

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19223 N

## Thema

Quantitative Analyse und Bewertung der Ursachen einer geringen logistischen Performance entlang der unternehmensinternen Lieferkette

## Berichtszeitraum

01.12.2016 bis 31.12.2018

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL)

## Forschungseinrichtung(en)

1; Leibniz Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA)

Garbsen, 15.04.2019

Ort, Datum

Lasse Härtel

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Grundlagen und Stand der Forschung .....</b>	<b>7</b>
2.1 Logistische Zielgrößen in der Unternehmensinternen Lieferkette .....	7
2.2 Einflussfaktoren auf die logistische Zielerreichung .....	8
2.3 Bewertung und Analyse der logistischen Performance.....	9
2.4 Problemstellung und Handlungsbedarf .....	11
<b>3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse.....</b>	<b>13</b>
3.1 Zielsetzung .....	13
3.2 Arbeitspaket 1: Sammlung und Kategorisierung der Symptome geringer logistischer Performance und Erhebung der relevanten Bezugsquellen.....	14
3.3 Arbeitspaket 2: Aufbau durchgängiger Symptom-Ursache-Beziehungen .....	17
3.4 Arbeitspaket 3: Priorisierung der Ursachen mittels quantitativer logistischer Bewertung.....	27
3.5 Arbeitspaket 4: Katalogisierung der Maßnahmen zur Ursachenbeseitigung.....	32
3.6 Arbeitspaket 5: Abbildung der Wirkzusammenhänge in einem Softwaredemonstrator sowie Aufbau eines Workshop-Konzepts zur Performanceanalyse .....	35
<b>4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen .....</b>	<b>44</b>
<b>5 Verwendung der Zuwendung .....</b>	<b>46</b>
<b>6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....</b>	<b>47</b>
<b>7 Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....</b>	<b>48</b>
<b>8 Durchführende Forschungsstelle .....</b>	<b>51</b>
<b>9 Förderhinweis .....</b>	<b>52</b>
<b>10 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Logistische Zielgrößen entlang der unternehmensinternen Lieferkette (in Anlehnung an [5]) .....	8
Abbildung 2-2: Verortung logistischer Wirkmodelle in der unternehmensinternen Lieferkette .....	11
Abbildung 3-1: Arbeitspaketstruktur des vorliegenden Forschungsvorhabens .....	13
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des entwickelten Wirkgefüges [36].....	18
Abbildung 3-3: Ursachenbaum lange Lieferzeit .....	19
Abbildung 3-4: Ursachenbaum lange Durchlaufzeit .....	20
Abbildung 3-5: Ursachenbaum geringe Termineinhaltung .....	21
Abbildung 3-6: Ursachenbaum geringe Termintreue .....	22
Abbildung 3-7: Ursachenbaum geringe Auslastung .....	23
Abbildung 3-8: Ursachenbaum hoher WIP.....	24
Abbildung 3-9: Ursachenbaum geringer Servicegrad .....	25
Abbildung 3-10: Ursachenbaum hoher Lagerbestand.....	26
Abbildung 3-11: Schematische Darstellung des grundlegenden Analysevorgehens .....	28
Abbildung 3-12: Exemplarische Darstellung des Analysevorgehens zur Identifikation der Ursachen einer langen Plan-Übergangszeit .....	30
Abbildung 3-13: Startbildschirm des Softwaredemonstrators.....	36
Abbildung 3-14: Auswahl der zu betrachtenden Zielgröße.....	36
Abbildung 3-15: Exemplarische Ausgangsansicht zum Analysestart für die Zielgröße Lieferzeit .....	37
Abbildung 3-16: Exemplarischer Auszug der hinterlegten Informationen zur Zielgröße Lieferzeit.....	38
Abbildung 3-17: Exemplarische Darstellung der Anleitung zum ersten Analyseschritt für eine lange Lieferzeit.....	39
Abbildung 3-18: Exemplarische Darstellung der Inhalte des Reiters "Verwendete Methoden" .....	39
Abbildung 3-19: Auszug aus der implementierten Kennzahlenübersicht.....	40
Abbildung 3-20: Exemplarische Darstellung des Ergebnisses nach einem Analysedurchlauf .....	41
Abbildung 3-21: Exemplarische Darstellung des integrierten Maßnahmenkatalogs .....	41
Abbildung 3-22: Einbettung des Workshop-Konzepts in den DMAIC-Zyklus.....	42
Abbildung 3-23: Darstellung des Workshop-Ablaufs.....	43

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Übersicht über die wesentlichen KPIs zur Identifikation logistischer Schwachstellen .....	15
Tabelle 3-2: Auszug aus dem Kennzahlenkatalog für den Bereich Beschaffung.....	16
Tabelle 3-3: Auszug aus dem entwickelten Maßnahmenkatalog .....	34
Tabelle 7-1: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses.....	48
Tabelle 7-2: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen) .....	49

# 1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund eines stetig ansteigenden Wettbewerbsdrucks müssen sich kleinere und mittelständige Unternehmen (KMU) heutzutage der Herausforderung stellen, eine konsequente Ausrichtung an den Kundenanforderungen zu verfolgen. Dabei stellen insbesondere logistische Leistungsmerkmale, wie die Liefertermintreue und die Lieferzeit vermehrt kaufentscheidende Produktmerkmale und somit strategische Wettbewerbsfaktoren dar. Die logistische Performance wird dabei durch komplexe Ursache-Wirkungszusammenhänge beeinflusst. Bei der Analyse und kontinuierlichen Verbesserung logistischer Leistungsmerkmale ist daher die ganzheitliche Betrachtung logistischer Zielgrößen und deren Einflussfaktoren entlang der unternehmensinternen Lieferkette essentiell. Aufgrund der Komplexität bestehender Wirkbeziehungen stellt dies Unternehmen und insbesondere KMU jedoch vor eine große Herausforderung. Verbesserungsmaßnahmen setzen häufig nicht an den tatsächlichen Ursachen eines Problems an und verfehlen damit ihre angestrebte Wirkung. Eine systematische quantitative Analyse der tatsächlichen Ursachen einer geringen logistischen Performance auf Basis vorhandener Rückmeldedaten bietet die Möglichkeit, effektive Maßnahmen abzuleiten, die eine nachhaltige Steigerung der logistischen Leistungsfähigkeit sicherstellen. Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes war daher die Entwicklung eines allgemeingültigen Vorgehensmodells zur multi-kausalen quantitativen Ursachenanalyse zur Steigerung der logistischen Performance von KMU. Dabei sollten insbesondere die bestehenden logistischen Wechselwirkungen transparent dargestellt und die Auswirkungen von Maßnahmen auf die logistische Performance des Unternehmens verdeutlicht werden.

Zur Erreichung des Forschungsziels wurden auf Basis fundierter logistischer Modelle allgemeingültige Symptom-Ursache-Beziehungen abgeleitet und in Form von mehrstufigen Ursachenbäumen strukturiert. Darauf aufbauend wurden detaillierte Leitfäden zur quantitativen Ursachenanalyse entwickelt und in einen Softwaredemonstrator integriert. Gemeinsam mit einem projektbegleitenden Workshop-Konzept werden KMU so bei der eigenständigen multi-kausalen quantitativen Ursachenanalyse unterstützt.

Im Ergebnis liegt für die wesentlichen logistischen Zielgrößen entlang der unternehmensinternen Lieferkette (Beschaffung, Produktionsvorstufe, Zwischenlagen/Zwischenpuffer, Produktion sendstufe und Versand) jeweils ein Ursachenbaum vor, der ausgehend von einer Zielabweichung, mögliche Ursachen über mehrere Ebenen bis hin zu den Primärursachen aufzeigt. Durch eine regelmäßige Einbindung des projektbegleitenden Ausschusses konnte dabei die Gültigkeit der, anhand einer umfangreichen Literaturrecherche und bestehenden Erfahrungen aus vergangenen Analyseprojekten, identifizierten Zusammenhänge im praktischen Umfeld sichergestellt werden. Das entwickelte Vorgehensmodell besteht aus detaillierten Analyseleitfäden, die jedem Entscheidungspunkt entlang der Ursachenbäume zugeordnet sind. Diese enthalten neben dem notwendigen Datenbedarf, konkrete Anleitungen der durchzuführenden Analyseschritte, Hinweise auf geeignete Analysewerkzeuge sowie Hinweise zur Interpretation der Analyseergebnisse. Zur Vereinfachung der Handhabung und problemspezifischen Informationsbereitstellung wurden die Leitfäden in einen Softwaredemonstrator überführt, der Unternehmen Schritt für Schritt durch die durchzuführenden Analysen führt und das aufbereitete Wissen punktuell den jeweiligen Analyseschritten und Fragestellungen zuordnet. Darüber hinaus sind zu jeder Primärursache Hinweise auf mögliche Verbesserungsmaßnahmen und Informationen zu ihrer Wirkung in einem umfangreichen Maßnahmenkatalog hinterlegt. Aktuell wird der Softwaredemonstrator über den Projektumfang hinausgehend, in eine einfach zugängliche Web-Anwendung überführt, die in Kürze unter [www.quantilope-ifa.de](http://www.quantilope-ifa.de) erreichbar sein wird.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass eine nachhaltige Verbesserung der logistischen Performance von KMU eine systematische Ursachenanalyse erfordert. Nur wenn die tatsächlichen Primärursachen einer geringen logistischen Leistungsfähigkeit bekannt sind, können effektive Maßnahmen abgeleitet werden. Mit Hilfe des entwickelten Vorgehensmodells und

der anschaulichen Integration in einen anwenderfreundlichen Softwaredemonstrator, wird KMU ein Werkzeug an die Hand gegeben, das es ihnen ermöglicht, auch ohne umfangreiches Expertenwissen eine fundierte Ursachenanalyse erfolgreich und ergebnissicher durchzuführen. Damit wird die Grundlage zur Ableitung geeigneter Maßnahmen geschaffen, die zu einer nachhaltigen Steigerung der logistischen Performance und damit der Wettbewerbsfähigkeit von KMU führen. Die zuvor festgelegten Anforderungen an das Modell konnten damit erfüllt werden. Das eingangs definierte Ziel des Forschungsprojekts wurde demzufolge erreicht.

## 2 Grundlagen und Stand der Forschung

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen kurz dargelegt. Dies umfasst die logistischen Zielgrößen entlang der unternehmensinternen Lieferkette, die generellen Einflussfaktoren auf die logistische Performance und bestehende Ansätze zur Analyse und Bewertung von Lieferketten. Daraus werden abschließend die Problemstellung sowie der Handlungsbedarf als Grundlage der Projektmotivation abgeleitet.

### 2.1 Logistische Zielgrößen in der Unternehmensinternen Lieferkette

Gemäß des Supply Chain Operations Reference Model (SCOR) sind die Kernprozesse entlang der unternehmensinternen Lieferkette produzierender Unternehmen neben der Planung (Plan) die Beschaffung (Source), die Produktion (Make), die Distribution (Deliver) und die Rückführung (Return). In der Praxis liegen häufig mehrstufige Produktionsprozesse vor, die es im Rahmen der Produktionsplanung und –steuerung (PPS) zu berücksichtigen gilt. Dabei erfolgt in der Produktionsendstufe die Produktion der Primärbedarfe und in einer oder mehreren Produktionsvorstufen die Produktion der dazu benötigten Sekundärbedarfe [1]. Aus diesen Vorüberlegungen kann eine Referenzstruktur für eine unternehmensinterne Lieferkette, bestehend aus der Beschaffung, einer Produktionsvorstufe, einem Zwischenlager/-puffer einer Produktionsendstufe und dem Versand, abgeleitet werden (vgl. Abbildung 2-1.). Für jeden dieser fünf Kernprozesse existieren spezifische logistische Zielsysteme.

Den Zielsystemen obliegt das Hauptziel der Wirtschaftlichkeit, welche durch die jeweiligen Logistikleistungen und Logistikkosten beeinflusst wird [2–4]. Die **Logistikkosten** werden maßgeblich durch den Bestand beeinflusst. Dieser ergibt sich aus dem Lagerbestand in den verschiedenen Lagerstufen und dem Work in Process (WIP), also dem Auftragsbestand in der Produktion. Darüber hinaus haben Opportunitätskosten nicht genutzter Kapazitäten einen ergebniswirksamen Einfluss, sodass als weitere Zielgröße die Auslastung der Produktionsstufen betrachtet wird. Die **Logistikleistung** einer Lieferkette wird an der Erreichung marktkonformer Lieferzeiten und einer hohen Liefertermineinhaltung gegenüber den zu beliefernden Kunden gemessen. Dabei resultiert die Lieferzeit aus der Summe der Durchlaufzeiten, die ein Produktionsauftrag zum Durchlaufen der kundenauftragsspezifischen Prozesse der unternehmensinternen Lieferketten benötigt und dem zusätzlich eingeplanten Lieferzeitpuffer, der auch als Sicherheitszeit bezeichnet wird. Die Liefertermineinhaltung beschreibt den Anteil der Kundenaufträge, die bis zum geplanten Liefertermin ausgeliefert wurden. Sie resultiert aus dem Terminverhalten der einzelnen Kernprozesse. Die Terminsituation in Produktionsbereichen wird dabei anhand der Kennzahl Termintreue gemessen. Diese beschreibt den prozentualen Anteil der innerhalb einer definierten Termintoleranz fertiggestellten Produktionsaufträge. Für Prozesse mit einer Pufferfunktion wird die Termineinhaltung herangezogen, da die negativen Auswirkungen einer verfrühten Bereitstellung bereits über die Bestandskosten hinreichend berücksichtigt werden. Erfolgt die Materialversorgung nicht auftragsspezifisch, sondern aus einem Lager, resultiert die Terminsituation aus dem Servicegrad der versorgenden Lagerstufe. Dabei beschreibt der Servicegrad den Anteil der sofort aus einem Lager bedienten Nachfragen.

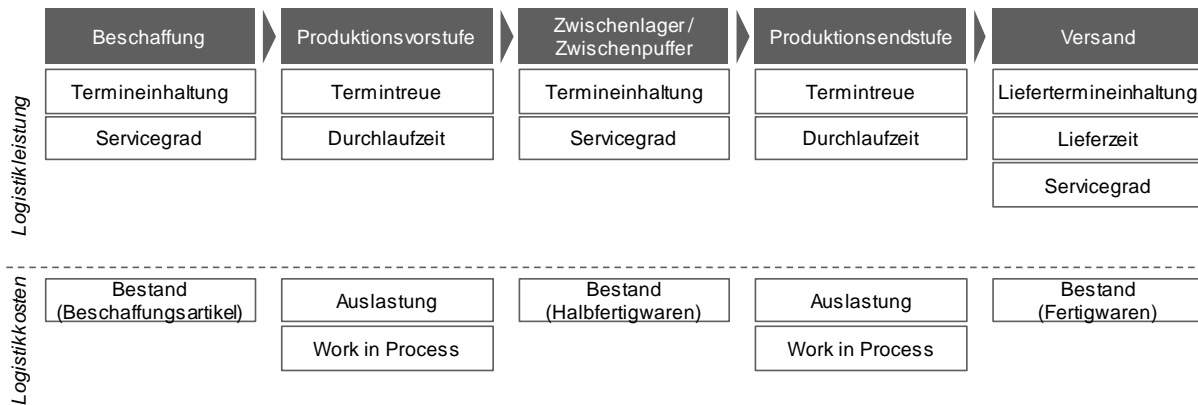


Abbildung 2-1: Logistische Zielgrößen entlang der unternehmensinternen Lieferkette (in Anlehnung an [5])

Logistikleistung und Logistikkosten stehen in Wechselwirkung zueinander und wirken teils gegensätzlich. Damit ergeben sich sowohl innerhalb eines jeden Kernprozesses als auch zwischen den einzelnen Unternehmensbereichen Zielkonflikte. Aus der Positionierung in den resultierenden Spannungsfeldern resultiert schlussendlich die logistische Performance der unternehmensinternen Lieferkette.

## 2.2 Einflussfaktoren auf die logistische Zielerreichung

Die Erreichung logistischer Ziele hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab, die im Rahmen einer umfassenden Analyse der Ursachen einer geringen logistischen Leistungsfähigkeit berücksichtigt werden müssen. Die Einflussfaktoren lassen sich grob in vier Klassen unterteilen: Zielvorgaben, Konfiguration der Produktionsplanung und -steuerung, Systemstruktur und Rahmenbedingungen sowie sonstige Umwelteinflüsse.

Einen erheblichen Einfluss auf die logistische Zielerreichung hat zunächst die abteilungs- und bereichsübergreifende Abstimmung der Zielsetzungen entlang der Lieferkette. Eine lokale Optimierung abteilungsspezifischer Zielgrößen ohne Berücksichtigung der Wechselwirkungen zu Zielgrößen anderer Abteilungen kann die resultierende Gesamtleistung aufgrund gegenläufiger Abhängigkeiten negativ beeinflussen [6]. Eine detaillierte Analyse der Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Unternehmensbereichen führten MAYER & NYHUIS im Rahmen der Entwicklung eines kybernetischen Ansatzes zur Modellierung abteilungsübergreifender Wirkzusammenhänge durch [7].

Darüber hinaus wird die logistische Performance über die Konfiguration der PPS maßgeblich beeinflusst. LÖDDING zeigt mit dem Modell der Fertigungssteuerung anhand der relevanten Stell- und Regelgrößen auf, wie die Auftragserzeugung, die Auftragsfreigabe, die Reihenfolgebildung und die Kapazitätssteuerung die logistischen Zielgrößen beeinflussen [8]. So werden bspw. der Auftragszugang und damit die Belastung der Produktion direkt durch die Auftragsfreigabe bestimmt. Der Auftragsbestand (WIP) in der Produktion resultiert dann aus der Differenz zwischen dem Auftragszugang und dem Auftragsabgang, welcher wiederum durch die Maßnahmen der Kapazitätssteuerung beeinflusst wird. SCHMIDT & SCHÄFERS haben das Modell erweitert und mit dem Hannoveraner Lieferkettenmodell (HaLiMo) ein integratives Modell der PPS entwickelt, das die Wechselwirkungen zwischen den Stell-, Regel- Zielgrößen für die einzelnen Aufgaben der PPS qualitativ darstellt [1]. Je nach Einstellung der einzelnen PPS-Parameter, wie bspw. Plan-Durchlaufzeiten, Sicherheitszeiten und Sicherheitsbestände, wird die logistische Performance positiv oder negativ beeinflusst. Eine mathematische Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen den PPS-Parametern, die die Stellgrößen darstellen und den beeinflussbaren Regelgrößen ist mittels logistischer Modelle möglich [8,10].



Weiterhin stellen die generelle Struktur der Lieferkette sowie organisatorische und technologische Rahmenbedingungen wesentliche Einflussfaktoren auf die logistischen Zielgrößen dar. Dabei resultiert die Struktur der Lieferkette im Wesentlichen aus der Lage des Kundenauftragsentkopplungspunktes (KEP). NYWLT und GRIGUTSCH konnten in umfangreichen Untersuchungen die Vielfältigen Auswirkungen der Lage des KEP auf die logistische Leistungsfähigkeit sowie entstehende Kosten aufzeigen [11,12]. Auswirkungen der Produktstruktur und des Variantenbildungspunktes werden bspw. durch SCHUH & RIESENER diskutiert [13]. Zu den strukturellen, organisatorischen und technologischen Einflussfaktoren ist zudem insbesondere die vorhandene Kapazitätsflexibilität zu zählen. Diese beschreibt, wie flexibel die Produktion auf schwankende Belastungssituationen reagieren kann und ist ein wesentlicher Faktor zur Beherrschung schwankender Belastungen, um die logistischen Ziele erfolgreich zu erreichen [8,14].

Eine weitere Gruppe von Einflussfaktoren stellen Umweltfaktoren dar, die nicht oder nur schwer zu beeinflussen sind. So können bspw. Lieferanten oder Anlagen unerwartet ausfallen oder signifikante Nachfrageschwankungen auftreten, was zu kapazitiven Engpässen und somit langen Durchlaufzeiten und einer geringen Termintreue führt. Diese Risiken gilt es in einem durchgängigen Risikomanagement zu berücksichtigen und die entstehenden Auswirkungen durch eine möglichst robuste Gestaltung der Lieferkette zu kompensieren [15,16].

## 2.3 Bewertung und Analyse der logistischen Performance

Verschiedene in der Literatur beschriebene Ansätze beschäftigen sich mit der Analyse und Bewertung der logistischen Performance von KMU sowie mit der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen. Diese lassen sich in vier Kategorien unterteilen:

- empirische Ansätze
- wirtschaftlich orientierte Ansätze
- Simulationen und
- Logistische Modelle

Die **empirischen Ansätze** schätzen Wirkzusammenhänge, geeignete Maßnahmen sowie Potenziale empirisch aus vergangenen, vergleichbaren Situationen ab. Die Tool-Trilogie von WILDEMAN ist beispielsweise dieser Kategorie zuzuordnen [17]. Eine wesentliche Schwachstelle dieser Ansätze liegt in ihrem empirischen Charakter begründet, der keine allgemeingültige, für alle Unternehmen zutreffende Aussagen über bestehende Wirkbeziehungen ermöglicht. Liegen keine empirisch erhobenen Daten vor, ist eine Abschätzung der Auswirkungen von Maßnahmen nicht oder nur mit einem umfangreichen Expertenwissen möglich.

Die **wirtschaftlich orientierten Ansätze** fokussieren eine Optimierung der Unternehmensleistung auf Basis betriebswirtschaftlicher Kennzahlen. JODLBAUER beschreibt bspw. einen Ansatz zur Optimierung unternehmensinterner Lieferketten, welcher eine Maximierung des Economic Value Added (EVA) auf Basis eines EVA-Treiberbaumes anstrebt [18,19]. FROSCMAYER & GÖPFERT stellen mit der Logistik-Bilanz einen Ansatz vor, welcher in Analogie zu der Unternehmensbilanz eine Betrachtung der Logistik nach Aktiva und Passiva ermöglicht und die monetäre Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme anhand einer Maximierung des Quotienten aus Cash-Flow und Kapitalkosten bewertet [20]. Generell geben diese Ansätze zwar Hinweise auf mögliche Wirkbeziehungen und Einflussgrößen, jedoch existieren keine allgemeingültigen Modelle zur Bewertung der Auswirkungen logistischer Maßnahmen auf den EVA und sonstige monetäre Kennzahlen, sodass eine praktische Anwendung nur auf Basis von Abschätzungen und Erfahrungswissen möglich ist.

Eine weit verbreitete Methode zur Analyse von Supply Chains stellt die **Simulation** dar. Bei der Simulation werden Analysen an einem Modell durchgeführt, um Erkenntnisse über das zugrundeliegende System zu gewinnen [21]. Allen Simulationsmodellen ist gemein,

dass diese anwendungsfallsspezifisch zu erstellen und zu validieren sind und somit keine allgemeingültigen Aussagen zulassen. Auch wenn Simulationsmodelle mitunter bereits automatisiert anhand bereitgestellter Eingangsdaten mit vergleichsweise geringem Aufwand erstellt werden können, bleibt die Schwachstelle, dass die Modellgültigkeit nur punktuell gegeben ist und maßgeblich von der Qualität der Eingangsdaten abhängt [10]

Aufgrund der kurz erläuterten Schwachstellen bestehender Ansätze, haben sich in der praktischen Anwendung **Logistische Modelle** bewährt und setzen sich zur Beschreibung und Bewertung von Produktionsabläufen vermehrt durch [22]. Diese stellen die grundlegenden Wirkbeziehungen zwischen logistischen Stell- und Regelgrößen anhand allgemeingültiger mathematischer Beziehungen dar. Es existieren zahlreiche Beschreibungs- und Wirkmodelle, die sowohl die Wirkbeziehungen innerhalb einzelner Prozesselemente als auch zwischen verschiedenen Prozessschritten beschreiben (vgl. Abbildung 2-2). Der Zusammenhang zwischen dem mittleren Lagerbestand und dem resultierenden Servicegrad wird bspw. mittels der Servicegradkennlinie dargestellt, aus der sich wiederum die servicegradbedingte Terminabweichung aus einem Lager ableiten lässt [23,24]. Zur Beschreibung des logistischen Verhaltens von Produktionsprozessen haben sich die Produktionskennlinien etabliert, die die Wechselwirkungen zwischen dem Auftragsbestand (WIP) und der resultierenden Leistung sowie der resultierenden Reichweite und Durchlaufzeit aufzeigt [10]. Eine Erweiterung der Durchlaufzeitkennlinie ermöglicht zudem die Bewertung des Einflusses von Eilaufträgen auf die mittlere Durchlaufzeit [25]. Darüber hinaus bestehen Modelle zur Beschreibung des Terminverhaltens eines Arbeitssystems sowie zur Bewertung des Einflusses verschiedener Reihenfolgebildungsverfahren auf die resultierende Streuung der Terminabweichung eines Arbeitssystems [26–28]. Komplettierungspunkte, wie sie bspw. in einem Montagepuffer vorliegen, lassen sich mittels des Bereitstellungsdiagramms in ihrem logistischen Verhalten modellbasiert beschreiben [29]. Die Auswirkungen einer Sicherheitszeit auf die resultierende Termineinhaltung am Ende eines Prozesses und den resultierenden Fertigwarenbestand bildet die Termineinhaltungskennlinie ab [30].

Mittels der entwickelten logistischen Modelle wird eine durchgängige logistische Analyse und Bewertung der unternehmensinternen Lieferkette ermöglicht. Sie erlauben somit eine allgemeingültige Beschreibung und quantitative Bewertung des logistischen Systemverhaltens komplexer Produktionsstrukturen. Im Rahmen eines durchgängigen Produktionscontrollings lassen sich auf dieser Basis Schwachstellen identifizieren und die Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen bewerten.

**Exemplarische Lieferkette**

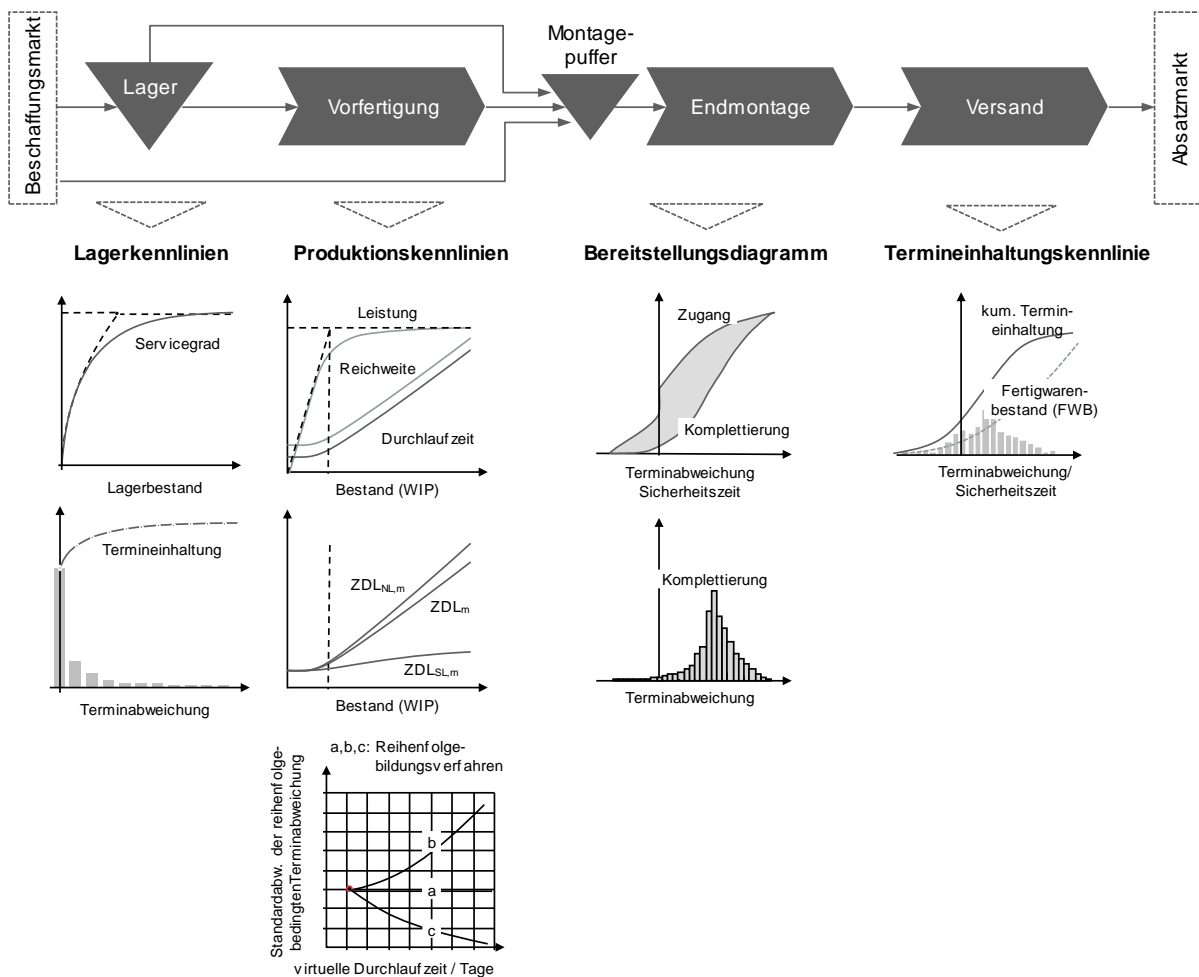


Abbildung 2-2: Verortung logistischer Wirkmodelle in der unternehmensinternen Lieferkette

## 2.4 Problemstellung und Handlungsbedarf

Die logistische Performance produzierender Unternehmen stellt ein zunehmend wichtigeres kaufentscheidendes Produktmerkmal und damit einen strategischen Wettbewerbsfaktor dar [31]. Trotz der großen Bedeutung einer hohen Logistikleistung haben viele Unternehmen erhebliche Defizite bei der Erreichung ihrer eigenen und marktseitigen logistischen Ziele [32]. Ein durchgängiges Produktionscontrolling stellt ein wirkungsvolles Instrument dar, um diesem Defizit zu begegnen. Durch eine kontinuierliche Erfassung, Analyse und Interpretation vorhandener Rückmeldedaten innerhalb des Regelkreises der PPS, können Abweichungen zur geplanten logistischen Leistungsfähigkeit zeitnah anhand geeigneter logistischer Kennzahlen identifiziert und effektive Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden [33]. Eine zunehmende Digitalisierung der Produktion und die daraus resultierende steigende Datenverfügbarkeit bieten ideale Voraussetzungen für datenbasierte Entscheidungsunterstützungssysteme im Rahmen der PPS und des Produktionscontrollings. Jedoch stellen Controlling- und Analyseaufgaben auch heute noch weitgehend manuelle oder lediglich teilautomatisierte Tätigkeiten dar [34]. Gleichzeitig fehlt den Unternehmen häufig das Verständnis über die bestehenden komplexen, multikausalen Wechselwirkungen in der Lieferkette [34]. Dies führt zu teils unsystematischen Datenanalysen und Fehlinterpretationen von erhobenen Kennzahlen. Schlussendlich werden oftmals Maßnahmen abgeleitet, die nicht die eigentliche Problemursache beheben und somit keine nachhaltige Wirkung aufweisen.

Um KMU effektiv bei der kontinuierlichen Verbesserung ihrer logistischen Performance zu unterstützen, müssen KMU dazu befähigt werden, eigenständig eine systematische Analyse ihrer

logistischen Prozesse durchzuführen, um auf Basis quantitativer Daten effektive Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten, die an den primären Ursachen der geringen logistischen Performance ansetzen. Dabei ist insbesondere auf eine transparente Darstellung bestehender logistischer Wechselwirkungen zu achten, um das logistische Systemverständnis der Mitarbeiter zu erhöhen und so eine nachhaltige Sensibilisierung hinsichtlich der Wirkung der eigenen individuellen Entscheidungen im Tagesgeschäft zu erreichen. Bisher bestehende Ansätze zur Analyse und Bewertung der logistischen Performance erfüllen diesen Anspruch nicht. Logistische Modelle bieten jedoch die Möglichkeit, grundlegende Wirkbeziehungen in der unternehmensinternen Lieferkette allgemeingültig zu beschreiben und eignen sich daher ideal als Grundlage für einen Ansatz zur quantitativen Analyse und Bewertung der Ursachen einer geringen logistischen Performance.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass aktuell ein Werkzeug fehlt, das insbesondere KMU bei der Analyse, Bewertung und Entscheidungsfindung im Rahmen des Produktionscontrollings unterstützt und durch eine transparente Darstellung logistischer Wirkbeziehungen in der unternehmensinternen Lieferkette zu einem verbesserten logistischen Systemverständnis der Mitarbeiter beiträgt.

### 3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die übergeordnete Zielsetzung des durchgeführten Forschungsprojektes (3.1), die Teilziele, das Vorgehen sowie die erarbeiteten Ergebnisse der fünf Arbeitspakete (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) vorgestellt.

#### 3.1 Zielsetzung

Die Wettbewerbsfähigkeit von KMU wird heutzutage wesentlich durch die logistische Performance beeinflusst. Um diese kontinuierlich zu verbessern, sind Unternehmen bestrebt innerhalb ihrer unternehmensinternen Lieferkette die Logistikleistung zu steigern und die Logistikkosten zu senken. Dazu bedarf es an Analysemethoden, welche die Ursachen einer geringen logistischen Performance identifizieren sowie einer Auswahl geeigneter Verbesserungsmaßnahmen zur Ursachenbehebung.

Das Ziel des Forschungsprojekts ist es daher, ein allgemeingültiges Vorgehensmodell zur multi-kausalen quantitativen Ursachenanalyse zur Steigerung der logistischen Performance von KMU zu entwickeln.

Das im Forschungsvorhaben entwickelte Vorgehensmodell soll KMU bei der Bewältigung der komplexen Aufgabe der Lieferkettenanalyse unterstützen, indem es den eigenen Unternehmensmitarbeitern die logistischen Wirkzusammenhänge transparent darstellt und die Auswirkungen von Maßnahmen auf die logistische Performance des Unternehmens verdeutlicht. Die dafür notwendigen Symptom-Ursachen-Beziehungen sind als wissenschaftliche Novität im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu bezeichnen. Die Symptom-Ursachen-Beziehungen führen über mehrere Ursachenebenen zu der primären Ursache einer geringen logistischen Performance (bspw. in Form einer zu geringen Liefertermineinhaltung). Eine strukturierte Darstellung der Vielschichtigkeit und Komplexität von logistischen Wirkzusammenhängen ist das Hauptziel des Aufbaus.

Zur praxistauglichen Anwendbarkeit der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens, ist das resultierende Vorgehensmodell in einen Softwaredemonstrator zu überführen, der den Rahmen für ein Workshop-Konzept vorgibt und die Mitarbeiter von KMU befähigt, selbstständig eine Analyse der unternehmensinternen Lieferkette durchzuführen und die Umsetzung von konkreten Maßnahmen zu initiieren.

Die Vorgehensweise während des Forschungsprojektes entsprach den fünf beantragten und bewilligten Arbeitspaketen, die im Folgenden ausführlich dargestellt werden (Abbildung 3-1).

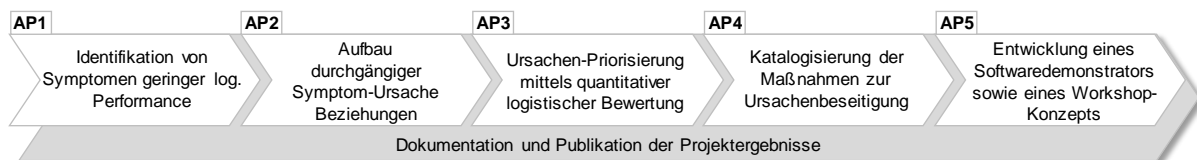


Abbildung 3-1: Arbeitspaketstruktur des vorliegenden Forschungsvorhabens

### **3.2 Arbeitspaket 1: Sammlung und Kategorisierung der Symptome geringer logistischer Performance und Erhebung der relevanten Bezugsquellen**

**Ziel:** Die zu erreichenden Ziele des ersten Arbeitspakets sind zum einen die Definition und die Systematisierung aller relevanten Symptome einer verminderten logistischen Performance entlang der unternehmensinternen Lieferkette. Darüber hinaus sind Kennzahlen zur Identifikation der Symptome sowie mögliche Bezugsquellen (ERP-Systeme, Assistenzsysteme etc.) der Eingangsdaten zur Berechnung der Kennzahlen zu ermitteln.

**Vorgehen:** Zunächst wurde in einer nationalen sowie internationalen Literaturrecherche eine Vielzahl von in der betrieblichen Praxis aufgeführten Symptomen und daraus abgeleiteten Kennzahlen einer geringen logistischen Performance entlang der unternehmensinternen Lieferkette gesammelt. Die gesammelten Symptome und Kennzahlen wurden mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) in einem gemeinsamen Workshop sowie in Einzelinterviews ergänzt. Die verschiedenen Kennzahleninterpretationen innerhalb des PA wurden anschließend standardisiert, um eine einheitliche Basis zur Bewertung der Symptome zu erhalten. Darüber hinaus wurden einheitliche Definitionen und Berechnungsgrundlagen definiert, anhand derer die benötigte Datenbasis zur Erfassung der jeweiligen Kennzahlen abgeleitet werden kann.

**Ergebnis:** Im Ergebnis des ersten Arbeitspakets liegt ein umfangreicher Kennzahlenkatalog vor, der sowohl die relevanten logistischen Zielgrößen je Kernprozess entlang der generischen unternehmensinternen Lieferkette enthält, als auch Leistungskennzahlen bzw. Key Performance Indicators (KPI), die Hinweise auf Potenziale zur Verbesserung der logistischen Leistungsfähigkeit geben. Die identifizierten Kennzahlen werden im Rahmen der später folgenden Ursachenanalyse zur Identifikation vorliegender Primärursachen genutzt.

In der Literatur sind eine Vielzahl an unterschiedlichen Kosten-, Zeit-, Produktivitäts-, Flexibilitäts- und Qualitätskennzahlen beschrieben (vgl. bspw. [35]). Aus logistischer Sicht lassen sich die beschriebenen Kennzahlen jedoch wieder zu den bekannten logistischen Zielgrößen Aggregieren. So wirkt sich bspw. eine hohe Nacharbeitsrate auf die resultierende Durchlaufzeit und die Termintreue aus. Für den Kennzahlenkatalog wurden daher Abweichungen von den in Abschnitt 2.1 definierten Zielgrößen als Symptome einer geringen logistischen Performance definiert. Jedem Symptom sind nun Kennzahlen zugeordnet, die Hinweise auf das Vorliegen des entsprechenden Symptoms liefern. Tabelle 3-1 zeigt eine Übersicht über die wesentlichen KPIs, anhand derer Symptome einer geringen logistischen Performance festgestellt werden können. Auf einer obersten Ebene steht dabei die jeweilige logistische Zielgröße.

Tabelle 3-1: Übersicht über die wesentlichen KPIs zur Identifikation logistischer Schwachstellen

Symptome	Zielgröße / KPIs
Lange Lieferzeit	Mittlere Lieferzeit
Geringe Termineinhaltung	Termineinhaltung
	Mittlere Terminabweichung
	Standardabweichung der Terminabweichung
Hoher Lagerbestand	Mittlerer Lagerbestand
	Mittlere Lagerreichweite
	Mittlerer Lagerumschlag
Geringer Servicegrad	Mittlerer gewichteter Servicegrad
	Mittlerer Lagerbestand
Geringe Termintreue	Termintreue
	Mittlere Abgangsterminabweichung
	Standardabweichung der Abgangsterminabweichung
	Mittlere relative Terminabweichung
Lange Durchlaufzeit	Standardabweichung der relativen Terminabweichung
	Mittlere Durchlaufzeit
	Mittlere Reichweite
	Mittlerer Flussgrad
	Mittlerer relativer Bestand
Hoher WIP	Mittlerer Auftragsbestand (WIP)
	Mittlerer relativer Bestand
Geringe Auslastung	Mittlere Auslastung
	Mittlere Leistung

Im entwickelten Kennzahlenkatalog wurden die in Tabelle 3-1 genannten Kennzahlen den einzelnen Bereichen der unternehmensinternen Lieferkette zugeordnet. Der Kennzahlenkatalog enthält zudem zu jeder Kennzahl die Berechnungsvorschrift, sowie Hinweise auf die Bezugsquelle und sonstige Anmerkungen, was in Tabelle 3-2 exemplarisch anhand des Bereichs Beschaffung dargestellt ist. Die beschriebenen Symptome einer geringen logistischen Performance stellen den Ausgangspunkt für die im nachfolgenden Arbeitspaket entwickelten Ursachen-Wirkbeziehungen dar.

Tabelle 3-2: Auszug aus dem Kennzahlenkatalog für den Bereich Beschaffung

	Symptom	Kennzahlen	Formeln	Formelzeichen	Bezugsquellen	Anmerkungen	
Beschaffung	MIO	mittlere Termineinhaltung	$TE = \frac{\text{AnzAuf mit LTA} \leq 0}{\text{AnzAuf}} \times 100$	TE = Termineinhaltung [%] LTA = Lieferterminabweichung [BKT] AnzAuf = Anzahl bereitgestellter/nachgefragter Aufträge	Berechnung aus LTA	- Kennzahl relevant für auftragspezifische Beschaffung - Kann insgesamt für den Beschaffungsbereich, für einzelne Materialien oder für einzelne Lieferanten berechnet werden	
		geringe Termineinhaltung	mittlere Lieferterminabweichung Lieferanten	$LTA_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (LT_{Plan,i} - LT_{Ist,i})$	LTA <sub>m</sub> = mittlere Lieferterminabweichung [BKT] LT <sub>Plan</sub> = geplanter Liefertermin der Lieferung i LT <sub>Ist</sub> = tatsächlicher Liefertermin Lieferung i n = Anzahl der Anlieferungen im Betrachtungszeitraum	Plan-/Ist-Liefertermine: Materialwirtschaft, Lieferanteninformationssystem	werden keine Plan Liefertermine erfasst, ist eine Abschätzung durch den Vergleich der Plan-WBZ und der Ist-WBZ möglich
			Standardabweichung Lieferterminabweichung Lieferanten	$LTA_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (LTA_i - LTA_m)^2}$	LTA <sub>s</sub> = mittlere Lieferterminabweichung [BKT] LTA = geplanter Liefertermin der Lieferung i n = Anzahl der Anlieferungen im Betrachtungszeitraum	Plan-/Ist-Liefertermine: Materialwirtschaft, Lieferanteninformationssystem	werden keine Plan Liefertermine erfasst, ist eine Abschätzung durch den Vergleich der Plan-WBZ und der Ist-WBZ möglich
	MIO/MIS	hoher Bestand im Beschaffungslager	mittlerer Lagerbestand	$BL_m = \frac{\sum_{i=1}^p BL_i}{p}$	BL <sub>m</sub> : mittlerer Lagerbestand [Wert oder Menge] BL <sub>i</sub> : Lagerbestand einzelner Messzeitpunkte i [Wert oder Menge] P : Länge der Untersuchungsperiode [Tage]	Bestandsinformationen: Materialwirtschaft / Bestandsführung	Gesamtlagerbestand oder artikelspezifisch
			Lagerumschlag	$UH = \frac{M_{AB}}{BL_m} \quad UH = \frac{\text{Umsatz}}{BL_m}$	UH : Umschlagshäufigkeit [-] M <sub>AB</sub> : Abgangsmenge während der Bezugsperiode [in Mengeneinheit] BL <sub>m</sub> : mittlerer Lagerbestand [Menge oder Wert]	Abgangsmenge / Verbrauch: Materialwirtschaft	Gesamtes Lager oder artikelspezifisch
			Lagerreichweite	$R = \frac{BL}{BR_m} \quad R = \frac{1}{UH}$	R = Lagerreichweite [BKT] BR <sub>m</sub> = mittlere Bedarfsrate [Stück/Tag]	Abgangsmenge / Verbrauch: Materialwirtschaft	Gesamtes Lager oder artikelspezifisch
MIS	geringer Servicegrad	gewichteter Servicegrad	$SG_{gew} = \frac{\text{Anz. pünktliche Teile}}{\text{Gesamtanzahl Teile}} \times 100$	SG <sub>gew</sub> = gewichteter Servicegrad [%]	Plan-Lagerabgangstermine: ggf. Materialwirtschaft Ist-Lagerbewegungen (Termine und Menge im Zu- und Abgang) Materialwirtschaft	- Kennzahl relevant für lagerhaltige Materialien - in der Literatur häufig auch als β-Servicegrad bezeichnet - Abschätzung über Lieferterminabweichung der Lieferanten möglich (vgl. Termineinhaltung)	

Neben dem beschriebenen KPI-Katalog zur Symptomidentifikation, ist darüber hinaus im Laufe des Projekts ein separater Katalog weiterer, zur modellbasierten Ursachenanalyse benötigter Kennzahlen entstanden. Die dort beschriebenen Kenngrößen umfassen:

- Kennzahlen der Auftragsstruktur
- Durchlaufzeitkennzahlen
- Leistungskennzahlen
- Kennzahlen des Auftragsbestands
- Terminkennzahlen sowie
- Lagerkennzahlen

Auch für diese ist jeweils eine Definition sowie die Berechnungsvorschrift im Arbeitspaket 5 entwickelten Softwaredemonstrator hinterlegt, sodass die Anwender des Vorgehens befähigt werden, alle Analysen eigenständig durchzuführen, ohne auf zusätzliche Literaturquellen angewiesen zu sein.



### 3.3 Arbeitspaket 2: Aufbau durchgängiger Symptom-Ursache-Beziehungen

**Ziel:** Ziel des zweiten Arbeitspakets war der Aufbau allgemeingültiger, durchgängiger Symptom-Ursachen-Beziehungen, die eine Ursachenanalyse bis hin zur Primärursache erlauben. Die Symptom-Ursachen-Beziehungen bilden mit Arbeitspaket 3 den Kern des Forschungsvorhabens.

**Vorgehen:** Ausgehend von den im Arbeitspaket 1 entwickelten Symptomen einer geringen logistischen Performance wurden je Symptom allgemeingültige Wirkbeziehungen entlang der unternehmensinternen Lieferkette abgeleitet. Das methodische Vorgehen und die Art der Visualisierung orientierte sich dabei an der Fehlerbaumanalyse, wobei ausgehend von einem Fehler, mögliche Ursachen und deren logische Verknüpfung systematisch über mehrere Ursachenebenen bis zu den möglichen Primärursachen heruntergebrochen werden. Das IFA verfügt seit vielen Jahren, aufgrund zahlreicher Forschungsvorhaben und Auftragsforschungsprojekte, über umfangreiche Kenntnisse über bestehende logistische Wirkzusammenhänge. Auf Basis der bestehenden Kenntnisse und einer intensiven weiterführenden Literaturrecherche wurden zunächst die wesentlichen Einflussfaktoren auf die logistische Performance gesammelt und in Form von Ursachenbäumen in einen kausalen Zusammenhang gebracht. Die Ergebnisse wurden mit ausgewählten Unternehmen des PA diskutiert und um unternehmensspezifische Wirkbeziehungen erweitert. Die unternehmensindividuellen Zusammenhänge wurden anschließend wiederum verallgemeinert und die allgemeingültigen Zusammenhänge mit dem PA in einer weiteren Review-Schleife abgestimmt.

**Ergebnis:** Das Ergebnis dieses Arbeitspakets stellen insgesamt 8 verschiedene Ursachenbäume dar, die die kausalen Ursachen-Wirkungszusammenhänge in der unternehmensinternen Lieferkette darstellen. Ausgehend von einem Symptom einer geringen logistischen Performance werden mögliche Ursachen über mehrere Ursachenebenen strukturiert, bis eine letzte Ursachenebene erreicht und eine weitere, allgemeingültige Untergliederung nicht mehr möglich ist. Mit den entwickelten Ursachenbäumen lassen sich die Ursachen für eine Abweichung von den Zielvorgaben für jede der definierten logistischen Zielgrößen in den einzelnen Bereichen der unternehmensinternen Lieferkette beschreiben (die Ursachen-Wirkungsbeziehungen einzelner Kennzahlen in unterschiedlichen Bereichen gleichen sich, sodass bspw. nur ein Ursachenbaum für lange Durchlaufzeiten erstellt wurde, der sowohl in der Produktionsvorstufe, als auch der Produktionsendstufe Anwendung findet). Dabei sind die einzelnen Ursachenbäume auch untereinander vernetzt, da Abweichungen einer Zielgröße wiederum andere Zielgrößen beeinflussen können. Ein Grund für einen verspäteten Start eines Fertigungsauftrags kann z.B. fehlendes Material aufgrund eines niedrigen Servicegrads des Zwischenlagers sein. Auf diese Weise bilden die entwickelten Ursachenbäume ein durchgängiges Wirkgefüge entlang der unternehmensinternen Lieferkette und zeigen die wesentlichen bereichsinternen sowie bereichsübergreifenden Wechselwirkungen auf (vgl. Abbildung 3-2). Die entwickelten Ursachenbäume werden im Folgenden kurz beschrieben, ohne im Detail auf die einzelnen Wirkbeziehungen einzugehen.

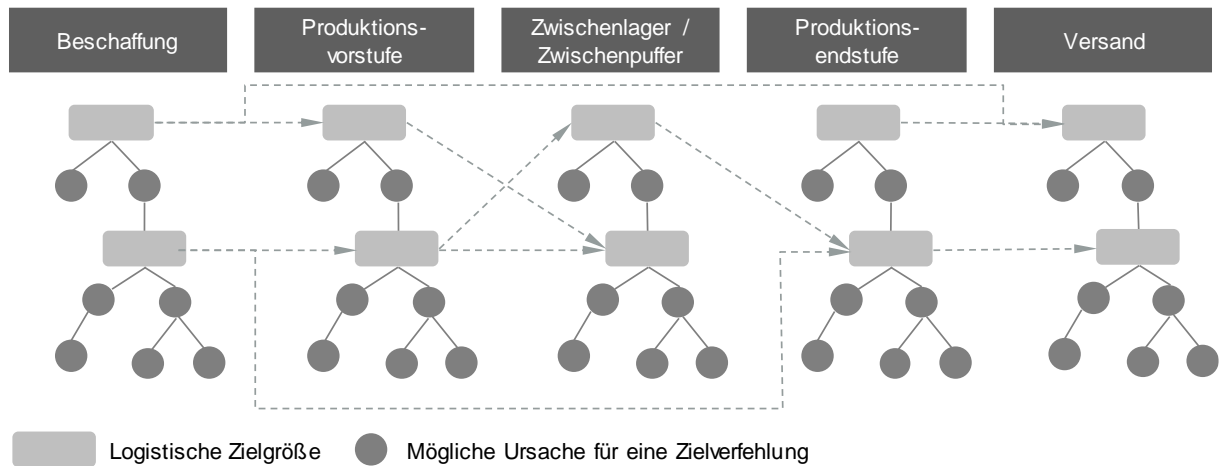


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des entwickelten Wirkgefüges [36]

### Ursachenbaum lange Lieferzeit

Lange Lieferzeiten resultieren in einer ersten Ursachenebene entweder aus langen Prozesszeiten im Versandbereich oder, je nach Lieferkettenstruktur, aus langen Durchlaufzeiten (für intern gefertigte Artikel) bzw. langen Wiederbeschaffungszeiten (für fremdbeschaffte Handelswaren) in den vorgelagerten Bereichen. Hier sind die entsprechenden Bereiche hinsichtlich der Durchlaufzeit zu untersuchen oder Maßnahmen zur Verkürzung der Wiederbeschaffungszeiten zu ergreifen. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass ein signifikanter Anteil der Lieferzeit aus einer zusätzlich eingeplanten Sicherheitszeit resultiert, die dazu dient, entstandene Terminabweichungen abzufangen und somit einen Lieferzeitpuffer darstellt. Eine solche Sicherheitszeit kann entweder am Ende der Lieferkette oder auch am Ende eines jeden Bereichs innerhalb der Lieferkette eingeplant werden. Wird eine hohe Sicherheitszeit zur Erhöhung der Termineinhaltung aufgrund einer geringen Termintreue der vorgelagerten Bereiche benötigt, ist die Terminalsituation in der vorgelagerten Produktion oder der Beschaffung zu analysieren. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass die Sicherheitszeit länger ist als benötigt. In diesem Fall ist ein geeigneter Parameter für die Sicherheitszeit einzustellen. Lange Prozesszeiten im Versandbereich resultieren entweder aus einer langen Durchlaufzeit im Versandbereich, bspw. aufgrund von hohen Suchaufwänden bei der Kommissionierung oder aus langen Transportzeiten zu den Kunden, sofern diese bei der Angabe von Lieferzeiten berücksichtigt werden. Abbildung 3-3 fasst die Ursachen im entwickelten Ursachenbaum zusammen.

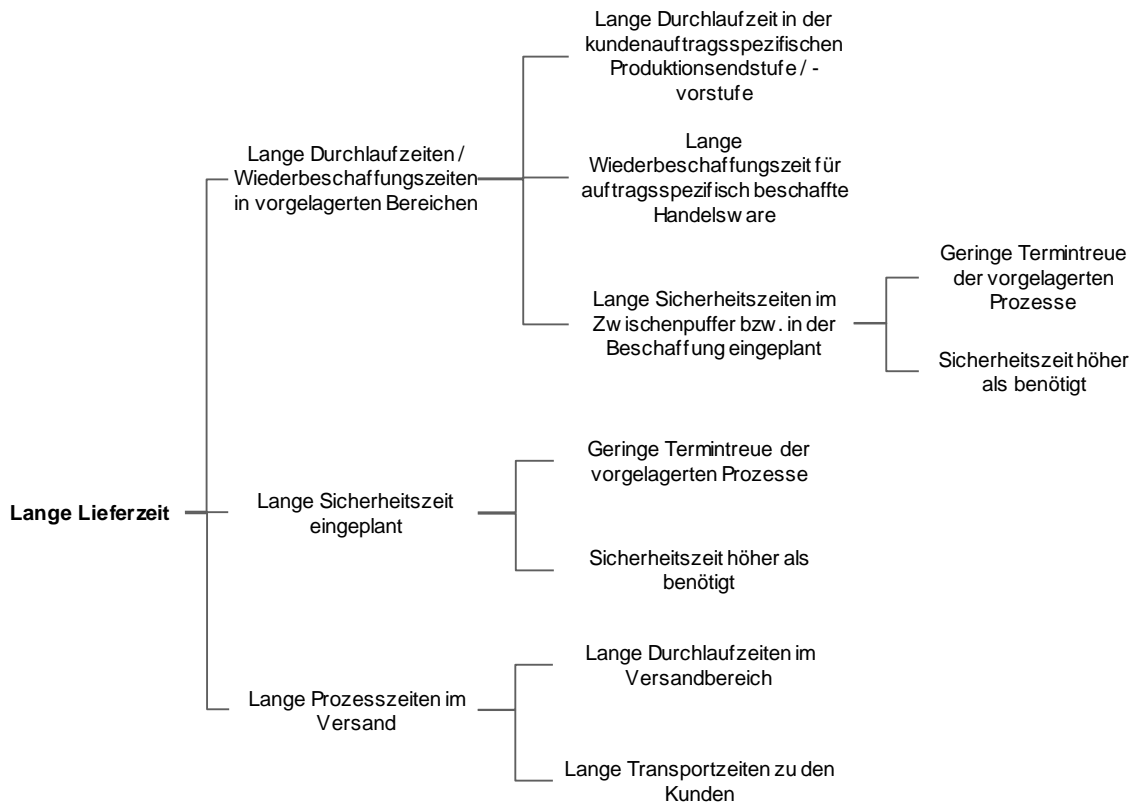


Abbildung 3-3: Ursachenbaum lange Lieferzeit

### Ursachenbaum lange Durchlaufzeit

Abbildung 3-3 zeigt den Ursachenbaum für lange Durchlaufzeiten. Lange Durchlaufzeiten können in einer ersten Ursachenebene zunächst darauf zurückzuführen sein, dass entweder bereits lange Plan-Durchlaufzeiten vorliegen oder dass die Ist-Durchlaufzeiten signifikant länger sind als im Plan-Vorgesehen, wobei im zweiten Fall direkt Terminabweichungen resultieren und eine Analyse der Termintreue erfolgen sollte. Die Durchlaufzeit setzt sich generell aus den zwei Anteilen Übergangszeit und Durchführungszeit zusammen, sodass eine Aufteilung nach diesen beiden Zeitanteilen in der zweiten Ursachenebene vorgenommen wird. Die Durchführungszeiten setzen sich wiederum aus der Einzelzeit, der Produktionslosgröße und der Rüstzeit zusammen. Abweichungen zwischen der Ist-Durchführungszeit und der geplanten Durchführungszeit ergeben sich entsprechend, wenn die im Plan hinterlegten Vorgabezeiten nicht den tatsächlichen Zeiten entsprechen, Plan-Losgrößen nicht eingehalten werden, häufige Störungen zu abweichenden Bearbeitungszeiten führen oder die im Plan vorgesehene maximale verfügbare Kapazität überschätzt wird. Die Übergangszeit resultiert im Wesentlichen aus der Höhe des Auftragsbestandes (WIP). Der WIP beeinflusst dabei zudem die resultierende Arbeitssystemauslastung. Soll eine hohe Auslastung erreicht werden, ist ein angemessener Arbeitsvorrat vorzuhalten. Die Höhe des zur Erreichung einer angemessenen Auslastung benötigten Bestandsniveaus ist gemäß der Kennlinientheorie (vgl. [10]) abhängig von der Auftragszeitstruktur, der technologisch oder transportzeitbedingten Mindestübergangszeit, der Belastungstreuung und der Kapazitätsflexibilität sowie der vorliegenden Kapazitätsstruktur. Aus diesen kurz dargestellten, generellen Zusammenhängen wurden die weiteren Ebenen des Ursachenbaums abgeleitet. Der entstandene Ursachenbaum ist sowohl für die Produktionsvorstufe als auch die Produktionsendstufe gültig.

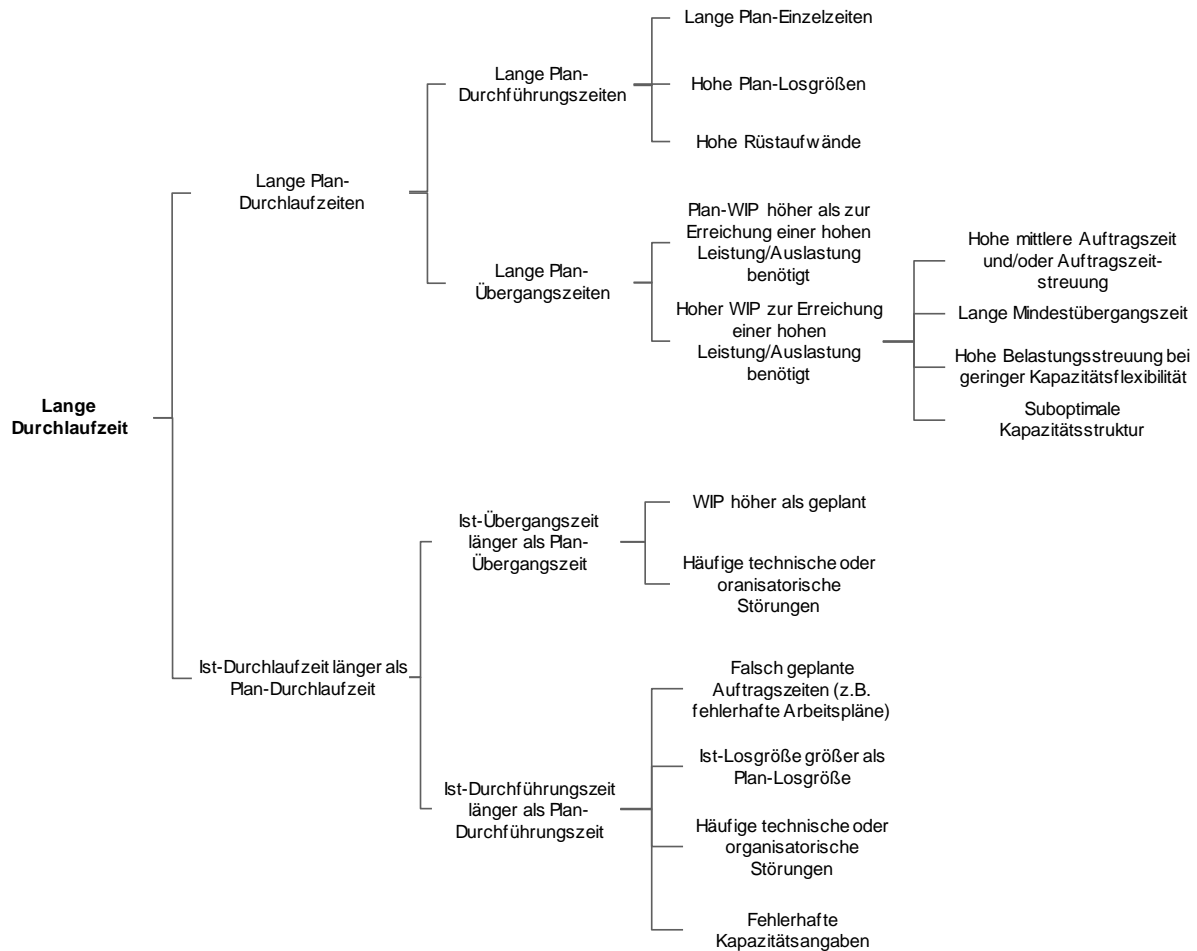


Abbildung 3-4: Ursachenbaum lange Durchlaufzeit

### Ursachenbaum geringe Termineinhaltung

Als drittes Symptom einer geringen logistischen Performance wird eine geringe (Liefer-)Termineinhaltung betrachtet. Der entsprechende Ursachenbaum ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Die Termineinhaltung wird am Ende eines Prozesses mit einer Pufferfunktion gemessen. Dies sind im Kern der Versandbereich (bei einer Make-to-Order Produktion), ein Zwischenpuffer (wenn die interne Produktion der benötigten Sekundärbedarfe mit Auftragsbezug stattfindet) und der Beschaffungsbereich (im Falle einer Source-to-Order Strategie). Für alle Bereiche gelten im Kern die gleichen Zusammenhänge. Eine geringe Termineinhaltung resultiert in den meisten Fällen daraus, dass die benötigten Materialien oder Artikel dem Puffer zum Bedarfstermin noch nicht zugegangen sind. In diesen Fällen sind die vorgelagerten Prozesse hinsichtlich ihrer Terminalsituation zu überprüfen. Stellt der betrachtete Puffer einen Komplettierungspunkt dar, kommen als Versorgungsprozess grundsätzlich auch Lagerstufen in Frage. In diesem Fall stellt auch ein geringer Servicegrad der vorgelagerten Lagerstufe eine mögliche Ursache für eine verzögerte Komplettierung dar. Lässt sich die Terminabweichung nicht weiter reduzieren, kann die Einplanung einer Sicherheitszeit eine sinnvolle Maßnahme darstellen. Ist diese jedoch nicht ausreichend hoch angesetzt, um die entstehenden Terminabweichungen abzufangen, resultiert eine geringe Termineinhaltung. Gehen die benötigten Materialien/Artikel dem Puffer rechtzeitig zu, kann dennoch eine geringe Termineinhaltung resultieren, wenn innerhalb des Bereitstellungsprozesses Verzögerungen aufgrund von technischen oder organisatorischen Störungen oder kapazitiven Engpässen der internen Logistik auftreten.

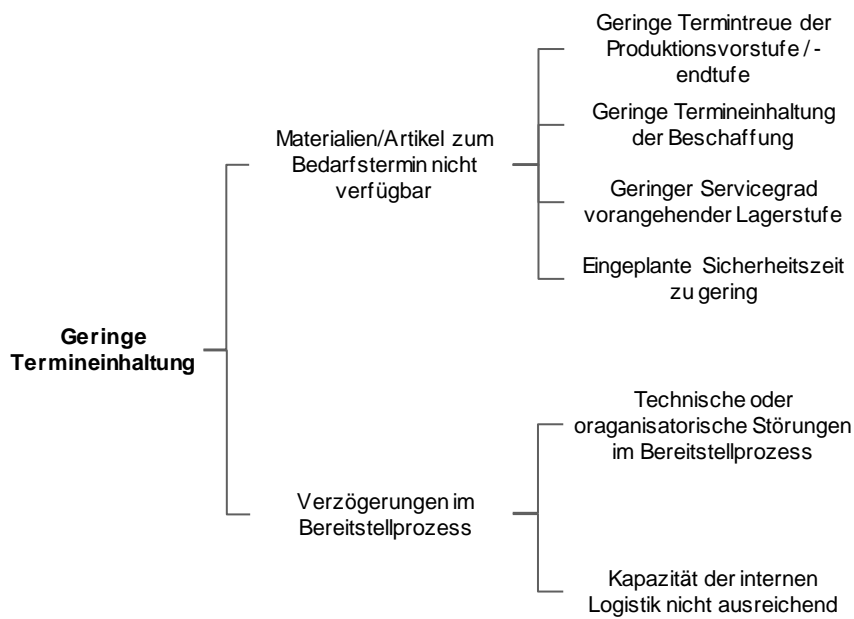


Abbildung 3-5: Ursachenbaum geringe Termineinhaltung

### Ursachenbaum geringe Termintreue

Die Abgangsterminabweichung eines Arbeitssystems oder eines Produktionsbereichs resultiert aus einer Terminabweichung, die bereits bei Auftragszugang vorliegt und einer relativen Terminabweichung, die aus der Differenz zwischen der Ist- und der Plan-Durchlaufzeit entsteht. Daher wird auch in dem in Abbildung 3-6 dargestellten Ursachenbaum für eine geringe Termintreue in erster Ebene zwischen einer Terminabweichung im Zugang und einer relativen Terminabweichung unterschieden. Terminabweichungen im Zugang entstehen, wenn Materialien zum geplanten Termin nicht verfügbar sind oder falsche bzw. fehlerhafte Materialien bereitgestellt werden. Darüber hinaus entstehen Terminabweichungen im Falle einer unpünktlichen Auftragsfreigabe. Häufig werden bspw. Aufträge bewusst im Rahmen einer Belastungsanpassung verschoben, um die Belastung der Produktion auf einem gleichmäßigen Niveau zu halten. Zudem kommt es vor, dass Kunden unrealistische Liefertermine zugesagt werden und die entsprechenden Plan-Starttermine der Produktionsaufträge bereits bei Auftragserzeugung in der Vergangenheit liegen, also einen negativen dispositiven Vorlauf aufweisen. Ebenso ist es denkbar, dass Werkzeuge oder sonstige Begleitunterlagen nicht verfügbar sind und geplante Aufträge nicht rechtzeitig gestartet werden können.

Innerhalb des Auftragsdurchlaufes entsteht eine geringe Termintreue entweder aufgrund einer hohen Streuung der Durchlaufzeiten und damit der relativen Terminabweichung oder aufgrund einer mittleren Abweichung der Durchlaufzeiten von den Plan-Vorgaben. Während eine hohe Streuung der Terminabweichung insbesondere durch Reihenfolgeabweichungen (Abweichungen zwischen der geplanten und der Ist-Fertigstellungsreihenfolge) entsteht, sind signifikante mittlere Abweichungen zwischen der Plan- und der Ist-Durchlaufzeit auf Rückstand (Abweichungen zwischen dem geplanten und dem Ist-Abgang) aufgrund von Planungsfehlern oder kapazitiven Restriktionen zurückzuführen. Darüber hinaus können auch Rückstandsschwankungen zu einer Streuung der Terminabweichung führen. Im Falle einer auftragszeitabhängigen Auftragspriorisierung (bspw. Priorisierung nach der kürzesten Operationszeit) beeinflussen auch Reihenfolgevertauschungen die mittlere Terminabweichung, wobei dieser Effekt für die praktische Anwendung meist keine Relevanz besitzt. Auf den unteren Ursachenebenen folgen schließlich die möglichen Ursachen für Reihenfolgeabweichungen und einen mittleren Rückstand. Eine detaillierte Diskussion der Zusammenhänge wird in Kürze publiziert [37]. Die beschriebenen Zusammenhänge sind wiederum für alle Produktionsstufen anwendbar.

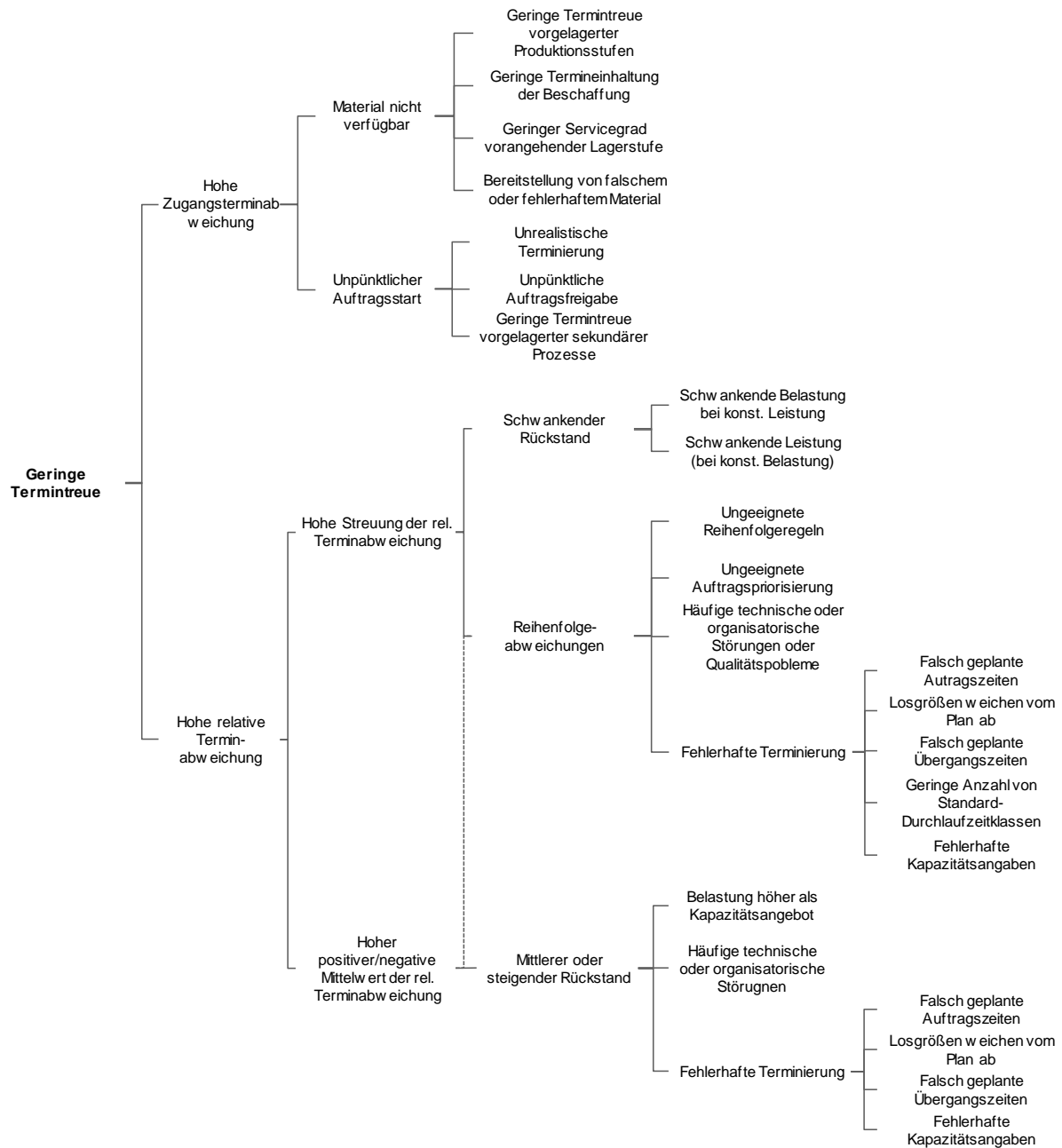


Abbildung 3-6: Ursachenbaum geringe Termintreue

Ursachenbaum geringe Auslastung

Mögliche Ursachen für eine geringe Auslastung zeigt Abbildung 3-7. Die Auslastung eines Arbeitssystems ergibt sich aus der Differenz zwischen der maximalen Kapazität und der tatsächlich erreichten Leistung. Neben geplanten Wartungsarbeiten und natürlichen Verteil- und Stillstandzeiten eines Arbeitssystems beeinflusst insbesondere der vorliegende Auftragsbestand, also der Arbeitsvorrat sowie ungeplante Leistungsverluste die erreichbare Auslastung. Daher wird im Ursachenbaum unterschieden, ob eine geringe Auslastung daraus resultiert, dass die verfügbare Kapazität generell höher ist als benötigt, ob Leistungsverluste aufgrund von ungeplanten Störungen oder Stillständen auftreten oder ob bestandsabhängige Auslastungsverluste aufgrund eines geringen WIP vorliegen.

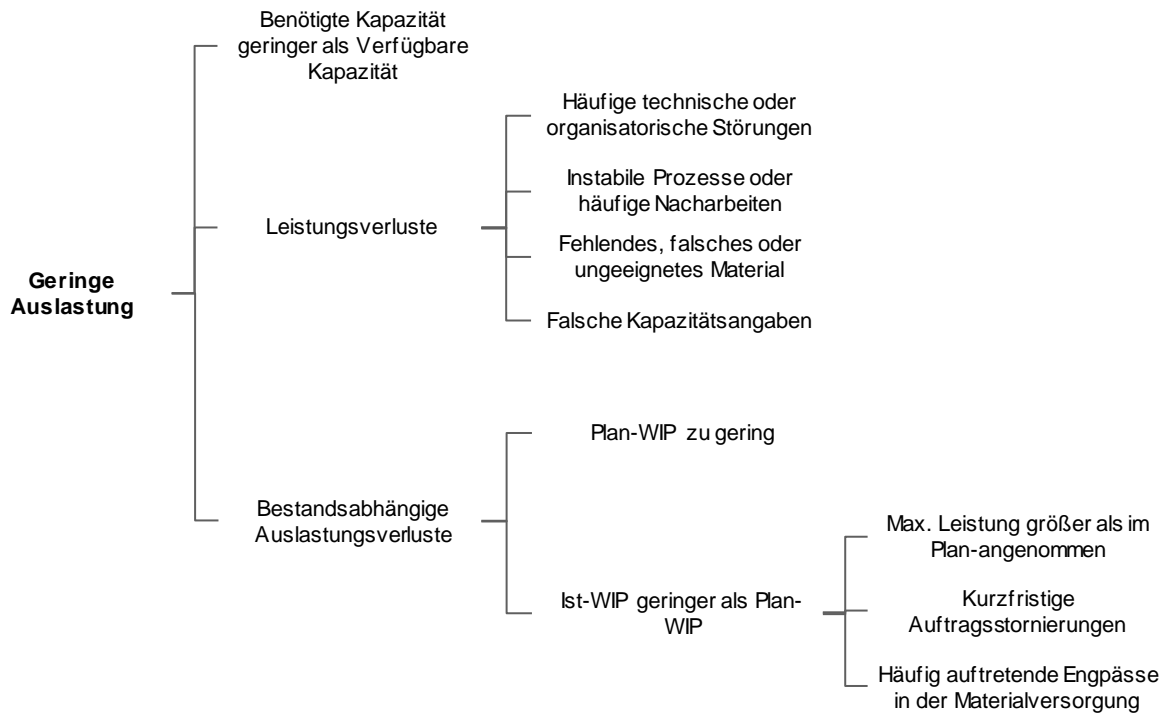


Abbildung 3-7: Ursachenbaum geringe Auslastung

### Ursachenbaum hoher WIP

Ein hoher WIP kann zunächst aus drei möglichen Ursachen entstehen. Zum einen kann der Plan-WIP höher sein als zur Erreichung der angestrebten Leistung/Auslastung benötigt. In diesem Fall werden die Arbeitssysteme im Überlastbereich betrieben und der WIP ließe sich ohne Auslastungsverluste reduzieren. Zudem können aber auch, wie oben bereits kurz dargestellt, die vorliegende Auftragszeitstruktur, die Mindestübergangszeit, die Belastungsstreuung und die Kapazitätsflexibilität sowie die Kapazitätsstruktur einen hohen Plan-WIP bedingen. Ist der Plan-WIP tendenziell korrekt eingestellt und befindet sich auf einem angemessenen Niveau, kann ein hoher WIP darüber hinaus aus Abweichungen zwischen dem Plan-WIP und dem Ist-WIP resultieren. Abweichungen zwischen dem Ist- und dem Plan-WIP entstehen, wenn die Ist-Leistung geringer ist als im Plan vorgesehen oder wenn der Ist-Auftragszugang größer ist als geplant. Die jeweiligen möglichen Ursachen sind in Abbildung 3-8 dargestellt.

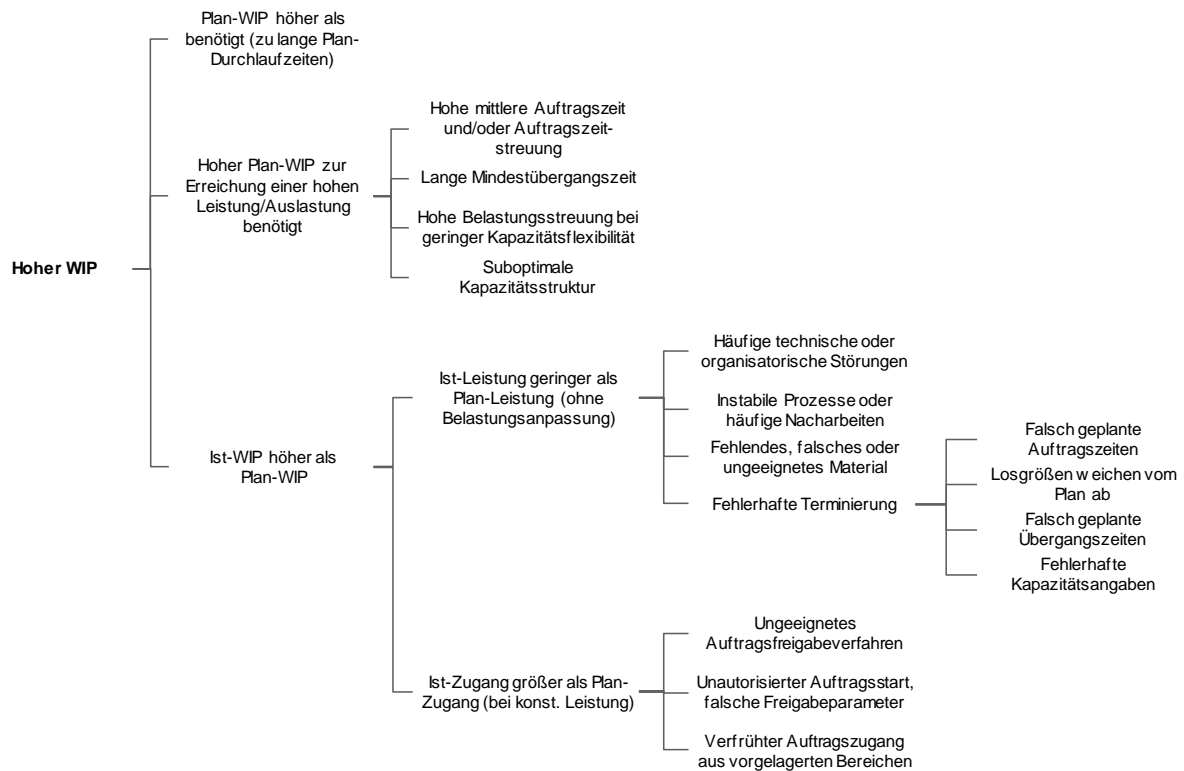


Abbildung 3-8: Ursachenbaum hoher WIP

Ursachenbaum geringer Servicegrad

Ein geringer Servicegrad in einem Lager ist immer auf einen zu geringen Bestand zurückzuführen. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob der geringe Bestand sich bereits aus dem Plan-Vorgaben ergibt oder ob unvorhergesehene Einflüsse dazu führen, dass der Plan-Bestand nicht erreicht wird. Der mittlere Lagerbestand ergibt sich aus dem Losbestand, der der halben mittleren Zugangslosgröße entspricht und einem zusätzlich vorgehaltenen Sicherheitsbestand. Dieser dient dazu, auftretende Planabweichungen abzufangen. Planabweichungen sind dabei im Wesentlichen Verspätungen im Lagerzugang sowie Bedarfsspitzen, die innerhalb der Wiederbeschaffungszeit auftreten. Neben ungeplant aufgetretenen Versorgungsengpässen, führt eine verspätete Bestellauslösung zu Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem geplanten Bestand. Verspätete Bestellauslösungen treten dabei auch dann auf, wenn der im ERP-System ausgewiesene Lagerbestand nicht dem tatsächlich verfügbaren Lagerbestand entspricht und der verfügbare Bestand somit falsch eingeschätzt wird. Abbildung 3-9 zeigt den entwickelten Ursachenbaum für einen geringen Servicegrad, der für alle Lagerstufen entlang der unternehmensinternen Lieferkette gilt.



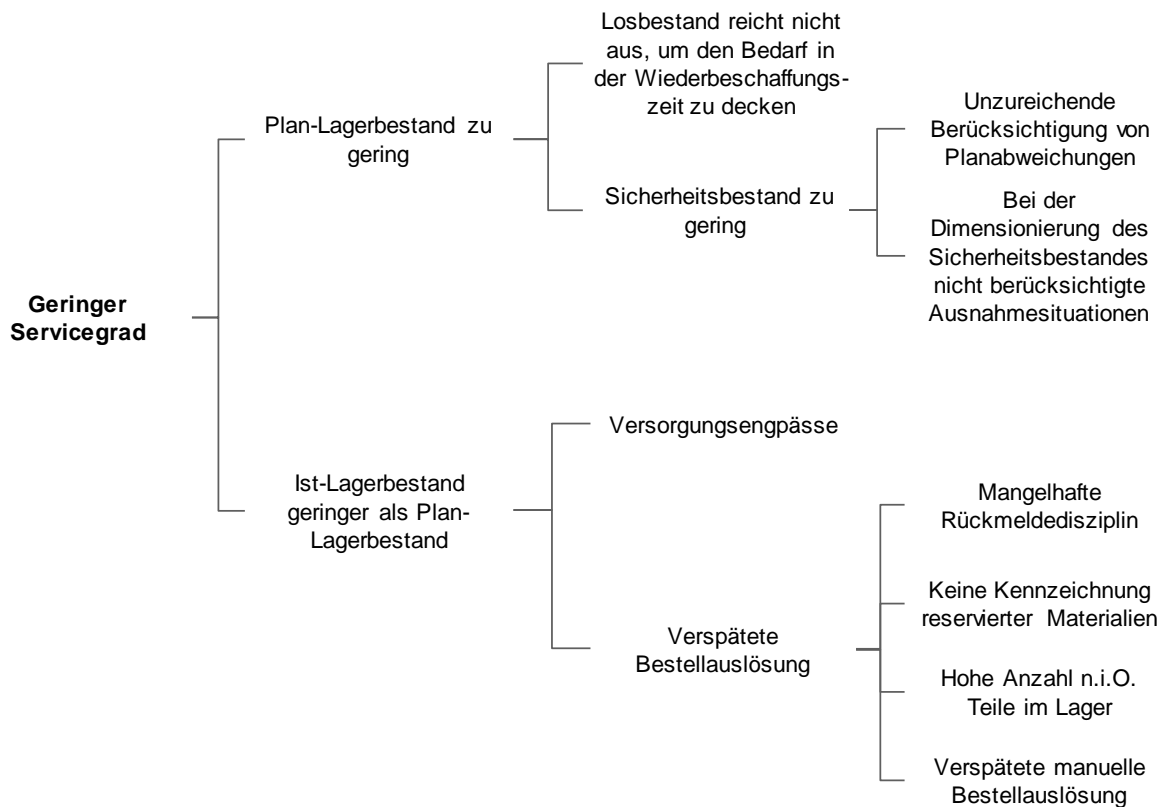


Abbildung 3-9: Ursachenbaum geringer Servicegrad

Ursachenbaum hoher Lagerbestand

Ein weiteres Symptom einer geringen logistischen Performance sind hohe Lagerbestände. Diese umfassen sowohl die Lagerbestände, die für klassische lagerhaltige Materialien anfallen, als auch Pufferbestände für auftragsspezifisch gepufferte Materialien. Hohe Bestände lagerhaltiger Materialien können sich aus einem komplexen Produktportfolio mit einer hohen Variantenvielfalt ergeben. Hier sind Maßnahmen zur Reduktion der Produkt- und Produktionskomplexität zu prüfen. Für jeden einzelnen Artikel resultiert der Lagerbestand aus dem Sicherheitsbestand und dem Losbestand, die es angemessen einzustellen gilt. Je nach auftretenden Planabweichungen ist ein mehr oder weniger großer Lagerbestand erforderlich, um den gewünschten Servicegrad zu erreichen.

Ein hoher Bestand an auftragsspezifisch gepufferten Materialien ergibt sich immer dann, wenn Materialien dem Puffer entweder wesentlich früher als zum geplanten Bedarfstermin zugehen oder wenn Materialien später als zum geplanten Bedarfstermin entnommen werden. Insbesondere wenn der zu betrachtende Puffer einen Komplettierungspunkt darstellt, in dem mehrere Versorgungsprozesse zusammenfließen, die für einen nachfolgenden Auftrag benötigt werden (bspw. in einem Montagepuffer) entstehen hohe Pufferbestände, wenn die Versorgungsaufträge nicht gleichzeitig eintreffen. Die Materialien, die dem Puffer zugehen, bilden so lange einen sogenannten gestörten Bestand, bis der letzte, zu einem Komplettierungsauftrag gehörende, Materialzugang erfolgt. Der detaillierte Ursachenbaum für einen hohen Bestand ist in Abbildung 3-10 dargestellt.

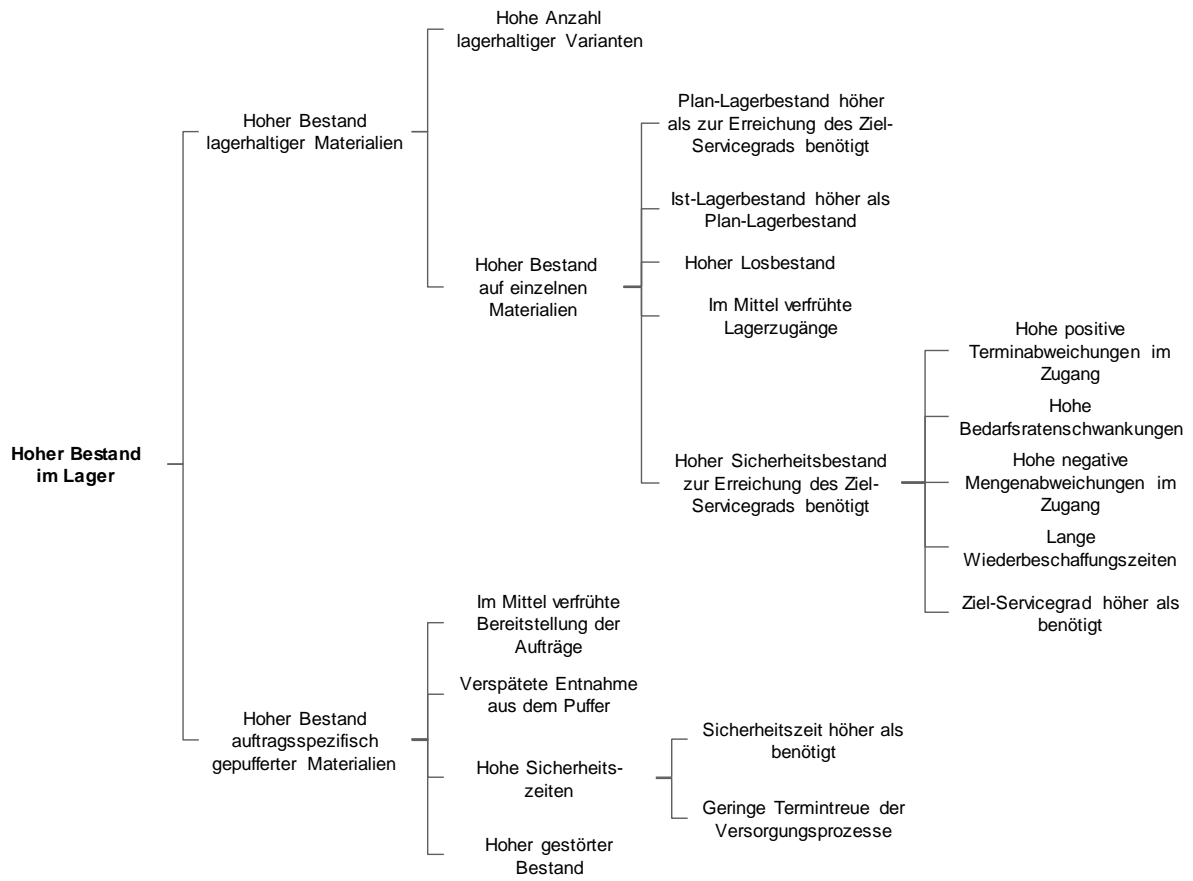


Abbildung 3-10: Ursachenbaum hoher Lagerbestand

### **3.4 Arbeitspaket 3: Priorisierung der Ursachen mittels quantitativer logistischer Bewertung**

**Ziel:** Die Strukturierung quantitativer logistischer Analysen war das Ziel des dritten Arbeitspakets. Damit soll eine eindeutige Identifizierung der Primärursache erlaubt werden. Die mittels des entwickelten Vorgehens identifizierten Primärursachen bilden anschließend die Grundlage zur Auswahl geeigneter Maßnahmen, die im nachfolgenden Arbeitspaket zu definieren sind.

**Vorgehen:** Basierend auf den Symptom-Ursachen-Beziehungen aus Arbeitspaket 2 wurden zunächst für die Analyse geeignete, in der Wissenschaftsliteratur beschriebene logistische Modelle und Analysemethoden untersucht und systematisiert. Zu den einzelnen Methoden und Modellen wurden Steckbriefe erstellt, die die wesentlichen Fragestellungen beinhalten, die mit den jeweiligen Modellen untersucht und beantwortet werden können. Diese wurden zudem durch in den Unternehmen des PA verwendete Analysemethoden ergänzt. Auf dieser Basis erfolgte eine schrittweise Zuordnung der Methoden und Modelle zu den einzelnen Entscheidungspunkten zwischen den Ursachenebenen in den erstellten Ursachenbäumen. Anschließend wurden detaillierte Leitfäden zu jedem Analyseschritt entwickelt. Dabei wurde auf Erfahrungen aus vergangenen Analyseprojekten, Hinweise aus einschlägiger Fachliteratur sowie Anmerkungen der beteiligten Unternehmen zurückgegriffen.

**Ergebnis:** Das Ergebnis des dritten Arbeitspakets stellt die Systematik zur quantitativen Analyse der Ursachen einer geringen logistischen Performance dar. Für jede Ursachenebene wurden detaillierte Anleitungen erstellt, die beschreiben, welche Analysen durchzuführen sind, um die Hauptursache auf der jeweils nächsten Ursachenebene zu erkennen, bis schlussendlich die Primärursache identifiziert ist. Abbildung 3-11 zeigt die grundsätzliche Idee der entwickelten Analyseverfahren. Für jeden Entscheidungspunkt entlang der Ursachenbäume wurden geeignete Analysewerkzeuge identifiziert, mit deren Hilfe eine quantitative Analyse der vorliegenden Ursachen ermöglicht wird. Dabei werden im Wesentlichen die in Abbildung 3-11 genannten Werkzeuge eingesetzt. Die zu jedem Entscheidungspunkt verfassten Analyseleitfäden bilden den Kern des Ergebnisses.

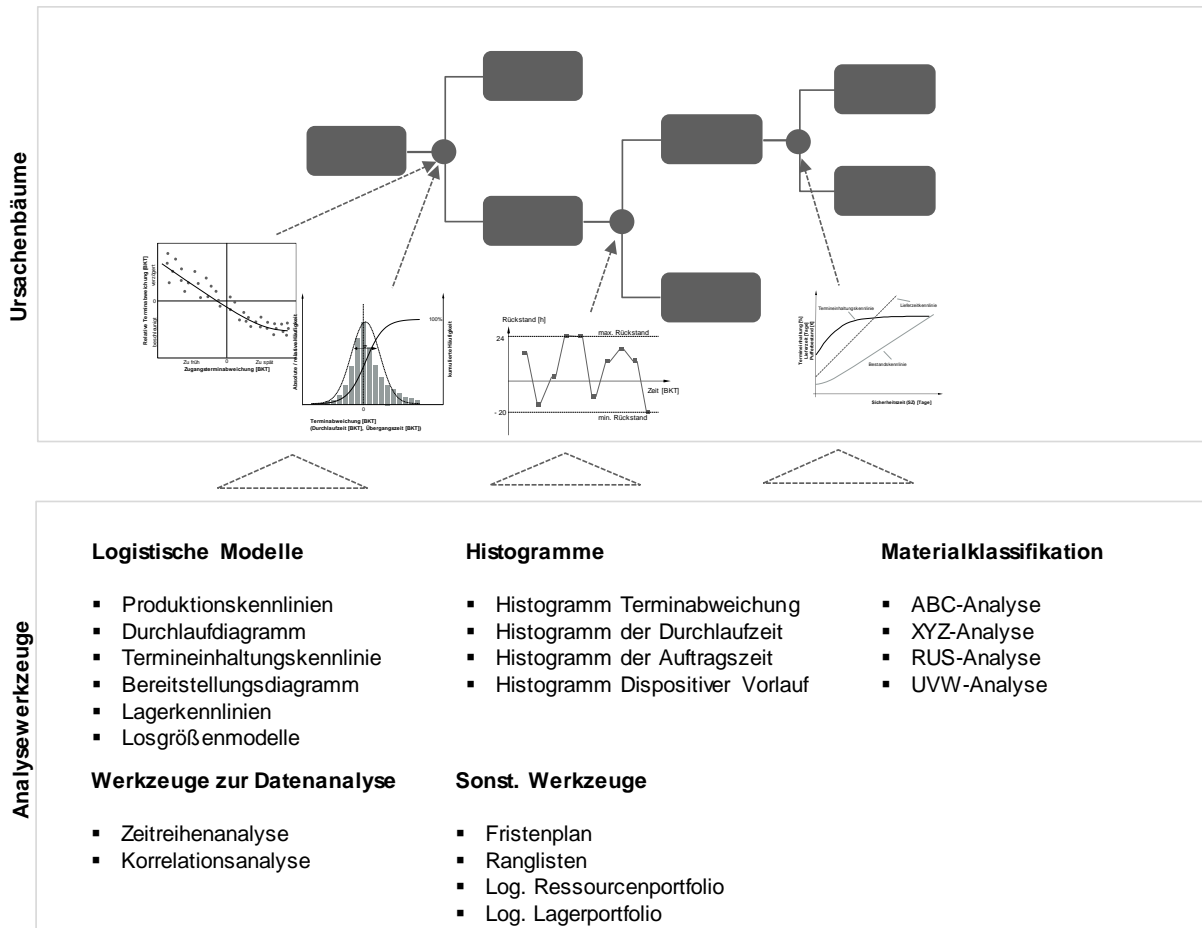


Abbildung 3-11: Schematische Darstellung des grundlegenden Analyseverfahrens

Die Analyseleitfäden enthalten dabei Informationen bezüglich der benötigten Daten, der durchzuführenden Analyseschritte, der theoretischen Grundlagen der verwendeten Modelle und Methoden, der relevanten Kennzahlen sowie zur Interpretation der Analyseergebnisse. Um auch Nicht-Experten ein geeignetes Werkzeug an die Hand zu geben, das sie befähigt, eigenständig umfangreiche logistische Analysen durchzuführen, wurde bewusst auf eine rein grafische Darstellung der Analyseschritte oder eine Beschreibung anhand von Stichpunkten verzichtet und ein Gesamtdokument in ausgeschriebenem Volltext mit erklärenden Abbildungen und Beispielen erstellt. Insgesamt umfasst der so entstandene Analyseleitfaden 365 Seiten, sodass an dieser Stelle lediglich der generelle Aufbau und exemplarische Beispiele dargestellt werden.

Die Analyseleitfäden für die einzelnen Ursachenbäume beginnen jeweils mit einer ausführlichen Definition der betrachteten Kennzahl und einer Übersicht über die relevanten Kenngrößen, die im Laufe der Analyse benötigt werden. Darüber hinaus sind zu der jeweils betrachteten Zielgröße bereits Interpretationshinweise und Hinweise auf mögliche Datenfehler enthalten. So wird bspw. bei der Zielgröße Durchlaufzeit darauf hingewiesen, dass das größte Durchlaufzeitpotenzial meist in der Reduktion der Übergangszeiten liegt, die aufgrund hoher Auftragsbestände häufig zu hoch sind. So werden dem Anwender der Systematik direkt zu Beginn der Analyse hilfreiche Hinweise bereitgestellt, worauf bei den nachfolgenden Schritten zu achten ist.

Anschließend folgen die Analyseanleitungen zu den einzelnen Entscheidungspunkten entlang der Ursachenbäume. Exemplarisch wird nachfolgend das generelle Analyseverfahren zur Identifikation der Ursachen für lange Plan-Übergangszeiten dargestellt. Wurde im Rahmen einer Durchlaufzeitanalyse identifiziert, dass die Ursache für lange Durchlaufzeiten auf lange Plan-Übergangszeiten zurückzuführen ist, kann zunächst das logistische Ressourcenportfolio des betrachteten Bereichs erstellt werden. Mit dem logistischen Ressourcenportfolio werden

die einzelnen Arbeitssysteme in dem betrachteten Produktionsbereich hinsichtlich des mittleren Bestandsniveaus und ihres Durchlaufzeitanteils bewertet. Um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Arbeitssysteme zu ermöglichen wird zur Bewertung des Bestandsniveaus der relative Bestand herangezogen. Anhand des relativen Bestandes kann abgeschätzt werden, ob das mittlere Auftragsbestandsniveau größer ist, als zur Erreichung einer hohen Leistung benötigt. In diesem Fall können die Übergangszeiten durch eine Reduktion der Bestände ohne Auslastungsverluste verkürzt werden. Im Ergebnis dieses Analyseschrittes liegt eine Rangliste der durchlaufzeitkritischen Arbeitssysteme mit dem höchsten relativen Bestand vor. Nun werden zunächst die Arbeitssysteme identifiziert, deren WIP wesentlich höher ist als erforderlich. Dazu sind die Arbeitssysteme mit einem sehr hohen relativen Bestand auszuwählen. Zur Beurteilung des Bestandsniveaus wird auf die Theorie der Produktionskennlinien zurückgegriffen. Daraus wurde als Daumenregel abgeleitet, dass Arbeitssysteme in einer ersten Schätzung, ohne exakte Berechnung des Kennlinienverlaufs ab einem relativen Bestand der wesentlich größer ist als 500%, genauer hinsichtlich ihres Bestandsreduktionspotenzials untersucht werden sollten. Dabei gilt generell der Grundsatz: Je größer die Kapazitätsflexibilität eines Arbeitssystems (d.h. die Fähigkeit auf auftretende Belastungsschwankungen mit Leistungsanpassungen zu reagieren) bzw. je geringer die Belastungsschwankungen, desto geringer ist der notwendige relative Bestand.

Durchlaufzeitkritische Arbeitssysteme mit einem relativen Bestand, der weit über 500% liegt, bieten somit voraussichtlich Potenzial, die mittlere Durchlaufzeit durch einfache Reduktion des mittleren Auftragsbestandes (WIP) ohne Auslastungsverluste signifikant zu senken. Für eine exakte Berechnung des mittleren Bestands- und Durchlaufzeitpotenzials sind für die identifizierten Arbeitssysteme die realen Kennlinien zu berechnen und zu prüfen, ob eine hohe Auslastung auch mit einem signifikant geringerem mittleren Bestandsniveau erreichbar ist. Für alle weiteren durchlaufzeitkritischen Arbeitssysteme (oberer linker Bereich des Ressourcenportfolios) ist der relative Bestand angemessen. Jedoch wird ein hoher idealer Mindestbestand benötigt, der zu einer langen Übergangszeit führt. Eine detaillierte Analyse der Ursachen einer langen notwendigen Übergangszeit sind in einer nächsten Analyseebene zu untersuchen, die mit einer Analyse der Auftragszeitstruktur beginnt. Dieses exemplarische Analyseverfahren für einen Entscheidungspunkt ist in Abbildung 3-12 zusammengefasst.

Bei der Erstellung der Leitfäden wurde insbesondere darauf geachtet, wo möglich, neben ausführlichen Beschreibungen der Datenanalysen, Hinweise bereitzustellen, wie mögliche Ursachen bereits anhand von logischen Zusammenhängen oder ersten Abschätzungen eingegrenzt werden können. Dies vereinfacht einerseits die praktische Anwendung und fördert die Bereitschaft der Anwender eine logistische Analyse im betrieblichen Alltag durchzuführen. Komplexe mathematische Zusammenhänge wirken dagegen häufig abschreckend.

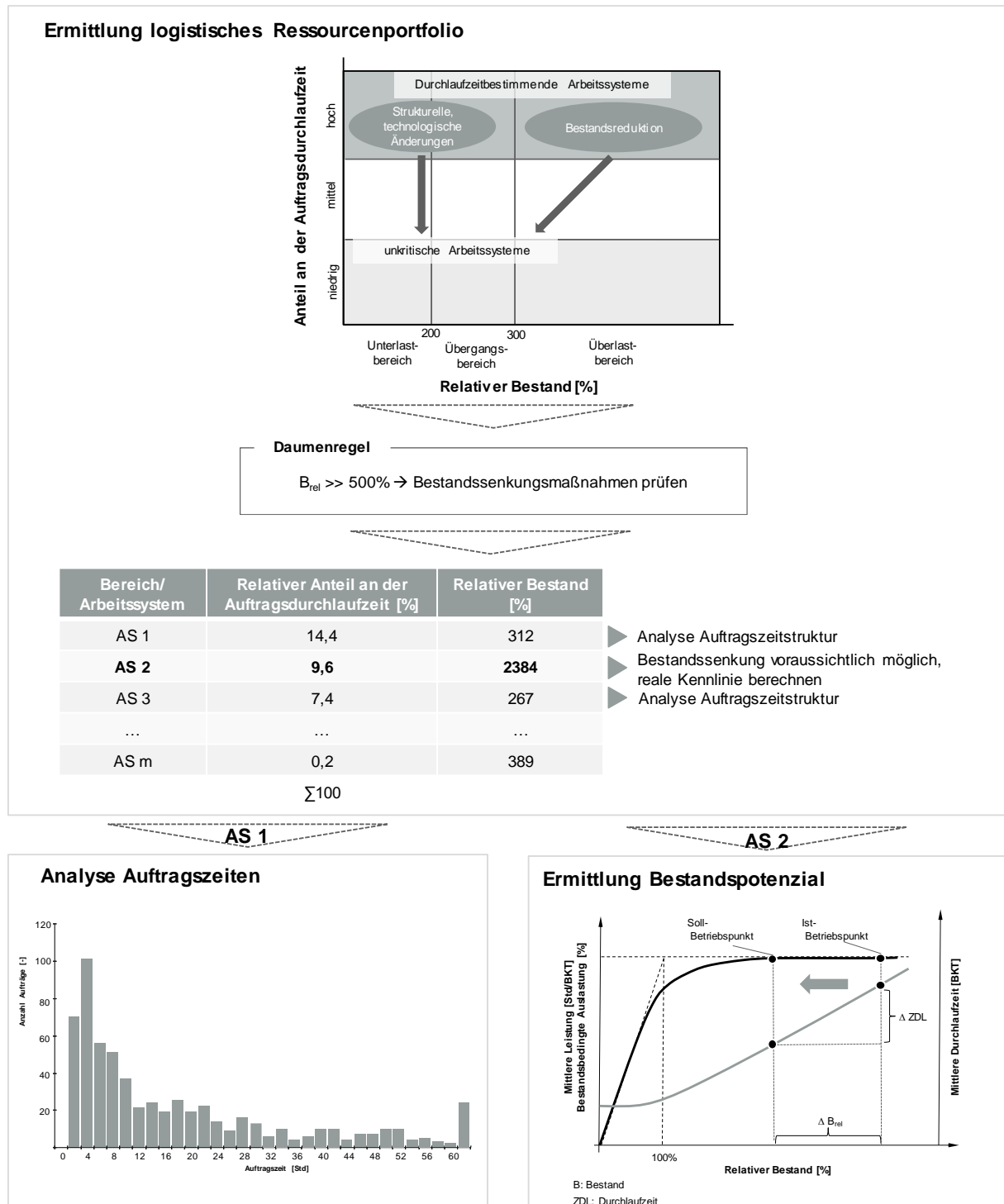


Abbildung 3-12: Exemplarische Darstellung des Analyseverfahrens zur Identifikation der Ursachen einer langen Plan-Übergangszeit

Zu jedem Analyseschritt sind zudem die theoretischen Grundlagen der verwendeten Methoden und Modelle in den Analyseleitfäden enthalten. Anhand dieser detaillierten Anleitungen werden umfangreiche Ursachenanalysen einer geringen logistischen Performance auch ohne breites Erfahrungswissen und umfangreiche Kenntnisse über die bestehenden logistischen Zusammenhänge ermöglicht.

Um den Anwendern das umfangreiche Wissen punktuell und problemspezifisch zur Verfügung zu stellen, wurden die entstandenen Anleitungen in den in Arbeitspaket 5 entwickelten Soft-

waredemonstrator integriert. Dieser steht auf der Projekthomepage (<https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope>) zum freien Download zur Verfügung. Darüber hinaus erfolgt eine Aufbereitung des Analyseleitfadens in Form einer Web-Anwendung, die in Kürze öffentlich zugänglich sein wird ([www.quantilope-ifa.de](http://www.quantilope-ifa.de)). Die Veröffentlichung des Analyseleitfadens für eine geringe Termintreue in einer entsprechenden Fachzeitschrift ist ebenfalls geplant [37].

### 3.5 Arbeitspaket 4: Katalogisierung der Maßnahmen zur Ursachenbeseitigung

**Ziel:** Aufbauend auf den im zweiten Arbeitspaket identifizierten Primärursachen war das Ziel von Arbeitspaket 4, einen Maßnahmenkatalog abzuleiten, der jeder Primärursache ein Maßnahmenbündel entgegengestellt. Der Anwender soll dabei für jede Primärursache zwischen verschiedenen Maßnahmen auswählen können. Die entwickelte Datenbank wurde abschließend als Bestandteil in den Softwaredemonstrator implementiert.

**Vorgehen:** Die entwickelten Ursachenbäume aus Arbeitspaket 2 stellen die Grundlage für den entwickelten Maßnahmenkatalog dar. Für die identifizierten Primärursachen wurde ein Katalog produktionslogistischer Maßnahmen zur Beseitigung der Ursachen aufgebaut. Zur Entwicklung der Maßnahmendatenbank wurde auf die umfangreichen Erfahrungen des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik aus zahlreichen Forschungs- und Auftragsforschungsprojekten zurückgegriffen. Darüber hinaus wurden zusätzliche, in entsprechender Fachliteratur genannte Maßnahmen identifiziert. In Gesprächen mit den Unternehmen des PA wurde der Maßnahmenkatalog überprüft, um unternehmensspezifische Maßnahmen ergänzt und Wirkungsweisen sowie die Umsetzbarkeit der einzelnen Maßnahmen diskutiert. Anschließend wurden die unternehmensspezifischen Maßnahmen standardisiert, um die Anforderung der Allgemeingültigkeit zu erfüllen.

**Ergebnis:** Als Ergebnis des vierten Arbeitspakets liegt ein umfassender Maßnahmenkatalog vor, der abhängig von der identifizierten Primärursache Hinweise auf mögliche geeignete Maßnahmen enthält. Insgesamt wurden 115 Maßnahmen definiert, die gemeinsam mit den Ergebnissen aus Arbeitspaket 2 und 3 in den Softwaredemonstrator implementiert wurden.

Jeder Primärursache (die jeweils letzte Ebene in den Ursachenbäumen) sind mögliche Maßnahmen zugeordnet. Neben einer kurzen Beschreibung der Maßnahmen, sind eine Beschreibung der Wirkung der Maßnahmen und zu berücksichtigende Auswirkungen auf andere Zielgrößen enthalten. Zudem erfolgt eine Einschätzung des Zeithorizontes, der zur Umsetzung der Maßnahmen erforderlich ist sowie des erforderlichen Aufwands. Dabei wird der Zeithorizont in die Kategorien kurzfristig, mittelfristig und langfristig umsetzbar unterteilt. Der Aufwand wird in den Kategorien gering mittel und hoch bewertet. Die getroffenen Bewertungen stellen eine initiale Bewertung dar, wie sie sich voraussichtlich in vielen Fällen darstellen wird. Dennoch kann die Bewertung unternehmensindividuell sehr unterschiedlich ausfallen. So ist bspw. der Aufwand zur Ausgestaltung von Rahmenverträgen mit Lieferanten maßgeblich von der Anzahl der Lieferanten abhängig.

Tabelle 3-3 zeigt einen exemplarischen Auszug des entwickelten Maßnahmenkatalogs. In der ersten Zeile ist bspw. zu erkennen, dass in dem Katalog auf andere Ursachenbäume und notwendige Analysen verwiesen wird, wenn als Ursache eine geringe logistische Performance eines vorgelagerten Bereichs identifiziert wurde. In diesem Fall ist zunächst der entsprechende Bereich zu analysieren bevor anschließend geeignete Maßnahmen abgeleitet werden. Bestehen alternative Maßnahmen, um die logistischen Schwächen abzufangen, sind diese ebenfalls aufgeführt. So kann bspw. auf lange Lieferzeiten, die aus langen Durchlaufzeiten bzw. langen Wiederbeschaffungszeiten resultieren, mit einer Entkopplungsstufe reagiert werden. Dies führt für geeignete Artikel zu einem Strategiewechsel von der auftragsspezifischen Produktion bzw. Beschaffung zu einer Bevorratung in einem Fertigwarenlager. Eine solche Verschiebung des Kundenauftragsentkopplungspunktes ist allerdings mit einem hohen Aufwand verbunden und führt zu steigenden Beständen, die zu berücksichtigen sind und bspw. anhand der Servicegradkennlinie abgeschätzt werden können. Im Beschaffungsbereich kann der Effekt der steigenden Bestände bspw. durch einen Wechsel des Beschaffungsmodells hin zu einem Konsignationsprinzip, bei dem die Bestandsverantwortung bei den Lieferanten verbleibt, vermieden werden. Allerdings sind hierbei steigende Einkaufspreise zu berücksichtigen, da für den Betrieb eines Konsignationslagers Kostenzuschläge anfallen. Eine weitere Möglichkeit Wiederbeschaffungszeiten zu reduzieren stellen Vertragslagerkonzepte dar. Dabei erfolgt die Belieferung über Abrufbestellungen ab Lager, wodurch sich Zeiteinsparungen ergeben, wenn zuvor



eine auftragsspezifische Produktion auf Seiten des Lieferanten erfolgte. Darüber hinaus stehen zudem die Maßnahmen des Lieferantenwechsels oder der Lieferantenentwicklung zur Verfügung, die zu reduzierten Wiederbeschaffungszeiten führen können. Ergibt die Analyse der Durchlaufzeiten in der Produktion, dass lange Durchlaufzeiten dort auf eine hohe Belastungsstreuung bei geringer Kapazitätsflexibilität zurückzuführen sind, sind insbesondere Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazitätsflexibilität zu ergreifen. Neben dem Ankauf oder der Anmietung zusätzlicher Kapazitäten, der Fremdvergabe von Aufträgen oder der Nutzung alternativer Betriebsmittel, was bspw. vorhandene Drehmaschinen in der Ausbildungswerkstatt sein können, bieten sich hier auch Qualifikationsmaßnahmen an. Maßnahmen, die zu einer Mehrfachqualifikation der Mitarbeiter und damit zu einer flexiblen Einsatzmöglichkeit im Fall von Kapazitätsengpässen führen, bieten ein hohes Potenzial zur Steigerung der Kapazitätsflexibilität, bleiben bei der Maßnahmenableitung jedoch häufig unberücksichtigt. Um die Allgemeingültigkeit der enthaltenen Maßnahmen zu gewährleisten wurde auf die Darstellung der Ausgestaltung konkreter technischer oder organisatorischer Maßnahmen verzichtet. So wird bspw. als Maßnahme bei häufigen technischen Störungen lediglich eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit aufgeführt. Wie eine solche Steigerung der Anlagenzuverlässigkeit erreicht wird obliegt den Unternehmen. Konkrete technische Lösungen sind nicht enthalten. Zur Einsicht des gesamten Maßnahmenkatalogs wird auf den Softwaredemonstrator verwiesen.

Der entwickelte Maßnahmenkatalog ist somit als Orientierungshilfe für die Anwender zur Ableitung geeigneter Maßnahmen zu verstehen. Basierend auf den aufgeführten möglichen Maßnahmen sind anwendungsfallspezifisch geeignete Maßnahmen auszuwählen und zu konkretisieren. Für die Umsetzung einzelner Maßnahmen sind teils eigene umfangreiche Umsetzungsprojekte notwendig, sodass eine sorgfältige Prüfung und Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen erfolgen muss. Eine hilfreiche Unterstützung bieten dabei die entwickelten Ursache-Wirkungszusammenhänge. Diskussionen mit dem PA ergaben, dass eine solche Orientierungshilfe zur Identifikation möglicher Ansatzpunkte sehr hilfreich sei, um unvoreingenommen und objektiv verschiedene Alternativen gegeneinander abzuwägen.

Tabelle 3-3: Auszug aus dem entwickelten Maßnahmenkatalog

Primärursachen	Maßnahmen	Wirkung	Umsetzung	Aufwand
Lange Durchlaufzeit in der kundenauftragspezifischen Produktionsendstufe / -vorstufe	Analyse Durchlaufzeit Produktionsvor-/endstufe	-	-	-
	Einführung Entkopplungslager	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Lieferzeiten durch Strategiewechsel zu MTS</li> <li>Erhöhung der Fertigwarenbestände, (Abschätzung des Bestandsniveaus über Servicegradkennlinie möglich)</li> </ul>	mittel-/langfristig	hoch
Lange Wiederbeschaffungszeit für auftragspezifisch beschaffte Handelsware	Wechsel der Beschaffungsstrategie von Source-to-Order zu Source-to-Stock (Vorratsbeschaffung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialien sind ab Lager verfügbar</li> <li>Erhöhung der Bestände im Beschaffungslager, (Abschätzung des Bestandsniveaus über Servicegradkennlinie möglich)</li> </ul>	mittel-/langfristig	hoch
	Wechsel des Beschaffungsmodells zu Konsignationsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialien sind ab Lager verfügbar</li> <li>ggf. Bereitstellung von Lagerflächen erforderlich</li> <li>Bestandsverantwortung und Kosten der Bestandsführung liegen bei Lieferanten</li> <li>steigende Einkaufspreise</li> </ul>	mittel-/langfristig	hoch
	Wechsel des Beschaffungsmodells zu Abrufbestellungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>ggf. kürzere Wiederbeschaffungszeit, da Materialien ab Lager vom Lieferanten abrufbar</li> <li>höhere Einkaufspreise</li> <li>in der Regel Rahmenvorräte benötigt</li> </ul>	mittel-/langfristig	hoch
	Lieferantenwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>kürzere Wiederbeschaffungszeiten möglich, sofern alternative Lieferanten existieren</li> <li>Auswirkungen auf Qualität und Versorgungssicherheit sind zu berücksichtigen und abzuwägen</li> </ul>	kurz-/mittelfristig	mittel
	Lieferantenentwicklung (für strategische Lieferanten)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung der logistischen Performance der Lieferanten durch gemeinsame Prozessoptimierungen</li> <li>Hoher Aufwand erforderlich</li> </ul>	langfristig	hoch
Hohe Belastungsstreuung bei geringer Kapazitätsflexibilität	Kauf/Anmietung zusätzlicher Kapazitäten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Investitionen</li> <li>Risiko nicht genutzter Kapazitäten</li> </ul>	kurz-/mittelfristig	hoch
	Fremdvorgabe von Aufträgen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steigende Herstellkosten</li> </ul>		
	Nutzung alternativer Betriebsmittel (bspw. Lehrwerkstatt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ggf. negative Auswirkungen auf Durchlaufzeiten und Produktqualität</li> <li>Auswirkungen auf Ausbildungsqualität</li> </ul>	kurzfristig	gering
	Mehrfachqualifikation von Mitarbeitern	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibler Einsatz der Mitarbeiter</li> <li>Erhöhung des Verständnisses für Gesamtsystem</li> <li>Steigende Motivation</li> <li>Höhere Gehälter</li> <li>Ggf. Verlust von Spezialisierungsvorteilen</li> </ul>	langfristig	hoch

Um die Allgemeingültigkeit der enthaltenen Maßnahmen zu gewährleisten wurde auf die Darstellung der Ausgestaltung konkreter technischer oder organisatorischer Maßnahmen verzichtet. So wird bspw. als Maßnahme bei häufigen technischen Störungen lediglich eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit aufgeführt. Wie eine solche Steigerung der Anlagenzuverlässigkeit erreicht wird obliegt den Unternehmen. Konkrete technische Lösungen sind nicht enthalten. Zur Einsicht des gesamten Maßnahmenkatalogs wird auf den Softwaredemonstrator verwiesen.

Der entwickelte Maßnahmenkatalog ist somit als Orientierungshilfe für die Anwender zur Ableitung geeigneter Maßnahmen zu verstehen. Basierend auf den aufgeführten möglichen Maßnahmen sind anwendungsfallspezifisch geeignete Maßnahmen auszuwählen und zu konkretisieren. Für die Umsetzung einzelner Maßnahmen sind teils eigene umfangreiche Umsetzungsprojekte notwendig, sodass eine sorgfältige Prüfung und Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen erfolgen muss. Eine hilfreiche Unterstützung bieten dabei die entwickelten Ursache-Wirkungszusammenhänge. Diskussionen mit dem PA ergaben, dass eine solche Orientierungshilfe zur Identifikation möglicher Ansatzpunkte sehr hilfreich sei, um unvoreingenommen und objektiv verschiedene Alternativen gegeneinander abzuwägen.

### **3.6 Arbeitspaket 5: Abbildung der Wirkzusammenhänge in einem Softwaredemonstrator sowie Aufbau eines Workshop-Konzepts zur Performanceanalyse**

**Ziel:** Im fünften Arbeitspaket war das Ziel, einen Softwaredemonstrator zu entwickeln, in dem das Vorgehensmodell, die entwickelten Symptom-Ursachen-Beziehungen und die Maßnahmen-datenbank implementiert sind. Der Softwaredemonstrator stellt dabei den Handlungsleit-faden für ein Workshop-Konzept dar, durch den KMU zur selbstständigen Logistikanalyse be-fähigt werden.

**Vorgehen:** Der Softwaredemonstrator stellt eine Excel-VBA-Anwendung dar, der die ent-wickelten Ursachenbäume, die Analyseleitfäden und den Maßnahmenkatalog strukturiert und dem Anwender problemspezifisch zur Verfügung stellt. Er bietet somit den Rahmen für eine geführte logistische Ursachenanalyse. Dabei sollte der Demonstrator eine reine Moderations-unterstützung bilden und explizit keine Analyseunterstützungen oder Datenschnittstellen zu ERP-Systemen beinhalten. Die Entwicklung des Softwaredemonstrators und eines entspre-chenden Workshop-Konzepts erfolgte iterativ in mehreren Review-Schleifen mit Unternehmen des PA. Es hat sich gezeigt, dass eine vollständige Ursachenanalyse im Rahmen eines Work-shops nicht möglich ist und dazu umfangreichere Analyseprojekte notwendig sind. Daher hat sich im Projektverlauf ergeben, dass der Softwaredemonstrator anstatt einer reinen Moderati-onsunterstützung im Rahmen eines Analyseworkshops vielmehr einen digitalen Leitfaden zur Logistikanalyse darstellen soll, der von jedem Mitarbeiter selbstständig zur Unterstützung sei-ner Analyseaufgabe verwendet werden kann. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wurde ein rah-menspannendes Workshop-Konzept entwickelt. Die praktische Anwendbarkeit und Nutzer-freundlichkeit wurden im Rahmen einer PA-Sitzung bestätigt. Zudem erfolgte eine exemplari-sche Anwendung des Analysevorgehens bei einem Unternehmen des PA anhand eines ein-zelnen Produktionsbereichs. Eine umfangreiche Validierung der entwickelten Analysevorge-hen soll im Rahmen einer geplanten Dissertation erfolgen.

**Ergebnis:** Kernergebnis des fünften Arbeitspakets stellt der entwickelte Softwaredemonstra-tor zur multikausalen quantitativen Ursachenanalyse dar. Dieser steht auf der Projekthome-page zum freien Download zur Verfügung (<https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope>). Als Programmiersprache wurde die in Microsoft Excel implementierte Sprache VBA gewählt. Diese ist in Unternehmen weit verbreitet, sodass ein breiter Nutzerkreis auf den frei zugängli-chen Demonstrator zugreifen kann. Darüber hinaus liegt ein Workshop-Konzept zur quantita-tiven Ursachenanalyse vor, das den Rahmen für ein eigenständiges Analyseprojekt spannt oder zur Mitarbeiterqualifikation verwendet werden kann. Beide Teilergebnisse werden im Fol-genden kurz dargestellt.

#### Softwaredemonstrator

Nach dem Öffnen der VBA-Anwendung werden dem Anwender zunächst auf einer Startseite die wesentlichen Funktionen des Demonstrators und Hinweise zur Anwendung angezeigt (vgl. Abbildung 3-13). Durch Klicken auf die Start-Schaltfläche wird der Anwender zur Auswahl der zu analysierenden Zielgröße geleitet (Abbildung 3-14).



Abbildung 3-13: Startbildschirm des Softwaredemonstrators

In einer gemeinsamen Diskussion mit Experten der zu betrachtenden Lieferkette ist zunächst festzulegen, welche Zielgröße, in welchem Bereich der Lieferkette aktuell das größte Potenzial für Verbesserungen bietet. Hierzu kann auf vorliegende KPIs und auf Experteneinschätzungen zurückgegriffen werden.

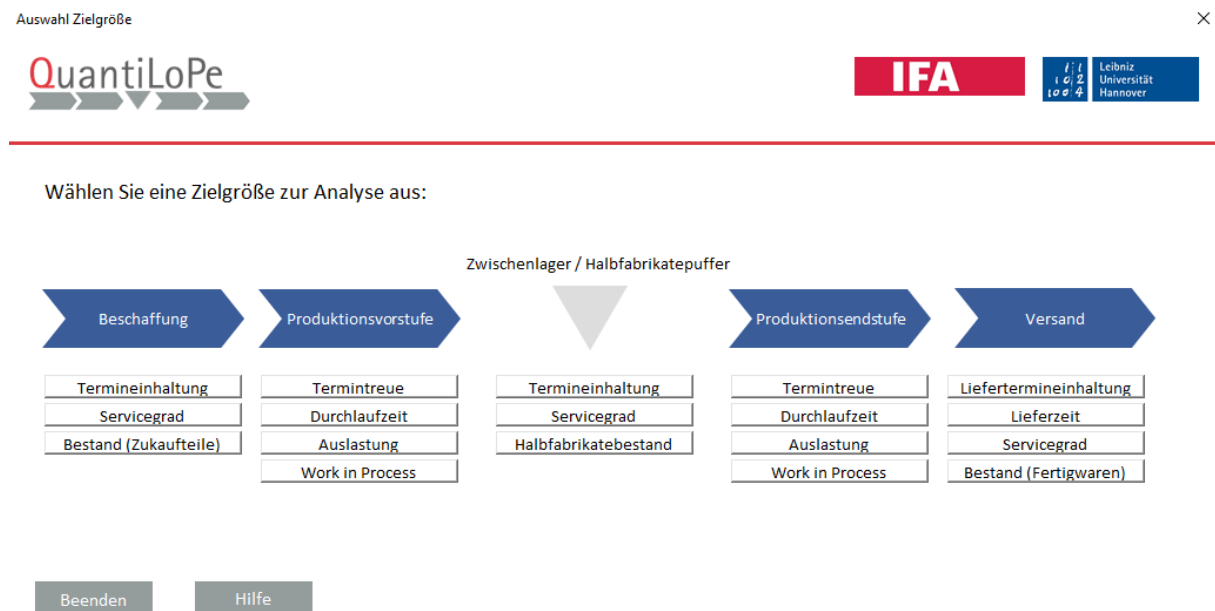


Abbildung 3-14: Auswahl der zu betrachtenden Zielgröße

Anschließend startet die Analyse der ausgewählten Zielgröße (Abbildung 3-15). Um eine unvoreingenommene Analyse zu ermöglichen, sind zu Beginn der Analyse keine Wirkbeziehungen dargestellt. Die individuellen Ursachenbeziehungen werden im Laufe der Analyse sukzessive aufgebaut. Jedoch besteht jederzeit die Möglichkeit, die kompletten Ursachenbäume per Klick anzuzeigen, wenn lediglich ein Überblick über die bestehenden Wechselwirkungen benötigt wird (bspw. zu Schulungszwecken).

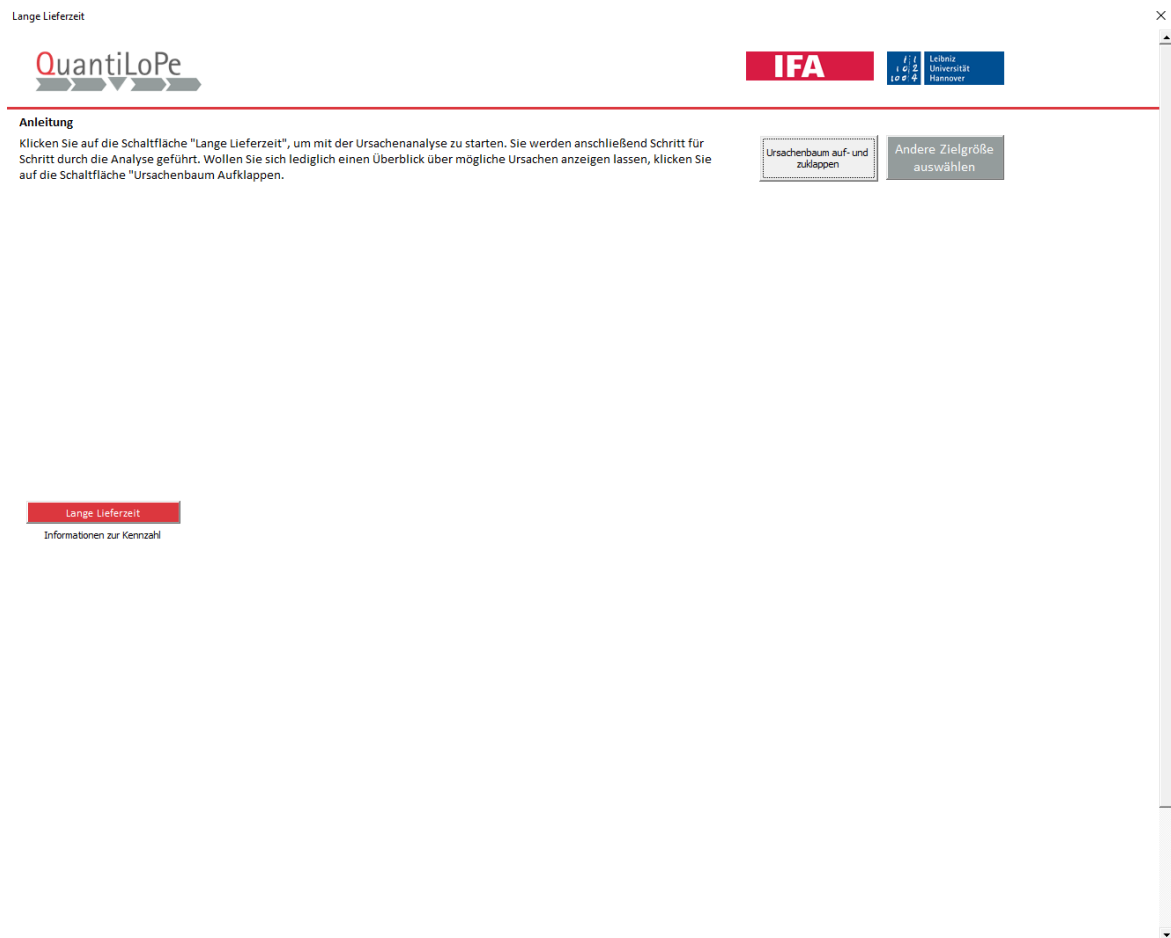


Abbildung 3-15: Exemplarische Ausgangsansicht zum Analysestart für die Zielgröße Lieferzeit

Zu jeder Zielgröße sind zusätzliche Informationen aus dem in Arbeitspaket 3 entwickelten Analyseleitfaden hinterlegt (Abbildung 3-16). Diese beinhalten neben der Kennzahlendefinition, zusätzliche Hinweise zu ihrer Interpretation sowie Hinweise auf mögliche Datenfehler. Falls vorhanden, werden zudem in einem zweiten Reiter „Kennzahlenübersicht“ relevante Kennzahlen zur Berechnung und/oder Interpretation der Zielgröße bereitgestellt.

Steckbrief

Definition Kennzahlenübersicht

QuantiloPe

Zurück

IFA

Leibniz  
Universität  
Hannover

### Steckbrief: Lieferzeit

#### Definition

Die Lieferzeit ergibt sich aus der Summe der Durchlaufzeiten der Aufträge durch die kundenauftragsspezifischen Prozesse der unternehmensinternen Lieferkette zuzüglich der zusätzlich eingeplanten Sicherheitszeiten und einer Transportzeit, sofern diese bei der Messung der Lieferzeit berücksichtigt werden soll.

$$\text{Lieferzeit} = \sum_{i=1}^n (ZDL_i + SZ_i) + ZTR$$

$ZDL_i$  Auftragsdurchlaufzeit für kundenauftragsspezifischen Prozess  $i$  [BKT]  
 $SZ_i$  Sicherheitszeit für kundenauftragsspezifischen Prozess  $i$  [BKT]  
 $n$  Anzahl der kundenauftragsspezifischen Prozessschritte im Auftragsdurchlauf

Somit wird die Lieferzeit maßgeblich durch die Lage des Kundenauftragsentkopplungspunktes (KEP) bestimmt:

KEP: Kundenauftragsentkopplungspunkt  
LZ: Lieferzeit

Die Lieferzeit ist bspw. für einen Lagerfertiger nur von der Transportzeit abhängig, sofern die Lagerartikel verfügbar sind. Für einen Engineer-to-Order Prozess hingegen setzt sich die Lieferzeit aus der Wiederbeschaffungszeit fremdbeschaffter Materialien, der internen Durchlaufzeit durch die Produktion sowie der Transportzeit zusammen (zzgl. Engineering).

Aus Rückmeldedaten kann die Lieferzeit für jeden Kundenauftrag auch einfach aus der Differenz zwischen dem Fertigstellungstermin und dem Starttermin des ersten Arbeitsganges des Auftrags ermittelt werden.

Die Bewertung der resultierenden mittleren Lieferzeit sollte sich an den Kundenwünschen orientieren. So kann die Ziel-Lieferzeit aus Branchenbenchmarks oder Kundenbefragungen abgeleitet werden. Hierzu ist eine Abstimmung mit dem Vertrieb notwendig. Zur Reduktion der Lieferzeiten sollte zunächst das Durchlaufzeitpotenzial der einzelnen Produktionsbereiche im Rahmen einer Durchlaufzeitanalyse ermittelt werden. Reichen die so erzielten Durchlaufzeitpotenziale nicht aus, um die vorgegebene Ziel-Lieferzeit zu erreichen, sind strukturelle Maßnahmen (z.B. Einführung/Verschiebung KEP) zu ergreifen.

Hinweise auf mögliche Datenfehler

Abbildung 3-16: Exemplarischer Auszug der hinterlegten Informationen zur Zielgröße Lieferzeit

Durch einen Klick auf den Button „Lange Lieferzeit“ in Abbildung 3-15 werden die Anleitungen für die erste Analyseebene dargestellt. Der Aufbau der Anleitung ist für jede Analyseebene identisch. In dem Reiter Analyseverfahren sind die ausführlichen Anleitungen der durchzuführenden Analysen hinterlegt. Zudem wird der jeweils benötigte Datenbedarf für jeden Analyseschritt aufgelistet. So können direkt die benötigten Daten gebündelt bereitgestellt bzw. geeignete Ansprechpartner zur Datenbereitstellung festgelegt werden. Die Analysen laufen meist in mehreren Schritten ab. Die Leitfäden zu den einzelnen Analyseschritten können zur besseren Übersichtlichkeit einzeln aufgerufen werden.

Darüber hinaus sind zwei weitere Reiter in jedem Analysefenster integriert. Unter dem Reiter „verwendete Methoden“ sind umfangreiche Informationen zu den jeweils eingesetzten Analysemethoden/-werkzeugen zu finden (Abbildung 3-18). Neben den theoretischen Grundlagen sind dort auch Hinweise zur praktischen Anwendbarkeit hinterlegt. Der Reiter „Kennzahlenübersicht“ enthält die relevanten Kennzahlen mitsamt ihrer Berechnungsvorschrift (Abbildung 3-19).

1. Analyseebene Lieferzeit

Analyseverfahren | Verwendete Methoden | Kennzahlenübersicht

**QuantiLoPe** Zurück **IFA** Leibniz Universität Hannover

---

**Entscheidung: Lange Durchlaufzeiten bzw. Wiederbeschaffungszeiten vorgelagerter auftragsbezogener Prozesse, lange Sicherheitszeit oder lange Prozesszeiten im Versand**

**Datenbedarf:**  
 Auftragsdurchlaufzeit ist je fertiggestelltem Produktionsauftrag, Sicherheitszeit, Durchlaufzeiten ist im Versandbereich je ausgeliefertem Kundenauftrag, ggf. Transportzeiten zu den Kunden

**Analyseverfahren:**  
 Zum einen können, die dem Versandbereich vorgelagerten Bereiche bereits eine lange Auftragsdurchlaufzeit aufweisen, die in Summe zu einer langen Lieferzeit führen. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob lange Sicherheitszeiten als Lieferzeitpuffer zur Kompensation von Terminabweichungen eingeplant werden, da sich die Lieferzeit proportional zur eingeplanten Sicherheitszeit verlängert. Zudem ist es möglich, dass die Durchlaufzeit im Versandprozess selber hoch ist. Dies kann insbesondere für Lagerfertiger relevant sein, da in diesem Fall die Lieferzeit der Prozesszeit im Versand (Kommissionieren, Verpacken, Versenden) entspricht.

Im Falle einer MTO-Fertigung sollten unabhängig vom Versandprozess auf jeden Fall die vorgelagerten Prozesse sowie die Sicherheitszeit analysiert werden, da diese in der Regel den Großteil der Auftragsdurchlaufzeit verursachen.

Folgende Schritte sind durchzuführen:  
 Analyse der Auftragsdurchlaufzeiten  
 Analyse der Sicherheitszeit

**Wählen Sie eine Ursache aus:**  
 Lange Durchlaufzeiten/Wiederbeschaffungszeiten vorgelagerter auftragspezifischer Prozesse  
 Lange Sicherheitszeit eingeplant, Lange Prozesszeiten im Versand  
 Lange Prozesszeiten im Versand

Analyse fortsetzen

Abbildung 3-17: Exemplarische Darstellung der Anleitung zum ersten Analyseschritt für eine lange Lieferzeit

2. Analyseebene lange Sicherheitszeit

Analyseverfahren | Verwendete Methoden | Kennzahlenübersicht

**Verwendete Methoden:**  
**Terminabweichungshistogramm**  
 Modellgrundlagen  
 Zusammenfassung Terminabweichungshistogramm

**Termineinhaltungskennlinie**  
 Modellgrundlagen  
 Zusammenfassung Termineinhaltungskennlinien

**Terminabweichungshistogramm**

Das Terminabweichungsverhalten eines Versorgers (gesamte Lieferkette, Beschaffung, Produktionsbereich, Arbeitssystem) kann anschaulich anhand von Histogrammen dargestellt werden. Histogramme eignen sich in diesem Kontext zur Strukturierung und Veranschaulichung vorhandener Rückmeldedaten. Zur Analyse der Terminabweichung eines Versorgungsprozesses werden in einem Terminabweichungshistogramm die Häufigkeiten einzelner Terminabweichungsklassen bezogen auf die im Untersuchungszeitraum fertiggestellten Aufträge aufgetragen. Die Terminabweichungsverteilung kann somit anhand diskreter Werte für einzelne Terminabweichungsklassen angenähert werden.

Für Terminabweichungshistogramme gibt es verschiedene Darstellungsformen. Die Häufigkeit einzelner Terminabweichungen kann zum einen sowohl absolut als auch relativ dargestellt werden (siehe nachfolgendes Beispiel). Die Bezugsgröße für die relative Darstellung stellt stets die Gesamtheit aller betrachteten Aufträge im Untersuchungszeitraum dar.

**Terminabweichungsverteilung absolut**

**Terminabweichungsverteilung relativ**

Die absoluten Häufigkeiten je Terminabweichungsklasse entsprechen in diesem Beispiel jeweils der Anzahl von Aufträgen, die der entsprechenden Terminabweichungsklasse zugeordnet werden können.

$$H(TA) = \sum \alpha_i$$

$H$  Absolute Häufigkeit, z.B. Anzahl Aufträge je Terminabweichungsklasse [-]  
 $TA_i$  Terminabweichung oder Terminabweichungsklasse [BKT]  
 $\alpha_i$  Auftrag mit Terminabweichung  $TA_i$  [-]

Für die relative Darstellung der Terminabweichungsverteilung wird jeweils die relative Häufigkeit je Terminabweichungsklasse ermittelt. Die relative Häufigkeit  $h(TA)$  entspricht dem Quotienten aus der absoluten Häufigkeit  $H(TA)$ , welche der absoluten Anzahl von Aufträgen je Terminabweichungsklasse entspricht, und der Gesamtanzahl  $n$  der betrachteten Aufträge im Untersuchungszeitraum.

$$h(TA_i) = \frac{\alpha_i}{n}$$

Abbildung 3-18: Exemplarische Darstellung der Inhalte des Reiters "Verwendete Methoden"

2. Analyseebene lange Sicherheitszeit

Analysevorgehen | Verwendete Methoden | Kennzahlenübersicht

---

Relevante Kennzahlen

- Auftragsstruktur
- Durchlaufzeit
- Leistung
- Termin
- Auftragsbestand
- Lagerbestand

---

KENNZAHLEN DER AUFTRAGSSTRUKTUR

$$ZAU_i = \frac{\sum_1^n x \cdot t_p + t_r}{60}$$

$ZAU_i$ : Auftragszeit (Vorgabezeit) eines Auftrages  $i$  für einen Arbeitsvorgang [Std]  
 $x$ : Losgröße [Stk]  
 $t_p$ : Einzelzeit (Vorgabezeit) je Mengeneinheit [min/Stk]  
 $t_r$ : Rüstzeit je Los [min]

$$ZAU_m = \frac{\sum_1^n ZAU_i}{n}$$

$ZAU_m$ : Mittlere Auftragszeit [Std]  
 $ZAU_i$ : Auftragszeit (Vorgabezeit) eines Auftrages  $i$  für einen Arbeitsvorgang [Std]  
 $n$ : Anzahl Aufträge im Betrachtungszeitraum

$$ZAU_s = \sqrt{\frac{\sum_1^n (ZAU_m - ZAU_i)^2}{n}}$$

$ZAU_s$ : Standardabweichung der Auftragszeit [Std]  
 $ZAU_m$ : Mittlere Auftragszeit [Std]  
 $ZAU_i$ : Auftragszeit (Vorgabezeit) eines Auftrages  $i$  für einen Arbeitsvorgang [Std]  
 $n$ : Anzahl Aufträge im Betrachtungszeitraum

$$ZAU_v = \frac{ZAU_s}{ZAU_m}$$

$ZAU_v$ : Variationskoeffizient der Auftragszeit [-]  
 $ZAU_s$ : Standardabweichung der Auftragszeit [Std]  
 $ZAU_m$ : Mittelwert der Auftragszeit [Std]

Abbildung 3-19: Auszug aus der implementierten Kennzahlenübersicht

Nachdem alle Analyseschritte durchlaufen sind, wird ausgewählt, welche Ursache auf der jeweiligen Ursachenebene, den größten Einfluss auf die resultierende Zielgröße hat. Anschließend gelangt der Anwender zur nächsten Ursachenebene, wobei sich der Ursachenbaum mit jedem Analyseschritt weiter aufbaut. Dabei ist der individuell identifizierte Ursachenpfad rot gekennzeichnet. Auf diese Weise wird der Anwender Schritt für Schritt durch die Ursachenanalyse geführt, bis die individuell vorliegende Primärursache identifiziert ist (Abbildung 3-20). Abschließend können die möglichen Maßnahmen zu den Primärursachen aufgerufen werden. Dabei wurden die in Arbeitspaket 4 identifizierten Maßnahmen verwendet und den jeweiligen Primärursachen zugeordnet.



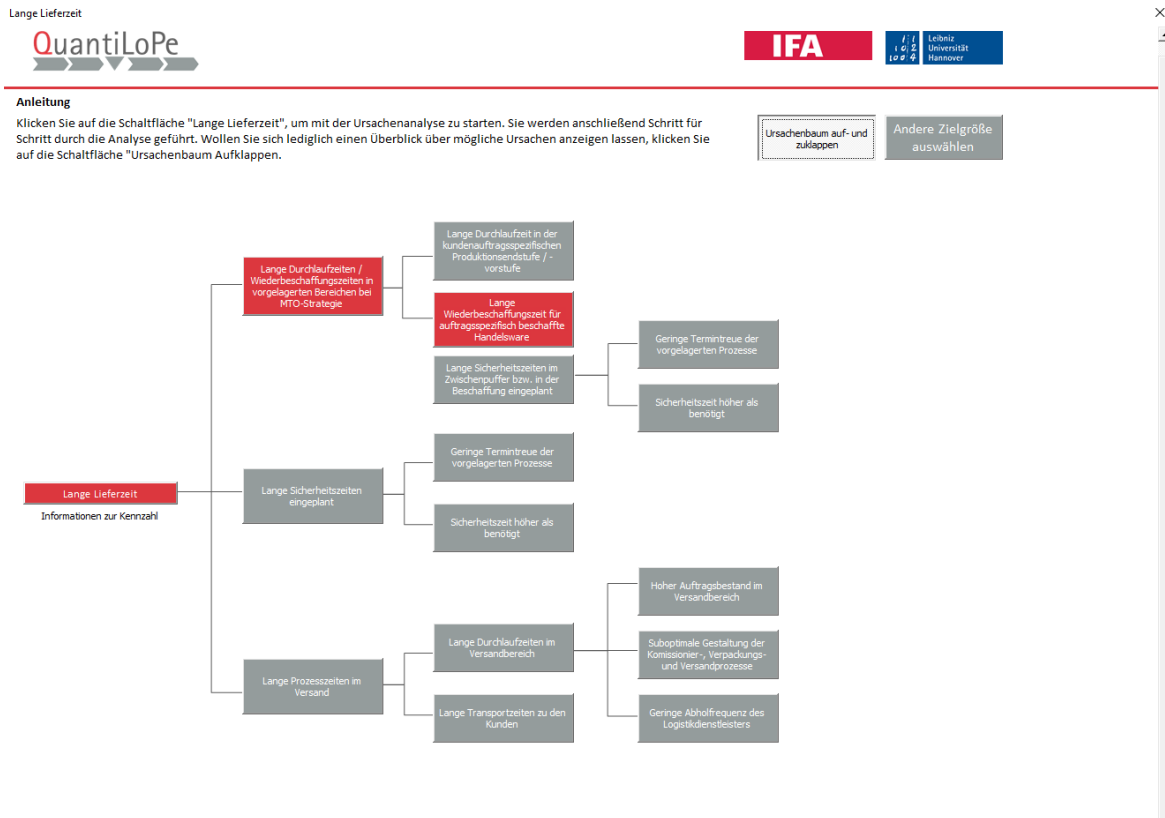


Abbildung 3-20: Exemplarische Darstellung des Ergebnisses nach einem Analysedurchlauf

Maßnahmen lange Wiederbeschaffungszeit

Mögliche Maßnahmen	Wirkung	Umsetzung	Aufwand
Wechsel der Beschaffungsstrategie von Source-to-Order zu Source-to-Stock (Vorratsbeschaffung)	- Materialien sind ab Lager verfügbar - Erhöhung der Bestände im Beschaffungslager (Abschätzung des Bestandsniveaus über Servicegradkennlinie möglich)	mittel-/langfristig	hoch
Wechsel des Beschaffungsmodells zu Konsignationsprinzip	- Materialien sind ab Lager verfügbar - ggf. Bereitstellung von Lagerflächen erforderlich - Bestandsverantwortung und Kosten der Bestandsführung liegen bei Lieferanten - steigende Einkaufspreise	mittel-/langfristig	hoch
Wechsel des Beschaffungsmodells zu Abrufbestellungen	- ggf. kürzere Wiederbeschaffungszeit, da Materialien ab Lager vom Lieferanten abrufbar - höhere Einkaufspreise - in der Regel Rahmenverträge benötigt	mittel-/langfristig	hoch
Lieferantenwechsel	- kürzere Wiederbeschaffungszeiten möglich, sofern alternative Lieferanten existieren - Auswirkungen auf Qualität und Versorgungssicherheit sind zu berücksichtigen und abzuwägen	kurz-/mittelfristig	mittel
Lieferantenentwicklung	- Verbesserung der logistischen Performance der Lieferanten durch gemeinsame Prozessoptimierungen - Hoher Aufwand erforderlich	langfristig	hoch

Abbildung 3-21: Exemplarische Darstellung des integrierten Maßnahmenkatalogs

Zur Steigerung einer öffentlichen Verbreitung des entwickelten Softwaredemonstrators und der integrierten Projektergebnisse, wird der VBA-basierte Demonstrator aktuell in eine frei zugängliche Web-Anwendung überführt ([www.quantilope-ifa.de](http://www.quantilope-ifa.de)). Diese soll Teil einer umfangreichen Plattform zur Bereitstellung neuester Erkenntnisse aus der Forschung im Bereich des Produktionsmanagements des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik werden. Der so entstehende national sowie international einzigartige Wissenspool soll Unternehmen und Praxisanwender bei den vielfältigen Fragestellungen des Produktionsmanagements unterstützen.

### Workshop-Konzept

Das entwickelte Workshop-Konzept ist eingebettet in den DMAIC-Zyklus, der häufig im Rahmen von Verbesserungsprojekten Anwendung findet (Abbildung 3-22). Dabei wird insbesondere das Vorgehen in der Analysephase durch die entwickelte Analysesystematik vorgegeben und die Implementierungsphase durch die Auswahl geeigneter Maßnahmen vorbereitet. Grundlage zur Anwendung der Analysesystematik ist, dass in einem ersten, vorangehenden Schritt das Analyseobjekt definiert wird. Dies beinhaltet insbesondere die Auswahl der zu betrachtenden Lieferkette und ggf. bereits eine Eingrenzung des Problembereichs entlang der Lieferkette. Darüber hinaus sollte ein Gefühl für die logistische Leistungsfähigkeit bestehen und bestenfalls die aktuellen Ausprägungen der logistischen Zielgrößen quantifiziert werden. Hierbei können die in Arbeitspaket 1 definierten Kennzahlen verwendet werden. Aus diesen Vorüberlegungen resultieren auch der entsprechende Teilnehmerkreis bzw. die Zusammensetzung des Projektteams.

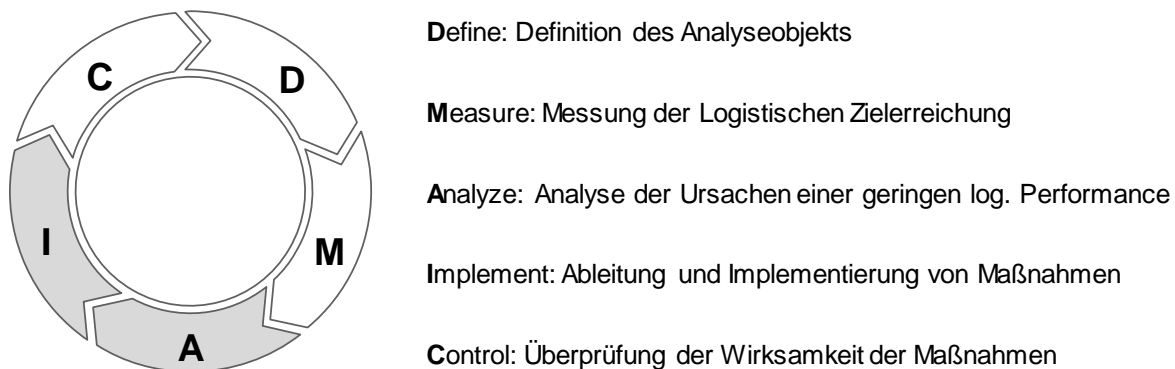


Abbildung 3-22: Einbettung des Workshop-Konzepts in den DMAIC-Zyklus

Auf dieser Basis baut das Workshop-Konzept auf. Die Analysephase beginnt mit einem gemeinsamen Kick-Off Workshop des gesamten Projektteams (vgl. linker Teil in Abbildung 3-23). Nach einer kurzen Vorstellungsrunde werden zunächst die theoretischen Grundlagen der nachfolgenden Analysephase dargestellt. Dies beinhaltet insbesondere einen Überblick über die relevanten logistischen Zielgrößen sowie deren Wechselwirkungen. Anschließend folgen die Grundlagen des Produktionscontrollings und eine kurze Einführung in die verwendeten Logistischen Modelle. Anschließend erfolgt eine gemeinsame Aufnahme der zu betrachtenden Lieferkettenstruktur bevor in einer gemeinsamen Diskussion die Symptomidentifikation stattfindet. Dazu wird sowohl auf die im Vorfeld aufgenommenen logistischen KPIs zurückgegriffen, als auch auf Experteneinschätzung. Insbesondere der Vertrieb sollte einschätzen, welche der Zielgrößen den größten Einfluss auf die resultierende Kundenzufriedenheit haben. Nachdem das Analyseobjekt somit vollständig festgelegt ist, beginnt die Vorbereitung der Analysephase. Dazu wird der entwickelte Softwaredemonstrator und das Analyseverfahren zunächst in seiner Funktion und seinem Funktionsumfang erklärt. Anschließend werden die relevanten Wirkbeziehungen Schrittweise erläutert, bestehende Fragen geklärt und ggf. unternehmensspezifische Zusammenhänge ergänzt sowie Einschätzungen zu möglichen Problemen durch die Teilnehmenden Prozessexperten eingeholt, die bei den nachfolgenden quantitativen Analysen be-

rücksichtigt werden. Weichen die Experteneinschätzungen bspw. sehr stark von den Ergebnissen der quantitativen Analyse ab, ist ggf. die Datenbasis zu hinterfragen. Anschließend wird ein Datenanforderungskatalog aus den, in dem Softwaredemonstrator hinterlegten Angaben erstellt und Verantwortliche sowie Ansprechpartner zur Datenbereitstellung und Ursachenanalyse definiert. Abschluss des Kickoff-Workshops bildet die Festlegung eines Zeitplans, der den zeitlichen Rahmen der Ursachenanalyse vorgibt. Anschließend erfolgen die durchzuführenden Analysen dezentral anhand der bereitgestellten Analyseleitfäden.

Sind die Analysen abgeschlossen, wird die Analysephase mit einem Ergebnisworkshop abgeschlossen (vgl. rechter Teil von Abbildung 3-23). Dabei erfolgt eine Vorstellung und Diskussion der Analyseergebnisse sowie eine Ableitung geeigneter Maßnahmenvorschläge. Diese werden detailliert und ein Umsetzungsfahrplan erstellt. Falls möglich sollte dieser auch eine Aufwands-/Nutzenabschätzung enthalten. Die so erzielten Ergebnisse dienen letztendlich als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl umzusetzender Verbesserungsmaßnahmen.

**Kickoff-Workshop**

1	Begrüßung und Vorstellungsrunde
2	Theoretische Grundlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>Logistische Zielgrößen</li> <li>Produktionscontrolling</li> <li>Logistische Modelle</li> </ul>
3	Aufnahme der zu betrachtenden Lieferkettenstruktur
4	Symptomidentifikation / Auswahl der zu betrachtenden Zielgröße
5	Vorbereitung der Ursachenanalyse <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen des Analysevorgehens</li> <li>Qualitative Experteneinschätzung der Problemursachen</li> <li>Festlegung der Datenbasis</li> <li>Festlegung von Verantwortlichkeiten und Ansprechpartnern</li> <li>Zeitplan der Ursachenanalyse</li> </ul>

**Ergebnis-Workshop**

1	Begrüßung
2	Vorstellung und Diskussion der Analyseergebnisse
3	Maßnahmenableitung
4	Vorbereitung eines Umsetzungsfahrplans

**Teilnehmerkreis:**

- Produktionscontroller / Produktionsplaner,
- IT-Experte,
- Verantwortliche aus den Bereichen Vertrieb, Produktion, Lagerwirtschaft und Beschaffung

Abbildung 3-23: Darstellung des Workshop-Ablaufs

## 4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen

Hersteller müssen sich den Herausforderungen der globalen Märkte stellen. Begrenzte Differenzierungspotenziale von Produkten durch Funktionalität, Qualität oder Preis erhöhen die Bedeutung der Logistikleistung als wesentlichen Wettbewerbsfaktor [31]. Somit bietet die Realisierung einer hohen logistischen Performance Unternehmen die Möglichkeit, sich im Wettbewerbsumfeld gegenüber Konkurrenten optimal zu positionieren und dadurch langfristig im Markt erfolgreich bestehen zu können. Studien zeigen, dass Unternehmen, die eine konsequente Optimierung ihrer Lieferkette im Hinblick auf logistische Ziele anstreben, ihren Markterfolg nachweislich steigern können [38]. Dennoch haben viele Unternehmen Schwierigkeiten, ihre eigenen und marktseitigen Ansprüche an die logistische Leistungsfähigkeit zu erfüllen [32]. Die Sicherstellung einer hohen logistischen Performance von KMU stellt eine große Herausforderung dar, da sie von einer validen quantitativen Analyse der Primärursache einer geringen logistischen Performance abhängig ist. Häufig führen in der Praxis ausgewählte Maßnahmen nur zu einer unzureichenden Steigerung der logistischen Performance, da viele Unternehmen aufgrund der Komplexität logistischer Zusammenhänge nur das Symptom beheben. Somit verpassen die Unternehmen die Chance, die eigentliche Ursache des Problems zu beseitigen und damit eine tatsächliche und nachhaltige Steigerung der logistischen Performance zu realisieren.

Die in dem Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes erzielten Ergebnisse unterstützen insbesondere KMU bei der Bewältigung dieser Herausforderung. Zum einen wurden erstmalig die komplexen logistischen Wirkbeziehungen in einer anschaulichen und strukturierten Form aufgearbeitet. Damit wird das Verständnis von KMU über bestehende Ursache-Wirkungszusammenhänge in ihrer unternehmensinternen Lieferkette deutlich gestärkt. Im Rahmen des entwickelten Analyseverfahrens müssen sich die Mitarbeiter von KMU intensiv mit der Thematik der logistischen Performance und deren Einflussfaktoren beschäftigen, was zu einer erhöhten Mitarbeiterqualifikation beiträgt. Zudem lassen sich die beschriebenen Wirkzusammenhänge in Schulungs- und Weiterbildungskonzepte integrieren. Sind bestehende Zusammenhänge erst einmal bekannt, können diese bei den alltäglichen Entscheidungen berücksichtigt und Fehler somit frühzeitig vermieden werden, woraus eine langfristige Steigerung der logistischen Performance resultiert.

Darüber hinaus steht KMU mit dem entwickelten Softwaredemonstrator ein umfangreicher digitaler Analyseleitfaden zur Verfügung, der eine kostenneutrale Anwendung der erzielten Forschungsergebnisse zur Identifikation der primären Ursachen einer geringen logistischen Performance ermöglicht. Ausgehend von einem identifizierten Symptom werden KMU befähigt, eigenständig umfassende logistische Analysen durchzuführen und auf Basis vorhandener Daten die vorrangigen Ansatzpunkte für Verbesserungen gezielt zu identifizieren. Die anwenderfreundliche Gestaltung stellt die relevanten Informationen für jeden Analyseschritt gezielt zur Verfügung, wodurch auch eine Anwendung für unerfahrene Mitarbeiter ohne Vorkenntnisse ermöglicht wird. Darüber hinaus vermittelt das entwickelte Analyseverfahren wertvolle Hinweise darüber, welche Daten zu welchem Zweck aufzunehmen sind und welche Aussagen aus den aufgenommenen Rückmeldedaten gezogen werden können. Damit werden KMU bei einer anforderungsgerechten und zielführenden Digitalisierung ihrer Produktion unterstützt. Zudem besteht das Potenzial, aufbauend auf der entwickelten Analysesystematik intelligente IT-Systeme zu entwickeln, die eigenständig bestehende Potenzialfelder identifizieren und somit zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz im Produktionscontrolling beitragen.

Sind die Primärursachen identifiziert, ermöglicht der integrierte Maßnahmenkatalog die Ableitung effektiver Maßnahmen zur Ursachenbeseitigung. Die Wirkung der Maßnahmen kann über die beschriebenen Wirkzusammenhänge zudem unmittelbar eingeschätzt werden. Somit wird einer Ableitung nicht wirksamer Maßnahmen mit unerwünschten Nebeneffekten entgegengewirkt. Das rahmenspannende Workshop-Konzept befähigt KMU schlussendlich zur eigenständigen Definition und Durchführung umfangreicher Analyse- und Verbesserungsprojekte ohne auf externe Unterstützung angewiesen zu sein.

Im Gesamtergebnis kann durch eine Steigerung der logistischen Performance die Effizienz produktionslogistischer Prozesse nachhaltig gesteigert werden. Die Identifikation von Ursachen und die geeignete Initiierung von Maßnahmen führen ferner zu einer Reduktion der Logistikkosten. Eine verbesserte logistische Performance, bspw. durch eine verbesserte Liefertermineinhaltung oder kürzere Lieferzeiten, leistet einen zentralen Beitrag als wichtiges Kaufkriterium bei den Kunden und verbessert somit die Wettbewerbsfähigkeit von KMU.

Der insgesamt durch die Projektergebnisse erzielbare Nutzen wurde durch die verschiedenen Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses unabhängig voneinander attestiert.

## **5 Verwendung der Zuwendung**

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte über den Zeitraum vom 01.12.2016 bis 31.12.2018 am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover durch eine Stelle (TV-L 13) aus der Fachgruppe Produktionsmanagement. Die Stelle wurde über die gesamte Laufzeit von einem Mitarbeiter mit großem Erfahrungsschatz des Produktionsmanagements und des modellbasierten Produktionscontrollings besetzt.

Während der Projektlaufzeit wurde der wissenschaftliche Mitarbeiter bei den Literaturrecherchen, bei den Workshops und Diskussionen in den Unternehmen, bei der Vor- und Nachbereitung der Treffen des projektbegleitenden Ausschusses und bei der Dokumentation der Ergebnisse durch studentische Hilfskräfte unterstützt.

Des Weiteren wurden durch Studierende der Leibniz Universität Hannover folgende studentische Arbeiten zu diesem Thema bearbeitet und durch das IFA betreut:

- 3 Masterarbeiten
- 1 Studienarbeit
- 1 Bachelorarbeit

Die erzielten Ergebnisse fließen zudem in das Dissertationsvorhaben des Projektbearbeiters ein.

## **6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Während des Projektverlaufs und auch nach Projektende bestätigte sich, dass die geleistete Arbeit in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag entsprach. Der im Antrag kalkulierte Aufwand war somit für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

## 7 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind bereits während der Projektlaufzeit entsprechend der geplanten Maßnahmen durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse befinden sich aktuell in der Umsetzung und sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Alle noch ausstehenden Maßnahmen sind bereits angestoßen worden. Eine Umsetzung im geplanten Zeitraum wird daher als realistisch eingeschätzt. Der gesamte Plan zum Ergebnistransfer ist Tabelle 7-2 zu entnehmen.

Während der Projektdurchführung wurden die (Zwischen-)Ergebnisse laufend in den Projektausschusstreffen sowie gegenüber weiteren interessierten Unternehmen bekannt gemacht. Dadurch konnte zum einen ein erster Wissenstransfer in die Wirtschaft angestoßen und zum anderen wichtiger Input für die Modellerstellung gewonnen werden. Die Umsetzbarkeit der Ergebnisse ist damit zu jeder Zeit gewährleistet gewesen. Da neben KMU auch drei größere Unternehmen zum projektbegleitenden Ausschuss zählten, konnten ebenfalls bereits Multiplikatoren mit großer Reichweite gewonnen werden.

Die Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses sind in der Tabelle 7-1 aufgeführt:

Tabelle 7-1: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses

Unternehmen	kmU	Ansprechpartner
ContiTech Transportbandsysteme GmbH		Hr. Dr. Sebastian Beck
Grean GmbH	x	Hr. Dr. Tim Busse
GTT Gesellschaft für Technologie Transfer mbH	x	Fr. Dr. Julia Gerth
ILFA GmbH	X	Hr. Johannes Blum Hr. Marc Piepersberg
Logivations GmbH	X	Fr. Dr. Suzanne van der Ster
Mahr GmbH		Hr. Christian Hofmeister
Priess, Horstmann & Co. Maschinenbau GmbH & Co. KG	X	Hr. Christoph Kuhlmann
WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG		Hr. Fabian Rinne



Tabelle 7-2: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
<b>Im Berichtszeitraum umgesetzte Transfermaßnahmen</b>			
Projekthomepage	Bereitstellung aller Informationen zu dem Forschungsprojekt	Internetseite des Projekts: <a href="https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope">https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope</a>	Seit 12/2016
Projektbegleitender Ausschuss	Sicherstellung der Ausrichtung an KMU-Anforderungen	5 Arbeitstreffen am IFA und bei den Unternehmen vor Ort (PA-Sitzungen)	2/2017 – 12/2018
		Diskussionen und Workshops mit PA-Mitgliedern hinsichtlich bestehender Wirkbeziehungen und sonst. Projektergebnisse	5/2017 – 12/2018
		Beispielhafte Anwendung des Analysevorgehens	7/2018
Zwischenbericht	Bereitstellung des Zwischenberichts für die Öffentlichkeit	Durch die BVL <a href="http://www.bvl.de">www.bvl.de</a>	03/2018
Konferenzen und Tagungen	Frühzeitige Diskussion der Ergebnisse in der Forschung	Teilnahme an: Global Conference on Business and Finance (GCBF) 2017 Deutscher Logistikkongress 2018 (Science Pitch: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=f1EumPabEUE">https://www.youtube.com/watch?v=f1EumPabEUE</a> ) WGP-Jahreskongress 2018	06/2017 – 12/2018
Veröffentlichungen	Transfer der Forschungsergebnisse	Veröffentlichungen: Härtel, L.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2017): Logistikcontrolling der unternehmensinternen Lieferkette, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 112 (4), S. 238-242	4/2017
		Härtel, L. (2017): Quantitative root cause analysis of low logistics performance in company internal supply chains, Global Conference on Business and Finance Proceedings, Vol. 12, No. 2. San Jose: The Institute for Business and Finance Research, pp. 146-154	6/2017
		Härtel, L.; Nyhuis, P. (2018): Systematic Data Analysis in Production Controlling Systems to Increase Logistics Performance, Schmitt R., Schuh G. (eds) Advances in Production Research. Proceedings of the 8th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Aachen, November 19-20, 2018	12/2018
Bereitstellung des Software-demonstrators	Diskriminierungsfreier Ergebnistransfer in die	Internetseite des Projekts: <a href="https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope">https://www.ifa.uni-hannover.de/quantilope</a>	Seit 02/2019/

	wirtschaftliche Praxis		
Integration der Ergebnisse in das Lehrangebot des IFA	Vermittlung der Erkenntnisse an zukünftige Ingenieure	Integration von Teilergebnissen in die Vorlesung „Produktionsmanagement und -logistik“	Seit 12/2017
<b>Nach dem Berichtszeitraum geplante Transfermaßnahmen</b>			
Veröffentlichung	Transfer der Forschungsergebnisse	Härtel, L.; Schmidt, M.: Analyzing the root-causes of a low schedule reliability in industrial production departments: A systematic quantitative approach, in: Logistics Research (geplante Einreichung 04/2019)  Erstellung einer Dissertation (Lasse Härtel)	Einreichung 04/2019  Voraussichtlich 05/2020
Abschlussbericht	Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse an die Öffentlichkeit	Internetseiten des IFA und der BVL e. V.	voraussichtlich 4/2019
Überführung des Software-demonstrators in eine frei zugängliche Web Anwendung	Weiterführende Verbreitung der Ergebnisse an die Öffentlichkeit	<a href="http://www.quantilope-ifa.de">www.quantilope-ifa.de</a>	Voraussichtlich 06/2019
Integration der Ergebnisse in das Lehrangebot des IFA	Vermittlung der Erkenntnisse an zukünftige Ingenieure	Integration weiterer Projektergebnisse in die Vorlesung „Produktionsmanagement und –logistik“	voraussichtlich 10/2019
IFA-Lernfabrik	Integration der Forschungsergebnisse in das Weiterbildungsprogramm für Fach- und Führungskräfte	<a href="http://www.ifa-lernfabrik.de">www.ifa-lernfabrik.de</a>	voraussichtlich 10/2019

## **8 Durchführende Forschungsstelle**

Das Forschungsprojekt „Quantitative Analyse und Bewertung der Ursachen einer geringen logistischen Performance entlang der unternehmensinternen Lieferkette (QuantiLoPe)“ wurde über die gesamte Laufzeit von der Forschungsinstitution IFA - Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) bearbeitet. Verantwortlich für die Projektleitung bei der Forschungsstelle war die Fachgruppe Produktionsmanagement. Dadurch wurde sichergestellt, dass jahrelange Erfahrungen im Bereich der quantitativen modellbasierten Lieferkettenbewertung und-gestaltung in die Projektergebnisse einfließen.

### **Forschungsstelle:**

IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik  
An der Universität 2  
30823 Garbsen

### **Leiter der Forschungsstelle**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis  
Institutsleitung  
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
Tel: 0511 762 3390

### **Projektbearbeiter**

Lasse Härtel, M.Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Produktionsmanagement des IFA  
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
Tel: 0511 762 18193  
Email: haertel@ifa.uni-hannover.de

## **9 Förderhinweis**

Das IGF-Vorhaben 19223 N der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.  
Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] M. Schmidt, P. Schäfers, The Hanoverian Supply Chain Model: modelling the impact of production planning and control on a supply chain's logistic objectives, *Prod. Eng. Res. Devel.* 11 (2017) 487–493.
- [2] Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI 4400 Blatt 1: Logistikkennzahlen für die Beschaffung, Beuth, Berlin, 2001.
- [3] Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI 4400 Blatt 2: Logistikkennzahlen für die Produktion, Beuth, Berlin, 2004.
- [4] Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI 4400 Blatt 3: Logistikkennzahlen für die Distribution, Beuth, Berlin, 2002.
- [5] M. Schmidt, Beeinflussung logistischer Zielgrößen in der unternehmensinternen Lieferkette durch die Produktionsplanung und -steuerung und das Produktionscontrolling. Habilitationsschrift, Hannover, 2018.
- [6] H. Wannenwetsch, Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung, 5th ed., Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- [7] J. Mayer, P. Nyhuis, Cybernetic Approach for Interdepartmental Cause-effect Relationship Modelling, *Universal Journal of Management* 4 (2016) 488–499.
- [8] H. Lödning, Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, 3rd ed., Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [9] P. Nyhuis, H.-P. Wiendahl, Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3rd ed., Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [10] P. Nyhuis, H.-P. Wiendahl, Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3rd ed., Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2012.
- [11] J. Nywlt, Logistikorientierte Positionierung des Kundenauftragsentkoppelungspunktes, PZH Verlag, TEWISS, Garbsen, 2016.
- [12] M. Grigutsch, Modellbasierte Bewertung der logistischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Kundenauftragsentkopplungspunktes, PZH Verlag, Garbsen, 2016.
- [13] G. Schuh, M. Riesener, Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools, 3rd ed., Hanser, München, 2018.
- [14] J.-W. Breithaupt, Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen: Grundlagen und Anwendung, VDI Verl., Düsseldorf, 2001.
- [15] F. Thiemt, Risikomanagement im Beschaffungsbereich. Univ., Diss.--Göttingen, 2003, 1st ed., Cuvillier, Göttingen, 2003.
- [16] U. Götze, B. Mikus, Der Prozess des Risikomanagements in Supply Chains, in: C. Siepermann, R. Vahrenkamp, M. Siepermann, M. Amann (Eds.), *Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*, 2nd ed., E. Schmidt, Berlin, 2015, pp. 29–59.
- [17] H. Wildemann, *Logistik-Check: Leitfaden zur Analyse und Optimierung von Logistiksystemen ; [Instrumente zur Bewertung des Logistikpotenzials von Unternehmen]*, 5th ed., TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologiemanagement, München, 2007.
- [18] H. Jodlbauer, *Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung*, Springer-Verlag/Wien, Vienna, 2007.
- [19] H. Jodlbauer, Wertschaffende Auslegung der Produktion, *PPS-Management* 12 (2007) 58–61.
- [20] A. Froschmayer, I. Göpfert, *Logistik-Bilanz: Erfolgsmessung neuer Strategien, Konzepte und Maßnahmen*, Gabler Verlag.
- [21] M. Rabe, S. Spieckermann, S. Wenzel, *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*, Springer, Berlin, 2008.
- [22] W.J. Hopp, M.L. Spearman, *Factory physics*, 3rd ed., McGraw-Hill/Irwin/Irwin, New York, NY, 2008.
- [23] S. Lutz, *Kennliniengestütztes Lagermanagement*. Univ., Diss.--Hannover, 2002, VDI-Verl, Düsseldorf, 2002.
- [24] P. Nyhuis, J. Mayer, *Logistic modelling of lateness distributions in inventory systems*,

- Prod. Eng. Res. Devel. 11 (2017) 343–355.
- [25] D. Trzyna, Modellierung und Steuerung von Eilaufträgen in der Produktion. Dissertation, TUHH Universitätsbibliothek.
- [26] S. Bertsch, Modellbasierte Berechnung der Termintreue, PZH-Verl., TEWISS - Technik und Wissen GmbH, Garbsen, 2015.
- [27] J. Mayer, Quantitative Modellierung logistischer Auswirkungen von rüstopimalen Auftragsreihenfolgen an Arbeitssystemen, 1st ed., TEWISS, Garbsen, 2018.
- [28] A. Kuyumcu, Modellierung der Termintreue in der Produktion. Dissertation, Wissen schafft Innovation, Hamburg, 2013.
- [29] S. Beck, Modellgestütztes Logistikcontrolling konvergierender Materialflüsse, PZH Produktionstechnisches Zentrum, Garbsen, 2013.
- [30] M. Schmidt, P. Nyhuis, Termineinhaltung versus Bestände. Positionierung mit einem Entscheidungsmodell, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 105 (2010) 328–332.
- [31] H.-H. Wiendahl, Auftragsmanagement der industriellen Produktion: Grundlagen, Konfiguration, Einführung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [32] G. Schuh, F. Brambring (Eds.), Produktion am Standort Deutschland: Ergebnisse der Untersuchung 2013 ; [... die Untersuchung ist Bestandteil des BMBF-Forschungsprojekts "ProSense - Hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik" ... im Rahmenkonzept "Forschung für die Produktion von morgen" sowie der Fördermaßnahme " Intelligente Vernetzung in der Produktion - Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0", 2013rd ed., FIR an der RWTH Aachen, Aachen, 2013.
- [33] H.-P. Wiendahl, P. Nyhuis, S. Bertsch, M. Grigutsch, Controlling in Lieferketten, in: G. Schuh, V. Stich (Eds.), Produktionsplanung und -steuerung 2: Evolution der PPS, 4th ed., Springer Vieweg, Berlin, 2012, pp. 11–59.
- [34] M. Seitz, L. Härtel, M. Hübner, L. Merkel, J. be Isa, F. Engehausen, N. Meluzov, R. Rost, M. Schmidhuber, F. Sauermann, P. Hünnekes, PPS-Report 2017/18: Ergebnisse der gemeinsamen Umfrage der produktionstechnischen Institute Institut für Fabrikanlagen und Logistik IFA (Hannover), Fraunhofer IGCV (Augsburg), Institut für Produktionsmanagement und -technik IPMT (Hamburg), Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen (Aachen), TEWISS, Garbsen, 2018.
- [35] K.K.B. Hon, Performance and Evaluation of Manufacturing Systems, CIRP Annals - Manufacturing Technology 54 (2005) 139–154.
- [36] L. Härtel, P. Nyhuis, Systematic Data Analysis in Production Controlling Systems to Increase Logistics Performance, in: R. Schmitt, G. Schuh (Eds.), Advances in Production Research: Proceedings of the 8th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Aachen, November 19-20, 2018, Springer, Cham, Switzerland, 2019, pp. 3–13.
- [37] L. Härtel, M. Schmidt, Analyzing the root-causes of a low schedule reliability in industrial production departments: A systematic quantitative approach, in: Logistics Research (geplante Einreichung 04/2019).
- [38] PricewaterhouseCoopers (PwC), Next-generation supply chains: Efficient, fast and tailored, 2013.