

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement

Emin Genc

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
 2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Aurich
- Technische Universität Kaiserslautern

Die Dissertation wurde am 30.03.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 17.07.2015 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Inhaltsverzeichnis..... | i |
| Abkürzungsverzeichnis..... | ix |
| Verzeichnis der Formelzeichen..... | xiii |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Ausgangssituation | 1 |
| 1.2 Problemstellung..... | 2 |
| 1.3 Zielsetzung | 6 |
| 1.4 Aufbau der Arbeit | 7 |
| 2 Grundlagen..... | 11 |
| 2.1 Übersicht | 11 |
| 2.2 Wertschöpfung in Netzwerken..... | 11 |
| 2.2.1 Allgemeines | 11 |
| 2.2.2 Supply Chain Management | 12 |
| 2.2.2.1 Begriffsdefinitionen | 12 |
| 2.2.2.2 Ebenen des Supply Chain Managements..... | 13 |
| 2.2.2.3 Supply Chain Event Management | 14 |
| 2.2.3 Einordnung und Eingrenzung der Arbeit | 14 |
| 2.3 Planung und Steuerung von Abläufen in Wertschöpfungsnetzwerken ... | 18 |
| 2.3.1 Allgemeines | 18 |
| 2.3.2 Zielgrößen in Wertschöpfungsnetzwerken..... | 19 |
| 2.3.3 Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung..... | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4 | Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken | 23 |
| 2.4.1 | Begriffsdefinitionen | 23 |
| 2.4.2 | Bedeutung für die Produktionsplanung und -steuerung..... | 24 |
| 2.4.3 | Potenziale von Informations- und Kommunikationstechnologien... | 25 |
| 2.4.4 | Informationssysteme zur Produktionsplanung und -steuerung..... | 27 |
| 2.5 | Zusammenfassung | 29 |
| 3 | Stand der Forschung und Technik..... | 31 |
| 3.1 | Übersicht..... | 31 |
| 3.2 | Ansätze zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung..... | 31 |
| 3.2.1 | Gestaltungsstrategien und Einsatz von Technologien | 31 |
| 3.2.2 | RFID-basierte Wertschöpfung in Netzwerken..... | 33 |
| 3.2.2.1 | Schwerpunkt Standardisierung und Integration | 33 |
| 3.2.2.2 | Schwerpunkt Optimierung..... | 34 |
| 3.3 | Störungsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken..... | 36 |
| 3.3.1 | Zeitlicher Verlauf und Klassifizierung von Störungen..... | 36 |
| 3.3.2 | Strategien des Störungsmanagements..... | 38 |
| 3.3.3 | Ansätze zur Entstörung inner- und überbetrieblicher Abläufe | 39 |
| 3.3.4 | Ansätze zur Frühwarnung | 44 |
| 3.4 | Modellierung von Produktions- und Logistikabläufen..... | 47 |
| 3.4.1 | Allgemeines..... | 47 |
| 3.4.2 | Darstellung von inner- und überbetrieblichen Prozessen | 48 |
| 3.4.3 | Darstellung von objektbezogenen Informationen | 50 |
| 3.5 | Zusammenfassung und Handlungsbedarf..... | 51 |

| | | |
|--------------|---|---------------|
| 4 | Anforderungen an ein ereignisbasiertes Frühwarnsystem..... | 53 |
| 4.1 | Übersicht | 53 |
| 4.2 | Unternehmensübergreifender Zugriff auf Informationen | 53 |
| 4.3 | Identifikation kritischer Ereignisse | 54 |
| 4.4 | Absicherung der innerbetrieblichen Produktion | 55 |
| 4.5 | Technische und nutzerorientierte Anforderungen | 55 |
| 5 | Referenzmodell für die ereignisbasierte Frühwarnung..... | 57 |
| 5.1 | Übersicht | 57 |
| 5.2 | Modellierung der Wertschöpfung in Netzwerken..... | 59 |
| 5.2.1 | Konzeption einer Referenz-Lieferkette | 59 |
| 5.2.2 | Prozessuale Konkretisierung | 60 |
| 5.2.2.1 | Baukasten für die Prozessbeschreibung..... | 60 |
| 5.2.2.2 | Prozessbausteine im Bereich der Produktion..... | 61 |
| 5.2.2.3 | Prozessbausteine im Bereich der Logistik | 62 |
| 5.2.2.4 | Modellierung der Prozessbausteine | 63 |
| 5.3 | Ereignisbasierte Abbildung von Auftragsmerkmalen..... | 64 |
| 5.3.1 | Entwicklung der Ereignisstruktur..... | 64 |
| 5.3.2 | Matrix zur prozessspezifischen Ereignisdetaillierung..... | 65 |
| 5.4 | Referenzarchitektur für das Informationsmanagement..... | 66 |
| 5.4.1 | Konzeption der Referenzarchitektur..... | 66 |
| 5.4.2 | Innerbetriebliche Integration von Assistenzsystemen | 67 |
| 5.5 | Zusammenfassung..... | 68 |
| 6 | Ereignisbasiertes System zur Frühwarnung..... | 71 |
| 6.1 | Übersicht | 71 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.2 | Ablauf der Frühwarnung..... | 71 |
| 6.3 | Kategorisierung von kritischen Ereignissen | 74 |
| 6.3.1 | Einführung von Frühwarnkategorien | 74 |
| 6.3.2 | Kategorie Produkt | 75 |
| 6.3.3 | Kategorie Prozess..... | 76 |
| 6.3.4 | Kategorie Lieferant | 76 |
| 6.4 | Identifikation von kritischen Ereignissen | 77 |
| 6.4.1 | Übersicht | 77 |
| 6.4.2 | Modellierung der Wissensbasis..... | 78 |
| 6.4.3 | Verfahren zur Analyse von Ereignisdaten | 79 |
| 6.4.3.1 | Allgemeines | 79 |
| 6.4.3.2 | Produktbezogene Verfahren | 79 |
| 6.4.3.3 | Prozessbezogene Verfahren..... | 83 |
| 6.4.3.4 | Lieferantenbezogene Verfahren | 89 |
| 6.4.4 | Erweiterung der Wissensbasis..... | 92 |
| 6.4.4.1 | Allgemeines | 92 |
| 6.4.4.2 | Initialisierung der Wissenserweiterung | 94 |
| 6.4.4.3 | Mustererkennung | 95 |
| 6.4.4.4 | Spezifikation der Wissensseinheit..... | 97 |
| 6.5 | Frühwarnung..... | 98 |
| 6.5.1 | Allgemeines..... | 98 |
| 6.5.2 | Formalisierung der Situationsbeschreibung..... | 98 |
| 6.5.3 | Regelwerk zur Informationsverteilung | 99 |
| 6.6 | Zusammenfassung | 100 |

| | | |
|--------------|---|----------------|
| 7 | Adaptives Störungsmanagement..... | 101 |
| 7.1 | Übersicht | 101 |
| 7.2 | Ablauf des Störungsmanagements | 101 |
| 7.3 | Einflussgrößen..... | 103 |
| 7.3.1 | Allgemeines..... | 103 |
| 7.3.2 | Restriktionen..... | 103 |
| 7.3.3 | Zielgrößen..... | 104 |
| 7.4 | Strategien zur Entstörung..... | 111 |
| 7.4.1 | Allgemeines..... | 111 |
| 7.4.2 | Produktbezogene Strategien | 111 |
| 7.4.3 | Prozessbezogene Strategien..... | 113 |
| 7.4.4 | Lieferantenbezogene Strategien | 114 |
| 7.4.5 | Adaptive Bestimmung von Maßnahmen | 116 |
| 7.5 | Zusammenfassung..... | 117 |
| 8 | Technische Umsetzung und Validierung..... | 119 |
| 8.1 | Übersicht | 119 |
| 8.2 | Technische Umsetzung | 119 |
| 8.2.1 | Prototypische Implementierung in einer Versuchsumgebung | 119 |
| 8.2.1.1 | Allgemeines | 119 |
| 8.2.1.2 | Aufbau und eingesetzte Hardware | 120 |
| 8.2.1.3 | Produktionsszenario | 121 |
| 8.2.1.4 | Informationstechnische Vernetzung | 123 |
| 8.2.1.5 | Frühwarnbasiertes Störungsmanagement | 124 |
| 8.2.2 | Prototypische Implementierung in der Automobilindustrie..... | 126 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 8.2.2.1 | Allgemeines | 126 |
| 8.2.2.2 | Anwendungsszenario..... | 127 |
| 8.2.2.3 | RFID-basiertes Informationsmanagement..... | 128 |
| 8.3 | Simulationstechnische Validierung | 130 |
| 8.3.1 | Allgemeines..... | 130 |
| 8.3.2 | Frühwarnsystem zur Absicherung der Wertschöpfung in der Lieferkette | 131 |
| 8.3.2.1 | Simulationsmodell und Produktionsszenario | 131 |
| 8.3.2.2 | Ergebnisse der Simulation | 133 |
| 8.3.3 | Frühwarnsystem zur Absicherung der innerbetrieblichen Wertschöpfung..... | 135 |
| 8.3.3.1 | Simulationsmodell und Produktionsszenario | 135 |
| 8.3.3.2 | Ergebnisse der Simulation | 138 |
| 8.4 | Bewertung..... | 139 |
| 8.4.1 | Anforderungsbezogene Bewertung..... | 139 |
| 8.4.2 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | 141 |
| 8.4.2.1 | Allgemeines | 141 |
| 8.4.2.2 | Beispielhaftes Produktionsszenario..... | 143 |
| 8.5 | Zusammenfassung | 146 |
| 9 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 147 |
| 9.1 | Zusammenfassung | 147 |
| 9.2 | Ausblick..... | 148 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10 | Literaturverzeichnis | 151 |
| 11 | Verzeichnis betreuter Studienarbeiten..... | 175 |
| 12 | Abbildungsverzeichnis | 177 |
| 13 | Tabellenverzeichnis | 181 |
| 14 | Anhang..... | 183 |
| | 14.1 Modellierung der Prozessbausteine | 183 |
| | 14.2 Ereignismatrix | 196 |
| | 14.3 Genutzte Softwareprodukte..... | 197 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|--|
| APS | Advanced Planning and Scheduling |
| Auto-ID | automatische Identifikation |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie |
| bzw. | beziehungsweise |
| d. h. | das heißt |
| DFG | Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e. V. |
| DTW | Dynamic Time Warping |
| e. V. | eingetragener Verein |
| eEPK | erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette |
| engl. | englisch |
| EPC | Electronic Product Code (elektronischer Produktcode) |
| EPCIS | Electronic Product Code Information Service |
| EPK | Ereignisgesteuerte Prozesskette |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| ES | Ereignisspeicher |
| et al. | et alii |
| EV | Ereignisverwalter |
| Fraunhofer IPA | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung |
| Fraunhofer IWU | Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik |
| FTS | Fahrerloses Transportsystem |
| HF | high frequency |

| | |
|-----------------|---|
| Hrsg. | Herausgeber |
| ISO | International Organization for Standardization |
| IuK-Technologie | Informations- und Kommunikationstechnologie |
| <i>iwb</i> | Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München |
| JIS | Just-in-Sequence |
| JIT | Just-in-Time |
| KMU | Kleine und mittlere Unternehmen |
| LDL | Logistikdienstleister |
| ME-System | Manufacturing Execution System |
| MRP | Material Requirements Planning |
| Nr. | Nummer |
| OEM | Original Equipment Manufacturer |
| OPP | Order Penetration Point |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| REFA | Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung |
| RFID | Radio Frequency Identification |
| S. | Seite |
| SAP ECC | SAP ERP Central Component |
| SAP MII | SAP Manufacturing Integration and Intelligence |
| SAP PCo | SAP Plant Connectivity |
| SCC | Supply Chain Council |
| SCM | Supply Chain Management |
| SCEM | Supply Chain Event Management |

| | |
|-------------|--|
| SCOR-Modell | Supply Chain Operations Reference Modell |
| SFB | Sonderforschungsbereich |
| SPC | Statistical Process Control |
| TUM | Technische Universität München |
| UHF | ultra high frequency |
| VDA | Verband der Automobilindustrie e. V. |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure e. V. |
| vgl. | vergleiche |
| z. B. | zum Beispiel |

Verzeichnis der Formelzeichen

| | |
|---------------------|--|
| $ A_{j'}^{ME} $ | Anzahl der Aufträge der Planungsperiode P_j , die bei Umsetzung der Maßnahme M_E eine Änderung erfahren |
| $ A_j^{EntM_E} $ | Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j im Gegensatz zur originären Planung entfallen |
| $ A_j^{ME} $ | Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j bearbeitet werden |
| $A_{ij'}^{ME}$ | Binärvariable zur Angabe, ob ein der Planungsperiode P_j zugeordneter Auftrag A_i bei Umsetzung der Maßnahme M_E eine Änderung erfährt |
| C_p | Prozessfähigkeit |
| C_{pk} | Kritische Prozessfähigkeit |
| $D(M_z, M_y)$ | Distanzmaß zwischen Muster M_z und Muster M_y |
| K_{ij} | Gesamtkosten für Abwicklung von Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Adapt} | Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| $K_{ij}^{FixAdapt}$ | Fixe Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Log} | Kosten der Logistikprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Opp} | Opportunitätskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Prod} | Kosten der Produktionsprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Proz} | Prozessspezifische Kosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |

| | |
|---------------------|---|
| $K_{ij}^{Stör}$ | Störkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| $K_{ij}^{VarAdapt}$ | Variable Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_{ij}^{Verz} | Verzugskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| K_j^{Ges} | Gesamtkosten in der Planungsperiode P_j |
| $MA_{P_j}^{M_E}$ | Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bei Umsetzung der Maßnahme M_E bearbeitet werden |
| MA_{P_j} | Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bearbeitet werden |
| OGW | Oberer Grenzwert |
| $PS_j^{M_E}$ | Planungsstabilität in Bezug auf ein Arbeitssystem bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j |
| t_{AZ} | Amortisationszeit |
| $te_{A_{ij}}^{M_E}$ | Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j bei Umsetzung der Maßnahme M_E |
| $te_{A_{ij}}$ | Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j |
| UGW | Unterer Grenzwert |
| \bar{x} | Mittelwert |
| $\bar{\bar{x}}$ | Mittelwert der Mittelwerte der Stichproben |
| x_v | Merkmalsausprägung des Musters M_z an dem Punkt v |
| y_v | Merkmalsausprägung des Musters M_y an dem Punkt v |
| Z_{krit} | Minimaler Abstand des Mittelwertes zur Toleranzgrenze |
| σ | Standardabweichung |

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Das produzierende Gewerbe agiert heute in einem turbulenten und dynamischen Umfeld (WESTKÄMPER & ZAHN 2009, BECKMANN 2012). Weltweit findet branchenübergreifend ein Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt statt (WIEN-DAHL ET AL. 2003, WILDEMANN 2005). Der Megatrend der Globalisierung sowie eine zunehmende Sättigung der etablierten Märkte, wie z. B. in Europa, erhöhen den Wettbewerbsdruck auf die Unternehmen und stellen diese vor die Herausforderung, den steigenden Kundenpräferenzen hinsichtlich Individualität, Produktqualität, Liefertreue und Innovation zu entsprechen. Das erfolgreiche Bestehen von Unternehmen im internationalen Wettbewerb hängt somit maßgeblich von deren Fähigkeiten ab, durch den Ausbau des Leistungsangebotes eine Differenzierung gegenüber den Wettbewerbern zu erreichen und dabei die Anforderungen seitens der Kunden zu erfüllen (PILLER & STOTKO 2003). Aus diesem Grund erhöhen die Hersteller in erheblichem Maße die Variantenzahl der auf dem Markt angebotenen Produkte und verkürzen deren Lebenszyklen (ABELE & REINHART 2011).

Als eine Folge der steigenden Variantenvielfalt und des hohen Innovationsdruckes konzentrieren sich die Unternehmen auf strategisch definierte Kernkompetenzen und reduzieren die Fertigungstiefe (SCHUH & GIERTH 2006a). Die Wertschöpfung verteilt sich somit auf eine Vielzahl von Verbundpartnern, die sich in Netzwerken zusammenschließen, um kollaborativ die seitens des Marktes nachgefragten Produkte herzustellen (ALICKE 2005). Vor dem Hintergrund einer steigenden Anzahl unternehmensübergreifender Kooperationen stellen Netzwerke dabei die modernste Organisationsform produzierender Unternehmen dar (SCHUH & GIERTH 2006a). Darüber hinaus werden wesentliche Anteile der Wertschöpfung zunehmend in der Nähe der Abnehmermärkte und somit global verteilt erbracht, um beispielsweise politischen und gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen oder Vorteile hinsichtlich der Steuerlast und Kosten zu erzielen (ZÄH ET AL. 2005). Die Erschließung dieser Einsparpotenziale gewinnt dabei insbesondere im Hinblick auf den zukünftig verstärkten Wettbewerb an Bedeutung. In diesem Kontext wird erwartet, dass nicht mehr die Unternehmen selbst, sondern vielmehr die einzelnen Wertschöpfungsnetzwerke miteinander konkurrieren werden (CHRISTOPHER 2000, STADTLER 2005, WILDEMANN 2005).

Im Zuge der Arbeiten hinsichtlich der Gestaltung einer schlanken und kosteneffizienten Lieferkette wurden bereits fortwährend Bestands- und Zeitreserven zwischen den Verbundpartnern einer Lieferkette reduziert und komplexe Lieferbeziehungen (z. B. Just-in-Time(JIT)- und Just-in-Sequence(JIS)-Konzepte) zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung etabliert (SCHUH ET AL. 2007). Für deren erfolgreichen Einsatz kommt dabei vor allem der Einhaltung der logistischen Zielgröße Termintreue eine sehr hohe Bedeutung zu (LÖDDING 2008).

Als eine Folge der zunehmend vernetzten Wertschöpfung steigen die Anforderungen und die Komplexität im Rahmen der Koordination von Produktionsnetzwerken. Für die Planung und Steuerung von inner- und überbetrieblichen Produktions- und Logistikabläufen sind erhöhte Aufwendungen erforderlich. Ein Schlüsselkriterium zur Beherrschung dieser Komplexität stellt das effiziente Informationsmanagement dar, das sich über verschiedene Stufen der Wertschöpfung erstreckt (SCHUH ET AL. 2007).

1.2 Problemstellung

Die in Bezug auf die unternehmensübergreifende Wertschöpfung dargestellten Rahmenbedingungen erhöhen die Anfälligkeit von innerbetrieblichen Abläufen gegenüber Ereignissen, die unvorhergesehen innerhalb oder außerhalb eines Unternehmens der Lieferkette auftreten. Aufgrund der geringen Puffer in Form von Zeit- und Bestandsreserven, die zwischen den einzelnen Verbundpartnern bestehen, können diese Ereignisse im weiteren zeitlichen Verlauf zu Störungen mit schwerwiegenden Auswirkungen auf die nachfolgenden Prozesse führen.

Die hohe Relevanz operativer Risiken im Kontext der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung wird durch die Ergebnisse der Studie „Risikomanagement in der Beschaffung“ des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) (SCHATZ ET AL. 2010) bestätigt. An der Befragung, deren Ziel unter anderem die Identifikation von aktuellen operativen Risiken in der Beschaffung war, nahmen 52 Unternehmen aus den Branchen des Maschinenbaus, der Automobilindustrie und weiteren Bereichen teil. Als bedeutsame operative Beschaffungsrisiken wurden branchenübergreifend instabile Fertigungsprozesse sowie ungenügende Qualitätskontrollen bei den jeweiligen Lieferanten bestimmt. Aus dem Bereich des Maschinenbaus schätzen 77 % der Studienteilnehmer das operative Risiko für ungenügende Qualitätskontrollen des Lieferanten als hoch bzw. sehr hoch ein. Darüber hinaus messen 61 % der Unternehmen aus dem

Maschinenbau instabilen Fertigungsprozessen beim Lieferanten ein hohes bzw. sehr hohes Risiko bei. Von Vertretern der Automobilindustrie wird unter anderem die schlechte Logistikleistung der Lieferanten kritisiert. Über alle Branchen hinweg wird dabei die Gefährdung eines Unternehmens aufgrund schlechter Logistikleistungen der Lieferanten mit zunehmender Anzahl an Zulieferern höher eingeschätzt.

Die aus dieser empirischen Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse entsprechen den Ergebnissen einer weiteren Erhebung, die CZAJA & VOIGT (2009) in der durch hoch arbeitsteilige Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen geprägten deutschen Automobilindustrie vorgenommen haben. Insgesamt haben sich 147 Teilnehmer an dieser Studie beteiligt. Das Ziel der Untersuchung war die Ermittlung der Bedeutung von Störungen in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken. Des Weiteren wurden spezifische Störungsarten sowie deren Hauptauslöser identifiziert und untersucht, welche Stufen der Lieferkette sich jeweils für diese verantwortlich zeigen. Grundsätzlich wird festgehalten, dass *„die Überwindung der nicht unerheblichen Anzahl an Störungen (die in der Mehrzahl der Fälle sowohl die Produkt- als auch die Prozessqualität betreffen) innerhalb des Leistungserstellungsprozesses eine große Herausforderung automobiler Wertschöpfungsnetzwerke“* darstellt (CZAJA & VOIGT 2009, S. 3). Die primären Störungsauslöser stellen dabei Qualitätsprobleme in der Fertigung, Material- bzw. Rohstoffengpässe sowie kurzfristige Terminänderungen dar. Unter einer kurzfristigen Terminänderung wird in diesem Kontext das Lieferzeitrisiko verstanden, d. h. *„die Gefahr eines durch verspätete Lieferungen bei gleichzeitig unzulänglich vorgehaltener Puffer- bzw. Sicherheitsbestände hervorgerufenen, zeitweiligen Produktionsstillstands“* (CZAJA & VOIGT 2009, S. 11). Als Verursacher von Störungen werden hauptsächlich die Lieferanten von Unternehmen benannt.

Die Ergebnisse dieser Studien verdeutlichen die hohen operativen Risiken, die hinsichtlich einer fristgerechten Bereitstellung von Zuliefererteilen in der geforderten Qualität im Rahmen der Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken bestehen. Vor allem bei stark arbeitsteiligen Lieferketten steigt dabei die Wahrscheinlichkeit des Eintrittes unvorhergesehener Ereignisse entlang der Leistungserstellung als auch die Reichweite der daraus entstehenden Planabweichungen (BRETZKE 2002, HEUSLER ET AL. 2006). Als eine Folge der hohen Produkt- und Prozesskomplexität lassen sich Störungen, die im Zuge von Produktions- und Logistikabläufen auftreten und hohe Störkosten verursachen können, nicht gänzlich vermeiden. Die Folgekosten, die sich beispielsweise aus dem Stillstand einer Montagelinie bei einem Unternehmen infolge einer verspäteten Lieferung erge-

ben, können hierbei leicht ein Vielfaches der Werte der Zuliefererteile betragen (LÖDDING 2008).

Zur Beherrschung der hohen Komplexität im Zuge der unternehmensübergreifenden Produktion liegt die Herausforderung vor allem in der Schaffung von Transparenz über aktuelle Ereignisse in dem Wertschöpfungsnetzwerk. Anhand der zielgerichteten Bereitstellung und Interpretation von relevanten Informationen ist es möglich, kritische Ereignisse in der Lieferkette frühzeitig zu identifizieren. Darauf aufbauend lassen sich rechtzeitig entstörende Maßnahmen bestimmen und einleiten, um somit nachfolgende Abläufe abzusichern (HELLINGRATH ET AL. 2008, LÖDDING 2008). Vor dem Hintergrund einer steigenden Erwartungshaltung seitens der Kunden in Bezug auf die Einhaltung von zugesagten Lieferterminen, können Unternehmen somit Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten erzielen (WIENDAHL ET AL. 2006). In Lieferketten der Hochlohnländer werden aktuelle und relevante Daten jedoch noch nicht im ausreichenden Maße für die Beherrschung des dynamischen Umfelds, das auf inner- und überbetriebliche Abläufe wirkt, genutzt (FLEISCH ET AL. 2005). Dies liegt unter anderem darin begründet, dass relevante Daten fehlen bzw. erst verspätet bereitgestellt werden (SCHUH ET AL. 2011).

Im Rahmen der Studie „Produktion am Standort Deutschland“ wurde das Ziel verfolgt, auf Basis der Bestimmung des Status quo aktuelle sowie zukünftige Erfolgsfaktoren für eine wettbewerbsfähige Produktion zu identifizieren. Hierfür wurden insgesamt 148 Unternehmen, die mehrheitlich den Schlüsselbranchen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Automobil- und Fahrzeugindustrie entstammen, hinsichtlich der Kernthemen Produktionsplanung und -steuerung (PPS), IT-Unterstützung sowie Datenmanagement befragt. In Bezug auf aktuelle Defizite nennen die Studienteilnehmer unter anderem die steigende Prozesskomplexität, die geringe Standardisierung von Produktionsprozessen sowie die mangelnde Unterstützung durch IT-Systeme im Rahmen der PPS. Über 30 % der Teilnehmer bemängeln ferner die vorherrschende Intransparenz hinsichtlich des Auftragsfortschrittes im Zuge der Fremdbeschaffung von Norm- und Katalogteilen, denn *„zwischen Auftragsbestätigung des Lieferanten und der Lieferung des Erzeugnisses werden keinerlei Informationen ausgetauscht“* (STICH ET AL. 2011, S. 47). Zur Behebung der aktuellen Defizite in der PPS schlagen daher 37 % der Unternehmen eine Verarbeitung von Rückmeldedaten in Echtzeit vor. In diesem Kontext wird von zwei Drittel der Teilnehmer bestätigt, dass eine zeitnahe Information über mögliche Störungen durch das IT-System den Reaktionspielraum für etwaige Maßnahmen erhöht. (SCHUH & STICH 2011)

Die Gründe für die aktuell unzureichende Transparenz über kritische Ereignisse in der Lieferkette sind vielfältiger Art. Zum einen erfolgt die Rückmeldung von abgeschlossenen Produktions- und Logistikprozessen häufig manuell und somit zeitverzögert. Relevante Informationen sind daher bereits zum Zeitpunkt ihrer Erhebung veraltet (HUANG ET AL. 2008). Automatische Identifikationssysteme (Auto-ID-Systeme), die eine automatisierte und echtzeitnahe Rückmeldung von Abläufen ermöglichen, werden hingegen nur sporadisch eingesetzt. Zum anderen wird der innerbetriebliche Datenaustausch aufgrund der Heterogenität der innerhalb eines Unternehmens eingesetzten Informationssysteme sowie fehlender Schnittstellen erschwert. Für einen unternehmensübergreifenden Austausch von relevanten Informationen mangelt es ferner an grundlegenden Standards hinsichtlich einheitlicher und verständlicher Prozesse, Datenstrukturen, Zugriffsrechte sowie genutzter Technologien (SCHUH ET AL. 2008).

Als eine Folge der zunehmend vernetzten Wertschöpfung gewinnt für Unternehmen einer Lieferkette vor allem die termingerechte Verfügbarkeit von Zuliefererteilen in der geforderten Qualität an Bedeutung. Die Liefertermintreue hat sich für Unternehmen sowie deren Lieferanten zur führenden logistischen Kennzahl entwickelt, die alternative Zielgrößen wie beispielsweise die Durchlaufzeit oder Herstellungskosten dominiert (SCHUH & STICH 2011). Zur Beherrschung der hohen Produkt- und Prozesskomplexität ist eine unternehmensübergreifende Transparenz über aktuelle Abläufe innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerkes erforderlich. Den betrieblichen Planungs- und Informationssystemen stehen in der heutigen Praxis aber häufig keine echtzeitnahen Informationen hinsichtlich der in der Lieferkette stattfindenden Produktions- und Logistikabläufe zur Verfügung (LÖDDING 2008). Obwohl genaue mathematische Verfahren zur Planung und Steuerung bestehen, wird eine netzwerkübergreifende Abstimmung von relevanten Prozessen als eine Folge der schlechten Verfügbarkeit und Qualität von Daten erschwert. Der Handlungsspielraum für die Einleitung von Maßnahmen ist dabei vor allem in den zeitgenau abgestimmten Prozessen zwischen den Partnern einer Lieferkette sehr eingeschränkt.

Die Entwicklung von technologischen und organisatorischen Standards zur echtzeitnahen Erfassung von aktuellen Ereignissen und deren zielgerichtete unternehmensübergreifende Bereitstellung stellt daher die Basis zur Absicherung einer effizienten Wertschöpfung dar (LEPRATTI ET AL. 2014). Durch die frühzeitige Analyse der Ereignisdaten können die im Rahmen von Produktions- und Logistikabläufen auftretenden kritischen Ereignisse identifiziert und frühzeitig Gegenmaßnahmen für deren Entstörung eingeleitet werden. Das Risiko, dass Unter-

nehmen ihre Liefertermine aufgrund verspäteter Lieferungen seitens der Zulieferer nicht einhalten können, wird somit reduziert.

1.3 Zielsetzung

Die dargestellte Ausgangssituation und Problemstellung zeigen den Bedarf nach einer situationsgerechten Planung und Steuerung von Produktions- und Logistikprozessen unter Berücksichtigung aktueller Ereignisse innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken auf. Die zentrale Voraussetzung hierfür ist die Schaffung einer unternehmensübergreifenden Transparenz über laufende Aufträge und Prozesse in der Lieferkette.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Absicherung von Produktionsabläufen bei serienproduzierenden Unternehmen in komplexen Lieferketten zu leisten. Als Grundlage hierfür wird der standardisierte Einsatz der Radio Frequency Identification (RFID) Technologie zur technischen Realisierung einer echtzeitnahen und auf Ereignissen basierenden Informationsgewinnung und -bereitstellung im Zuge der überbetrieblichen Wertschöpfung vorgesehen. Den Kern der Arbeit bildet die Konzeption eines Frühwarnsystems, das durch die frühzeitige Identifikation kritischer Entwicklungen sowie deren zielgerichteten Kommunikation eine effiziente Steuerung von Aufträgen in von hoher Produkt- und Prozesskomplexität geprägten Produktionsnetzwerken ermöglicht. Neben der Bereitstellung von Frühwarninformationen sollen situationsbezogene Handlungsanweisungen im Kontext des adaptiven Störungsmanagements vorgegeben werden, die unter Berücksichtigung bestehender Restriktionen sowie Zielgrößen zur Minimierung etwaiger Störungsauswirkungen auf nachfolgende Prozesse beitragen. Um die genannten Ziele zu erreichen, werden schwerpunktmäßig die drei Teilelemente Referenzmodell, Frühwarnung und Störungsmanagement fokussiert (vgl. Abbildung 1).

Die informatorische Basis als Voraussetzung zur Integration und Nutzung des Frühwarnsystems soll anhand der Konzeption eines Referenzmodells gelegt werden. Durch die Spezifikation von Prozessbausteinen und einer Referenzarchitektur soll dieses Datenmodell die ereignisbasierte Realisierung von inner- sowie überbetrieblichen Informationsflüssen beschreiben.

Auf der Grundlage der Verfügbarkeit von echtzeitnahen Daten müssen Frühwarnkategorien definiert werden, die eine situationsspezifische Bewertung der Kritikalität in der Lieferkette erlauben. Darauf aufbauend sollen Verfahren ent-

wickelt werden, die eine Identifikation von kritischen Ereignissen entsprechend den festgelegten Kategorien ermöglichen. Ferner ist ein Konzept zur Gestaltung der Frühwarninformationen und deren zielgerichteten Verteilung innerhalb eines Unternehmens zu spezifizieren.

Zur Absicherung von inner- und überbetrieblichen Produktions- und Logistikabläufen sind zudem präventive und reaktive Strategien im Kontext eines adaptiven Störungsmanagements zu bestimmen. Durch die situationsbedingte Auswahl und frühzeitige Einleitung von entstörenden Maßnahmen sollen die Auswirkungen von kritischen Ereignissen in der Lieferkette minimiert werden.

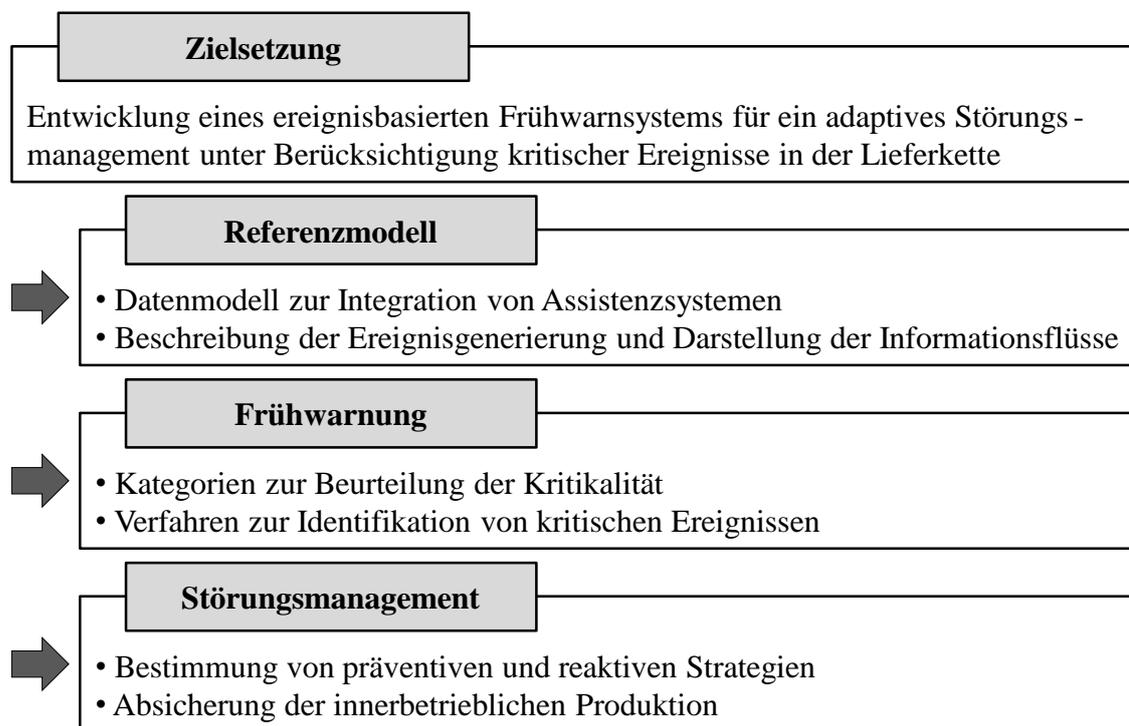


Abbildung 1: Fokus der Arbeit

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in insgesamt neun Kapitel (vgl. Abbildung 2). Der einführenden Darstellung der Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit folgt in Kapitel 2 die Beschreibung von Grundlagen im Hinblick auf die Wertschöpfung in Netzwerken. Anhand der Spezifikation von wichtigen Begrifflichkeiten sowie Konzepten soll ein einheitliches Verständnis geschaffen werden. Schwerpunktmäßig wird dabei auf die Planung und Steue-

rung von Produktions- und Logistikabläufen und das in diesem Kontext relevante Informationsmanagement eingegangen.

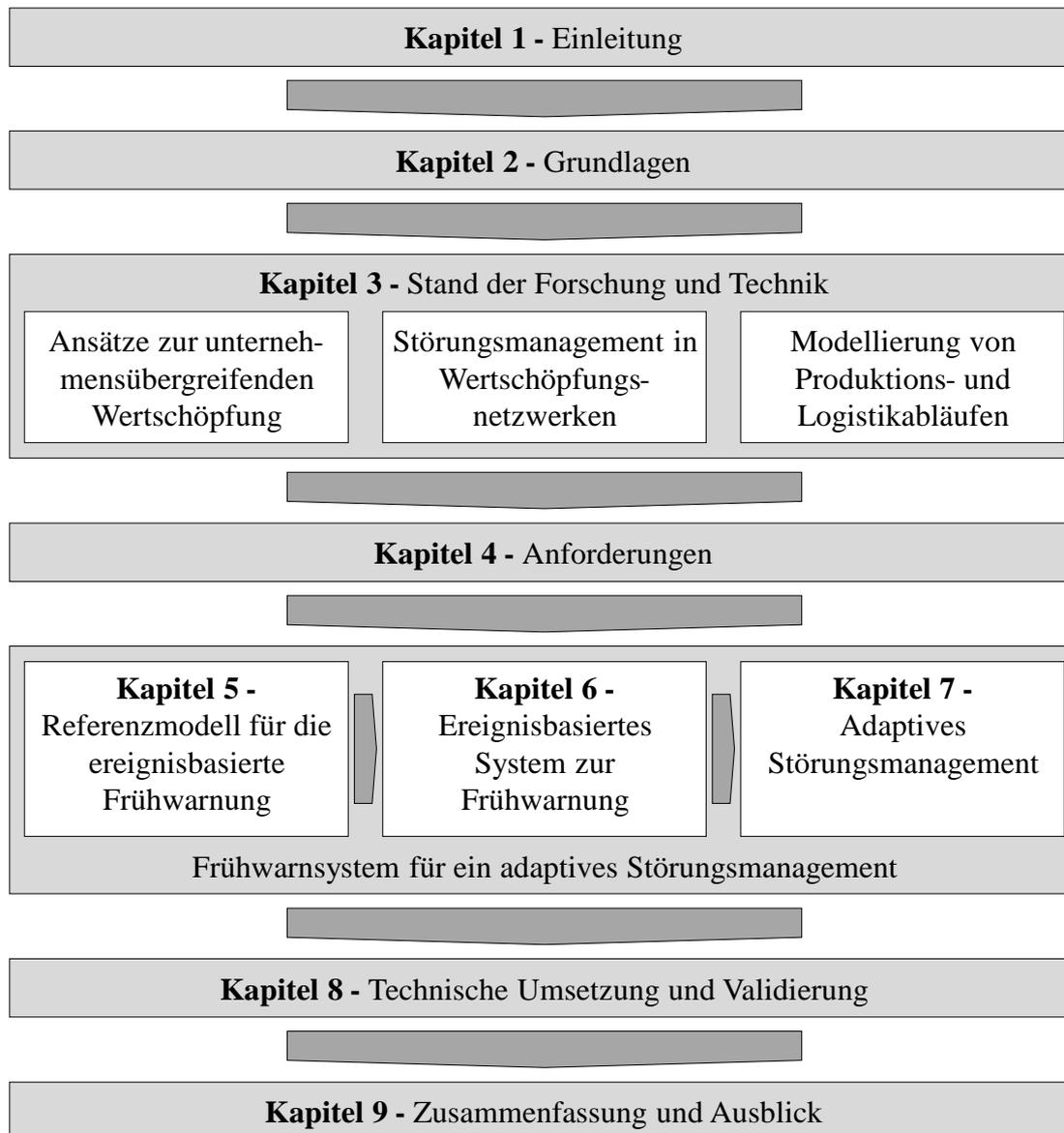


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit

In Kapitel 3 wird der relevante Stand der Forschung und Technik erarbeitet. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen hierbei die Ansätze zur Gestaltung der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung und das in diesem Zusammenhang bedeutsame Störungsmanagement. Ferner werden Arbeiten zur Modellierung von Produktions- und Logistikabläufen erläutert. Darauf aufbauend werden in Kapitel 4 Anforderungen an das ereignisbasierte Frühwarnsystem abgeleitet.

In den folgenden Kapiteln 5, 6 und 7 werden die drei wesentlichen Elemente des Frühwarnsystems detailliert. Das Referenzmodell als informatorische Grundlage

wird in Kapitel 5 entwickelt. Die Definition von Frühwarnkategorien sowie entsprechender Verfahren zur Identifikation kritischer Ereignisse erfolgt in Kapitel 6. Darüber hinaus wird auch auf die Gestaltung sowie Verteilung der Frühwarninformationen eingegangen. Im Fokus von Kapitel 7 steht die Darstellung des Ablaufes sowie der unterschiedlichen Strategien zur Entstörung für den Fall der Identifikation kritischer Ereignisse.

Die technische Umsetzung und Validierung des Frühwarnsystems ist Inhalt des achten Kapitels. Zum einen wird die prototypische Implementierung in einer Versuchsumgebung aufgezeigt. Zum anderen erfolgt die Beschreibung einer prototypischen Implementierung in der Automobilindustrie. Den Abschluss des Kapitels bilden die Vorstellung der simulationstechnischen Validierung sowie die anforderungsbezogene und wirtschaftliche Bewertung des Frühwarnsystems.

In Kapitel 9 wird die Arbeit zusammengefasst. Ferner erfolgt ein Ausblick auf weiterführende Herausforderungen im Kontext der Gestaltung der zukünftigen Wertschöpfung in Netzwerken.

2 Grundlagen

2.1 Übersicht

Entsprechend der erläuterten Ausgangssituation und Problemstellung werden im vorliegenden Kapitel die Grundlagen hinsichtlich der Wertschöpfung in Netzwerken aufgezeigt. Hierfür erfolgen im Abschnitt 2.2 eine allgemeine Darstellung des Konzeptes des Supply Chain Managements (SCM) sowie eine Erläuterung verschiedener Ansätze zur Beherrschung der unternehmensübergreifenden Produktion. Im Abschnitt 2.3 wird auf die Grundlagen der PPS sowie die Bedeutung der logistischen Zielgrößen eingegangen. Abschließend wird im Abschnitt 2.4 die Relevanz des Informationsmanagements für die effiziente und robuste überbetriebliche Wertschöpfung aufgezeigt. Darüber hinaus erfolgt in Kapitel 2 eine Definition der zentralen Begrifflichkeiten, um ein einheitliches Verständnis für die Arbeit zu schaffen.

2.2 Wertschöpfung in Netzwerken

2.2.1 Allgemeines

Produzierende Unternehmen haben in der Vergangenheit vor allem den Ansatz einer lokalen Planung und Optimierung verfolgt. Dieses Bereichsdenken hat in Kombination mit dem Einsatz der Material Requirements Planning (MRP) Logik zu hohen Beständen, einer ungleichen Auslastung der Ressourcen sowie einer schlechten Termintreue geführt (ALICKE 2005). Vor dem Hintergrund einer steigenden Bedeutung der logistischen Zielgröße Termintreue und einer zunehmenden Komplexität im Rahmen der Planung und Steuerung von Produktionsabläufen hat sich in der jüngeren Vergangenheit die wissenschaftliche Disziplin des SCM entwickelt. Auf Basis einer unternehmensübergreifenden und prozessorientierten Durchführung der Wertschöpfung soll eine Erhöhung der Termintreue bei gleichzeitiger Reduktion von Beständen erzielt werden (ALICKE 2005, WILDEMANN 2005). Die grundlegenden Begrifflichkeiten sowie Methoden des SCM werden im Folgenden erläutert.

2.2.2 Supply Chain Management

2.2.2.1 Begriffsdefinitionen

Der Begriff *Supply Chain* beschreibt *Lieferketten, Versorgungsketten* und *unternehmensübergreifende Wertschöpfungsketten* (BUSCH & DANGELMAIER 2002, LÖDDING 2008). In der wissenschaftlichen Literatur werden auch die Begriffe *Netzwerk, Logistiknetzwerk, Produktionsnetzwerk* oder *Wertschöpfungsnetzwerk* geprägt (WIENDAHL & LUTZ 2002, ALICKE 2005, LANZA ET AL. 2006). Die Ergänzung „-netzwerk“ anstatt „-kette“ verdeutlicht dabei die Vernetzung sowie Komplexität der überbetrieblichen Beziehungen (LÖDDING 2008). Dies gewinnt an Bedeutung, da einzelne Unternehmen häufig vielfältige Produkte produzieren und demzufolge auch innerhalb verschiedener Lieferketten operieren. Die einzelnen Termini weisen jedoch keine systematischen Unterschiede auf, sodass diese im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit synonym verwendet werden und folgender Definition nach BECKMANN (2012, S. 8) entsprechen:

„Die Supply Chain repräsentiert den Fluss von Leistungsobjekten durch ein Netzwerk von Wertschöpfungspartnern, das sich vom Rohstofflieferanten bis zum Endverbraucher erstreckt.“

Je nach inhaltlichem Schwerpunkt existieren in der wissenschaftlichen Literatur unterschiedliche Definitionen des SCM (WERNER 2010). Für die vorliegende Arbeit ist vor allem die prozessorientierte Sichtweise relevant. Nach WILDEMAN (2005, S. 3) fokussiert das SCM vor allem *„die Schaffung von Transparenz entlang der Prozesse sowie die Beschleunigung der Material- und Informationsflüsse“*. Zu den Aufgaben des SCM gehören demnach *„die prozessorientierte Planung, Gestaltung, Lenkung und Entwicklung der unternehmensübergreifenden und unternehmensinternen Prozesse“* (WILDEMAN 2005, S. 3). KURBEL (2005, S. 339) betont, dass das SCM *„nicht nur die Gestaltung und Planung, sondern auch die Steuerung, d. h. Überwachung, Kontrolle, Rückkopplung und Anpassung der Lieferprozesse“* umfasst. Die hierfür notwendige echtzeitnahe Generierung von Daten und deren unternehmensübergreifender Austausch werden als ein Schwerpunkt der Optimierungstätigkeiten des SCM angesehen (DANGELMAIER ET AL. 2004).

2.2.2.2 Ebenen des Supply Chain Managements

Um das Ziel der Beherrschung von komplexen Wertschöpfungsnetzwerken zu erreichen, wird das Konzept des SCM in mehrere Ebenen mit jeweils spezifischen Aufgabenbereichen untergliedert. Das *Supply Chain Design* entspricht der strategischen Ebene mit langfristigem Zeithorizont und umfasst alle grundlegenden Aktivitäten zur Konzeption der Infrastruktur einer Lieferkette. Dazu gehören die Bestimmung von beteiligten Unternehmen sowie deren Lokation und die Auswahl relevanter Informationssysteme (HELLINGRATH ET AL. 2008, WERNER 2010). Die taktische Ebene des *Supply Chain Planning* beinhaltet die Erstellung mittel- bis langfristiger Leistungsprogramme für die Lieferkette (SCHMIDT 2006). In diesem Rahmen werden unter anderem die Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsplanung vorgenommen (HELLINGRATH ET AL. 2008, WERNER 2010). Das *Supply Chain Execution* stellt die operative Ebene dar und verantwortet in kurzfristiger Sicht insbesondere die Koordination und Abwicklung der im Rahmen des Supply Chain Planning entworfenen Leistungsprogramme (WERNER 2010). Hierbei werden aktuelle Entwicklungen des Produktionsumfelds, wie beispielsweise Störungen in Produktions- und Logistikabläufen, berücksichtigt (HELLINGRATH ET AL. 2008). Ferner wird als Bindeglied zwischen der planenden Ebene des Supply Chain Planning und der ausführenden Ebene des Supply Chain Execution das *Supply Chain Event Management (SCEM)* eingeordnet (BENSEL ET AL. 2008). In Abbildung 3 erfolgt die zusammenfassende Darstellung der Ebenen des SCM.

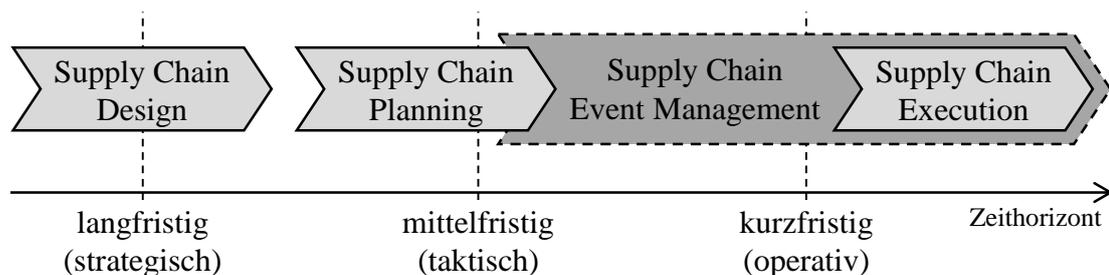


Abbildung 3: Ebenen des Supply Chain Managements
(in Anlehnung an BENSEL ET AL. 2008)

STEVEN & KRÜGER (2004, S. 182) definieren das SCEM als „proaktives Konzept der operativen, kurzfristigen Planung, Steuerung und Kontrolle“. Dem SCEM kommt dabei vor allem die Aufgabe der Erfassung des aktuellen Zustandes der Lieferkette sowie der Identifikation von Planabweichungen zu. Durch eine fortwährende Überwachung der Prozesse innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerkes

sollen unvorhergesehene Ereignisse wie beispielsweise Transportengpässe oder Produktionsausfälle möglichst in Echtzeit identifiziert werden (WERNER 2010). Darüber hinaus werden dem SCEM auch Potenziale zur Statusgenerierung, Prozessdokumentation und Frühwarnung zugesprochen (NISSEN 2002, STEVEN & KRÜGER 2004).

In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus vor allem auf der Hebung der Potenziale des SCEM zur Absicherung von operativen Produktions- und Logistikabläufen in kurzfristiger Sicht. Im Folgenden wird daher im Detail auf die relevanten Funktionen des SCEM sowie dessen Konzept eingegangen. Die Hierarchieebenen des Supply Chain Design sowie des Supply Chain Planning werden an dieser Stelle nicht weiter adressiert.

2.2.2.3 Supply Chain Event Management

In der wissenschaftlichen Literatur werden dem SCEM vorrangig die fünf Kernfunktionen *Überwachen*, *Melden*, *Simulieren*, *Steuern* und *Messen* zugeordnet (BRETZKE 2002). Die Funktion des *Überwachens* sieht eine kontinuierliche Kontrolle von aktuellen Produktions- und Logistikprozessen in der Lieferkette vor. Für den Fall der Identifikation einer kritischen Abweichung in Bezug auf relevante Merkmale wird im Rahmen des *Meldens* die hiervon betroffene prozessverantwortliche Organisationseinheit eines Unternehmens benachrichtigt. Unter *Simulieren* werden Aktivitäten zur Evaluierung möglicher Reaktionsmaßnahmen verstanden. Auf dieser Basis beinhaltet das *Steuern* die Bestimmung sowie Umsetzung von Maßnahmen zur Beseitigung der kritischen Abweichung. Zuletzt umfasst das *Messen* eine prozessbegleitende Erhebung von Indikatoren zur Identifikation langfristiger Trends und Optimierungspotenziale. Konzeptionell entsprechen die Funktionen des SCEM damit den drei Elementen Informationserhebung, Informationsanalyse und -bewertung sowie Aufbereitung und Auswertung (STEVEN & KRÜGER 2004).

2.2.3 Einordnung und Eingrenzung der Arbeit

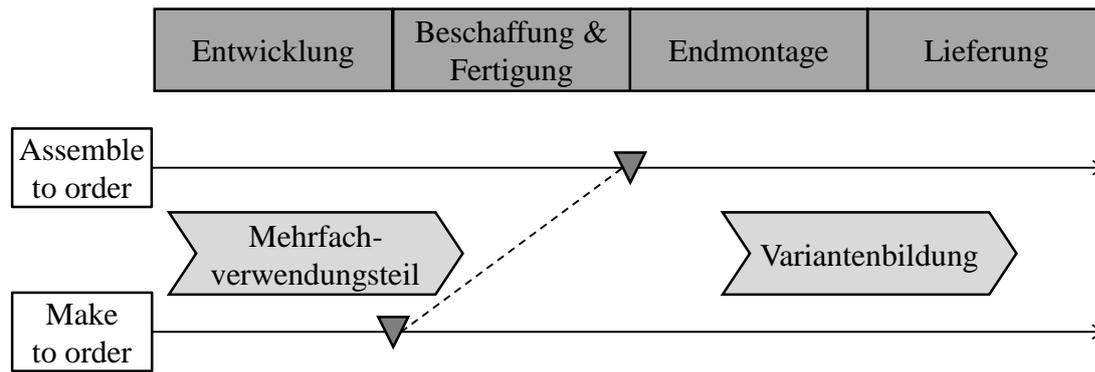
Im industriellen Umfeld erfolgt die Wertschöpfung in strukturell sowie organisatorisch vielfältigen Netzwerken. Auf Basis der jeweils vorliegenden Rahmenbedingungen werden die inner- sowie überbetrieblichen Produktions- und Logistikprozesse zur Befriedigung eines Kundenauftrages gestaltet und ausgeführt. Zur klaren Eingrenzung des Einsatzbereiches des zu entwickelnden Frühwarnsystems ist es erforderlich, auf die Typologien von Wertschöpfungsnetzwerken sowie

Formen der Produktionsorganisation in einem Unternehmen des Netzwerkes einzugehen.

Nach SCHUH ET AL. (2006) lässt sich ein Wertschöpfungsnetzwerk anhand von Merkmalsausprägungen hinsichtlich der Klassen *Produkt*, *Zusammenarbeit* und *Netzwerkstruktur* beschreiben und auf dieser Basis einem von insgesamt fünf Netzwerktypen zuordnen. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit wird eine erste Einschränkung auf den Netzwerktyp *hierarchisch-stabile Kette* vorgenommen. Durch diesen Typen werden unter anderem Lieferketten der für die Produktion am Standort Deutschland bedeutsamen Automobilindustrie charakterisiert.

In einer hierarchisch-stabilen Kette basiert die gemeinschaftliche Wertschöpfung grundsätzlich auf einer langfristigen sowie stabilen Geschäftsbeziehung, die von einem hohen Vertrauen zwischen den einzelnen Unternehmen der Supply Chain gestützt wird. Etwaige Änderungen an dem Design der Lieferkette (z. B. Lieferantenwechsel) sind nur eingeschränkt möglich und ziehen hohe Kosten nach sich. Vorrangig nehmen die absatzmarktnahen Betriebe eine dominierende Rolle in dem Netzwerk ein. Im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung werden kundenindividuelle Varianten komplexer sowie mehrteiliger Produkte in Klein- oder Großserienfertigung hergestellt, die einem definierten Typ entsprechen. Schwerpunktmäßig werden die Produkte dabei nach den Konzepten der auftragsbezogenen Produktion (Make-to-Order) sowie der auftragsbezogenen Montage (Assemble-to-Order) gefertigt. Ausschlaggebend ist in diesem Kontext die Lage des sogenannten Kundenentkopplungspunktes (engl. Order Penetration Point (OPP)). (SCHUH ET AL. 2006)

Der OPP stellt den Übergang zwischen der auftragsneutralen und auftragsbezogenen Herstellung bzw. Montage dar und separiert die auf Prognosen basierenden Anteile der Wertschöpfung von denen, die durch einen Kundenauftrag getrieben werden (OLHAGER 2003, ALICKE 2005). Gemäß dem Konzept Make-to-Order erfolgt eine kundenanonyme Produktentwicklung, während hingegen die Materialbeschaffung sowie Teile- und Produktherstellung einem Kundenauftrag zugrunde liegen. In der auftragsbezogenen Montage wird ein vorhandener Kundenauftrag indessen erst im Zuge der Endmontage des Produktes berücksichtigt (MELZER-RIDINGER 2007). Die Darstellung der verschiedenen Zeitpunkte der Integration von Kundenaufträgen in hierarchisch-stabilen Ketten erfolgt in Abbildung 4.



Legende

▼ Kundenentkopplungspunkt (OPP)

Abbildung 4: Kundenentkopplung in hierarchisch-stabilen Ketten
(in Anlehnung an OLHAGER 2003, MELZER-RIDINGER 2007)

Vorrangig in hierarchisch-stabilen Ketten agierenden Unternehmen bieten Frühwarninformationen einen erheblichen Mehrwert. Dies liegt in der vergleichsweise engen Vernetzung der einzelnen Betriebe begründet. In Zusammenarbeit mit einer Vielzahl an weiteren Partnern werden Produkte in einer hohen Variantenvielfalt hergestellt. Im Zuge der komplexen inner- und überbetrieblichen Abläufe bestehen jedoch nur minimale Puffer in Form von Zeit- und Bestandsreserven, so dass sich unerwartet auftretende Störungen unmittelbar auf die weiteren Produktions- und Logistikprozesse im Netzwerk auswirken. Werden diese Störungen nicht rechtzeitig identifiziert und erfolgt keine Einleitung von adäquaten Maßnahmen, ist bei nachfolgenden Unternehmen des Netzwerkes die Einhaltung der internen Zielgrößen (z. B. Termintreue) gefährdet.

Im Fokus des in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnden Frühwarnsystems steht daher die Identifikation von kritischen Ereignissen, die im Rahmen der *flussaufwärts* (engl. upstream) stattfindenden Produktions- und Logistikabläufe auftreten (vgl. Abbildung 5). Darunter werden alle in der Lieferkette durchgeführten Abläufe verstanden, die einem durch das Frühwarnsystem zu unterstützenden Unternehmen vorgelagert sind (APICS 2008). Die im Anschluss folgende Wertschöpfung befindet sich *flussabwärts* (engl. downstream) des Netzwerkes und wird von dem Frühwarnsystem nicht betrachtet (APICS 2008).

Die dargestellten Merkmalsausprägungen der hierarchisch-stabilen Kette erfüllen ferner die strukturellen sowie organisatorischen Voraussetzungen für einen effizienten Einsatz des zu konzipierenden Systems. Dabei ist vor allem durch die stabile sowie langfristig ausgelegte Zusammenarbeit im Netzwerk die erforderli-

che Vertrauensbasis für die Realisierung eines echtzeitnahen überbetrieblichen Informationsaustausches gegeben.

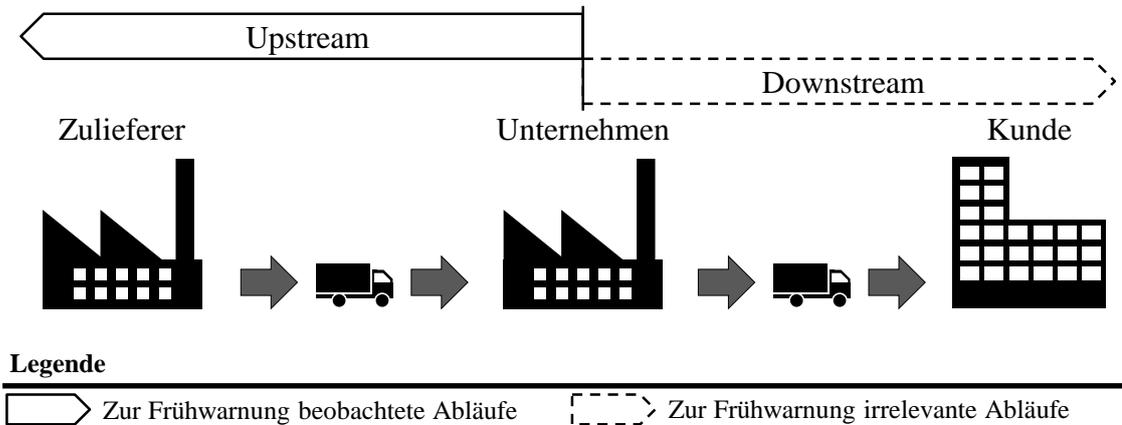


Abbildung 5: Eingrenzung der durch das Frühwarnsystem zu betrachtenden Abläufe in der Lieferkette

Neben der Ausgabe einer Frühwarnung kommt dem System die Aufgabe zu, die von den kritischen Ereignissen betroffenen Organisationseinheiten im Zuge der Maßnahmenbestimmung zu unterstützen. Schwerpunktmäßig werden in diesem Kontext Maßnahmen adressiert, die dem Ansatz eines adaptiven Störungsmanagements entsprechen. Insbesondere absatzmarktnahe Unternehmen sollen durch den Einsatz des Frühwarnsystems dazu befähigt werden, interne Produktionsabläufe im Hinblick auf extern auftretende Störungen abzusichern. In diesem Zusammenhang wird im Folgenden eine weitere Konkretisierung in Bezug auf den hierbei abzusichernden Organisationstyp der Produktion vorgenommen.

Nach GÜNTHER & TEMPELMEIER (2012) kann in Bezug auf die organisatorische Anordnung von Arbeitssystemen grundsätzlich zwischen dem *Funktionsprinzip* und dem *Objektprinzip* unterschieden werden. Für die in hierarchisch-stabilen Ketten dominierende Serienfertigung von Produkten erweist sich dabei vor allem die dem Objektprinzip entsprechende Fließfertigung mit einem einheitlichen und zeitlich gebundenen Materialfluss als effizient (vgl. ARNOLD & CHAPMAN 2004). In diesem Zusammenhang ist auch die beispielsweise in der heutigen Automobilindustrie weit verbreitete Variantenfließfertigung zu nennen, welche die Herstellung von einer großen Anzahl an Varianten eines Basisproduktes entsprechend einer vorgegebenen Sequenz in der Fließfertigung beschreibt (MEIBNER 2009).

Die Produktionsressourcen werden hierbei gemäß der Reihenfolge angeordnet, die in den Arbeitsplänen der zu fertigenden Produkte festgelegt ist. Der Materialfluss gestaltet sich einheitlich und es liegt eine zeitliche Bindung zwischen den

einzelnen Arbeitsgängen vor. Die Arbeitsstationen sind miteinander verkettet und eng aufeinander abgestimmt (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2012). Durch den Einsatz von Zwischenpuffern kann dabei eine elastische Verkettung realisiert werden, um bei nur geringfügigen Störungen an einzelnen Arbeitsstationen schwerwiegende Ausfälle ganzer Anlagen zu vermeiden (WIENDAHL 2010).

Aufgrund der dargestellten Eigenschaften stellt die Fließfertigung die dominierende Organisationsform der Produktion in absatzmarktnahen Unternehmen von hierarchisch-stabilen Ketten dar. Etwaige Maßnahmen, die seitens des Frühwarnsystems auf Basis einer externen Störung vorgeschlagen werden, adressieren daher schwerpunktmäßig die Fließfertigung und berücksichtigen dabei die diesbezüglich bestehenden Rahmenbedingungen sowie Restriktionen.

2.3 Planung und Steuerung von Abläufen in Wertschöpfungsnetzwerken

2.3.1 Allgemeines

Produzierende Unternehmen verfolgen das Ziel, die seitens der Kunden für spezifische Produkte erteilten Aufträge in der geforderten Qualität sowie unter Einhaltung vereinbarter Termine zu erfüllen (WIENDAHL 2010). Zur Befriedigung der Kundenwünsche ist eine unternehmensinterne sowie unternehmensübergreifende Planung und Steuerung der hierfür jeweils erforderlichen Produktions- und Logistikabläufe vorzunehmen.

Die Koordination der Abläufe im Metier der Logistik muss den Anforderungen entsprechen, die richtigen realen Güter in der richtigen Zeit, Menge und Qualität, sowohl zum richtigen Preis als auch am richtigen Ort bereitzustellen (WANNENWETSCH 2010). Im Zuge der externen und internen Logistik stellen dabei vor allem das Lagern, Transportieren, Kommissionieren, Handhaben oder Verpacken relevante Prozesse dar, innerhalb derer auch die dazugehörige Informationsverarbeitung vorzunehmen ist (WIENDAHL 2010). Für die Abläufe im Bereich der Produktion zeigt sich die PPS verantwortlich. Nach EVERSHEIM (2002) ist es Aufgabe der PPS, hinsichtlich der Prozesse in Fertigung und Montage eine termin-, mengen- und kapazitätsbezogene Planung und Steuerung vorzunehmen.

Zwischen der Produktionsplanung und Produktionssteuerung wird in der vorliegenden Arbeit entsprechend den Definitionen des VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) unterschieden (1992, S. 167):

„Produktionsplanung: Systematisches Suchen und Festlegen von Zielen für die Produktion, Vorbereiten von Produktionsaufgaben und Festlegung des Ablaufes zum Erreichen dieser Ziele.“

„Produktionssteuerung: Veranlassen, Überwachen und Sichern der Durchführung von Produktionsaufgaben hinsichtlich Bedarf (Menge und Termin), Qualität und Kosten und Arbeitsbedingungen.“

2.3.2 Zielgrößen in Wertschöpfungsnetzwerken

Für die Wertschöpfung in Netzwerken bilden die Zielrichtungen Logistikleistung und Logistikkosten die Basis für das zugrundeliegende logistische Zielsystem (WIENDAHL ET AL. 2012). Gegenüber den Kunden eines Wertschöpfungsnetzwerkes prägt sich die Logistikleistung in Form einer kurzen Lieferzeit sowie hoher Liefertreue (bei Auftragsfertigung) bzw. hohem Servicegrad (bei Lagerfertigung) aus (WIENDAHL ET AL. 2012, LÖDDING 2008). Für den Fall einer Plan-Lieferzeit gleich null, kann der Servicegrad auch als Sonderfall der Liefertreue gesehen werden (LÖDDING 2008).

Die Logistikkosten ergeben sich aus der Ressourcenauslastung teilnehmender Unternehmen sowie vorliegender Bestände in den verschiedenen Stufen der Fertigung sowie Lagerung. Im Rahmen der Wertschöpfung werden eine gleichmäßige Auslastung der Ressourcen aller Teilnehmer sowie die Minimierung von Beständen in der Lieferkette angestrebt. In Anlehnung an das dargestellte Zielsystem von Lieferketten bestehen für die grundlegenden Prozesse Fertigung und Lagerung zudem individuell unterschiedliche Zielsysteme mit spezifisch ausgeprägten Zielgrößen, die untereinander Interdependenzen aufweisen. Eine Abweichung zwischen tatsächlichem und geplantem Zugang bei einem Lager kann beispielsweise durch die Logistikleistung der vorhergehenden Fertigung beeinflusst werden. Die jeweiligen Zielsysteme für Fertigung und Lagerung einer Lieferkette können der Abbildung 6 entnommen werden.

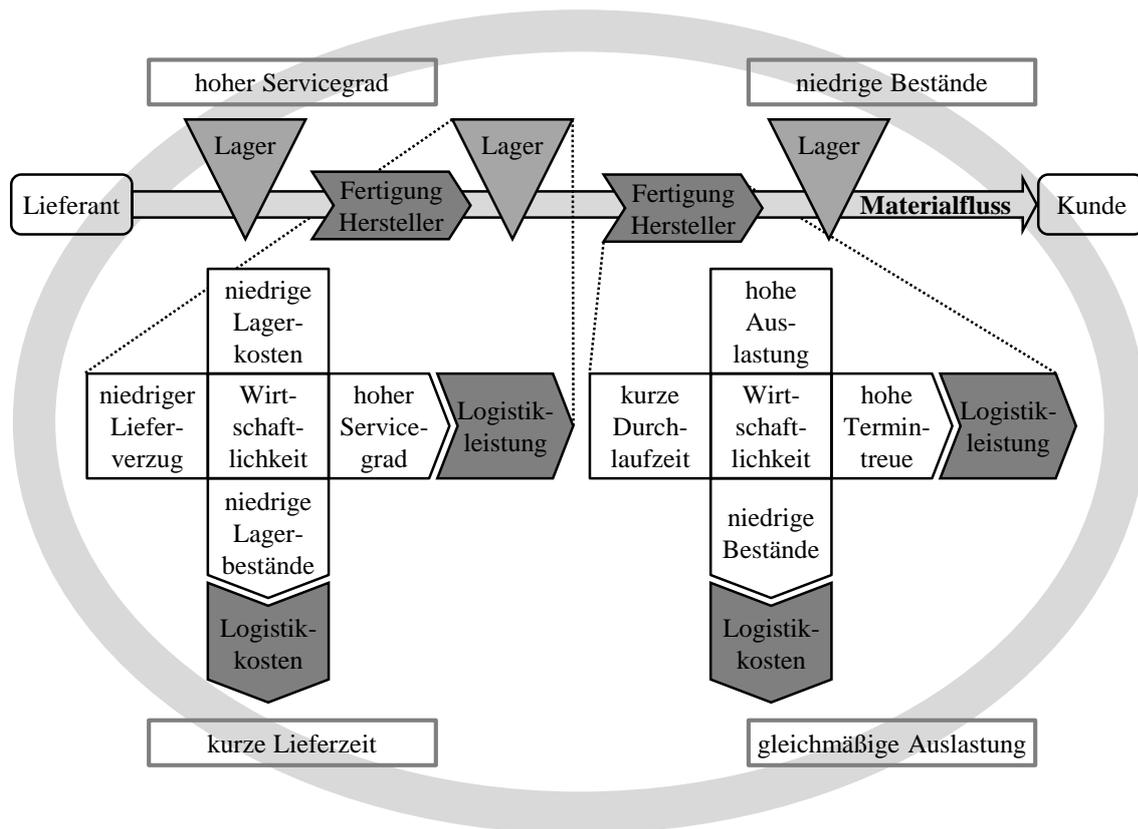


Abbildung 6: Zielsysteme in der Lieferkette (WIENDAHL ET AL. 2012)

2.3.3 Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung

Zur Analyse, Evaluierung und Optimierung der PPS im unternehmensübergreifenden und -internen Kontext eignet sich das Aachener PPS-Modell. Dieses dient als Leitfaden zur Reorganisation der PPS und bietet sowohl im Zuge des Entwurfs von PPS-Konzepten als auch bezüglich der Entwicklung, Auswahl und Implementierung von PPS-Systemen Unterstützung (SCHOTTEN 2001). Hierfür verfügt das erweiterte Aachener PPS-Modell über insgesamt vier miteinander lose verbundene Referenzsichten (SCHUH & GIERTH 2006b).

Als Grundstruktur liefert die Aufgabenreferenzsicht eine allgemeingültige Beschreibung und Detaillierung der Aufgaben der PPS auf der unternehmensinternen Ebene sowie der Netzwerkebene. Die Prozessarchitektursicht fungiert als Bindeglied zwischen der Aufgaben- und Prozessreferenzsicht und verknüpft inner- sowie überbetriebliche Aufgaben mit entsprechenden Prozessen. Die zeitliche und logische Abfolge der aufgabenspezifischen Prozessschritte stellt die Prozesssicht dar. In der Funktionssicht werden die zur PPS zu erfüllenden Anforderungen an Informationssysteme beschrieben und somit die Auswahl von Informationssystemen unterstützt. (SCHUH & GIERTH 2006b)

Zur Aufgabenkonkretisierung der PPS wird im Weiteren auf die in Abbildung 7 dargestellte Aufgabenreferenzsicht eingegangen. Grundlegend erfolgt eine Unterscheidung zwischen den überbetrieblichen Netzwerk- und den innerbetrieblichen Kern- sowie Querschnittsaufgaben. Die Netzwerkaufgaben, um die das ursprüngliche PPS-Modell erweitert wurde, sind strategischer Art und beinhalten Aufgaben zur effizienten Durchführung einer unternehmensübergreifenden Wertschöpfung (z. B. Netzwerkkonfiguration). Aufgrund der operativen Schwerpunktsetzung der vorliegenden Arbeit werden die Netzwerkaufgaben nicht weiter detailliert. Die Kernaufgaben subsumieren entsprechend dem originären Aachener PPS-Modell die Aufgaben des Produkterstellungsprozesses innerhalb eines Unternehmens und adressieren ausschließlich direkte Fortschritte im Rahmen der Wertschöpfung. (SCHUH & GIERTH 2006b)

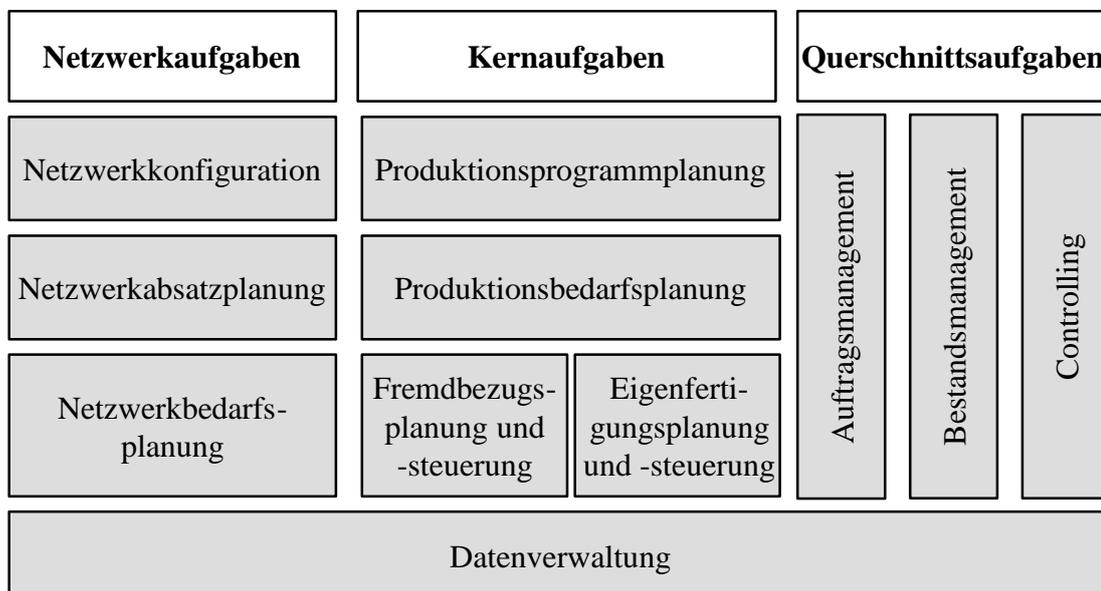


Abbildung 7: *Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells*
(SCHUH & GIERTH 2006b)

Den Ausgangspunkt der Produktionsplanung bildet die langfristige Produktionsprogrammplanung. Für eine definierte Planungsperiode wird ein Produktionsplan erstellt, der Auskunft über Art, Menge sowie Zeitpunkt der zu fertigenden Produkte gibt (HACKSTEIN 1989). Auf Basis dieser Eingangsinformationen wird im Zuge der Produktionsbedarfsplanung die Verfügbarkeit der planmäßig erforderlichen Materialien sowie Ressourcen sichergestellt (SCHUH & ROESGEN 2006). Die Eigenfertigungsplanung und -steuerung umfasst die Aufgaben der Losgrößenrechnung, Feinterminierung, Reihenfolgeplanung und Verfügbarkeitsprüfung sowie der Auftragsfreigabe. Vor diesem Hintergrund entsprechen vor allem die Aufgaben der Eigenfertigungsplanung und -steuerung denen der Produktions-

steuerung. Im Fokus steht hierbei die Absicherung des Zugriffs auf erforderliche Kapazitäten. Im Rahmen der Fremdbezugsplanung und -steuerung werden wirtschaftliche Bestellmengen ermittelt, erforderliche Angebote bei auszuwählenden Lieferanten eingeholt sowie evaluiert und entsprechende Bestellungen ausgelöst. Das Aachener PPS-Modell sieht ferner drei Querschnittsaufgaben vor, die zur ganzheitlichen Integration und Optimierung der PPS beitragen. Diese adressieren die bereichsübergreifende Koordination der Auftragsabwicklung (Auftragsmanagement), die Planung und Evaluierung von Beständen (Bestandsmanagement) sowie die Aufbereitung von Informationen zur Maßnahmenableitung (Controlling). (SCHUH & ROESGEN 2006)

Im Vergleich zu den Aufgaben des Controllings weisen die Aufgaben des Auftragsmanagements einen unmittelbaren Bezug zu einem individuellen Kundenauftrag auf. Durch die kontinuierliche Steuerung und Überwachung der Produktions- und Logistikabläufe wird auf Basis einer höheren Transparenz im Zuge der Auftragsabwicklung der Handlungsspielraum für adäquate Reaktionen auf Störungen, die innerhalb oder außerhalb eines Unternehmens auftreten, vergrößert. Hierbei kommt vor allem der Auftragskoordination eine elementare Bedeutung zu. Auf Basis von Soll-Ist-Vergleichen bezüglich auftragsspezifischer Termine, Mengen sowie gegebenenfalls Kennzahlen werden insbesondere unvorhergesehene Ereignisse nicht alltäglicher Art identifiziert. Bei einem Vorliegen kritischer Abweichungen erfolgt zur Sicherstellung der logistischen Zielgrößen die frühzeitige Einleitung von Steuerungsmaßnahmen in Form von einer aktualisierten Belegung von Kapazitäten sowie einer Feinterminierung. Zudem werden Fertigungsressourcen und der Fluss von Materialien unter anderem im Zuge der Fremdbezugssteuerung überwacht. Die Aufgaben der Auftragskoordination entsprechen folglich den Funktionen des SCEM. (SCHUH & ROESGEN 2006)

Aufgrund der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, die unternehmensübergreifende Wertschöpfung vor allem operativ abzusichern, erfolgt im weiteren Verlauf eine Schwerpunktsetzung auf die Produktionssteuerung und Auftragskoordination. Im Vergleich zu der in mittel- bis langfristiger Sicht agierenden Produktionsplanung adressiert die Produktionssteuerung einen kurzfristigen Zeithorizont und stellt somit die erforderlichen Hilfsmittel zur Verfügung, um auf unplanmäßige Ereignisse im Verlauf der Wertschöpfung zu reagieren. Als Grundlage hierfür ist die echtzeitnahe Erfassung sowie zielgerichtete Bereitstellung von relevanten Daten im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung erforderlich. Für die Speicherung und Pflege der für die PPS relevanten Stamm- und

Bewegungsdaten zeigt sich die Funktionsgruppe Datenverwaltung verantwortlich (HACKSTEIN 1989).

2.4 Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken

2.4.1 Begriffsdefinitionen

Zur Sicherstellung eines einheitlichen Verständnisses hinsichtlich der weiteren Nutzung in der Arbeit werden in dem vorliegenden Abschnitt relevante Begrifflichkeiten definiert sowie voneinander abgegrenzt.

Der Terminus Daten wird in der zurückgezogenen DIN-Norm 44300 als „*Gebilde aus Zeichen oder kontinuierliche Funktionen, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen Informationen darstellen, vorrangig zum Zweck der Verarbeitung oder als deren Ergebnis*“ definiert (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1988). Eine maschinengerechte Abbildung von Daten erlaubt deren Verarbeitung durch den Einsatz von Informationssystemen (LEHNER ET AL. 2008). Informationen werden durch die Interpretation von Daten auf Basis einer Semantik generiert (PILLER 2006). Sie entsprechen jener zielgerichteten „*Teilmenge der Daten, die für das eigene Unternehmen ausgewählt, sodann geordnet, gespeichert und verfügbar gemacht wird*“ (MÜLLER-MERBACH 1994, S. 379), um einen potenziellen Nutzen für das Unternehmen zu erzeugen (MATSUDA 1993). Nach HEIDERICH (2001, S. 4) sind Informationen „*zweckorientierte Nachrichten über den Zustand von betrieblichen Systemen bzw. den Verlauf betrieblicher Prozesse in Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft*“ und sind „*in der Regel mit einer Funktion zur Planung und Steuerung eines Systems verbunden*“. Unter dem Begriff Nachrichten werden in diesem Kontext Informationen verstanden, die eine bedeutende Aussage für den Nachrichtempfänger beinhalten (HEIDERICH 2001).

Ferner werden Informationen zur Beschreibung von Prozesszuständen auch als Ereignis (engl. Event) bezeichnet. Ein Ereignis bildet einen bestimmten Zustand ab, der nach einer Änderung infolge von Aktivitäten (z. B. Produktions- und Logistikprozesse) eintritt und Objekte nach vorgegebenen Merkmalen beschreibt (VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E. V. (REFA) 1978).

Werden Nachrichten oder Informationen in einen betrieblichen Zusammenhang gesetzt, entsteht Wissen, das sich durch Komplexität, Vernetzung und Aktionsgebundenheit charakterisieren lässt (SCHÖNHERR 1998, PILLER 2006). In diesem Kontext erfolgt die Verknüpfung der Informationen zumeist zweckgerichtet (BODENDORF 2006).

Als Informationsfluss wird der inner- oder überbetrieblicher Fluss an Informationen bezeichnet. Dieser stellt einen dynamischen Vorgang zur zielgerichteten Verteilung und Bereitstellung von relevanten Informationen dar und kann mit dem Materialfluss synchronisiert bzw. von diesem entkoppelt werden. Auf der Grundlage von Informationsflüssen stehen verdichtete sowie verarbeitete Daten in Form von Informationen für Entscheidungsprozesse zur Verfügung (JÜNEMANN & BEYER 1998). Insbesondere das Qualitätsmanagement ist dabei als Querschnittsfunktion auf den übergreifenden Austausch von Informationen angewiesen (JARKE ET AL. 1996).

Das Informationsmanagement adressiert als betriebliche Querschnittsfunktion die Gestaltung von computergestützten Informations- und Steuerungssystemen zur Abstimmung von organisatorischen Anforderungen mit den informationstechnologischen Möglichkeiten (SCHEER 1996). Es verbindet die Planung, Steuerung und Kontrolle der Nutzung der Ressource Information in einem Unternehmen (KRCMAR 2011).

2.4.2 Bedeutung für die Produktionsplanung und -steuerung

In der vernetzten Wertschöpfung kommt statischen und dynamischen Informationen eine essentielle Bedeutung zu (ALICKE 2005). Eine echtzeitnahe und somit rechtzeitige Informationsverfügbarkeit in der Lieferkette trägt dazu bei, die Kundenzufriedenheit zu erhöhen (ALICKE 2005). Hierfür muss die richtige Menge an Informationen mit richtigem Inhalt zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort bereitgestellt werden, um den für die PPS verantwortlichen Mitarbeitern sowie Informationssystemen eines Unternehmens fundierte Entscheidungen zur Planung und Steuerung von Produktionsabläufen zu ermöglichen (JÜNEMANN & BEYER 1998). Die Qualität der Erfüllung der in Abschnitt 2.3.3 dargestellten Aufgaben der PPS hängt hierbei vor allem von der Güte sowie Rechtzeitigkeit der zur Verfügung gestellten Informationen ab (KERN 1990). Aufgrund der hohen Abhängigkeit der internen Produktionsabläufe eines Netzwerkteilnehmers von vorgelagerten und nachfolgenden Prozessen in der Lieferkette, ist für eine effiziente unternehmensinterne PPS die zielgerichtete Bereitstellung sowohl von

innerbetrieblichen als auch überbetrieblichen Informationen erforderlich (WIENDAHL & LUTZ 2002). Auf Basis einer hohen Informationstransparenz können unvorhergesehene Ereignisse in der Lieferkette, die sich auf ein Unternehmen z. B. in Form einer Störung auswirken, frühzeitig identifiziert und durch den Einsatz von Methoden zur adaptiven PPS entschärft werden. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zunehmend an Bedeutung. Unter dem Begriff der Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK-Technologien) soll dabei die auf dem Einsatz moderner Technologien basierende Generierung, Verarbeitung, Speicherung und Bereitstellung von Informationen verstanden werden (PILLER 2006).

2.4.3 Potenziale von Informations- und Kommunikationstechnologien

Der Einsatz moderner Technologien aus den Themenfeldern der Identifikations- und Informationstechnologie bietet das Potenzial zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität im Rahmen der Wertschöpfung (FLEISCH & MÜLLER-STEWENS 2008). Auto-ID-Systeme fungieren als Schnittstelle zur Vernetzung von realer und virtueller Welt (STRASSNER 2005). Mit zunehmendem Automatisierungsgrad der Identifikation und Datenerfassung stehen die zur optimalen Steuerung von Abläufen erforderlichen Informationen zur Verfügung (vgl. Abbildung 8). Hierdurch ist es möglich, die Lücke zwischen Informations- und Materialebene zu schließen (PIERL & DÜNNEBACKE 2010).

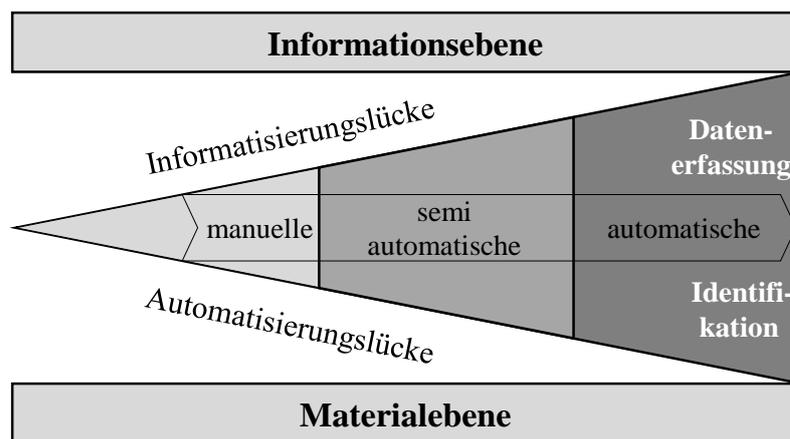


Abbildung 8: Lücke zwischen der Informations- und Materialebene (in Anlehnung an PIERL & DÜNNEBACKE 2010)

In diesem Zusammenhang weisen vor allem RFID-Systeme erhebliche Vorteile gegenüber alternativen Auto-ID-Systemen (z. B. Barcode) auf (MCFARLANE & SHEFFI 2003, FINKENZELLER 2006). Bei RFID-Systemen erfolgt der Austausch

von Daten durch den Einsatz magnetischer oder elektromagnetischer Felder (FINKENZELLER 2006). Da hierdurch keine Sichtverbindung zu dem Lesegerät erforderlich ist, entfallen manuelle Tätigkeiten wie beispielsweise die exakte Positionierung der zu identifizierenden Objekte (KÄRKKÄINEN & HOLMSTRÖM 2002, MCFARLANE & SHEFFI 2003). Darüber hinaus ist eine quasi gleichzeitige Erkennung mehrerer Objekte in Form einer Pulk-Erfassung im Zuge der Abläufe in der Lieferkette möglich (SCHOLZ-REITER ET AL. 2006). Aufgrund dieser positiven Eigenschaften sowie der hohen Relevanz für die vorliegende Schrift werden nachstehend die Grundlagen der RFID-Technologie erläutert. Für weiterführende Informationen zu Auto-ID-Systemen im Allgemeinen sei auf die einschlägige Literatur (z. B. FINKENZELLER 2006) verwiesen.

Im Allgemeinen lassen sich die in zahlreichen Varianten verfügbaren RFID-Systeme anhand von verschiedenen Merkmalen (z. B. Frequenzbereich, Energieversorgung) charakterisieren und unterscheiden (FINKENZELLER 2006). Grundsätzlich setzen sich RFID-Systeme dabei aus den drei Elementen Transponder, Lesegerät und Informationssystem zusammen (vgl. Abbildung 9). Die wesentlichen Bestandteile eines passiven Transponders, der üblicherweise über keine eigene Energieversorgung verfügt, stellen die Antenne bzw. Antennenspule sowie der Mikrochip dar (FINKENZELLER 2006, TAMM & TRIBOWSKI 2010). In Reichweite des Lesegerätes wird der Transponder bei Vorliegen eines entsprechenden Steuerbefehls aktiviert und mit der notwendigen Energie zur Übermittlung der hierauf abgelegten Daten an das Lesegerät versorgt (TAMM & TRIBOWSKI 2010).

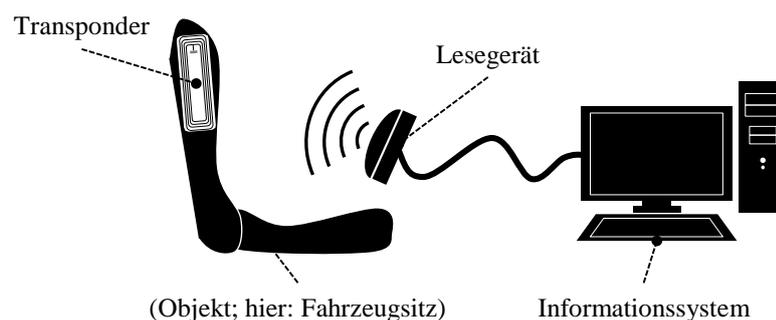


Abbildung 9: Elemente eines RFID-Systems

Je nach technischer Ausführung des RFID-Systems können die in diesem Zusammenhang ausgetauschten Datenumfänge variieren. Zur Identifikation von Objekten (z. B. Produkte) reicht jedoch die Bereitstellung einer Zeichenfolge als eindeutige Identifikationsnummer an das Lesegerät aus. Dem Lesegerät obliegt

ferner die Weiterleitung der ausgelesenen Daten an betriebliche Informationssysteme. In diesem Zuge nimmt die RFID-Middleware als Softwarekomponente eine wichtige Rolle ein. Im Rahmen der durch die RFID-Middleware vorgenommenen Bereinigung, Aggregation und Transformation der empfangenen Daten wird Kontextwissen eingesetzt, um übergeordneten Systemen unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.4.2 definierten Anforderungen Informationen bereitzustellen. (FINKENZELLER 2006, TAMM & TRIBOWSKI 2010)

Die Grundlagen der hierbei relevanten Informationssysteme werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

2.4.4 Informationssysteme zur Produktionsplanung und -steuerung

Informationssysteme bzw. Assistenzsysteme stellen sozio-technische Systeme dar und unterstützen Nutzer insbesondere durch die zielgerichtete und rechtzeitige Bereitstellung von relevanten Informationen (JÜNEMANN & BEYER 1998, LEHNER ET AL. 2008). Allgemein lassen sich betriebliche Informationssysteme gemäß vorhandener Funktionalitäten einer von insgesamt vier Ebenen zur Unterstützung von Produktions- und Logistikabläufen zuordnen (vgl. Abbildung 10).

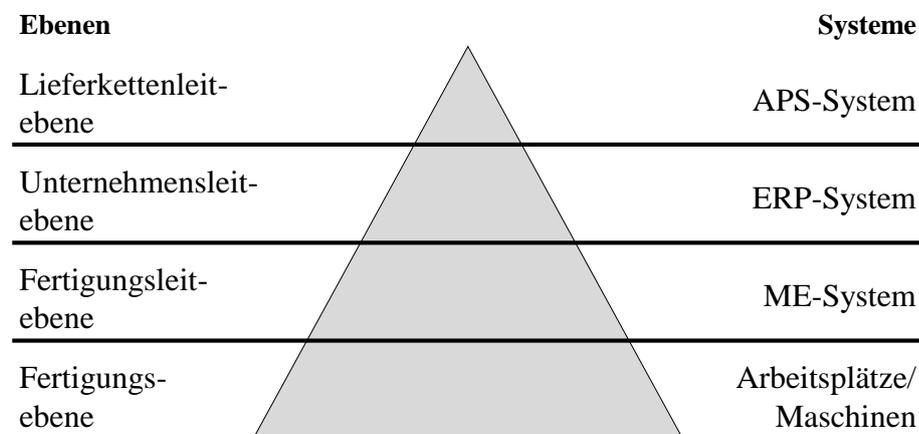


Abbildung 10: Informationssysteme in Produktion und Logistik
(in Anlehnung an MEYER 2007, VDI-RICHTLINIE 5600 2007)

Der Lieferkettenleitebene entsprechen Informationssysteme, die Funktionsbausteine zur unternehmensübergreifenden PPS aufweisen. Als bedeutende Vertreter sind hierbei Advanced Planning and Scheduling (APS) Systeme zu nennen, die über verschiedene Softwaremodule zur Planung der Abläufe im Netzwerk verfügen (MEYER ET AL. 2005, WANNENWETSCH 2005). Den Systemen der drei folgenden Ebenen ist eine Fokussierung auf innerbetriebliche Abläufe gemein. Die

Unternehmensleitebene subsumiert Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme, die insbesondere die Aufgabe der Planung von innerbetrieblichen Unternehmensressourcen im Zuge der Geschäftstätigkeit wahrnehmen und in diesem Zusammenhang auch Funktionalitäten zur Produktionsplanung (z. B. Mengenplanung) beinhalten (KLETTI 2007). Die Kopplung von planenden Informationssystemen der Unternehmensleitebene mit den ausführenden Systemen der Fertigungsebene wird über Manufacturing Execution (ME) Systeme vollzogen (VDI-RICHTLINIE 5600 2007, KURBEL 2013). Unter dem Begriff ME-Systeme werden Informationssysteme für die Produktion verstanden, die planende Systeme um die Funktionalitäten der zeitnahen Steuerung von Fertigungsressourcen und -aufträgen erweitern (KURBEL 2005). Mit dem Einsatz eines ME-Systems wird das Ziel verfolgt, die innerbetriebliche Auftragskoordination auf Basis einer erhöhten Prozesstransparenz unter Berücksichtigung der aktuellen Situation in einem Unternehmen zu gestalten (KLETTI 2007). Hierfür verfügt ein ME-System über die Komponenten Fertigungsleitstand, Betriebs- und Maschinendatenerfassung sowie Qualitätsmanagement (KURBEL 2005). Auf der Fertigungsebene werden ferner Informationssysteme eingesetzt, die sich für die Steuerung der Betriebsmittel zuständig zeigen (KLETTI 2007).

Über die verschiedenen Ebenen hinweg können des Weiteren spezifische Systeme eingesetzt werden, die je nach funktionalem Schwerpunkt Anwender im Rahmen der Ausübung von Tätigkeiten unterstützen. Als *Assistenzsysteme* bzw. *Unterstützungssysteme* werden in diesem Zusammenhang rechnerbasierte Systeme bezeichnet, die Komponenten der Mensch-Maschine-Systemtechnik darstellen und sich durch die informatorische Vernetzung von Maschinen und Bedienern charakterisieren lassen. Neben der Darstellung relevanter Informationen erleichtern Assistenzsysteme auf Basis intelligenter Prozeduren dem über begrenzte kognitive Fähigkeiten verfügenden Menschen die Entscheidungsfindung in hochkomplexen Handlungssituationen. Hierfür zeigt das Assistenzsystem Entscheidungsträgern entsprechend der vorliegenden Situation eine Menge an Handlungsalternativen auf und bewertet diese hinsichtlich seitens der Bediener vorab festzulegender Kriterien. Je nach Auslegung verfügen Assistenzsysteme zudem über Funktionalitäten, die eine automatisierte Auswahl, Überwachung und Kontrolle von Maßnahmen erlauben. (TIMPE & JÜRGENSOHN 2002, BLUTNER ET AL. 2009)

2.5 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Kapitel 2 wurden die wesentlichen Grundlagen im Hinblick auf die Planung und Steuerung von Abläufen in Wertschöpfungsnetzwerken beschrieben sowie wichtige Begrifflichkeiten definiert. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit erfolgte in diesem Rahmen eine Einschränkung auf den Netzwerktyp einer hierarchisch-stabilen Kette zum einen sowie die Fließfertigung als Organisationsform der abzusichernden Produktion zum anderen.

Sowohl das SCM als auch die im Rahmen der PPS in der Lieferkette zu verfolgenden Zielgrößen wurden erläutert. Die zunehmende Relevanz des Informationsmanagements zur Beherrschung der Komplexität im Zuge der Wertschöpfung und somit auch zur Erfüllung der Zielgrößen wurde aufgezeigt. Hierbei wurde auf die Potenziale von modernen IuK-Technologien und dabei insbesondere auf automatische Identifikationssysteme sowie Informations- und Assistenzsysteme zur PPS eingegangen. Darauf aufbauend erfolgt in Kapitel 3 die Untersuchung des in diesem Zusammenhang relevanten Standes der Forschung und Technik.

3 Stand der Forschung und Technik

3.1 Übersicht

In dem vorhergehenden Kapitel wurden die Grundlagen bezüglich der Planung und Steuerung der Wertschöpfung in Netzwerken sowie des Informationsmanagements dargestellt. Auf dieser Basis wird im Folgenden der für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit relevante Stand der Forschung und Technik untersucht. Hierfür werden in Abschnitt 3.2 Ansätze zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung betrachtet. In diesem Zusammenhang wird zunächst auf die im Hinblick von Projekten zur PPS bedeutsamen Gestaltungsstrategien eingegangen. Ferner werden die Voraussetzungen zur rechtzeitigen Generierung und unternehmensübergreifenden Bereitstellung von Informationen sowie deren Verarbeitung seitens moderner Informationssysteme ausgearbeitet. Auf dieser Basis erfolgt im Weiteren eine Untersuchung relevanter Forschungsarbeiten zur Realisierung einer PPS auf Basis echtzeitnaher Daten. Im Fokus von Abschnitt 3.3 stehen grundsätzliche und weiterführende Ausführungen zu Störungen sowie deren erfolgreiche Beherrschung im Rahmen des Störungsmanagements. Da die frühzeitige Identifikation von kritischen Abweichungen eine wesentliche Voraussetzung zur effizienten Entstörung von Abläufen ist, wird auf Konzepte aus dem Bereich der Frühwarnung eingegangen. In Abschnitt 3.4 werden zudem Verfahren zur Modellierung von Produktions- und Logistikabläufen sowie dem Status von Objekten vorgestellt.

3.2 Ansätze zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung

3.2.1 Gestaltungsstrategien und Einsatz von Technologien

Grundsätzlich sind bei der Durchführung von Projekten im Umfeld der PPS die Gestaltungsstrategien *Standardisierung*, *Optimierung*, *Integration*, *Dezentralisierung* und *Zentralisierung* maßgeblich (SCHUH & GIERTH 2006c). Unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen und Ziele des vorliegenden PPS-Projektes sind diese mit entsprechender Priorität zu verfolgen. Unter dem Gestaltungsziel der *Optimierung* wird dabei die „*Verbesserung der Erfüllung organisatorischer und informationstechnischer Anforderungen der PPS*“ (SCHUH & GIERTH 2006c, S. 299) verstanden, von der lokal einzelne oder global mehrere

Organisationseinheiten profitieren. Das Gestaltungsziel der *Standardisierung* fokussiert die einheitliche Strukturierung von inner- und überbetrieblichen Prozessen zur Erhöhung der Transparenz und Flexibilität im Zuge der Abwicklung von komplexen Produktions- und Logistikabläufen. Unter dem Oberbegriff der *Dezentralisierung* wird die Realisierung eigenständiger Organisationseinheiten zusammengefasst, die in ihrem Aktionsumfeld unabhängig von übergeordneten Instanzen flexibel agieren können. Demgegenüber sieht die *Zentralisierung* „eine zentrale Koordination von Planungs- und Steuerungsprozessen“ (SCHUH & GIERTH 2006c, S. 300) vor, um primär globale Zielsetzungen zu erreichen. Durch die Integration von Prozessen, Daten, Informationssystemen und Funktionen verfolgt die Gestaltungsstrategie der *Integration* die „Zusammenführung von Prozessabläufen in ein gesamtheitliches Konzept“ (SCHUH & GIERTH 2006c, S. 298).

Der Einsatz von IuK-Technologien bietet anhand der Realisierung eines durchgängigen Informationsflusses das Potenzial zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung. Auf Basis der IuK-Technologien wird die Entwicklung von Befähigern (engl. Enabler) ermöglicht, durch deren Nutzung sich für Unternehmen Mehrwerte und Wettbewerbsvorteile generieren lassen (KUHNS & HELLINGRATH 2009). Unter Befähigern werden dabei Systeme verstanden, die praxisrelevante Handlungsfelder wie beispielsweise die Zustandsüberwachung (Monitoring) oder die Assistenz im Zuge der Entscheidungsfindung adressieren (KUHNS & HELLINGRATH 2009). Entsprechend der Definition in Abschnitt 2.4.4 lassen sich Enabler demnach den Informationssystemen zuordnen.

Eine bedeutende Herausforderung zur Erschließung der Potenziale von Informationssystemen stellt dabei deren ganzheitliche Integration dar (MERTENS ET AL. 2012). In diesem Zusammenhang lassen sich die wesentlichen Integrationsanforderungen anhand der Dimensionen *Integrationsgegenstand*, *Integrationsrichtung* und *Integrationsreichweite* beschreiben. *Integrationsgegenstände* umfassen dabei Daten, Funktionen, Prozess und die Benutzerschnittstelle (KRCMAR 1991). Im Hinblick auf die *Integrationsrichtung* wird in Anlehnung an die Informationspyramide zwischen der horizontalen und vertikalen Integration unterschieden (MERTENS ET AL. 2012). Als horizontale Integration wird die Vernetzung von Informationssystemen auf einer Ebene eines Unternehmens bezeichnet (FISCHER 2008). Die vertikale Integration beschreibt die Verbindung von Informationssystemen zwischen den verschiedenen Ebenen des Unternehmens (FISCHER 2008).

Das Kriterium der *Integrationsreichweite* differenziert ferner zwischen der innerbetrieblichen und zwischenbetrieblichen Integration (MERTENS 2013).

Medienbrüche, die nach STRASSNER (2005, S. 35) „*bei der Übertragung von Informationen von einem auf ein anderes Medium*“ entstehen, haben unter anderem eine zeitlich verzögerte oder fehlerhafte Datenerfassung zur Folge und können in diesem Zusammenhang hohe Kosten verursachen (MERTENS ET AL. 2012). Durch eine durchgängige Integration von Informationssystemen einerseits sowie dem Einsatz moderner IuK-Technologien zur Vernetzung von Informationssystemen mit der realen Welt andererseits können Medienbrüche jedoch vermieden werden (STRASSNER 2005). Auf dieser und auf Basis der dargestellten Gestaltungsstrategien wird eine adaptive Planung und Steuerung von unternehmensinternen sowie -übergreifenden Produktions- und Logistikabläufen ermöglicht. Verschiedene Forschungsarbeiten haben in den vergangenen Jahren den Einsatz der RFID-Technologie für die unternehmensübergreifende Wertschöpfung in Netzwerken adressiert. Die in diesem Kontext relevanten Forschungsarbeiten werden im Folgenden vorgestellt und diskutiert.

3.2.2 RFID-basierte Wertschöpfung in Netzwerken

3.2.2.1 Schwerpunkt Standardisierung und Integration

Im Rahmen des vom BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) geförderten Projektes „LAENDmarKS“ (Logistiko Optimierung durch automatisierte Erfassung und Nutzung von Daten komplexer und sicherheitsrelevanter Produktkomponenten) wurde ein Trackingsystem zur Verfolgung von Bauteilen in automobilen Lieferketten entwickelt (ABRAMOVICI ET AL. 2008). Die Basis hierfür bildet ein modular konzipiertes Referenzprozessmodell, das die Bestimmung unternehmensindividueller Traceability-Prozesse erlaubt. Die RFID-Technologie wird in diesem Kontext zur automatisierten Identifikation von sicherheitsrelevanten Bauteilen und Produkten im Zuge der Produktions- und Logistikabläufe in der Lieferkette eingesetzt. Bei auftretenden Qualitätsproblemen können die zur Rückverfolgung von hiervon betroffenen Komponenten erforderlichen Daten standardisiert zwischen den Unternehmen der Lieferkette ausgetauscht werden. Die Ergebnisse des Projektes bilden die Grundlage für die VDA (Verband der Automobilindustrie)-Empfehlung 5510 (VDA 2008).

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Projektes „LAENDmarKS“ wurde in dem seitens des BMWi geförderten Verbundvorhabens „RAN“ (RFID-based

Automotive Network) ein Standard für den umfassenden Informationsaustausch in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken entwickelt (SCHRÖDER 2014). Die Grundlage hierfür bildet eine RFID-basierte hybride Steuerungsarchitektur, die ein kombiniertes Management von Informationen erlaubt (REINHART ET AL. 2011a). Im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung können die für die Steuerung und Planung von Abläufen relevanten Informationen zum einen dezentral auf den an den Objekten angebrachten RFID-Transpondern abgelegt und bei Bedarf synchron zum Materialfluss bereitgestellt werden. Zum anderen erhalten autorisierte Partner der Lieferkette einen überbetrieblichen Zugriff auf aktuelle Ereignisinformationen über eine zentrale Datenaustauschplattform, die als InfoBroker bezeichnet wird. Die Ereigniserzeugung erfolgt in diesem Kontext auf Basis der automatisierten Identifikation von mit RFID-Transpondern versehenen Objekten an definierten Lesepunkten. Gemäß den Vorgaben von standardisierten Prozessmodulen werden im Zuge der inner- und überbetrieblichen Produktions- und Logistikprozesse kontextspezifische Ereignisinformationen generiert und abgelegt. Das Projekt fokussiert vorrangig auf die Schaffung von Transparenz als Voraussetzung für die Optimierung von Abläufen in der Lieferkette. Hierfür werden umfangreiche Standardisierungsarbeiten bezüglich der Prozesse, der Daten und Datenstrukturen, des Informationsaustausches sowie der technischen Realisierung der Ereignisgenerierung geleistet. Auf dieser Basis wird auch eine aufwandsarme Integration neuer Partner in ein gemäß den Projektvorgaben gestaltetes Netzwerk gewährleistet. Die Standardisierungsarbeiten adressieren jedoch nicht den echtzeitnahen Austausch von Ereignisinformationen, die eine Beurteilung der spezifischen Qualität von einzelnen Objekten (z. B. Produkt) ermöglichen.

3.2.2.2 Schwerpunkt Optimierung

Auf Grundlage der durch den Einsatz der RFID-Technologie realisierten Informationsverfügbarkeit in der Lieferkette wird in verschiedenen Projekten die Optimierung von inner- und überbetrieblichen Abläufen fokussiert.

Das vom BMWi geförderte Forschungsvorhaben „LogNetAssist“ (Assistenzsystem zur Steuerung intelligenter Logistiknetze) verfolgt die Entwicklung eines modular aufgebauten logistischen Assistenzsystems zur Steuerung von Logistiknetzwerken. Die einzelnen Module umfassen in diesem Kontext Funktionalitäten zur Echtzeit-Überwachung (Monitoring) des Zustandes der Lieferkette sowie einen Logistik-Leitstand zur Visualisierung. Bei auftretenden Vorfällen in dem Logistiknetz wird Mitarbeitern Unterstützung für die Entscheidungsfindung

geboten. Darüber hinaus wird eine allgemeingültige Methodik ausgearbeitet, die eine aufwandsarme Einführung von Assistenzsystemen in bestehende Prozesslandschaften und zentrale IT-Infrastrukturen erlaubt. (ALBERTI 2009, IML 2010)

Im Rahmen des von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) geförderten Aachener Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ wird mit dem „HRSCM“ (High Resolution Supply Chain Management) ein prozessorientierter Ansatz für ein kybernetisches Produktionsmanagement auf Basis von dezentralen, selbstoptimierenden Regelkreisen der PPS entwickelt. Den strukturellen Rahmen des „HRSCM“ bildet ein auf dem Viable System Model beruhendes konzeptuelles Modell, das die Gestaltung des Produktionsmanagements von der strategischen Ebene bis hin zur operativen Prozesssicht anhand mehrerer Ebenen charakterisiert. Für die Selbstoptimierung der operativen Prozesse zeichnen sich sogenannte Prozessleitungen verantwortlich, die hierbei von Prozessregelzentren und dem Prozesskoordinationszentrum assistiert werden. Ferner wird zwischen den Aufgaben eines taktischen, strategischen und normativen Produktionsmanagements unterschieden. Unter Zugrundelegung dieses Modells soll durch den Einsatz von Produktionskontrollmechanismen sowie kaskadierten Regelungslogiken die Synchronizität sowie Flexibilität industrieller Wertschöpfungsnetzwerke sichergestellt werden. Die technische Generierung von Echtzeitinformationen in der erforderlichen Granularität sowie deren Verfügbarkeit für Informationssysteme werden in dem „HRSCM“ jedoch vorausgesetzt und nicht weiter betrachtet. (BROSZE ET AL. 2007, BROSZE ET AL. 2011, SCHUH ET AL. 2011)

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 637 der DFG (Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen) untersucht die Potenziale einer Selbststeuerung logistischer Objekte (z. B. Güter) zur Beherrschung der dynamischen Komplexität in Netzwerken. Im Fokus steht hierbei die Entwicklung von dezentralen Methoden zur adaptiven Planung und Steuerung von unternehmensinternen und -übergreifenden Abläufen. Durch die Befähigung zur lokalen und autonomen Entscheidungsfindung sollen logistische Objekte selbständig ihren Weg durch das Netzwerk bestimmen können. Für die Selbststeuerung in der Produktionslogistik bietet sich dabei vorrangig das Fertigungsprinzip der Werkstattfertigung an. Aufgrund der starr miteinander verketteten Arbeitssysteme lässt sich der Ansatz der Selbststeuerung nur in eingeschränktem Maße in der Fließfertigung umsetzen. Die technische Realisierung der Selbststeuerung setzt ferner eine elementare Weiterentwicklung der hierfür erforderlichen IuK-Technologien voraus. (BÖSE & WINDT 2007, SCHOLZ-REITER & HÖHNS 2012)

3.3 Störungsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken

3.3.1 Zeitlicher Verlauf und Klassifizierung von Störungen

Logistischen und fertigungsbezogenen Störungen kommt im Zuge der Wertschöpfung in komplexen Netzwerken eine hohe Bedeutung zu (FISCHÄDER 2007). Der wissenschaftlichen Literatur können abhängig von den jeweils adressierten Untersuchungszielen eine Vielzahl an Definitionen für den Störungsbegriff entnommen werden. In Wertschöpfungsnetzwerken auftretende Störungen werden gemäß CZAJA & VOIGT (2009, S. 3) als diejenigen Einflussfaktoren definiert, *„die von außen (exogen), aber auch vom Prozess selbst (endogen) unabhängig von anderen Größen, und damit mehr oder weniger zufällig, auf einen Prozess einwirken“* und allgemein eine *„quantifizierbare Abweichung des tatsächlich erzielten Prozessergebnisses (Ist-Größe) von einer a priori definierten Soll-Größe“* zur Folge haben. Das Auftreten einer Störung erschwert bzw. verhindert die Umsetzung der Planung in der ursprünglich vorgesehenen raumzeitlichen Ordnung (GREVE 1970). FISCHÄDER (2007) und SCHWARTZ (2004) bezeichnen die Einflussgrößen hingegen als Störgrößen, die auf ein Produktionssystem einwirken können und das Ausmaß der Abweichung auf Basis eines Zufallseinflusses bestimmen. Störungen stellen demnach *„durch das Auftreten von Störgrößen hervorgerufene zeitlich befristete Einwirkungen auf die (inner- und überbetriebliche) Leistungserstellung“* dar (FISCHÄDER 2007, S. 28). Die zeitliche Dimension wird auch von HEIL (1995) betont, der Störungen einen Verlaufscharakter zuweist und diese als variable Zeitspanne mit festem Beginn sowie Ende definiert. Die dynamische Größe von Störungen hebt ferner WILDEMANN (1995) hervor, der die zeitliche Dimension als zentrales Charakteristikum von Störungen definiert.

In Abgrenzung zu dem Störungsbegriff liegt einem Fehler eine zeitpunktbezogene Sicht zugrunde. Nach EN ISO 9000:2005 (2005, S. 27) wird unter einem Fehler die *„Nichterfüllung einer Anforderung“* verstanden. Eine Anforderung entspricht dabei einem vorausgesetzten Erfordernis (EN ISO 9000:2005). Die Wechselwirkungen zwischen Störungen und Fehlern hebt WÜNSCHER (2010, S. 8) hervor und hält fest, dass diese *„jeweils weitere Störungen und Fehler verursachen“* können.

Im Rahmen von Produktions- und Logistikabläufen auftretende Störungen unterliegen somit einem zeitlichen Verlauf. Dieser kann in Anlehnung an HEIL (1995)

und FISCHÄDER (2007) idealtypisch in eine latente und manifeste Phase untergliedert werden (vgl. Abbildung 11).



*Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf von Störungen
(in Anlehnung an HEIL 1995, FISCHÄDER 2007)*

Die latente Störungsphase stellt den Zeitabschnitt zwischen dem Beginn der Einwirkung von Störgrößen (z. B. Unterbrechung der Produktion bei Lieferanten) und dem Eintritt der Störungswirkung auf die weitere Wertschöpfung dar (z. B. Zuliefererteil steht nicht plankonform zur Verfügung). Diese Phase wird maßgeblich durch vorhandene Puffer in Form von Zeit- und Bestandsreserven determiniert und endet mit deren vollständigem Verbrauch. Der latenten Phase schließt sich die manifeste Phase an, die Melde-, Diagnose- und Entstörzeit umfasst. Die Meldezeit entspricht in diesem Zusammenhang der Zeitspanne, die für die Information der von einer Störung betroffenen Organisationseinheit erforderlich ist. Die Diagnosezeit umfasst Tätigkeiten zur Analyse der vorliegenden Störungsart sowie für die Identifikation der dementsprechend einzuleitenden Entstörmaßnahmen. Der Zeitraum zwischen Maßnahmeneinleitung und Entstörung entspricht der Entstörzeit. Die zeitliche Ausdehnung der manifesten Phase einer Störung wird auf Basis vorliegender Eigenschaften des Produktionssystems (z. B. Flexibilität) sowie der Wirksamkeit der eingeleiteten Maßnahmen zur Entstörung bestimmt.

Zusammengefasst stellen Störungen für die vorliegende Arbeit unerwünscht sowie unvorhergesehen auftretende, zeitlich befristete Zustände dar, die durch das Einwirken von Störgrößen auf Produktions- und Logistikprozesse hervorgerufen werden und sich durch Abweichungen von Ist-Größen gegenüber Soll-Größen charakterisieren lassen. In diesem Kontext können Störungen mindestens eine identifizierbare Ursache sowie mindestens eine erkennbare Auswirkung zugeordnet werden.

Zur Definition und Ableitung von Basisstrategien, die das Ziel einer Entstörung von Abläufen verfolgen, ist eine Klassifizierung der in der unternehmerischen Praxis vielfältig anzutreffenden Störungen nach Ursache und Wirkung erforderlich. HEIL (1995) fasst in seiner Arbeit verschiedene Systematisierungsvorschläge von Störungsursachen in einer Matrix zusammen. Dieser Ansatz sieht eine Unterscheidung von (unternehmens-) internen und externen Ursachen vor. Ferner wird zwischen Bedingungsursachen, die vor allem auf mangelhafter Organisation und Anpassungsfähigkeit des betroffenen Systems beruhen, und Aktionsursachen (z. B. Anlagenausfall) differenziert. FISCHÄDER (2007) adressiert logistische und fertigungsbezogene Störungen in Produktionsnetzwerken und unterscheidet im Hinblick auf externe Störungsursachen zwischen der Lieferanten- und der Kundensicht. Versorgungsseitig hervorgerufene Störungsursachen sind dabei insbesondere im Kontext der Verbrauchsfaktorenbereitstellung zu sehen (z. B. mangelhafte Qualität der Zuliefererteile). Störungsursachen, die auf kurzfristigen Änderungen von Aufträgen fußen, werden auf die Nachfrager zurückgeführt. Als ganzheitlichen Ansatz zur Klassifikation von auftretenden Störungen und deren Wirkungen schlägt SCHWARTZ (2004) eine Differenzierung nach den Merkmalen Ursprungsort (intern oder extern), Rang (primär oder sekundär), Auftreten (zufällig oder systematisch) und Produktionsfaktor (Potenzialfaktor, Repetierfaktor, Information, Auftrag) vor. Im Hinblick auf die Wirkungen von Störungen unterscheidet SCHWARTZ (2004) den Umfang der Auswirkung einer Störung (stark, mittelmäßig stark, schwach) sowie die hierbei entstehenden Abweichungen (quantitativ, qualitativ, terminlich).

3.3.2 Strategien des Störungsmanagements

Nach EVERSHEIM (1992, S. 12) umfasst das Störungsmanagement *„die Aufbau- und Ablauforganisation aller aufeinanderfolgenden Maßnahmen“*, die zur Vermeidung und Behebung von Störungen beitragen sowie Wirkungen von Störungen minimieren. Als Basisstrategien des Störungsmanagements können die Präventions- und Reaktionsstrategie unterschieden werden (WILDEMANN 1995).

Mit dem Einsatz von Präventionsstrategien wird schwerpunktmäßig die Vermeidung des Eintrittes von Störungen adressiert. Unter kausalen Strategien werden in diesem Kontext Vorgehensweisen subsumiert, die in langfristiger Sicht eine Beseitigung von Störungsursachen fokussieren (z. B. fertigungsgerechte Konstruktion). Die Umsetzung von Abwehrstrategien verfolgt das Ziel, einen mit hoher Wahrscheinlichkeit bevorstehenden Störungseintritt abzuwenden (z. B. vorbeugende Instandhaltung). (BORMANN 1978, SCHWARTZ 2004)

Reaktionsstrategien hingegen fokussieren Maßnahmen zur Kompensation von Wirkungen bei bereits eingetretenen bzw. unmittelbar bevorstehenden Störungen. Systemorientierte Ansätze sehen hierfür das Zurückgreifen auf Reserven in Form von Material, Kapazität, Zeit und Flexibilität vor (BORMANN 1978). Demgegenüber wird durch den Einsatz reaktiver Strategien in aktuelle Abläufe eingegriffen und gegebenenfalls eine Anpassung von obsolet gewordenen Plänen vorgenommen (SCHWARTZ 2004). Zur Vermeidung von System- oder Planungsnervosität wird hierbei jedoch auch die Einhaltung der originären Planvorgaben angestrebt. Einen Überblick über die verschiedenen Strategien gewährt Abbildung 12.

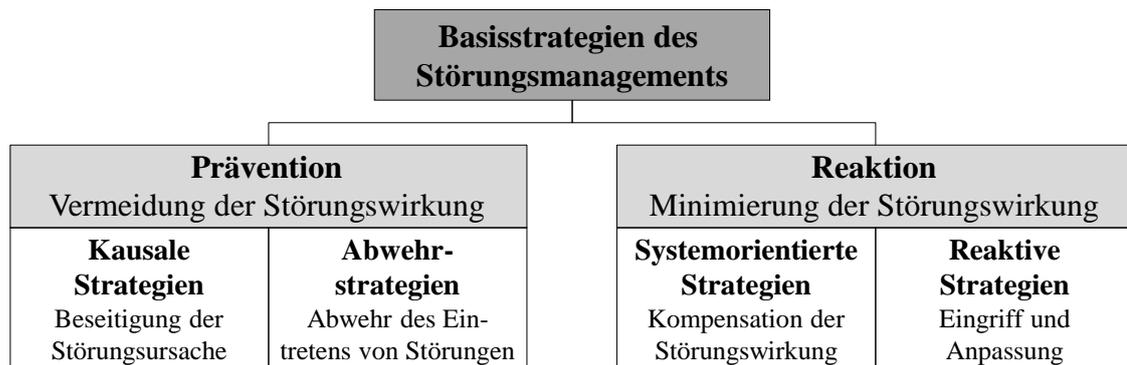


Abbildung 12: Überblick zu Strategien des Störungsmanagements
(in Anlehnung an SCHWARTZ 2004)

3.3.3 Ansätze zur Entstörung inner- und überbetrieblicher Abläufe

Die Ansätze zur Entstörung von Abläufen in Wertschöpfungsnetzwerken lassen sich entsprechend den im vorhergehenden Abschnitt erläuterten Strategien detaillieren. In diesem Zusammenhang wird auch auf die im Zuge der Entstörung relevanten Informationsflüsse eingegangen.

In dem Forschungsprojekt „PROLOG“ (Prospektive Störfallkonzepte in Logistikketten der Zulieferindustrie) wird ein Leitfadensystem zur Realisierung eines präventiven Störungsmanagements erarbeitet. Als Ergebnis steht ein methodisches Werkzeug zur Verfügung, das die frühzeitige Bestimmung potenzieller interner und externer Störquellen ermöglicht. Konkrete Maßnahmen im Bereich der PPS, die im Falle unvorhergesehener Ereignisse zur Entstörung beitragen, werden jedoch nicht definiert. (WIRTH ET AL. 2001)

Ein Verfahren für ein systematisches logistisches Störungsmanagement im standortübergreifenden Zusammenhang wird von MEYER (2007) entworfen. Um reaktive Maßnahmen auf Basis vorliegender Störungen zu vermeiden, wird durch

die Konzentration auf kritische Störgrößen sowie die Synchronisation logistischer Subsysteme ein Selbstausgleich von Planabweichungen seitens des Logistiksystems verfolgt. Die Grundlage hierfür bildet ein Referenzmodell, welches aus den Partialmodellen „Systemkonfiguration“, „Ablaufregelung“ und „Störungsmanagement“ besteht. Unter Berücksichtigung identifizierter Störgrößen wird über ein wissensbasiertes Verfahren die Einleitung zielgerichteter Maßnahmen ermöglicht. Hierfür werden den einzelnen Störgrößen Maßnahmenmodule zugeteilt und Workflows zu deren Realisierung dargestellt. Soll-Ist-Abweichungen hinsichtlich produktspezifischer Merkmale (z. B. Fertigungstoleranzen) werden in der Arbeit von MEYER (2007) nicht adressiert.

WÜNSCHER (2010) konzipiert in seiner Arbeit ein System zum präventiven sowie reaktiven Management von Störungen, die im Zuge der Fertigung von kundenindividuellen Produkten auftreten. Auf der Grundlage von entwickelten Services und Referenzprozessen assistiert das System dem Anwender bei der Einzelstörungserfassung und -beseitigung, Störungsschwerpunkt-beseitigung und Störungsprävention. Zur Verringerung der Störungswirkungen sowie Reduktion von Störungshäufigkeiten ist hierbei vor allem der Service zum Management von Störungsdaten von Bedeutung.

HINRICHS (2009) erarbeitet eine Einführungsmethodik für das Management von Störungen in der Disposition. Hierbei liegt der Fokus insbesondere auf der Sicherstellung der Verfügbarkeit von Informationen, die seitens der Disponenten für Entscheidungen über Maßnahmen zur Entstörung erforderlich sind. Die wesentlichen Bestandteile der Methodik entsprechen Standards zur innerbetrieblichen Kommunikation sowie Strukturen zur Generierung und Bereitstellung von Wissen. FISCHER (2009) entwickelt ein Referenzprozessmodell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), das vorrangig ein reaktives Störungsmanagement adressiert. Als ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit werden modular aufgebaute Prozessmodule als Elemente von Entstörungsstrategien bestimmt (z. B. Modul „Fremdvergabe“). Auf Grundlage der Arbeiten von HINRICHS (2009) und FISCHER (2009) erstellt BOCKHOLT (2012) ein Referenzprozessmodell sowie ein IT-Konzept für das operative Störungsmanagement in globalen Wertschöpfungsnetzwerken. Hierfür wird im Rahmen der Modellierung der Prozessmodule zwischen dem lokalen Störungsmanagement und dem Störungsmanagement auf Netzwerkebene unterschieden.

OSTGATHE (2012) konzipiert ein System zur produktzustandsbezogenen Steuerung von Abläufen in der Fertigung und Montage. Der Einsatz der RFID-

Technologie erlaubt die Integration von Produkten als zusätzliche Steuerungselemente in ein von hoher Variantenvielfalt und Automatisierung geprägtes Umfeld. In diesem Kontext ist die Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur innerbetrieblichen Störungsidentifikation und -behebung ein wesentliches Element der Arbeit. Die informatorische Grundlage bildet hierbei ein modular aufgebautes Datenmodell zur Abbildung von Produktzuständen (Produktmodul), Fertigungsressourcen und Arbeitsplätzen (Ressourcenmodul) sowie von Herstellungsprozessen (Prozessmodul). Über eine regelbasierte Auswertung von Beschaffenheitsmerkmalen (z. B. Geometrie) erfolgt die Bewertung der Produktqualität. Die Wissensbasis setzt sich aus allgemein gültigen produktunabhängigen und spezifischen produktabhängigen Regeln zusammen. Für den Fall identifizierter Merkmalsabweichungen erfolgt eine Fehlerklassifikation, auf deren Basis im weiteren Verlauf des Störungsmanagements erforderliche Maßnahmen (z. B. Nacharbeit) zur Erfüllung der Produkthanforderungen abgeleitet und etwaige Umplanungen angestoßen werden. Der Ansatz von OSTGATHE (2012) adressiert vor allem Störungen, die auf ungenügender Produktqualität beruhen. Kritische Abweichungen, die im Rahmen von Logistikprozessen auftreten, werden im Hinblick auf die adaptive Gestaltung der nachfolgenden Abläufe nicht berücksichtigt.

SCHWARTZ (2004) entwickelt ein Simulationsmodell, das im Rahmen des Störungsmanagements zur Entscheidungsunterstützung herangezogen werden kann. In dem Modell werden Störungen als Ereignisse simuliert, die in Form von Maschinenausfällen oder dem Eingang von Eilaufträgen eintreten können. Als Produktionssystem wird in diesem Zusammenhang ein hybrider Flow-Shop betrachtet, in dem Produktionsaufträge gemäß dem Prinzip der Fließfertigung mehrere Produktionsstufen in einer starr vorgegebenen Reihenfolge durchlaufen. Durch den Einsatz des Simulationsmodells ist es möglich, die Auswirkungen von präventiven sowie reaktiven Entstörungsstrategien anhand von Kenngrößen (z. B. Auslastung) zu quantifizieren. Darüber hinaus wird im Rahmen der Bewertung von entstörenden Maßnahmen auch ein Instabilitätsmaß zur Bestimmung der Planungsnervosität, die sich aus den Änderungen der Maschinenbelegungen ergibt, herangezogen. Die Arbeit von SCHWARTZ (2004) berücksichtigt Störungen, die innerhalb eines Unternehmens auftreten. Versorgungsseitig hervorgerufene Störungen (z. B. verspätete Bereitstellung von Zuliefererteilen) werden in dem Simulationsmodell nicht betrachtet.

HEIDERICH (2001) entwickelt ein Konzept zum Management von erforderlichen Informationsflüssen bei dem Auftreten von ungeplanten Ereignissen in der Pro-

duktionsdurchführung. Im Fokus steht dabei die in Abhängigkeit der vorliegenden Situation spezifisch zu gestaltende Informationsverteilung innerhalb produzierender Unternehmen. Ungeplante Ereignisse, die als zeitlich nicht vorherbestimmbare Abweichungen des Ist-Zustandes vom geplanten Soll-Zustand definiert sind (z. B. Eingangsmaterial unvollständig), werden hierfür in einem Katalog zusammengefasst sowie die jeweiligen Ereignis-Ursache-Wirkungszusammenhänge bestimmt. Auf Basis qualitativer und quantitativer Merkmale erfolgt eine Formalisierung der Beschreibungen von ungeplanten Ereignissen, die einem regelbasierten Mechanismus als Grundlage zur Ermittlung der hiervon zu informierenden Organisationseinheiten eines Unternehmens dienen. Über eine Ereignisgewichtung sowie Festlegung von zu überschreitenden Ansprechschwellen wird die Einleitung von situationsabhängig erforderlichen Maßnahmen und folglich eine Reaktion sichergestellt. Das von HEIDERICH (2001) entwickelte Konzept zur Informationsverteilung berücksichtigt ungeplante Ereignisse, die innerhalb eines Unternehmens auftreten. Externe Störungen, die sich auf die innerbetrieblichen Abläufe eines Unternehmens auswirken können, werden hierbei jedoch nicht beachtet.

In verschiedenen Forschungsarbeiten werden in den vergangenen Jahren zudem verstärkt ereignisbasierte Verfahren, die auf dem Konzept des SCEM beruhen, für das Management von Störungen in Wertschöpfungsnetzwerken entwickelt.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Verbundprojektes „Ko-RFID“ (Kollaboration und RFID) wird ein SCEM-Rahmenkonzept (engl. Framework) als theoretische Grundlage für ein ereignisbasiertes und somit reaktives Störungsmanagement konzipiert. In diesem Kontext wird ein Ereignis als das „*Eintreten eines Zustandes mit wesentlicher Bedeutung für einen logistischen Prozess*“ (STRAUBE ET AL. 2010, S. 32) definiert, das auf einer unzulässigen Soll-Ist-Abweichung fußt. Demnach stellen Ereignisse Störungen dar, deren Ursachen von den fünf „R“ der Logistik (richtige Objektidentität, richtiger Ort, richtige Zeit, richtige Qualität und richtige Quantität) abgeleitet werden. Auf Basis der Wirkungs- und Abweichungsrichtung sowie des Ursprunges werden Ereignisse den Typen *confirmatorisch*, *alarmierend mit Handlungszwang* und *alarmierend mit zusätzlicher Handlungsoption* zugeordnet. Bei Auftreten eines Ereignisses wird im Hinblick auf einzuleitende Maßnahmen zwischen unmittelbaren Eingriffen zur Entstörung (repair), einer zeitlichen Adaption der ereignisbezogenen Folgeprozesse (reschedule) und einer Aktualisierung der Gesamtplanung (replan) unterschieden. Das SCEM-Rahmenkonzept sieht ferner eine längerfristige Lernfunktionalität vor, die anhand der Analyse bereits vorliegender Ereignisse prä-

ventive Maßnahmen zur nachhaltigen Vermeidung von Störungen bestimmt. (BENSEL ET AL. 2008, STRAUBE ET AL. 2010)

HEINECKE (2013) entwickelt ein SCEM-System zur Realisierung eines reaktiven Störungsmanagements in Lieferketten. Anhand von objektbezogenen Verfolgsdaten erfolgt die Bestimmung der Verfügbarkeit von Material, das von einem Unternehmen zu einem spezifischen Zeitpunkt benötigt wird. Hierzu wird neben einer Methode zum regelbasierten Abgleich von Verfolgs- und Plandaten auch ein probabilistisches Lieferkettenmodell herangezogen. Auf der Grundlage von operativen Leistungsindikatoren werden zukünftige Situationen in der Fließfertigung dargestellt. Darauf aufbauend unterstützt das System im Zuge des operativen Störungsmanagements. Im Rahmen der Evaluierung der individuellen Materialverfügbarkeit werden jedoch keine Informationen berücksichtigt, die die spezifische Qualität der in der Lieferkette verfolgten Objekte beschreiben.

Mehrere Arbeiten verknüpfen das SCEM mit dem Einsatz der Agententechnologie. Durch die Entwicklung von Multi-Agenten-Systemen verfolgen TEUTEBERG & SCHREBER (2005) sowie BODENDORF & ZIMMERMANN (2005) vorrangig das Ziel der Schaffung von Transparenz in der Lieferkette, um eine rechtzeitige Identifikation von Störungen zu ermöglichen. Hierzu obliegt es einzelnen Agenten, kontinuierlich relevante Informationen in Bezug auf einen zu überwachenden Auftrag in dem Wertschöpfungsnetzwerk aufzunehmen und zu verdichten. Der Ansatz von BODENDORF & ZIMMERMANN (2005) sieht in diesem Kontext die Berücksichtigung von Kritikalitätsprofilen vor, die eine gezielte Auswahl von potenziell kritischen und somit zu verfolgenden Aufträgen im Sinne einer effizienten Nutzung vorhandener Ressourcen erlauben. Die automatisierte Bestimmung und Einleitung von Maßnahmen auf Basis identifizierter Störungen wird von BEARZOTTI ET AL. (2012) adressiert. In dieser Arbeit wird eine zweistufige Vorgehensweise vorgeschlagen, die bei Eintritt eines kritischen Ereignisses zunächst die Untersuchung unternehmensinterner Reaktionsmöglichkeiten vorsieht. Wird hierbei keine adäquate Lösung identifiziert, erfolgt eine Prüfung unternehmensübergreifender Maßnahmen. BEARZOTTI ET AL. (2012) weisen jedoch auf weiteren Forschungsbedarf zur Profundierung der automatisierten Entstörung hin.

In Anbetracht des zeitlichen Verlaufs von Störungen (vgl. Abschnitt 3.3.1) kommt dem Faktor Zeit im Rahmen der Auswahl der zu verfolgenden Entstörungsstrategie eine entscheidende Rolle zu. Der Handlungsspielraum für eine Reaktion vergrößert sich durch die frühzeitige Identifikation von unvorhergese-

henen Ereignissen. Vor diesem Hintergrund gewinnen Arbeiten im Umfeld der Frühwarnung, auf die im nachfolgenden Abschnitt eingegangen wird, zunehmend an Bedeutung.

3.3.4 Ansätze zur Frühwarnung

In der wissenschaftlichen Literatur werden den Termini Frühwarnung, Früherkennung und Frühaufklärung unterschiedliche Funktionalitäten zugeordnet (KRYSTEK 2007). Für die vorliegende Arbeit sind dabei vorrangig diejenigen Funktionalitäten relevant, die der Frühwarnung entsprechen.

Unter dem Begriff *Frühwarnung* werden insbesondere Tätigkeiten zur frühzeitigen Identifikation und Information über kritische Entwicklungen zusammengefasst (KRYSTEK 2000). Darauf aufbauend soll eine rechtzeitige Einleitung von probaten Gegenmaßnahmen mit dem Ziel der Minimierung von potenziell negativen Auswirkungen ermöglicht werden. Die hohe Bedeutung der frühzeitigen Bereitstellung von Informationen über kritische Ereignisse im Umfeld eines Unternehmens verdeutlicht die Zeitschere von BLEICHER (1996). Diese beschreibt einen Anstieg der erforderlichen Reaktionszeiten bei wachsender Komplexität (vgl. Abbildung 13).

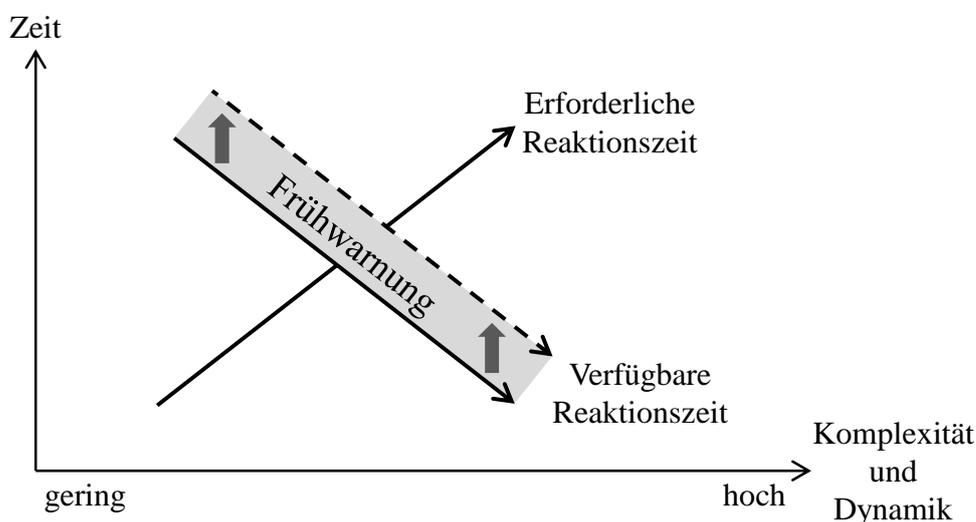


Abbildung 13: Die Zeitschere (in Anlehnung an BLEICHER 1996)

Frühwarnsysteme stellen hierbei spezifische Informationssysteme dar, die nach GLEIBNER & FÜSER (2001) im Sinne einer zukunftsorientierten Informationsbereitstellung Entscheidungsträger über „*Entwicklungen und Ereignisse mit Bedeutung für das Unternehmen*“ (GLEIBNER & FÜSER 2001, S. 175) in Kenntnis setzen

und diesen somit zielgerichtete Entscheidungen erlauben. Unter Berücksichtigung der zunehmenden Dynamik, mit der sich Unternehmen im Rahmen der Wertschöpfung in Netzwerken konfrontiert sehen, liegt der Mehrwert des Einsatzes von Frühwarnsystemen daher vor allem in der Verlängerung der verfügbaren Reaktionszeit begründet (KRYSTEK 2000).

Der grundlegende Ablaufprozess betrieblicher Frühwarnsysteme lässt sich in Anlehnung an CZAJA (2009) in sechs Phasen untergliedern (vgl. Abbildung 14).

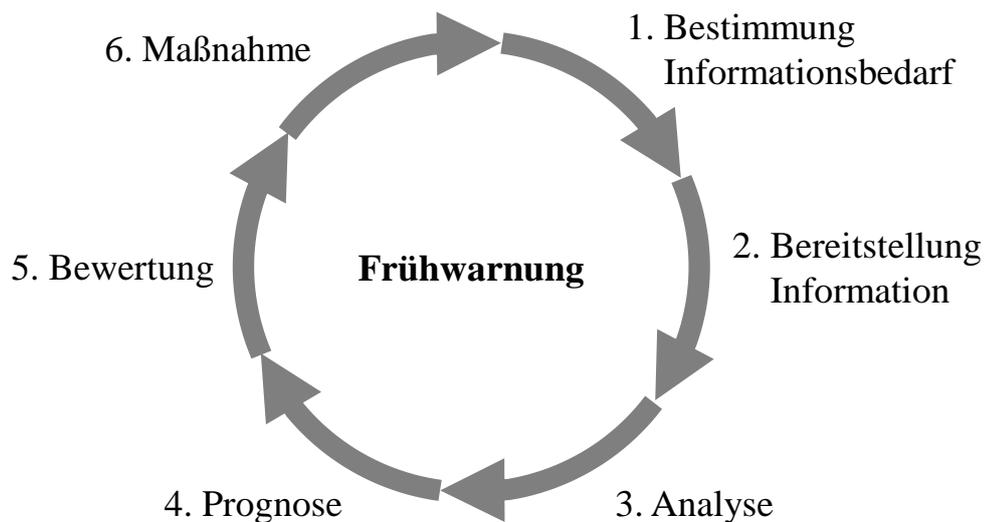


Abbildung 14: Phasen der Frühwarnung (in Anlehnung an CZAJA 2009)

In einem ersten Schritt werden unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kriterien relevante Beobachtungsbereiche, die innerhalb sowie außerhalb eines Unternehmens liegen können, festgelegt. Die im Anschluss folgende Informationsgewinnung hat die Aufgabe, die Versorgung des Frühwarnsystems mit relevanten Informationen sicherzustellen und darauf aufbauend kritische Entwicklungen in Form von schwachen und starken Signalen zu identifizieren. In diesem Kontext sind die Entwicklungsverläufe von vorab festzulegenden Frühindikatoren sowie Kennzahlen maßgeblich und folglich zu berücksichtigen. Die Identifikation von Interdependenzen zwischen den erkannten Signalen sowie die Bestimmung der Gründe für die Sichtbarkeit der Signale sind die schwerpunktmäßigen Tätigkeiten im Rahmen der Analysephase. Auf dieser Basis erfolgt im Zuge der Prognosephase eine weiterführende Verdichtung der vorliegenden Informationen, um mögliche zukünftige Entwicklungen der erfassten Signale zu antizipieren. Zur Auswahl sowie Priorisierung von adäquaten Reaktionsstrategien wird darüber hinaus eine umfassende Bewertung der identifizierten Signale hinsichtlich deren

voraussichtlichen Bedeutung vorgenommen. Dies stellt die Basis für die abschließende Selektion, Einleitung sowie kontinuierliche Kontrolle der bestimmten Maßnahmen dar.

Bestehende Forschungsarbeiten im Bereich der Frühwarnung lassen sich vorrangig der wissenschaftlichen Disziplin der Betriebswirtschaftslehre zuordnen. Es werden Frühwarnmethoden und -konzepte als Bestandteile des strategischen Controllings erarbeitet. Im Fokus steht dabei die Unterstützung der Unternehmensführung in von hoher Unsicherheit geprägten Entscheidungssituationen mit Bezug auf die langfristige Unternehmensplanung (KRYSTEK 2007).

Zur informatorischen Kopplung von strategischen und operativen Frühwarnsystemen entwickelt GEIBLER (1995) ein Modell, das einen fortlaufenden Austausch von Informationen zwischen den einzelnen Systemen ermöglicht. Hierfür werden in gesonderten Verarbeitungsstellen schwache (qualitative) und starke (quantitative) Signale getrennt voneinander analysiert. In einer Zentralstelle erfolgt die Zusammenführung und Interpretation der Signale sowie die darauf aufbauende Ableitung möglicher Maßnahmen.

Die Potenziale des Einsatzes der Frühwarnung im Kontext einer unternehmensübergreifenden Wertschöpfung werden nur vereinzelt untersucht. MODER (2008) entwirft ein Modell für ein Frühwarnsystem als Bestandteil des strategischen Supply Risk Managements. Bestehende Risiken im Umfeld der Beschaffung werden identifiziert und zur Klassifizierung entsprechend der ermittelten Relevanz einer von insgesamt drei Klassen zugeordnet. Der Fokus der Arbeit liegt dabei vor allem auf Risiken strategischer Art.

HOTZ (2007) erstellt in seiner Arbeit ein Konzept für ein simulationsbasiertes Frühwarnsystem zur Unterstützung der operativen PPS. Die Simulation wird zur Prognose von zukünftigen Zuständen des realen Systems eingesetzt. Hierdurch wird zum einen die Identifikation von unerwünschten Zustandsabweichungen und zum anderen die Bestimmung vorteilhafter Potenziale ermöglicht. Darauf aufbauend wird ein mehrstufiges Verfahren zur Generierung und Evaluierung von Handlungsalternativen entwickelt.

Auf Grundlage der Ergebnisse einer umfangreichen Untersuchung in der deutschen Automobilindustrie konzipiert CZAJA (2009) ein indikatorbasiertes Frühwarnsystem für das Qualitätsmanagement in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken. Durch die kontinuierliche Überwachung der Qualität interner und externer Produkte sowie Prozesse sollen Störungen frühzeitig identifiziert und folglich

der Handlungsspielraum zur Einleitung von Entstörungsmaßnahmen vergrößert werden. Als Grundlage hierfür werden insgesamt 17 Frühwarnindikatoren definiert und entsprechend ihrer Relevanz den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette zugeordnet. Zur Bestimmung der Warn- und Toleranzgrenzen für die einzelnen Frühwarnindikatoren wird als generische Lösung die auf Basis bereits vorliegender Daten ermittelbare durchschnittliche Standardabweichung vorgeschlagen. Als geeigneten Ansatz für das Management der Informationsflüsse in dem Wertschöpfungsnetzwerk empfiehlt CZAJA (2009) den Einsatz der Agententechnologie. Zur Generierung und Bereitstellung von Frühwarninformationen wird auf die Fuzzy-Logik verwiesen. CZAJA (2009) geht in seiner Arbeit jedoch nicht auf die detaillierte Gestaltung der Frühwarninformationen sowie deren Bereitstellung an Organisationseinheiten innerhalb eines Unternehmens ein. Darüber hinaus werden die auf Basis einer vorliegenden Frühwarninformation fallspezifisch einzuleitenden Maßnahmen nicht betrachtet. Ferner wird von einer technischen Umsetzung der echtzeitnahen Informationsgewinnung einerseits sowie des Frühwarnsystems andererseits abgesehen.

Im Hinblick auf die Realisierung der möglichst frühzeitigen Identifikation kritischer Ereignisse sind des Weiteren auch Ansätze zur Erkennung von Mustern relevant. Im Rahmen der Wertschöpfung in Netzwerken treten Störungen nicht nur vollkommen unerwartet auf, sondern können sich bereits im Voraus beispielsweise durch Signale andeuten. Dies wird von einem Großteil der Teilnehmer der von CZAJA (2009) durchgeführten empirischen Untersuchung bestätigt.

3.4 Modellierung von Produktions- und Logistikabläufen

3.4.1 Allgemeines

Die Identifikation kritischer Ereignisse im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung sowie die darauf aufbauende Ausgabe einer Frühwarnung setzt die Verfügbarkeit von konsistenten und strukturierten Informationen voraus. Der Einsatz von entsprechenden Modellen ermöglicht hierbei die Interpretation und Nutzung der dazugehörigen Daten. Ein Modell entspricht in diesem Zusammenhang einem vereinfachten Abbild der Realität und soll die im Hinblick auf die Zielsetzung der Modellbildung relevanten Gesichtspunkte beschreiben (VDI-RICHTLINIE 3633 2010). Für die vorliegende Arbeit sind dabei inner- und überbetriebliche Prozesse im Bereich der Produktion und Logistik sowie Informationen zur Beschreibung der hierbei relevanten Objekte zu modellieren. Im weiteren

Verlauf werden daher zunächst wesentliche Ansätze zur Abbildung von Prozessen diskutiert. Auf dieser Grundlage erfolgt die Darstellung von Arbeiten, die schwerpunktmäßig die Beschreibung objektspezifischer Informationen adressieren.

3.4.2 Darstellung von inner- und überbetrieblichen Prozessen

Das *Supply Chain Operations Reference (SCOR)-Modell* stellt einen branchenübergreifenden Ansatz zur einheitlichen Beschreibung sowie Optimierung von Lieferketten dar (BOLSTORFF ET AL. 2007). Es wurde als normatives Geschäftsprozess-Referenzmodell von dem im Jahr 1996 gegründeten *Supply Chain Council (SCC)* entworfen und unterliegt seither einer fortlaufenden Weiterentwicklung (WERNER 2010). Die Charakterisierung der Material- und Informationsflüsse in Lieferketten erfolgt anhand der fünf Hauptprozesse *Planen, Beschaffen, Herstellen, Liefern* und *Rückliefern* (vgl. Abbildung 15).

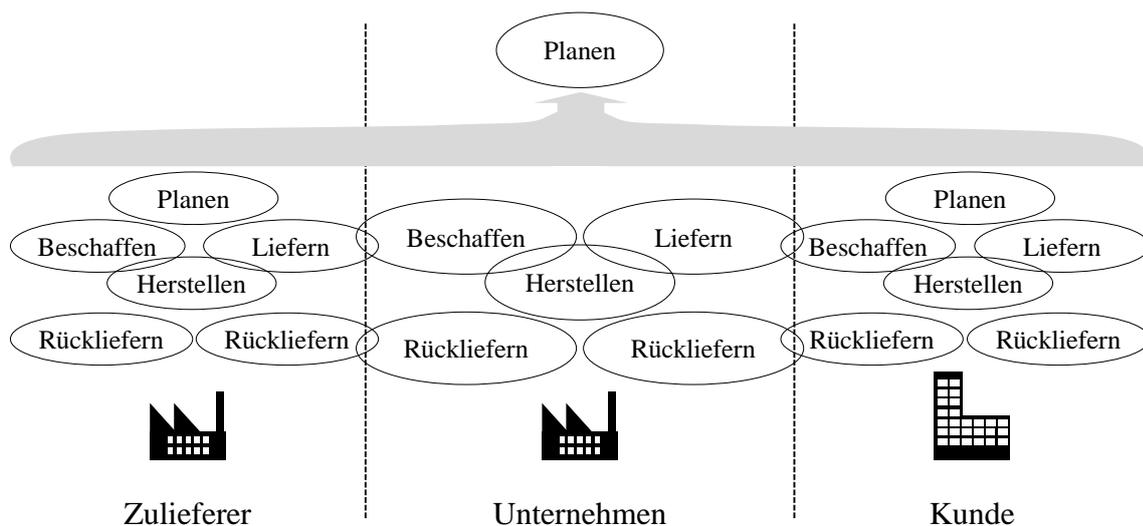


Abbildung 15: Hauptprozesse des SCOR-Modells (in Anlehnung an SCC 2010)

Als hierarchisches Modell umfasst das SCOR-Modell drei Prozessebenen, die sich durch jeweils unterschiedliche Zielsetzungen sowie eine zunehmende Detaillierung voneinander abgrenzen lassen (BOLSTORFF ET AL. 2007, SCC 2010). Die erste Ebene beschreibt in strategischer Sicht die strukturellen Rahmenbedingungen der betrachteten Lieferkette und weist den Teilnehmern der Supply Chain entsprechende Hauptprozesse zu. Die Detaillierung der fünf Hauptprozesse in 26 Prozesskategorien ist Aufgabe der zweiten Ebene. Auf der dritten Ebene erfolgt eine weitere Konkretisierung durch die Erweiterung einzelner Prozesskategorien um Prozesselemente, die jeweils Ein- und Ausgangsinformationen sowie gege-

benenfalls Best Practices beinhalten (ALICKE 2005). Für die im Zuge der Implementierung erforderliche unternehmensindividuelle Spezifikation der Prozesselemente wird eine weitere Ebene vorgesehen, die von dem SCOR-Modell jedoch nicht adressiert wird (vgl. SCC 2010).

Zusammengefasst stellt das SCOR-Modell einen nützlichen Ansatz zur branchenübergreifenden Vereinheitlichung von Abläufen in der Lieferkette dar. Die rudimentäre Darstellung der Abläufe sowie der hohe Abstraktionsgrad verhindern jedoch die Abbildung komplexer Prozesse (HAAREN 2008, WERNER 2010).

Ein weiteres Modell zur branchenübergreifenden Darstellung von Prozessen in Wertschöpfungsnetzwerken ist das *Prozesskettenmodell* nach KUHN (1995). Dieses erlaubt die einheitliche Visualisierung und Abbildung der unternehmensübergreifenden wie auch unternehmensinternen Informations- und Materialflüsse. Eine Prozesskette setzt sich dabei aus einzelnen miteinander verbundenen Prozesskettenelementen zusammen und zeigt deren Anordnung unter Berücksichtigung des Faktors Zeit auf. Anhand von Strukturelementen beschreiben Prozesskettenelemente in diesem Zusammenhang modellhaft ein System und können entsprechend den kontextspezifischen Erfordernissen detailliert werden. Die Strukturelemente werden durch Quellen und Senken, Prozesse, Lenkungsebenen, Ressourcen und Unternehmensstrukturen charakterisiert und bilden die Basis zur Ableitung von Potenzialklassen. (KUHN 1995)

Zur detaillierten Modellierung von Produktions- und Logistikprozessen zeigen sich des Weiteren *Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK)* geeignet (KRCMAR 2011). Eine EPK repräsentiert einen gerichteten Graphen und wird aus den Grundelementen Funktionen, Ereignisse und Konnektoren gebildet (SCHEER 2001). In Ergänzung zu EPK beinhalten *erweiterte EPK (eEPK)* zusätzliche Elemente (z. B. Organisationseinheiten), die zur Erfüllung spezifischer Anforderungen im Hinblick auf die Modellierung beitragen (KRCMAR 2010). Als aktive Elemente umfassen Funktionen zeitverbrauchende Tätigkeiten zur Transformation von Objekten und werden durch Ereignisse initiiert (SCHEER 1994). Als passive Elemente beschreiben Ereignisse dabei grundsätzlich zeitpunktbezogene Zustände, die zeitlich vor oder nach einer Funktion vorliegen können (LEHNER ET AL. 2008). Die logische Verknüpfung zwischen einem Ereignis und einer Funktion erfolgt durch den Einsatz von unterschiedlichen Konnektoren. Ferner können sich spezifische Organisationseinheiten für die Ausführung einzelner Funktionen verantwortlich zeigen und im Modell dementsprechend den jeweiligen Funktionen zugeordnet werden. Darüber hinaus ist es möglich, Funktionen

mit Informationsobjekten zu verknüpfen und in diesem Kontext eine Unterscheidung zwischen dem Auslesen oder Ändern dieser vorzunehmen (ARNDT 2010). Zusammengefasst stellt vor allem die detaillierte Abbildbarkeit komplexer Prozesse den wesentlichen Vorteil der Modellierung anhand von eEPK dar.

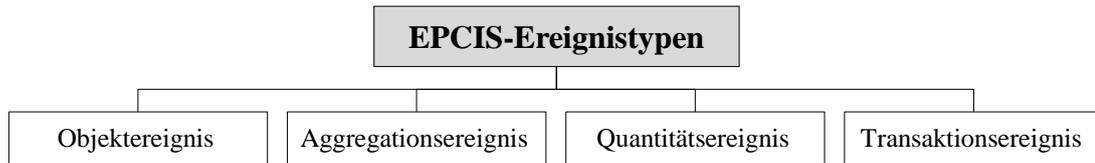
3.4.3 Darstellung von objektbezogenen Informationen

Zur Schaffung einer unternehmensübergreifenden Transparenz sind neben den Produktions- und Logistikprozessen auch Informationen zu modellieren, die eine eindeutige Identifikation von logistischen Objekten (z. B. Produkte) in der Lieferkette ermöglichen sowie Auskunft über Zustand und Status dieser geben. Im Hinblick auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit werden hierbei schwerpunktmäßig mit einem RFID-Transponder ausgestattete Objekte betrachtet, die entsprechend einem vorliegenden Auftrag Prozesse in dem Wertschöpfungsnetzwerk durchlaufen.

Nach DIN 6763 (1985) stellt dabei das *Identifizieren* „das eindeutige und unverwechselbare Erkennen eines Gegenstandes anhand von Merkmalen (Identifizierungsmerkmalen) mit der für den jeweiligen Zweck festgelegten Genauigkeit“ dar (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1985). Um im unternehmensübergreifenden Kontext eine sichere Identifikation von logistischen Objekten auf Basis der RFID-Technologie zu erlauben, wurde der *Electronic Product Code (EPC)* entwickelt (GS1 AISBL 2011). Der EPC ist eine eindeutige Nummer und wird anhand standardisierter Kodierungsvorgaben, die seitens des Industriekonsortiums EPCglobal bereitgestellt werden, speziell für ein spezifisches Objekt generiert und auf dessen RFID-Transponder für die weitere Wertschöpfung abgelegt (FINKENZELLER 2006, TAMM & TRIBOWSKI 2010).

Darauf aufbauend repräsentieren *Electronic Product Code Information Services (EPCIS) Ereignisse* einen Ansatz für die Beschreibung des Status von Objekten (EPCGLOBAL 2007). EPCIS-Ereignisse können im Rahmen der Produktions- und Logistikabläufe in der Lieferkette anhand der EPC-basierten Identifikation eines Objektes prozessspezifisch erstellt werden. Das EPCIS-Datenmodell umfasst neben einem Basistyp insgesamt vier weitere Ereignistypen als Subklassen (EPCGLOBAL 2007). Ein *Objekt ereignis* enthält Informationen über die Lesung von einem oder mehreren Objekten. Das *Aggregationsereignis* ordnet eine bestimmte Anzahl an Objekten (z. B. Produkt) einer Einheit (z. B. Ladungsträger) zu. Über *Quantitätsereignisse* wird die Menge einer bestimmten Objektklasse übermittelt. Mit Hilfe von *Transaktionsereignissen* werden Objekte ferner mit

einer Transaktion (z. B. Produktionsauftrag) verknüpft oder getrennt (vgl. Abbildung 16).



*Abbildung 16: Typen von EPCIS-Ereignissen
(in Anlehnung an EPCGLOBAL 2007)*

Grundsätzlich umfasst ein EPCIS-Ereignis eine Referenz zum erfassten Objekt sowie zur Lokation der Identifikation und beinhaltet neben dem Zeitstempel der Ereignisgenerierung eine Beschreibung des jeweiligen Geschäftskontextes (TAMM & TRIBOWSKI 2010). Anhand von EPCIS-Ereignissen ist somit die strukturierte Darstellung der wesentlichen Statusinformationen von Objekten in der Lieferkette möglich. Das den EPCIS-Ereignissen zugrundeliegende Datenmodell erlaubt jedoch keine Abbildung von technischen Informationen zur Wiedergabe von spezifischen Fertigungszuständen eines Objektes in der Lieferkette. Nach DIN 6789 (1990) setzen sich technische Informationen im Hinblick auf ein Produkt dabei aus technologie-, geometrie-, und organisationsbezogenen Informationen zusammen (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1990).

3.5 Zusammenfassung und Handlungsbedarf

In Kapitel 3 wurden die im Hinblick auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit relevanten Forschungsvorhaben betrachtet. In diesem Rahmen wurde schwerpunktmäßig auf Verfahren zur Gestaltung der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung und dem hierbei wesentlichen Management von unvorhergesehenen Ereignissen sowie Störungen eingegangen. Einen weiteren Fokus bildeten Modellierungskonzepte zur Abbildung von Abläufen sowie Objektzuständen in Lieferketten.

In den dargestellten Arbeiten stellt die Analyse von auftragspezifischen Informationen die Basis zur Bewertung der Kritikalität von Ereignissen im Zuge der Produktions- und Logistikabläufe dar. Für die Evaluierung der voraussichtlichen Verfügbarkeit von benötigten Materialien werden jedoch keine produktspezifischen Informationen berücksichtigt, die technologische und geometrische Eigenschaften von Objekten beschreiben. Hierfür stehen keine Ansätze zur Modellie-

rung der technischen Spezifikationen von Objektzuständen im Zuge der Wertschöpfung sowie zur echtzeitnahen Bereitstellung dieser Informationen in der Lieferkette zur Verfügung. Folglich fehlt es auch an Arbeiten, die unter Einbeziehung dieser Informationen die strukturierte Auswahl sowie Einleitung entstörender Maßnahmen im Kontext eines adaptiven Störungsmanagements erlauben. Darüber hinaus mangelt es an konkreten Verfahren zur Berücksichtigung von wiederkehrenden Mustern im Hinblick auf die frühzeitige Warnung vor Störungen in der Lieferkette.

Demzufolge besteht der Handlungsbedarf in der Entwicklung eines Systems, das durch die frühzeitige Identifikation von kritischen Abweichungen sowie Entwicklungen im Hinblick auf den Zustand sowie Status von Objekten in der Lieferkette die Absicherung der innerbetrieblichen Produktion ermöglicht. Auf Grundlage des identifizierten Handlungsbedarfs werden in dem nachfolgenden Kapitel 4 die Anforderungen detailliert, denen das in dieser Arbeit zu entwickelnde Frühwarnsystem entsprechen soll.

4 Anforderungen an ein ereignisbasiertes Frühwarnsystem

4.1 Übersicht

Die in Kapitel 1 dargestellte zunehmend vernetzte Produktion in globalen Supply Chains führt zu einer erhöhten Komplexität im Rahmen der Planung und Steuerung von Produktions- und Logistikabläufen. Um den Vorgaben einer schlanken Wertschöpfung zu entsprechen, werden zudem die zur Entkopplung von Abläufen notwendigen Zeit- und Bestandsreserven zwischen den Partnern einer Lieferkette reduziert. Als eine Folge dessen steigt die Anfälligkeit der innerbetrieblichen Fertigung gegenüber Störungen, die außerhalb eines Unternehmens im Zuge von Wertschöpfungsprozessen auftreten. Im Hinblick auf die im Netzwerk agierenden Unternehmen ist daher eine adaptive Steuerung der Produktion erforderlich, die aktuelle Ereignisse in der Lieferkette im Zuge der Umsetzung von ursprünglichen Planvorgaben berücksichtigt. In diesem Zusammenhang kommt der Frühwarninformation, die rechtzeitig auf externe kritische Ereignisse mit potenzieller Störwirkung auf ein Unternehmen hinweist, eine hohe Bedeutung zu (vgl. Abschnitt 3.3.4). Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Konzeption eines Frühwarnsystems, das durch die echtzeitnahe Störungsideifikation eine frühzeitige Einleitung adaptiver Maßnahmen ermöglicht und somit zur Absicherung der Produktion eines in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken operierenden Unternehmens beiträgt. Im Folgenden werden die Anforderungen beschrieben, die hierfür seitens des zu entwickelnden Systems erfüllt werden müssen.

4.2 Unternehmensübergreifender Zugriff auf Informationen

Die Absicherung von innerbetrieblichen Produktionsabläufen setzt insbesondere eine echtzeitnahe Identifikation von unvorhergesehenen Ereignissen voraus, die flussaufwärts der Lieferkette auftreten. Aufgrund der sehr geringen Puffer, die zwischen den einzelnen Unternehmen der Lieferkette bestehen, können diese Ereignisse bei flussabwärts gelegenen Unternehmen die plankonforme Durchführung der Produktion erschweren bzw. verhindern. In diesem Zusammenhang sind vor allem eine verspätete Materialbereitstellung sowie Fehlteile zu nennen, die

auf kritische Ereignisse zurückgeführt werden können und störend auf die Produktion eines Unternehmens wirken.

Zur Realisierung einer adaptiven Entstörung der innerbetrieblichen Produktion ist eine unternehmensübergreifende Transparenz wesentlich. Im Fokus steht dabei die echtzeitnahe Verfügbarkeit von Informationen in der jeweils erforderlichen Granularität, die sich auf den aktuellen Ist-Zustand von Objekten (z. B. Zuliefererteil) in der Lieferkette beziehen. In diesem Zusammenhang ist neben dem Auftragsstatus auch der spezifische Zustand eines Objektes informatorisch abzubilden. Um darauf aufbauend die Ist-Zustände der Objekte evaluieren zu können, ist der Zugriff auf Informationen erforderlich, die den vorab festgelegten planmäßigen Soll-Zustand der Objekte zu einem gewissen Zeitpunkt beschreiben.

Zur technischen Realisierung der inner- und überbetrieblichen Generierung der dargestellten Echtzeitinformationen sind darüber hinaus eine geeignete Technologie zu bestimmen sowie Rahmenbedingungen für deren Einsatz zu definieren. Hierbei bietet sich der Einsatz moderner IuK-Technologien an. Um zukünftige Implementierungen des Systems im industriellen Umfeld zu ermöglichen, gilt es in diesem Zusammenhang auch die Wirtschaftlichkeit des Technologieeinsatzes sicherzustellen.

4.3 Identifikation kritischer Ereignisse

Auf Grundlage der unternehmensübergreifend verfügbaren Informationen über den zu einem Zeitpunkt tatsächlich vorliegenden sowie planmäßigen Zustand von Objekten kommt dem Frühwarnsystem die Aufgabe zu, kritische Abweichungen zu identifizieren. Vor allem dem Faktor Zeit wird hierbei eine elementare Rolle zuteil.

Die zentrale Anforderung an das zu entwickelnde System ist die frühzeitige Erkennung von Zuständen sowie tendenziellen Entwicklungen, welche im weiteren zeitlichen Verlauf die planmäßige Versorgung eines Unternehmens mit relevanten Objekten gefährden. Hierdurch soll ein Handlungsspielraum für Maßnahmen im Kontext des Störungsmanagements geschaffen werden. Demzufolge sind Störungen zu Beginn ihrer latenten Phase zu identifizieren. Darüber hinaus sollen durch das System auch Muster erkannt werden, die im Vorfeld auf eine etwaige Störungsanbahnung hinweisen. Bereits vorliegende Erfahrungswerte sollen in diesem Kontext berücksichtigt werden. Seitens des Systems sind hierzu die in

Bezug auf die Versorgung mit Objekten maßgeblichen Produktions- und Logistikprozesse in der Supply Chain fortlaufend zu kontrollieren und bezüglich der Plankonformität zu bewerten.

Für den Fall der Identifikation kritischer Situationen sind die hiervon betroffenen Organisationseinheiten eines Unternehmens anhand detaillierter Frühwarnungen adäquat zu informieren. Um die zeitnahe Einleitung entstörender Maßnahmen ohne die Erfordernis der Einholung weiterer Informationen zu ermöglichen, ist dabei die Eindeutigkeit der Frühwarninformation zu gewährleisten. Eine wichtige Prämisse ist hierbei die Spezifikation des Störpotenzials, das einem kritischen Ereignis zugrunde liegt.

4.4 Absicherung der innerbetrieblichen Produktion

Einhergehend mit der Generierung einer Frühwarnung kommt dem System die Aufgabe der Assistenz im Zuge der Bestimmung von Maßnahmen zu, die auf Basis von erkannten Soll-Ist-Abweichungen einzuleiten sind. Im Fokus stehen hierbei präventive sowie reaktive Entstörungsstrategien, die vorrangig zur Minimierung negativer Auswirkungen von flussaufwärts eines Unternehmens eingetretenen kritischen Ereignissen beitragen. Im Rahmen der Maßnahmenauswahl sind dabei bestehende Restriktionen (z. B. Flexibilität) sowie Fähigkeiten (z. B. Kapazitätsflexibilität) der abzusichernden Produktion zu berücksichtigen. Die relevanten Entscheidungskriterien setzen sich in diesem Zusammenhang aus den logistischen Zielgrößen (z. B. Termintreue, Bestand), der Planungsnervosität sowie den Kosten, die sich aufgrund einer etwaigen Störung sowie Entstörung ergeben können, zusammen.

4.5 Technische und nutzerorientierte Anforderungen

Neben den bereits dargestellten Anforderungen sind von dem zu entwickelnden System auch die folgenden technischen sowie nutzerorientierten Anforderungen zu erfüllen:

- *Integrationsfähigkeit:* Die Utilität des zu entwickelnden Systems ist durch eine durchgängige horizontale sowie vertikale Integration in bestehende IT-Strukturen von Unternehmen zu gewährleisten. Hierfür sind einerseits der Einsatz von standardisierten Daten und Datenstrukturen sowie andererseits das Vorsehen entsprechender Schnittstellen erforderlich.

- *Universalität:* Die Verfahren zur Erzeugung sowie Darstellung einer Frühwarnung und die darauf aufbauende Ableitung von Maßnahmen sollen für Unternehmen gestaltet werden, die branchenübergreifend in hierarchisch-stabilen Lieferketten agieren. Hierzu bedarf es einer generischen Kategorisierung hinsichtlich der Bewertung der Kritikalität von Ereignissen sowie zur Bestimmung und Einleitung entstörender Maßnahmen.
- *Anpassungsfähigkeit:* Die Auswahl von Maßnahmen soll von den Nutzern des zu entwickelnden Systems entsprechend den zu einem Zeitpunkt vorliegenden Rahmenbedingungen sowie Präferenzen beeinflusst werden können. Hierfür ist die Definition eindeutiger Zielgrößen erforderlich, die von den Systemanwendern in der betrieblichen Praxis fallspezifisch gewichtet werden können.

5 Referenzmodell für die ereignisbasierte Frühwarnung

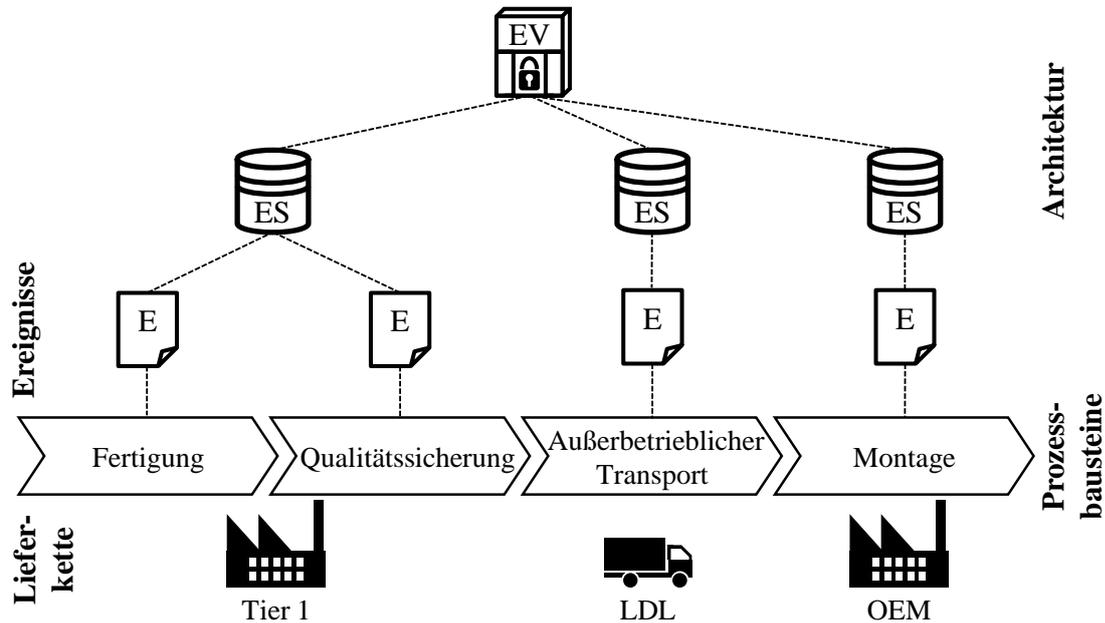
5.1 Übersicht

Grundsätzlich kann unter einem Referenzmodell ein Informationsmodell verstanden werden, das als Soll-Modell über Empfehlungscharakter für eine anforderungsgerechte Modifikation und Entwicklung von unternehmensspezifischen Informationsmodellen verfügt. Aufgrund ihrer Allgemeingültigkeit sollen Referenzmodelle dabei nicht nur den Anforderungen eines einzelnen Bereiches entsprechen, sondern die bereichsübergreifend bestehenden Anforderungen gleicher Art adressieren. Durch das Zurückgreifen auf Referenzmodelle ergeben sich für die betriebliche Praxis unter anderem Vorteile hinsichtlich der Qualität und der Kosten im Rahmen der internen Spezifikation und Integration von Prozessen sowie der Implementierung von Assistenzsystemen. Als eine Hürde bzw. Herausforderung der Referenzmodellierung wird hingegen die Bestimmung des idealen Abstraktionsgrades gesehen. (VOM BROCKE 2003, BECKER ET AL. 2004, KRCCMAR 2010)

Durch die Entwicklung des Referenzmodells wird in der vorliegenden Arbeit das Ziel der Definition eines Soll-Modells verfolgt, das den grundlegenden Anforderungen im Hinblick auf eine transparente Wertschöpfung in Netzwerken genügt. Auf Basis der Modellierung einer echtzeitnahen Generierung und Bereitstellung von auftragsspezifischen Informationen entlang der Lieferkette soll das konzipierte Referenzmodell allgemeingültig den Einsatz von innerbetrieblichen Assistenzsystemen zur Optimierung der PPS erlauben.

Hierfür werden durch das Modell einerseits relevante inner- und überbetriebliche Prozesse, die von Objekten in einem Wertschöpfungsnetzwerk durchlaufen werden, abgebildet und als Bausteine in einem Prozessbaukasten zusammengefasst. Andererseits erfolgt die Spezifikation einer Ereignisstruktur als Datenmodell, das die Darstellung von objektspezifischen Auftragsmerkmalen im Rahmen der Produktions- und Logistikprozesse ermöglicht. Die Zusammenführung der Ereignisstruktur mit den Prozessmodellen wird anhand einer Matrix, die prozessbezogen entsprechende Informationsbedarfe auf Basis der Ereignisstruktur definiert, vollzogen. Ferner erfolgt die Entwicklung einer Referenzarchitektur, welche die

Realisierung und Gestaltung von Informationsflüssen sowie deren Verwendung durch den Einsatz von Assistenzsystemen beschreibt (vgl. Abbildung 17).



Legende

| | | | |
|-----|-----------------------|--------|-------------------------|
| | : Ereignisinformation | ES | : Ereignisspeicher |
| EV | : Ereignisverwalter | LDL | : Logistikdienstleister |
| OEM | : Hersteller | Tier 1 | : Zulieferer |

Abbildung 17: Überblick zum Referenzmodell

Anhand der Orientierung an dem Referenzmodell wird es ermöglicht, dass innerbetriebliche Assistenzsysteme auf aktuelle Ereignisinformationen in der Lieferkette zugreifen können und diese gemäß ihrer zugehörigen Funktionalitäten analysieren. Die jeweiligen Prozesse und die im Rahmen dieser spezifisch zu generierenden Informationen werden zu diesem Zweck in dem Referenzmodell strukturiert beschrieben. Ferner steht mit der Referenzarchitektur eine Vorlage für den standardisierten unternehmensübergreifenden Austausch und die zielgerichtete innerbetriebliche Bereitstellung dieser Informationen zur Verfügung.

Die Allgemeingültigkeit des vorliegenden Referenzmodells wird in diesem Kontext durch die Berücksichtigung von bestehenden Normen und Richtlinien bewahrt. Der Herausforderung im Hinblick auf die Bestimmung des Abstraktionsgrades wird zunächst mit einer detaillierten und umfassenden Strukturierung der einzelnen Modelle begegnet. Durch das Vorsehen von Freiheitsgraden zur flexiblen Parametrisierung wird jedoch auch der Erfordernis einer Übertragbarkeit des Modells auf weitere Anwendungsfälle entsprochen.

Das im vorliegenden Kapitel dargestellte Referenzmodell stellt die wesentliche Grundlage für die auf einer Frühwarnung fußende adaptive Steuerung von Produktionsabläufen in einem Unternehmen dar. Der Aufbau sowie die einzelnen Elemente des Referenzmodells werden im Folgenden detailliert.

5.2 Modellierung der Wertschöpfung in Netzwerken

5.2.1 Konzeption einer Referenz-Lieferkette

Im Folgenden wird eine Referenz-Lieferkette beschrieben, welche die grundlegende Struktur der von dieser Arbeit adressierten Wertschöpfungsnetzwerke repräsentiert. Die Referenz-Lieferkette ist somit die Ausgangsbasis für eine zunehmende Konkretisierung mit dem Ziel der Identifikation von relevanten Prozessen, die zur Beschreibung der Produktions- und Logistikabläufe in einem Wertschöpfungsnetzwerk modelliert werden sollen.

Entsprechend der in Abschnitt 2.2.3 vorgenommenen Eingrenzung des Betrachtungsgegenstandes setzt sich die Referenz-Lieferkette dabei grundsätzlich aus mehreren Unternehmen zusammen, die in einem Kunden-Lieferanten-Verhältnis zueinander stehen und gemäß ihrer Wertschöpfungsstufe an der Fertigung von individuellen Produkten beitragen. Die entscheidende Rolle wird hierbei dem absatzmarktnahen Unternehmen zuteil, welches sich als Hersteller (engl. Original Equipment Manufacturer (OEM)) für die Fertigung des Endproduktes verantwortlich zeigt und dabei eine dominierende Rolle in dem Netzwerk einnimmt. Als Zulieferer des OEM fungiert der sogenannten First Tier (Tier 1), dem die Aufgabe der Komponentenfertigung obliegt. Dieser wird hierfür von dem Second Tier (Tier 2) mit benötigten Standardteilen bzw. Rohstoffen versorgt (vgl. SCHUH ET AL. 2006). Von Logistikdienstleistern (LDL) wird ferner der unternehmensübergreifende Materialfluss zwischen den einzelnen Unternehmen der Lieferkette vollzogen. Aufgrund der fehlenden Relevanz hinsichtlich der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit wird im Rahmen der Konzeption der Referenz-Lieferkette von der Berücksichtigung weiterer produzierender Unternehmen (z. B. Third Tier) abgesehen.

5.2.2 Prozessuale Konkretisierung

5.2.2.1 Baukasten für die Prozessbeschreibung

In Anlehnung an das SCOR-Modell (vgl. Abschnitt 3.4.2) ist es möglich, eine erste prozessuale Konkretisierung und Detaillierung der dargestellten Referenz-Lieferkette vorzunehmen (vgl. CRAMER 2004). Die vier Hauptprozesse *Beschaffen*, *Herstellen*, *Liefern* und *Rückliefern* beschreiben die Bearbeitung bzw. den Transport von Objekten innerhalb der Lieferkette. Durch die Vernetzung dieser Prozesse ist das Kunden-Lieferanten-Verhältnis bestimmt. Die in diesem Kontext erforderliche Anpassung von Angebot und Nachfrage erfolgt im Rahmen des fünften Prozesses *Planen* (vgl. SCC 2010). Auf Basis der Zuordnung dieser fünf Prozesse zu den vorab definierten Unternehmen wird ein erstes Modell der in dieser Arbeit betrachteten Referenz-Lieferkette erstellt. Dieses bildet in rudimentärer Form den Aufbau sowie die Abläufe innerhalb der Lieferkette ab.

Zur weiteren Detaillierung der Abläufe stellt das hierarchisch strukturierte SCOR-Modell zwei zusätzliche Ebenen zur Verfügung, anhand derer eine Konfiguration sowie Konkretisierung der Hauptprozesse vorgenommen werden kann (vgl. Abschnitt 3.4.2). Die explizite Beschreibung der Zustände (z. B. Fertigungstoleranzen), die Objekte im Zuge der Wertschöpfung zu bestimmten Zeitpunkten einnehmen, ist hierbei jedoch nicht vorgesehen. Da dies aber eine zentrale Zielstellung der vorliegenden Arbeit darstellt, erweist sich das SCOR-Modell somit für die weitere Spezifikation der Referenz-Lieferkette als nicht geeignet. Für die Detaillierung der bereits identifizierten Hauptprozesse ist daher das Zurückgreifen auf ein alternatives Modellierungsverfahren erforderlich. Neben dem SCOR-Modell stellen gemäß Abschnitt 3.4.2 einerseits das Prozesskettenmodell nach KUHN (1995) und andererseits eEPK Methoden zur probaten Abbildung von Produktions- und Logistikabläufen dar. Unternehmensübergreifende Abläufe von hoher Komplexität können hierbei vor allem durch eEPK beschrieben werden. Auf deren Basis erfolgt daher die weiterführende Konkretisierung der relevanten Prozesse.

Hierfür wird zunächst eine für Produktions- und Logistikabläufe gesonderte Bestimmung von Prozessbausteinen als Unterelemente der festgelegten Hauptprozesse vorgenommen. Die Grundlage dafür bildet die Orientierung an Normen und Richtlinien, die sich in der betrieblichen Praxis bewährt haben. Dem folgt die angepasste Modellierung der Prozessbausteine durch eEPK. Als Ergebnis steht ein Prozessbaukasten zur standardisierten sowie formalisierten Beschrei-

bung der physischen Materialflüsse entlang der Referenz-Lieferkette zur Verfügung, der den Anforderungen in Bezug auf die Granularität der Prozessbeschreibung entspricht.

5.2.2.2 Prozessbausteine im Bereich der Produktion

Der Hauptprozess *Herstellen* subsumiert Abläufe im Bereich der Produktion. Diese adressieren vorrangig die innerhalb von Unternehmen vorzunehmende Bearbeitung von Objekten. In diesem Kontext ist anhand der Bestimmung sowie Modellierung von spezifischen Prozessbausteinen die detaillierte Beschreibung des hierbei relevanten Materialflusses erforderlich. Für die in Abschnitt 5.2.1 definierte Referenz-Lieferkette lassen sich unter Berücksichtigung von DIN 8580 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003a) und der VDI-RICHTLINIE 2860 (1990) insgesamt vier Prozessbausteine identifizieren (vgl. Abbildung 18).

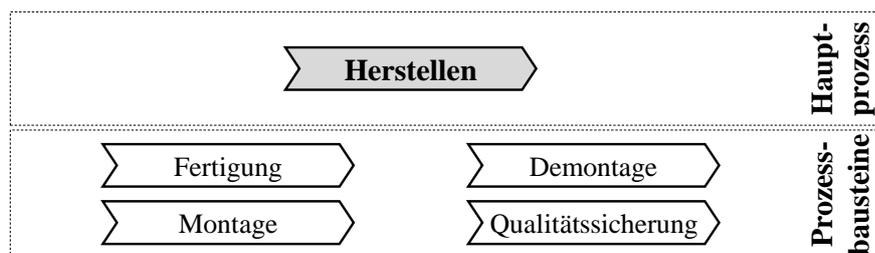


Abbildung 18: Prozessbausteine im Bereich der Produktion

Durch den Prozessbaustein *Fertigung* werden dabei in Anlehnung an DIN 8580 (2003a) Verfahren zur Erzeugung von geometrisch bestimmten Objekten abgebildet (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003a). Aus diesem Grund ist dieser Prozessbaustein für die Beschreibung von Produktionsprozessen dienlich, die im Zuge der Herstellung von Standardkomponenten schwerpunktmäßig bei Tier 1 und Tier 2 als Unternehmen der Lieferkette durchgeführt werden. Demgegenüber stellt der Prozessbaustein *Montage* die Vorgänge zum Zusammenbau der einzelnen Objekte zu einem Erzeugnis dar, die bei den OEM stattfinden. Als wesentliche Tätigkeiten werden hierbei das in DIN 8593 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003b) spezifizierte Fügen und das in der VDI-RICHTLINIE 2860 (1990) definierte Handhaben beschrieben. Im Gegensatz dazu charakterisiert der Prozessbaustein *Demontage* das in DIN 8591 (2003c) bestimmte Zerlegen von Erzeugnissen in einzelne Objekte (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003c). In dem flussabwärts gerichteten Materialfluss resultiert das Erfordernis einer Demontage von Erzeugnissen aus

deren Nichterfüllung von vorab definierten Auftragsmerkmalen. Die Arbeitsgänge zur Prüfung eines Objektes hinsichtlich unzulässiger Abweichungen in Bezug auf spezifische Merkmale werden hierbei durch den Prozessbaustein *Qualitätssicherung* beschrieben. Dieser Baustein bildet vornehmlich die in der VDI-RICHTLINIE 2860 (1990) beschriebene Teilfunktion des Kontrollierens ab. (vgl. REINHART ET AL. 2014)

5.2.2.3 Prozessbausteine im Bereich der Logistik

Die im Umfeld der Logistik relevanten Hauptprozesse der Referenz-Lieferkette sind das *Beschaffen*, *Liefern* und *Rückliefern*. Anhand von modular aufgebauten Prozessbausteinen lassen sich diese dem erforderlichen Abstraktionsgrad entsprechend detaillieren (vgl. Abbildung 19).

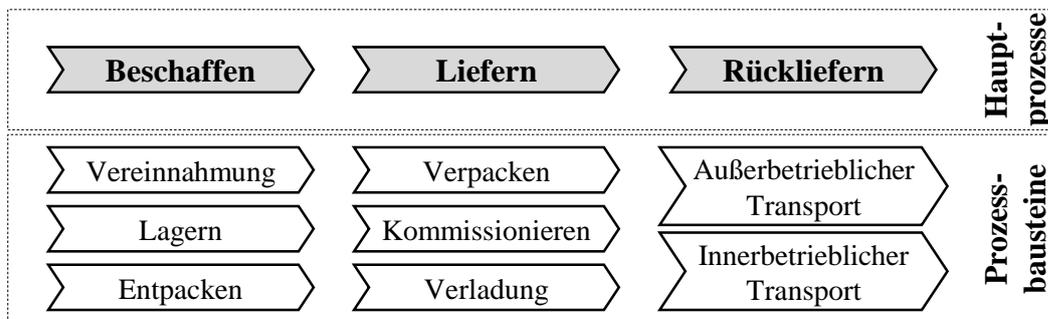


Abbildung 19: Prozessbausteine im Bereich der Logistik

Hinsichtlich der Transporte von Objekten wird in diesem Zusammenhang zwischen *außerbetrieblichen Transporten* und *innerbetrieblichen Transporten* unterschieden. Der Prozessbaustein *Lagern* umfasst das Ein- und Auslagern sowie die Lagerung von Objekten. Ferner entspricht das *Kommissionieren* der Zusammenstellung und der Zuweisung von Objekten zu einem Ladungsträger. Die Zuordnung von mit Objekten belegten Unterladungsträgern zu einem übergeordneten Ladungsträger wird durch den Prozessbaustein *Verpacken* abgebildet. Das Aufheben der Zuordnung von Objekten zu Ladungsträgern wird mittels des Pendant *Entpacken* dargestellt. Darüber hinaus charakterisieren die Prozessbausteine *Vereinnahmung* sowie *Verladung* Umschlagsprozesse und in diesem Kontext die Übergänge zwischen dem außerbetrieblichen Transport und den innerbetrieblichen Abläufen bei Unternehmen des Wertschöpfungsnetzwerkes. (vgl. REINHART ET AL. 2014)

Der modulare Aufbau der bestimmten Prozessbausteine erlaubt deren flexible Verknüpfung zu Prozessketten. Anhand dieser Prozessketten ist es möglich, die

Hauptprozesse im Umfeld der Logistik in der erforderlichen Granularität zu beschreiben.

5.2.2.4 Modellierung der Prozessbausteine

Sowohl im Bereich der Produktion als auch im Umfeld der Logistik wurden Prozessbausteine bestimmt, die als elementare Bestandteile der Hauptprozesse essentielle Vorgänge des Materialflusses in der Referenz-Lieferkette abbilden. Durch die weiterführende Modellierung der Prozessbausteine auf Basis der Methode der erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten erfolgt die Verknüpfung der hierbei relevanten Material- und Informationsflüsse. Gemäß der in Abschnitt 3.4.2 dargestellten Modellstruktur wird dabei jeder Prozessbaustein einzeln als separate eEPK abgebildet. Im Wesentlichen beinhalten die jeweiligen Prozessketten zum einen Soll-Vorgaben hinsichtlich konkreter Tätigkeiten, die im Zuge des Prozessdurchlaufs von Objekten sequentiell durchzuführen sind. Andererseits werden an dieser Stelle zu erfüllende Mindestkriterien in Bezug auf die in diesem Rahmen synchron zu berücksichtigenden und gleichermaßen zu generierenden Informationen definiert. Zwischen den einzelnen Tätigkeiten und Informationen bestehen in diesem Kontext eindeutige Zuordnungen. Darüber hinaus wird auf die fallspezifisch relevanten IuK-Technologien referenziert. Die einzelnen Modelle der Prozessbausteine sind in dem Anhang der vorliegenden Arbeit hinterlegt (vgl. Abschnitt 14.1).

Als Ergebnis der Modellierung steht somit ein Standard zur Verfügung, der in Funktion einer seitens der Unternehmen zu erfüllenden Vorgabe für jeden Prozess relevante Tätigkeiten sowie Informationen bestimmt. Der hierbei gewählte Abstraktionsgrad lässt jedoch auch die Option einer weiterführenden Prozessdetaillierung offen. Im Zuge der Einführung in einem Unternehmen ist es folglich möglich, individuelle Anpassungen an interne oder auch branchentypische Bedingungen vorzunehmen. Durch den Einsatz des Standards in einem Betrieb wird zum einen die Grundlage für die Schaffung einer adäquaten Informationsbasis in der Lieferkette gelegt. Zum anderen wird die unternehmensübergreifende Interpretierbarkeit der jeweiligen Informationen anhand der strukturierten Kopplung mit den Prozessen gewährleistet. Die in diesem Zusammenhang fokussierten Informationen enthalten Angaben über die auftragsspezifischen Merkmale von Objekten in der Lieferkette. Auf Basis von Ereignissen werden hierbei der zu einem Zeitpunkt vorliegende Status sowie Zustand eines Objektes beschrieben. Die Definition sowie Konkretisierung des ereignisbasierten Datenmodells ist Inhalt des nachfolgenden Abschnitts.

5.3 Ereignisbasierte Abbildung von Auftragsmerkmalen

5.3.1 Entwicklung der Ereignisstruktur

Eine entscheidende Voraussetzung für die Identifikation von kritischen Abweichungen, die flussaufwärts eines Unternehmens in der Lieferkette auftreten, ist die Verfügbarkeit von feingranularen Informationen hinsichtlich der zu beschaffenden Objekte. Im vorliegenden Abschnitt wird daher eine Ereignisstruktur entwickelt, die eine adäquate Beschreibung von Objekten entlang der bereits definierten Prozessbausteine erlaubt. In diesem Zusammenhang ist anhand von Merkmalen sowie ihren Ausprägungen zum einen der Status eines Objektes in Bezug auf den zugrundeliegenden Auftrag darzustellen. Zum anderen bedarf es einer Detaillierung der spezifischen Zustände, die Objekte im Rahmen der Prozesse annehmen (vgl. REINHART ET AL. 2013a).

Der in der industriellen Praxis verbreitete EPCIS-Standard findet im Zuge der Konzeption der Ereignisstruktur Berücksichtigung. Ein gemäß dem EPCIS-Datenmodell erzeugtes Ereignis beinhaltet neben dem Zeitstempel und Standort dessen Generierung Angaben zu dem jeweiligen Geschäftskontext sowie zur eindeutigen Objektidentifikation (vgl. Abschnitt 3.4.3). Anhand der Auswertung dieser Informationen ist eine weitgehende Bestimmung des Auftragsstatus im Hinblick auf das erfasste Objekt möglich. Es kann jedoch keine Aussage über den spezifischen Zustand des Objektes getroffen werden. Hierfür sind Informationen erforderlich, die eine Beschreibung der Beschaffenheit des Objektes zum Betrachtungszeitpunkt erlauben. In Anlehnung an DIN 55350-11 (2008) wird die Beschaffenheit eines Objektes dabei durch die Gesamtheit der Merkmale sowie deren Werte bestimmt (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2008). In diesem Kontext sind für die vorliegende Arbeit vorrangig diejenigen Merkmale von Bedeutung, die Eigenschaften in Bezug auf die Qualität eines Objektes zum Inhalt haben.

Demzufolge sieht die entwickelte Ereignisstruktur quantitative sowie qualitative Merkmale zur Beschreibung der im Mittelpunkt der Betrachtung stehenden auftragsbezogenen Objekte in der Lieferkette vor. Die Werte von qualitativen Merkmalen sind beschreibender Art und werden nach DIN 55350-12 (1989) einer Skala ohne definierte Abstände zugeordnet (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1989). Wesentlich sind hierbei die Merkmale *Identität*, *Prozessbaustein* und *Typ*. Quantitative Merkmale lassen sich indessen anhand exakter Werte beschreiben und können somit auf einer Skala mit definierten

Abständen dargestellt werden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1989). Als Vertreter von quantitativen Merkmalen umfasst die Ereignisstruktur an dieser Stelle die *Zeit*, *Lokation* sowie *Qualität*.

Auf Basis der definierten Merkmale bildet die Ereignisstruktur das Grundgerüst zur ereignisbasierten Objektverfolgung in der Lieferkette. Dabei wird anhand des EPC (vgl. Abschnitt 3.4.3) die *Identität* des erfassten Objektes eindeutig festgelegt. Der jeweils vorliegende Geschäftskontext wird durch den Verweis auf die in Abschnitt 5.2.2 bestimmten *Prozessbausteine* eingegrenzt und durch die Angabe des exakten Zeitstempels (*Zeit*) sowie Standorts (*Lokation*) der Lesung konkretisiert. Darüber hinaus weist der *Typ* des Ereignisses auf den Auslöser der Ereignisgenerierung hin. Die Abbildung des Zustandes (*Qualität*) des Objektes erfolgt anhand von kennzeichnenden Eigenschaften und deren Ausprägungen, die fallspezifisch zu bestimmen sind. In Anlehnung an DIN 6789-2 (1990) werden hierbei technologische (z. B. Werkstoffhärte) und geometrische (z. B. Maß) Charakteristika beschrieben (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1990). Auf Grundlage dieser Merkmale kann die objektspezifische Prüfung von *Werkstoff*, *Funktion* und *Geometrie* als Aufgabe der Fertigungsmesstechnik erfolgen (vgl. PFEIFER & SCHMITT 2010). In Abbildung 20 wird die beispielhafte Generierung eines Ereignisses gemäß der spezifizierten Ereignisstruktur dargestellt.

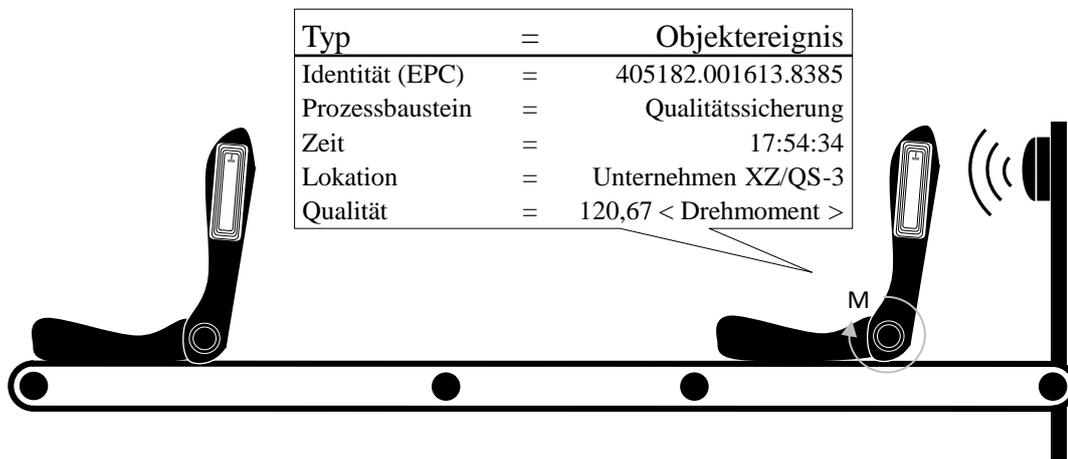


Abbildung 20: Beispielhafte Generierung des Prüfereignisses im Prozessbaustein Qualitätssicherung

5.3.2 Matrix zur prozessspezifischen Ereignisdetaillierung

In Abschnitt 5.2.2 wurde für die Beschreibung der bedeutsamen Prozesse in der Referenz-Lieferkette ein Baukasten erarbeitet. Dieser beinhaltet Modelle der einzelnen Prozessbausteine, in welchen Anforderungen bezüglich der zu generie-

renden Informationen in Form von Ereignissen hinterlegt sind. Ferner wurde im vorherigen Abschnitt anhand von Merkmalen sowie deren Ausprägungen die grundsätzliche Struktur der Ereignisse definiert. Auf dieser Basis erfolgt im weiteren Verlauf der Arbeit eine informatorische Konkretisierung durch die Zusammenführung der Prozess- und Ereignismodelle. In diesem Zusammenhang liegt der Fokus auf der Detaillierung der Informationsbedarfe hinsichtlich der jeweiligen Ereignisse, deren Generierung in den einzelnen Prozessbausteinen bestimmt wird. Die hierbei bestimmten Anforderungen werden ereignisspezifisch zu den generischen Merkmalen der Ereignisstruktur in Beziehung gesetzt und in Form einer Matrix festgehalten. In den Zeilen der Matrix werden die relevanten Ereignisse aufgeführt, deren Einsatz in der Referenz-Lieferkette vorgesehen ist. Die Spalten der Matrix beinhalten die Merkmale der Ereignisstruktur. Über die entsprechende Auswahl werden die jeweiligen Beziehungen dargestellt. Im Anhang der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der prozessspezifischen Ereignisdetaillierung zusammenfassend dargestellt (vgl. Abschnitt 14.2).

5.4 Referenzarchitektur für das Informationsmanagement

5.4.1 Konzeption der Referenzarchitektur

Neben der Modellierung von Prozessen und Ereignissen zur Beschreibung der Informationsgenerierung ist es in Bezug auf das übergeordnete Referenzmodell notwendig, eine Architektur für das Informationsmanagement in der Referenz-Lieferkette zu definieren. Die Architektur bildet dabei die konzeptuelle Voraussetzung zur Bewerkstelligung der sowohl inner- als auch überbetrieblich erforderlichen Informationsflüsse. In diesem Rahmen liegt der Schwerpunkt auf der Spezifikation des echtzeitnahen Zugriffes von Unternehmen auf relevante Informationen, die ereignisbasiert den zu einem Beobachtungszeitpunkt bestehenden Zustand in der Referenz-Lieferkette beschreiben. Auf dieser Basis erfolgt in einem weiteren Schritt die innerbetriebliche Integration von Assistenzsystemen, die im Rahmen ihrer Nutzung auf die Verfügbarkeit dieser Informationen angewiesen sind.

Zur Realisierung des Austausches von Ereignisinformationen entlang der Lieferkette setzt sich die Referenzarchitektur aus zentralen sowie dezentralen Elementen zusammen. Das zentrale Element ist der sogenannte Ereignisverwalter, der sich in Anlehnung an den im Forschungsprojekt RAN entwickelten InfoBroker für die informatorische Vernetzung der Partner in der Lieferkette verantwortlich

zeigt (vgl. SCHMID ET AL. 2014). Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen in diesem Kontext die als Ereignisspeicher bezeichneten dezentralen Elemente der Architektur. Diese repräsentieren lokal bei den einzelnen Unternehmen angesiedelte Datenbanken, in denen die im Rahmen der Wertschöpfung generierten Ereignisse abgelegt und gespeichert werden. Jeder Akteur des Netzwerkes verfügt hierbei über einen separaten Ereignisspeicher zur Handhabung der in dessen Verantwortungsbereich erzeugten Ereignisse. Demzufolge werden die Ereignisdaten in der Referenz-Lieferkette ausschließlich dezentral in den jeweiligen Ereignisspeichern gehalten.

Als Schnittstelle zwischen den einzelnen Netzwerkpartnern kommt dem Ereignisverwalter die Aufgabe zu, den unternehmensübergreifenden Zugriff auf die relevanten Informationen zu organisieren. Der Informationsaustausch erfolgt dabei über die zugehörigen Ereignisspeicher. Die Grundlage hierfür bilden einzurichtende Berechtigungen für die einzelnen Akteure, um die zur Erfüllung interner Aufgaben erforderlichen Daten externen Ursprungs zu beziehen. Auf Basis von automatisierten oder manuellen Abfragen wird über den Ereignisverwalter ein vom Materialfluss entkoppelter überbetrieblicher Informationsfluss realisiert. In diesem Zusammenhang werden ausschließlich standardisierte Daten ausgetauscht, die den Vorgaben der Prozessmodelle entsprechen und folglich in Form von Ereignissen den aktuellen Ist-Zustand und Status von Objekten in der Lieferkette beschreiben. Daten, die den Soll-Zustand von Objekten zu einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt abbilden sollen, werden seitens der Referenzarchitektur im überbetrieblichen Kontext nicht berücksichtigt.

5.4.2 Innerbetriebliche Integration von Assistenzsystemen

Die Orientierung an der konzipierten Referenzarchitektur erlaubt die Verwirklichung eines echtzeitnahen Austausches von Ereignisinformationen entlang der Lieferkette. Darauf aufbauend können durch die innerbetriebliche Integration von Assistenzsystemen die Potenziale dieser Informationsverfügbarkeit erschlossen werden. Gemäß dem Basisprozess des SCOR-Modells *Planen* ist in diesem Zusammenhang die Adaption der ursprünglich vorwiegend auf Vergangenheitsdaten beruhenden Planungen auf die tatsächlich vorherrschenden Gegebenheiten maßgeblich. Negative Auswirkungen auf ein Unternehmen, die aus unvorhergesehenen Entwicklungen resultieren können, werden hierbei nach Möglichkeit minimiert.

Im Bezugsrahmen der Referenzarchitektur erfolgt die unternehmensspezifische Positionierung von Assistenzsystemen auf der Ebene der innerbetrieblichen Informationssysteme zur PPS (vgl. Abbildung 21).



Legende

| | | | | | |
|----|---|-----------------|-----|---|-----------------------------------|
| AS | : | Assistenzsystem | ES | : | Ereignisspeicher |
| S | : | Schnittstelle | PPS | : | Produktionsplanung und -steuerung |

Abbildung 21: Integration von Assistenzsystemen im Unternehmen

Assistenzsysteme stellen somit eine Ergänzung zu den bereits innerhalb eines Unternehmens bestehenden PPS-Systemen dar und sind über standardisierte Schnittstellen (z. B. Web Services) sowohl mit dem jeweiligen Ereignisspeicher als auch den PPS-Systemen des Unternehmens vernetzt. Hierdurch wird zum einen der Zugriff auf die Soll-Daten sichergestellt, die in den PPS-Systemen gepflegt werden. Aufgrund der Anbindung der Assistenzsysteme an den Ereignisspeicher wird zum anderen die Bereitstellung der relevanten Ist-Daten gewährleistet. Auf Grundlage dieser durchgängigen Integration wird somit der Einsatz von Assistenzsystemen ermöglicht, die auf Basis der Verfügbarkeit von echtzeitnahen Ist-Daten unterschiedliche Funktionalitäten (z. B. Frühwarnung) zur adaptiven PPS innehaben können.

5.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Referenzmodell als informatorische Basis für die Konzeption sowie Implementierung des zu entwickelnden Assistenzsystems zur Frühwarnung konzipiert. Das Referenzmodell setzt sich dabei aus den Bestandteilen *Prozessbausteine*, *Ereignisstruktur* und *Referenzarchitektur* zusammen.

Durch die *Prozessbausteine* werden die wesentlichen Abläufe im Bereich der Produktion und Logistik in Wertschöpfungsnetzwerken beschrieben. In diesem Rahmen erfolgt auch die prozessspezifische Bestimmung der Informationsgenerierung, welche die notwendige Abbildung von Ist-Zuständen in der Lieferkette bedingt. Diesbezüglich wird anhand der entwickelten *Ereignisstruktur* ein Datenmodell zur Verfügung gestellt, das die standardisierte Detaillierung und Dar-

stellung von objektspezifischem Status und Zustand in der Lieferkette ermöglicht. Darauf aufbauend beschreibt die Referenzarchitektur die Realisierung der für den Einsatz von Assistenzsystemen erforderlichen inner- sowie überbetrieblichen Informationsflüsse.

Die durch die Orientierung an dem Referenzmodell erzeugbare Transparenz dient im folgenden Kapitel als Grundlage zur Entwicklung von Konzepten für die frühzeitige Identifikation von kritischen Abweichungen in der Lieferkette. Auf dieser Basis kann im weiteren Verlauf der Arbeit die Bestimmung von Maßnahmen erfolgen, die zur Absicherung der innerbetrieblichen Produktion eines Unternehmens beitragen.

6 Ereignisbasiertes System zur Frühwarnung

6.1 Übersicht

Die ereignisbasierte Verfolgung von Objekten gemäß dem in Kapitel 5 spezifizierten Referenzmodell ermöglicht die kontinuierliche Analyse und Bewertung von Produktions- und Logistikabläufen in der Lieferkette. Auf dieser Grundlage werden in dem vorliegenden Kapitel das Konzept sowie die Funktionsweise eines Frühwarnsystems vorgestellt. Der Fokus des Systems liegt auf der frühzeitigen Identifikation von kritischen Ereignissen im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung. In diesem Zusammenhang werden neben dem Status und Zustand einzelner Objekte auch die Entwicklung von Indikatoren in Bezug auf Prozesse sowie Lieferanten der Lieferkette untersucht.

Das im Kontext der Frühwarnung erforderliche Vorgehen wird in Abschnitt 6.2 dargestellt. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 6.3 verschiedene Frühwarnkategorien eingeführt, die eine zielgerichtete Bewertung von entsprechenden Situationen in der Lieferkette ermöglichen. Die zu deren Identifikation relevanten Verfahren werden in Abschnitt 6.4 beschrieben. Schließlich wird in Abschnitt 6.5 auf die Formalisierung der Frühwarnung sowie das zur innerbetrieblichen Informationsbereitstellung erforderliche Regelwerk eingegangen.

6.2 Ablauf der Frühwarnung

Die Ereignisdaten, die gemäß dem in Kapitel 5 beschriebenen Referenzmodell prozessspezifisch generiert werden, repräsentieren bedeutsame Meilensteine im Zuge der Wertschöpfung in der Lieferkette. In der vorliegenden Arbeit stellt die Analyse dieser Ereignisdaten die Grundlage zur Bewertung von Produktions- und Logistikabläufen und somit auch zur Frühwarnung infolge einer Identifikation von kritischen Ereignissen dar. Im Wesentlichen lässt sich das hierbei relevante Vorgehen in vier Phasen einteilen. Neben der Erfassung und Analyse von Objektmerkmalen umfassen diese die Kritikalitätsbewertung sowie die Erzeugung und Verteilung der Frühwarnung. Die abschließende Phase zur Verteilung der Frühwarnung wird hierbei nur für den Fall der Identifikation von kritischen Ereignissen im Zuge der Bewertung der Kritikalität durchlaufen. In Abbildung 22 erfolgt die zusammenfassende Darstellung des Ablaufs zur Frühwarnung.

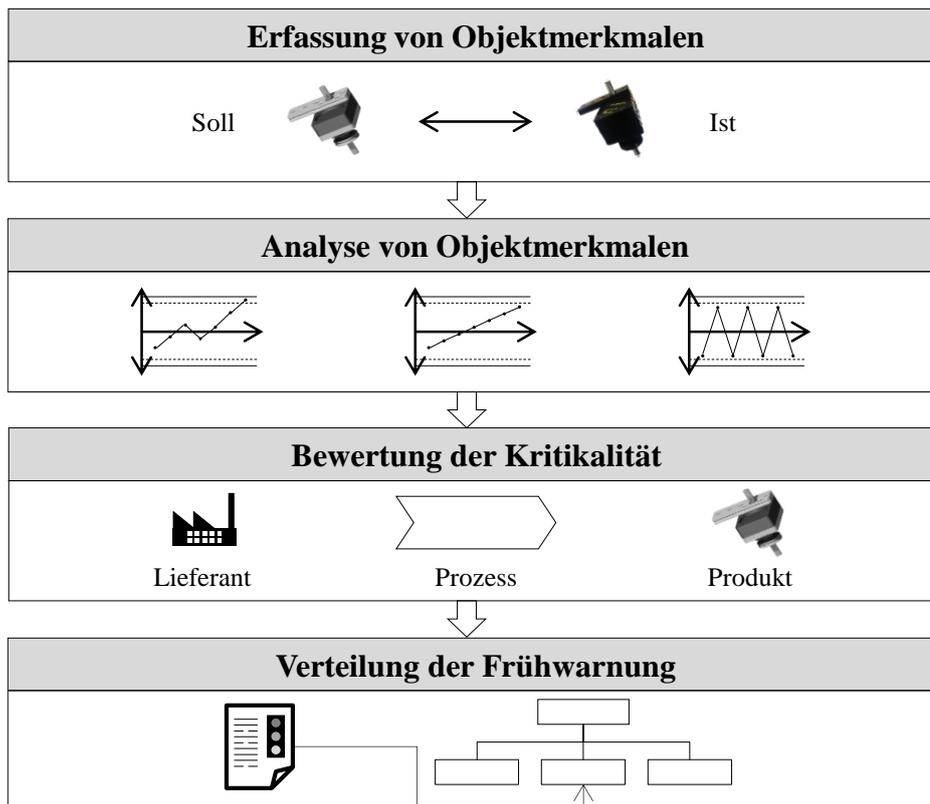


Abbildung 22: Überblick zu den Phasen der Frühwarnung

Im Rahmen der *Erfassung von Objektmerkmalen* werden gemäß der in Abschnitt 5.3.1 bestimmten Ereignisstruktur Ist-Daten zur Beschreibung des zu einem Zeitpunkt tatsächlich vorliegenden Status und Zustand eines Objektes aufgenommen und dem Frühwarnsystem bereitgestellt. Auf Grundlage des Einsatzes der RFID-Technologie erfolgt hierbei die Bestimmung des Objektstatus. Ferner kann sowohl manuell wie auch automatisiert die Aufnahme von Qualitätsmerkmalen zur Spezifikation des Objektzustandes erfolgen. In der vorliegenden Arbeit wird die diesbezüglich relevante technische Umsetzung jedoch nicht fokussiert. Die Soll-Daten, die den zu einem bestimmten Zeitpunkt vorgesehenen Status und Zustand eines Objektes beschreiben, werden darüber hinaus seitens innerbetrieblicher Informationssysteme zur PPS (z. B. ERP) in einem entsprechenden Format bereitgestellt.

Auf Grundlage der Verfügbarkeit von Soll- und Ist-Daten erfolgt eine fortlaufende Analyse von spezifischen Objektmerkmalen durch das Frühwarnsystem. Zu definierten Zeitpunkten, die jeweils einem Prozessbaustein des in Abschnitt 5.2.2 bestimmten Baukastens zugeordnet werden können und jeweils einem objektspezifischen Abschluss eines Prozessdurchlaufs entsprechen, wird dabei ein Soll-Ist-Vergleich von Merkmalsausprägungen vorgenommen. Je nach betrachtetem

Prozessbaustein ist in diesem Zusammenhang die Prüfung einzelner (univariate) wie auch mehrerer (multivariate) Merkmale möglich. Bei Prozessbausteinen im Bereich der Produktion (vgl. Abschnitt 5.2.2.2) sind dabei sowohl Status als auch Zustand eines Objektes relevant. Im Hinblick auf Prozessbausteine im Bereich der Logistik (vgl. Abschnitt 5.2.2.3) wird die Untersuchung der Merkmalsausprägungen auf den Status eines Objektes beschränkt. Allgemein steht in diesem Kontext die Identifikation von Ereignissen, die sich kritisch auf die plankonforme Durchführung nachfolgender Prozesse in der Lieferkette auswirken können, im Mittelpunkt der Betrachtung.

Die sich der Analyse anschließende *Bewertung der Kritikalität* von Ereignissen fußt auf der Anwendung spezifischer Regeln (vgl. Abschnitt 6.4.3). Neben den einzelnen Objekten werden in diesem Rahmen auch einzelne Prozesse sowie Lieferanten der Lieferkette bewertet. Im Fokus stehen dabei Ereignisse, deren Merkmalsausprägungen auf eine Gefährdung der Einhaltung von Qualitätsanforderungen sowie Lieferterminen im Zuge der Versorgung eines Unternehmens mit Zuliefererteilen schließen lassen. Der Grad der Kritikalität wird dabei im Wesentlichen durch das Ausmaß sowie die Häufigkeit der Soll-Ist-Abweichungen von Merkmalsausprägungen, die Entwicklung der Merkmalsausprägungen im zeitlichen Verlauf sowie die Verfügbarkeit von Puffern in Form von Zeit- und Bestandsreserven bestimmt. Anhand dieses Vorgehens wird sichergestellt, dass zur Bewertung der Kritikalität neben den zu diesem Zeitpunkt bestehenden Rahmenbedingungen auch die Erkenntnisse aus früheren Prüfungen berücksichtigt werden. Im weiteren Verlauf erfolgt im Bedarfsfall die Generierung einer Frühwarninformation. Gemäß dem Ergebnis der Bewertung entspricht diese einer spezifischen Frühwarnkategorie und beinhaltet eine Prognose zukünftiger Entwicklungen (vgl. Abschnitt 6.5.2).

Mit der zielgerichteten Verteilung und innerbetrieblichen Bereitstellung der Frühwarninformation endet der Ablauf zur Frühwarnung (vgl. Abschnitt 6.5.3). Im Rahmen der Festlegung der zu warnenden Organisationseinheit ist dabei vor allem die der Warnung zugrundeliegende Kategorie maßgeblich. Im Folgenden obliegt es dann der jeweiligen Organisationseinheit, auf Basis der vorliegenden Frühwarninformation die Bestimmung sowie Einleitung adäquater Maßnahmen zur Entstörung zu veranlassen. Das in diesem Kontext relevante Störungsmanagement wird in Kapitel 7 ausgearbeitet.

6.3 Kategorisierung von kritischen Ereignissen

6.3.1 Einführung von Frühwarnkategorien

Für den Fall der Identifikation kritischer Ereignisse ist es zur Auswahl von entstörenden Maßnahmen erforderlich, die hierbei bestehende Kritikalität zu bewerten. Der Grad der Kritikalität eines Ereignisses wird dabei vor allem durch dessen Einordnung in eine spezifische Phase des idealtypischen Störungsverlaufs bestimmt.

Grundsätzlich lässt sich der idealtypische zeitliche Verlauf einer Störung in eine latente sowie manifeste Phase untergliedern (vgl. Abschnitt 3.3.1). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Störungsverlauf durch die Erweiterung um eine *indikative* Phase komplettiert (vgl. Abbildung 23). Die indikative Phase umfasst dabei denjenigen Abschnitt im Zeitablauf, in dem durch das Auftreten von spezifischen Signalen und Entwicklungen auf mögliche zukünftige Störungen hingewiesen wird (GENC ET AL. 2014). Beispielsweise kann eine temporäre Häufung von Terminabweichungen im Zuge der Belieferung eines Unternehmens mit Zulieferteilen als ein solches Signal interpretiert werden.

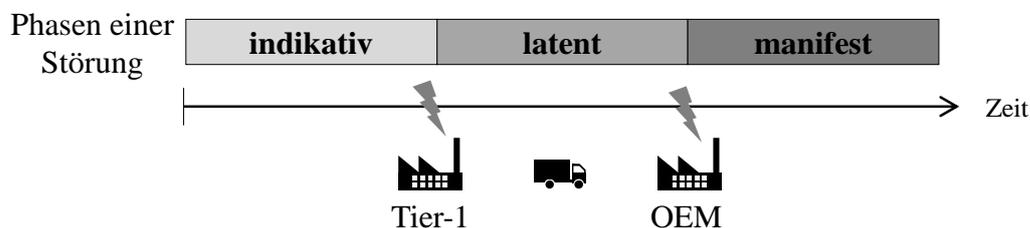


Abbildung 23: *Indikative Phase als Erweiterung des zeitlichen Verlaufs von Störungen*

Im Rahmen der indikativen Phase des Störungsverlaufs werden Produktions- und Logistikprozesse der Lieferkette beeinflusst. Im Gegensatz zur latenten Phase einer Störung erfolgt hierbei jedoch kein unmittelbarer Verbrauch von Puffer in Form von Zeit- und Bestandsreserven. Demzufolge weisen der latenten Phase einer Störung zuordenbare Ereignisse eine höhere Kritikalität auf als Ereignisse, die der indikativen Phase einer Störung zugeordnet werden können.

Entsprechend den dargestellten Phasen des Störungsverlaufs werden im Folgenden drei Frühwarnkategorien eingeführt. Anhand dieser Differenzierung wird

eine umfassende Kritikalitätsbewertung als Voraussetzung zur Auswahl und Einleitung von entstörenden Maßnahmen ermöglicht (vgl. Abbildung 24).

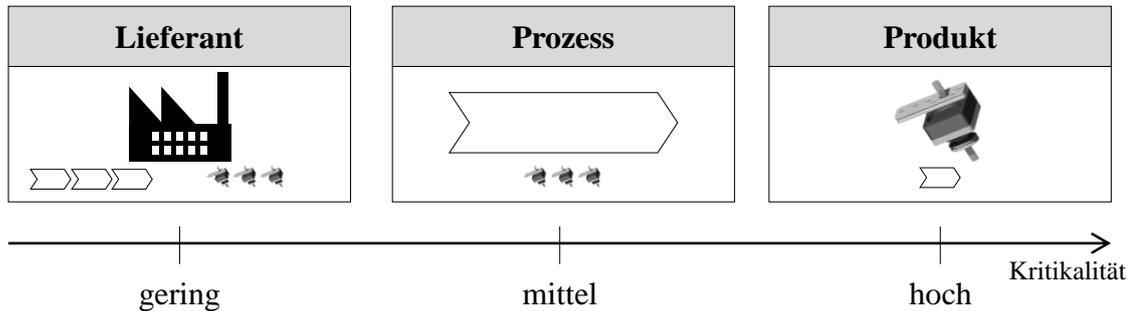


Abbildung 24: Kategorien der Frühwarnung im Überblick

Die Ereignisse der Kategorie *Produkt* entsprechen dabei der latenten Phase einer Störung und sind folglich mit einer hohen Kritikalität zu bewerten. Demgegenüber weisen Ereignisse der Kategorien *Prozess* und *Lieferant* aufgrund deren Einordnung in die indikative Störungsphase eine verhältnismäßig geringere Kritikalität auf. Dabei erfolgt eine Differenzierung zwischen den Kategorien *Prozess* und *Lieferant*, um im Rahmen der Kritikalitätsbewertung zwischen prozessspezifischen (intraprozessualen) und prozessübergreifenden (interprozessualen) Einflüssen unterscheiden zu können. Nachfolgend wird im Detail auf die einzelnen Frühwarnkategorien eingegangen.

6.3.2 Kategorie Produkt

Anhand einer Frühwarnung der Kategorie *Produkt* wird über die Identifikation eines kritischen Ereignisses im Hinblick auf ein spezifisches Objekt in der Lieferkette informiert. Die Kritikalität resultiert hierbei aus der zeitpunktbezogenen Ist-Ausprägung von quantitativen Merkmalen als Ergebnis des objektseitigen Durchlaufs eines Prozessbausteins. Eine Frühwarnung wird dabei für den Fall generiert, dass die ermittelte Ist-Ausprägung eines oder mehrerer Merkmale außerhalb der jeweils zulässigen Soll-Toleranzbereiche liegt. Relevant sind in diesem Zusammenhang die in Abschnitt 5.3.1 beschriebenen Merkmale *Zeit* und *Qualität*.

Grundsätzlich zeigt eine Frühwarnung der Kategorie *Produkt* einen unmittelbaren Handlungsbedarf auf. Die in Bezug auf das Objekt und somit *Produkt* erfassten Merkmalsausprägungen schließen dessen fristgerechte Bereitstellung in der geforderten Qualität aus. Werden durch das hiervon betroffene Unternehmen keine Maßnahmen im Kontext des reaktiven Störungsmanagements eingeleitet,

manifestiert sich bei diesem nach dem Verbrauch bestehender Zeit- und Bestandsreserven eine versorgungsseitig hervorgerufene Störung.

6.3.3 Kategorie Prozess

Eine Frühwarnung gemäß der Kategorie Prozess wird infolge der Identifikation eines kritischen Ereignisses in Bezug auf einen Prozess in der Lieferkette generiert. Dabei ist die prozessspezifische Entwicklung von Ist-Ausprägungen eines quantitativen Merkmals in einem Zeitraum der Serienfertigung in der Referenz-Lieferkette für die Bestimmung der Kritikalität maßgeblich. Analog zu der in Abschnitt 6.3.2 beschriebenen Frühwarnkategorie Produkt sind hierbei die Merkmale Zeit sowie Qualität relevant. Die entsprechenden Ist-Werte werden im Rahmen des sequentiellen Durchlaufens eines einzelnen Prozessbausteins durch Objekte erfasst. Im Vordergrund steht dabei die Bewertung der Prozessfähigkeit eines Prozessbausteins in dem Bereich der Produktion oder Logistik. Wird durch das Auftreten von Störgrößen die Fähigkeit eines Prozesses in der Lieferkette beeinträchtigt, erfolgt eine prozessbezogene Frühwarnung. Prozessübergreifende Zusammenhänge werden dabei nicht betrachtet.

Im Vergleich zur Frühwarnkategorie Produkt besteht bei einer vorliegenden Frühwarnung der Kategorie Prozess lediglich ein mittelbarer Handlungsbedarf. Dies liegt darin begründet, dass die betrachteten Ist-Merkmalausprägungen hierbei nicht außerhalb der jeweils zulässigen Soll-Toleranzbereiche liegen. Die im Laufe der Wertschöpfung beobachtbare Entwicklung der Merkmalausprägungen lässt jedoch auf eine temporäre oder fortwährende Beeinflussung des Prozesses schließen, die zufälliger oder systematischer Art sein kann und im weiteren Verlauf zu versorgungsseitig hervorgerufenen Störungen führen kann. Durch die Einleitung von Maßnahmen im Kontext des präventiven Störungsmanagements ist es jedoch möglich, einen weiteren Anstieg der Kritikalität durch die Beseitigung der Prozessbeeinflussung zu vermeiden.

6.3.4 Kategorie Lieferant

Frühwarnungen der Kategorie Lieferant resultieren aus der Identifikation von kritischen Ereignissen im Rahmen von Prozessen, die in der Verantwortung eines spezifischen Lieferanten der Referenz-Lieferkette liegen. Die Kritikalität ergibt sich folglich aus der Bewertung einer prozessübergreifenden Wertschöpfung, die jeweils einem einzelnen Unternehmen der Lieferkette obliegt. In diesem Zusammenhang steht die im Zuge der Serienfertigung in der Lieferkette beobachtbare

Entwicklung von lieferantenspezifischen Kennzahlen innerhalb eines Zeitraumes im Vordergrund. Anhand dieser Kennzahlen wird dabei zum einen die Häufigkeit des Auftretens von kritischen Ereignissen im Rahmen der lieferantenbezogenen Prozesse erfasst. Zum anderen erfolgt eine Beschreibung der hierbei beobachteten Entwicklung von unzulässigen Abweichungen. Im Fokus steht demzufolge die fortlaufende kennzahlenbasierte Beurteilung des Lieferanten. Für den Fall, dass in dem Verantwortungsbereich eines Lieferanten ein gehäuftes Auftreten von objekt- und prozessspezifischen Ereignissen mit entsprechender Kritikalität registriert wird, erfolgt eine Frühwarnung der Kategorie Lieferant. Hierdurch werden im Vergleich zu den Frühwarnkategorien Produkt und Prozess auch prozessübergreifende Sachverhalte im Rahmen der Frühwarnung erfasst.

Eine Frühwarnung der Kategorie Lieferant impliziert einen mittelbaren Handlungsbedarf. Dies liegt darin begründet, dass die Generierung einer Frühwarnung nicht auf Basis einzelner objektspezifischer Ist-Merkmalsausprägungen, die innerhalb sowie außerhalb von zulässigen Soll-Toleranzbereichen liegen können, erfolgt. Hierfür wird vielmehr die Prozessfähigkeit eines Lieferanten in der Gesamtheit betrachtet, d. h. dessen Fähigkeit, benötigte Zuliefererteile termingerecht und den jeweiligen Qualitätsanforderungen genügend bereitzustellen. Ist diese nicht gegeben, können Maßnahmen des präventiven Störungsmanagements dazu beitragen, in mittel- bis langfristiger Sicht versorgungsseitige Störungen zu vermeiden.

6.4 Identifikation von kritischen Ereignissen

6.4.1 Übersicht

Im vorhergehenden Abschnitt erfolgte die Einführung von Frühwarnkategorien zur systematischen Bewertung der Kritikalität von Ereignissen in Produktions- und Logistikprozessen der Lieferkette. Im Folgenden werden Verfahren vorgestellt, die eine Identifikation von kritischen Ereignissen gemäß der vorgenommenen Kategorisierung erlauben. Den Kern dieser Verfahren stellen in diesem Zusammenhang kategoriespezifische Regeln dar, die der Wissensbasis des Frühwarnsystems entsprechen.

In Abschnitt 6.4.2 wird zunächst die grundlegende Vorgehensweise zur Modellierung der Wissensbasis des Frühwarnsystems erläutert. Darauf aufbauend erfolgt in Abschnitt 6.4.3 die Detaillierung der regelbasierten Verfahren zur Analy-

se und Bewertung von Ereignisdaten. Ferner wird in Abschnitt 6.4.4 das Vorgehen zur steten Erweiterung der Wissensbasis des Frühwarnsystems beschrieben.

6.4.2 Modellierung der Wissensbasis

Die Aufgabe der Interpretation von Ereignisdaten bedarf einer strukturierten Darstellung von unterschiedlichen Wissensarten. Neben der Abbildung von generischem Wissen ist es auch erforderlich, spezifisches Wissen zu beschreiben. Für die Modellierung dieser Wissensarten erweist sich die regelbasierte Wissensrepräsentation als geeignet (BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008). Die regelbasierte Wissensrepräsentation wird beispielsweise in wissensbasierten Systemen (z. B. Expertensystemen) zur Modellierung der Wissensbasis eingesetzt (PUPPE 1991, KURBEL 1992, BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008). In diesem Zusammenhang adressieren wissenschaftliche Arbeiten als einen relevanten Anwendungsbereich das Störungsmanagement (z. B. HEIDERICH 2001, OSTGATHE 2012).

Durch den Einsatz von Regeln zur Modellierung der Wissensbasis ist es möglich, den Anwendern von Systemen relevantes Wissen unter Berücksichtigung formaler Anforderungen verständlich darzustellen (BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008). Darüber hinaus kann eine aufwandsarme Adaption sowie Erweiterung der Wissensbasis auf Grundlage der Modularität als Eigenschaft einer regelbasierten Wissensrepräsentation erfolgen (PUPPE 1991, KURBEL 1992).

Die einzelnen Regeln entsprechen Konditionalsätzen und setzen sich aus einem Teil, der eine Prämisse („Wenn“) umfasst, sowie einem Teil, der eine Konklusion („Dann“) beinhaltet, zusammen (KURBEL 1992). Durch Regeln werden verschiedene Merkmale (z. B. Fertigungstoleranz) und deren Ausprägungen (z. B. Grenzwert) in einen Kontext gesetzt. Dementsprechend kann eine Regel beispielhaft wie folgt gebildet werden:

Wenn das Montagedrehmoment außerhalb der Toleranzgrenzen liegt, dann liegt ein kritisches Ereignis vor.

Im Rahmen der Regelbildung sind im Wesentlichen die zwei folgenden Bedingungen zu berücksichtigen (BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008):

- Die Verknüpfung von mehreren Bedingungen in der Prämisse der Regel hat ausschließlich über eine Konjunktion (Und-Verknüpfung) zu erfolgen.
- Der Regelteil der Konklusion umfasst ausschließlich eine einzelne logische Aussage bzw. Aktion.

Für den Fall, dass einzelne Regeln diese Bedingungen nicht erfüllen, sind diese anhand einer weiteren Detaillierung zu vereinfachen. Darüber hinaus ist die Regelbasis in ihrer Gesamtheit einer Konsistenzprüfung zu unterziehen, um widersprüchliche Ableitungen zu verhindern (BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008).

Die Implikationen, die in der vorliegenden Arbeit auf Grundlage der Anwendung von Regeln abgeleitet werden können, sollen der Analyse von Ereignisdaten und somit der Bewertung von Objekten, Prozessen sowie Lieferanten in der Lieferkette entsprechen. Im Folgenden wird auf die in diesem Zusammenhang erforderlichen Verfahren detailliert eingegangen.

6.4.3 Verfahren zur Analyse von Ereignisdaten

6.4.3.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Abschnitten werden regelbasierte Verfahren zur Analyse von Daten spezifiziert, die gemäß der in Abschnitt 5.3.1 definierten Ereignisstruktur vorliegen. In diesem Rahmen werden für die in Abschnitt 6.3 festgelegten Frühwarnkategorien jeweils gesonderte Verfahren vorgestellt, um eine zielgerichtete Bewertung der Wertschöpfung in der Lieferkette zu ermöglichen.

Grundsätzlich lassen sich die einzelnen Verfahren unabhängig voneinander anwenden. Jedoch fließen sowohl die Ergebnisse der Beurteilung von Objekten anhand der produktbezogenen Verfahren als auch die Ergebnisse der Beurteilung von Prozessen durch die prozessbezogenen Verfahren als Eingangsgrößen in die Beurteilung von Lieferanten durch die lieferantenbezogenen Verfahren mit ein. Aufgrund dieser bestehenden Interdependenzen wird in der vorliegenden Arbeit ein simultaner Einsatz der einzelnen Verfahren zur Frühwarnung vorgesehen.

6.4.3.2 Produktbezogene Verfahren

Die in Abschnitt 6.3.2 eingeführte Frühwarnkategorie Produkt setzt den Einsatz von Verfahren voraus, die eine zeitpunktbezogene Analyse und Bewertung von objektspezifischen Merkmalen ermöglichen. Im Fokus steht dabei die Identifikation von unzulässigen Abweichungen im Hinblick auf den Ist-Status sowie Ist-Zustand einzelner Objekte, die deren termingerechte und qualitätskonforme Auslieferung als Produkt an die jeweiligen Kunden (z. B. OEM) verhindern. Die hierfür erforderlichen Regeln stellen den Kern der produktbezogenen Verfahren dar und werden nachfolgend detailliert.

Konzeption der Regelbasis

Die einzelnen Regeln der produktbezogenen Verfahren basieren grundsätzlich auf der Durchführung von Soll-Ist-Vergleichen im Hinblick auf spezifische Merkmale. In diesem Kontext orientieren sich die Prämissen der jeweiligen Regeln in ihrer Zusammensetzung an der Ereignisstruktur, die in Abschnitt 5.3.1 definiert wurde. Anhand der Verifikation von Ausprägungen der Merkmale *Identität*, *Prozessbaustein*, *Typ* und *Lokation* erfolgen dabei die Identifikation der Objekte sowie deren eindeutige Einordnung in die laufende Wertschöpfung. Darauf aufbauend wird der Objektstatus durch die Betrachtung des Merkmales *Zeit* beurteilt. Ferner sehen die hinsichtlich der Prozessbausteine im Bereich der Produktion konzipierten Regeln die Analyse des Merkmales *Qualität* zur Bewertung des Objektzustandes vor. Je nach Ergebnis der Regelanwendung umfasst der Regelteil der Konklusion dabei unter anderem die Identifikation eines kritischen Ereignisses sowie die Generierung einer Frühwarnung.

Gemäß diesen Maßgaben können für die einzelnen Prozessbausteine, aus denen sich die jeweils abzusichernde Lieferkette zusammensetzt, gesonderte Regeln entwickelt werden. Um dabei den bereits dargestellten Bedingungen zur Regelbildung zu entsprechen und Widersprüchlichkeiten zu vermeiden, sehen die produktbezogenen Verfahren hierbei eine sequentielle Anwendung von spezifischen Regeln vor.

Ablauf der Regelanwendung

Im Zuge des objektseitigen Durchlaufens der Prozessbausteine erfolgt eine mehrstufige Anwendung von Regeln durch das Frühwarnsystem. In diesem Zusammenhang werden in einem ersten Schritt die Identität des Produktes sowie dessen prozessuale Einordnung überprüft. Wird entgegen der Erwartung keine Übereinstimmung festgestellt, erfolgt bereits zu diesem Zeitpunkt ein Abbruch der Regelanwendung. Für den Fall einer Übereinstimmung mit den entsprechenden Planvorgaben, schließt sich diesem die produktbezogene Betrachtung des Merkmales *Zeit* an. Bei Prozessbausteinen im Bereich der Produktion wird darüber hinaus das Merkmal *Qualität* analysiert. Werden durch das System im Rahmen der regelbasierten Analyse der Merkmale *Zeit* und *Qualität* unzulässige Abweichungen und demzufolge kritische Ereignisse identifiziert, sieht die entsprechende Konklusion die Generierung einer Frühwarnung der Kategorie Produkt vor (vgl. Abbildung 25).

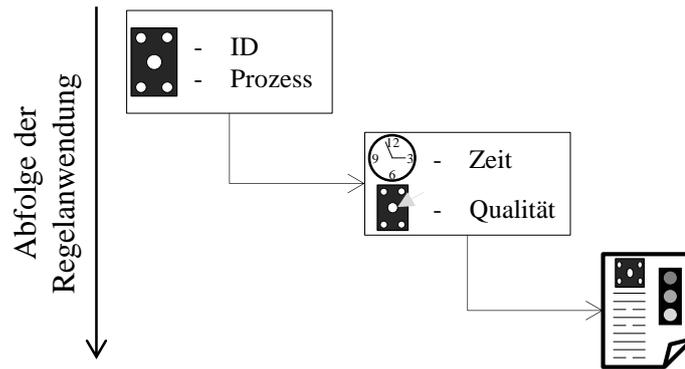


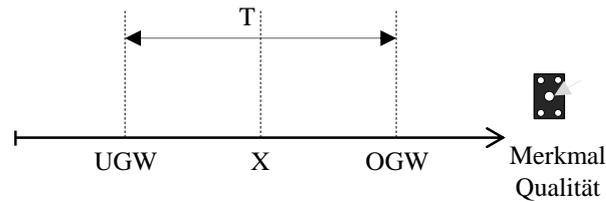
Abbildung 25: Regelanwendung innerhalb der produktbezogenen Verfahren

Allgemein wird die Anwendung dieser Regeln durch das Frühwarnsystem auf Grundlage der Bereitstellung von objektspezifischen Ereignisdaten angestoßen. Die Initiierung der Regelanwendung erfolgt hierbei unmittelbar im Anschluss an die Verfügbarkeit der jeweiligen Daten. Dabei werden in der vorliegenden Arbeit zum einen die Generierung der objektspezifischen Ereignisdaten in der Lieferkette sowie zum anderen deren unternehmensübergreifende Bereitstellung vorausgesetzt.

Spezifikation der produktbezogenen Regeln

Im Zuge der Analyse der Kritikalität von Ereignissen fokussiert die Regelbasis der produktbezogenen Verfahren auf die Merkmale *Zeit* und *Qualität*. Die Betrachtung der diesbezüglichen Merkmalsausprägungen, die Objekte zu den Prüfzeitpunkten in der Lieferkette einnehmen, ist hierbei maßgeblich. Das entscheidende Kriterium im Rahmen der Bewertung der jeweiligen Ausprägungen stellt dabei die Einhaltung von merkmalspezifischen Planvorgaben dar, auf deren Gestaltung im Folgenden eingegangen wird.

Gemäß der in Abschnitt 5.3.1 spezifizierten Ereignisstruktur werden anhand des Merkmales *Qualität* technologische sowie geometrische Eigenschaften abgebildet. Die Planvorgaben in Bezug auf eine dieser Eigenschaften entsprechen in Anlehnung an LINß (2011) dabei einer Maßtoleranz (T), die sich anhand eines oberen Grenzwertes (OGW), eines unteren Grenzwertes (UGW) sowie eines Nennwertes (X) charakterisieren lässt (vgl. Abbildung 26). Befindet sich eine Ausprägung innerhalb der Maßtoleranz, wird die merkmalspezifische Planvorgabe eingehalten. Demzufolge wird die Planvorgabe für den Fall nicht erfüllt, dass sich eine Ausprägung außerhalb der entsprechenden Maßtoleranz einordnen lässt.

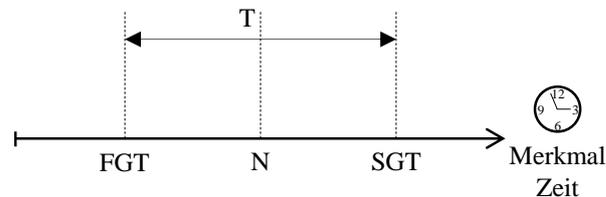


Legende

| | |
|-------------------------|-----------------|
| UGW : Unterer Grenzwert | X : Nennwert |
| OGW : Oberer Grenzwert | T : Maßtoleranz |

Abbildung 26: Gestaltung von Planvorgaben des Merkmals Qualität
(in Anlehnung an LINß 2011)

Die einzelnen Ausprägungen des Merkmals *Zeit* stellen einen Zeitstempel dar. Dieser dokumentiert denjenigen Zeitpunkt, zu dem auf Grundlage des Prozessdurchlaufs eines Objektes in der Lieferkette ein individuelles Ereignis generiert wird. In Anlehnung an die Planvorgaben des Merkmals *Qualität* entsprechen in der vorliegenden Arbeit auch zeitliche Planvorgaben einer Toleranz (T). Diese wird durch einen frühen und späten Grenztermin sowie einen Nenntermin (N) beschrieben (vgl. Abbildung 27). Befinden sich die zu analysierenden Merkmalsausprägungen innerhalb dieser Termintoleranz, werden die Planvorgaben erfüllt. Bei Merkmalsausprägungen außerhalb der Termintoleranz liegt eine unzulässige Abweichung und demzufolge ein kritisches Ereignis vor.



Legende

| | |
|--------------------------|--------------------|
| FGT : Früher Grenztermin | N : Nenntermin |
| SGT : Später Grenztermin | T : Termintoleranz |

Abbildung 27: Gestaltung von Planvorgaben des Merkmals Zeit

Zur Absicherung der Abläufe in der Lieferkette stellt die kontinuierliche Analyse von Objektmerkmalen anhand der produktbezogenen Verfahren eine wichtige Voraussetzung dar. Die Ausprägungen der einzelnen Objektmerkmale sind darüber hinaus auch für die Bewertung einzelner Prozesse sowie Lieferanten der Lieferkette wesentlich. Auf die hierbei relevanten Verfahren wird im Folgenden eingegangen.

6.4.3.3 Prozessbezogene Verfahren

Um ein kritisches Ereignis gemäß der in Abschnitt 6.3.3 spezifizierten Frühwarnkategorie Prozess zu identifizieren, bedarf es an Verfahren, die eine zeitraumbezogene Analyse und Bewertung der Ausprägungen von Objektmerkmalen innerhalb eines spezifischen Prozesses der Lieferkette ermöglichen. Der Fokus liegt dabei auf der Bewertung der Prozessfähigkeit einzelner Prozessbausteine als Voraussetzung für eine mittel- bis langfristig robuste Wertschöpfung im Verbund. Nachfolgend werden die hierfür erforderlichen Regeln als Grundlage der prozessbezogenen Verfahren entwickelt.

Konzeption der Regelbasis

Die Regeln, die den prozessbezogenen Verfahren zugrunde liegen, erlauben die Bewertung der Prozessfähigkeit auf Basis der Analyse von *Trends* in Bezug auf die Ausprägungen einzelner Merkmale. Durch die den prozessbezogenen Verfahren vorgelagerten Abfragen der Merkmalsausprägungen *Prozessbaustein* und *Lokation* besteht bereits ein eindeutiger Bezug zu einem individuellen Prozess der Lieferkette und den damit verbundenen Ereignisdaten. Für Prozessbausteine, die dem Bereich der Logistik zugeordnet werden, ist darauf aufbauend die objektübergreifende Entwicklung der Ausprägungen des Merkmales *Zeit* bedeutsam. Bei Prozessbausteinen im Bereich der Produktion wird zudem die Entwicklung von Ausprägungen des Merkmales *Qualität* betrachtet. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Regelanwendung umfassen die Konklusionen unter anderem die Identifikation eines kritischen Ereignisses sowie die Generierung einer Frühwarnung gemäß der Kategorie *Prozess*.

Auf Grundlage dieser Vorgaben ist es möglich, gesonderte Regeln für die einzelnen Bausteine der Lieferkette als Basis der prozessspezifischen Verfahren zu konzipieren. Im Hinblick auf einen einzelnen Prozess ist dabei die Bestimmung spezifischer Regeln erforderlich, die sequentiell angewendet werden, um somit den in Abschnitt 6.4.2 formulierten Bedingungen zur Regelbildung zu entsprechen. Der hierbei relevante Ablauf wird nachfolgend erläutert.

Ablauf der Regelanwendung

Die Anwendung der Regeln der prozessbezogenen Verfahren schließt sich unmittelbar der Analyse von objektspezifischen Ereignisdaten durch die in Abschnitt 6.4.3.2 beschriebenen produktbezogenen Verfahren an. Zu diesem Zeitpunkt sind folglich sowohl die Verifikation der Objektidentität als auch die prozessuale Einordnung bereits abgeschlossen. Darüber hinaus besteht die Voraussetzung,

dass durch die produktbezogenen Verfahren keine unzulässigen Abweichungen festgestellt und dementsprechend auch keine Frühwarnung der Kategorie Produkt generiert wurde. Darauf aufbauend erfolgt die Anwendung der Regeln der prozessbezogenen Verfahren. Hierbei wird in einem ersten Schritt die prozessspezifische Analyse der objektübergreifenden Ausprägungen des Merkmales *Zeit* vorgenommen. Im Hinblick auf die Prozessbausteine im Bereich der Produktion erfolgt des Weiteren eine Analyse der Ausprägungen des Merkmales *Qualität*. Für den Fall, dass in diesem Zuge kritische Ereignisse identifiziert werden, sieht der Ablauf der prozessbezogenen Verfahren die Generierung einer Frühwarnung gemäß der Kategorie Prozess vor (vgl. Abbildung 28).

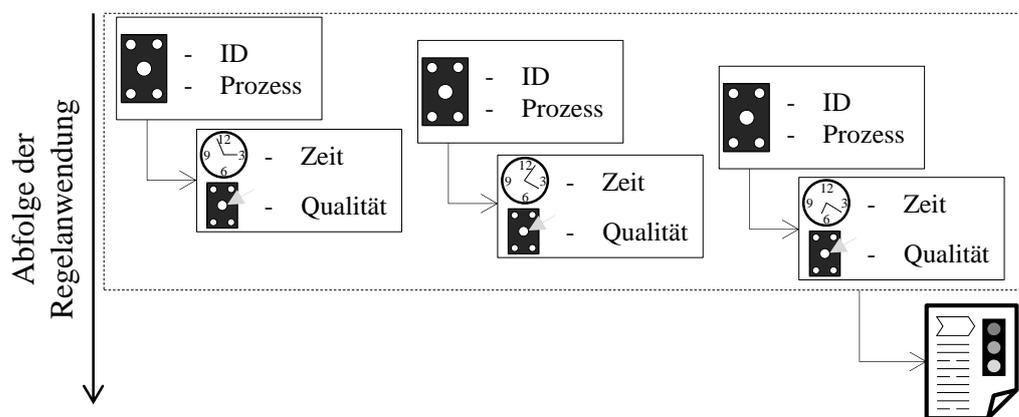


Abbildung 28: Regelanwendung innerhalb der prozessbezogenen Verfahren

Spezifikation der prozessbezogenen Regeln

Im Rahmen der Analyse von Ereignisdaten durch den Einsatz prozessbezogener Verfahren steht die Bewertung der Fähigkeit von Prozessen anhand der Entwicklung der Merkmale *Zeit* und *Qualität* im Vordergrund. Unter dem Begriff der *Prozessfähigkeit* wird in der vorliegenden Arbeit die Qualitätsfähigkeit eines Prozesses verstanden, d. h. die Eignung eines Prozesses zur Erfüllung von zeitlichen und qualitativen Anforderungen im Rahmen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung. Grundsätzlich sind für die Fähigkeit eines Prozesses die Streuung sowie die Einhaltung vorgegebener Toleranzgrenzen im Hinblick auf erfasste Merkmalsausprägungen maßgeblich. Anhand der nachfolgenden Kennwerte lässt sich die Qualitätsfähigkeit von Prozessen beschreiben sowie bewerten.

Auf der Grundlage von normalverteilten Merkmalsausprägungen wird durch den Kennwert C_p schwerpunktmäßig die *Prozessfähigkeit* beschrieben (PFEIFER & SCHMITT 2010). Nach Formel (1) wird hierfür die vorbestimmte Toleranz eines

Merkmals mit der tatsächlich erfassten Prozessstreuung in Verhältnis gesetzt (HERING ET AL. 1999):

$$C_p = \frac{OGW - UGW}{6 \cdot \sigma} \quad (1)$$

| | | |
|-----|----------|--------------------|
| mit | C_p | Prozessfähigkeit |
| | OGW | Oberer Grenzwert |
| | UGW | Unterer Grenzwert |
| | σ | Standardabweichung |

Ferner erfolgt durch den auch als *kritische Prozessfähigkeit* bezeichneten Kennwert C_{pk} die Bewertung der Prozesslage (LINß 2011). Nach Formel (2) ist für dessen Ermittlung die Lage des Mittelwertes in Bezug auf die vorbestimmten Toleranzgrenzen eines Merkmales maßgeblich (HERING ET AL. 1999):

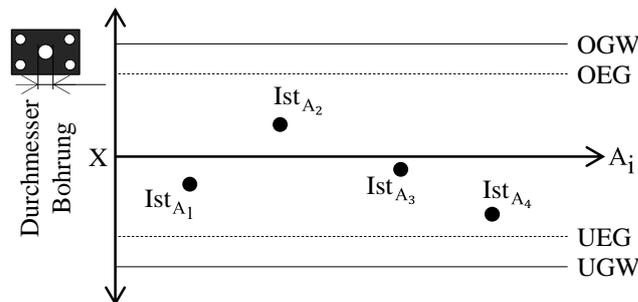
$$C_{pk} = \frac{Z_{krit}}{3 \cdot \sigma} \quad (2)$$

| | | |
|-----|------------|---|
| mit | C_{pk} | Kritische Prozessfähigkeit |
| | Z_{krit} | = $\min OGW - \bar{x} \text{ und } \bar{x} - UGW $ |
| | OGW | Oberer Grenzwert |
| | UGW | Unterer Grenzwert |
| | \bar{x} | Mittelwert der Mittelwerte der Stichproben |
| | σ | Standardabweichung |

Grundsätzlich wird ein Prozess als fähig eingestuft, wenn beide Kennwerte einen Wert größer als 1 annehmen. In der industriellen Praxis werden für diese Kennwerte jedoch zumeist Werte größer als 1,33 gefordert. (vgl. DIETRICH & SCHULZE 1996, HERING ET AL. 1999, SCHMITT & PFEIFER 2010, LINß 2011)

Aufgrund der in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Eingrenzung auf hierarchisch-stabile Ketten (vgl. Abschnitt 2.2.3) wird im Allgemeinen die Einhaltung dieser kennwertbasierten Mindestvorgaben im Hinblick auf die relevanten Prozesse vorausgesetzt. Darauf aufbauend ist es möglich, prozessbezogene Regeln zu detaillieren, anhand derer systematische Störeinflüsse auf die Prozessfähigkeit durch die Analyse der Merkmalsverläufe identifiziert werden können. Hierfür zeigt sich die Orientierung an den Methoden der statistischen Prozessregelung (engl. Statistical Process Control (SPC)) und in diesem Kontext insbesondere an dem Werkzeug der Qualitätsregelkarte geeignet.

Der Einsatz einer Qualitätsregelkarte erlaubt die Visualisierung und Kontrolle der prozessspezifischen Entwicklungen von Merkmalsausprägungen in Bezug auf deren Lage sowie Streuung. Systematische sowie nichtnatürliche Störeinflüsse werden in diesem Kontext zum einen durch das Über- und Unterschreiten von sogenannten *Eingriffsgrenzen* bestimmt (vgl. Abbildung 29). Zum anderen weisen auch *Folgen* bzw. *Verläufe* auf das Auftreten von Störeinflüssen hin.



Legende

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| A _i : Auftrag i | OEG : Obere Eingriffsgrenze |
| OGW : Oberer Grenzwert | UEG : Untere Eingriffsgrenze |
| UGW : Unterer Grenzwert | X : Nennwert |

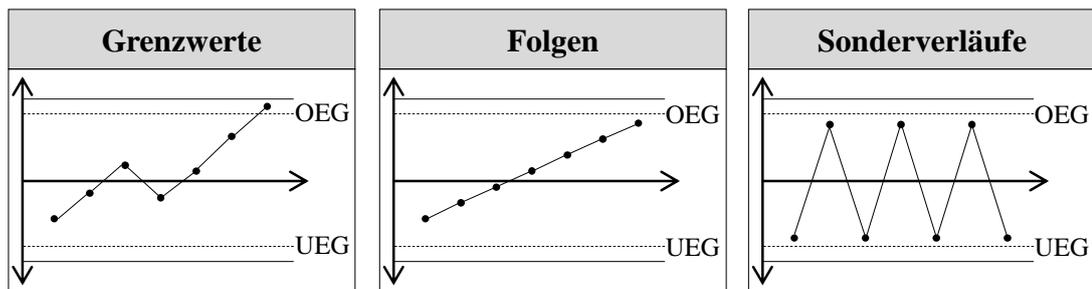
Abbildung 29: Beispielhafter Aufbau einer Qualitätsregelkarte

Die Eingriffsgrenzen umfassen dabei den 99%-Zufallsstrebereich, d. h. den Bereich, in dem mindestens 99 % der Merkmalsausprägungen erwartet werden. Dementsprechend ist bei einem Über- oder Unterschreiten dieser Grenzen eine detaillierte Untersuchung des Prozesses erforderlich. Von einer zusätzlichen Aufnahme von sogenannten *Warngrenzen*, die den 95%-Zufallsstrebereich umschließen und im Zusammenhang mit der Gestaltung von Qualitätsregelkarten in der entsprechenden wissenschaftlichen Literatur Berücksichtigung finden, wird aufgrund der mangelnden Relevanz für die vorliegende Problemstellung abgesehen. (vgl. DIETRICH & SCHULZE 1996, HERING ET AL. 1999)

Während die Toleranzgrenzen von einzelnen Merkmalen fest vorgegeben werden, sind die Eingriffsgrenzen in Abhängigkeit des gewählten Typs der Qualitätsregelkarte zu bestimmen. Dabei sind für die Auswahl eines spezifischen Regelkartentyps die jeweils bestehenden Rahmenbedingungen (z. B. Automatisierungsgrad) des Anwendungsfalles entscheidend. Aufgrund des prozessualen Streuungsverhaltens, des hohen Automatisierungsgrades im Zuge der Generierung der Ereignisdaten sowie deren vorrangig rechnergestützten Auswertung zeigt sich für die in der vorliegenden Arbeit zu konzipierenden prozessbezogenen

Verfahren insbesondere die doppelte \bar{x}/s -Regelkarte geeignet. Durch den Mittelwert \bar{x} erfolgt hierbei die Bewertung der Prozesslage. Auf Basis der Berücksichtigung der Standardabweichung s wird ferner die Prozessstreuung evaluiert. Im Vergleich zu alternativen Karten weist dieser Kartentyp eine hohe Empfindlichkeit auf und ermöglicht somit eine zeitnahe Identifikation von Prozessveränderungen. Daher wird die \bar{x}/s -Regelkarte im Folgenden auch als Grundlage für die Regelspezifikation verwendet. (vgl. HERING ET AL. 1999, SCHMITT & PFEIFER 2010)

Insgesamt lässt sich die Regelbasis der prozessbezogenen Verfahren in drei unterschiedliche Gruppen unterteilen, die, entsprechend der \bar{x}/s -Qualitätsregelkarte, jeweils gesonderte Stabilitätskriterien adressieren (vgl. Abbildung 30). In diesem Zusammenhang werden die einzelnen Regeln der Gruppen universell sowohl zur Verifikation der Ausprägungen des Merkmales Qualität als auch des Merkmales Zeit angewendet.



Legende

UEG : Untere Eingriffsgrenze

OEG : Obere Eingriffsgrenze

Abbildung 30: Regelbasis der prozessbezogenen Verfahren

Die erste Gruppe an Regeln verifiziert als Stabilitätskriterium die Einhaltung der *Grenzwerte*, die durch die unteren sowie oberen Eingriffsgrenzen gebildet werden. Diese sind für die Regelkarten des Mittelwertes \bar{x} und der Standardabweichung s gesondert zu bestimmen (vgl. LINß 2011). Ergibt die Regelanwendung, dass ein Kennwert entweder die untere Eingriffsgrenze unterschreitet oder eine obere Eingriffsgrenze überschreitet, liegt eine unzulässige Abweichung und somit ein kritisches Ereignis vor.

Durch die zweite Gruppe an Regeln wird das Ziel der Identifikation von *Folgen*, die auf nichtnatürliche Störeinflüsse schließen lassen, verfolgt. In Anlehnung an das Werkzeug der \bar{x}/s -Qualitätsregelkarte wird hiervon im Allgemeinen für den Fall ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit des Eintrittes einer Folge weniger

als 1 % beträgt. Dieses Kriterium ist somit maßgeblich, um zwischen natürlichen und nichtnatürlichen Störeinflüssen zu unterscheiden. Der wissenschaftlichen Disziplin der statistischen Prozessregelung ist dabei eine Vielzahl an möglichen Folgen bekannt, die dieser Anforderung genügen (vgl. DIETRICH & SCHULZE 1996, HERING ET AL. 1999, PFEIFER & SCHMITT 2010). Für die prozessbezogenen Verfahren der vorliegenden Arbeit sind dabei die nachstehenden Kategorien an Folgen relevant und werden regelbasiert abgebildet:

- Trend
- Run

Als *Trend* werden dabei diejenigen Folgen bezeichnet, die sich durch insgesamt sieben aufeinander folgende Kennwerte mit steigender oder fallender Tendenz charakterisieren lassen. Wird eine solche Entwicklung durch die Anwendung einer Regel identifiziert, liegt ein kritisches Ereignis vor. Ein *Run* beschreibt ferner das Auftreten von insgesamt sieben aufeinander folgenden Kennwerten, die sich ausnahmslos entweder vollständig oberhalb oder vollständig unterhalb der Mittellinie der \bar{x}/s -Qualitätsregelkarte einordnen lassen. Bei Feststellung einer solchen Entwicklung anhand der Regelanwendung wird ein kritisches Ereignis als Voraussetzung zur Erzeugung einer Frühwarnung bestimmt. Aus Gründen der Praxistauglichkeit sowie Universalität wird in der vorliegenden Arbeit von der Abbildung weiterer Folgen abgesehen.

Anhand der Regeln, die der dritten Gruppe der prozessbezogenen Verfahren zugeordnet werden, erfolgt die Bestimmung von *Sonderverläufen*. Darunter werden charakteristische Entwicklungen von Merkmalsausprägungen verstanden, die jeweils für sich einem speziellen Muster entsprechen und auf das nichtnatürliche Einwirken von störenden Einflüssen auf die zu kontrollierenden Prozesse schließen lassen. Auf der Grundlage von vorliegenden Erfahrungswerten kann die regelbasierte Erfassung dieser Muster erfolgen. Für den Fall der Identifikation eines bekannten Sonderverlaufs wird demzufolge ein kritisches Ereignis registriert.

Zusammenfassend erlaubt der Einsatz der prozessbezogenen Verfahren die kontinuierliche Evaluierung von Prozessen in einer Lieferkette. Die Basis hierfür bildet die Analyse von Merkmalsausprägungen, anhand derer die Bewertung von Produkten im Zuge des Durchlaufens der Prozesse erfolgt. Zur Absicherung der termin- und qualitätsgerechten Verfügbarkeit von Zulieferteilen ist neben der Bewertung einzelner Produkte und Prozesse auch die Beurteilung der Lieferanten

als Ganzes notwendig. Die hierbei relevanten Verfahren werden nachfolgend entwickelt.

6.4.3.4 Lieferantenbezogene Verfahren

Zur Identifikation eines kritischen Ereignisses gemäß der in Abschnitt 6.3.4 eingeführten Frühwarnkategorie Lieferant sind Verfahren erforderlich, die eine zeitraumbezogene Bewertung von Ausprägungen einzelner Objektmerkmale im Rahmen einer prozessübergreifenden Wertschöpfung erlauben. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei die Evaluierung von Lieferanten eines Unternehmens anhand der Interpretation von spezifischen Kennwerten. Die Grundlage hierfür stellen die lieferantenbezogenen Verfahren dar, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Konzeption der Regelbasis

Die Regelbasis der lieferantenbezogenen Verfahren erlaubt die systematische Beurteilung der Zulieferer durch die Analyse der Anzahl an identifizierten kritischen Ereignissen in den jeweiligen Verantwortungsbereichen der Unternehmen sowie deren Entwicklung in einem Zeitabschnitt. Durch die zeitlich vorgelagerte Abfrage der Merkmalsausprägungen *Lokation* sowie *Prozessbaustein* erfolgt dabei, analog zu den prozessbezogenen Verfahren, die eindeutige Zuordnung der Ereignisse zu einem spezifischen Unternehmen der Lieferkette. Darauf aufbauend wird für die Prozessbausteine im Bereich der Produktion und der Logistik die absolute Anzahl an kritischen Ereignissen sowie deren Entwicklung im zeitlichen Verlauf evaluiert. Entsprechend dem Resultat der Regelanwendung umfasst die Konklusion unter anderem die Bestimmung eines kritischen Ereignisses und folglich die Erzeugung einer Frühwarnung der Kategorie *Lieferant*.

Unter Berücksichtigung dieser Maßgaben können für die einzelnen Lieferanten einer Lieferkette gesonderte Regeln als Basis der lieferantenbezogenen Verfahren konzipiert werden. Analog zu den produkt- und prozessbezogenen Verfahren ist hierbei ein sequentielles Anwenden spezifischer Regeln erforderlich, um den dargestellten Bedingungen zur Regelbildung zu genügen. Im Folgenden wird auf den in diesem Kontext relevanten Ablauf der Regelanwendung eingegangen.

Ablauf der Regelanwendung

Die Anwendung der Regeln im Zusammenhang mit den lieferantenbezogenen Verfahren setzt grundsätzlich auf der abgeschlossenen Analyse von Ereignisdaten durch die produkt- und prozessbezogenen Verfahren auf. Ferner besteht eine

Beschränkung auf die Untersuchung von Ereignisdaten, die im prozessualen Umfeld eines einzelnen Lieferanten erzeugt wurden. Im Hinblick auf diese Daten besteht zudem die Voraussetzung, dass deren produkt- und prozessbezogene Analyse die Generierung einer entsprechenden Frühwarnung zur Folge hatte. Werden diese Anforderungen erfüllt, erfolgt in einem ersten Schritt die Erfassung und kennwertbasierte Abbildung der in einem Zeitraum aufgetretenen Frühwarnungen der Kategorien Produkt und Prozess. Darauf aufbauend werden die Entwicklungen dieser Kennwerte über die festgelegten Zeitabschnitte hinweg untersucht. Ergeben die Analysen die Identifikation eines kritischen Ereignisses, erfolgt die Erzeugung einer Frühwarnung entsprechend der Kategorie Lieferant (vgl. Abbildung 31).

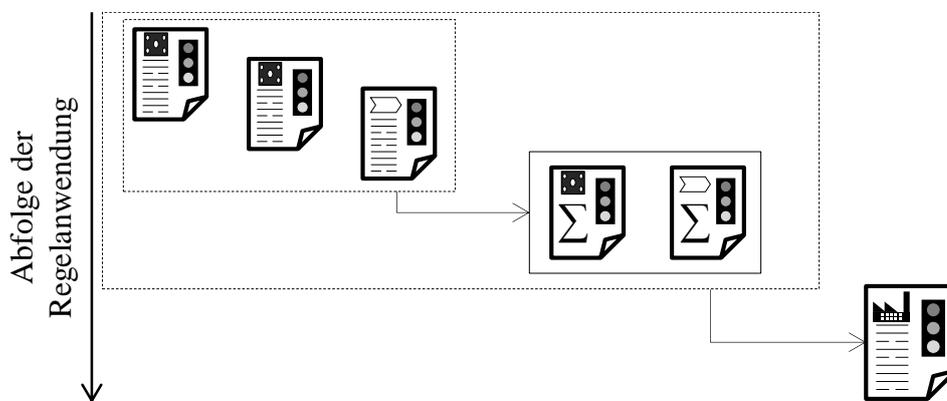


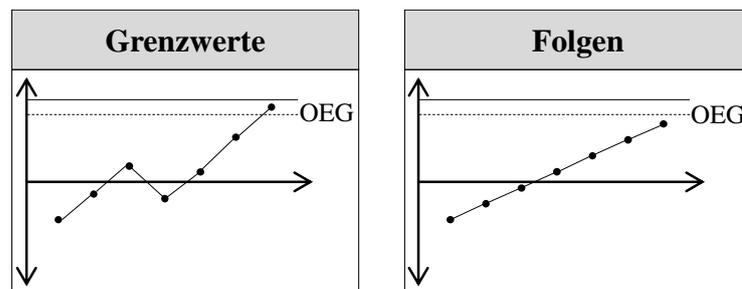
Abbildung 31: Regelanwendung innerhalb der lieferantenbezogenen Verfahren

Spezifikation der lieferantenbezogenen Regeln

Im Rahmen der Anwendung der lieferantenbezogenen Regeln werden sowohl die produktspezifischen Ausprägungen mit Bezug auf die Merkmale *Qualität* und *Zeit* als auch die *Fähigkeiten* der Prozesse als Kriterien zur Bewertung eines Zulieferers betrachtet. In diesem Kontext sind einerseits die in einem Zeitabschnitt erfassten unzulässigen Abweichungen im Hinblick auf die Einhaltung von terminlichen und qualitätsbezogenen Vorgaben wesentlich. Andererseits kommt den registrierten Störeinflüssen, die auf einzelne Prozesse gewirkt haben, eine hohe Bedeutung zu. Die Beschreibung dieser Kriterien erfolgt anhand der Bestimmung von gesonderten Kennwerten. Gleichartige Frühwarnungen werden hierbei zu den folgenden Kennwerten zusammengefasst:

- Anzahl der Frühwarnungen der Kategorie Produkt
- Anzahl der Frühwarnungen der Kategorie Prozess

Analog zu den prozessbezogenen Verfahren (vgl. Abschnitt 6.4.3.3) zeigt sich für die Interpretation dieser Kennwerte die Qualitätsregelkarte als Werkzeug der statistischen Prozessregelung geeignet. Da sich die im Mittelpunkt der Betrachtung stehenden Kennwerte auf die *Anzahl* an Frühwarnungen beziehen und somit diskrete Merkmalswerte repräsentieren, ist der Einsatz einer Qualitätsregelkarte des Typs \bar{x}/s nicht möglich. Für die Prüfung von diskreten Merkmalsausprägungen stehen jedoch anderweitige Typen von Regelkarten zur Verfügung (vgl. DIETRICH & SCHULZE 1996, GOHOUT 1996, HERING ET AL. 1999). Für die vorliegende Arbeit wird dabei die Orientierung an dem Typ der x-Karte gewählt. Dieser Kartentyp ermöglicht zum einen die Abbildung der absoluten Anzahl an beobachteten Frühwarnungen. Zum anderen sind dessen Einsatzmöglichkeiten nicht nur auf einheitliche Prüfumfänge eingeschränkt (DIETRICH & SCHULZE 1996). Auf dieser Grundlage werden zwei Gruppen an lieferantenbezogenen Regeln spezifiziert (vgl. Abbildung 32).



Legende

OEG : Obere Eingriffsgrenze

Abbildung 32: Regelbasis der lieferantenbezogenen Verfahren

Anhand der Anwendung der Regeln, die der ersten Gruppe zugeordnet werden, erfolgt die Untersuchung der Einhaltung von *Grenzwerten*. Diese werden in Bezug auf die absolute Anzahl an erfassten Frühwarnungen durch obere Eingriffsgrenzen dargestellt und können unter Zugrundelegung einer Binomialverteilung bestimmt werden (vgl. DIETRICH & SCHULZE 1996, GRAEBIG 2006). Wird als Ergebnis der Regelanwendung festgestellt, dass obere Eingriffsgrenzen von einzelnen Kennwerten überschritten werden, folgt die Erzeugung einer Frühwarnung der Kategorie Lieferant.

Die Regeln der zweiten Gruppe fokussieren auf die Identifikation von Folgen, die mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 99 % auf das Einwirken von nichtnatürlichen Störeinflüssen auf die Abläufe eines Zulieferers hinweisen. In diesem Kontext dient die Kategorie *Trend* (vgl. Abschnitt 6.4.3.3) als Indikator

zur Bewertung der Kritikalität. Steigt die Anzahl an Frühwarnungen der Kategorien Produkt oder Prozess sieben Mal in Folge, ergibt die Regelanwendung die Identifikation eines kritischen Ereignisses und es wird die Generierung einer Frühwarnung der Kategorie Lieferant angestoßen. Darüber hinaus besteht grundsätzlich die Möglichkeit, fallspezifisch weitere Folgen zu definieren. Zur Wahrung der Universalität wird hiervon in der vorliegenden Arbeit abgesehen.

In den vorherigen Abschnitten wurden regelbasierte Verfahren zur Analyse von Ereignisdaten spezifiziert. Diese umfassen die grundlegende Regelbasis eines ereignisbasierten Frühwarnsystems. Darauf aufbauend wird in dem nachfolgenden Abschnitt das Vorgehen entwickelt, anhand dessen die kontinuierliche Erweiterung sowie Aktualisierung der Wissensbasis des Systems im Zuge dessen Einsatzes sichergestellt wird.

6.4.4 Erweiterung der Wissensbasis

6.4.4.1 Allgemeines

Auf Basis der Eigenschaft der Modularität erlaubt die regelbasierte Wissensrepräsentation die Erweiterung der Wissensbasis durch das Hinzufügen von neuen Regeln im Bedarfsfall (BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008). In Bezug auf die Akquisition von Wissen wird dabei zwischen dem indirekten, direkten sowie automatischen Grundmodell unterschieden. Die indirekte Wissensakquisition erfolgt, indem ein Wissensingenieur das bei einem Experten vorhandene Wissen abfragt und systemgerecht abbildet. Bei dem direkten Grundmodell der Wissensakquisition wird neues Wissen unmittelbar durch den jeweiligen Experten in dem System hinterlegt. Ferner liegt eine automatische Wissensakquisition für den Fall vor, dass ein System eigenständig neues Wissen generiert und der Basis zuführt. (BUCHANAN ET AL. 1983, KURBEL 1992)

Für die vorliegende Arbeit ist die Erweiterung der Wissensbasis im Hinblick auf diejenige Gruppe an Regeln relevant, die als Bestandteil der prozessbezogenen Verfahren das Ziel der Identifikation von Sonderverläufen verfolgt (vgl. Abschnitt 6.4.3.3). Die Konzeption dieser Regeln fußt dabei auf Erfahrungswerten, die im Laufe des Systemeinsatzes zur Absicherung von Abläufen gesammelt werden. Sonderverläufe stellen auf einen spezifischen Prozess bezogene Entwicklungen von Merkmalsausprägungen dar, die einem speziellen Muster, wie beispielsweise einem periodischen Verlauf, folgen und zeitlich vor dem Zeit-

punkt des Auftretens einer Störung im Laufe der Produktions- und Logistikprozesse in der Lieferkette beobachtet werden (vgl. Abschnitt 6.4.3.3).

Die einzelnen Sonderverläufe entsprechen somit einer Zeitreihe Y , die allgemein eine zeitabhängige Folge $(y_t)_{t \in T}$ von erfassten Merkmalsausprägungen beschreibt. Zu einem Zeitpunkt t als Bestandteil der diskreten und endlichen Menge von Erfassungszeitpunkten T existiert dabei jeweils exakt eine registrierte Merkmalsausprägung. Die Festlegung der einzelnen Zeitpunkte t kann dabei sowohl in konstanten als auch in unregelmäßigen Abständen erfolgen. (vgl. SCHLITTGEN & STREITBERG 2001)

Im Hinblick auf das zu entwickelnde Frühwarnsystem bestehen die Anforderungen, die kontinuierliche Aktualisierung der Wissensbasis aufwandsarm sowie zeitnah zu ermöglichen. Insbesondere das Grundmodell der direkten Wissensakquisition zeigt sich hierzu geeignet. Der Verzicht auf zusätzliche Akteure in der Rolle von Vermittlern erlaubt die direkte Eingabe neu bestimmter Regeln durch die Systemanwender. Die hohen Aufwände sowie zeitlichen Verzögerungen, die bei der indirekten Wissensakquisition aufgrund des Erfordernisses eines Wissensingenieurs zur Wissenseingabe entstehen würden, können hierdurch vermieden werden (vgl. KURBEL 1992). Darüber hinaus wird auch von der Möglichkeit einer vollautomatisierten Ergänzung der Wissensbasis abgesehen, da dies, als eine Folge der hiermit verbundenen Komplexität, mit einem zu hohen Aufwand im Zusammenhang mit der Regelspezifikation einhergehen würde (vgl. PUPPE 1991).

Zusammengefasst ermöglicht vor allem die Nutzung des Modells der direkten Wissensakquisition die Erfüllung der Anforderungen, die bezüglich der betriebsparallelen Erweiterung der Regelbasis des Frühwarnsystems bestehen. Durch den ergänzenden Einsatz von Methoden, die zumindest teilweise zu einer Automatisierung der Regelspezifikation beitragen, können zudem die hierbei erforderlichen Aufwände für die Experten reduziert werden. Darauf aufbauend wird die bedarfsgerechte Erweiterung der Wissensbasis auf Grundlage einer methodischen Vorgehensweise sichergestellt. Der diesbezüglich relevante Ablauf wird in Abbildung 33 zusammenfassend dargestellt und in den nachfolgenden Abschnitten detailliert.

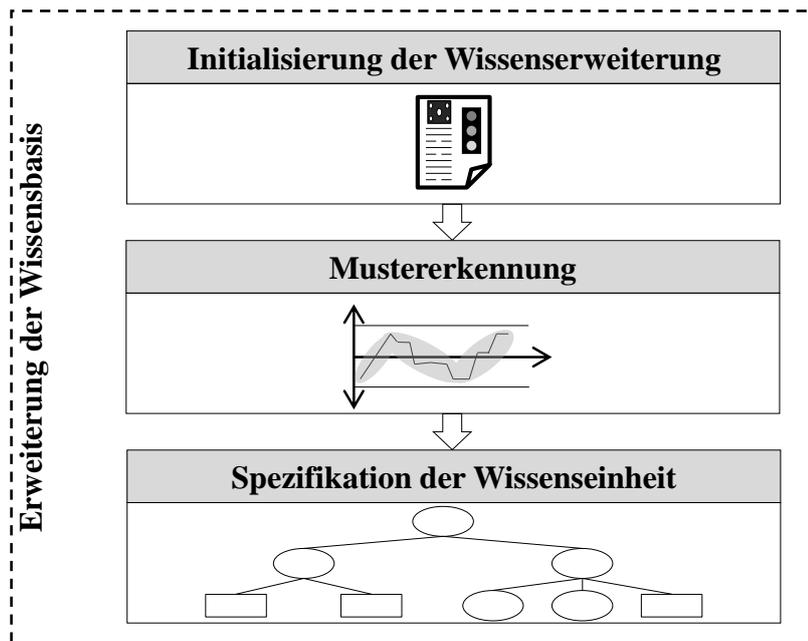


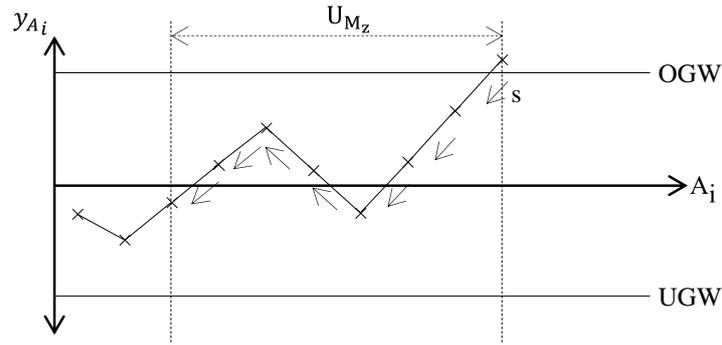
Abbildung 33: Ablauf zur Erweiterung der Wissensbasis

6.4.4.2 Initialisierung der Wissenserweiterung

Die Identifikation von erfahrungsbasierten Sonderverläufen setzt die Verfügbarkeit von hierfür konzipierten Regeln voraus. In diesem Zusammenhang besteht für die vorliegende Arbeit der Bedarf, eindeutige Kriterien zur Bestimmung, Beschreibung sowie Priorisierung der Sonderverläufe als Indikatoren einer Störung zu definieren.

In Anlehnung an die in Abschnitt 6.3 vorgenommene Kategorisierung wird die Identifikation eines kritischen Ereignisses gemäß der Kategorie Produkt als zentrales Kriterium zur Aufnahme der Ermittlung von Sonderverläufen und somit auch zur Initialisierung der Wissenserweiterung ausgewählt. Die hohe Kritikalität, die einem solchen Ereignis zugrunde liegt, ist hierfür ausschlaggebend (vgl. Abschnitt 6.3.2).

Ausgehend von dem Zeitpunkt der Identifikation der unzulässigen Abweichung erfolgt die retrospektive Untersuchung der Merkmalsausprägungen, die das Ergebnis des auftragsübergreifenden Prozessdurchlaufs durch Objekte darstellen (vgl. Abbildung 34). Auf die im Zuge dessen relevante Bestimmung sowie Beschreibung von Mustern wird im nachfolgenden Abschnitt detailliert eingegangen.

**Legende**

| | |
|-------------------------|--|
| A_i : Auftrag i | U_{M_z} : Umfang des Musters M_z |
| OGW : Oberer Grenzwert | s : Steigung der Geraden |
| UGW : Unterer Grenzwert | y_{A_i} : Merkmalsausprägung von Auftrag i |

Abbildung 34: Initialisierung der Wissenserweiterung und Musterbestimmung

6.4.4.3 Mustererkennung

Zur Erkennung von Mustern stehen die in einem Zeitabschnitt registrierten Entwicklungen der Merkmalsausprägungen in Bezug auf den spezifischen Prozess, dem das kritische Ereignis zugeordnet wird, im Mittelpunkt der Betrachtung. Wesentlich ist somit die Untersuchung der Zeitreihe, wohingegen die einzelnen absoluten Werte nur eine nebensächliche Rolle einnehmen. Entsprechend der Abweichung, die als unzulässig eingestuft wurde, kann sich die Analyse der Zeitreihen dabei sowohl auf das Merkmal *Qualität* als auch auf das Merkmal *Zeit* beziehen.

Die formale Beschreibung eines Musters erfolgt in Anlehnung an SINGH (1999). Ein Muster M_z stellt demzufolge ein Segment einer Zeitreihe $(y_t)_{t \in T}$ dar, das sich anhand der Größen *Umfang* sowie *Steigung* charakterisieren lässt. Durch den Umfang wird die zeitliche Ausdehnung des Segments abgebildet. Maßgeblich ist hierfür die absolute Anzahl an Werten y_t , aus denen sich das jeweilige Segment zusammensetzt. Die Steigung repräsentiert ferner das Ansteigen bzw. das Abfallen der Geraden, die jeweils zwei Werte des Segments miteinander verbindet. Zwischen den einzelnen Wertepaaren eines Segments kann die Steigung dabei variieren.

Der Ablauf der Mustererkennung lässt sich grundsätzlich in die Phasen *Datenaufbereitung*, *Klassifikation* und *Konklusion* unterteilen (vgl. DUDA ET AL. 2001). Die Vorverarbeitung der prozessbezogenen Ereignisdaten im Zuge der Phase *Datenaufbereitung* erfolgt, um die in der Phase *Klassifikation* vorgesehene Be-

stimmung von Mustern zu ermöglichen. Hierfür ist eine Zusammenfassung der relevanten Ereignisdaten zu Zeitreihen sowie deren Normalisierung und Bereinigung um Ausreißer erforderlich. Darauf aufbauend erfolgt die Beschreibung des Musters M_z sowie dessen Klassifikation in einer Klasse K_j anhand der Detaillierung der Größen Umfang und Steigung. In diesem Zusammenhang werden in einer Klasse K_j Sonderverläufe vereint, die Ähnlichkeiten im Hinblick auf diese Größen aufweisen. Auf dieser Grundlage ist im Rahmen der Phase *Konklusion* eine Entscheidung über die Erweiterung der Wissensbasis des Frühwarnsystems zu treffen. Aufgrund der hohen Komplexität zeigt sich hierfür der entsprechende Experte verantwortlich. Für den Fall, dass dieser der neu bestimmten Klasse K_j eine hohe Relevanz beimisst und diese dementsprechend priorisiert, erfolgt die Spezifikation und systemtechnische Hinterlegung der entsprechenden Wissens-einheiten in Form von Regeln (vgl. Abschnitt 6.4.4.4).

Dabei dient die Euklidische Distanz D als Maß für die Feststellung der Ähnlichkeit von Verläufen. Gemäß Formel (3) ist diese definiert als Differenz von Merkmalsausprägungen der zu vergleichenden Muster M_z und M_y :

$$D(M_z, M_y) = \sqrt{\sum_v^n (x_v - y_v)^2} \quad (3)$$

mit $D(M_z, M_y)$ Distanzmaß zwischen Muster M_z und Muster M_y
 x_v Merkmalsausprägung des Musters M_z an dem Punkt v
 y_v Merkmalsausprägung des Musters M_y an dem Punkt v

Um die im Hinblick auf die Klassifizierung relevante Ähnlichkeit evaluieren zu können, ist ein Vergleich des Distanzmaßes D mit einem seitens des Experten gesondert zu bestimmenden Grenzwert ε notwendig. Ist das Distanzmaß $D(M_z, M_y)$ kleiner als der Grenzwert ε , erfüllen die Muster M_z und M_y die Anforderungen in Bezug auf die zu bestehende Ähnlichkeit und entsprechen somit derselben Klasse K_j von Sonderverläufen. Auf dieser Basis ist es somit möglich, die für die Bildung von klassenspezifischen Regeln notwendigen Kriterien festzulegen. Die Anwendung dieser Regeln erlaubt die Zuordnung von Verläufen zu einer Klasse K_j .

Für die vorliegende Arbeit zeigt sich die Ermittlung der Euklidischen Distanz D für den Vergleich von Mustern mit dem Ziel der Definition von Ähnlichkeiten geeignet. Falls in diesem Zusammenhang jedoch aufgrund von einer zeitlichen

Verzerrung der einzelnen Verläufe eine Normierung der Zeit erforderlich ist, kann das Verfahren des *Dynamic Time Warping (DTW)* eingesetzt werden. Die theoretischen Grundlagen zu diesem Verfahren können der entsprechenden Fachliteratur entnommen werden (z. B. BERNDT & CLIFFORD 1994).

6.4.4.4 Spezifikation der Wissensseinheit

Der Konklusion, die Wissensbasis des Frühwarnsystems zu erweitern, folgt die Spezifikation von Regeln. Auf Grundlage der Eigenschaft der Verallgemeinerung soll die Anwendung dieser Regeln die Identifikation von Sonderverläufen ermöglichen, die unter Berücksichtigung des Ähnlichkeitsmaßes jeweils einer einzelnen Klasse K_j zugeordnet werden können. In diesem Zusammenhang erlaubt der Einsatz von *Entscheidungsbäumen* die strukturierte Generierung von komplexen Regeln. In einem ersten Schritt konzipieren Experten dabei Entscheidungsbäume, die sich an den zu klassifizierenden Verläufen orientieren. In diesem Zuge erfolgt die Bestimmung von Ähnlichkeitsbedingungen, die Verläufe erfüllen müssen, um einer Klasse K_j zugeordnet zu werden. Darauf aufbauend wird es den Experten ermöglicht, Wissensseinheiten in Form von Regeln manuell abzuleiten und in der Wissensbasis des Systems zu hinterlegen. Als Ansatz des maschinellen Lernens können Entscheidungsbäume dabei auch zur Automatisierung der Regelspezifikation beitragen.

Grundsätzlich setzt sich ein Entscheidungsbaum aus Pfaden zusammen, die jeweils eine Wurzel mit Blattknoten verbinden. Durch die Analyse der Attribute, die einzelnen Knoten zugewiesen sind, erfolgt die Klassifikation eines Objektes (z. B. Sonderverlauf). Hierbei ist die Ausprägung des Blattknotens wesentlich. Anhand der Orientierung an den einzelnen Pfaden lassen sich die relevanten Regeln ableiten. Im Anschluss an deren Verfeinerung, die zur Sicherstellung der Eindeutigkeit erforderlich ist, kann dann die Übertragung der Regeln in die Wissensbasis des Systems erfolgen. (vgl. WITTEN & FRANK 2001, BEIERLE & KERNISBERNER 2008)

Im Detail sehen die Prämissen der abgeleiteten Regeln die Überprüfung von Ähnlichkeitsbedingungen vor. Werden diese von einem zu analysierenden Verlauf erfüllt, wird ein Muster erkannt und dementsprechend ein kritisches Ereignis bestimmt. Darauf aufbauend wird die Generierung einer Frühwarnung der Kategorie Prozess angestoßen. In diesem Kontext steht das Distanzmaß D , das über die Gesamtheit der zu betrachtenden Zeitpunkte die kumulative Abweichung der Merkmalsausprägungen von einem Verlauf beschreibt, im Fokus. Darüber hinaus

können die Prämissen der Regeln auch Bedingungen beinhalten, die sich auf Unterschiede im Hinblick auf einzelne Merkmalsausprägungen beziehen und diesbezüglich Vorgaben für maximale Abweichungen umfassen.

6.5 Frühwarnung

6.5.1 Allgemeines

Im Rahmen des vorhergehenden Abschnittes erfolgte die Entwicklung von regelbasierten Verfahren zur Identifikation von kritischen Ereignissen gemäß den in Abschnitt 6.3 eingeführten Frühwarnkategorien. Für den Fall der Bestimmung einer unzulässigen Abweichung ist im weiteren Verlauf die Generierung sowie Verteilung von Frühwarninformationen erforderlich, um adäquate Maßnahmen im Umfeld des Störungsmanagements einleiten zu können.

Dementsprechend steht in Abschnitt 6.5.2 die Konzeption der Information zur Frühwarnung im Fokus, die über die verschiedenen Kategorien hinweg eine hinreichend detaillierte Beschreibung der vorliegenden Situation erlaubt. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 6.5.3 auf das Regelwerk eingegangen, anhand dessen die zielgerichtete Bereitstellung der Frühwarninformation innerhalb eines Unternehmens sichergestellt wird.

6.5.2 Formalisierung der Situationsbeschreibung

Zur Auswahl einer spezifischen Maßnahme als Reaktion auf das Vorliegen einer Frühwarnung ist es erforderlich, den jeweiligen Entscheidungsträgern die hierfür notwendigen Informationen in ausreichender Granularität und Qualität bereitzustellen. In diesem Zusammenhang erzeugt das in der vorliegenden Arbeit adressierte System eine Frühwarninformation, die sich aus qualitativen und quantitativen Ausprägungen zusammensetzt und sich anhand der Informationsklassen *Kategorie*, *Sachlage* und *Kontext* strukturieren lässt.

Die Informationsklasse *Kategorie* umfasst die Beschreibung der identifizierten Situation durch die Angabe der erfassten Frühwarnkategorie und der damit verbundenen Kritikalität (vgl. Abschnitt 6.3). In der Informationsklasse *Sachlage* werden die fallbezogenen Merkmale des kritischen Ereignisses detailliert, das gemäß der in Abschnitt 5.3.1 entwickelten Struktur generiert wurde. In diesem Zuge wird diejenige Ausprägung, anhand deren Analyse ein unzulässiger Zu-

stand festgestellt wurde, gesondert hervorgehoben. Bei Frühwarnungen der Kategorie Prozess oder Lieferant sind zudem weiterführende Informationen (z. B. Prozessfähigkeit) zur Erläuterung der Sachlage notwendig. Darauf aufbauend stellen die Informationen, welche der Klasse *Kontext* zugeordnet werden, die sich hieraus ergebenden Auswirkungen auf das abzusichernde Unternehmen dar und beinhalten Vorschläge für die Auswahl und Einleitung entstörender Maßnahmen.

In Abbildung 35 werden die wesentlichen Bestandteile einer Frühwarninformation zusammenfassend beschrieben.

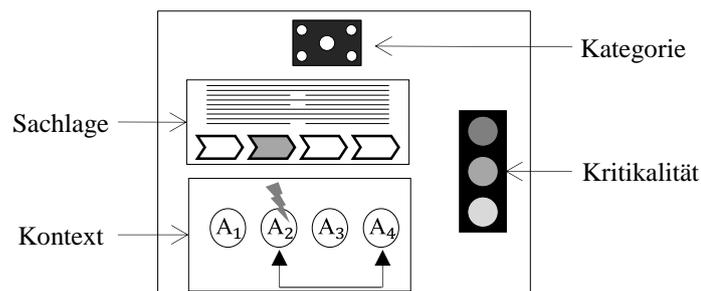


Abbildung 35: Wesentliche Bestandteile einer Frühwarninformation

6.5.3 Regelwerk zur Informationsverteilung

Auf Grundlage der im vorherigen Abschnitt konzipierten Frühwarninformation ist es möglich, die Einleitung von entstörenden Maßnahmen zu veranlassen. Hierfür ist es in Abhängigkeit des vorliegenden Falles erforderlich, die für den entsprechenden Entscheidungsprozess verantwortlichen Organisationseinheiten eines Unternehmens anhand der Frühwarninformation über die als kritisch eingestufte Situation in Kenntnis zu setzen. Als Organisationseinheit werden hierbei einzelne Elemente (z. B. Abteilungen) eines Unternehmens verstanden, die gemäß der festgelegten Aufbauorganisation einen Verantwortungsbereich mit eindeutig definierten Zuständigkeiten und Aufgaben repräsentieren. Der jeweiligen Organisationseinheit obliegt dann die in Anbetracht der bestehenden Frühwarnung notwendige Entscheidungsfindung.

Für die Zuordnung einer Frühwarninformation zu einer individuellen Organisationseinheit wird ein Regelwerk konzipiert, das sich aus spezifischen Regeln zur Informationsverteilung zusammensetzt. In diesem Kontext besteht eine einzelne Regel aus einer Prämisse sowie einer Konklusion (vgl. Abschnitt 6.4.2). Im Rahmen der Regelanwendung erfolgt dabei die ausschließliche Betrachtung von qualitativen Merkmalen. Die Prämissen der Regeln beinhalten Abfragen zur Konkretisierung der im Zusammenhang mit einem kritischen Ereignis relevanten

Rahmenbedingungen (z. B. Kategorie der Frühwarnung). Darauf aufbauend sieht der Teil der Konklusion die Bestimmung der jeweiligen Organisationseinheiten als Adressaten der Frühwarnung vor.

Im Allgemeinen zeigen sich die für die Planung und Steuerung von Produktionsabläufen zuständigen Organisationseinheiten (z. B. Arbeitsvorbereitung) eines Unternehmens für die Spezifikation der einzelnen Regeln verantwortlich. Dabei wird initial die grundlegende Basis des Regelwerkes in Anlehnung an die in Abschnitt 6.4.3 bestimmten Regeln zur Analyse von Ereignisdaten erstellt. Ferner erfolgt die fortlaufende Aktualisierung gemäß der in Abschnitt 6.4.4 dargestellten Erweiterung der Wissensbasis im Zuge des Systemeinsatzes.

6.6 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Kapitel wurde ein Frühwarnsystem entwickelt, das kritische Ereignisse in der Lieferkette durch die kontinuierliche Analyse von Produktions- und Logistikabläufen frühzeitig identifiziert und hiervon betroffene Organisationseinheiten in einem Unternehmen informiert. Hierfür wurden zunächst die Frühwarnkategorien Produkt, Prozess und Lieferant eingeführt, die sich anhand deren Kritikalität unterscheiden. Darauf aufbauend erfolgte die Konzeption von spezifischen Verfahren, die eine Detektion der kritischen Ereignisse gemäß der vorgenommenen Kategorisierung erlauben. Zur Modellierung der Wissensbasis wurde in diesem Zuge die regelbasierte Wissensrepräsentation gewählt. In Anlehnung an die definierten Verfahren erfolgte die Spezifikation von initialen Regeln. Durch das dargelegte Vorgehen zur betriebsparallelen Erweiterung der Wissensbasis wird zudem die kontinuierliche Aktualisierung des Systems sichergestellt. Ferner wurde ein Konzept zur detaillierten Situationsbeschreibung sowie ein Regelwerk entwickelt, um für den Fall der Identifikation eines solchen Ereignisses die zielgerichtete Informationsbereitstellung innerhalb eines Unternehmens zu ermöglichen.

In Kapitel 5 wurde mit der Spezifikation des Referenzmodells die informativische Basis als Voraussetzung für den Einsatz des in dem vorliegenden Kapitel 6 detaillierten Systems zur Frühwarnung gelegt. Im nachfolgenden Kapitel 7 dienen die Frühwarninformationen, die im Zuge der Nutzung des Systems generiert werden können, als Basis für die Bestimmung sowie Einleitung von entstörenden Maßnahmen im Kontext eines innerbetrieblichen Störungsmanagements.

7 Adaptives Störungsmanagement

7.1 Übersicht

Durch die Bereitstellung einer Frühwarninformation werden Organisationseinheiten eines Unternehmens über kritische Ereignisse in Kenntnis gesetzt, die diese im Rahmen der individuellen Aufgabenerfüllung beeinträchtigen. Das zentrale Ziel des vorliegenden Kapitels stellt folglich die Konzeption eines Vorgehens dar, das durch die frühzeitige Auswahl und Einleitung von entstörenden Maßnahmen die Vermeidung bzw. Minimierung von negativen Auswirkungen sicherstellt. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei die individuelle Bestimmung von Maßnahmen auf Basis der Frühwarnung zur Beschreibung der jeweiligen Sachlage.

Auf den hierfür vorgesehenen Entstörungsablauf wird in Abschnitt 7.2 eingegangen. In Abschnitt 7.3 erfolgt die Darstellung von Einflussgrößen, die im Rahmen der Maßnahmenbestimmung bedeutsam sind. Neben den Restriktionen, die den Handlungsspielraum einschränken, ist in diesem Zusammenhang die Betrachtung spezifischer Zielgrößen relevant. Die in Abhängigkeit der Frühwarnung wesentlichen Entstörungsstrategien werden in Abschnitt 7.4 erläutert. Abschließend steht in Abschnitt 7.4.5 die fallspezifische Bestimmung von Maßnahmen im Fokus.

7.2 Ablauf des Störungsmanagements

Die Identifikation eines kritischen Ereignisses und die damit verbundene Generierung einer Frühwarnung stellen den Ausgangspunkt für die Aktivierung des Störungsmanagements dar. Mit der Bereitstellung der Frühwarninformation beginnt der entsprechende Ablauf, der sich im Wesentlichen in die drei Phasen *Information*, *Analyse* und *Entstörung* gliedern lässt (vgl. Abbildung 36).

Im Rahmen der ersten Phase *Information* steht der Zugriff einer Organisationseinheit auf die im Zusammenhang mit einem kritischen Ereignis bedeutsamen Daten im Fokus. Neben der jeweiligen Frühwarnung sind hierbei auch weiterführende Daten (z. B. Arbeitspläne) aus Informationssystemen, die der Unternehmensleitenebene oder Fertigungsleitenebene zugeordnet werden, notwendig (vgl. Abschnitt 2.4.4). In der folgenden Phase *Analyse* sind zunächst die in Betracht

der vorliegenden Frühwarnung grundsätzlich *geeigneten* Maßnahmen zu bestimmen. In diesem Kontext ist die zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossene Kategorisierung des kritischen Ereignisses maßgeblich. Darauf aufbauend werden die Maßnahmen durch die Berücksichtigung von Restriktionen (z. B. arbeitsrechtliche Bestimmungen), die durch die jeweiligen Organisationseinheiten nicht beeinflusst werden können, auf eine Auswahl von *möglichen* Maßnahmen reduziert. Den Abschluss dieser Phase bildet die Bewertung der einzelnen Maßnahmen anhand von Zielgrößen (z. B. Termintreue), auf die durch die jeweilige Organisationseinheit Einfluss genommen werden kann. Je nach individueller Präferenz, die bei der Organisationseinheit zu diesem Zeitpunkt vorherrscht, ist eine Priorisierung sowie Gewichtung der Zielgrößen vorzunehmen.

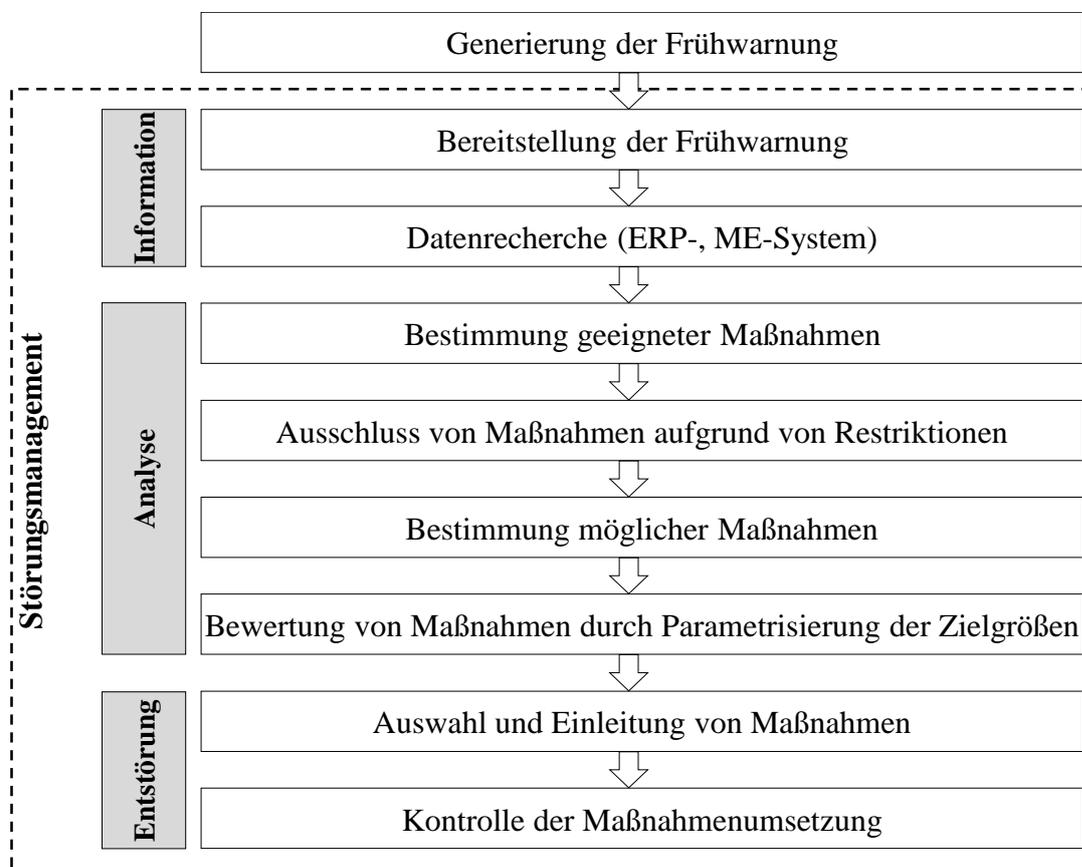


Abbildung 36: Ablauf des adaptiven Störungsmanagements

Auf Grundlage der vorgenommenen Bewertung erfolgt im Zuge der Phase *Entstörung* die Auswahl einer oder mehrerer Maßnahmen sowie deren Implementierung. Abschließend ist eine Kontrolle der planmäßigen Maßnahmenumsetzung erforderlich.

7.3 Einflussgrößen

7.3.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die vor dem Hintergrund der Identifikation eines kritischen Ereignisses notwendige Bestimmung von spezifischen Maßnahmen erfolgt durch die Kategorisierung der Frühwarnung eine erste Einschränkung auf potenziell geeignete Maßnahmen (vgl. Abschnitt 7.4). Um auf dieser Grundlage diejenigen Maßnahmen auszuwählen, deren Einleitung die Auswirkungen von Störungen vermeiden bzw. minimieren, ist die Betrachtung von Einflussgrößen entscheidend. In der vorliegenden Arbeit wird hierbei zwischen Restriktionen und Zielgrößen unterschieden. Auf die einzelnen Einflussgrößen wird nachfolgend im Detail eingegangen.

7.3.2 Restriktionen

Im Kontext des innerbetrieblichen Störungsmanagements stellen Restriktionen die zu einem Zeitpunkt bestehenden Einschränkungen dar, auf die seitens eines Unternehmens in vorrangig kurz- bis mittelfristiger Sicht kein Einfluss genommen werden kann. In Bezug auf die Bestimmung von entstörenden Maßnahmen nehmen Restriktionen eine bedeutsame Rolle ein, da durch diese die Menge an grundsätzlich geeigneten Maßnahmen eingeschränkt wird. In diesem Zusammenhang lassen sich verschiedene Kategorien an Restriktionen unterscheiden (vgl. Abbildung 37).

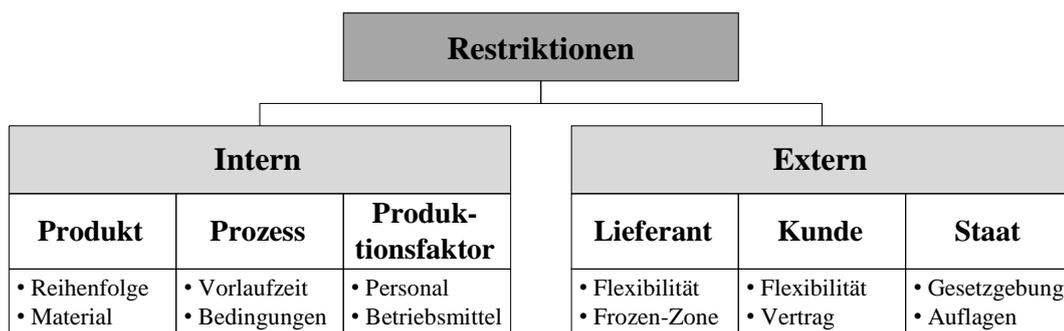


Abbildung 37: Überblick zu den Restriktionen des Störungsmanagements

Auf oberster Ebene erfolgt eine Differenzierung zwischen *internen* und *externen* Restriktionen. Während interne Restriktionen auf Rahmenbedingungen basieren, die innerhalb eines Unternehmens bestehen, resultieren externe Restriktionen aus Gegebenheiten, die von außen auf ein Unternehmen wirken. Die wesentlichen

internen Restriktionen entsprechen den Kategorien *Produkt*, *Prozess* und *Produktionsfaktor*. Zum einen werden die Auswahlmöglichkeiten hinsichtlich entstörender Maßnahmen durch die Produkte selbst, die das jeweilige Unternehmen herstellt, limitiert. Beispielsweise begrenzt die im Arbeitsplan eines Produktes festgelegte Fertigungs- bzw. Montagereihenfolge das Ausmaß an umsetzbaren Entstörungsstrategien. Zum anderen bestehen prozessbedingte Beschränkungen, wie beispielsweise Vorlaufzeiten, die im Zuge der Maßnahmenbestimmung berücksichtigt werden müssen. Ferner stellen Produktionsfaktoren eine weitere limitierende Größe dar. Dazu gehören vor allem das verfügbare Personal und die Betriebsmittel eines Unternehmens sowie die diesbezüglich vorhandene Flexibilität.

Externe Restriktionen lassen sich hingegen anhand der Kategorien *Lieferant*, *Kunde* und *Staat* strukturieren. Die Flexibilität, mit der ein Zulieferer auf Änderungen in Bezug auf einen originären Plan reagiert, ist maßgeblich für die Einschränkungen, die lieferantenbedingt bestehen. In diesem Zusammenhang ist auch die als sogenannte *Frozen Zone* bezeichnete eingefrorene Perlenkette von Bedeutung (vgl. WEYER & SPATH 2009). Darüber hinaus ist die Flexibilität, die ein Kunde des Unternehmens gegenüber Abweichungen von ursprünglichen Planvorgaben aufweist, relevant. Weitere Einschränkungen ergeben sich beispielsweise aus Vertragsbestimmungen, die mit den Kunden vereinbart wurden. Zudem erfolgt auch durch den Staat, der unter anderem die Gesetzgebung sowie Festlegung von umweltrechtlichen Auflagen verantwortet, eine Beschränkung der Maßnahmen, die im Kontext des Störungsmanagements umgesetzt werden können.

7.3.3 Zielgrößen

Die Berücksichtigung von gewichteten Zielgrößen erlaubt die zielgerichtete Auswahl von entstörenden Maßnahmen auf Grundlage einer Frühwarnung. Entsprechend der vorgenommenen Priorisierung ist es möglich, dass die Bewertung einzelner Maßnahmen, die angesichts der Frühwarnung eingeleitet werden können, unterschiedlich ausfällt. Im Gegensatz zu den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Restriktionen kann durch die Organisationseinheiten eines Unternehmens somit auch in kurz- bis mittelfristiger Sicht Einfluss auf den Entscheidungsprozess genommen werden.

Für die vorliegende Arbeit werden die *logistischen Zielgrößen*, die *Kosten* sowie die *Planungsstabilität* als Kategorien an einzubeziehenden Zielgrößen bestimmt (vgl. Abbildung 38). Anhand der Festlegung dieser Zielgrößen werden vornehm-

lich Kennzahlen im Hinblick auf die innerbetriebliche Wertschöpfung als Variablen zur Maßnahmenbestimmung herangezogen. Demgegenüber erfolgt im Rahmen des Störungsmanagements keine Berücksichtigung von Kennzahlen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfung.

| Kategorien | Beispiele |
|------------------------|---|
| Logistische Zielgrößen | <ul style="list-style-type: none"> • Termintreue • Bestand |
| Kosten | <ul style="list-style-type: none"> • Adaptionskosten • Verzugskosten |
| Planungsstabilität | <ul style="list-style-type: none"> • Bedarfsplanung • Kapazitätsplanung |

Abbildung 38: Überblick zu den Zielgrößen des Störungsmanagements

Als Basis für die logistischen Zielgrößen dient das Zielsystem der Fertigung in einer Lieferkette (vgl. Abschnitt 2.3.2). Im Hinblick auf ein Arbeitssystem sieht dieses eine hohe Termintreue bei gleichzeitig hoher Auslastung, kurzen Durchlaufzeiten sowie niedrigen Beständen vor. Anhand der Kennzahl Termintreue wird dabei der prozentuale Anteil an Aufträgen beschrieben, der in einem gegebenen Zeitraum in einem Toleranzbereich um den Plan-Termin ausgeliefert wurde (YU 2001). Die Auslastung wird durch das Verhältnis von mittlerer Leistung und verfügbarer Kapazität eines Arbeitssystems ermittelt (LÖDDING 2008). Die Zeitspanne zwischen der Freigabe und dem Ende der Bearbeitung eines Auftrages wird als Durchlaufzeit definiert (LÖDDING 2008). Darüber hinaus lässt sich der Bestand mittels der Differenz zwischen dem Zugang und dem Abgang eines Arbeitssystems erfassen (NYHUIS & WIENDAHL 2012). An dieser Stelle wird nicht weiter auf das jeweilige Vorgehen zur Berechnung der logistischen Zielgrößen eingegangen. Die entsprechenden Formeln können der Fachliteratur entnommen werden (z. B. NYHUIS & WIENDAHL 2012).

Eine weitere wesentliche Zielgrößenkategorie wird durch die Kosten repräsentiert. Im Zusammenhang mit dem in der vorliegenden Arbeit adressierten Störungsmanagement sind dabei die Gesamtkosten K_j^{Ges} relevant, die in einem Arbeitssystem im Rahmen der in einer Planungsperiode P_j vorgesehenen Abwicklung von Aufträgen anfallen. Die einzelnen Aufträge stellen in diesem Kontext Elemente der Menge MA_{P_j} dar, in der ausschließlich diejenigen Aufträge, deren Bearbeitung planmäßig in der Planungsperiode P_j vorgesehen wird, enthalten sind.

Die Kalkulation der Gesamtkosten K_j^{Ges} erfolgt auf Grundlage der folgenden Formel (4):

$$K_j^{Ges} = \sum_{i=1}^n K_{ij} = \sum_{i=1}^n (K_{ij}^{Proz} + K_{ij}^{Stör} + K_{ij}^{Adapt}) \quad (4)$$

| | | |
|-----|------------------|--|
| mit | K_j^{Ges} | Gesamtkosten in der Planungsperiode P_j |
| | K_{ij} | Gesamtkosten für Abwicklung von Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| | K_{ij}^{Proz} | Prozessspezifische Kosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| | $K_{ij}^{Stör}$ | Störkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| | K_{ij}^{Adapt} | Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |

Durch die Komponente der prozessspezifischen Kosten K_{ij}^{Proz} werden ausschließlich variable Kosten abgebildet, die von den Objekten eines Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j im Zuge des Durchlaufens der gemäß dem Referenzmodell gestalteten Prozesse des Arbeitssystems verursacht werden (vgl. Abschnitt 5.2.2). Hingegen finden in dieser Komponente fixe Kosten (z. B. Verwaltungskosten) keine Berücksichtigung. Im Detail erfolgt die Bestimmung der prozessspezifischen Kosten K_{ij}^{Proz} eines Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j anhand folgender Formel (5):

$$K_{ij}^{Proz} = K_{ij}^{Prod} + K_{ij}^{Log} \quad (5)$$

| | | |
|-----|-----------------|---|
| mit | K_{ij}^{Proz} | Prozessspezifische Kosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| | K_{ij}^{Prod} | Kosten der Produktionsprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |
| | K_{ij}^{Log} | Kosten der Logistikprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j |

Die Komponente der Störkosten $K_{ij}^{Stör}$ geht mit der in der Planungsperiode P_j voraussichtlich verspäteten bzw. ausgebliebenen Auslieferung eines Auftrages A_i an den jeweiligen Kunden einher und resultiert aus kritischen Ereignissen, die in der Lieferkette eintreten. Durch diese Kosten werden vorrangig Verzugskosten (z. B. Konventionalstrafen) beschrieben, die als eine Folge der Nichterfüllung der vertraglichen Pflicht einer termingerechten Produktbereitstellung entstehen.

Darüber hinaus erfolgt nach Formel (6) die Erfassung der hierdurch nicht realisierbaren Deckungsbeiträge in Form von Opportunitätskosten:

$$K_{ij}^{Stör} = K_{ij}^{Verz} + K_{ij}^{Opp} \quad (6)$$

mit $K_{ij}^{Stör}$ Störkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
 K_{ij}^{Verz} Verzugskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
 K_{ij}^{Opp} Opportunitätskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j

Die im Zusammenhang mit dem Störungsmanagement zu berücksichtigenden Kosten werden durch die Adaptionkosten K_{ij}^{Adapt} abgebildet. Anhand dieser Komponente erfolgt die Darstellung der Kosten, die mit der Einleitung von entstörenden Maßnahmen verbunden sind. Einerseits können diese variable Kosten einschließen, die beispielsweise auf erhöhte Montagekosten zurückzuführen sind. Andererseits sind gemäß Formel (7) grundsätzlich auch fixe Kosten als eine Folge von beispielsweise strukturellen Prozessanpassungen im Zuge der Kalkulation der Adaptionkosten K_{ij}^{Adapt} zu berücksichtigen:

$$K_{ij}^{Adapt} = K_{ij}^{VarAdapt} + K_{ij}^{FixAdapt} \quad (7)$$

mit K_{ij}^{Adapt} Adaptionkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
 $K_{ij}^{VarAdapt}$ Variable Adaptionkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
 $K_{ij}^{FixAdapt}$ Fixe Adaptionkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j

Neben den logistischen Zielgrößen und den Kosten wird zudem die Planungsstabilität PS_j als weitere, im Rahmen des Entscheidungsprozesses zu beachtende, Zielgröße eingeführt. Für die vorliegende Arbeit wird unter der Zielgröße der Planungsstabilität PS_j das Bestreben nach einer möglichst vollumfänglichen Umsetzung von originären Planvorgaben verstanden, die für ein Arbeitssystem jeweils im Hinblick auf eine Planungsperiode P_j erstellt wurden. Etwaige Abweichungen, die mit einer Aktualisierung der Planungen aufgrund der Identifikation von kritischen Ereignissen einhergehen, sollen angesichts der hohen Planungs- und Steuerungskomplexität in hierarchisch-stabilen Ketten vorzugsweise gering gehalten werden. Hierdurch ist es möglich, das Auftreten von Planungsnervosität als ein mögliches Resultat aus der umfangreichen sowie kurzfristigen Adaption bereits festgelegter Planvorgaben zu vermeiden (vgl. SCHWARTZ 2004).

Dementsprechend weist diese Zielgröße vorrangig im Zusammenhang mit Anpassungen, die infolge von kritischen Ereignissen der Kategorie Produkt vorgenommen werden, eine hohe Bedeutung auf (vgl. Abschnitt 6.3.2). Die hierbei wesentlichen Strategien entsprechen den inhaltlichen Schwerpunkten der Auftragskoordination und Produktionssteuerung (vgl. Abschnitt 2.3.3). Im Fokus steht die Adaption der initial durchgeführten Feinspezifikation der Ressourcenbelegungsplanung (engl. Scheduling). Damit stellt insbesondere die Betrachtung einzelner oder mehrerer Prozessbausteine im Bereich der Produktion die Grundlage zur Ermittlung der Planungsstabilität dar (vgl. Abschnitt 5.2.2.2). Darauf aufbauend werden nachfolgend die Kriterien detailliert, die zur Evaluierung der Zielgröße Planungsstabilität zu betrachten sind. Dabei bildet die in Abschnitt 2.2.3 vorgenommene Eingrenzung auf die Fließfertigung als Organisationsform der abzusichernden Produktion die Grundlage für die Auswahl der entsprechenden Größen.

Allgemein wird die Stabilität der Planung bezüglich eines Arbeitssystems von der Häufigkeit, mit der Anpassungen angestoßen werden, beeinflusst. Je nach verfolgter Strategie kann einerseits von der Adaption bestehender Pläne, auch für den Fall der Identifikation von kritischen Ereignissen, abgesehen werden. Andererseits kann jeder Erfassung eines kritischen Ereignisses eine unmittelbare Aktualisierung der Planung folgen. Einen Mittelweg stellt die periodische Adaption dar. Diesbezüglich wird für eine Planungsperiode P_j zu gleichbleibenden und wiederkehrenden Zeitpunkten (z. B. Schichtbeginn) eine Überarbeitung der originären Vorgaben unter Berücksichtigung der in einem festgelegten Zeitraum identifizierten Ereignisse vorgenommen (vgl. SABUNCUOGLU & BAYIZ 2000). In hierarchisch-stabilen Ketten erweist sich dabei aufgrund der hohen Planungs- und Steuerungskomplexität vor allem die Überarbeitung zu wiederkehrenden Zeitpunkten und somit die periodische Adaption als relevant und soll daher von der im Folgenden zu entwickelnden Zielgröße adressiert werden.

Neben der Häufigkeit der Planungsanpassungen ist hinsichtlich der Beurteilung der in einem Arbeitssystem bestehenden Planungsstabilität vor allem das Ausmaß der jeweiligen Adaptionen zu quantifizieren. Als das hierfür wesentliche Kriterium wird die Anzahl der Aufträge, die einer Planungsperiode P_j zugeordnet werden und die im Zuge der Umsetzungen von Maßnahmen des Störungsmanagements eine Anpassung erfahren, bestimmt. Unter Anpassungen werden dabei zum einen Unterschiede in Bezug auf den Soll-Endtermin $te_{A_{ij}}$, an dem mit einem Auftrag A_i verbundene Objekte einen gemäß dem Referenzmodell spezifizierten Durchlauf eines Prozessbausteins planmäßig abschließen sollen, verstan-

den. In diesem Kontext sind auch Abweichungen bezüglich der Reihenfolge, in der die Aufträge einer Planungsperiode P_j einzelne Prozessbausteine durchlaufen sollen, wesentlich. Zum anderen stellen die Veränderungen im Hinblick auf die Zusammensetzung der in einer Planungsperiode P_j zu bearbeitenden Aufträge relevante Modifikationen dar. In der Menge $MA_{P_j}^{M_E}$ sind dabei ausschließlich diejenigen Aufträge als Elemente enthalten, deren Bearbeitung im Anschluss an die Adaption der originären Planvorgaben durch die Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j vorgesehen wird. Sowohl die Aktualisierung der Soll-Endtermine als auch die Adaption der Zusammensetzung von Aufträgen, die einer Planungsperiode P_j zugeordnet werden, geht im Rahmen der Umsetzung der Planvorgaben mit der Erzeugung von Turbulenz und somit auch von Nervosität einher.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wird die nachstehende Formel (8) zur Bestimmung der Planungsstabilität PS_j spezifiziert. Anhand dieser Formel ist es möglich, die Auswirkungen der im Kontext des Störungsmanagements potenziell erforderlichen Realisierung einer Maßnahme M_E auf die Stabilität der Planung in der Periode P_j in Bezug auf ein Arbeitssystem zu ermitteln:

$$PS_j^{M_E} = 1 - \frac{|A_{j'}^{M_E}|}{|A_j^{M_E}| + |A_j^{EntM_E}|} \quad (8)$$

mit $PS_j^{M_E}$ Planungsstabilität in Bezug auf ein Arbeitssystem bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j

$|A_{j'}^{M_E}|$ Anzahl der Aufträge der Planungsperiode P_j , die bei Umsetzung der Maßnahme M_E eine Änderung erfahren

$|A_j^{M_E}|$ Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j bearbeitet werden

$|A_j^{EntM_E}|$ Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j im Gegensatz zur originären Planung entfallen

Die Anzahl der Aufträge, die bei Realisierung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j im Hinblick auf die originäre Planung geändert werden, lässt sich gemäß Formel (9) wie folgt bestimmen:

$$|A_{j'}^{M_E}| = \sum_{i=1}^n A_{ij'}^{M_E} \quad (9)$$

mit $|A_{j'}^{M_E}|$ Anzahl der Aufträge der Planungsperiode P_j , die bei Umset-

$A_{ij'}^{M_E}$ zung der Maßnahme M_E eine Änderung erfahren
 Binärvariable zur Angabe, ob ein der Planungsperiode P_j
 zugeordneter Auftrag A_i bei Umsetzung der Maßnahme M_E
 eine Änderung erfährt

In Bezug auf diejenigen Aufträge, deren Bearbeitung sowohl gemäß der originären als auch gemäß der als eine Folge der Berücksichtigung der Maßnahme M_E aktualisierten Planung in der Planungsperiode P_j vorgesehen ist, gilt nach Formel (10) für die Bestimmung der Binärvariablen $A_{ij'}^{M_E}$:

$$A_{ij'}^{M_E} = \begin{cases} 1, & \text{falls } te_{A_{ij}} \neq te_{A_{ij}}^{M_E} \\ 0, & \text{ansonsten} \end{cases} \quad (10)$$

mit $A_i \in (MA_{P_j}^{M_E} \cap MA_{P_j})$
 $A_{ij'}^{M_E}$ Binärvariable zur Angabe, ob ein der Planungsperiode P_j
 zugeordneter Auftrag A_i bei Umsetzung der Maßnahme M_E
 eine Änderung erfährt
 $te_{A_{ij}}$ Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j
 $te_{A_{ij}}^{M_E}$ Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j
 bei Umsetzung der Maßnahme M_E

Für diejenigen Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j im Vergleich zur originären Planung hinzugefügt werden bzw. entfallen, gilt gemäß Formel (11) hinsichtlich der Bestimmung der Binärvariablen $A_{ij'}^{M_E}$:

$$A_{ij'}^{M_E} = \begin{cases} 1, & \text{falls } A_i \in (MA_{P_j}^{M_E} \cup MA_{P_j}) \setminus (MA_{P_j}^{M_E} \cap MA_{P_j}) \\ 0, & \text{ansonsten} \end{cases} \quad (11)$$

mit $A_{ij'}^{M_E}$ Binärvariable zur Angabe, ob ein der Planungsperiode P_j
 zugeordneter Auftrag A_i bei Umsetzung der Maßnahme M_E
 eine Änderung erfährt
 $MA_{P_j}^{M_E}$ Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bei Um-
 setzung der Maßnahme M_E bearbeitet werden
 MA_{P_j} Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bearbeitet
 werden

Die Zielgröße der Planungsstabilität PS_j stellt somit eine auf das Intervall $[0, 1]$ normierte Kennzahl dar, anhand derer einzelne Maßnahmen im Rahmen der periodischen Adaption von Planvorgaben im Hinblick auf die Nervosität, die mit deren Einleitung einhergeht, bewertet werden können. Dabei nimmt der Wert

dieser Zielgröße mit zunehmender Anzahl an Aufträgen, die als Ergebnis der Implementierung einer Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j geändert werden, ab. Durch die Berücksichtigung dieser Zielgröße wird es folglich ermöglicht, die Planungsnervosität als Bewertungskriterium im Zuge des Auswahlprozesses von einzelnen Entstörungsstrategien, die im Folgenden erläutert werden, miteinzubeziehen.

7.4 Strategien zur Entstörung

7.4.1 Allgemeines

In dem vorhergehenden Abschnitt erfolgte die Beschreibung von Einflussgrößen, die bei der Identifikation von kritischen Ereignissen die Bewertung von einzelnen Maßnahmen zur Entstörung erlauben. Die in diesem Kontext relevanten Entstörungsstrategien, um ein in einer hierarchisch-stabilen Kette agierendes Unternehmen gegenüber kritischen Ereignissen in der Lieferkette abzusichern, werden im Folgenden konzipiert. In diesem Rahmen bilden die in Abschnitt 6.3 definierten Frühwarnkategorien die Basis zur Differenzierung. Es wird zwischen den in kurzfristiger Sicht relevanten produktbezogenen Strategien sowie den eher in mittel- bis langfristiger Sicht bedeutsamen prozess- und lieferantenbezogenen Strategien unterschieden. Während die produktbezogenen Strategien dabei ausschließlich innerhalb des abzusichernden Unternehmens Anwendung finden, zielen die prozess- und lieferantenbezogenen Strategien auf eine unternehmensübergreifende Umsetzung ab. Im Allgemeinen ist dabei auch der kombinierte Einsatz von einzelnen Maßnahmen der jeweiligen Strategien zulässig. Abschließend wird ferner auf die Auswahl einer spezifischen Maßnahme unter Berücksichtigung der fallspezifisch vorliegenden Rahmenbedingungen eingegangen.

7.4.2 Produktbezogene Strategien

Anhand der Erfassung eines kritischen Ereignisses der Kategorie Produkt kann die versorgungsseitig fristgerechte Bereitstellung eines bestimmten Zuliefererteils in der jeweils geforderten Qualität ausgeschlossen werden (vgl. Abschnitt 6.3.2). Entsprechend der mit dem Ereignis verbundenen latenten Phase einer Störung beginnt die Störungswirkung bei dem hiervon betroffenen Unternehmen unmittelbar mit dem Verbrauch der vorhandenen Puffer. Demzufolge liegt der Fokus von produktbezogenen Strategien auf Maßnahmen als Bestandteile von

Reaktionsstrategien, die auf Grundlage einer kurzfristigen Einleitung die Störungswirkung kompensieren. In diesem Zusammenhang lassen sich zum einen die Strategie zur *Anpassung* sowie zum anderen die Strategie zum *Abgleich* von Kapazitäten unterscheiden (vgl. Abbildung 39).

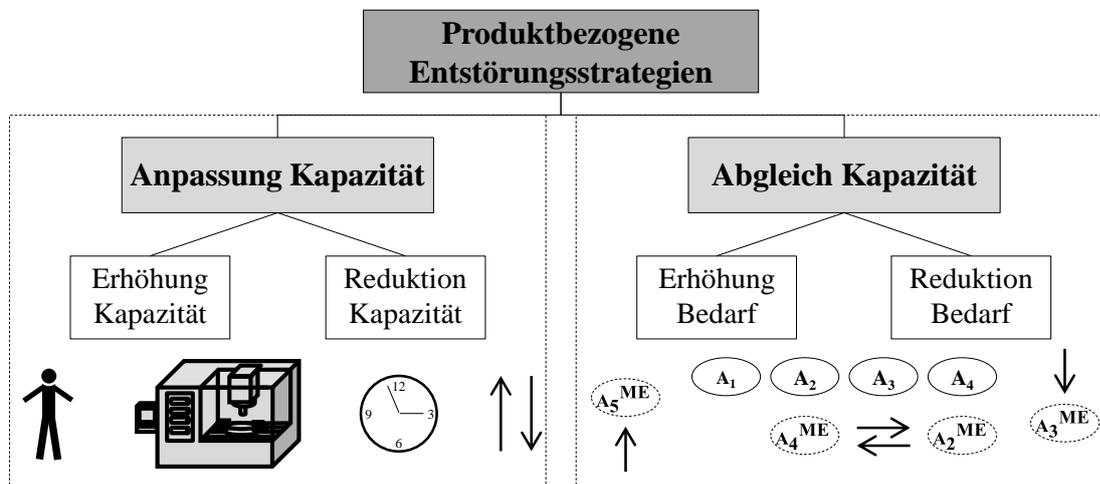


Abbildung 39: Überblick zu produktbezogenen Entstörungsstrategien

Die Maßnahmen, die der Strategie zur Anpassung von Kapazitäten zugeordnet werden, sehen die Erhöhung oder die Reduktion der Verfügbarkeit von Kapazitäten vor. In diesem Rahmen sollen die Abläufe vorrangig durch die Adaption der unternehmensinternen Ressourcen unter Berücksichtigung der in Abschnitt 7.3.3 spezifizierten Zielgrößen gestaltet werden. Einerseits kann dies durch die Gruppe von Maßnahmen zur zeitbezogenen Anpassung erfolgen. Hiermit wird die zeitliche Verfügbarkeit der planmäßig einsetzbaren Ressourcen erhöht bzw. reduziert. Andererseits wird dies durch Maßnahmen zur ressourcenbezogenen Anpassung ermöglicht. Hierbei wird der Umfang der eingesetzten Kapazitäten gesteigert bzw. verringert und somit auf die vorliegenden Rahmenbedingungen hinsichtlich der Bereitstellung von Zuliefererteilen reagiert.

In Bezug auf die Strategie des Abgleichs von Kapazitäten stehen hingegen Maßnahmen im Vordergrund, die durch die Adaption der Ressourcenbelegungsplanung (eng. Scheduling) eine Erhöhung oder Reduktion des Bedarfs an Kapazitäten herbeiführen. Die Schwerpunkte bilden an dieser Stelle die Anpassung der Zusammensetzung der abzuwickelnden Aufträge in einer Planungsperiode sowie deren in diesem Zuge vorgesehene Bearbeitungsreihenfolge. Durch die Gruppe an Maßnahmen zur zeitbezogenen Anpassung erfolgt dabei die Adaption der planmäßigen Bearbeitungsreihenfolge. In diesem Kontext wird die Positionierung von einzelnen Aufträgen als Reihenfolgeelemente in der Planungsperiode

aktualisiert. Ferner kann auf Basis der Maßnahmen zur mengenmäßigen Anpassung die zusätzliche Bearbeitung von Aufträgen erfolgen bzw. von der Abwicklung einzelner Aufträge in einer Planungsperiode abgesehen werden. Hierbei steht die Anpassung der Intensität im Vordergrund. In Tabelle 1 werden potenzielle Maßnahmen der produktbezogenen Strategien zusammengefasst.

Tabelle 1: Maßnahmenkatalog zu produktbezogenen Entstörungsstrategien

| | | Maßnahmen |
|---------------------|---------------------|---|
| Anpassung Kapazität | Erhöhung Kapazität | Bereitstellung zusätzlicher Personalkapazitäten (z. B. Springer) |
| | | Bereitstellung zusätzlicher Betriebsmittelkapazitäten (z. B. Montagearbeitsplatz) |
| | | Verlängerung der Arbeitszeit (z. B. Überstunden) |
| | Reduktion Kapazität | Reduktion eingesetzter Personalkapazitäten (z. B. Monteur) |
| | | Reduktion eingesetzter Betriebsmittelkapazitäten (z. B. Montagearbeitsplatz) |
| | | Verkürzung der Arbeitszeit (z. B. Freizeitausgleich) |
| Abgleich Kapazität | Erhöhung Bedarf | Zuordnung zusätzlicher Aufträge zu einer Planungsperiode |
| | | Änderung des Soll-Endtermins einzelner oder mehrerer Aufträge innerhalb einer Planungsperiode |
| | | Austausch einzelner oder mehrerer Aufträge zwischen verschiedenen Planungsperioden |
| | Reduktion Bedarf | Ausschluss von originär eingeplanten Aufträgen einer Planungsperiode |
| | | Änderung des Soll-Endtermins einzelner oder mehrerer Aufträge innerhalb einer Planungsperiode |
| | | Austausch einzelner oder mehrerer Aufträge zwischen verschiedenen Planungsperioden |

7.4.3 Prozessbezogene Strategien

Eine Frühwarnung der Kategorie Prozess weist auf eine kritische Entwicklung im Hinblick auf einen spezifischen Prozess in der Lieferkette hin (vgl. Abschnitt 6.3.3). Diese kann auf einer temporär begrenzten bzw. fortwährenden Beeinflussung zufälliger oder systematischer Art beruhen und entspricht hinsichtlich der Kritikalität der indikativen Phase einer Störung. Die in mittel- bis langfristiger Sicht relevanten prozessbezogenen Entstörungsstrategien lassen sich daher der Kategorie der Präventionsstrategien zuordnen. Für die vorliegende Arbeit werden diese Strategien nach der *Gestaltung*, *Planung* sowie *Durchführung* von Prozessen gegliedert (vgl. Abbildung 40).

Im Mittelpunkt der Gruppe von Maßnahmen zur Prozessgestaltung steht die strukturelle Prozessadaption. In diesem Zuge erfolgt im Wesentlichen die Anpassung des Einsatzes von Ressourcen zur Durchführung des Prozesses. Die Maßnahmen im Kontext der Planung sehen unter anderem die Adaption der grundsätzlichen Spezifikation von Vorgaben im Hinblick auf einen Prozess vor. Zum einen können diese mit Größen zusammenhängen, die sich direkt auf die Durchführung des jeweiligen Prozesses beziehen. Zum anderen stehen auch Vorgaben

im Fokus, die zur Absicherung der Verfügbarkeit von Ressourcen, deren Einsatz der jeweilige Prozess bedarf, dienen. Demnach fokussieren die Gruppen an Maßnahmen in Bezug auf die Gestaltung und Planung von Prozessen auf Änderungen zur nachhaltigen Vermeidung eines zukünftig wiederholten Auftretens eines kritischen Ereignisses durch die Beseitigung systematischer Einflüsse.

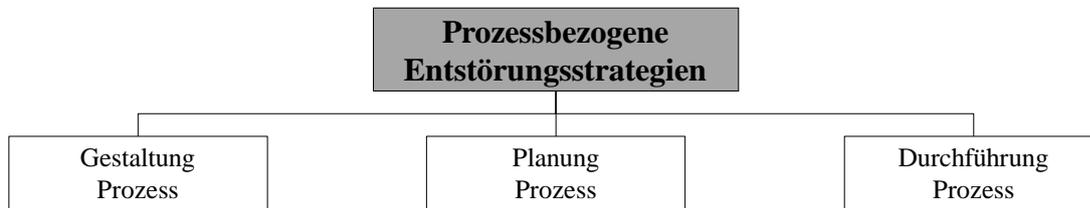


Abbildung 40: Überblick zu prozessbezogenen Entstörungsstrategien

Im Gegensatz dazu dienen Maßnahmen, die der Kategorie Ausführung entsprechen, der unmittelbaren Prävention. Hierdurch soll der mit einem kritischen Ereignis möglicherweise einhergehende Übergang von der indikativen in die latente Störungsphase vermieden werden. Dies beinhaltet Schritte zur detaillierten Prüfung der vorliegenden Situation, um vorrangig Einflüsse zufälliger Art zu bestimmen. Darauf aufbauend kann dann die Einleitung entsprechender Maßnahmen in Bezug auf die Prozessparameter sowie der im Rahmen des Prozessdurchlaufs eingesetzten Ressourcen erfolgen. Probate Maßnahmen der prozessbezogenen Strategien werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Maßnahmenkatalog zu prozessbezogenen Entstörungsstrategien

| | | Maßnahmen |
|---------|--------------|--|
| Prozess | Gestaltung | Austausch der prozessspezifisch eingesetzten Betriebsmittel (z. B. Fördermittel) |
| | | Austausch des prozessspezifisch eingesetzten Personals |
| | | Prozessoptimierung (z. B. Automatisierung) |
| | Planung | Adaption der prozessspezifisch relevanten Parameter (z. B. Vorgabezeiten) |
| | | Verkürzung der Wartungsintervalle |
| | | Schulung des prozessspezifisch eingesetzten Personals |
| | Durchführung | Überprüfung der prozessspezifisch eingesetzten Betriebsmittel |
| | | Vorgezogene Instandhaltung der prozessspezifisch eingesetzten Betriebsmittel |
| | | Temporärer Austausch der prozessspezifisch eingesetzten Betriebsmittel |

7.4.4 Lieferantenbezogene Strategien

Ereignisse, die im Hinblick auf einen Lieferanten als kritisch eingestuft werden, basieren auf den prozessübergreifenden Entwicklungen in dem Verantwortungsbereich des jeweiligen Zulieferers und weisen entsprechend der indikativen Pha-

se einer Störung auf ein gehäuftes Auftreten von unzulässigen Abweichungen hin (vgl. Abschnitt 6.3.4). Die in der vorliegenden Arbeit zu spezifizierenden lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien dienen folglich vornehmlich der Prävention. In mittel- bis langfristiger Sicht sollen versorgungsseitige Störungen, die auf einen einzelnen Lieferanten zurückzuführen sind, vermieden werden. Hierfür geeignete Maßnahmen werden im Folgenden in den Kategorien *Gestaltung*, *Planung* und *Durchführung* der Beschaffung zusammengefasst (vgl. Abbildung 41).



Abbildung 41: Überblick zu lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien

Die Maßnahmen der Gruppe zur Gestaltung der Beschaffung bilden die Umsetzung von Beschaffungsstrategien von Zuliefererteilen in langfristiger Sicht ab. Neben der Auswahl der Zulieferer und der Bestimmung der Anzahl an Beschaffungsquellen können diese Maßnahmen unter anderem auch Änderungen der räumlichen Anordnung der Zulieferer vorsehen. Durch die Maßnahmen, die der Gruppe Planung zugeordnet werden, erfolgt vorrangig die Adaption der Vorgaben für einzelne Zulieferer hinsichtlich der in mittelfristiger Sicht erforderlichen Bereitstellung von Teilen. Sowohl die Maßnahmen zur Gestaltung als auch die Aktionen zur Planung der Beschaffung können sich auf Abläufe auswirken, die mit verschiedenen Zulieferern bestehen. Hierdurch kann die Abhängigkeit von einem einzelnen Lieferanten reduziert werden.

Im Gegensatz dazu steht bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Durchführung der Beschaffung die detaillierte Prüfung der bereits bestehenden Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Lieferanten, in dessen Verantwortungsbereich das erfasste kritische Ereignis fällt, im Vordergrund. In diesem Kontext werden Maßnahmen operativer Art eingeleitet, die prozessübergreifend zur Absicherung der Versorgung des Unternehmens mit Teilen dienen. Eine im Zusammenhang mit den lieferantenbezogenen Strategien adäquate Auswahl an Maßnahmen ist Inhalt von Tabelle 3.

Tabelle 3: Maßnahmenkatalog zu lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien

| | | Maßnahmen |
|-------------|--------------|--|
| Beschaffung | Gestaltung | Wechsel von einer Einzel- zu einer Mehrquellenbeschaffung |
| | | Austausch der eingesetzten Lieferanten |
| | | Änderung der geografischen Anordnung der Lieferanten |
| | Planung | Adaption der lieferantenbezogenen Vorgaben (z. B. Produktionsprogrammplan) |
| | | Erhöhung der interprozessualen Zeit- und Bestandspuffer (z. B. Frozen-Zone) |
| | | Schulung des Personals der Lieferanten |
| | Durchführung | Überprüfung der lieferantenspezifisch eingesetzten Betriebsmittel |
| | | Überprüfung der lieferantenspezifisch bestehenden Wartungspläne |
| | | Temporär verschärfte Wareneingangskontrollen der lieferantenspezifisch bezogenen Teile |

7.4.5 Adaptive Bestimmung von Maßnahmen

In den vorhergehenden Abschnitten wurden zum einen Restriktionen sowie Zielgrößen als die im Rahmen des Störungsmanagements relevanten Einflussgrößen eingeführt. Zum anderen erfolgte die Definition von produkt-, prozess- und lieferantenbezogenen Strategien, die jeweils unterschiedliche Maßnahmen als Reaktionsmöglichkeiten auf eine Frühwarnung bereithalten. Für den Fall der Identifikation eines kritischen Ereignisses eignen sich dabei grundsätzlich Maßnahmen einer Kategorie zur Entstörung. Die finale Auswahl einer oder mehrerer Maßnahmen, deren Umsetzung nach Maßgabe situationsbasiert bestehender Zielgrößen erfolgen soll, stellt eine Entscheidung und somit die Lösung eines komplexen Problems durch Informationsgewinnung und deren Verarbeitung dar (FRESE 2005). Nach HEIDERICH (2001) nimmt dabei die Anzahl an adäquaten Maßnahmen mit zunehmendem Detaillierungsgrad der Informationen ab. Für die vorliegende Arbeit entsprechen dabei Frühwarninformationen, die nach den in Abschnitt 6.5.2 formulierten Vorgaben erstellt werden, der Basis zur Entscheidungsfindung.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung einer situationsbasierten Bestimmung von Maßnahmen im Kontext des Störungsmanagements kann festgehalten werden, dass eine allgemeingültige Auswahl einzelner Maßnahmen auf Grundlage einer Frühwarnung nicht möglich ist. Dies liegt in der hohen Komplexität begründet, die mit diesem Entscheidungsproblem einhergeht. Die Komplexität resultiert dabei aus der Erfordernis, im Rahmen der Maßnahmenbestimmung sowohl die in Bezug auf das jeweils abzusichernde Unternehmen als auch die im Kontext der überbetrieblichen Wertschöpfung hohe Anzahl an relevanten Parametern zu berücksichtigen. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, dass bei festgelegter Priorisierung mehrere sich voneinander unterscheidende Maßnahmen geeig-

nete Lösungen zur Minimierung der Auswirkungen von kritischen Ereignissen darstellen.

Für den Fall ausbleibender Lieferungen von Zulieferteilen kann beispielsweise zum einen die Reduktion der Verfügbarkeit von Kapazitäten die Einhaltung der logistischen Zielgrößen gewährleisten. Dies kann jedoch auch durch die Reduktion des Bedarfs auf Grundlage der Adaption der Bearbeitungsreihenfolge erreicht werden. Dementsprechend hat die im Zuge des Störungsmanagements angestrebte situationsbasierte Auswahl einer oder mehrerer Maßnahmen fallspezifisch durch die verantwortlichen Entscheider zu erfolgen. Die Grundlage hierfür bildet die jeweilige Frühwarninformation. Anhand der Kategorisierung erfolgt dabei die Einschränkung des Handlungsspielraums zur Reaktion auf ein kritisches Ereignis. Die in Abschnitt 7.4 beschriebenen Gruppen an Maßnahmen weisen in diesem Zusammenhang einen sinnvollen Detaillierungsgrad auf, um unter Einbeziehung der Einflussgrößen die abschließende Auswahl und Spezifikation von einzuleitenden Maßnahmen vorzunehmen.

7.5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Kapitels 7 wurde als ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit das Vorgehen zur adaptiven Entstörung entwickelt. Durch die situationsbasierte Selektion sowie Einleitung von Maßnahmen im Kontext des Störungsmanagements sollen die innerbetrieblichen Produktions- und Logistikabläufe gegenüber kritischen Ereignissen in der Lieferkette abgesichert werden. Die hierfür wesentliche Grundlage bildet die in Kapitel 6 spezifizierte Bereitstellung von Informationen zur Frühwarnung entsprechend der jeweils vorliegenden Kritikalität. Darauf aufbauend erfolgt gemäß dem vorgesehenen Ablauf des Störungsmanagements die Bestimmung von adäquaten Maßnahmen sowie deren Bewertung anhand von Zielgrößen. Den Abschluss der Entstörung stellen die Auswahl von Maßnahmen sowie die Kontrolle deren Umsetzung dar.

Die Einschränkung der Menge an prinzipiell geeigneten Maßnahmen erfolgt dabei anhand der Berücksichtigung von internen und externen Restriktionen. Als Größen zur Bewertung von Maßnahmen wurden neben den logistischen Zielgrößen die im Kontext des Störungsmanagements relevanten Gesamtkosten sowie das Kriterium der Planungsnervosität bestimmt und für die Nutzung durch das Frühwarnsystem spezifiziert. Darüber hinaus erfolgte die Konzeption von produkt-, prozess-, und lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien. Anhand dieser

Strategien werden Gruppen von Maßnahmen bereitgestellt, die jeweils spezifisch an die einzelnen Kategorien der Frühwarnung angepasst wurden. Den jeweiligen Entscheidungsträgern stehen in diesem Kontext jedoch ausreichende Freiheitsgrade zur Verfügung, um die Maßnahmen vor deren Einleitung unter Berücksichtigung der fallspezifisch vorliegenden Rahmenbedingungen abschließend zu konkretisieren.

In dem nachfolgenden Kapitel 8 werden die Arbeiten zur technischen Umsetzung sowie zur Validierung des ereignisbasierten Frühwarnsystems aufgezeigt. Des Weiteren erfolgt eine anforderungsbezogene Bewertung des Systems. Den Abschluss des Kapitels bildet ferner die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit.

8 Technische Umsetzung und Validierung

8.1 Übersicht

Das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Frühwarnsystem setzt auf dem in Kapitel 5 spezifizierten Referenzmodell als informatorische Basis auf. Die echtzeitnahe Bereitstellung von Ereignisdaten in der Lieferkette erlaubt die frühzeitige Identifikation von unzulässigen Abweichungen und trägt auf Grundlage eines adaptiven Störungsmanagements zur Zielerreichung in dem Wertschöpfungsnetzwerk bei. Im Fokus der nachfolgenden Abschnitte stehen die Beschreibung der technischen Umsetzung des Frühwarnsystems sowie dessen Validierung. Hierfür wird in Abschnitt 8.2 einerseits auf die prototypische Systemimplementierung in einer Versuchsumgebung eingegangen. In diesem Rahmen wurden ausgewählte Frühwarnfunktionalitäten auf Grundlage eines RFID-basierten Informationsmanagements technisch realisiert. Darüber hinaus erfolgt die Darstellung eines Anwendungsbeispiels in der Automobilindustrie. In Abschnitt 8.3 folgt die Beschreibung der simulationsbasierten Validierung des Systems. Sowohl auf überbetrieblicher als auch innerbetrieblicher Ebene werden die Potenziale der ereignisbasierten Frühwarnung zur Absicherung der Abläufe gesondert untersucht. Die anforderungsbezogene sowie wirtschaftliche Bewertung des konzipierten Frühwarnsystems entspricht dem Inhalt in Abschnitt 8.4.

8.2 Technische Umsetzung

8.2.1 Prototypische Implementierung in einer Versuchsumgebung

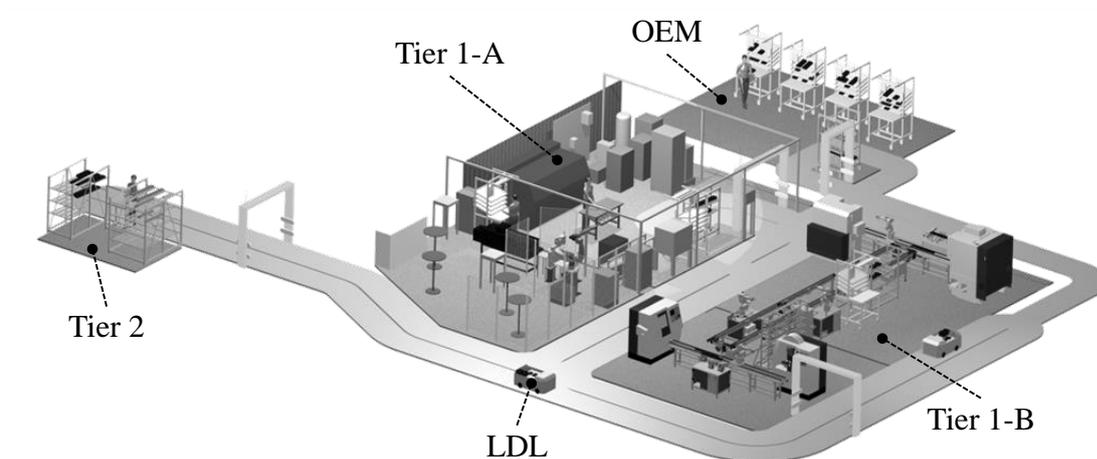
8.2.1.1 Allgemeines

Das in dieser Arbeit konzipierte Frühwarnsystem wurde in einer realen Produktionsumgebung prototypisch implementiert. Die Basis hierfür bildet eine Demonstrationsplattform, die am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München im Zuge des vom BMWi geförderten Forschungsprojektes RAN errichtet wurde (vgl. Abschnitt 3.2.2.1). Der Aufbau dieser Demonstrationsplattform erlaubt es, die Einsatzpotenziale des Frühwarnsystems im Rahmen der unternehmensübergreifenden Herstellung eines beispielhaften Produktes in hoher Variantenzahl darzustellen. In den nachfolgen-

den Abschnitten werden die diesbezüglich erforderlichen Umsetzungen detailliert.

8.2.1.2 Aufbau und eingesetzte Hardware

Die Demonstrationsplattform repräsentiert ein Wertschöpfungsnetzwerk, das sich aus mehreren Produktionsunternehmen sowie einem Logistikdienstleister zusammensetzt (vgl. Abbildung 42). In diesem Zusammenhang bilden die einzelnen Partner des Wertschöpfungsnetzwerkes verschiedene Stufen einer Lieferkette ab. Allgemein entspricht die Plattform dabei den Eigenschaften einer hierarchisch-stabilen Kette. Ferner werden alle für die Wertschöpfung wesentlichen Produktions- und Logistikabläufe gemäß den Vorgaben des in Kapitel 5 beschriebenen Referenzmodells gestaltet und durchgeführt.



Legende

LDL: Logistikdienstleister

OEM: Hersteller

Tier 1-A: Zulieferer

Tier 1-B: Zulieferer

Tier 2: Zulieferer

Abbildung 42: Aufbau der Demonstrationsplattform

Für die Montage des Beispielproduktes zeigt sich der OEM verantwortlich. Hierfür stehen mehrere Arbeitstische, die mit umfangreichem Equipment (z. B. Schrauber) ausgestattet sind, zur Verfügung. An einem weiteren Arbeitstisch können zudem spezifische Qualitätsmerkmale (z. B. Drehmoment) geprüft und umfassende Nacharbeiten zur Sicherung der Produktqualität vorgenommen werden. Die zur Montage des Produktes erforderlichen Beschaffungsobjekte werden von mehreren Zulieferern geliefert. Sowohl der Zulieferer Tier 1-A als auch der

Zulieferer Tier 1-B fungieren in diesem Kontext als First-Tier Lieferanten, die zur Fertigung von diversen Komponenten auf verschiedene Fertigungsanlagen (z. B. Fräsmaschine) wie auch Anlagen zur Qualitätssicherung (z. B. hochauflösendes Kamerasystem) zurückgreifen können. Grundsätzlich notwendige Standardteile stellt der Tier 2 als weiterer Zulieferer bereit. Darüber hinaus nehmen Fahrerlose Transportsysteme (FTS) die Rolle des Logistikdienstleisters ein. Die einzelnen FTS verbinden die Unternehmen der Demonstrationsplattform und stellen dabei die Realisierung des überbetrieblichen Materialflusses sicher.

Zur Umsetzung der echtzeitnahen Generierung von Ereignisdaten erfolgt die umfassende Integration der RFID-Technologie als moderne IuK-Technologie in die einzelnen Bestandteile der Plattform (vgl. Abbildung 43). Zum einen werden die Arbeitsplätze und Maschinen der Produktionsunternehmen mit Lesegeräten ausgestattet, die dem HF (engl. high frequency)-Bereich zugeordnet werden. Andererseits erfolgt der Aufbau von RFID-Toren (engl. RFID-Gates), anhand derer die RFID-basierte Objektverfolgung auch im Zuge des Durchlaufens von Prozessen im Bereich der Logistik gewährleistet wird. Um den in diesem Kontext bestehenden Anforderungen zu entsprechen (z. B. hohe Lesereichweite), sind die RFID-Tore mit RFID-Systemen ausgestattet, die in den UHF (engl. ultra high frequency)-Bereich eingeordnet werden.

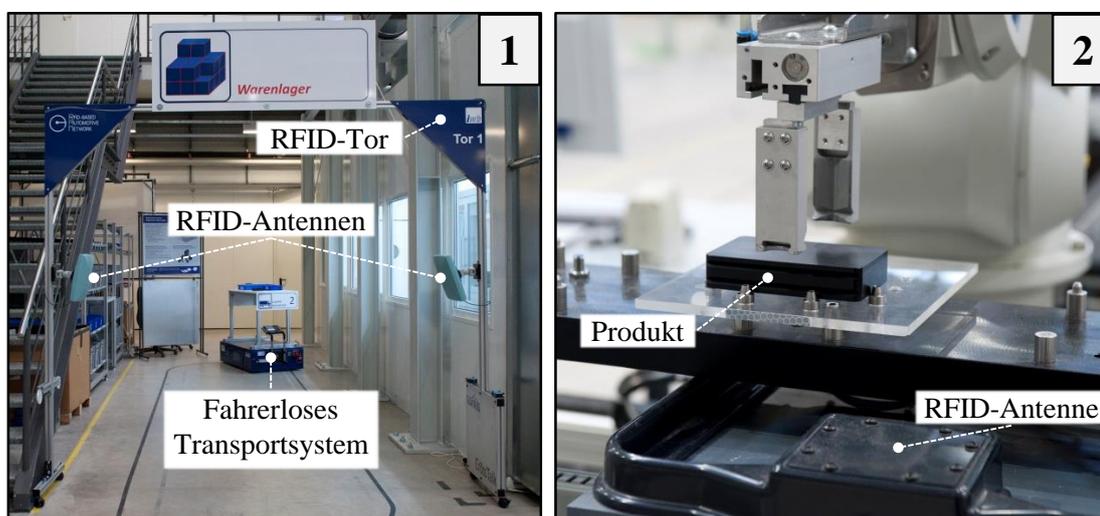


Abbildung 43: Integration der RFID-Technologie in Abläufe der Logistik (Foto 1) und der Produktion (Foto 2); (Bilder: Asja Schubert)

8.2.1.3 Produktionsszenario

Die in dem vorhergehenden Abschnitt dargestellte Demonstrationsplattform erlaubt es, die unternehmensübergreifende Fertigung eines komplexen Produktes

als beispielhaftes Produktionsszenario realitätsnah abzubilden. Als Produkt wird ein einstufiges Zahnradgetriebe verwendet. Anhand von Variationsmöglichkeiten in Bezug auf die einzelnen Bestandteile (z. B. Motorflansch) kann dieses in 162 Varianten hergestellt werden (vgl. Abbildung 44).

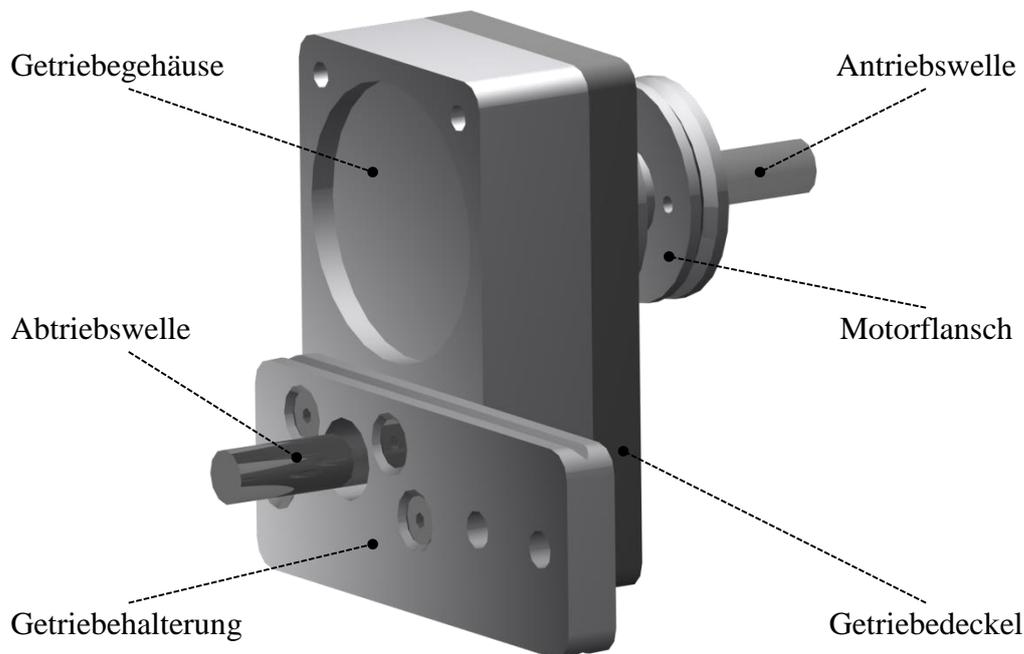


Abbildung 44: Aufbau des Zahnradgetriebes

Die Montage der hochvarianten Getriebe erfolgt in Form einer Fließfertigung in der Fabrik des OEM. Demnach sind die einzelnen Arbeitstische gemäß dem Objektprinzip angeordnet. Der Motorflansch und der Deckel des Getriebes wie auch dessen Halterung und Gehäuse werden als Komponenten des Produktes bei dem Zulieferer Tier 1-B gefertigt. Hierbei erfolgt vor allem eine drehende und fräsende Bearbeitung der einzelnen Teile. Im Anschluss werden die Komponenten in der geforderten Sequenz via FTS an den Kunden transportiert. Parallel dazu werden bei dem Zulieferer Tier 1-A gemäß den eingegangenen Aufträgen teilautomatisiert Zahnräder auf Antriebs- und Abtriebswellen aufgeschraubt und an den OEM befördert. Darüber hinaus verantwortet der Tier 2 die Bereitstellung der für die Herstellung des Getriebes notwendigen Rohteile. Je nach Bestellung werden dabei der Tier 1-A sowie der Tier 1-B als Kunden des Zulieferers Tier 2 mit notwendigen Materialien beliefert.

Im Zusammenhang mit der Realisierung eines RFID-basierten Informationsmanagements erfolgt zudem die Integration von RFID-Transpondern in wesentliche Bestandteile des Getriebes (z. B. Getriebegehäuse). Hierbei werden passive

Transponder, die dem HF-Bereich zugeordnet werden, direkt am Produkt angebracht. Zudem werden die Ladungsträger sowie FTS mit passiven RFID-Transpondern ausgestattet, die in den UHF-Bereich eingeordnet werden. Auf dieser Basis ist es möglich, die RFID-basierte Verfolgung von Getriebeteilen im Zuge der Prozesse in der Produktion und Logistik zu gewährleisten.

Der dargestellte Aufbau der Demonstrationsplattform sowie das beschriebene Produktionsszenario stellt die Grundlage für die prototypische Implementierung des Frühwarnsystems dar. Im nachfolgenden Abschnitt werden die hierbei relevanten Informationssysteme sowie deren informatorische Vernetzung beschrieben.

8.2.1.4 Informationstechnische Vernetzung

Im Rahmen einer Kooperation mit der SALT Solutions GmbH werden verschiedene Informationssysteme zur Planung und Steuerung der Wertschöpfung in der Demonstrationsplattform eingeführt. Hierbei sind die einzelnen Fabriken, aus denen sich die Demonstrationsplattform zusammensetzt, systemtechnisch als eigenständige Unternehmen abgebildet. Auf der Unternehmensleitebene erfolgt die Einführung von *SAP[®] ERP Central Component (SAP[®] ECC 6.0)* als ERP-System. Darüber hinaus ist auf der Fertigungsleitebene das *SAP[®] Manufacturing Execution (SAP[®] ME 6.0 und SAP[®] ME 6.1)* als ME-System implementiert (vgl. Abbildung 45). Die Vernetzung dieser Systeme mit den Arbeitsplätzen und Maschinen, die auf der Fertigungsebene angesiedelt sind, erfolgt dabei über die Integrationsplattform *SAP[®] Manufacturing Integration and Intelligence (SAP[®] MII)* sowie die Komponente *SAP[®] Plant Connectivity (SAP[®] PCo)*.

Um die in der Demonstrationsplattform installierten RFID-Systeme mit den Informationssystemen zur Planung und Steuerung zu verknüpfen, wird darüber hinaus eine RFID-Middleware integriert. Im Rahmen einer Kooperation mit der noFilis AutoID GmbH erfolgt die Implementierung der Software *CrossTalk 2.0*. Auf dieser Basis können Ereignisdaten, die durch RFID-Lesevorgänge im Rahmen der Produktions- und Logistikprozesse in der Demonstrationsplattform erzeugt werden, den entsprechenden Informationssystemen im SAP[®]-Umfeld bereitgestellt werden.

Durch die Einführung dieser Informationssysteme sowie deren informatorische Vernetzung mit den Anlagen sowie RFID-Systemen ist es möglich, Funktionalitäten zur Frühwarnung prototypisch in einer unternehmensübergreifenden Wert-

schöpfung zu implementieren. Hierfür wird ein spezifischer Dialog verwendet und als Frühwarnsystem bzw. Assistenzsystem in die Demonstrationsplattform integriert. Auf die entsprechende Umsetzung wird nachfolgend eingegangen.

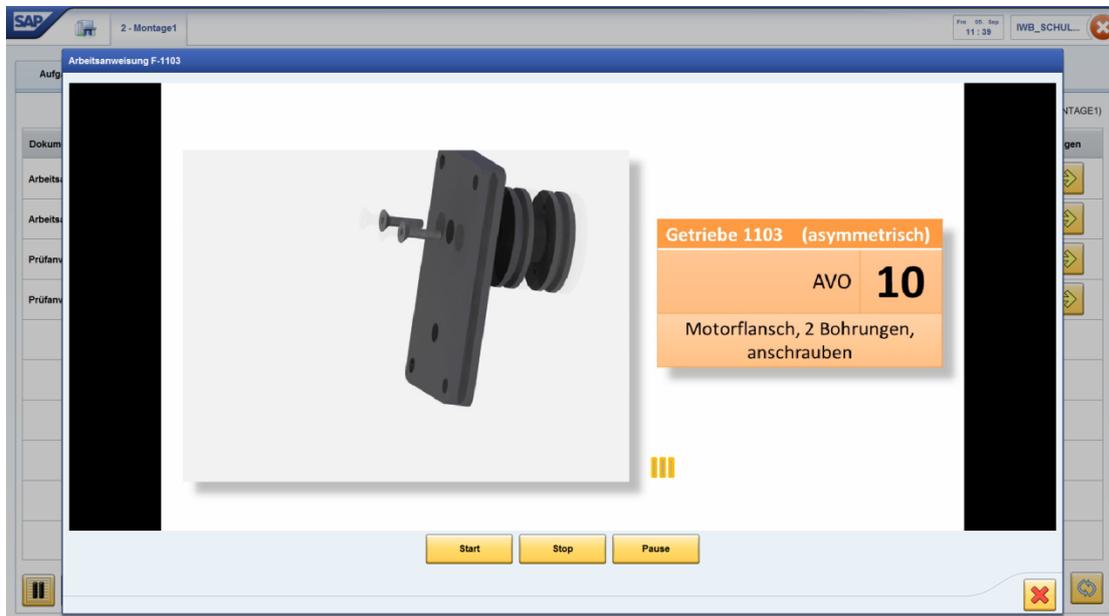


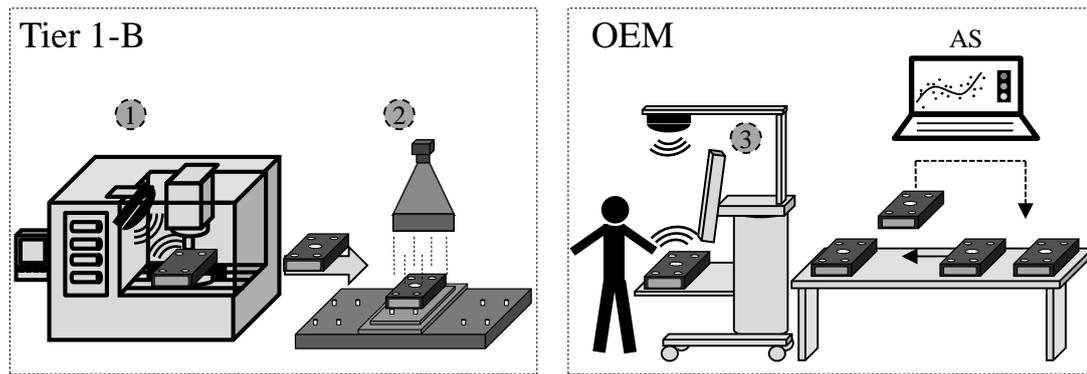
Abbildung 45: Informationsbereitstellung über das ME-System

8.2.1.5 Frühwarnbasiertes Störungsmanagement

Anhand der prototypischen Implementierung sollen schwerpunktmäßig folgende Aufgabenbereiche des in der vorliegenden Arbeit konzipierten Frühwarnsystems realisiert werden:

- Identifikation eines kritischen Ereignisses (vgl. Abschnitt 6.4)
- Generierung sowie Verteilung einer entsprechenden Frühwarnung (vgl. Abschnitt 6.5)
- Adaptive Maßnahmenbestimmung im Kontext des Störungsmanagements (vgl. Abschnitt 7.4)

Gemäß diesen thematischen Schwerpunkten und unter Berücksichtigung der hierfür zur Verfügung stehenden Demonstrationsplattform wurde ein Produktionsszenario für ein frühwarnbasiertes Störungsmanagement bestimmt. In Abbildung 46 wird das Szenario zum frühwarnbasierten Störungsmanagement im Überblick dargestellt.



Legende

| | | | |
|------|----------------------|-----------|------------------|
| ① | Spanende Bearbeitung | ② | Qualitätsprüfung |
| ③ | Werker-Dialog | AS: | Assistenzsystem |
| OEM: | Hersteller | Tier 1-B: | Zulieferer |

Abbildung 46: Überblick zum frühwarnbasierten Störungsmanagement

Sowohl der OEM als auch der Zulieferer Tier 1-B nehmen in diesem Szenario eine vorrangige Rolle ein. Im Wesentlichen basiert das Szenario auf der bei dem OEM durchzuführenden Montage des in Abschnitt 8.2.1.3 beschriebenen Zahnradgetriebes, für das der Zulieferer Tier 1-B die Bereitstellung des Getriebegehäuses in der richtigen Sequenz und entsprechend dem vereinbarten Termin verantwortlich ist. Neben einer Montagestation bei dem OEM sind an dem Szenario in der Fabrik des Tier 1-B errichtete Stationen zur spanenden Bearbeitung sowie zur Qualitätssicherung beteiligt. In Form eines Werker-Dialogs wird das Frühwarnsystem als Assistenzsystem bei dem OEM eingesetzt.

Bezüglich des Getriebegehäuses sieht das Szenario in einem ersten Schritt die Fertigung einer Bohrung an der Arbeitsstation 1 vor. Im Anschluss findet eine automatisierte Qualitätsprüfung an der Arbeitsstation 2 statt (vgl. Abbildung 47). In diesem Zuge wird der Durchmesser der angebrachten Gehäusebohrung erfasst. Gemäß dem in Kapitel 5 entwickelten Referenzmodell erfolgt dessen ereignisbasierte Abbildung sowie Bereitstellung für den unternehmensübergreifenden Zugriff. Im Folgenden führt das Frühwarnsystem einen regelbasierten Soll-Ist-Vergleich im Hinblick auf den Bohrungsdurchmesser als gehäusespezifisches Produktmerkmal durch. Hierbei erfüllen Bohrungsdurchmesser, die mehr als 9,8 Millimeter sowie weniger als 10,3 Millimeter betragen, die Soll-Vorgaben. Für den Fall der Bestimmung einer unzulässigen Abweichung wird ein kritisches Ereignis der Kategorie Produkt identifiziert. Auf dieser Basis zeigt sich das Frühwarnsystem für die Erzeugung einer entsprechenden Frühwarninformation

sowie deren Bereitstellung an den hiervon betroffenen Monteur an der Arbeitsstation 3 verantwortlich. Zur Realisierung eines adaptiven Störungsmanagements werden durch das Frühwarnsystem produktbezogene Maßnahmen ermittelt und dem Monteur über einen Werker-Dialog dargestellt. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen zur Anpassung der an der Arbeitsstation 3 vorgesehenen Reihenfolge von zu bearbeitenden Montageaufträgen. Abschließend kann der jeweilige Monteur als Systemanwender die Auswahl von Maßnahmen unter Berücksichtigung der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Zielgrößen vornehmen sowie deren Umsetzung in die Wege leiten.



Abbildung 47: Ergebnis der automatisierten Qualitätsprüfung des Getriebegehäuses

Auf Basis dieses Wissens über den Einsatz der RFID-Technologie in komplexen Produktions- und Logistikabläufen erfolgt eine technische Umsetzung in der Automobilindustrie, auf die nachfolgend eingegangen wird.

8.2.2 Prototypische Implementierung in der Automobilindustrie

8.2.2.1 Allgemeines

Im Rahmen des Forschungsprojektes RAN werden Elemente des ereignisbasierten Frühwarnsystems prototypisch in der Automobilindustrie implementiert (REINHART ET AL. 2013a). Hierbei liegt der Fokus auf der technischen Umsetzung der folgenden Aufgabenbereiche:

- Generierung von Ereignisdaten gemäß dem spezifizierten Referenzmodell im Zuge von Produktions- und Logistikabläufen (vgl. Abschnitt 5.3)
- Realisierung eines echtzeitnahen sowie unternehmensübergreifenden Austausches dieser Ereignisdaten (vgl. Abschnitt 5.4)

8.2.2.2 Anwendungsszenario

Die technische Umsetzung erfolgt bei einem Automobilhersteller (OEM) sowie einem Automobilzulieferer (Tier 1). Als Anwendungsszenario wurde die Herstellung von insgesamt 50 Fahrzeugen bestimmt, an der sowohl der OEM als auch der Tier 1 beteiligt sind. Der Tier 1 zeigt sich in diesem Kontext für die Produktion und Bereitstellung der fahrzeugspezifisch erforderlichen Sitze verantwortlich.

Die Ausgangssituation dieser Zusammenarbeit sieht grundsätzlich die Bereitstellung der fahrzeugspezifisch benötigten Sitzvarianten gemäß dem JIS-Konzept vor. Jeweils einen Tag im Voraus erhält der Tier 1 hierfür vom OEM die Informationen über die voraussichtlich am folgenden Tag benötigten Varianten an Fahrzeugsitzen. Die Bestimmung einer Sitzvariante erfolgt dabei anhand der vorgenommenen Konfiguration der Ausstattungsoptionen (z. B. Sitzheizung). Entsprechend diesen Informationen erstellt die für die PPS zuständige Organisationseinheit des Zulieferers Fertigungsaufträge und legt deren Bearbeitungsreihenfolge unter Berücksichtigung der variantenbezogenen Fertigungskomplexität fest. Durch dieses Vorgehen wird neben der termingerechten Auslieferung der Sitze auch die gleichmäßige Auslastung der Fertigung sichergestellt. Im Anschluss an die Umsetzung der Planvorgaben werden die produzierten Sitze bei Eingang eines Lieferabrufs in der angeforderten Sequenz an den OEM transportiert. Auf der Montagelinie des Herstellers erfolgt der abschließende Einbau der Sitze in die zugehörigen Fahrzeuge.

Zusammengefasst entspricht dieses Anwendungsszenario der in Abschnitt 2.3 vorgenommenen Eingrenzung auf hierarchisch-stabile Ketten einerseits sowie einer Fließfertigung als Organisationsform der abzusichernden Produktion andererseits. Ferner weist es die in Abschnitt 1.1 dargestellte hohe Komplexität in Bezug auf die Planung und Steuerung einer unternehmensübergreifenden Wertschöpfung auf. Demzufolge stellt das Anwendungsszenario ein geeignetes Umfeld dar, um das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte RFID-basierte Informationsmanagement technisch zu realisieren.

8.2.2.3 RFID-basiertes Informationsmanagement

Zur Umsetzung des RFID-basierten Informationsmanagements erfolgt an insgesamt vier Lesepunkten entlang der relevanten Prozesse des Anwendungsszenarios die Installation von RFID-Systemen. Hierbei werden sowohl Prozesse im Bereich der Produktion als auch Prozesse im Bereich der Logistik berücksichtigt.

Die für die Herstellung der 50 Fahrzeuge notwendigen Sitze sowie Karossen sind mit passiven RFID-Transpondern ausgestattet, die über eine Speicherkapazität von 64 Byte verfügen. Im Hinblick auf die Sitze erfolgt die Anbringung der RFID-Transponder an den Seitenblenden der rechten Vordersitze (vgl. Abbildung 48, Foto 1 und 2). Bei den Karossen der Fahrzeuge werden die RFID-Transponder jeweils in den Frontbereich integriert. Die im Rahmen der Umsetzung eingesetzten RFID-Transponder wie auch RFID-Systeme sind dabei dem UHF-Bereich zugeordnet.

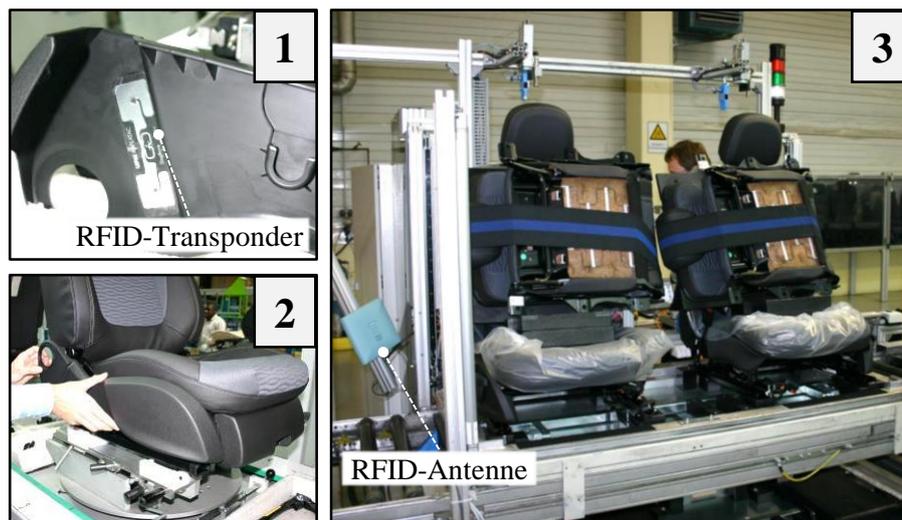
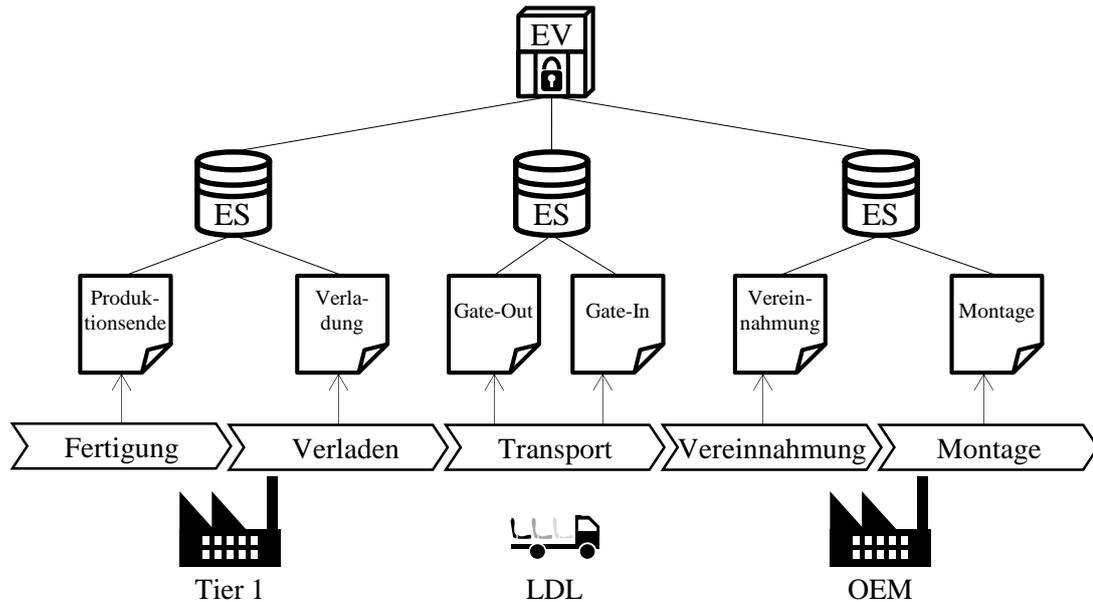


Abbildung 48: Umsetzung bei dem Automobilzulieferer
(Fotos: REINHART ET AL. 2013a)

Der erste Lesepunkt wird bei dem Zulieferer im Bereich der Produktion installiert (vgl. Abbildung 48, Foto 3). An dieser Stelle erfolgen die abschließende Buchung der Fertigung eines Sitzes und die in diesem Zuge erforderliche Initialisierung des am Sitz angebrachten RFID-Transponders. Darauf aufbauend wird ein Ereignis gemäß der in Abschnitt 5.3.1 spezifizierten Struktur generiert sowie für den überbetrieblichen Zugriff im Ereignisspeicher abgelegt.

Ein weiterer Lesepunkt wird bei dem Zulieferer am Transportband zwischen dem Fertigsitzlager und dem Ladepuffer und somit im Bereich der Logistik eingerichtet.

tet. Im Rahmen der Verladung wird dieser von den Fahrzeugsitzen in der vorbestimmten Sequenz passiert und durch die Generierung entsprechender Ereignisse informatorisch berücksichtigt. Auf Basis dieses Lesepunktes erfolgt ferner der Übergang zu dem Prozess des überbetrieblichen Transportes der Sitze zwischen Tier 1 und OEM. Der diesbezügliche Materialfluss wird ebenfalls in Anlehnung an das Referenzmodell ereignisbasiert erfasst und abgebildet (vgl. Abbildung 49).



Legende

| | | | |
|---|-----------------------|--------|-------------------------|
|  | : Ereignisinformation | ES | : Ereignisspeicher |
| EV | : Ereignisverwalter | LDL | : Logistikdienstleister |
| OEM | : Hersteller | Tier 1 | : Zulieferer |

Abbildung 49: RFID-basierte Generierung sowie überbetrieblicher Austausch von Ereignisinformationen im Anwendungsszenario

Mit der physischen und informatorischen Vereinnahmung der Fahrzeugsitze erfolgt der Beginn der technischen Umsetzung bei dem OEM. Hierfür wird ein dritter Lesepunkt an dem Transportband aufgebaut, über das die jeweiligen Sitze zur Montagestation transportiert werden. Anhand des im Bereich der Montagelinie installierten vierten Lesepunktes erfolgt die Erfassung des Einbaus der Fahrzeugsitze in die entsprechenden Fahrzeuge. Durch die Generierung eines Montage-Ereignisses wird der Einbau informatorisch beschrieben. Neben allgemeinen Informationen (z. B. Zeitpunkt des Einbaus) beschreibt dieses Ereignis auch das im Zuge der Montage relevante Drehmoment sowie den entsprechenden Drehwinkel und bildet somit auch den spezifischen Zustand des Fahrzeuges als Objekt

ab (REINHART ET AL. 2013a). Auf Basis dieser Arbeiten ist das RFID-basierte Informationsmanagement somit vollumfänglich im produktiven Umfeld realisiert worden.

8.3 Simulationstechnische Validierung

8.3.1 Allgemeines

In Ergänzung zu den technischen Umsetzungen, die in dem vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurden, erfolgt die Untersuchung des quantitativen Nutzens des Frühwarnsystems auf Grundlage des Einsatzes der Simulation. Nach VDI-RICHTLINIE 3633 (2010, S. 3) wird der Begriff Simulation definiert als „*das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“. Durch den Einsatz der Simulation ist es unter anderem möglich, unterschiedliche Steuerungsalternativen und Strategien im Kontext des Störungsmanagements zu überprüfen (BANGSOW 2008). Zur Durchführung der hierfür erforderlichen Studien wird die Software *Plant Simulation*[®] eingesetzt. Als Werkzeug zur ereignisdiskreten Simulation eignet sich *Plant Simulation*[®] zur Konzeption ereignisdiskreter Modelle und folglich zur Abbildung logistischer Systeme (ELEY 2012).

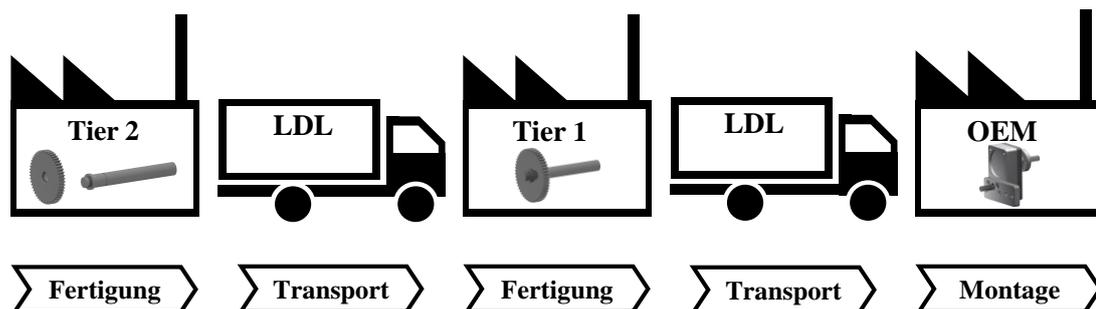
Im Rahmen der Simulation liegt der Fokus zum einen auf der Untersuchung des Nutzens, der aus der Implementierung des Frühwarnsystems auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfung in Bezug auf die Zielrichtung Logistikleistung resultiert. Dementsprechend wird ein Simulationsmodell konzipiert, das die Abbildung von Produktions- und Logistikabläufen sowie den Einsatz von Assistenzsystemen entlang mehrerer Unternehmen innerhalb einer komplexen Lieferkette erlaubt. Zum anderen wird das Potenzial des Frühwarnsystems zur Absicherung der Produktionsabläufe innerhalb eines in Lieferketten agierenden Unternehmens analysiert. Hierfür wird ein weiteres Simulationsmodell erstellt, das die Evaluierung von unterschiedlichen Entstörungsstrategien im Zuge der Montage hochvarianter Produkte ermöglicht.

Auf die durchgeführten Simulationsstudien wird im Folgenden detailliert eingegangen. In diesem Zusammenhang erfolgt die Beschreibung der jeweiligen Simulationsmodelle sowie der im Rahmen der Anwendung von Simulationsszenarien erzielten Ergebnisse.

8.3.2 Frühwarnsystem zur Absicherung der Wertschöpfung in der Lieferkette

8.3.2.1 Simulationsmodell und Produktionsszenario

Im Rahmen des Forschungsprojektes RAN wird ein Simulationsmodell erstellt, das die Herstellung des in Abschnitt 8.2.1 beschriebenen Getriebes in mehreren Unternehmen einer Lieferkette abbildet (vgl. Abbildung 50).



Legende

| | | | |
|------|-----------------------|---------|------------|
| LDL: | Logistikdienstleister | Tier 1: | Zulieferer |
| OEM: | Hersteller | Tier 2: | Zulieferer |

Abbildung 50: Aufbau des Simulationsmodells

Dabei entsprechen die einzelnen Fabriken unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfung und basieren auf Demonstratoren, die bei einzelnen Partnern des Projektes errichtet wurden. Die Montage des Getriebes wird in der Fabrik des OEM vorgenommen. Hierfür erforderliche Komponenten werden bei dem Zulieferer Tier 1 gefertigt und via Logistikdienstleister an den OEM transportiert. Ferner zeigt sich der Lieferant Tier 2 für die Versorgung des Tier 1 mit Rohteilen verantwortlich. (REINHART ET AL. 2011b)

Im Rahmen der Durchführung von Produktions- und Logistikabläufen werden an spezifischen Lokationen des Modells Ereignisdaten generiert und in Ereignisspeichern abgelegt. An das Simulationsmodell sind einzelne Frühwarnsysteme als Assistenzsysteme angebunden, die als Wissensbasis über Regeln der produktbezogenen Verfahren verfügen (vgl. Abschnitt 6.4.3.2). Die Systeme haben einen Zugriff auf die Ereignisdaten und können anhand deren Analyse kritische Ereignisse identifizieren sowie darauf aufbauende Maßnahmen im Kontext des adaptiven Störungsmanagements (Ableich von Kapazitäten) bestimmen. Durch die unmittelbare Umsetzung der Maßnahmen in der Simulation kann somit im weite-

ren zeitlichen Verlauf der Nutzen des Einsatzes von Frühwarnsystemen in der Lieferkette ermittelt werden.

Unter Berücksichtigung der Zielsetzung der Simulation werden verschiedene Szenarien zur Durchführung von Simulationsläufen konfiguriert (vgl. Tabelle 4).

*Tabelle 4: Konfiguration der Simulationsszenarien
(in Anlehnung an REINHART ET AL. 2011b)*

| | Szenario 1 | Szenario 2 | Szenario 3 | Szenario 4 |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Störung | O | X | X | X |
| Assistenzsystem bei Tier 1 | O | O | X | X |
| Assistenzsystem bei OEM | O | X | X | O |

Legende

O: Nein

X: Ja

Zur Differenzierung der einzelnen Szenarien stellt das Auftreten einer Störung im Rahmen der inner- und überbetrieblichen Produktions- und Logistikabläufe ein wesentliches Kriterium dar. In der Simulation entsprechen Störungen dabei Verwirbelungen der Sequenz im Zuge des Transportes von Produkten zwischen Tier 2 und Tier 1. Als eine Folge der Störungen wird somit die termingerechte Bereitstellung von Produkten an den Tier 1 verhindert. Ein weiteres Merkmal zur Unterscheidung zwischen den Szenarien ist der etwaige Einsatz eines Assistenzsystems bei den Unternehmen Tier 1 und OEM.

Im Detail lassen sich die jeweiligen Szenarien wie folgt unterscheiden:

- Das Best-Case-Szenario wird durch das Szenario 1 gebildet. Hierbei wird ein deterministisches Simulationsmodell eingesetzt. Im Gegensatz zu den weiteren Szenarien treten in Szenario 1 keine Störungen auf.
- In Szenario 2 setzt ausschließlich der OEM ein Assistenzsystem ein. Es erfolgt jedoch kein Störungsmanagement in der Fabrik des Zulieferers Tier 1, da dieser nicht über ein Assistenzsystem verfügt. Die verspätete Bereitstellung benötigter Teile führt bei dem Tier 1 folglich zu einem Produktionsstillstand, der sich im weiteren Verlauf auch auf die Abläufe des OEM auswirkt.

- Hingegen können in Szenario 3 sowohl der Tier 1 als auch der OEM auf Grundlage der Verfügbarkeit von Assistenzsystemen adaptiv auf die vorliegende Störung reagieren. Die in diesem Kontext relevanten Maßnahmen sehen die Aktualisierung der planmäßigen Bearbeitungsreihenfolge vor. Durch den Tausch von einzelnen Reihenfolgeelementen werden die bei Tier 1 und OEM abzuwickelnden Aufträge der Planungsperiode an die tatsächlich vorliegende Belieferungssequenz angepasst.
- In Szenario 4 werden diese Maßnahmen ausschließlich bei dem Zulieferer Tier 1 eingeleitet, da nur dieser über ein Assistenzsystem zur Umsetzung eines adaptiven Störungsmanagements verfügt. Demgegenüber hält der OEM im Rahmen der Getriebemontage die originären Planvorgaben ein.

Entsprechend der beschriebenen Konfiguration der Szenarien werden verschiedene Simulationsläufe durchgeführt, um den Nutzen des Einsatzes von Frühwarnsystemen in der Lieferkette zu quantifizieren. Auf die in diesem Rahmen relevanten Ergebnisse wird im Folgenden eingegangen.

8.3.2.2 Ergebnisse der Simulation

Zur Auswertung der Simulationsdurchführung wird einerseits die Zielgröße der Durchlaufzeit herangezogen. Für die jeweiligen Szenarien werden hierfür die Durchlaufzeiten der einzelnen Aufträge bestimmt und entsprechend dem Produktionsprogramm der Planungsperiode zusammengefasst (vgl. Abbildung 51).

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Verspätungen als Folge des Auftretens der Störung nehmen die kumulierten Durchlaufzeiten dabei einen weitestgehend linearen Verlauf ein. Die Ergebnisse der Simulationsläufe zeigen auf, dass die kumulierten Durchlaufzeiten von insgesamt 729 Aufträgen durch den Einsatz des Frühwarnsystems bei OEM und Tier 1 (Szenario 3) um 11 % gegenüber der gestörten sowie reaktionsunfähigen Lieferkette (Szenario 2) reduziert werden. Für den Fall, dass ausschließlich der Zulieferer Tier 1 über ein Frühwarnsystem verfügt (Szenario 4), beträgt die Reduktion der kumulierten Durchlaufzeiten von insgesamt 729 Aufträgen im Vergleich zu der gestörten und reaktionsunfähigen Lieferkette (Szenario 2) 6 %.

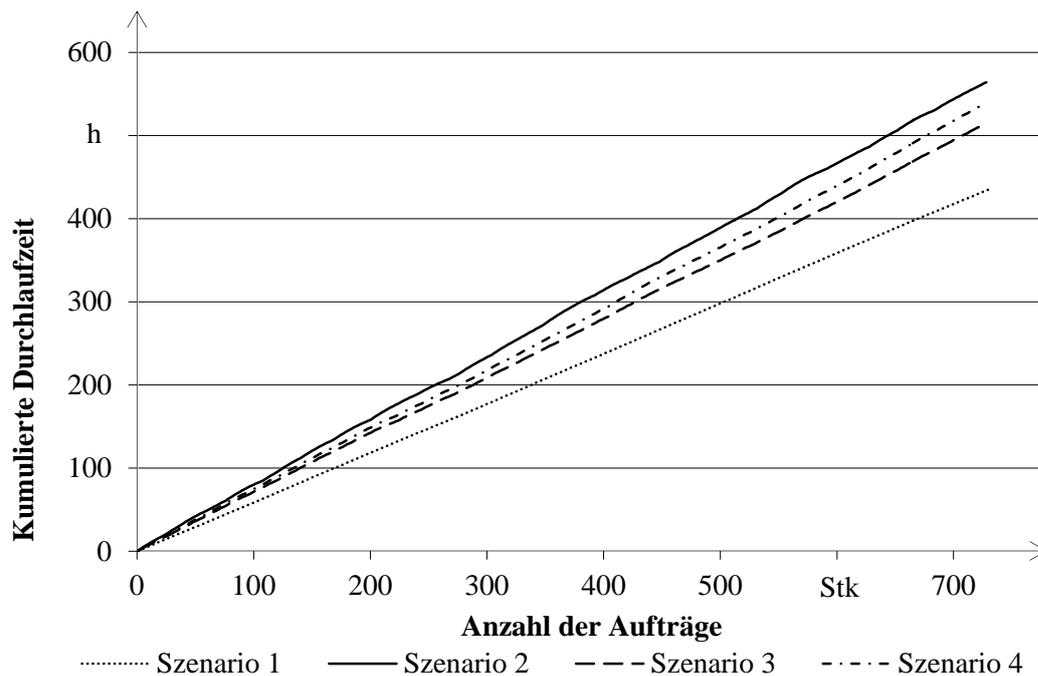


Abbildung 51: Kumulierte Durchlaufzeiten der Aufträge in der Planungsperiode (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2011b)

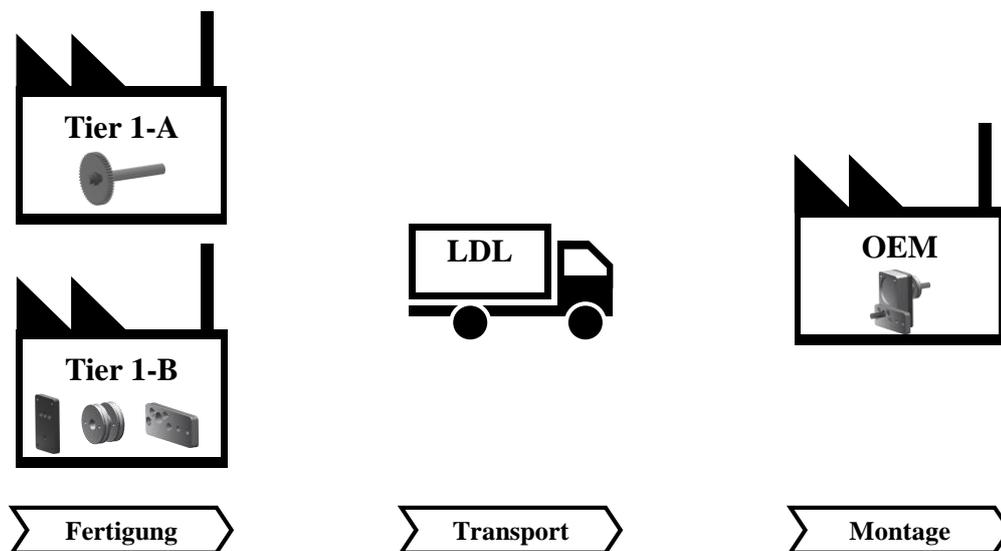
Andererseits erfolgt die Betrachtung der Termintreue als weitere bedeutsame Zielgröße für die Wertschöpfung in Netzwerken. Auf Grundlage der Nutzung des Frühwarnsystems bei Tier 1 und OEM (Szenario 3) kann der OEM eine Termintreue von 97 % realisieren. Im Vergleich dazu weist der OEM in der gestörten sowie reaktionsunfähigen Lieferkette (Szenario 2) eine Termintreue von 87 % auf. (REINHART ET AL. 2011b)

Die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe ermöglichen die Quantifizierung des Mehrwertes, der sich durch den Einsatz des Frühwarnsystems in den Unternehmen der Lieferkette ergibt. Die hierbei ermittelten Potenziale lassen sich im Wesentlichen auf die Reduktion der Auswirkungen der Sequenzverwirbelung auf nachfolgende Abläufe zurückführen. Durch die Aktualisierung der planmäßigen Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen werden dabei Bandstillstände bei Tier 1 und OEM vermieden sowie Verspätungen aufgrund nicht termingerecht bereitgestellter Teile reduziert. Im Folgenden wird im Rahmen einer weiteren Simulationsstudie die Leistungsfähigkeit des Frühwarnsystems zur Absicherung von vorrangig innerbetrieblichen Abläufen analysiert. Schwerpunktmäßig wird dabei der Einfluss des Zeitpunktes der Störungsidentifikation als wesentliche Einflussgröße im Störungsmanagement untersucht.

8.3.3 Frühwarnsystem zur Absicherung der innerbetrieblichen Wertschöpfung

8.3.3.1 Simulationsmodell und Produktionsszenario

Das konzipierte Simulationsmodell zur Ermittlung der Potenziale des Frühwarnsystems hinsichtlich der Absicherung von innerbetrieblichen Abläufen basiert grundsätzlich auf der Herstellung des in Abschnitt 8.2.1 dargestellten Getriebes (vgl. Abbildung 52).



Legende

LDL: Logistikdienstleister

Tier 1-A: Zulieferer

OEM: Hersteller

Tier 1-B: Zulieferer

Abbildung 52: Aufbau des Simulationsmodells

Im Vergleich zu der in Abschnitt 8.3.2.1 beschriebenen Simulation erlaubt das Modell jedoch auch die zeitpunktbasierte parallele sowie sequentielle Implementierung unterschiedlicher Maßnahmen der produktbezogenen Entstörungsstrategien (vgl. Abschnitt 7.4.2). Das Produktionsszenario des Simulationsmodells lehnt sich in diesem Rahmen an die Umsetzung an, die in der Demonstrationsplattform vorgenommen wurde (vgl. Abschnitt 8.2.1.3). Sowohl bei dem Hersteller als auch bei den Lieferanten ist die Produktion als Fließfertigung organisiert. Die Montage des Getriebes erfolgt bei dem OEM. Die Zahnradwellen fertigt der Zulieferer Tier 1-A. Der Motorflansch und die Komponenten Getriebedeckel sowie Getriebehalterung werden bei dem Lieferanten Tier 1-B produziert. Ein

LDL realisiert den Materialfluss zwischen den Fabriken. Im Rahmen der inner- und überbetrieblichen Prozesse wird der Umfang an Puffer in Form von Zeit und Bestand zudem gering gehalten. (vgl. GENC ET AL. 2014)

Darauf aufbauend werden vier Szenarien entwickelt, die als Grundlage zur Durchführung der Simulationsläufe dienen (vgl. Tabelle 5). Die einzelnen Szenarien sehen die Herstellung von jeweils 9600 Getrieben vor, die sich auf eine 20-tägige Planungsperiode mit einer täglichen Arbeitszeit von acht Stunden verteilt. Die Transporte der Komponenten zwischen den Lieferanten und dem OEM sowie die Auslieferung der Getriebe an die Kunden erfolgen hierbei täglich nach Abschluss der achtstündigen Produktion.

Tabelle 5: Konfiguration der Simulationsszenarien
(in Anlehnung an GENC ET AL. 2014)

| | Szenario 1 | Szenario 2 | Szenario 3 | Szenario 4 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| Störung | O | X | X | X |
| Störungsmanagement | O | O | X | X |
| Frühwarninformation | O | O | O | X |

Legende

O: Nein X: Ja

Szenario 1 stellt den Best-Case dar. In diesem Szenario treten im Zuge der Wertschöpfung keine Störungen auf. Im Gegensatz dazu wird in den Szenarien 2-4 die Versorgung des OEM mit Getriebekomponenten gestört. Dies liegt in temporären Ausfällen von Fertigungsressourcen in dem Maschinenpark des Zulieferers Tier 1-B begründet. Als eine Folge dieser Unterbrechungen stehen dem OEM die für die variantenspezifische Getriebemontage notwendigen Motorflansche an mehreren Tagen der Planungsperiode nicht plangemäß zur Verfügung.

Eine erste Störung *S1* tritt bei dem Zulieferer Tier 1-B an den Tagen 3 und 4 auf. An diesen Tagen der Planungsperiode können lediglich 75 % der ursprünglich vorgesehenen Motorflansche gefertigt werden. Die jeweils fehlenden Komponenten werden nachträglich an den Tagen 5 und 6 produziert und an den OEM geliefert. An den Tagen 9 und 10 wirkt ferner die Störung *S2* auf die Fertigung des Zulieferers Tier 1-B, so dass ausschließlich 50 % der ursprünglich täglich vorge-

sehenen Anzahl an Motorflanschen hergestellt werden kann. An den Tagen 11 und 12 erfolgen die nachträgliche Fertigung der fehlenden Motorflansche sowie deren Auslieferung.

Um auf die fehlenden bzw. verspätet bereitgestellten Motorflansche zu reagieren, greift der OEM auf spezifische Maßnahmen der produktbezogenen Entstörungsstrategien zurück. Die entsprechend erforderlichen Logiken sind als Methoden in die Simulation integriert. In diesem Zusammenhang kann sowohl die Anpassung als auch der Abgleich von Kapazitäten erfolgen. Einerseits werden durch die Maßnahme *M1* die verfügbaren Kapazitäten des OEM durch die Integration einer zusätzlichen Montagestation sowie eines Springers um 5 % erhöht. Unter Berücksichtigung bestehender interner Restriktionen bedarf die Realisierung dieser Maßnahme dabei einer Vorbereitungszeit von zwei Tagen. Andererseits wird durch die Maßnahme *M2* die Reihenfolge der in der Planungsperiode zu montierenden Getriebe adaptiert. Hierfür kann beispielsweise ein Tausch von Montageaufträgen, deren Abwicklung in der Planungsperiode vorgesehen ist, erfolgen. Je nach Szenario können diese Maßnahmen in unterschiedlichem Ausmaß sowie zu unterschiedlichen Zeitpunkten in dem Modell umgesetzt werden:

- In dem Szenario 1 treten keine Störungen auf. Folglich besteht kein Bedarf zur Absicherung der Produktion des OEM. Die hierbei ermittelten Kennzahlen bilden die Grundlage zur Bewertung der weiteren Szenarien.
- Szenario 2 repräsentiert das Worst-Case-Szenario. Trotz der Störungen, die im Zuge der Bereitstellung der Motorflansche auftreten, werden bei dem OEM keine Maßnahmen im Kontext des Störungsmanagements umgesetzt.
- In Szenario 3 erfolgt das Störungsmanagement gemäß der in Kapitel 1 beschriebenen Ausgangssituation. Sowohl die Maßnahme *M1* wie auch die Maßnahme *M2* werden seitens des OEM realisiert. Jedoch werden die Störungen *S1* und *S2* erst am Anfang deren manifester Phase identifiziert. Demzufolge stellt der OEM im Zuge der Vereinnahmung von Zuliefererteilen am Morgen der Tage 4 und 10 das Fehlen bestimmter Motorflansche fest und leitet darauf aufbauend die Umsetzung der Maßnahmen *M1* und *M2* ein.
- In Szenario 4 wird der OEM frühzeitig über die Störungen *S1* und *S2*, die bei dem Zulieferer Tier 1-B auftreten, in Kenntnis gesetzt. Auf Basis einer Frühwarninformation erfolgt deren Identifikation durch den OEM bereits zu Beginn der latenten Störungsphase. Im Vergleich zu Szenario 3 ist es dem OEM folglich möglich, am Abend der Tage 3 und 9 und somit einen

Tag im Voraus die Einleitung der zur Entstörung notwendigen Maßnahmen *M1* und *M2* zu veranlassen. (vgl. GENC ET AL. 2014)

Anhand der Konzeption dieser Szenarien ist es möglich, den Nutzen des Störungsmanagements zu quantifizieren. In diesem Zusammenhang erlaubt die Simulation auch den Vergleich zwischen einer dem heutigen Stand der Forschung und Technik entsprechenden Entstörung (Szenario 3) und einem auf Basis von Frühwarninformationen gestalteten Störungsmanagement (Szenario 4).

8.3.3.2 Ergebnisse der Simulation

Zur Evaluierung der einzelnen Szenarien wird zum einen die Termintreue des OEM als relevante Zielgröße betrachtet (vgl. Abbildung 53).

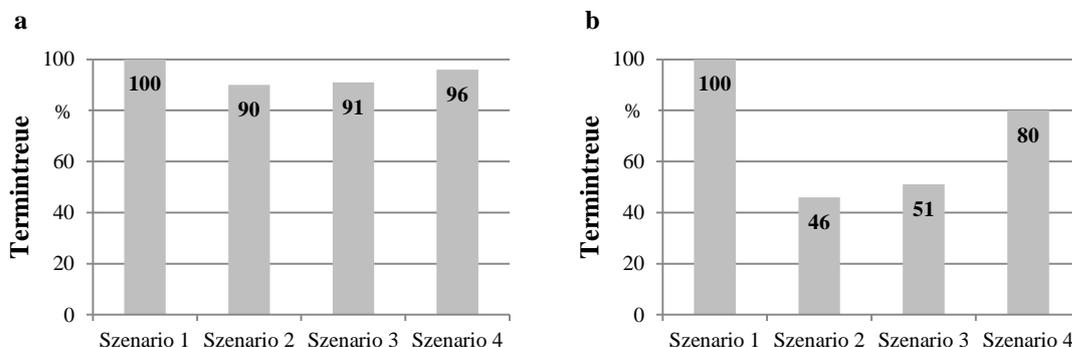
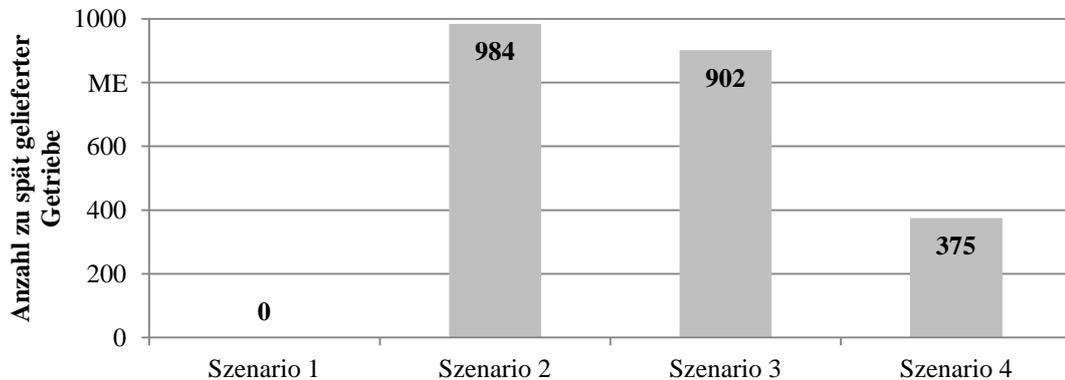


Abbildung 53: *Termintreue: (a) Gesamt; (b) Von Störung betroffene Aufträge (in Anlehnung an GENC ET AL. 2014)*

In Abbildung 53 (a) wird die im Hinblick auf die einzelnen Szenarien ermittelte Termintreue des OEM bezüglich des vollständigen Produktionsprogramms (9600 Getriebe) dargestellt. Darüber hinaus beschreibt Abbildung 53 (b) die Termintreue des OEM bezüglich derjenigen Aufträge (1920 Getriebe), die von der verspäteten Bereitstellung von Komponenten aufgrund der Unterbrechungen bei dem Zulieferer gestört wurden. In Bezug auf die Gesamtheit der Getriebe, die in der Planungsperiode hergestellt werden, ist die Termintreue des OEM in dem Szenario 4 um 5 % höher als im Szenario 3 und um 6% höher als im Szenario 2. Werden ausschließlich die von der Störung betroffenen Getriebevarianten betrachtet, ist die Termintreue des OEM in dem Szenario 4 um 29 % höher als im Szenario 3 und um 34 % höher als im Szenario 2. (vgl. GENC ET AL. 2014)

Diese Ergebnisse entsprechen der jeweiligen Anzahl an Getrieben, die in den Szenarien zu spät ausgeliefert wurden. Zwischen Szenario 2 und 3 konnte diese

um 8,4 % und zwischen Szenario 2 und 4 um 61,9 % reduziert werden (vgl. Abbildung 54).



Legende

ME: Mengeneinheiten

Abbildung 54: Anzahl der verspätet ausgelieferten Produkte in den Szenarien der Simulation (in Anlehnung an GENC ET AL. 2014)

Die im Rahmen der Simulation ermittelten Ergebnisse zeigen den Mehrwert des Störungsmanagements zur Absicherung der innerbetrieblichen Produktion in Lieferketten auf. In diesem Zusammenhang kann auch der Nutzen einer möglichst frühzeitigen Identifikation von kritischen Ereignissen in der Lieferkette dargestellt werden. In Szenario 4 werden die Maßnahmen *M1* und *M2* unmittelbar nach dem Auftreten der Störungen *S1* und *S2* in der Produktion des Lieferanten Tier 1-B eingeleitet. Demgegenüber erfolgt in Szenario 3 erst bei Beginn der Störungswirkung eine Reaktion. Die hierbei relevanten Maßnahmen tragen unter Berücksichtigung der vorliegenden Flexibilität und bestehender Restriktionen jedoch erst mit einer zeitlichen Verzögerung zur Entstörung bei. Dementsprechend lassen sich die erfassten Unterschiede zwischen den Szenarien 3 und 4 auf die hierdurch eingeschränkte Wirkung der Maßnahmen zurückführen.

8.4 Bewertung

8.4.1 Anforderungsbezogene Bewertung

In Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit wurden Anforderungen bestimmt, denen das ereignisbasierte Frühwarnsystem entsprechen soll. In den Abschnitten 8.2 und 8.3 erfolgten die Beschreibung der technischen Umsetzungen des entwickelten

Systems sowie dessen simulationstechnische Validierung. Im Folgenden wird auf Grundlage dieser Arbeiten eine Bewertung des Frühwarnsystems hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen vorgenommen.

Die bezüglich der echtzeitnahen Identifikation von kritischen Ereignissen in der Lieferkette bedeutsame Anforderung des *unternehmensübergreifenden Zugriffs auf Informationen* wird erfüllt. Die Orientierung an dem Referenzmodell erlaubt es, den jeweiligen Status und Zustand von Objekten in der Lieferkette zu bedeutsamen Meilensteinen der Wertschöpfung zu beschreiben. Durch die Referenzarchitektur wird der unternehmensübergreifende Austausch der Ereignisinformationen realisiert. Anhand der innerbetrieblichen Integration wird des Weiteren der Zugriff von Assistenzsystemen auf relevante Informationen sichergestellt. Im Zuge der technischen Umsetzungen wurde dabei die RFID-Technologie zur Generierung der Ereignisinformationen ausgewählt.

Als Basis zur frühzeitigen Identifikation unzulässiger Abweichungen sowie kritischer Entwicklungen stehen regelbasierte Verfahren zur Verfügung. Durch die Kategorisierung von kritischen Ereignissen erfolgt dabei eine Differenzierung in Bezug auf die jeweils vorliegende Kritikalität. Demzufolge wird auch der Anforderung einer *Identifikation kritischer Ereignisse* entsprochen. Darüber hinaus erlaubt die regelbasierte Wissensrepräsentation die fortlaufende Aktualisierung der Wissensbasis und somit auch die im Kontext der Frühwarnung relevante Einbeziehung von Mustern, die auf Erfahrungswerten beruhen.

Die Anforderung der *Absicherung der innerbetrieblichen Produktion* ist durch die Spezifikation von reaktiven sowie präventiven Entstörungsstrategien, die unter Berücksichtigung von vorliegenden Frühwarninformationen angewandt werden können, erfüllt. Mit Hilfe der Zuordnung von spezifischen Strategien zu den definierten Frühwarnkategorien wird die Einleitung von adaptiven Maßnahmen gewährleistet. In diesem Zuge erlaubt die Berücksichtigung der Einflussgrößen eine zielgerichtete Maßnahmenauswahl.

In Ergänzung zu den bereits dargestellten Anforderungen wurden auch technische und nutzerorientierte Anforderungen bestimmt. Die Bewertung deren Erfüllung wird nachfolgend detailliert:

- Die Anforderung *Integrationsfähigkeit* wird durch die zielgerichtete Erweiterung bestehender Standards zur Strukturierung sowie dem Austausch von Daten erfüllt. Im Rahmen der prototypischen Umsetzungen ist eine horizontale und vertikale Integration der Frühwarnfunktionalitäten in IT-

Infrastrukturen erfolgt, die auch in der betrieblichen Praxis vorzufinden sind.

- Der Anforderung der *Universalität* wird auf Grundlage der generischen Gestaltung des Referenzmodells unter Berücksichtigung bestehender Normen entsprochen. Hierdurch ist es möglich, dass die entwickelten Verfahren zur Frühwarnung sowie Maßnahmen zur Entstörung branchenübergreifend im Zuge der Wertschöpfung in hierarchisch-stabilen Lieferketten eingesetzt werden können.
- Um die Erfüllung der *Anpassungsfähigkeit* als weitere Anforderung zu gewährleisten, wurden eindeutige Kriterien definiert, die durch die Benutzer im Kontext der Maßnahmenauswahl fallspezifisch gewichtet werden können. Darüber hinaus wurde ein Konzept zur Visualisierung der Frühwarnung entwickelt, um Entscheidungsträgern im Rahmen der betrieblichen Maßnahmenauswahl alle hierfür relevanten Informationen bereitzustellen zu können.

8.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

8.4.2.1 Allgemeines

Die wirtschaftliche Bewertung des ereignisbasierten Frühwarnsystems gestaltet sich schwierig. Dies liegt darin begründet, dass Investitionen in die Generierung und Verarbeitung von Informationen keinen standardisierten Sachverhalt mit festgelegten Ein- und Auszahlungen sowie Zinssätzen darstellen (BECKER & SCHÜTTE 2004). Die Herausforderung besteht in der Spezifikation der Daten, die als Grundlage zur Bewertung herangezogen werden (vgl. SCHULZE 2009). Im Hinblick auf RFID-basierte Systeme ist vor allem die Quantifizierung des Nutzens, der durch den Einsatz dieser Systeme entsteht, komplex (VILKOV & WEIß 2008, GÜNTNER ET AL. 2010). Bestehende Verfahren zur Bewertung weisen in diesem Zusammenhang Schwachstellen auf, die dazu führen können, dass von einer Umsetzung eigentlich vorteilhafter Investitionen abgesehen wird (GILBERG 2009, REINHART ET AL. 2012). Um im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Fehler zu vermeiden, sind daher Aufwände und Nutzen gesondert für den spezifischen Anwendungsfall zu bewerten (REINHART ET AL. 2013b).

Die mit der Einführung des ereignisbasierten Frühwarnsystems in einem Unternehmen verbundenen Aufwände können durch einmalige und laufende Kosten abgebildet werden. Die einmaligen Kosten beinhalten sach- und personenbezo-

gene Investitionskosten. In diesem Kontext sind zum einen Investitionen für die RFID-Hardware (z. B. Lesegeräte, Transponder) sowie Aufwendungen für die IT-Infrastruktur (z. B. Server) zu berücksichtigen. Zum anderen werden Personalkosten verursacht, die vorrangig auf der Implementierung des Frühwarnsystems im Unternehmen (z. B. Schnittstellenprogrammierung) beruhen. Darüber hinaus umfassen laufende Kosten diejenigen Aufwendungen, die im Rahmen des Betriebes des Frühwarnsystems entstehen (z. B. Systemwartung). (ABRAMOVICI ET AL. 2009, GILBERG 2009).

In Anlehnung an REINHART ET AL. (2013b) ergeben sich aus dem Einsatz des ereignisbasierten Frühwarnsystems verschiedene quantitative wie auch qualitative Nutzenpotenziale. Neben den Basiseffekten lassen sich hierbei interne sowie externe Effekte unterscheiden. Grundlegend wird durch die Umsetzung des ereignisbasierten Frühwarnsystems die Transparenz über die Wertschöpfung in der Lieferkette erhöht und somit qualitativer Basisnutzen erzeugt. Hieraus kann im Rahmen der Planung und Steuerung der Prozesse weiterer Nutzen generiert werden. Beispielsweise stellen die Reduktion von Durchlaufzeiten oder eine verbesserte Liefertreue externe Effekte dar, die monetär bewertet werden können. Interne Effekte resultieren dabei vor allem aus einer erhöhten Prozesseffizienz, die beispielsweise auf die Automatisierung bisher manuell durchgeführter Prozesse zurückzuführen ist. In diesem Zusammenhang weist die Nutzung von RFID vor allem bei Prozesstätigkeiten mit hohem personellem und manuellem Aufwand Einsatzpotenziale auf (AURICH ET AL. 2010).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des ereignisbasierten Frühwarnsystems eine detaillierte Erfassung der hierbei relevanten Kosten und Nutzen erfordert. In diesem Zuge sind vor allem die unternehmensinternen sowie überbetrieblichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Eine allgemeingültige monetäre Bewertung des Frühwarnsystems ist daher nicht möglich. Im Folgenden soll dennoch eine beispielhafte monetäre Bewertung des Frühwarnsystems erfolgen. Aufgrund der unsicheren Ausgangsdaten soll dabei die Amortisationsrechnung als Methode der statischen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsrechnung eingesetzt werden (vgl. VOEGELE & SOMMER 2012). Die Grundlage hierfür bildet die in Abschnitt 8.2.1 beschriebene technische Umsetzung in der Demonstrationsplattform. Darauf aufbauend erfolgt eine möglichst realistische Kostenabschätzung sowie Nutzenquantifizierung unter Berücksichtigung der Ergebnisse, die in Abschnitt 8.3.3 simulationstechnisch ermittelt wurden. Von einer Einbeziehung qualitativer Nutzenpotenziale wird an dieser Stelle abgesehen.

8.4.2.2 Beispielhaftes Produktionsszenario

Ausgehend von der in Abschnitt 8.3.3 dargestellten Wertschöpfung über eine Planungsperiode von 20 Tagen wird nachfolgend die jährliche Herstellung von Getrieben bei dem OEM betrachtet. Über das Jahr verteilt werden demnach insgesamt 115.200 Getriebe in 12 Planungsperioden (240 Tage) montiert und an die Kunden ausgeliefert. Die hierfür erforderliche Bereitstellung von Komponenten erfolgt durch Lieferanten. In diesem Kontext wird geschätzt, dass in einer Planungsperiode des Jahres bei dem Zulieferer der Motorflansche kritische Ereignisse gemäß den in Abschnitt 8.3.3 detaillierten Szenarien 3 und 4 auftreten und sich auf die Montageabläufe bei dem OEM auswirken.

Als *Referenzszenario* wird gemäß dem Szenario 4 die Implementierung des Frühwarnsystems bei dem OEM vorgesehen. In diesem Zusammenhang soll sowohl bei dem von Störungen betroffenen Zulieferer als auch bei dem OEM die Umsetzung des RFID-basierten Informationsmanagements erfolgen. Zu diesem Zweck sind an den einzelnen Motorflanschen RFID-Transponder anzubringen. Demgegenüber wird im *Vergleichsszenario* ein gewöhnliches Störungsmanagement entsprechend dem Szenario 3 durchgeführt. Folglich werden hierbei keine Investitionen für das Frühwarnsystem bzw. zur Realisierung des RFID-basierten Informationsmanagements getätigt.

In Bezug auf das Referenzszenario verteilen sich die einmaligen Investitionskosten auf sach- und personenbezogene Kosten. Die Sachkosten ergeben sich zum einen aus den Investitionen für die RFID-Hardware bei OEM und Lieferant sowie zum anderen aus den Aufwendungen für die entsprechenden Informationssysteme und IT-Hardware. In Summe betragen die Sachkosten dabei etwa 51.700 Euro. Im Rahmen der Bestimmung der Personalkosten sind Kosten für die Installation und Integration der RFID-Systeme bei dem OEM und dem Lieferanten zu berücksichtigen. Darüber hinaus fallen bei dem OEM Kosten für die Integration des Frühwarnsystems an. Insgesamt werden die Personalkosten hierbei auf etwa 46.000 Euro angesetzt.

Zusammengefasst ergeben sich für das Referenzszenario 97.700 Euro als einmalige Investitionskosten (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Ermittlung der einmaligen Investitionskosten im Referenzszenario

| Einmalige Investitionskosten im Referenzszenario | | | | |
|--|--------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| Sachkosten | | | | |
| | Position | Menge | Stückkosten [EUR] | Gesamtkosten [EUR] |
| OEM | RFID-Lesegerät | 5 | 1.200,00 | 6.000,00 |
| | RFID-Antenne | 7 | 700,00 | 4.900,00 |
| | Informationssystem | 1 | 15.000,00 | 15.000,00 |
| | Touchbildschirm | 1 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| Lieferant | RFID-Lesegerät | 4 | 1.200,00 | 4.800,00 |
| | RFID-Antenne | 6 | 700,00 | 4.200,00 |
| | RFID-Transponder | 4000 | 0,20 | 800,00 |
| | Informationssystem | 1 | 15.000,00 | 15.000,00 |
| Summe Sachkosten | | | | 51.700,00 |
| Personalkosten | | | | |
| | Position | Manntage (MT) | Kosten/MT [EUR] | Gesamtkosten [EUR] |
| OEM | Installation RFID-Hardware | 4 | 800,00 | 3.200,00 |
| | Integration RFID-Software | 6 | 1.100,00 | 6.600,00 |
| | Integration Frühwarnsystem | 12 | 1.100,00 | 13.200,00 |
| | Integration Ereignisverwaltung | 6 | 1.100,00 | 6.600,00 |
| Lieferant | Installation RFID-Hardware | 4 | 800,00 | 3.200,00 |
| | Integration RFID-Software | 6 | 1.100,00 | 6.600,00 |
| | Integration Ereignisverwaltung | 6 | 1.100,00 | 6.600,00 |
| Summe Personalkosten | | | | 46.000,00 |
| Summe einmalige Investitionskosten | | | | 97.700,00 |

Im Referenzszenario sind des Weiteren laufende Kosten in Höhe von jährlich 14.350 Euro zu berücksichtigen, die sich als Personalkosten auf den OEM sowie den Lieferanten verteilen. Hierbei resultieren die Kosten zum einen aus der in regelmäßigen Abständen zu erfolgenden Wartung der RFID-Systeme sowie Ereignisverwaltung in den Unternehmen. Zum anderen hat bei dem OEM eine fortlaufende Pflege des Frühwarnsystems zu erfolgen, im Rahmen derer beispielsweise die Wissensbasis des Systems erweitert und aktualisiert wird. Darüber hinaus stellt die Handhabung der RFID-Transponder eine wichtige Kostenposition dar. Diese Kosten fallen im Zuge der Anbringung der RFID-Transponder auf die Motorflansche in der Fertigung des Lieferanten und im Laufe der Entfernung dieser nach Abschluss der Montage bei dem OEM an.

In Tabelle 7 werden die relevanten Positionen der laufenden Kosten aufgeschlüsselt.

Tabelle 7: Ermittlung der laufenden Kosten im Referenzszenario

| Laufende Kosten im Referenzszenario (jährlich) | | | | |
|--|-----------------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Personalkosten | | | | |
| | Position | Manntage (MT) | Kosten/MT [EUR] | Gesamtkosten [EUR] |
| OEM | Pflege RFID | 1,5 | 800,00 | 1.200,00 |
| | Pflege Frühwarnsystem | 4 | 1.100,00 | 4.400,00 |
| | Pflege Ereignisverwaltung | 1,5 | 1.100,00 | 1.650,00 |
| | Handhabung RFID-Transponder | 8,5 | 250,00 | 2.125,00 |
| Lieferant | Pflege RFID | 1,5 | 800,00 | 1.200,00 |
| | Pflege Ereignisverwaltung | 1,5 | 1.100,00 | 1.650,00 |
| | Handhabung RFID-Transponder | 8,5 | 250,00 | 2.125,00 |
| Summe laufende Kosten | | | | 14.350,00 |

Zur Abschätzung der quantitativen Nutzenpotenziale werden die im Rahmen der Simulationsstudien ermittelten Ergebnisse herangezogen (vgl. Abschnitt 8.3.3). Hierbei steht die Anzahl von verspätet ausgelieferten Getrieben im Fokus. Der Nutzen lässt sich dabei anhand der Reduktion von Strafzahlungen, die als eine Folge von verspäteten Lieferungen zu errichten sind, erfassen. Als Ergebnis der Simulationsstudien wurde festgestellt, dass die Anzahl zu spät gelieferter Getriebe im Szenario 4 um absolut 527 Mengeneinheiten gegenüber dem Szenario 3 reduziert werden konnte. Übertragen auf die an dieser Stelle vorzunehmende Quantifizierung des Nutzens können folglich die im Vergleichsszenario jährlich anfallenden Strafzahlungen für insgesamt 527 verspätet bereitgestellte Getriebe berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wird von einer Strafzahlung in Höhe von 10 % des Umsatzerlöses pro Getriebe ausgegangen. Der durchschnittliche Umsatzerlös pro Getriebe wird ferner auf 700 Euro taxiert. Dementsprechend kann für das Referenzszenario eine jährliche Einsparung in Höhe von 36.890 Euro angenommen werden. Abzüglich der laufenden Kosten von 14.350 Euro verbleiben 22.540 Euro als durchschnittlicher jährlicher Rückfluss.

Um die Amortisationszeit t_{AZ} des Frühwarnsystems für das vorliegende Produktionsszenario zu berechnen, wird gemäß Formel (12) das Verhältnis von eingesetztem Kapital sowie dem durchschnittlichen jährlichen Rückfluss gebildet (vgl. VOEGELE & SOMMER 2012):

$$t_{AZ} = \frac{97.700 \text{ Euro}}{22.540 \text{ Euro pro Jahr}} \approx 4,3 \text{ Jahre} \quad (12)$$

mit t_{AZ} Amortisationszeit

Die Amortisationszeit t_{AZ} entspricht dem Zeitraum in dem Referenzszenario, in dem das für die Umsetzung des Frühwarnsystems eingesetzte Kapital durch die jährliche Kostenersparnis zurückgewonnen wird. Für das beispielhaft betrachtete Produktionsszenario beträgt diese etwa 4,3 Jahre. Unter der Annahme einer Nutzungsdauer des Systems von 8 Jahren wird somit die Voraussetzung einer wirtschaftlich sinnvollen Investition erfüllt (vgl. VOEGELE & SOMMER 2012).

Allgemein sind für die Sensitivitätsanalyse im Rahmen der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Frühwarnsystemen vor allem die einmaligen Investitionskosten von Bedeutung. Im Vergleich zu den verhältnismäßig geringen laufenden Kosten stellen diese eine maßgebliche Größe im Zuge der Bestimmung der Amortisationszeit dar. Zukünftig ist dabei sowohl im Hinblick auf die Investitionen für das RFID-Equipment (z. B. RFID-Transponder) als auch für die Aufwände zur Integration von RFID- und Frühwarnsystemen von rückläufigen Kosten unter anderem als ein Ergebnis technischer Weiterentwicklungen sowie der zunehmenden Vernetzung auszugehen. Die Amortisationszeit von Investitionen zur Implementierung von Frühwarnsystemen kann hierdurch erheblich reduziert werden. Darüber hinaus ist es jedoch auch möglich, auf Grundlage der Realisierung des RFID-basierten Informationsmanagements zusätzlichen Nutzen für die Investitionsträger zu generieren (z. B. Erhöhung der Prozessautomation) und somit zu einer weiteren Reduktion der Amortisationszeit beizutragen.

8.5 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Kapitel wurden zum einen die Arbeiten zur technischen Umsetzung des ereignisbasierten Frühwarnsystems beschrieben. In diesem Rahmen wurde auf die prototypische Implementierung in der Demonstrationsplattform wie auch in der Automobilindustrie eingegangen. Hierdurch konnte die technische Umsetzbarkeit des Frühwarnsystems aufgezeigt werden. Auf Basis der Durchführung von Simulationsstudien erfolgte zum anderen die Quantifizierung des Nutzens, der sich durch die Implementierung des Frühwarnsystems in Unternehmen realisieren lässt. Der Nutzen wurde hierbei sowohl im unternehmensübergreifenden Kontext hinsichtlich der Zielrichtung Logistikleistung als auch in Bezug auf die Absicherung von innerbetrieblichen Produktionsabläufen ermittelt. Darauf aufbauend konnte im Zuge der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die ökonomische Sinnhaftigkeit des Einsatzes des Frühwarnsystems anhand eines beispielhaften Produktionsszenarios dargelegt werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein ereignisbasiertes Frühwarnsystem vorgestellt, das die Realisierung eines adaptiven Störungsmanagements im Rahmen der Wertschöpfung in Lieferketten erlaubt. Hierbei wird zunächst auf das turbulente und dynamische Umfeld eingegangen, in dem das produzierende Gewerbe in der heutigen Zeit agiert. Es wird gezeigt, dass sich Unternehmen als eine Folge der steigenden Variantenvielfalt und des hohen Innovationsdruckes auf Kernkompetenzen konzentrieren und die Fertigungstiefe reduzieren. Die hierdurch zunehmend vernetzte Wertschöpfung in Netzwerken weist aufgrund der reduzierten Zeit- und Bestandsreserven zwischen den einzelnen Unternehmen eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber unvorhergesehenen Ereignissen in der Lieferkette auf. Bestehende Forschungsarbeiten adressieren jedoch entweder ausschließlich Störungen, die innerhalb eines Unternehmens auftreten oder berücksichtigen im Laufe der Evaluierung extern erfasster Ereignisse nur den jeweiligen Status von Objekten. Demgegenüber wird in der vorliegenden Arbeit auch der spezifische Objektzustand für die Bewertung der Kritikalität externer Ereignisse betrachtet.

Auf Grundlage der dargestellten Problemstellung erfolgt die Analyse des aktuellen Standes der Forschung und Technik. Schwerpunktmäßig werden Ansätze zur RFID-basierten Wertschöpfung in Netzwerken sowie dem Management von Störungen untersucht. Darüber hinaus steht die Betrachtung von Modellen zur Beschreibung von Produktions- und Logistikabläufen im Fokus. Darauf aufbauend werden Anforderungen an das ereignisbasierte Frühwarnsystem abgeleitet. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen setzt sich das entwickelte System aus den drei folgenden Elementen zusammen:

- Referenzmodell
- Frühwarnung
- Störungsmanagement

Das Referenzmodell entspricht als Informationsmodell der informatorischen Basis zur Konzeption sowie Integration des Frühwarnsystems. Hierzu werden zum einen Prozessbausteine zur Beschreibung von Produktions- und Logistikabläufen spezifiziert. Zum anderen erfolgt die Entwicklung einer Ereignisstruktur, die eine prozessbezogene Detaillierung von objektspezifischem Status und Zu-

stand in der Lieferkette erlaubt. Durch die Referenzarchitektur wird ferner die Realisierung von inner- und überbetrieblichen Informationsflüssen sichergestellt.

Den Kern des Frühwarnsystems bilden die regelbasierten Verfahren zur Identifikation von kritischen Ereignissen. Diese orientieren sich an den eingeführten Frühwarnkategorien Produkt, Prozess und Lieferant und erlauben somit eine zielgerichtete Bewertung der Kritikalität. Darauf aufbauend wird ein Konzept zur frühwarnbasierten Situationsbeschreibung erarbeitet und ein Regelwerk zur innerbetrieblichen Informationsverteilung aufgestellt. Die in diesem Zusammenhang zu generierenden Frühwarninformationen stellen die Voraussetzung zur Realisierung eines adaptiven Störungsmanagements als weiteren Schwerpunkt der Arbeit dar. Diesbezüglich erfolgt die Konzeption von Entstörungsstrategien, die jeweils an die einzelnen Frühwarnkategorien angepasste Maßnahmengruppen bereitstellen. Anhand der fallspezifischen Konkretisierung der Maßnahmen unter Berücksichtigung relevanter Einflussgrößen wird zur Absicherung der innerbetrieblichen Produktion beigetragen.

Die prototypischen Implementierungen des ereignisbasierten Frühwarnsystems in der Versuchsumgebung sowie im Zuge der Umsetzung eines Anwendungsszenarios in der Automobilindustrie zeigen dessen technische Umsetzbarkeit auf. Der Mehrwert des adaptiven Störungsmanagements zur Absicherung von Produktions- und Logistikabläufen in Lieferketten wird mit Hilfe der Ablaufsimulation herausgearbeitet. Im Speziellen kann in diesem Kontext auch der innerbetriebliche Nutzen deutlich gemacht werden. Darüber hinaus belegt die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit auf Basis eines beispielhaften Produktionsszenarios die ökonomische Sinnhaftigkeit der Implementierung des Frühwarnsystems in produzierenden Unternehmen.

9.2 Ausblick

Die Verfügbarkeit echtzeitnaher Informationen über aktuelle Ereignisse in der Lieferkette wird in der vorliegenden Arbeit vorwiegend zur innerbetrieblichen Absicherung von Produktionsabläufen genutzt. Unter Berücksichtigung der zunehmenden Vernetzung von Unternehmen im Zuge der vierten industriellen Revolution ist die Entwicklung intelligenter Verfahren zur aktiven unternehmensübergreifenden Steuerung der Abläufe ein vielversprechender Ansatz für zukünftige Forschungsarbeiten. In diesem Kontext nimmt vor allem die Zielgröße der Ressourceneffizienz eine immer wichtigere Rolle ein. Beispielsweise kann

im Rahmen des unternehmensübergreifenden Störungsmanagements der maßnahmenspezifische Bedarf an Energie als Einflussgröße mitberücksichtigt werden. Darüber hinaus ist es möglich, die prognostizierte Verfügbarkeit von Energie im Zuge der Maßnahmenauswahl und -umsetzung als Kriterium miteinzubeziehen. Abschließend wird vorgeschlagen, die Arbeiten zur adaptiven Entstörung auf die organisatorische Anordnung von Arbeitssystemen gemäß dem Funktionsprinzip zu erweitern.

10 Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. 1. Aufl. München: Carl Hanser 2011.
ISBN: 978-3-446-42595-8.

ABRAMOVICI ET AL. 2008

Abramovici, M.; Bellalouna, F.; Flohr, M.: Integrated Product Traceability along the Supply Chain in the Automotive Industry. In: Proceedings of the 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2008).
17.-19.03.2008. Sydney, Australien: 2008, S. 432-437. ISBN: 1-877040-67-3.

ABRAMOVICI ET AL. 2009

Abramovici, M.; Bellalouna, F.; Flohr, M.: Open-Loop-Einsatz von RFID im industriellen Bereich: Methode zur ganzheitlichen Analyse und Bewertung der Wirtschaftlichkeit. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 3, S. 200-205.

ALBERTI 2009

Alberti, A.: Ein Assistent, der alles im Blick hat. Logistik für Unternehmen 23 (2009) 3, S. 59-60.

ALICKE 2005

Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken. 2. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3-540-22998-8.

APICS 2008

Blackstone, J. H. (Hrsg.): APICS Dictionary. 12. Aufl. Athens, USA: APICS 2008. ISBN: 1-55822-199-9.

ARNDT 2010

Arndt, H.: Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2010. ISBN: 978-3-8349-1992-2.

ARNOLD & CHAPMAN 2004

Arnold, J. R. T.; Chapman, S. N.: Introduction to Materials Management. 5. Aufl. New Jersey, USA: Pearson 2004. ISBN: 0-13-123045-X.

AURICH ET AL. 2010

Aurich, J. C.; Faltin, M.; Gómez Kempf, F. A.: Identifikation von RFID-Einsatzpotenzialen im Fertigungsprozess. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (2010) 3, S. 206-210.

BANGSOW 2008

Bangsow, S.: Fertigungssimulationen mit Plant Simulation und SimTalk: Anwendung und Programmierung mit Beispielen und Lösungen. 1. Aufl. München: Carl Hanser 2008. ISBN: 978-3-446-41490-7.

BECKER & SCHÜTTE 2004

Becker, J.; Schütte, R.: Handelsinformationssysteme: Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Redline Wirtschaft 2004. ISBN: 3-478-25590-2.

BECKER ET AL. 2004

Becker, J.; Niehaves, B.; Knackstedt, R.: Bezugsrahmen zur epistemologischen Positionierung der Referenzmodellierung. In: Becker et al. (Hrsg.): Referenzmodellierung: Grundlagen, Techniken und domänenbezogene Anwendung. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2004, S. 1-17. ISBN: 3-7908-0245-X.

BECKMANN 2012

Beckmann, H.: Prozessorientiertes Supply Chain Engineering: Strategien, Konzepte und Methoden zur modellbasierten Gestaltung. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2012. ISBN: 978-3-658-00269-5.

BEARZOTTI ET AL. 2012

Bearzotti, L. A.; Salomone, E.; Chiotti, O. J.: An Autonomous Multi-Agent Approach to Supply Chain Event Management. International Journal of Production Economics 135 (2012) 1, S. 468-478.

BEIERLE & KERN-ISBERNER 2008

Beierle, C.; Kern-Isberner, G.: Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen. 4. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2008. ISBN: 978-3-8348-0504-1.

BENSEL ET AL. 2008

Bensel, P.; Fürstenberg, F.; Vogeler, S.: Supply Chain Event Management - Entwicklung eines SCEM-Frameworks. In: Straube, F. (Hrsg.): Digitale Schriftenreihe Logistik Technische Universität Berlin. Berlin: Universitätsverlag 2008.

BERNDT & CLIFFORD 1994

Berndt, D. J.; Clifford, J.: Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series. In: Fayyad, U. M. et al. (Hrsg.): Knowledge Discovery in Databases: Papers from the 1994 AAAI Workshop. Seattle (Washington), USA, Juli 1994. Washington: AAAI Press 1994, S. 359-370. ISBN: 0-929280-73-3.

BLEICHER 1996

Bleicher, K.: Das Konzept integriertes Management. 4. Aufl. Frankfurt am Main: Campus 1996. ISBN: 3-593-35550-7.

BLUTNER ET AL. 2009

Blutner, D.; Cramer, S.; Krause, S.; Mönks, T.; Nagel, L.; Reinholz, A.; Witt-haut, M.: Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung. In: Buchholz, P. et al. (Hrsg.): Große Netze der Logistik: Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559. 1. Aufl. Berlin: Springer 2009, S. 241-270. ISBN: 978-3-540-71048-6.

BOCKHOLT 2012

Bockholt, F.: Operatives Störungsmanagement für globale Logistiknetzwerke. Diss. Technische Universität Dortmund (2011). Dortmund: Verlag Praxiswissen 2012. ISBN: 978-3-86975-059-0.

BODENDORF 2006

Bodendorf, F.: Daten- und Wissensmanagement. 2. Aufl. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-28743-8.

BODENDORF & ZIMMERMANN 2005

Bodendorf, F.; Zimmermann, R.: Proactive Supply-Chain Event Management with Agent Technology. International Journal of Electronic Commerce 9 (2005) 4, S. 57-89.

BOLSTORFF ET AL. 2007

Bolstorff, P. A.; Rosenbaum, R. G.; Poluha, R. G.: Spitzenleistungen im Supply Chain Management: Ein Praxishandbuch zur Optimierung mit SCOR. 1. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-540-71183-4.

BORMANN 1978

Bormann, D.: Störungen von Fertigungsprozessen und die Abwehr von Störungen bei Ausfällen von Arbeitskräften durch Vorhaltung von Reservepersonal. 1. Aufl. Berlin: Marchal und Matzenbacher 1978. ISBN: 3-88358-004-X.

BÖSE & WINDT 2007

Böse, F.; Windt, K.: Catalogue of Criteria for Autonomous Control in Logistics. In: Hülsmann, M. et al. (Hrsg.): Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics: The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow. 1. Aufl. Berlin: Springer 2007, S. 57-72. ISBN: 978-3-540-47449-4.

BRETZKE 2002

Bretzke, W.-R.: SCEM - Entwicklungsperspektive für Logistikdienstleister. Supply Chain Management 2 (2002) 3, S. 27-31.

BROSZE ET AL. 2007

Brosze, T.; Novoszel, T.; Wienholdt, H.: High Resolution Supply Chain Management: Informationsschärfe und konsistente Zielsysteme ebnen den Weg zur flexiblen Produktion. PPS Management 12 (2007) 3, S. 55-58.

BROSZE ET AL. 2011

Brosze, T.; Schürmeyer, M.; Bauhoff, F.; Hering, N.; Quick, J.: High Resolution Production Control by Real Time Information. In: Proceedings of the 17th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2011). 20.-22.06.2011. Aachen: 2011, S. 1-7. ISBN: 978-3-943024-05-0.

BUCHANAN ET AL. 1983

Buchanan, B. G.; Barstow, D.; Bechtal, R.; Bennett, J.; Clancey, W.; Kulikowski, C.; Mitchell, T.; Waterman, D. A.: Constructing an Expert System. In: Hayes-Roth, F. et al. (Hrsg.): Building Expert Systems. 1. Aufl. Reading: Addison-Wesley 1983. S. 127-167. ISBN: 0-201-10686-8.

BUSCH & DANGELMAIER 2002

Busch, A.; Dangelmaier, W.: Integriertes Supply Chain Management - ein koordinationsorientierter Überblick. In: Busch, A. et al. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 1-21. ISBN: 3-409-11958-2.

CHRISTOPHER 2000

Christopher, M.: The Agile Supply Chain: Competing in Volatile Markets. Industrial Marketing Management 29 (2000) 1, S. 37-44.

CRAMER 2004

Cramer, F.-S.: Entwicklung eines Modells zur transponderbasierten Informationsflussgestaltung in Produktionsnetzen. Diss. Universität Dortmund (2004).

CZAJA 2009

Czaja, L.: Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie. Diss. Universität Erlangen-Nürnberg (2008). Wiesbaden: Gabler 2009.
ISBN: 978-3-8349-1396-8.

CZAJA & VOIGT 2009

Czaja, L.; Voigt, K.-I.: Störungen und Störungsauslöser in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in der deutschen Automobilzulieferindustrie. In: Specht, D. (Hrsg.): Weiterentwicklung der Produktion. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2009, S. 1-17.
ISBN: 978-3-8349-8306-0.

DANGELMAIER ET AL. 2004

Dangelmaier, W.; Pape, U.; Rüther, M.: Ein dezentrales Planungs- und Steuerungssystem für die Beschaffung von Sekundärbedarfen innerhalb der Supply Chain. In: Spengler, T. et al. (Hrsg.): Logistik Management. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2004, S. 133-144. ISBN: 3-7908-0121-6.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1985

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 6763: Nummerung - Grundbegriffe. Berlin: Beuth 1985.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1988

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 44300, Teil 2: Informationsverarbeitung - Informationsdarstellung. Berlin: Beuth 1988.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1989

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 55350, Teil 12: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik: Merkmalsbezogene Begriffe. Berlin: Beuth 1989.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 1990

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 6789, Teil 2: Dokumentations-systematik - Dokumentensätze Technischer Produktdokumentationen. Berlin: Beuth 1990.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003a

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 8580: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth 2003.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003b

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 8593, Teil 3: Fertigungsverfahren Fügen: Anpressen, Einpressen, Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin: Beuth 2003.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2003c

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 8591: Fertigungsverfahren Zerlegen: Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin: Beuth 2003.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) E.V. 2008

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.: DIN 55350, Teil 11: Begriffe zum Qualitätsmanagement: Ergänzungen zu DIN EN ISO 9000:2005. Berlin: Beuth 2008.

DIETRICH & SCHULZE 1996

Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozeßqualifikation. 2. Aufl. München: Carl Hanser 1996. ISBN: 3-446-18780-4.

DUDA ET AL. 2001

Duda, R. O.; Hart, P. E.; Stork, D. G.: Pattern Classification. 2. Aufl. New York: John Wiley & Sons 2001. ISBN: 978-0-471-05669-0.

ELEY 2012

Eley, M.: Simulation in der Logistik: Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“.

1. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 978-3-642-27373-5.

EN ISO 9000:2005

EN ISO 9000:2005: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe. Brüssel: CEN 2005.

EPCGLOBAL 2007

EPCglobal (Hrsg.): EPC Information Services (EPCIS) Version 1.0.1 Specification. Brüssel: 2007. <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf> - 31.08.2014.

EVERSHEIM 1992

Eversheim, W.: Störungsmanagement in der Montage: Erfolgreiche Einzel- und Kleinserienproduktion. 1. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.
ISBN: 3-18-401252-2.

EVERSHEIM 2002

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik 3: Arbeitsvorbereitung. 4. Aufl. Berlin: Springer 2002. ISBN: 3-540-42016-9.

FINKENZELLER 2006

Finkenzeller, K.: RFID Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. 4. Aufl. München: Carl Hanser 2006. ISBN: 3-446-40398-1.

FISCHÄDER 2007

Fischäder, H.: Störungsmanagement in netzwerkförmigen Produktionssystemen. Diss. Technische Universität Ilmenau (2005). Wiesbaden: Gabler 2007.
ISBN: 978-3-8350-0539-6.

FISCHER 2008

Fischer, D.: Unternehmensübergreifende Integration von Informationssystemen: Bestimmung des Integrationsgrades auf elektronischen Marktplätzen. Diss. Technische Universität Ilmenau (2008). Wiesbaden: Gabler 2008.
ISBN: 978-3-8349-1285-5.

FISCHER 2009

Fischer, S.: Entwicklung eines Referenzmodells zur Entscheidungsunterstützung im reaktiven Störungsmanagement in KMU. Diss. Technische Universität Dortmund (2009). Dortmund: Verlag Praxiswissen 2009. ISBN: 978-3-86975-007-1.

FLEISCH & MÜLLER-STEWENS 2008

Fleisch, E.; Müller-Stewens, G.: High-Resolution-Management: Konsequenzen des Internet der Dinge auf die Unternehmensführung. zfo - Zeitschrift Führung + Organisation 77 (2008) 5, S. 272-281.

FLEISCH ET AL. 2005

Fleisch, E.; Christ, O.; Dierkes, M.: Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Fleisch, E. et al. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. 1. Aufl. Berlin: Springer 2005, S. 3-37.
ISBN: 978-3-540-24003-7.

FRESE 2005

Frese, E.: Grundlagen der Organisation: Entscheidungsorientiertes Konzept der Organisationsgestaltung. 9. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2005.
ISBN: 3-409-12681-3.

GEIßLER 1995

Geißler, J.: Frühaufklärungssysteme - Instrumente zur frühzeitigen Wahrnehmung von Chancen und Risiken im Unternehmen. Diss. Technische Universität Dresden (1996).

GENC ET AL. 2014

Genc, E.; Duffie, N.; Reinhart, G.: Event-Based Supply Chain Early Warning System for an Adaptive Production Control. Procedia CIRP 19 (2014), S. 39-44.

GILBERG 2009

Gilberg, J.: Technische Ausgestaltung und wirtschaftliche Beurteilung des überbetrieblichen RFID-Einsatzes. Diss. Universität Regensburg (2009). Lohmar: Josef Eul 2009. ISBN: 978-3-89936-834-5.

GLEIßNER & FÜSER 2001

Gleißner, W.; Füser, K.: Moderne Frühwarn- und Prognosesysteme für Unternehmensplanung und Risiko-Management. In: Gleißner, W. et al. (Hrsg.): Wertorientiertes Risikomanagement für Industrie und Handel: Methoden, Fallbeispiele, Checklisten. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2001, S. 175-198.
ISBN: 3-409-11699-0.

GOHOUT 1996

Gohout, W.: Prozeßanalyse und statistische Prozeßregelung. 1. Aufl. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1996. ISBN: 3-525-11405-2.

GRAEBIG 2006

Graebig, K.: Formelsammlung zu den statistischen Methoden des Qualitätsmanagements. 3. Aufl. Berlin: Beuth 2006. ISBN: 3-410-32972-2.

GREVE 1970

Greve, J.: Störungen im Industriebetrieb. Diss. Technische Hochschule Darmstadt (1970).

GS1 AISBL 2011

GS1 AISBL (Hrsg.): GS1 EPC Tag Data Standard 1.6. Brüssel: 2011.

<http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/tds/tds_1_6-RatifiedStd-20110922.pdf>
- 31.08.2014.

GÜNTHER & TEMPELMEIER 2012

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 9. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 978-3-642-25165-8.

GÜNTHNER ET AL. 2010

Günthner, W. A.; Meißner, S.; Conze, M.; Fischer, R.: Stand und Entwicklung des RFID-Einsatzes in der Automobillogistik: Ergebnisse einer empirischen Studie. 1. Aufl. München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) Technische Universität München 2010. ISBN: 978-3-941702-09-7.

HAAREN 2008

Haaren, B. von: Konzeption, Modellierung und Simulation eines Supply-Chain-Risikomanagements. Diss. Technische Universität Dortmund (2008).

HACKSTEIN 1989

Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. ISBN: 3-18-400924-6.

HEIDERICH 2001

Heiderich, T.: Informationsflüsse nach ungeplanten Ereignissen in der technischen Auftragsabwicklung. Diss. RWTH Aachen (2001). Aachen: Shaker 2001. ISBN: 3-8265-9692-7.

HEIL 1995

Heil, M.: Entstörung betrieblicher Abläufe. Diss. Technische Universität München (1994). Wiesbaden: Gabler 1995. ISBN: 3-8244-6100-5.

HELLINGRATH ET AL. 2008

Hellingrath, B.; Hegmanns, T.; Maaß, J.-C.; Toth, M.: Prozesse in Logistiknetzwerken - Supply Chain Management. In: Arnold, D. et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer 2008, S. 459-486. ISBN: 978-3-540-72929-7.

HEINECKE 2013

Heinecke, G.: Resilient Automotive Production in Vulnerable Supply Networks: A Supply Chain Event Management System. Diss. ETH Zurich (2013). <<http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:7891/eth-7891-02.pdf>> - 20.09.2014.

HERING ET AL. 1999

Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P.: Qualitätsmanagement für Ingenieure. 4. Aufl. Berlin: Springer 1999. ISBN: 3-540-65092-X.

HEUSLER ET AL. 2006

Heusler, K. F.; Stölzle, W.; Bachmann, H.: Supply Chain Event Management: Grundlagen, Funktionen und potenzielle Akteure. WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium 35 (2006) 1, S. 19-24.

HINRICHS 2009

Hinrichs, J. A.: Unterstützung des dispositiven Störungsmanagements. Diss. Technische Universität Dortmund (2008). Dortmund: Verlag Praxiswissen 2009. ISBN: 978-3-89957-076-2.

HOTZ 2007

Hotz, I.: Simulationsbasierte Frühwarnsysteme zur Unterstützung der operativen Produktionssteuerung und -planung in der Automobilindustrie. Diss. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (2007).

HUANG ET AL. 2008

Huang, G. Q.; Zhang, Y. F.; Jiang, P. Y.: RFID-based Wireless Manufacturing for real-time Management of Job Shop WIP Inventories. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36 (2008) 7-8, S. 752-764.

IML 2010

Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML): Schlussbericht für das Verbundvorhaben „LogNetAssist - Entwicklung eines Assistenzsystems für die Steuerung intelligenter Logistiknetzwerke“. Dortmund: IML 2010.

JARKE ET AL. 1996

Jarke, M.; Peters, P.; Warnecke, G.; Knickel, V.: Von der Datenverarbeitung zum Wissensmanagement. In: Pfeifer, T. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung: Methoden zur Nutzung verteilten Wissens. 1. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 1-13. ISBN: 3-540-60493-6.

JÜNEMANN & BEYER 1998

Jünemann, R.; Beyer, A.: Steuerung von Materialfluß- und Logistiksystemen: Informations- und Steuerungssysteme, Automatisierungstechnik. 1. Aufl. Berlin: Springer 1998. ISBN: 3-540-64514-4.

KÄRKKÄINEN & HOLMSTRÖM 2002

Kärkkäinen, M.; Holmström, J.: Wireless Product Identification: Enabler for Handling Efficiency, Customisation and Information Sharing. Supply Chain Management: An International Journal 7 (2002) 4, S. 242-252.

KERN 1990

Kern, W.: Industrielle Produktionswirtschaft. 4. Aufl. Stuttgart: Poeschel 1990. ISBN: 3-7910-9166-2.

KLETTI 2007

Kletti, J.: Konzeption und Einführung von MES-Systemen: Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten. 1. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-540-34309-7.

KRCMAR 1991

Krcmar, H.: Integration in der Wirtschaftsinformatik - Aspekte und Tendenzen. In: Jacob, H. et al. (Hrsg.): Integrierte Informationssysteme. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1991, S. 3-18. ISBN: 978-3-409-13399-9.

KRCMAR 2010

Krcmar, H.: Informationsmanagement. 5. Aufl. Berlin: Springer 2010. ISBN: 978-3-642-04285-0.

KRCMAR 2011

Krcmar, H.: Einführung in das Informationsmanagement. 1. Aufl. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-15830-8.

KRYSTEK 2000

Krystek, U.: Frühwarnsysteme – Frühaufklärungssysteme: Zeitgewinn durch Eröffnung retrograder Handlungsspielräume. In: Götze, U. et al. (Hrsg.): Management und Zeit. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2000, S. 143-168. ISBN: 3-7908-1271-4.

KRYSTEK 2007

Krystek, U.: Strategische Früherkennung. Controlling & Management 51 (2007) 2, S. 50-58.

KUHN 1995

Kuhn, A.: Prozeßketten in der Logistik: Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. 1. Aufl. Dortmund: Verlag Praxiswissen 1995. ISBN: 3-929443-49-X.

KUHN & HELLINGRATH 2009

Kuhn, A.; Hellingrath, B.: Auftragsmanagement in Netzwerken: Supply Chain Management. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Aufl. Berlin: Springer 2009, S. 384-407. ISBN: 978-3-540-87595-6.

KURBEL 1992

Kurbel, K.: Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme. 2. Aufl. Berlin: Springer 1992. ISBN: 3-540-55237-5.

KURBEL 2005

Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management. 6. Aufl. München: Oldenbourg 2005. ISBN: 3-486-57578-3.

KURBEL 2013

Kurbel, K. E.: Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management: Functions, Business Processes and Software for Manufacturing Companies. 1. Aufl. Berlin: Springer 2013. ISBN: 978-3-642-31573-2.

LANZA ET AL. 2006

Lanza, G.; Herm, M.; Ude, J.: Anlaufleistung in Wertschöpfungsnetzwerken: Konfiguration von Wertschöpfungsnetzwerken auf Basis von Qualitätsfähigkeiten im Produktionsanlauf. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 4, S. 233-238.

LEHNER ET AL. 2008

Lehner, F.; Wildner, S.; Scholz, M.: Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung. 2. Aufl. München: Carl Hanser 2008. ISBN: 978-3-446-41572-0.

LEPRATTI ET AL. 2014

Lepratti, R.; Lamparter, S.; Schröder, R.: Einleitung. In: Lepratti, R. et al. (Hrsg.): Transparenz in globalen Lieferketten der Automobilindustrie: Ansätze zur Logistik- und Produktionsoptimierung. 1. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2014, S. 18-20. ISBN: 978-3-89578-915-1.

LINß 2011

Linß, G.: Qualitätsmanagement für Ingenieure. 3. Aufl. München: Carl Hanser 2011. ISBN: 978-3-446-41784-7.

LÖDDING 2008

Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2. Aufl. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-540-76859-3.

MATSUDA 1993

Matsuda, T.: „Organizational Intelligence“ als Prozeß und als Produkt: Ein neuer Orientierungspunkt der japanischen Managementlehre. *technology & management* 42 (1993) 1, S. 12-17.

McFARLANE & SHEFFI 2003

McFarlane, D.; Sheffi, Y.: The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations. *International Journal of Logistics Management* 14 (2003) 1, S. 1-17.

MEIßNER 2009

Meißner, S.: Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfließfertigung. Diss. Technische Universität München (2009). München: Lehrstuhl für Förder-technik Materialfluss Logistik (fml) Technische Universität München 2009. ISBN: 978-3-9811819-9-9.

MELZER-RIDINGER 2007

Melzer-Ridinger, R.: Supply Chain Management: Prozess- und unternehmensübergreifendes Management von Qualität, Kosten und Liefertreue. 1. Aufl. München: Oldenbourg 2007. ISBN: 978-3-486-58259-8.

MERTENS 2013

Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung 1: Operative Systeme in der Industrie. 18. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2013.

ISBN: 978-3-8349-4395-8.

MERTENS ET AL. 2012

Mertens, P.; Bodendorf, F.; König, W.; Picot, A.; Schumann, M.; Hess, T.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl. Berlin: Springer 2012.

ISBN: 978-3-642-30515-3.

MEYER 2007

Meyer, M.: Logistisches Störungsmanagement in kundenverbrauchsorientierten Wertschöpfungsketten. Diss. RWTH Aachen (2007). Aachen: Shaker 2007.

ISBN: 978-3-8322-6129-0.

MEYR ET AL. 2005

Meyr, H.; Wagner, M.; Rohde, J.: Structure of Advanced Planning Systems. In: Stadler, H. et al. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies. 3. Aufl. Berlin: Springer 2005, S. 109-115. ISBN: 3-540-22065-8.

MODER 2008

Moder, M.: Supply Frühwarnsysteme: Die Identifikation und Analyse von Risiken in Einkauf und Supply Management. Diss. European Business School Oestrich-Winkel (2008). Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN: 978-3-8349-1203-9.

MÜLLER-MERBACH 1994

Müller-Merbach, H.: Perspektiven einer informationsorientierten Betriebswirtschaftslehre. In: Konegen-Grenier, C. et al. (Hrsg.): Praxisbezug und soziale Kompetenz: Hochschule und Wirtschaft im Dialog. Köln: Deutscher Instituts-Verlag 1994, S. 375-388. ISBN: 3-602-14371-6.

NISSEN 2002

Nissen, V.: Supply Chain Event Management. Wirtschaftsinformatik 44 (2002) 5, S. 477-480.

NYHUIS & WIENDAHL 2012

Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 978-3-540-92839-3.

OLHAGER 2003

Olhager, J.: Strategic Positioning of the Order Penetration Point. *International Journal of Production Economics* 85 (2003) 3, S. 319-329.

OSTGATHE 2012

Ostgathe, M.: System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage. Diss. Technische Universität München (2012). München: Utz 2012. ISBN: 978-3-8316-4206-9.

PFEIFER & SCHMITT 2010

Pfeifer, T.; Schmitt, R.: *Fertigungsmesstechnik*. 3. Aufl. München: Oldenbourg 2010. ISBN: 978-3-486-59202-3.

PIERL & DÜNNEBACKE 2010

Pierl, M.; Dünnebacke, D.: Ein neues AutoID-Jahrzehnt: Was kommt nach RFID? RFID im Blick - Einblick in AutoID/RFID (2010), S. 50-51.

PILLER 2006

Piller, F. T.: *Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. 4. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2006. ISBN: 978-3-8350-0355-2.

PILLER & STOTKO 2003

Piller, F. T.; Stotko, C. M.: *Mass Customization und Kundenintegration: Neue Wege zum innovativen Produkt*. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion-Verlag 2003. ISBN: 3-936608-05-9.

PUPPE 1991

Puppe, F.: *Einführung in Expertensysteme*. 2. Aufl. Berlin: Springer 1991. ISBN: 3-540-54023-7.

REINHART ET AL. 2011a

Reinhart, G.; Engelhardt, P.; Genc, E.; Niehues, M.; Ostgathe, M.: Planung und Steuerung von Abläufen in der Automobilindustrie: Ein unternehmensübergreifender Ansatz. *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106 (2011) 5, S. 326-331.

REINHART ET AL. 2011b

Reinhart, G.; Genc, E.; Hauptvogel, A.; Heinecke, G.; Lamparter, S.; Ostgathe, M.: Absicherung von Produktions- und Logistikprozessen: In komplexen automobilen Wertschöpfungsnetzwerken. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 12, S. 963-968.

REINHART ET AL. 2012

Reinhart, G.; Irrenhauser, T.; Reinhardt, S.; Reisen, K.: Kriterien-basierte Nutzensauswahl in der Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID: Identifikation quantitativer und qualitativer Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 3, S. 182-186.

REINHART ET AL. 2013a

Reinhart, G.; Engelhardt, P.; Genc, E.: RFID-basierte Steuerung von Wertschöpfungsketten: Ein Ansatz zur ereignisbasierten Absicherung von Produktionsabläufen in der Automobilindustrie. wt Werkstattstechnik online 103 (2013) 2, S. 104-108.

REINHART ET AL. 2013b

Reinhart, G.; Irrenhauser, T.; Reisen, K.; Reinhardt, S.; Bleisteiner, T.; Ramirez, A.: Bewertung des RFID-Einsatzes im automobilen Wertschöpfungsnetz. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 (2013) 12, S. 976-980.

REINHART ET AL. 2014

Reinhart, G.; Genc, E.; Engelhardt, P.: Der RAN-Prozessbaukasten. In: Lepratti, R. et al. (Hrsg.): Transparenz in globalen Lieferketten der Automobilindustrie: Ansätze zur Logistik- und Produktionsoptimierung. 1. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2014, S. 118-143. ISBN: 978-3-89578-915-1.

SABUNCUOGLU & BAYIZ 2000

Sabuncuoglu, I.; Bayiz, M.: Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment. European Journal of Operational Research 126 (2000) 3, S. 567-586.

SCC 2010

Supply Chain Council: Supply Chain Operations Reference Model SCOR Version 10.0. USA: SCOR 2010. ISBN: 0-615-20259-4.

SCHATZ ET AL. 2010

Schatz, A.; Mandel, J.; Hermann, M.: Studie Risikomanagement in der Beschaffung 2010: Eingesetzte Strategien und Methoden, Organisatorische Verankerung, Bedeutung und Reifegrad des Risikomanagements in der Beschaffung in der Industrie. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) 2010.

SCHEER 1994

Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. 5. Aufl. Berlin: Springer 1994. ISBN: 3-540-58203-7.

SCHEER 1996

Scheer, A.-W.: Informationsmanagement als betriebliche Querschnittsfunktion. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Produktion und Management: Betriebshütte. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 17-1 - 17-15. ISBN: 3-540-59360-8.

SCHEER 2001

Scheer, A.-W.: ARIS - Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen. 4. Aufl. Berlin: Springer 2001. ISBN: 3-540-41601-3.

SCHLITTGEN & STREITBERG 2001

Schlittgen, R.; Streitberg, B. H. J.: Zeitreihenanalyse. 9. Aufl. München: Oldenbourg 2001. ISBN: 3-486-25725-0.

SCHMID ET AL. 2014

Schmid, F.; Breit, E.; Parlings, M.: Der RAN-InfoBroker. In: Lepratti, R. et al. (Hrsg.): Transparenz in globalen Lieferketten der Automobilindustrie: Ansätze zur Logistik- und Produktionsoptimierung. 1. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2014, S. 164-184. ISBN: 978-3-89578-915-1.

SCHMIDT 2006

Schmidt, D.: RFID im Mobile Supply Chain Event Management: Anwendungsszenarien, Verbreitung und Wirtschaftlichkeit. 1. Aufl. Wiesbaden: Gaber 2006. ISBN: 978-3-8349-0343-3.

SCHMITT & PFEIFER 2010

Schmitt, R.; Pfeifer T.: Qualitätsmanagement: Strategien - Methoden - Techniken. 4. Aufl. München: Carl Hanser 2010. ISBN: 978-3-446-41277-4.

SCHOLZ-REITER & HÖHNS 2012

Scholz-Reiter, B.; Höhns, H.: Selbststeuerung logistischer Prozesse mit Agentensystemen. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 2: Evolution der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer 2012, S. 294-335. ISBN: 978-3-642-25427-7.

SCHOLZ-REITER ET AL. 2006

Scholz-Reiter, B.; Uckelmann, D.; Gorltd, C.; Hinrichs, U.: Einsatz von Auto-ID-Technologien in der Handhabungstechnik. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 3, S. 97-101.

SCHOTTEN 2001

Schotten, M.: Aachener PPS-Modell. In: Luczak, H. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 2. Aufl. Berlin: Springer 2001, S. 9-28. ISBN: 3-540-65559-X.

SCHÖNHERR 1998

Schönherr, M.: Wissen als humanorientierter Wettbewerbsfaktor. Industrie Management 14 (1998) 4, S. 30-33.

SCHRÖDER 2014

Schröder, R.: Motivation - Das Projekt „RFID-Based Automotive Network“. In: Lepratti, R. et al. (Hrsg.): Transparenz in globalen Lieferketten der Automobilindustrie: Ansätze zur Logistik- und Produktionsoptimierung. 1. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2014, S. 21-59. ISBN: 978-3-89578-915-1.

SCHUH & GIERTH 2006a

Schuh, G.; Gierth, A.: Einführung. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 3-7. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH & GIERTH 2006b

Schuh, G.; Gierth, A.: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung: Aachener PPS-Modell. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 11-27. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH & GIERTH 2006c

Schuh, G.; Gierth, A.: Gestaltungsaufgaben in der PPS. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 295-303. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH & ROESGEN 2006

Schuh, G.; Roesgen, R.: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung: Aufgaben. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 28-80. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH & STICH 2011

Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Studie: Produktion am Standort Deutschland. 1. Aufl. Aachen: FIR 2011. ISBN: 978-3-943024-06-7.

SCHUH ET AL. 2006

Schuh, G.; Gierth, A.; Schiegg, P.: Prozessarchitektur. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 81-107. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH ET AL. 2007

Schuh, G.; Gottschalk, S.; Höhne, T.: High Resolution Production Management. Annals of the CIRP 56 (2007) 1, S. 439-442.

SCHUH ET AL. 2008

Schuh, G.; Stich, V.; Schmidt, C.: Produktionsplanung und -steuerung in Logistiknetzwerken. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. 1. Aufl. Berlin: Springer 2008, S. 249-273. ISBN: 978-3-540-75642-2.

SCHUH ET AL. 2011

Schuh, G.; Stich, V.; Brosze, T.; Fuchs, S.; Pulz, C.; Quick, J.; Schürmeyer, M.; Bauhoff, F.: High Resolution Supply Chain Management: Optimized Processes Based on Self-optimizing Control Loops and Real Time Data. Production Engineering 5 (2011) 4, S. 433-442.

SCHULZE 2009

Schulze, U.: Informationstechnologeeinsatz im Supply Chain Management: Eine konzeptionelle und empirische Untersuchung zu Nutzenwirkungen und Nutzenmessung. Diss. WHU - Otto Beisheim School of Management, Vallendar (2009). Wiesbaden: Gabler 2009. ISBN: 978-3-8349-1529-0.

SCHWARTZ 2004

Schwartz, F.: Störungsmanagement in Produktionssystemen. Diss. Universität Hamburg (2004). Aachen: Shaker 2004. ISBN: 3-8322-3088-2.

SINGH 1999

Singh, S.: Noise Impact on Time-Series Forecasting Using an Intelligent Pattern Matching Technique. *Pattern Recognition* 32 (1999) 8, S. 1389-1398.

STADTLER 2005

Stadtler, H.: Supply Chain Management - An Overview. In: Stadtler, H. et al. (Hrsg.): *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*. 3. Aufl. Berlin: Springer 2005, S. 9-35. ISBN: 3-540-22065-8.

STEVEN & KRÜGER 2004

Steven, M.; Krüger, R.: Supply Chain Event Management für globale Logistikprozesse: Charakteristika, konzeptionelle Bestandteile und deren Umsetzung in Informationssysteme. In: Spengler, T. et al. (Hrsg.): *Logistik Management*. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2004, S. 179-195. ISBN: 3-7908-0121-6.

STICH ET AL. 2011

Stich, V.; Kompa, S.; Meier, C.: Ergebnisse: Echtzeitfähigkeit in der Produktion. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): *Studie: Produktion am Standort Deutschland*. 1. Aufl. Aachen: FIR 2011, S. 45-49. ISBN: 978-3-943024-06-7.

STRASSNER 2005

Strassner, M.: RFID im Supply Chain Management: Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie. Diss. Universität St. Gallen (2005). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2005. ISBN: 3-8350-0146-9.

STRAUBE ET AL. 2010

Straube, F.; Bensel, P.; Fürstenberg, F.; Vogeler, S.: Ko-RFID – Kollaboration und RFID. In: Straube, F. (Hrsg.): *Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin*, Nr. 7. Berlin: Universitätsverlag 2010.

TAMM & TRIBOWSKI 2010

Tamm, G.; Tribowski, C.: RFID. In: Günther, O. et al. (Hrsg.): *Informatik im Fokus*. 1. Aufl. Berlin: Springer 2010, S. 1-144. ISBN: 978-3-642-11460-1.

TEUTEBERG & SCHREBER 2005

Teuteberg, F.; Schreber, D.: Mobile Computing and Auto-ID Technologies in Supply Chain Event Management - An Agent-Based Approach. Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems (ECIS 2005). Regensburg, Deutschland. 26.-28.05.2005

TIMPE & JÜRGENSOHN 2002

Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.: Perspektiven der Mensch-Maschine-Systemtechnik. In: Timpe, K.-P. et al. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. 2. Aufl. Düsseldorf: Symposion 2002, S. 337-347. ISBN: 3-933814-83-9.

VDA 2008

VDA-Empfehlung 5510: RFID zur Verfolgung von Teilen und Baugruppen in der Automobilindustrie. Frankfurt am Main: VDA 2008.

VDI 1992

VDI: Lexikon der Produktionsplanung und -steuerung: Begriffszusammenhänge und Begriffsdefinitionen. 4. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992. ISBN: 3-18-401006-6.

VDI-RICHTLINIE 2860 1990

VDI-Richtlinie 2860: Montage- und Handhabungstechnik: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole. Berlin: Beuth 1990.

VDI-RICHTLINIE 5600 2007

VDI-Richtlinie 5600: Fertigungsmanagementsysteme, Blatt 1: Grundlagen. Berlin: Beuth 2007.

VDI-RICHTLINIE 3633 2010

VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen, Blatt 1: Grundlagen. Berlin: Beuth 2010.

VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E. V. (REFA)
1978

Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (REFA): Methodenlehre der Planung und Steuerung: Teil 1 Grundlagen. 3. Aufl. München: Carl Hanser 1978. ISBN: 3-446-12644-9.

VILKOV & WEIß 2008

Vilkov, L.; Weiß, B.: Prozessorientierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von RFID-Systemen anhand eines Referenz-Wirkungsmodells. In: Becker, J. et al. (Hrsg.): Wertschöpfungsnetzwerke - Konzepte für das Netzwerkmanagement und Potenziale aktueller Informationstechnologien. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2008. S. 275-303. ISBN: 978-3-7908-2056-0.

VOEGELE & SOMMER 2012

Voegele, A. A.; Sommer, L.: Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure: Kostenmanagement im Engineering. 1. Aufl. München: Carl Hanser 2012. ISBN: 978-3-446-42617-7.

VOM BROCKE 2003

vom Brocke, J.: Referenzmodellierung: Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. 1. Aufl. Berlin: Logos 2003. ISBN: 3-8325-0179-7.

WANNENWETSCH 2005

Wannenwetsch, H.: Vernetztes Supply Chain Management. 1. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3-540-23443-2.

WANNENWETSCH 2010

Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 4. Aufl. Berlin: Springer 2010. ISBN: 978-3-540-89773-6.

WERNER 2010

Werner, H.: Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2010. ISBN: 978-3-8349-2376-9.

WESTKÄMPER & ZAHN 2009

Westkämper, E.; Zahn, E.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. 1. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-540-21889-0.

WEYER & SPATH 2009

Weyer, M.; Spath, D.: Das Produktionssteuerungskonzept „Perlenkette“. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 12, S. 1126-1130.

WIENDAHL 2010

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 7. Aufl. München: Carl Hanser 2010. ISBN: 978-3-446-41878-3.

WIENDAHL & LUTZ 2002

Wiendahl, H.-P.; Lutz, S.: Production in Networks. Annals of the CIRP 51 (2002) 2, S. 573-586.

WIENDAHL ET AL. 2003

Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Heger, C. L.: Die Fabrik als strategisches Wettbewerbsinstrument. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. 1. Aufl. Berlin: Springer 2003, S. 141-152. ISBN: 3-540-00594-3.

WIENDAHL ET AL. 2006

Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.; Fischer, A.; Grabe, D.: Controlling in Lieferketten. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006, S. 467-510. ISBN: 978-3-540-40306-7.

WIENDAHL ET AL. 2012

Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.; Bertsch, S.; Grigutsch, M.: Controlling in Lieferketten. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 2: Evolution der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer 2012, S. 11-59. ISBN: 978-3-642-25427-7.

WILDEMANN 1995

Wildemann, H.: Entstörmanagement: Realisierung störungsrobuster Wertschöpfungsprozesse. 2. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag 1995. ISBN: 3-929918-06-4.

WILDEMANN 2005

Wildemann, H.: Supply Chain Management. Effizienzsteigerung in der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette. 2. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag 2005. ISBN: 3-934155-13-8.

WIRTH ET AL. 2001

Wirth, S.; Schuchardt, L.; Lux, F.; Mann, H.; Seidel, T.: PROLOG: Prospektive Störfallkonzepte in Logistikketten der Zulieferindustrie. Kurzbericht zum Forschungsprojekt und Hypertext-Informationssystem auf CD-ROM. Chemnitz: Technische Universität Chemnitz 2001.

WITTEN & FRANK 2001

Witten, I. H.; Frank, E.: Data Mining: Praktische Werkzeuge und Techniken für das maschinelle Lernen. 1. Aufl. München: Carl Hanser 2001. ISBN: 3-446-21533-6.

WÜNSCHER 2010

Wünscher, T.: Störungsmanagement im Entwicklungs- und Herstellungsprozess komplexer, kundenindividueller Produkte. Diss. Technische Universität Hamburg-Harburg (2009). Göttingen: Cuvillier 2010. ISBN: 978-3-86955-331-3.

YU 2001

Yu, K.-W.: Terminkennlinie: Eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich. Diss. Universität Hannover (2001). Düsseldorf: VDI Verlag 2001. ISBN: 3-18-357602-3.

ZÄH ET AL. 2005

Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiesbeck, M.: Produktion im globalen Umfeld. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005) 5, S. 246-250.

11 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen der Entstehung der vorliegenden Dissertationsschrift wurden unter wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) sowie an der Projektgruppe für Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) des Fraunhofer-Institutes für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) Studienarbeiten betreut. Diese haben sich mit Fragestellungen der Produktionsplanung und -steuerung im Allgemeinen und der ereignisbasierten Frühwarnung zum adaptiven Management von Störungen im Speziellen befasst. Inhalte und Erkenntnisse aus diesen Arbeiten sind teilweise in die vorliegende Dissertation eingegangen. Der Autor dankt den Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit. Im Folgenden sind die Studienarbeiten in alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens der Autoren aufgeführt.

BAUER, T.

Entwicklung einer RFID-basierten Werkerunterstützung für die Getriebeendmontage, eingereicht im Oktober 2012. Teile der Studienarbeit sind in Abschnitt 8.2.1 eingegangen.

HAUPTVOGEL, A.

Entwurf und Realisierung interagierender Produktions- und Logistiksimulationen für die adaptive Produktionssteuerung, eingereicht im Juni 2011. Teile der Studienarbeit sind in Abschnitt 8.3.2 eingegangen.

KLÖBER-KOCH, J.

Störungsmanagement unter Beachtung kritischer Ereignisse in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken, eingereicht im Februar 2014. Teile der Studienarbeit sind in die Abschnitte 7.3, 7.4 und 8.3.3 eingegangen.

LUZZI, M.

Absicherung von Produktions- und Logistikprozessen in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken, eingereicht im Mai 2012. Teile der Studienarbeit sind in die Abschnitte 5.2.2, 5.3 und 5.4 eingegangen.

MÜLLER, M.

Qualitätssicherung für die Getriebeteilefertigung unter Nutzung der RFID-Technologie, eingereicht im Januar 2013. Teile der Studienarbeit sind in Abschnitt 8.2.1 eingegangen.

SCHWEIZER, J.

Identifikation kritischer Situationen in Wertschöpfungsnetzwerken, eingereicht im Juli 2012. Teile der Studienarbeit sind in Abschnitt 6.4.3 eingegangen.

THIEDE, T.

Einsatz von Mustererkennungsverfahren in Frühwarnsystemen, eingereicht im November 2012. Teile der Studienarbeit sind in Abschnitt 6.4.4.4 eingegangen.

12 Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1: | Fokus der Arbeit..... | 7 |
| Abbildung 2: | Aufbau der Arbeit | 8 |
| Abbildung 3: | Ebenen des Supply Chain Managements (in Anlehnung an BENSEL ET AL. 2008)..... | 13 |
| Abbildung 4: | Kundenentkopplung in hierarchisch-stabilen Ketten (in Anlehnung an OLHAGER 2003, MELZER-RIDINGER 2007) | 16 |
| Abbildung 5: | Eingrenzung der durch das Frühwarnsystem zu betrachtenden Abläufe in der Lieferkette..... | 17 |
| Abbildung 6: | Zielsysteme in der Lieferkette (WIENDAHL ET AL. 2012) | 20 |
| Abbildung 7: | Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells (SCHUH & GIERTH 2006b)..... | 21 |
| Abbildung 8: | Lücke zwischen der Informations- und Materialebene (in Anlehnung an PIERL & DÜNNEBACKE 2010)..... | 25 |
| Abbildung 9: | Elemente eines RFID-Systems..... | 26 |
| Abbildung 10: | Informationssysteme in Produktion und Logistik (in Anlehnung an MEYER 2007, VDI-RICHTLINIE 5600 2007)..... | 27 |
| Abbildung 11: | Zeitlicher Verlauf von Störungen (in Anlehnung an HEIL 1995, FISCHÄDER 2007) | 37 |
| Abbildung 12: | Überblick zu Strategien des Störungsmanagements (in Anlehnung an SCHWARTZ 2004) | 39 |
| Abbildung 13: | Die Zeitschere (in Anlehnung an BLEICHER 1996)..... | 44 |
| Abbildung 14: | Phasen der Frühwarnung (in Anlehnung an CZAJA 2009) | 45 |
| Abbildung 15: | Hauptprozesse des SCOR-Modells (in Anlehnung an SCC 2010)..... | 48 |
| Abbildung 16: | Typen von EPCIS-Ereignissen (in Anlehnung an EPCGLOBAL 2007) | 51 |
| Abbildung 17: | Überblick zum Referenzmodell | 58 |
| Abbildung 18: | Prozessbausteine im Bereich der Produktion..... | 61 |
| Abbildung 19: | Prozessbausteine im Bereich der Logistik | 62 |
| Abbildung 20: | Beispielhafte Generierung des Prüfende-Ereignisses im Prozessbaustein Qualitätssicherung | 65 |
| Abbildung 21: | Integration von Assistenzsystemen im Unternehmen..... | 68 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 22: | Überblick zu den Phasen der Frühwarnung | 72 |
| Abbildung 23: | Indikative Phase als Erweiterung des zeitlichen Verlaufs von Störungen | 74 |
| Abbildung 24: | Kategorien der Frühwarnung im Überblick..... | 75 |
| Abbildung 25: | Regelanwendung innerhalb der produktbezogenen Verfahren | 81 |
| Abbildung 26: | Gestaltung von Planvorgaben des Merkmales Qualität (in Anlehnung an LIN3 2011)..... | 82 |
| Abbildung 27: | Gestaltung von Planvorgaben des Merkmales Zeit | 82 |
| Abbildung 28: | Regelanwendung innerhalb der prozessbezogenen Verfahren | 84 |
| Abbildung 29: | Beispielhafter Aufbau einer Qualitätsregelkarte..... | 86 |
| Abbildung 30: | Regelbasis der prozessbezogenen Verfahren..... | 87 |
| Abbildung 31: | Regelanwendung innerhalb der lieferantenbezogenen Verfahren..... | 90 |
| Abbildung 32: | Regelbasis der lieferantenbezogenen Verfahren..... | 91 |
| Abbildung 33: | Ablauf zur Erweiterung der Wissensbasis | 94 |
| Abbildung 34: | Initialisierung der Wissenserweiterung und Musterbestimmung | 95 |
| Abbildung 35: | Wesentliche Bestandteile einer Frühwarninformation | 99 |
| Abbildung 36: | Ablauf des adaptiven Störungsmanagements | 102 |
| Abbildung 37: | Überblick zu den Restriktionen des Störungsmanagements | 103 |
| Abbildung 38: | Überblick zu den Zielgrößen des Störungsmanagements | 105 |
| Abbildung 39: | Überblick zu produktbezogenen Entstörungsstrategien .. | 112 |
| Abbildung 40: | Überblick zu prozessbezogenen Entstörungsstrategien... | 114 |
| Abbildung 41: | Überblick zu lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien..... | 115 |
| Abbildung 42: | Aufbau der Demonstrationsplattform | 120 |
| Abbildung 43: | Integration der RFID-Technologie in Abläufe der Logistik (Foto 1) und der Produktion (Foto 2); (Bilder: Asja Schubert) | 121 |
| Abbildung 44: | Aufbau des Zahnradgetriebes | 122 |
| Abbildung 45: | Informationsbereitstellung über das ME-System | 124 |
| Abbildung 46: | Überblick zum frühwarnbasierten Störungsmanagement..... | 125 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 47: | Ergebnis der automatisierten Qualitätsprüfung des Getriebegehäuses | 126 |
| Abbildung 48: | Umsetzung bei dem Automobilzulieferer (Fotos: REINHART ET AL. 2013a)..... | 128 |
| Abbildung 49: | RFID-basierte Generierung sowie überbetrieblicher Austausch von Ereignisinformationen im Anwendungsszenario | 129 |
| Abbildung 50: | Aufbau des Simulationsmodells..... | 131 |
| Abbildung 51: | Kumulierte Durchlaufzeiten der Aufträge in der Planungsperiode (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2011b)..... | 134 |
| Abbildung 52: | Aufbau des Simulationsmodells..... | 135 |
| Abbildung 53: | Termintreue: (a) Gesamt; (b) Von Störung betroffene Aufträge (in Anlehnung an GENC ET AL. 2014) | 138 |
| Abbildung 54: | Anzahl der verspätet ausgelieferten Produkte in den Szenarien der Simulation (in Anlehnung an GENC ET AL. 2014) | 139 |

13 Tabellenverzeichnis

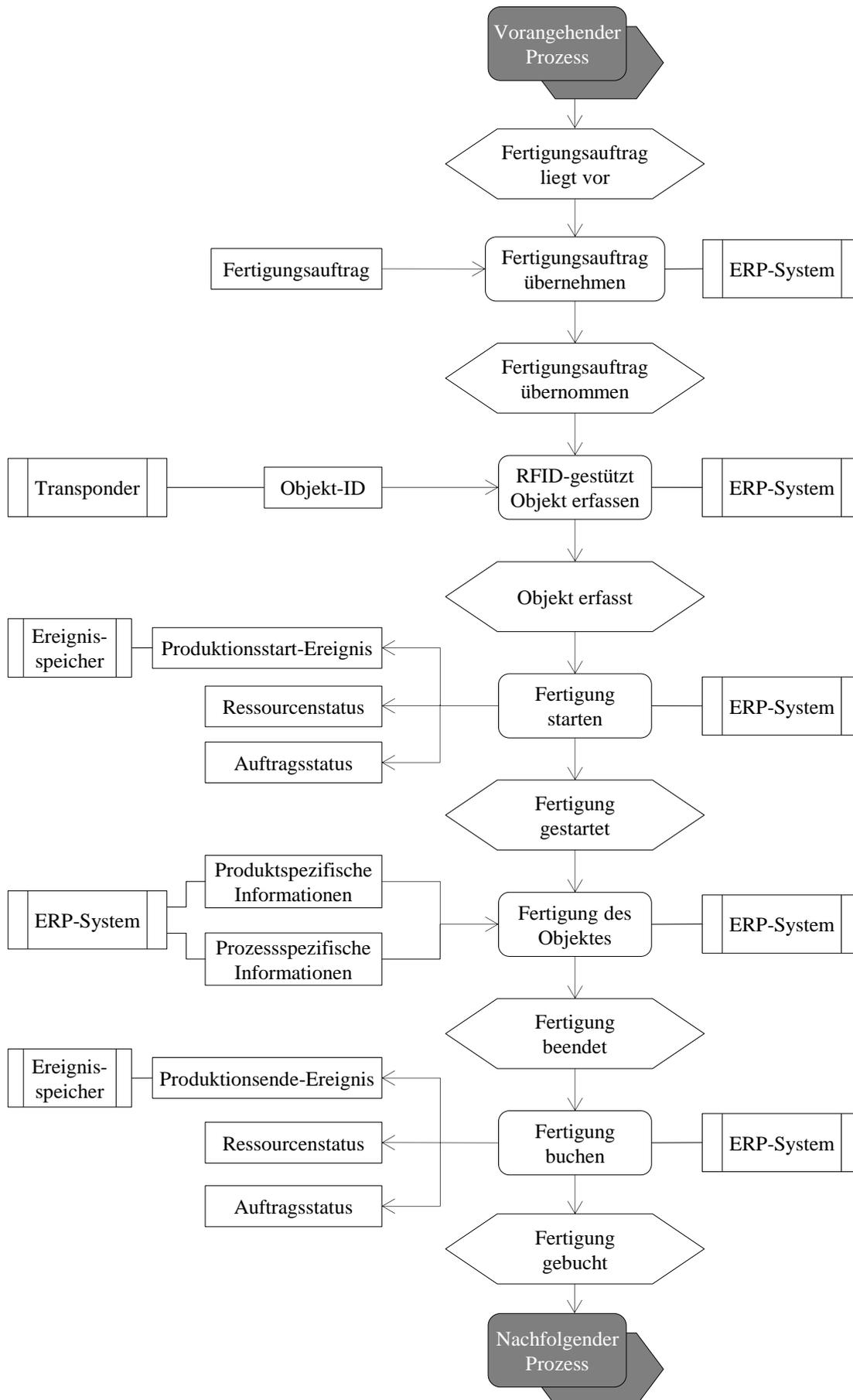
| | | |
|------------|--|-----|
| Tabelle 1: | Maßnahmenkatalog zu produktbezogenen Entstörungsstrategien..... | 113 |
| Tabelle 2: | Maßnahmenkatalog zu prozessbezogenen Entstörungsstrategien | 114 |
| Tabelle 3: | Maßnahmenkatalog zu lieferantenbezogenen Entstörungsstrategien | 116 |
| Tabelle 4: | Konfiguration der Simulationsszenarien (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2011b)..... | 132 |
| Tabelle 5: | Konfiguration der Simulationsszenarien (in Anlehnung an GENC ET AL. 2014) | 136 |
| Tabelle 6: | Ermittlung der einmaligen Investitionskosten im Referenzszenario | 144 |
| Tabelle 7: | Ermittlung der laufenden Kosten im Referenzszenario .. | 145 |

14 Anhang

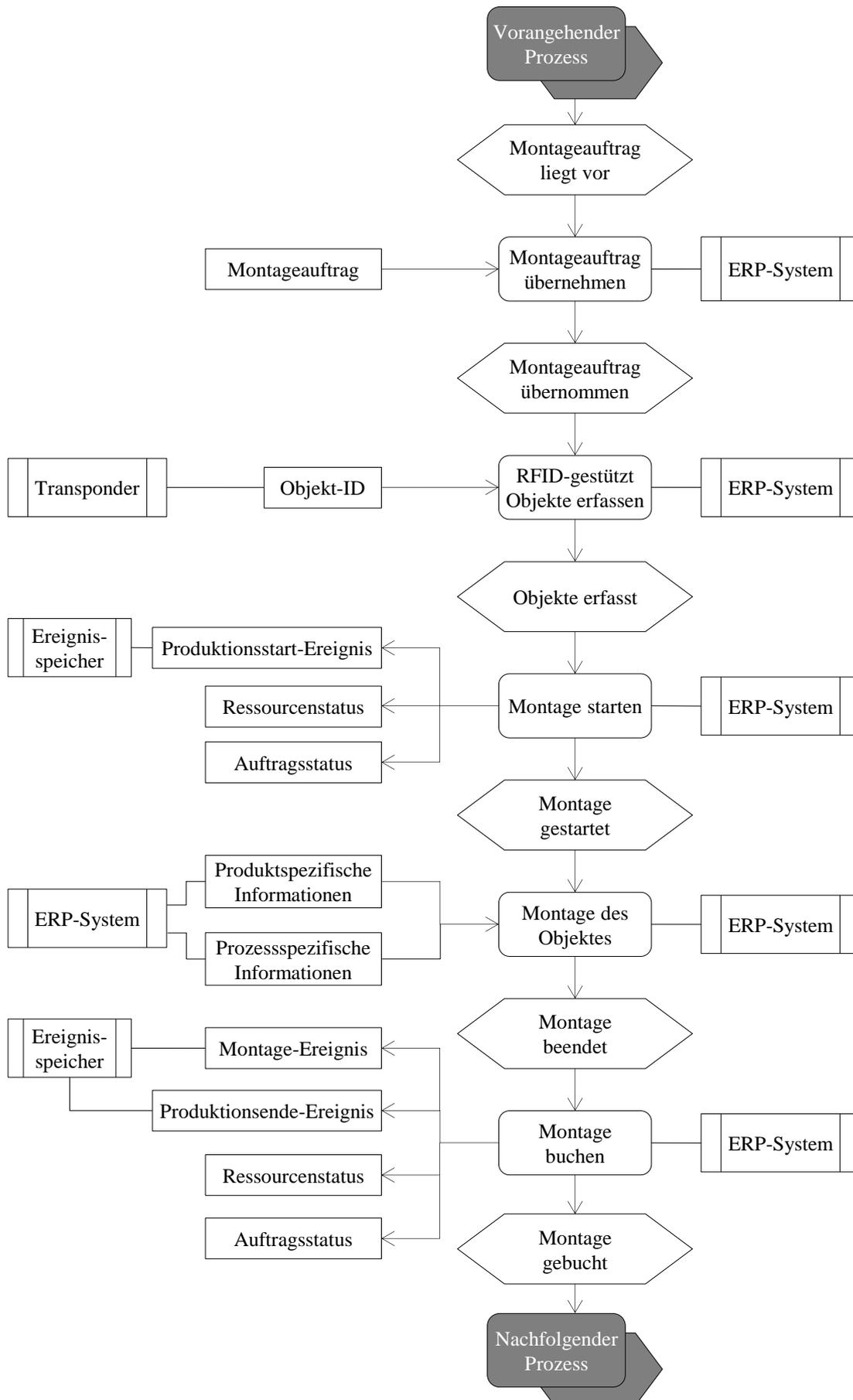
14.1 Modellierung der Prozessbausteine

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Prozessbausteine im Umfeld der Produktion und Logistik bestimmt und in Form von eEPK abgebildet. Im Folgenden erfolgt die Darstellung der einzelnen Modelle. Hierbei wird zunächst auf die Modelle zur Beschreibung der Abläufe im Bereich der Produktion eingegangen. Darauf aufbauend erfolgt die Spezifikation der Modelle im Bereich der Logistik.

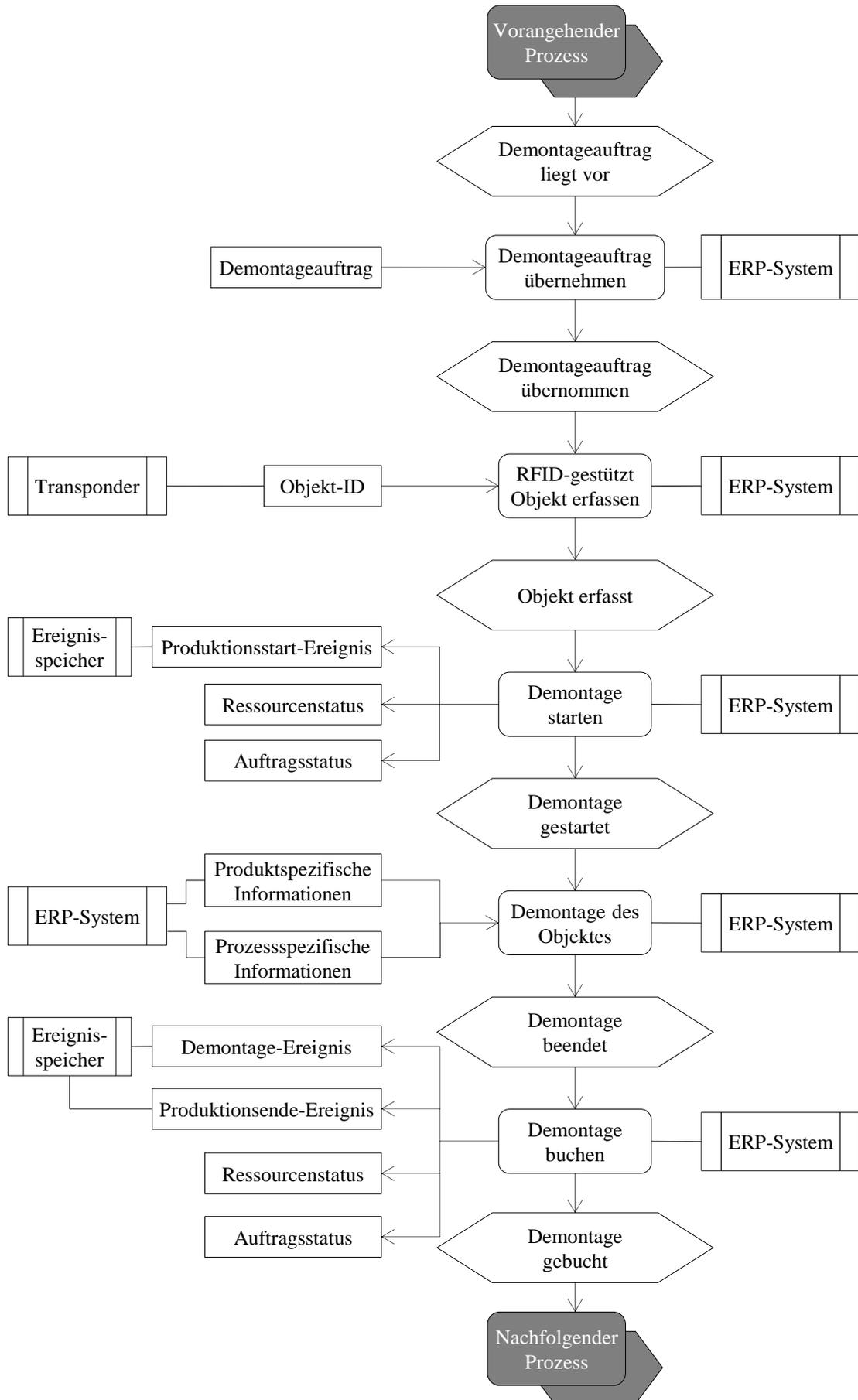
Produktion: Prozessbaustein Fertigung



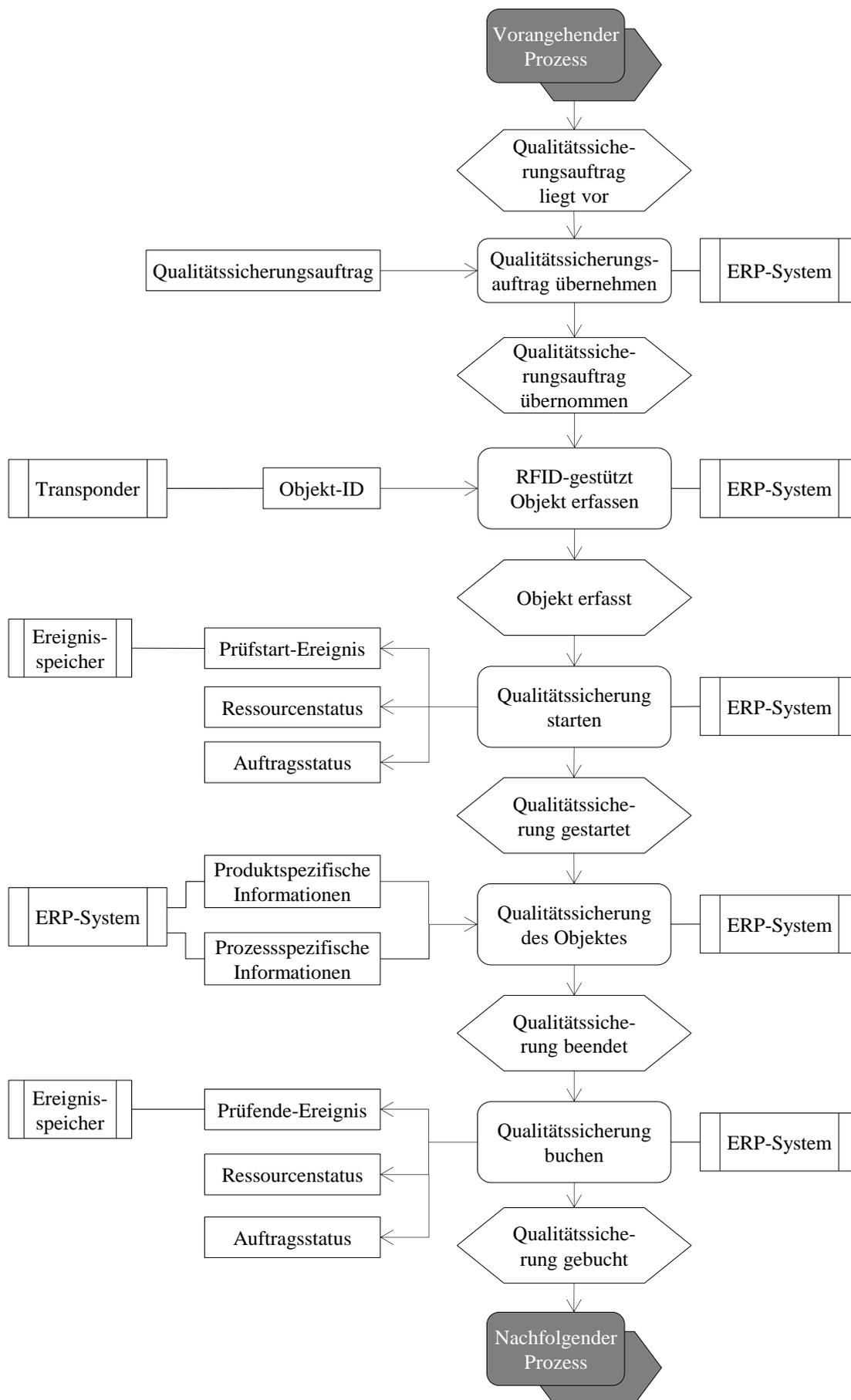
Produktion: Prozessbaustein Montage



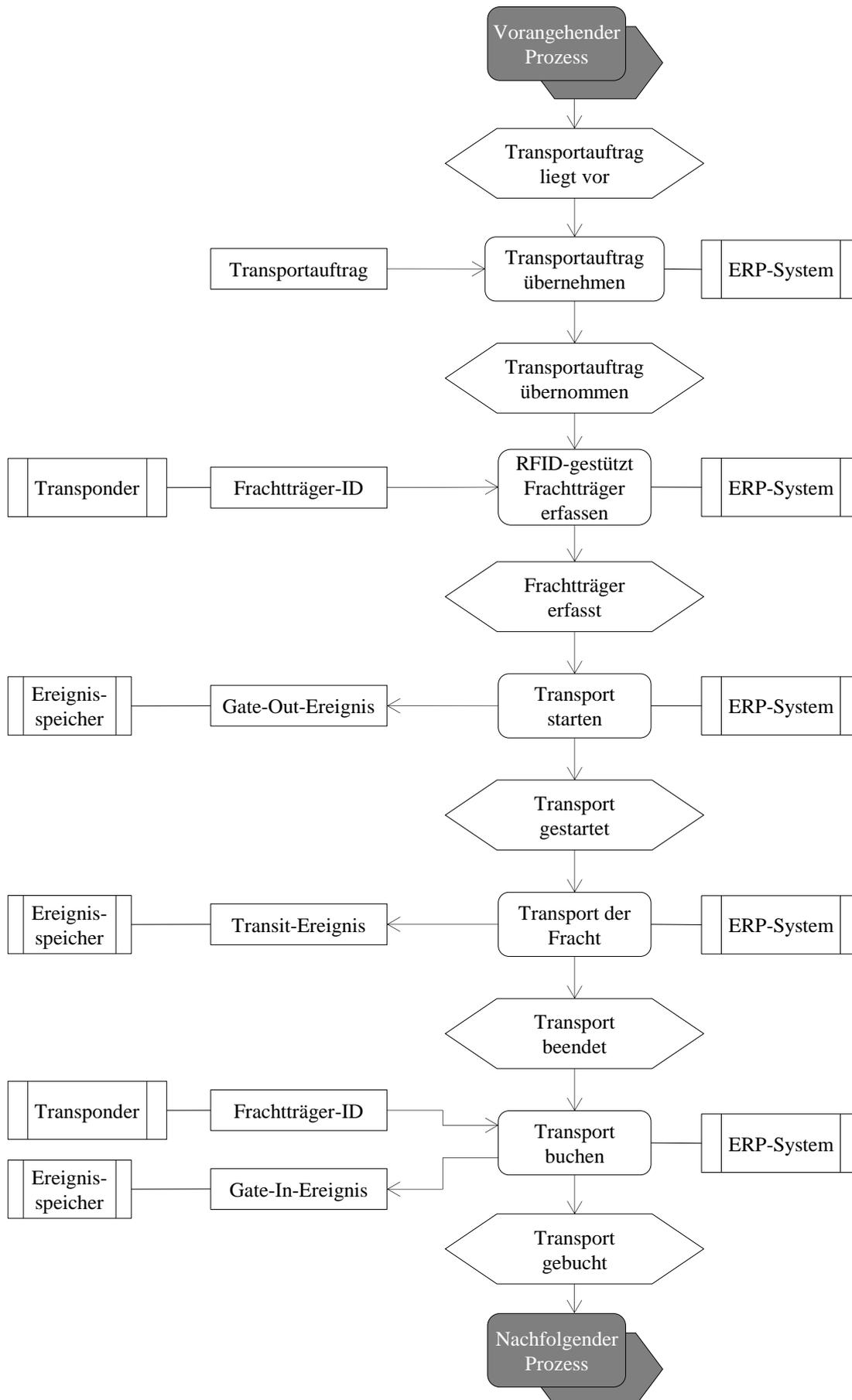
Produktion: Prozessbaustein Demontage



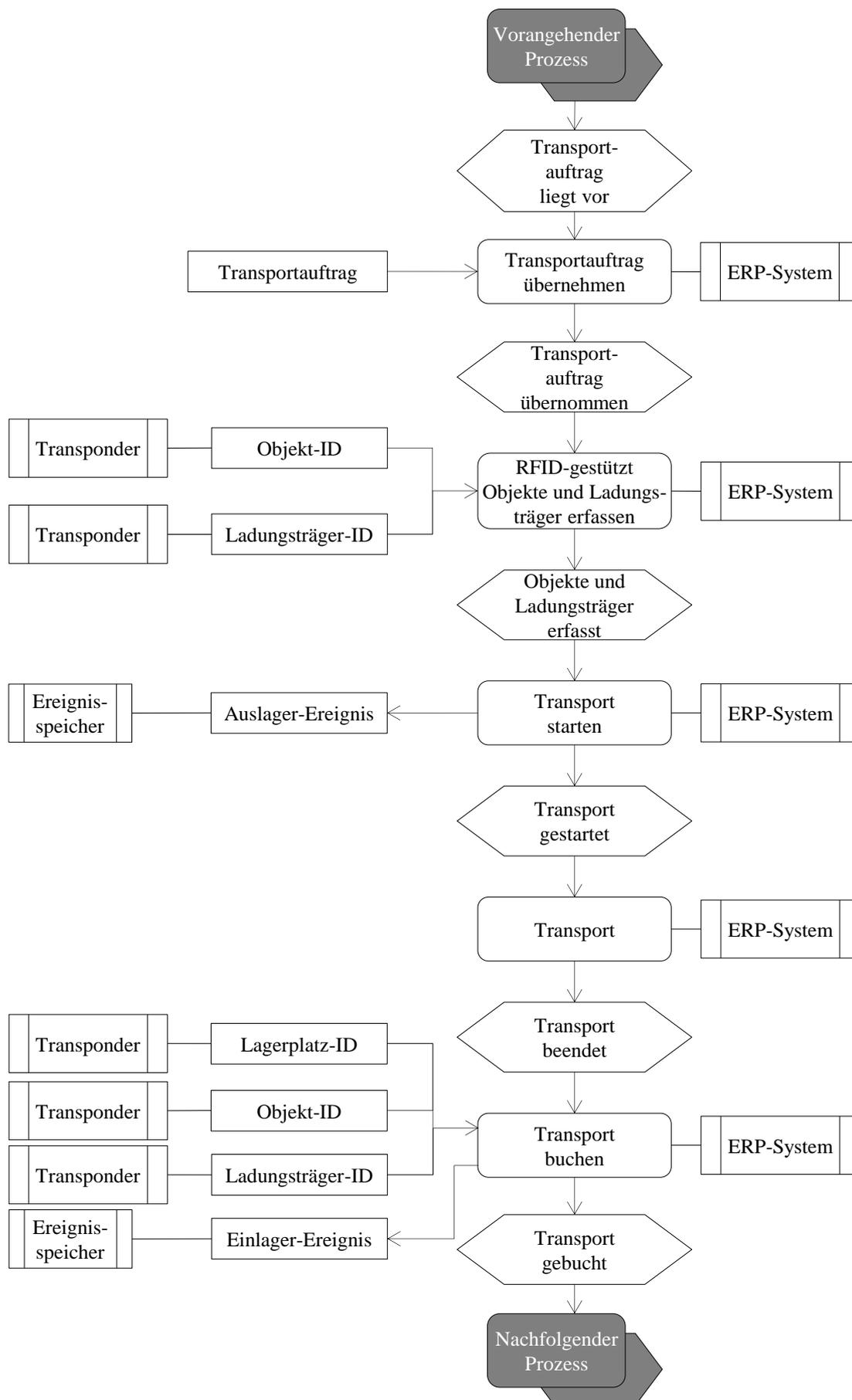
Produktion: Prozessbaustein Qualitätssicherung



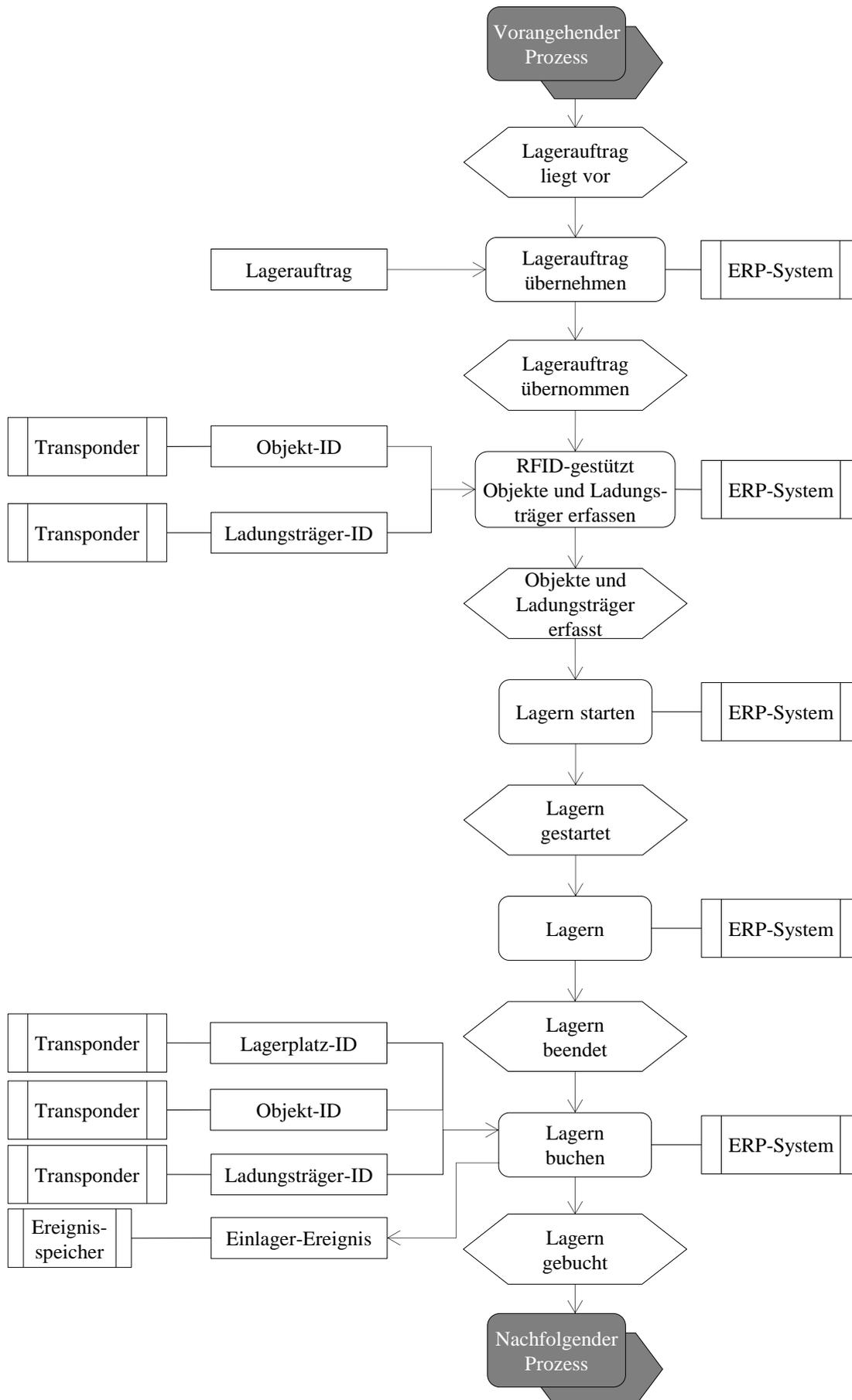
Logistik: Prozessbaustein Außerbetrieblicher Transport



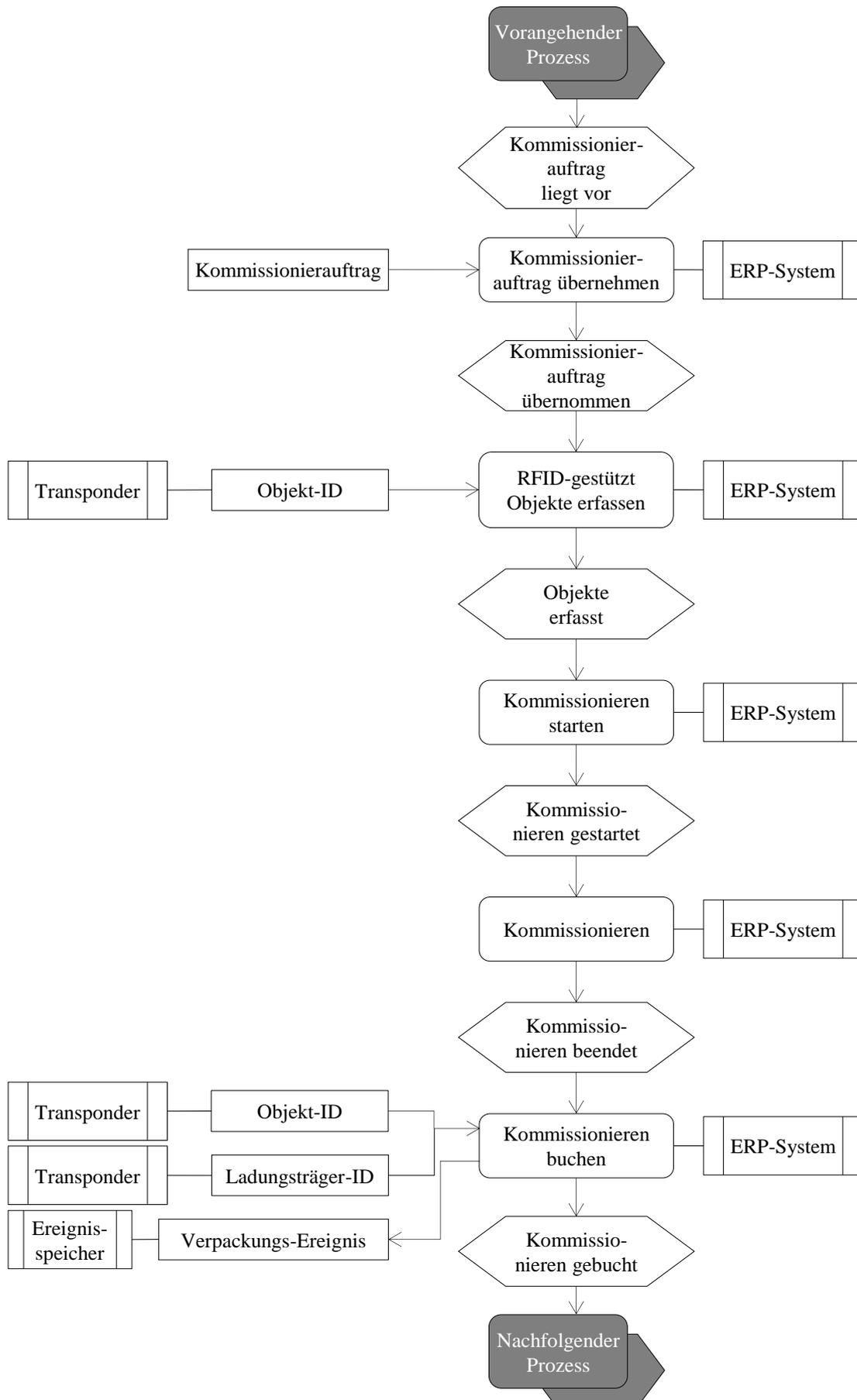
Logistik: Prozessbaustein Innerbetrieblicher Transport



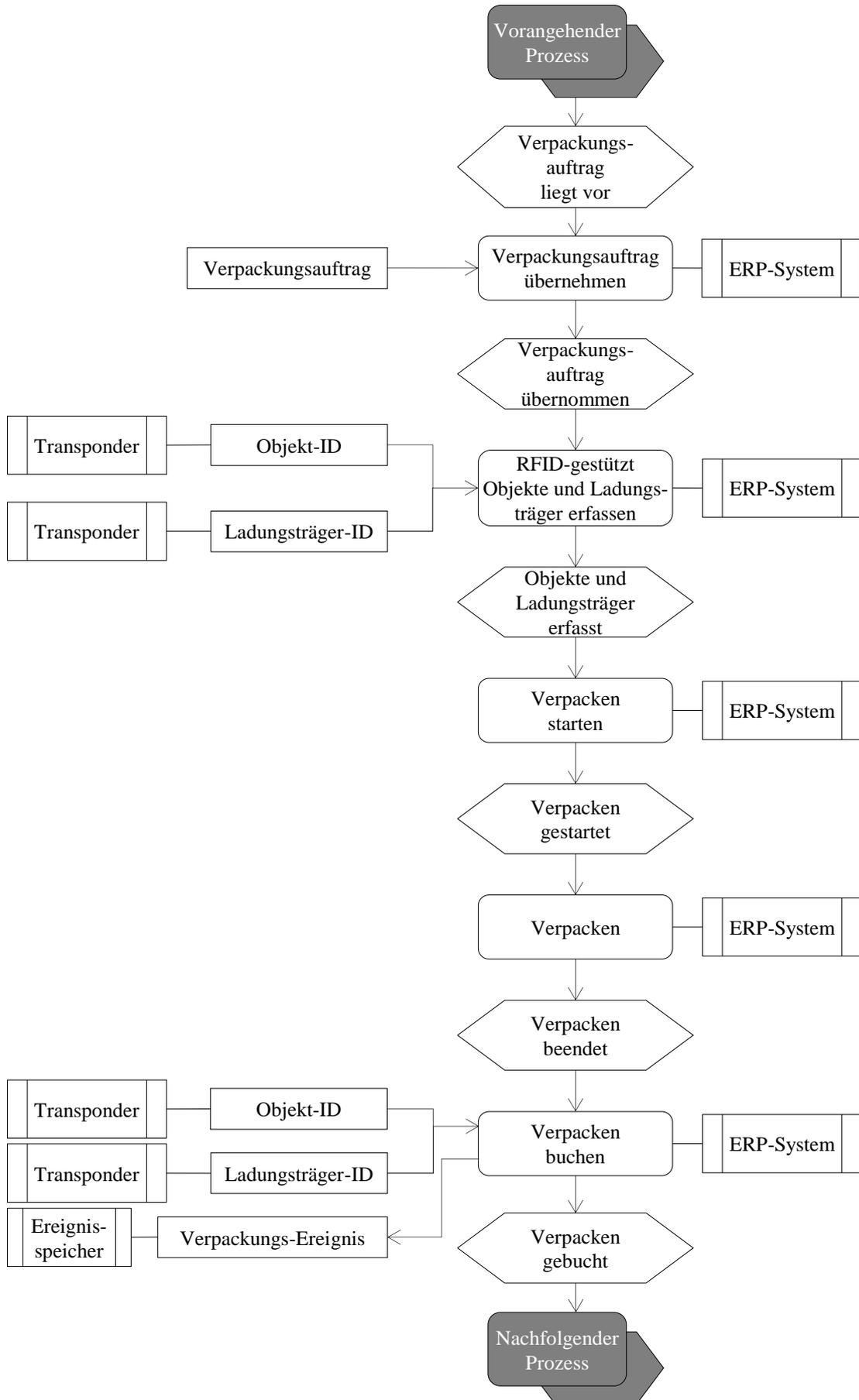
Logistik: Prozessbaustein Lagern



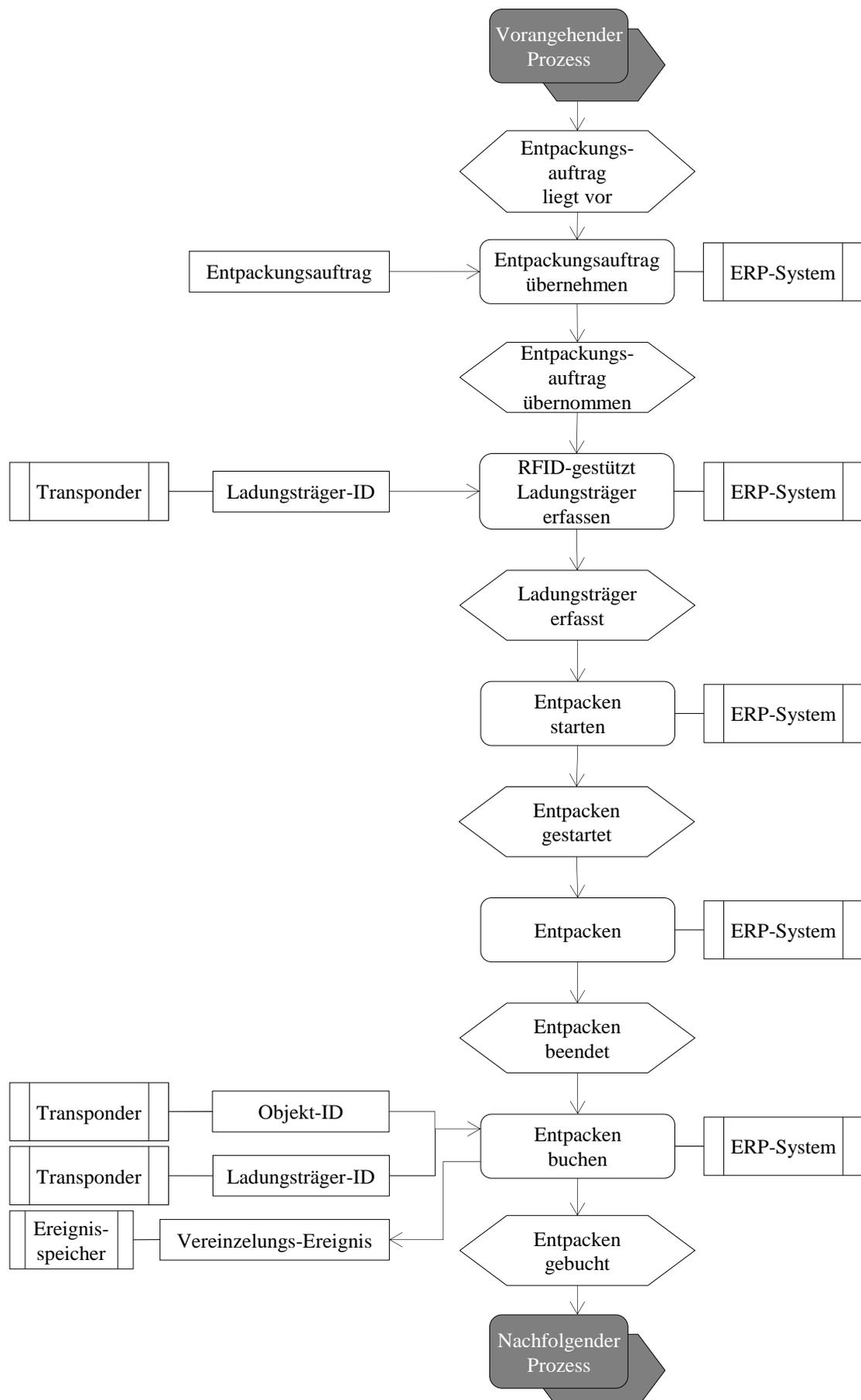
Logistik: Prozessbaustein Kommissionierung



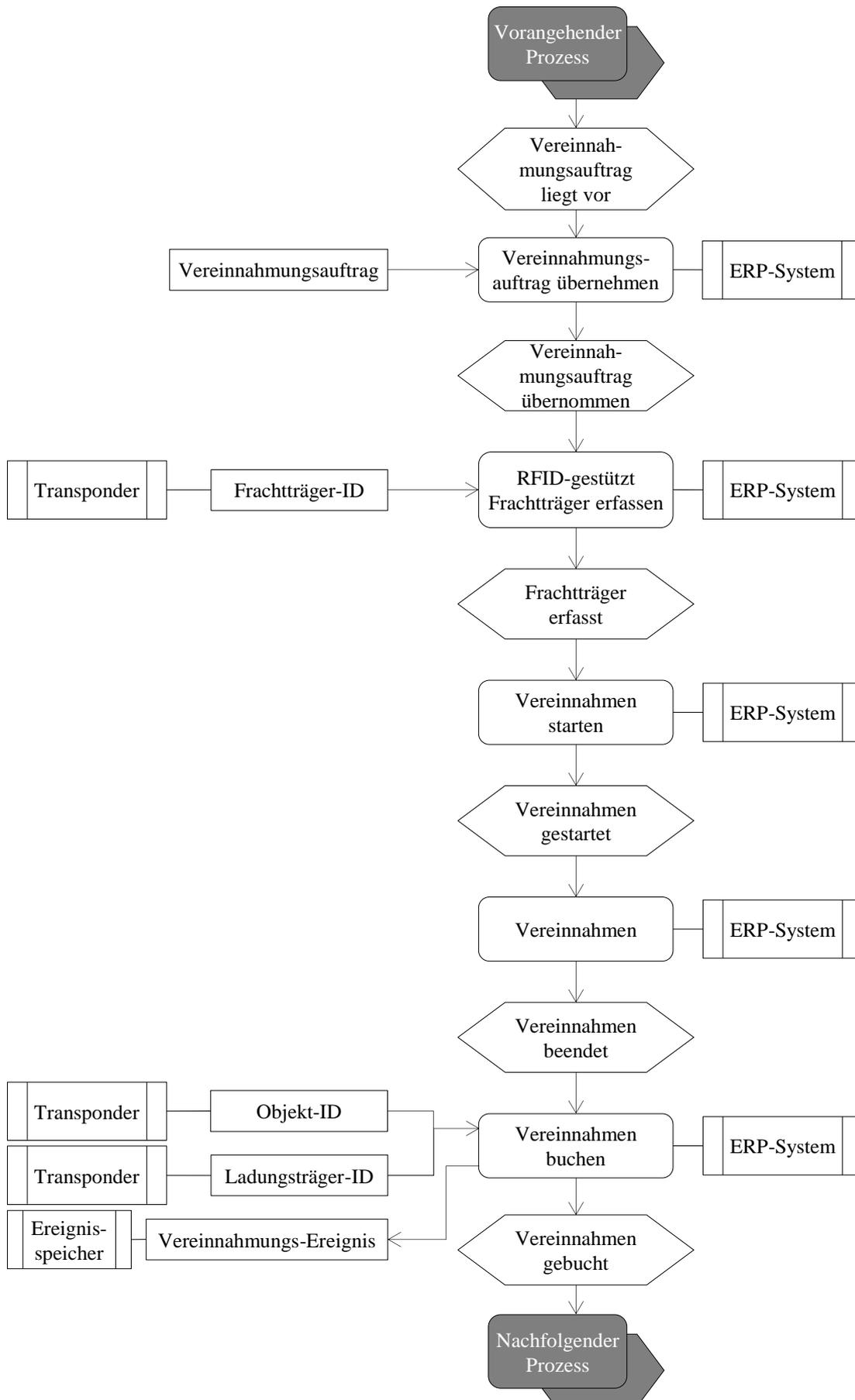
Logistik: Prozessbaustein Verpacken



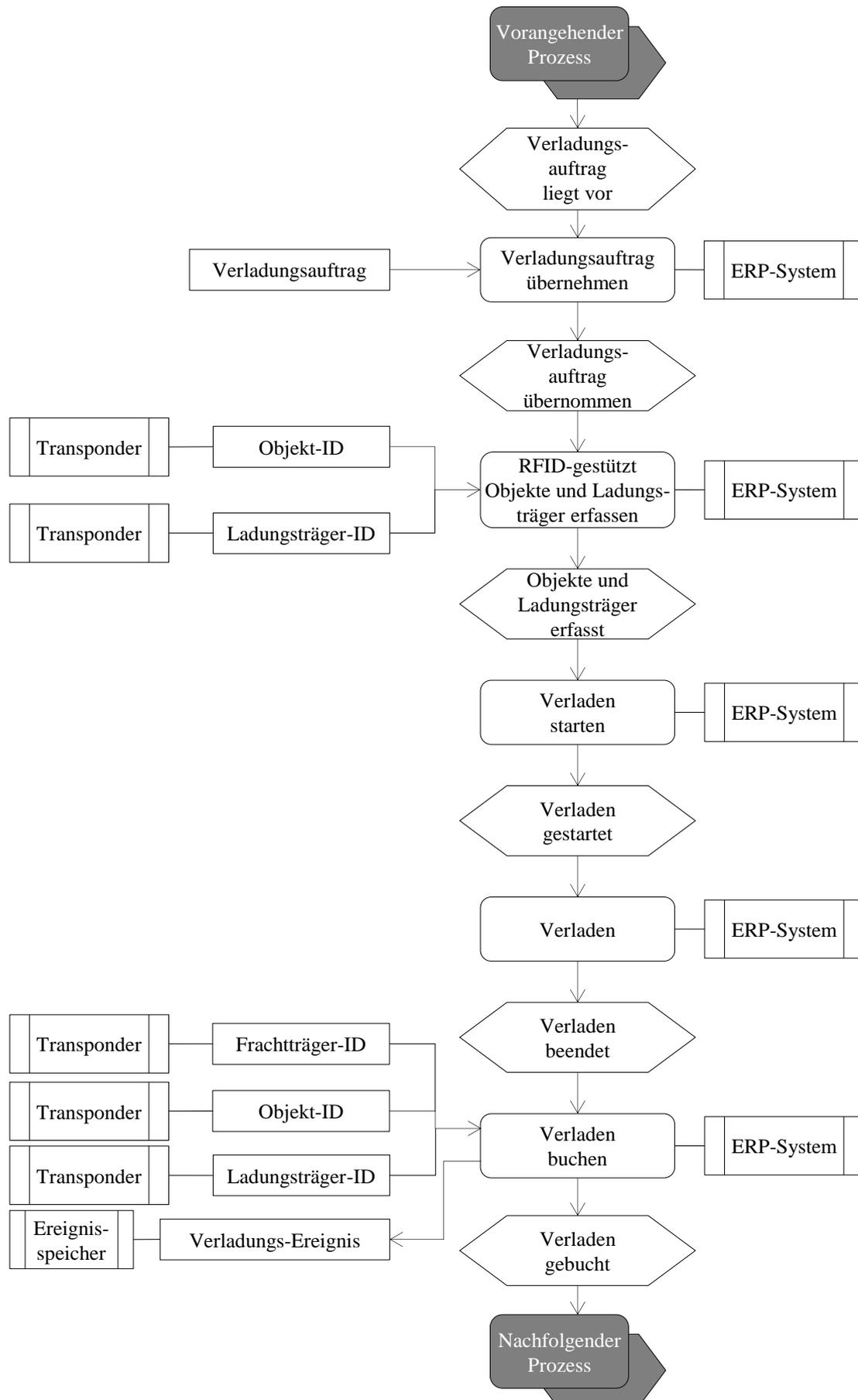
Logistik: Prozessbaustein Entpacken



Logistik: Prozessbaustein Vereinnahmung



Logistik: Prozessbaustein Verladung



14.2 Ereignismatrix

| Merkmals Ereignis | Status Identität / Zeit Prozessbaustein / Lokation | Zustand Qualität | Typ |
|------------------------------------|--|---------------------|-------------|
| Auslagern | X | O | Objekt |
| Demontage | X | O | Aggregation |
| Einlagern | X | O | Objekt |
| Gate-In | X | O | Objekt |
| Gate-Out | X | O | Objekt |
| Montage | X | X | Aggregation |
| Produktionsende | X | X | Objekt |
| Produktionsstart | X | O | Objekt |
| Prüfende | X | X | Objekt |
| Prüfstart | X | O | Objekt |
| Transit | X | O | Objekt |
| Vereinnahmung | X | O | Objekt |
| Vereinzelung | X | O | Aggregation |
| Verladung | X | O | Aggregation |
| Verpackung | X | O | Aggregation |

Legende

X : Zu beschreiben

O : Nicht zu beschreiben

14.3 Genutzte Softwareprodukte

CrossTalk

noFilis AutoID GmbH, Lise-Meitner Straße 7, 85737 Ismaning

HALCON

MVTec Software GmbH, Neherstraße 1, 81675 München

Microsoft® Office

Microsoft Deutschland GmbH, Konrad-Zuse-Straße 1, 85716 Unterschleißheim

Plant Simulation

Siemens Industry Software GmbH & Co. KG, Franz-Geuer-Straße 10,
50823 Köln

SALT Add-ons für SAP®

SALT Solutions GmbH, Landsberger Straße 314, 80687 München

SAP® ERP Central Component

SAP AG, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf

SAP® Manufacturing Execution

SAP AG, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf

SAP® Manufacturing Integration and Intelligence

SAP AG, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf

SAP® Plant Connectivity

SAP AG, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf

SIMATIC RF-MANAGER

Siemens AG, Wittelsbacherplatz 2, 80333 München