge zur Abrufmenge.

N : Größe der Erhebung [Tage]

Gibt die Anzahl der Bedarfstage an, für die eine auswertbare Anzahl j an Vorschauwerten vorliegt.

⁸⁷ Die Kenngröße kann auch auf dem Aggregationsniveau eines Lieferanten erhoben werden. Die korrekte Bildung des Aggregationsniveaus wird unter 5.3.2 beschrieben.

Steckbrief Kenngröße 3: Durchschnittliches Transportvolumen

Beschreibung

Das durchschnittliche Transportvolumen \bar{V} eines Lieferanten L gibt das arithmetische Mittel einer über N Tage auf Grundlage der täglichen Bedarfe der Fahrzeugwerke erhobenen Transportmenge in frachtpflichtigem Gewicht an.⁸⁸

Formel

$$\bar{V}_L = \sum_{Q=1}^M \bar{V}_Q$$

Die Formel summiert das durchschnittliche Transportvolumen aller beim Lieferanten für den Automobilhersteller produzierten Teilenummern $Q = 1, \dots, M$ auf, welche zusammen im Vorlauf gefahren werden.

$$\bar{V}_Q = \frac{\sum_{T=1}^N (r_Q^T * fpg_Q)}{N}$$

Das durchschnittliche Transportvolumen eines Teils Q ist eine theoretische Größe, ermittelt aus den Bedarfsmengen r eines Teils Q für den jeweiligen Tag T multipliziert mit dem spezifischen frachtpflichtigen Gewicht fpg_Q des Teils.

$$fpg_Q = \max \left(bg_Q, bv_Q \frac{G_m}{V_m} \right)$$

Das spezifische frachtpflichtige Gewicht eines Teils Q ergibt sich aus dem Maximum seines Gewichts bg_Q und des theoretischen Werts seines Volumengewichts. Zur Ermittlung des Volumengewichts wird das Teilevolumen bv_Q mit dem maximalen Ladegewicht G_m des im Netzwerk genutzten Standard-LKW multipliziert und durch das maximale Ladevolumen V_m des Standard-LKW geteilt.⁸⁹

Variablen

M: Teilenummern eines Lieferanten [Anzahl]

Gibt die Anzahl an Teilen wieder, welche ein Lieferant für den Automobilhersteller fertigt.

N: Größe der Erhebung [Tage]

Gibt die Anzahl der Bedarfstage an, für die eine auswertbare Anzahl j an Vorschauwerten vorliegt.

⁸⁸ Die Kenngröße kann auch auf dem Aggregationsniveau eines Hauptlaufes erhoben werden. Hierzu wird das Transportvolumen aller auf einem Hauptlauf gefahren Teile herangezogen. Siehe hierzu Abschnitt 5.3.3.

⁸⁹ Weitere Erläuterungen zum frachtpflichtigen Gewicht unter Abschnitt 5.2.4.

Steckbrief Kenngröße 4: Planbarkeit des Transportvolumens

Beschreibung

Die Planbarkeit des Transportvolumens PBV beschreibt, wie viele Tage k vor Eintreten des tatsächlichen Transports das Transportvolumen eines Lieferanten L mit einer Sicherheit von \check{Z} in Prozent bekannt ist.⁹⁰

Formel

$$PBV(L) = PBV_{N,n}^{\check{Z},\check{Z}}(L) \\ = \max_{k \in \{0,1, \dots, n\}} s. d. \left(\sum_{T=1}^N 1_{|PBTV_L^{\check{Z}}(T) \geq k} \right) N^{-1} \cdot 100 \geq \check{Z}$$

Die Indexfunktion prüft für jeden Tag T der Erhebung, ob die Planbarkeit $PBTV_L^{\check{Z}}$ von k Tagen gegeben ist. $PBTV_L^{\check{Z}}$ gibt hierzu die maximale Anzahl an Tagen wieder, an denen das Transportvolumen des Lieferanten bereits in der Vorschau hinreichend genau bekannt war.

$$PBTV_L^{\check{Z}}(T) = \max_{k \in \{0, \dots, n\}} s. d. \max_{j=0, \dots, k} \left(\left| \sum_{Q=1}^M V_{Q,T}(T) - \sum_{Q=1}^M V_{Q,T}(T-j) \right| \right) \leq \check{z}$$

Es wird die Bedingung geprüft, ob der Betrag des Transportvolumens V aller Teile Q des Lieferanten am Bedarfstag T minus dem Transportvolumen der Vorschau bei $T - j$ kleiner als die vorgegebene Volumentoleranz \check{z} ist. Das Maximum der die Bedingung erfüllenden hintereinander folgenden Tage ergibt die Planbarkeit $PBTV_L^{\check{Z}}$.

Das Transportvolumen wird in frachtpflichtigem Gewicht angegeben.

Variablen

\check{z} : Volumentoleranz [frachtpflichtiges Gewicht]

Definiert die zulässige Abweichung des Vorhersagevolumens zum tatsächlich eintretenden Transportvolumen.

\check{Z} : relative Sicherheit [%]

Gibt den Anteil der Transporttage an, bei denen die ausgegebene Planbarkeit im Betrachtungszeitraum der Erhebung erreicht wurde.

N : Größe der Erhebung [Tage]

⁹⁰ Die Kenngröße kann auch auf dem Aggregationsniveau eines Hauptlaufes erhoben werden. Die korrekte Bildung des Aggregationsniveaus wird unter 5.3.4 beschrieben.

Gibt die Anzahl der Transporttage an, für die eine auswertbare Anzahl j an Vorschauwerten vorliegt.

n: Vorschautage [Tage]

Gibt an, wie viele Vorschautage berechnet werden (bzw. in der Erhebung berücksichtigt wurden).

j: Mindestanzahl an Vorschautagen [Tage]

Benennt die Anzahl an Vorschautagen (Rechnungsläufe), die für einen Transporttag vorliegen sollen, um die Planbarkeit auszuwerten. Bei einer großen Erhebung kann auch $j = n$ gesetzt werden

Steckbrief Kenngröße 5: Theoretische logistische Auslastung

Beschreibung

Die theoretische logistische Auslastung $AUS_Q^{\ddot{Z}}$ gibt das Verhältnis des mittleren Transportvolumens \bar{V}_Q zum in der Erhebung ermittelten maximalen Transportvolumen $V_{Q,max}^{\ddot{Z}}$ einer Teilenummer Q wieder und ist somit ein Maß für die Streuung. Sie gibt einen theoretischen Wert für die Auslastung an, wenn ein Prozess jeden Tag die gleichen am Maximalwert ausgelegten Kapazitäten vorhält.⁹¹

Formel

$$AUS_Q^{\ddot{Z}} = \frac{\bar{V}_Q}{V_{Q,max}^{\ddot{Z}}}$$

Das mittlere Transportvolumen \bar{V}_Q in frachtpflichtigem Gewicht wird im Steckbrief Kenngröße 3 beschrieben.

$$V_{Q,max}^{\ddot{Z}} = \max_{T=1,\dots,k} V_Q(T), \text{ s. d. } \frac{k}{N} \leq \ddot{Z}$$

Das maximale Transportvolumen $V_{Q,max}^{\ddot{Z}}$ wird aus allen Tagen der Erhebung ermittelt, wobei mit \ddot{Z} der Anteil an Tagen vorgegeben wird, für die das Maximum gilt. Hierdurch kann ein bestimmter Anteil an bspw. Sonderfahrten hingenommen werden.

Variablen

\ddot{Z} : relative Sicherheit [%]

Gibt den Anteil der Transporttage an, für welche die angegebene theoretische Auslastung gilt.

N : Größe der Erhebung [Tage]

Gibt die Anzahl der Transporttage an, für die eine auswertbare Anzahl j an Vorschauwerten vorliegt.

⁹¹ Die Kenngröße kann auch auf dem Aggregationsniveau eines Hauptlaufes erhoben werden. Die korrekte Bildung des Aggregationsniveaus wird unter 5.3.5 beschrieben.

B. Literaturverzeichnis

- Althoff, Kai: Erfolgreich mit Lean Logistics - Flexibel komplexe Prozesse beherrschen und Kosten sparen. In: Logistik für Unternehmen, 3. Ausgabe, 2009, S. 51–52.
- Alrifai, Nasser B.: Optimizing a lean logistics system and the identification of its breakdown points. Dissertation. University of South California, 2008.
- Appel, Holger: Forschung bei Volkswagen. Plötzlich sind Chemiker gefragt. Interview mit Entwicklungsvorstand Frank Welsch, 13.09.2017. Frankfurt: FAZ, 2017.
- Baron, Pavlo: Big Data für IT-Entscheider. Riesige Datenmengen und moderne Technologien gewinnbringend nutzen. München: Carl Hanser Verlag, 2013.
- Bartel, Holger: Modell zur Analyse und Gestaltung des Bestellverhaltens für die variantenreiche Serienproduktion. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart, Fakultät Maschinenbau, 2006.
- Baudin, Michael: Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Material and Goods. New York: Productivity Press, 2004.
- Bauer, Wilhelm; Riedel, Oliver; Herrmann, Florian; Borrmann, Daniel; Sachs, Carolina; Schmid, Stephan; Klötzke, Matthias: Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigten am Standort Deutschland. ELAB 2.0. Abschlussbericht. Fraunhofer IAO, 2018.
- Baumgarten, Helmut: Logistik im E-Zeitalter. Die Welt der globalen Logistiknetzwerke. Frankfurt am Main: FAZ Verlag - Bereich Buch, 2001.
- Becker, Torsten: Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2005.
- Belekoukias, Ioannis; Garza-Reyes, Jose Arturo; Kumar, Vikas: The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organizations. In: International Journal of Production research. Volume 52, Issue 18, 2014, S. 5346–5366.
- Bichler, Klaus: 100 Logistikkennzahlen. Wiesbaden: Cometics, 2007.
- Bissell, Derek: Statistical Methods for SPC and TQM. London: Chapman & Hall, 1994.
- BME: BME-Preisspiegel KEP-Dienste. Eschborn: Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e. V., 2015.
- Boppert, Julia; Lügger, Marc; Durchholz, Janina: Entwicklungsströme und Trends in der schlanken Prozessgestaltung. In: Günthner, Willibald A.; Boppert, Julia: Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013, S. 11–25.
- Borchert, J.; Goos, P.; Strahler, B.: Forschungsansätze. In: Schuhmann, Matthias (Hrsg.): Arbeitsbericht Nr. 25/2004, Göttingen, Georg-August-Universität, Institut für Wirtschaftsinformatik, 2004.

-
- Bourque, Pierre; Fairley, Richard E.: Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. Version 3.0. Los Alamitos, Washington, Brussels, Tokyo: IEEE Computer Society, 2014.
- Braun Meike; Kramer Jochen; Furmans, Kai: Validierung intralogistischer Systemmodelle anhand gemessener Kenngrößen. In: Logistics Journal. Proceedings, Vol. 2014, S. 1–11.
- Busse, Tim; Schmidt, Matthias; Wriggers, Felix: Logistische Lageranalyse und Methodvalidierung. In: Industrie Management, Issue 23, 2007, S. 75–78.
- Büchter, Andreas; Henn, Hans-Wolfgang: Elementare Stochastik. Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls. 2. Auflage. Heidelberg, Berlin, New York: Springer, 2007.
- Chemuturi, Murali: Requirements Engineering and Management for Software Development Projects. New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer, 2013.
- Conze, Matthias H.: Integrierte Abruf- und Transportsteuerung für lagerhaltige Teileumfänge zur schlanken Versorgung der Automobilmontage. Dissertation. München: Technische Universität München, 2014.
- Copaciu, Felicia Victoria: Analyse der Wirkzusammenhänge der Perlenkettenmethode in der Automobilindustrie. Dissertation. Dortmund: Technische Universität, Maschinenbaufakultät, 2012.
- Corbat, Peter: Logistik in Vertriebsunternehmen. Cockpit-Reihe Fachwissen. Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2009.
- Corsten, Daniel; Gabriel, Christoph: Supply Chain Management erfolgreich umsetzen. Grundlagen, Realisierungen und Fallstudien. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2004.
- Delphi: Global Packaging and Shipping Manual: Packaging and shipping standards. revised May 2015, Delphi Automotive LLP, 2015.
- Dennis, Pascal: Lean Production Simplified. A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System. Second Edition. New York: Productivity Press, 2007.
- Dickmann, Philipp: Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- DIN: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (DIN EN ISO 9000:2015). Norm, Berlin: Beuth Verlag, 2015.
- Disney, Stephen M.; Naim, Mohamed M.; Towill, D. R.: Dynamic simulation modelling for lean logistics. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 27 Issue: 3/4, 1997, pp.174–196
- Dörnhöfer, Sebastian: Entwicklung eines modularen Kennzahlensystems für die Automobillogistik im Kontext der schlanken Logistik. Dissertation. München: Technische Universität, Fakultät Maschinenbau 2016.
- Durchholz, Janina: Vorgehen zur Planung eines schlanken Logistikprozesses – Wertstromdesign für die Logistik. Dissertation. München: Technische Universität, 2014.

- Durchholz, Janina; Boppert, Julia: Planung – Methoden zu Planung schlanker Logistikprozesse. In: Günthner, Willibald A.; Boppert, Julia. (Hrsg.): Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013, S. 17–96.
- Elis, Volker: Von Amerika nach Japan – und zurück. Die historischen Wurzeln und Transformation des Toyotismus. In: Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History 6, 2009, S. 255–275.
- Fabbe-Costes, Nathalie; Jahre, Marianne; Rouquet, Aurélien: Interacting standards: a basic element in logistics networks. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol.36/Issue 2, 2006, S. 93–111.
- Franken Myriam: Produktionsplanung und -steuerung in strategischen Netzen. Ein logistikorientierter Koordinationsansatz. Dissertation Universität Duisburg-Essen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2004.
- Furmans, Kai: Gestaltung leistungsfähiger, dezentral gesteuerter Supply Chains als Alternative zu Globalplanungsansätzen. In: Francisco J. Gracia Sanz, Klaus Semmler und Johannes Walther (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007, S. 181–197.
- Fromm, Thomas: Just-in-Time. Eine Wertvolle Kette. SZ, 2. März 2016.
- Gilligan, Eugene: Lean Logistics. Companies learn to use demand to control their supply chains. The Journal of Commerce, May 3-9 2004, S. 18–20.
- Gehr, Frank; Hellingrath, Bernd: Logistik in der Automobilindustrie: Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, VDI Buch, 2007.
- Göpfert, Ingrid; Grünert, Marc; Schmid, Nico André: Logistiknetzwerke der Zukunft – Das neue Zulieferer-Hersteller-Verhältnis in der Automobilindustrie. In: Göpfert, Ingrid (Hrsg.): Logistik der Zukunft – Logistics for the future. 7. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016
- Goldsby, Thomas; Martichenko, Robert: Lean six sigma logistics: Strategic development to operational success. Boca Raton: J. Ross Publishing, 2005.
- Grininger, Jürgen; Meißner, Sebastian (2006): Früh in Reih und Glied. In: Automobil-Produktion 11/2006, S. 54–57.
- Grininger, Jürgen: Bewertung von Logistiksystemen. In: Günthner, W. A.; Boppert, J. (Hrsg.): Lean Logistics. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Vieweg, 2013, S. 59–67.
- Grochla, Erwin: Erfolgsorientierte Materialwirtschaft durch Kennzahlen - Leitfaden zur Steuerung und Analyse der Materialwirtschaft. Baden-Baden: FBO-Verlag, 1983.
- Grundig, Claus-Gerold: Fabrikplanung. Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. 6. neu bearbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2018.

-
- Gudehus, Timm: Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- Günthner, Willibald A.: Zwischenbericht Forschungsprojekt LEAN:log. Lösungen für Effizienzsteigerungen in automobilen Netzwerken durch Logistik. Berichtszeitraum: 01.10.2010 bis 30.09.2011. München: Bayrische Forschungsförderung, 2011.
- Günthner, Willibald A.; Boppert, Julia: Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013.
- Heizmann, Jochem: Anforderungen an die Logistik aus dem Konzern-Produktionssystem. Präsentationsunterlage, Konferenzvortrag, Deutscher Logistikkongress, 31.10.2009.
- Helmold, Marc; Terry, Brian: Lieferantenmanagement 2030: Wertschöpfung und Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in digitalen und globalen Märkten. Wiesbaden: Springer Verlag, 2016.
- Heyne, Suzanne: Lean: Winning Strategies for Cutting Waste. In: Inbound Logistics Journal, Issue 06 2014, S. 1-7.
- Hilhorst, Ronald: Just-in-Time implementation. A discussion about problems of Just-in-Time implementation in Europe and America. Master thesis. Leiden: Leiden University, 2002.
- Hines, Peter: Lean and Green. In: Quality Manufacturing Today (QMT), Mai/Juni 2010, S. 9-11.
- Holweg, Matthias; Pil, Frits K.: The second Century. Reconnecting Customers and Value Chain through Build-to-Order. Cambridge: The MIT Press, 2004.
- Holweg, Matthias: The Evolution of Competition in the Automotive Industry. In: Parry, Glenn; Graves, Andrew (Hrsg.): Build To Order. London: Springer, 2008, S. 3-34.
- Holzbaur, Ulrich: Entwicklungsmanagement. Mit hervorragenden Produkten zum Markterfolg. Berlin, Heidelberg, New York: Springer: 2007.
- IEEE: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. Document-No.: IEEE Std 830-1998, New York: IEEE, 1998.
- Ihme, Joachim: Logistik im Automobilbau. Logistikkomponenten und Logistiksysteme im Fahrzeugbau. München, Wien: Hanser, 2006.
- Imai, Maasaki: KAIZEN: Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. 7. Auflage. Berlin, Frankfurt: Ullstein Verlag, 1993.
- INCOSE: International Council of System Engineering: Guide for Writing Requirements, Document-No.: INCOSE-TP-2010-006-01, San Diego: INCOSE, 2012.
- Inman, Robert R.; Bulfin, Robert L.: Note – Sequencing JIT Mixed-Model Assembly Lines. In: Management Science, 1991, vol. 37, Issue 7, 1991, S. 901-904.
- Jones, Daniel T.; Hines, Peter; Rich, Nick: Lean Logistics. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management Vol.27 (No. 3/4),1997, S. 153-173.

- Jina, Jay; Bhattacharya, Arindam K.; Walton, Andrew: Applying lean principles for high product variety and low volumes: Some issues and propositions. In: Logistics Information Management 10 (1), 1997, S. 5–13.
- Kämpf, Michael: Probleme der Tourenbildung. Chemnitz: Technische Universität, Chemnitzer Informatik-Berichte, 2006.
- Karlin, Jennifer Nicole: Defining the lean logistics learning enterprise: Examples from Toyota's north American supply chain. Dissertation. Michigan: University, Industrial and Operations Engineering, 2004.
- Kersten, Wolfgang; Seiter, Mischa; von See, Birgit; Hackius, Niels; Maurer, Timo: Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management - Chancen der digitalen Transformation. Bundesvereinigung Logistik (BVL), Bremen: DVV Media Group GmbH, 2017.
- Klug, Florian: Synchronised Automotive Logistics: An Optimal Mix of Pull and Push Principles in Automotive Supply Networks. In: Bourlakis, M.; Cullinane, K.; Mulley, C.; Nelson, J. (Hrsg.): Logistics Research Network 2006 Conference Proceedings, Newcastle 2006, S. 187–191.
- Klug, Florian: Gestaltungsprinzipien einer Schlanke Logistik. In: ZfAW, 4/2008, S. 56–61.
- Klug, Florian: Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Logistikmanagement in der Automobilindustrie. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018.
- Kosta, Claudia: Change Management: Wandel gestalten und durch Veränderung führen. München: Carls Hanser Verlag, 2017.
- Krallmann, Herrmann; Frank, Helmut; Gronau, Norbert (2002): Systemanalyse im Unternehmen. Vorgehensmodelle, Modellierungsverfahren und Gestaltungsoptionen. 4. vollständig überarbeitete Auflage. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 2002.
- Kromidas, Stavros (2011): Handbuch Validierung in der Analytik. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2011.
- Kühn, Martin A.: Flexibilität in logistischen Systemen. Heidelberg: Physica-Verlag, 2013.
- Leffingwell, Dean; Widrig, Don: Managing Software Requirements. A unified approach. Boston, San Francisco, New York: Addison-Wesley, 2000.
- Liker, Jeffrey K.: The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York et al.: McGraw-Hill, 2004.
- Liker, Jeffrey K.: Praxisbuch: Der Toyota Weg. 2. Auflage, München: FinanzBuch Verlag, 2008.
- Lischke, Melanie: Umsetzung von 4PL-Konzepten in Logistikunternehmen. Am Beispiel der Supply-Chain der Automobilindustrie. Diplomarbeit. Gelsenkirchen: Hochschule, 2008.
- Louis, Raymond S.: Custom Kanban. Designing the System to Meet the Needs of Your Environment. New York: Productivity Press, 2006.

-
- Ludwig, Christopher: VW's new logistics concept goes global. Interview mit Thomas Zernechel, Leiter Volkswagen Logistics, In: Automotive Logistics, Jul.-Sep.2011, S. 18–24.
- Ludwig, Christopher: Toyota's supply chain visions. In: Automotive Logistics, July-September 2013, S. 16–26.
- Lunau, Stephan: Six Sigma + Lean Toolset. Verbesserungsprojekte erfolgreich durchführen. 2. überarbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
- Lutz, Markus (2008): Steuerung internationaler Forschungs- und Entwicklungsnetzwerke. Dissertation. Cottbus: Universität, 2008.
- Martichenko, Robert; Taylor, Linda: Lean Transportation - fact or fiction. White Paper. Memphis: FedEx, 2006.
- Martichenko, Robert; Grabe, Kevin von: Building a Lean Fulfillment Stream. Rethinking Your Supply Chain and Logistics to Create Maximum Value at Minimum Total Cost. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2010.
- Martichenko, Robert: Lean Logistics. In: Obara, Samuel; Wilburn, Darriel (Hrsg.): Toyota by Toyota. Reflections from the Inside Leaders on the Techniques that Revolutionized the Industry. CRS-Press, Boca Raton, 2012, S. 159–176.
- Martichenko, Robert: Lean Inbound Logistics: The Key to an Advanced Supply Chain. Whitepaper, LeanCor Supply Chain Group, 2017.
- Mather, Hal: Design for Logistics (DFL) - The Next Challenge for Designers. In: Production and Inventory Management Journal, Vol. 33, Issue 1, 1992, S. 7–10.
- Meißner, Sebastian; Günthner, Willibald A.: Lean Logistics – Ansatzpunkte der Gestaltung schlanker Logistiksysteme. In: ZWF Jahrg. 104, 2009, S. 280–283.
- Meißner, Sebastian: Schlanke Materialversorgungsprozesse am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers. In: Günthner, Willibald A.; Boppert, Julia (Hrsg.): Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013, S. 293–304.
- Meyer, Anne: Milk Run Design. Definition, Concepts and Solution Approaches. Dissertation, Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, 2015.
- Meyr, Herbert: Supply chain planning in the German automotive industry. In: OR Spectrum, 2004, Vol. 26, S. 447–470.
- Miemczyk, Joe, Holweg, Matthias: Building cars to customer order – What does it mean for inbound logistics operations? In: Journal of Business Logistics, Vol. 25, Iss. 2; 2004, S. 171–198.
- Monden, Yasuhiro: Toyota Production System. An Integrated Approach to Just-In-Time. Fourth Edition. New York: Productivity Press, 2012.

- Muffato, Moreno: Introducing a platform strategy in product development. In: International Journal of Production Economics Vol. 60, 1999, S. 145–153.
- Nemoto, Toshinori; Hayashi, Katsushiko; Hashimoto, Masataka: Milk-Run logistics by Japanese automobile manufacturers in Thailand. In: Procedia Social and Behavioral Sciences, 2, The Sixth International Conference on City Logistics, 2010, S. 5980–5989.
- Ohno, Taiichi: Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production. English Translation. New York: Productivity Press, 1988.
- Partz, Andreas: Studie Neuwagen: Wie viele Modellvarianten gibt es pro Modell? Presseinformation 19. August 2013, Köln: MeinAuto, 2013.
- Pfeiffer, Werner: Lean Management: Grundlagen der Führung und Organisation lernender Unternehmen. 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1994
- Piaw, Teo Chung: From Lean Production to Lean Logistics – A review. In: Singapore Management Review, 20/1, 1998, S. 69–73.
- Popp, Julian: Neuartige Logistikkonzepte für eine flexible Automobilproduktion ohne Band. Dissertation, Stuttgart: Universität Stuttgart, 2018.
- Porsche Akademie: Just in Time. Das schlanke Produktionssystem. Schulungsunterlagen der Porsche Consulting. Stuttgart: Eigenverlag, 2009.
- Powell, Thomas: Total quality management as competitive advantage: a review and empirical study. Strategic Management Journal 16, 1995, S. 15–37.
- Pruschna, Helmut: Statistisches Methodenbuch. Verfahren, Fallstudien, Programcodes. Berlin Heidelberg: Springer, 2006.
- Rao, Kant; Grenoble, William L.: Modelling the Effects of Traffic Congestion on JIT. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1990, Vol 21, No.2, S. 3–9.
- Reuter, Christian: Logistikrelevante Lösungen auf der Basis von Lean-Management bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt. Dissertation. Universität Stuttgart: Universität, Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, 2009.
- Rinza, T.; Boppert, J.: Logistik im Zeichen zunehmender Entropie. In: Willibald A. Günthner (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Die Vision der Supra-Adaptivität. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2007, S. 17–28.
- Rosenthal, Antje: Lebenszyklusbetrachtung zur Einsatzbewertung modularer Ladungsträgerkonzepte. Dissertation, Magdeburg: Otto-von-Guericke Universität, 2016.
- Rother, Mike; Harris, Rick: Creating continuous flow. An action guide for managers, engineers & production associates. Cambridge: The Lean Enterprise Institute, 2001.
- Rother, Mike; Shook, John: Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2003.

-
- Scharf, Till: Möglichkeiten und Grenzen der „Schlanken Produktion“ in der Fertigung und Untersuchung der Übertragbarkeit auf die Kunststoffverarbeitung. Dissertation. Clausthal: Technische Universität, 2005.
- Schedlbauer, Johannes: Adaptive Logistikplanung auf Basis eines standardisierten, prozessorientierten Bausteinkonzepts. Dissertation. München: Technische Universität, Fakultät für Maschinenbau, 2008.
- Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2014.
- Schenk, Michael, Wojanowski, Rico: Fortschrittszahlen. In: Koether, Reinhard (Hrsg.): Handbuch der Logistik. 5. Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2018, S. 98–108.
- Schenk, Michael: Instandhaltung technischer Systeme. Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Heidelberg et al.: Springer, 2010.
- Schneider, Markus: Lean Factory Design: Gestaltungsprinzipien für die perfekte Produktion und Logistik. München: Hanser Verlag, 2016.
- Schröder, Falk: Vorgehensweise zur Implementierung von logistischen Kennzahlen im Umfeld der Automobilindustrie. Dissertation. München: Technische Universität, 2017.
- Schürle, Philipp: Kanban – Der Weg ist das Ziel. In: Dickmann, Philipp (Hrsg.): Schlanker Materialfluss. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, S. 227–303.
- Schumann, Heitrun; Müller, Wolfgang: Visualisierung. Grundlagen und allgemeine Methoden. Springer: Berlin, Heidelberg 2000.
- Shingo, Shigeo: A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Portland, Productivity Press, 1998.
- Stahel, Werner: Statistische Datenanalyse. 4. Auflage. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 2002.
- Sugimori, Y.; Kusunoki, K.; Uchikawa, S.: Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect for human system. In: International Journal of Production Research, 1977, 15:6, S. 553–564.
- Spear, Steven; Bowen, H. Kent.: Decoding the DNA of the Toyota Production System. In: Harvard Business Review. 77(5), 1999. S. 96–106.
- Schwulera, Erik: Erfolgreiche Anwendung der DMAIC-Methodik im IT-Bereich der Siemens Power Generation. In: Töpfer, Armin (Hrsg.): Six Sigma. Konzeption und Erfolgsbeispiele für Praktizierte Null-Fehler-Qualität. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004, S. 423–435.

-
- Takeda, Hitoshi: LCIA – Low Cost Intelligent Automation: Produktivitätsvorteile durch Einfachautomatisierung. 2. Auflage. München: mi-Fachverlag, 2006.
- Takeda, Hitoshi: Das System der Mixed Production. Personal Order Prinzip für kundenorientierte Produktion. 2. Auflage. München: mi-Fachverlag, 2008.
- Takeda, Hitoshi: Das synchrone Produktionssystem - Just-in-time für das ganze Unternehmen. 7. Auflage. München: Vahlen, 2012.
- Toyota: The Toyota Production System. Leaner Manufacturing for a Greener Planet. Toyota City: Toyota Motor Corporation, 1998.
- VDA: Daten-Fern-Übertragung von Feinabrufen. VDA-Empfehlung 4915, 2. Ausgabe, Frankfurt: Verband der Automobilindustrie (VDA), 1996.
- VDA: Standardbelieferungsformen der Logistik in der Automobilindustrie. VDA Empfehlung 5010, Frankfurt: Verband der Automobilindustrie (VDA), 2008
- VDA: Sendungsbelege. VDA-Empfehlung 4939, Version 3.1, Frankfurt: Verband der Automobilindustrie, 2016b.
- VDA: Anwendungsempfehlung zum Global Transport Label – GTL. VDA-Empfehlung 4994, Version 1.0, Verband der Automobilindustrie, 2016c.
- VDI: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Richtlinie 2221. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 1993.
- VDI: Logistikkennzahlen für die Beschaffung. VDI-Richtlinie 4400, Blatt 1. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure: 2001.
- VDMA: Antrieb im Wandel. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen und ihre Auswirkung auf den Maschinen- und Anlagenbau und die Zulieferindustrie. Kurzfassung. VDMA, Forum Elektromobilität, Frankfurt am Main: VDMA, 2018.
- Vogt, Björn: Porsche Logistik – Transparenz und Effizienz. Präsentation vom 17.05.2017. Abgerufen am: 04.02.2018, unter: http://www.medlogistica.de/media/meta/Vortraege-2017/18_05/Porsche-Logistik_-_Transparenz-und-Effizienz.pdf, 2017.
- Volkswagen: MQB – der neue Modulare Querbaukasten: TDI und TSI – neue Motoren im MQB. Internationaler Presseworkshop. URL: <http://www.motor-talk.de/forum/aktion/Attachment.html?attachmentId=704926>, abgerufen: 06.01.2019. Wolfsburg: Volkswagen, 2012.
- Volkswagen: Implementation Guideline Global Transport Label (GTL). Version 4.1.5. 2016, URL: http://www.vwgroupsupply.com/one-kbp-pub/media/shared_media/documents_1/electronic_data_interchange/edi_guidelines/gtl_and_transport_and_shipment_bills/global_transport_label_gtl/Global_Transport_Label_GTL_DE.pdf, abgerufen: 30.05.2017. Wolfsburg, Volkswagen, 2016.

- Voss, C. A.: Alternative paradigms for manufacturing strategy, in: International Journal of Operations & Production Management, 15, 1995, S. 5–16.
- Wagenitz, Axel: Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie. Dissertation. Universität Dortmund, 2007.
- Wagner, Harry: Das Neue Logistik Konzept (NLK) des Volkswagen Konzerns auf Basis SAP am Beispiel des Pickup-Sheet-Prozesses. Präsentation, URL: https://websmp206.sap-ag.de/~sapidp/011000_358700000141712014D/VW-AUDI_PUS_090923_DE.pdf, abgerufen: 18.11.2018. Audi AG, 2009.
- Wannenwetsch, Helmut: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik. Beschaffung, Materialwirtschaft, Logistik und Produktion. 4. Auflage, Heidelberg et al.: Springer-Verlag, 2010.
- Waters, Donald: Logistics. An Introduction to supply chain management. Illustrierte Neuauflage. Hampshire: Palgrave Macmillan, 2003.
- Weber, Jürgen; Großklaus, Armin; Nippel, Harald; Kummer, Sebastian; Warnke Dorothee: Kennzahlen für die Logistik. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1995.
- Weißbach, Wolfgang; Dahms, Michael; Jaroschek, Christoph: Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Prüfungen. 19 Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.
- Weyer, Matthias: Das Produktionssteuerungskonzept Perlenkette und dessen Kennzahlensystem. Dissertation. Karlsruhe: Universität Karlsruhe, Fakultät für Maschinenbau, 2002.
- Wierse, Andreas; Riedel, Till: Smart Data Analytics. Berlin, Boston: Walter de Gruyter, 2017.
- Wiklund, Axel: Logistics costs and efficiency. PSA Peugeot Citroen. URL: <http://www.odette.se/BinaryLoader.axd?OwnerID=89a08f04-0a60-4ae8-a321-cffa959eb333&OwnerType=0&PropertyName=File1&FileName=Axel%20Wiklund.pdf>, abgerufen: 06.01.2019, erstellt: 2008.
- Wildemann, Horst: Fertigungsstrategien: Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produktion und Zulieferung. 3. überarbeitete Auflage, München: TCW Transfer-Centrum-Verlag, 1997.
- Wildemann, Horst: Das Just-in-Time Konzept. Produktion und Zulieferung auf Abruf. 5. Auflage, München: TCW Transfer-Centrum-Verlag, 2001.
- Wiemann, Klaus: Praktische Hinweise zur Anwendung statistischer Methoden. Wuppertal: Universität, 1998.
- Wierse, Andreas; Riedel, Till: Smart Data Analytics. Zusammenhänge erkennen Potenziale nutzen Big Data verstehen. Walter de Gruyter: Berlin, Boston 2017.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel: The machine that changed the world. The story of Lean Production. New York: Free Press, 1990.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.: Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press, 2003.

Zäh, Michael F. und Möller, Niklas: Dimensionierung von Kanban-Regelkreisen. In: Dickmann, Philipp (Hrsg.): Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2 aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.

Zernechel, Thomas: Gestaltung und Optimierung von Unternehmensnetzwerken. Supply Chain Management in der Automobilindustrie. In: Gracia Sanz, Francisco J.; Semmler, Klaus; Walther, Johannes (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2007, S. 367–378.

ZF: Optimierung Liefertreue. ZF Friedrichshafen AG. Friedrichshafen: 2017.