

Produktionsbasiertes Management von Störereignissen der Lieferkette

Spezifikation und Evaluation von Kritikalitätsmodellen für die präventive, RFID-basierte Prozessüberwachung

Dipl. Wirtsch.-Ing. **G. Heinecke**, M.Sc., Siemens AG, München

Dr.-Ing. **R. Lepratti**, Siemens AG, Nürnberg

Dr. **S. Lamparter**, Siemens AG, München

Prof. **K. Wegener**, ETH Zürich, Zürich

Kurzfassung

Moderne Lieferketten sind aufgrund hoher Komplexität und enger Kopplung anfällig gegenüber Störereignissen. Präventive Maßnahmen zu deren Vermeidung (z.B. durch Dual Sourcing) sind dabei nicht in der Lage deren Auftreten völlig auszuschließen. Daher besteht ein Bedarf an Systemen, die Störereignisse frühzeitig erkennen und unmittelbare Reaktionen einleiten, um Auswirkungen (z.B. auf die Liefertreue) zu vermeiden. Der Fokus dieses Beitrags liegt dabei auf Systemen, die eine Adressierung von Störungen direkt in der Produktion erlauben. Hierfür müssen einerseits aktuelle Statusinformationen über Objekte der Lieferkette in der Produktion zur Verfügung stehen und andererseits Grenzwerte für Störungen definiert sein. Beide Aspekte werden in diesem Beitrag adressiert. Unter weitgehender Nutzung von Standards wird eine Systemarchitektur entwickelt, die eine Kopplung von Überwachungssystemen der Lieferkette mit einem Produktionsassistenzsystem ermöglicht. Für die Definition von Grenzwerten, bei deren Überschreitung Reaktionen erfolgen, wird mit Hilfe einer Korrelationsanalyse ein Kritikalitätsmodell entwickelt und dann anhand einer Simulation evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das Modell gute Ergebnisse bei logistischen und finanziellen Kenngrößen erzielt und somit ein produktionsbasiertes Management von Lieferkettenstörungen Mehrwert verspricht.

1. Motivation

Gemäß [1] sind Lieferketten seit Jahren zwei wesentlichen Entwicklungen unterlegen. Erstens, einer hohen und steigenden Komplexität durch die globale Vernetzung und enge Kopplung von Unternehmen (Global- und Single Sourcing), die zu wachsenden Koordinationsaufwänden in der Lieferkette führen. Zweitens, einer zunehmenden Verschlinkung der Lieferkette durch die industrieübergreifende Tendenz, Prinzipien des

Toyota Production System zu implementieren und im Zuge dessen Zeit- und Bestandspuffer drastisch zu reduzieren (Lean Management). Den Einfluss dieser Trends unterstreicht eine Studie über die Risikowahrnehmung in der deutschen Automobilindustrie [2]. Die These, dass zunehmende Komplexität und Effizienz ein erhöhtes Risiko für eine Lieferkette darstellen, konnte nicht widerlegt werden. Vielmehr steigt mit zunehmender Komplexität die Wahrscheinlichkeit von Störereignissen, die kleine Puffer nicht kompensieren können [3]. Präventive Ansätze wie Dual Sourcing können daher zwar die Wahrscheinlichkeiten für Zulieferausfälle reduzieren, sie aber nicht gänzlich ausschließen. Somit werden Systeme und Konzepte benötigt, die Lieferkettenstörungen frühzeitig erkennen und deren Auswirkungen beherrschen. Dabei ist zu beachten, dass sich verschiedene Störungen auch in unterschiedlichem Maße auswirken können. In Abhängigkeit vom Ausmaß, lassen sich nach [4] drei Ereignisklassen unterscheiden, nämlich untergeordnete Störfälle (leichte Abweichungen von Sollwerten), Störungen und Katastrophen (Abbildung 1).

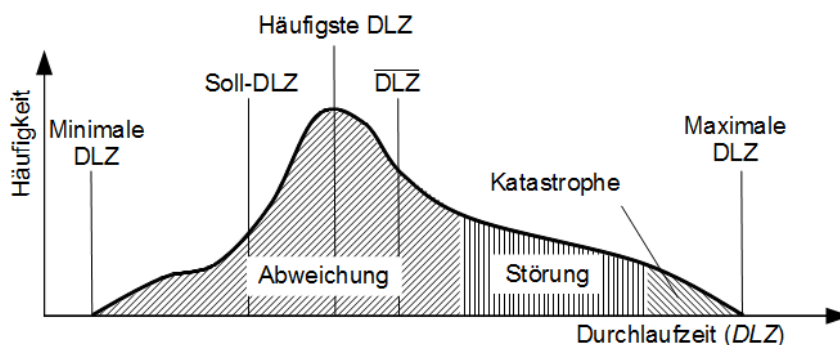


Abbildung 1: Zuordnung der Ereignisklassen zu unterschiedlichen Durchlaufzeiten (DLZ)

Aufgrund der engen Kopplung von Unternehmen ist nun eine unmittelbare Beherrschung der Störung in der Logistik nicht immer möglich. Eine frühzeitige Erkennung und Kommunikation von Ereignissen würde in diesem Fall einem Produktionsassistenzsystem (PAS) die Möglichkeit geben, Auswirkungen durch gezielte Eingriffe in Produktionsplanung und – durchführung zu reduzieren [5]. Hierfür ist wiederum eine unternehmensübergreifende Auftragsverfolgung durch z.B. RFID-basierte Überwachungssysteme und deren Verzahnung mit der Fertigungsleitebene nötig. Allerdings verdeutlicht eine Studie der Automobilindustrie die anhaltende Skepsis der Praxis gegenüber weitreichenden RFID-Einführungen [6]: standort- und unternehmensübergreifende Anwendungen werden seltener umgesetzt als standortinterne RFID-Lösungen. Gründe hierfür sind vielseitig wie z.B. Datensicherheit und – besitz sowie finanzieller und operativer Mehrwert [7]. Dieser Beitrag soll der Skepsis begegnen und zeigen, dass Transparenz in der Lieferkette Mehrwert verspricht, wenn diese

Daten unternehmensübergreifend zur Verfügung stehen. Ein PAS könnte dann Problemen in der Produktion vorbeugen. Folgende Fragestellungen werden in diesem Beitrag adressiert:

- Wie kann eine Kopplung zwischen RFID-basierten Überwachungssystemen der Lieferkette und der Fertigungsleitebene eines Unternehmens erfolgen, sodass ein produktionsbasiertes Management von Lieferkettenstörungen ermöglicht wird?
- Wie lassen sich kritische Ereignisse („Events“) effektiv identifizieren und in Bezug zu logistischen und finanziellen Kenngrößen setzen?

Der Beitrag gliedert sich in zwei Bestandteile. Im ersten Teil wird das Konzept des Supply Chain Event Management (SCEM) mit dessen Komponenten vorgestellt. In Abschnitt 2 wird es für das vorgeschlagene PAS adaptiert, sodass benötigte Funktionalitäten grob vorliegen. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3 die Grundvoraussetzung für ein PAS, die Kopplung von Überwachungssystemen der Lieferkette mit der Fertigungsleitebene, anhand einer konzeptionellen Systemarchitektur präsentiert. Es wird gezeigt, dass heutige Standarddatenschnittstellen diese Kopplung bereits zulassen und somit unmittelbare Reaktionen auf Ereignisse, wie sie auch das SCEM vorsieht, möglich sind.

Der zweite Teil des Beitrags widmet sich dann der nächsten Voraussetzung für die Schaffung einer reaktiven Produktion: das frühzeitige Erkennen kritischer Ereignisse. In Abschnitt 4 wird dazu ein Kritikalitätsmodell auf Basis einer Korrelationsanalyse entwickelt. Dieses dient der dynamischen Bestimmung von Grenzwerten bei deren Überschreitung eine Reaktion eingeleitet wird. Dabei liegt der Fokus auf Grenzwertbestimmungen für Abweichungsereignisse (vgl. Abbildung 1), da diese im Vergleich zu Störungen und Katastrophen unscheinbarer in Erscheinung treten und somit schwer zu identifizieren sind. In Abschnitt 5 wird dann mit logistischen und finanziellen Kenngrößen der Ansatz simulativ evaluiert. Eine Zusammenfassung des Beitrags und ein Ausblick erfolgen in Abschnitt 6.

2. Produktionsbasiertes Management von Ereignissen der Lieferkette

Die bisherigen Ausführungen haben aufgezeigt, dass die termingerechte, deterministische Planung, wie sie in Unternehmen angestrebt wird, durch stochastisch auftretende Ereignisse („Events“) stark beeinflusst werden kann. Ein Event kann dabei als Statusveränderungen eines eindeutig identifizierten Objektes (Merkmalsveränderungen, Koordinaten in Raum und Zeit) verstanden werden, die von bestimmten Adressaten einer Lieferkette als wesentlich erachtet werden [8]. Weicht also ein Ist-Zustand über einen Grenzwert hinaus vom Soll-Zustand ab, so liegt ein kritisches Ereignis für diese Adressaten

vor und ein Handlungsimpuls wird verlangt. Dabei kann es sich sowohl um eine Zielunter- sowie Zielüberschreitung handeln. Folglich können Events in negativer und positiver Form als eine Fehl- bzw. Überleistung der Prozesskette in Erscheinung treten [8].

Für die Beherrschung von Events gibt es präventive und reaktive Maßnahmen [2]. Während ersteres die Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen verringert (Supply Chain Risk Management), sollen mit letzterem die negativen Auswirkungen nach Eintritt eines Events kompensiert werden. Die Realität zeigt, dass Events nicht völlig ausgeschlossen werden können und daher ein Bedarf an Systemen besteht, die deren Auswirkungen adressieren.

Hierfür findet sich in der Literatur der Ansatz des Supply Chain Event Management (SCEM). Laut [8] ist es das Ziel von SCEM *„ohne vermeidbaren Zeitverzug auf Störungen, sogenannte Events, adäquat zu reagieren, um so die Auswirkungen auf die Supply Chain so gering wie möglich zu halten.“* Ein SCEM umfasst fünf Kernfunktionalitäten ([9]; vgl. Abbildung 2). In diesem Beitrag dienen sie als Richtlinie für die Ableitung der Fähigkeiten, die ein PAS aufweisen muss. Ähnlich zu einem Deming-Zyklus reichen sie von der einfachen Überwachung spezieller Kennwerte bis hin zur Überprüfung der Effektivität der Reaktion, die aufgrund eines Events eingeleitet wurde. Um diese Bandbreite an Aufgaben abdecken zu können, muss ein PAS auf eine Vielzahl von Methoden zurückgreifen können.

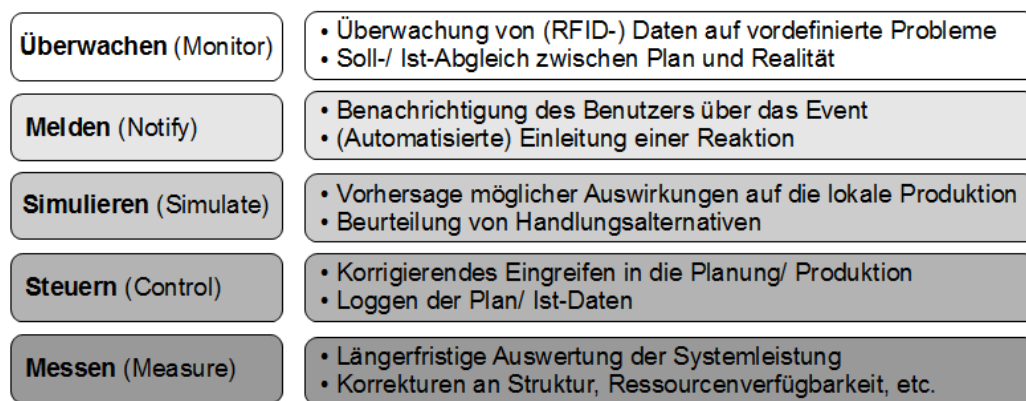


Abbildung 2: Funktionalitäten eines Produktionsassistenzsystems (PAS)

Bevor dies jedoch geschehen kann, muss eine enge Verzahnung der Informationsflüsse, von Überwachungssystemen der Lieferkette zur Überwachungskomponente eines PAS, gegeben sein. Sie ist die Basis für ein an SCEM-angelehntes, produktionsbasiertes Management von Ereignissen der Lieferkette. Ohne aktuelle Objektinformationen aus der Lieferkette sind die fünf Komponenten aus Abbildung 2 nicht umsetzbar. Aus diesem Grund wird im nächsten Abschnitt eine mögliche Systemarchitektur vorgestellt.

3. Vorstellung einer standardisierten Systemarchitektur

Abschnitt drei präsentiert eine generische, auf Standards basierende Architektur zur Integration von logistischen Überwachungssystemen in die Fertigungsleitebene auf Basis eines Produktionsassistenzsystems (PAS). Ziel hierbei ist die Bereitstellung von Objektverfolgungsdaten aus der Lieferkette zur Optimierung der Fertigungsauftragssteuerung.

3.1 Systemarchitektur

Eine Hauptanforderung an die Systemarchitektur ist die weitgehende Verwendung von Standards. Sie beruht zum einen auf dem Bedarf nach einer unternehmensübergreifenden Objektverfolgung, welche nur mittels standardisierten Datenstrukturen und Kommunikationsprotokollen gewährleistet werden kann, und zum anderen auf der Notwendigkeit die Kosten für die RFID Einführung zu senken. Letzteres kann nur durch weitgehenden Einsatz von Standardkomponenten bei gleichzeitiger Vermeidung von teuren Individualösungen gelingen. Dies reicht von Standardlösungen für Transponder am Objekt und Erfassungsinfrastruktur bis hin zu Standardlösungen für Assistenzsysteme, die auf Basis der Objektbewegungsinformationen Mehrwertdienste schaffen.

Als Industriestandard im Bereich RFID-Datenmanagement hat sich über die letzten Jahre das EPC Network von EPCglobal herauskristallisiert [10]. Das EPC Network beinhaltet Standards beginnend von einem eindeutigen Nummerierungssystem für zu verfolgende physische Objekte, dem Electronic Product Code (EPC), über die für den Datenaustausch notwendigen Schnittstellen bis hin zu unternehmensübergreifenden Datenstrukturen. Während die Standards des EPC Network die Versorgung der an einem Geschäftsvorgang beteiligten Unternehmen mit Objektbewegungsdaten spezifiziert, ist die Verwendung der Objektbewegungsdaten in einer Anwendung (z.B. in einem PAS) nicht Gegenstand des Standards. Dies muss daher spezifisch für jede Klasse von Anwendungen bzw. Verwendungsszenarien ausgearbeitet werden. In dieser Arbeit steht die Klasse der PAS, welche auf Basis logistischer Objektbewegungsdaten Empfehlungen für die optimale Steuerung der Produktion geben, im Mittelpunkt der Betrachtung. Zu deren standardisierten Spezifikation wird in dieser Arbeit auf die Norm ISA 95 bzw. IEC 62264 zurückgegriffen, welche die Funktionalitäten eines Manufacturing Execution Systems (MES) – als der Schnittstelle zwischen Unternehmens- und Kontrollebene – definiert.

Abbildung 3 zeigt einen generischen Ansatz, wie mit dem EPC Information System [11] ein konformes, logistisches System mit einem MES für die Fertigungssteuerung kombiniert werden kann. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten der Architektur, wie sie in Abbildung 3 dargestellt sind, sowie deren Zusammenspiel kurz beschrieben.

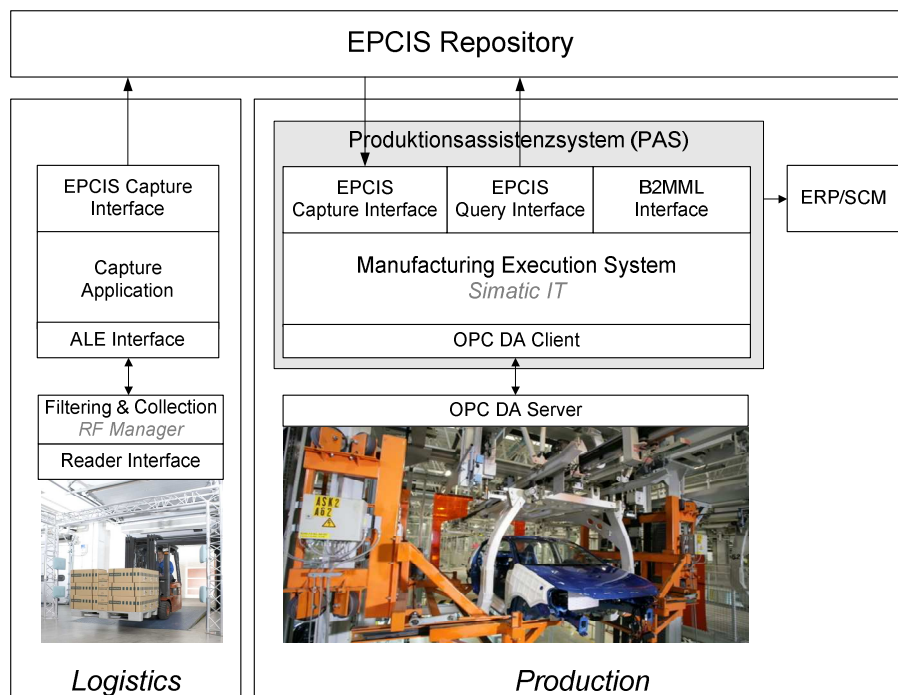


Abbildung 3: Systemarchitektur

3.2 Systemkomponenten

Das MES befindet sich auf Betriebsleitebene mit direkter Anbindung an die Prozessautomatisierung. Die Funktionalitäten umfassen sowohl die Aufnahme und Speicherung von Informationen (z.B. Betriebs- und Maschinendatenerfassung) als auch direkte Eingriffe in die Produktionsplanung oder -durchführung. Da die meisten MES-Lösungen somit bereits heute eine Prozessüberwachungskomponente beinhalten, bilden sie für die Realisierung eines PAS eine gute Ausgangsbasis. Die Umsetzung eines Prototyps wird auf Basis des MES SimaticIT¹ durchgeführt und in [12] detailliert beschrieben.

Durch eine Anbindung an ein EPCIS Repository können zusätzliche Bewegungsdaten von physischen Objekten aus der Logistik dem MES zur Verfügung gestellt werden. Ein EPCIS Repository dient der Speicherung und dem Austausch von Ereignissen aus der Logistikkette – so genannten EPCIS Events. Die Abfrage von Ereignissen wird mittels des EPCIS Query Interface realisiert, während die Speicherung von Ereignissen im Repository mit Hilfe des EPCIS Capturing Interface geschieht. Beide Schnittstellen sind im EPCIS Standard spezifiziert, wobei die Kommunikation auf Basis der Web Service Technologie (z.B. SOAP via HTTP) realisiert wird.

¹ <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/de/manufacturing-execution-system-mes>

Um eine Überwachung der Ereignisse aus der Lieferkette im MES zu realisieren, sind entsprechende Plandaten notwendig, welche die erwarteten Beobachtungen der Objekte definieren. Diese Plandaten werden typischerweise von Drittsystemen wie beispielsweise einem ERP- oder SCM-System zur Verfügung gestellt. Während hierfür in den letzten Jahren oftmals noch anbieterspezifische Lösungen umgesetzt wurden (z.B. SAP IDocs), findet derzeit vermehrt der B2MML-Standard aus der ISA-95-Familie Anwendung.

Hat die Überwachungskomponente im MES Abweichungen zwischen beobachteten Ereignissen (aus dem EPCIS Repository) und den Plandaten (z.B. aus dem ERP) festgestellt, wird eine Reaktion ausgelöst. Dies kann von einer Meldung im Leitstand bis hin zu einem automatischen Eingriff in die Produktion reichen. Falls ein Eingriff in die Prozessautomatisierung notwendig ist, kann dies direkt über die existierenden Protokolle wie z.B. dem OPC (OLE for Process Control) Data Access Standard realisiert werden.

Während in der Produktion die Abfrage und Bereitstellung von Ereignissen mit Hilfe eines MES realisiert werden kann, ist dies bei der reinen Bereitstellung von Objektbewegungsdaten im Logistikbereichen nicht zielführend. Hier kann eine EPCIS Capturing Application gemäß des EPCIS-Standards für die Bereitstellung von Ereignissen entlang der Lieferkette verwendet werden. Eine solche Anwendung hat die Aufgabe, die über die Application Level Events (ALE) Schnittstelle [13] empfangenen RFID-Informationen mit Kontextinformationen (z.B. über den Geschäftsvorgang) anzureichern, gemäß vorher definierten Richtlinien mit Leseberechtigungen zu versehen und an das EPCIS Repository über die EPCIS Capturing Schnittstelle weiterzugeben. Um die Qualität der RFID-Informationen zu erhöhen, sieht der EPCIS-Standard eine Vorverarbeitungskomponenten unter dem Begriff „Filtering & Collection“ vor. Hier werden die rohen RFID-Lesevorgänge lokal am RFID-Erfassungsgerät gefiltert und konsolidiert, bevor sie den höheren Ebenen übergeben werden. Die Integration von RFID-Lesegeräten mit einer darüber liegenden Capturing Application auf Basis des standardisierten ALE Protokolls kann u.a. mit dem SIMATIC RF-Manager realisiert werden.²

4. Modelle zur Grenzwertbestimmung

Nachdem die informationstechnische Kopplung von Überwachungssystemen der Lieferkette mit einem unternehmensinternen Produktionsassistenzsystem (PAS) vorgestellt wurde, ist es nunmehr möglich, die Komponenten aus Abbildung 2 zu adressieren. Der folgende Beitrag beschränkt sich dabei auf die Überwachungs- und Meldungskomponente.

² <http://www.automation.siemens.com/mcmsg/identification-systems/en/rfid-systems/software>

RFID-basierte Überwachungssysteme haben, aufgrund der Fähigkeiten von z.B. Sensor-Transpondern, die Möglichkeit eine Vielzahl an Eigenschaften auszulesen. Bei Temperatur- oder Druckabweichungen sind Grenzwerte jedoch häufig durch Vorschriften geregelt und somit deren Bestimmung unproblematisch. Dies gilt nicht für Terminabweichungen entlang einer Prozesskette. Abbildung 4 verdeutlicht, dass sie unscheinbar und über die Zeit in Erscheinung treten und daher häufig nur unscharfe Aussagen über ihre „Kritikalität“ zugelassen werden. Dies erschwert die Grenzwertbildung an den einzelnen Lesepunkten eines Überwachungssystems im Vergleich zu eindeutigen Störfällen (z.B. Katastrophen).

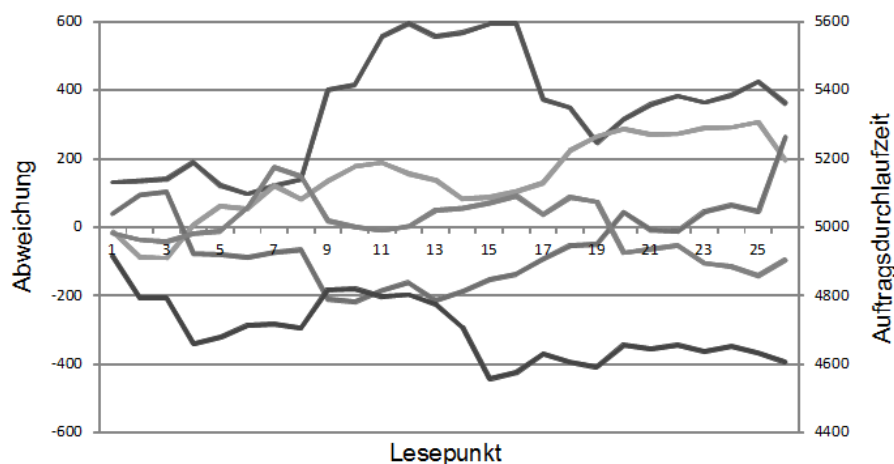


Abbildung 4: Beispielhafte Abweichungsverläufe von der Auftragsdurchlaufzeit

So können sich Abweichungen von der Soll-Auftragsdurchlaufzeit (5000 Zeiteinheiten in Abbildung 4) aufgrund der Prozessvariabilitäten über die Auftragsdurchlaufzeit kumulieren sowie kompensieren. Daraus resultiert eine Dynamik, die eine Grenzwertbestimmung für die Identifikation kritischer Terminabweichungen erschwert, da sich vermutete, kritische Abweichungen über die Zeit wieder relativieren können.

4.1 Referenzansatz zur statischen Grenzwertbestimmung

Ein Ansatz für die Grenzwertbestimmung ist die Definition einer maximal zulässigen Terminabweichung von der geplanten Auftragsdurchlaufzeit (Auftrags-DLZ) in positiver wie negativer Richtung. Abbildung 5 illustriert das Konzept für eine durchschnittliche Auftrags-DLZ von 5000 Zeiteinheiten (ZE) und einer maximal zulässigen Abweichung von 10% in beide Richtungen. Mit der Systemarchitektur aus Abschnitt 3 kann nun ein Vergleich zwischen den Vorgaben aus der ERP-Planung mit den Ist-Daten der Überwachungssysteme durchgeführt werden. Wird ein Auftrag an einem Lesepunkt erfasst und liegt die registrierte

Abweichung nach dem Abgleich über 10% von der bisher vorgesehenen Auftrags-DLZ, würde ein Alarm ausgelöst werden. Der Ansatz resultiert in einer trichterförmigen Steigerung der Grenzwerte bis auf die maximal tolerierte Abweichung am Prozessende. Aufgrund einer Vernachlässigung der Kompensationsmöglichkeiten wird allerdings der Dynamik der Terminabweichungen nur unzureichend Rechnung getragen (vgl. Abbildung 4).

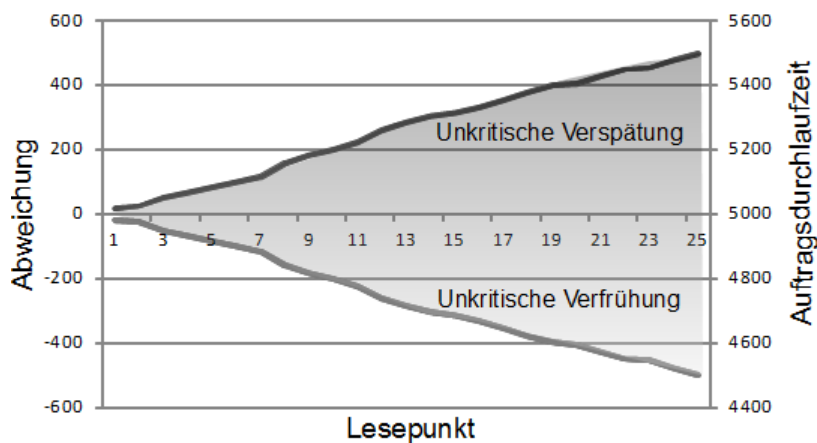


Abbildung 5: Statische Grenzwertbestimmung

4.2 Kritikalitätsmodell zur dynamischen Grenzwertbestimmung

Der im Folgenden vorgestellte Ansatz basiert auf der Argumentation, dass verschiedene Teilschritte innerhalb einer Auftragsabarbeitung auch verschiedene Ausprägungen von DLZ-relevanten Eigenschaften besitzen. So kann sich eine hohe Variabilität der DLZ eines Teilschrittes tendenziell stärker auf eine Terminabweichung auswirken als Teilschritte mit niedrigerer Variabilität. Bezogen auf die Praxis bedeutet das: Lagerprozess sollten sich tendenziell weniger stark in Schwankungen der Auftrags-DLZ und somit auch Terminabweichungen niederschlagen als Just-In-Sequence Anlieferungen. Auftrags-DLZ können also bei Prozessen eher deterministischer oder stochastischer Natur sein.

Abbildung 6 zeigt schematisch, dass sich entlang einer Auftragsbearbeitung eine bestimmte Anzahl an Lesezeitpunkten (r_m) befindet, die von einem Auftrag nach einer gewissen Soll-DLZ passiert werden sollten. Zwischen zwei Punkten werden verschiedene Prozesse unterschiedlich stabil ausgeführt, wodurch die DLZ unterschiedlich stark variieren kann. Dadurch ergeben sich an manchen Lesezeitpunkten eher hohe Terminabweichungen, während an anderen diese Abweichungen weniger stark ausfallen. Da sich niedrige Abweichungen während des Prozessverlaufs eher kompensieren lassen als hohe, werden hohe Abweichungen an diesen bestimmten Lesezeitpunkten auch tendenziell zu hohen Lieferterminabweichungen am Prozessende führen.

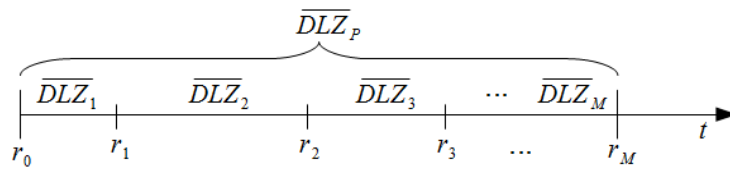


Abbildung 6: Schematische Problemdarstellung

Diesem Zusammenhang wird mit dem Korrelationsansatz zur dynamischen Grenzwertbestimmung nachgegangen. Das Diagramm auf der linken Seite in Abbildung 7 veranschaulicht das Prinzip für einen Lesepunkt r_m und eine Menge an aufgezeichneten Ist-DLZ von Aufträgen. Zuerst werden alle Ist-Abweichungen an r_m extrahiert, die größer als ein bestimmter Ausgangsgrenzwert g waren (vertikale Achse). Diese Ist-DLZ an r_m werden dann mit ihrer entsprechenden, endgültigen Lieferterminabweichung am Prozessende korreliert (horizontale Achse). Daraus ergibt sich ein erster Korrelationswert ρ_m .

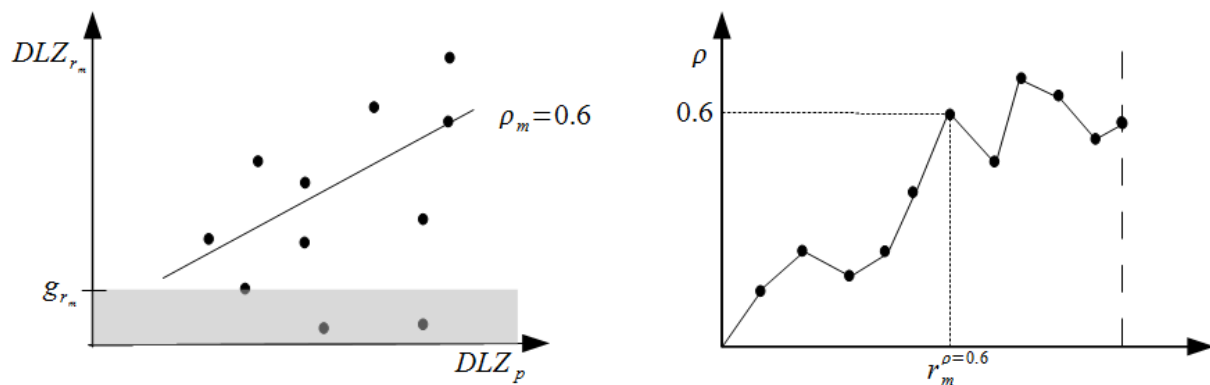


Abbildung 7: Korrelationsansatz zur dynamischen Grenzwertbestimmung

Im nächsten Schritt wird der Anfangsgrenzwert g auf das Niveau der Ist-Abweichung des Auftrages angehoben, der die nächst kleinste Ist-Abweichung an r_m aufweist. Diese wird dadurch von der Menge an Ist-DLZ ausgeklammert, die größer sind als der Grenzwert. Eine erneute Korrelationsberechnung wird durchgeführt. Ist der neue Korrelationswert größer als der vorherige wird dieser übernommen. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis zu wenige Aufträge für eine Korrelationsanalyse zur Verfügung stehen und der maximale Korrelationswert feststeht. Die Argumentation für dieses Vorgehen ist, dass eine größere Korrelation einen stärkeren Zusammenhang zwischen dem Grenzwert am Lesepunkt r_m und der Lieferterminabweichung am Prozessende vermuten lässt. Vollzieht man diese Analyse für alle Lesepunkte erhält man die maximalen Korrelationswerte für das gesamte Prozesssystem, wie es im rechten Diagramm der Abbildung 7 illustriert ist.

5. Simulation und Evaluation

Im Folgenden wird der Aufbau einer realitätsnahen Simulationsumgebung für die virtuelle Inbetriebnahme eines Produktionsassistenzsystems (PAS) vorgestellt. Danach wird ein abstrahiertes Simulationsmodell für die Evaluierung der Ansätze zur Grenzwertbestimmung vorgestellt. Im Abschnitt 5.3 werden die Ergebnisse der Evaluation vorgestellt.

5.1 Simulationsumgebung

Abbildung 8 zeigt den schematischen Aufbau einer Simulationsumgebung, die es erlaubt verschiedene Algorithmen für die Überwachung der Logistikkette und die Reaktion auf Abweichungen in der Produktion unter möglichst realistischen Bedingungen – jedoch nicht in einem Produktionssystem – zu testen. Es ist ersichtlich, dass neben der Produktion auch die vor- und nachgelagerte Logistikkette simuliert werden müssen. Bei diesen Simulationen ist zu beachten, dass nicht nur die Erzeugung der EPCIS Events aus den Objektbewegungen zu erfolgen hat, sondern dass auch die Aufträge, auf deren Basis die Logistiktransaktionen erfolgen, beachtet werden müssen. Dies ist essentiell für Evaluierung eines PAS, da neben den eigentlichen Objektbewegungsdaten auch die entsprechenden Plandaten benötigt werden, welche u.a. aus den Auftragsdaten des ERP entnommen werden können.

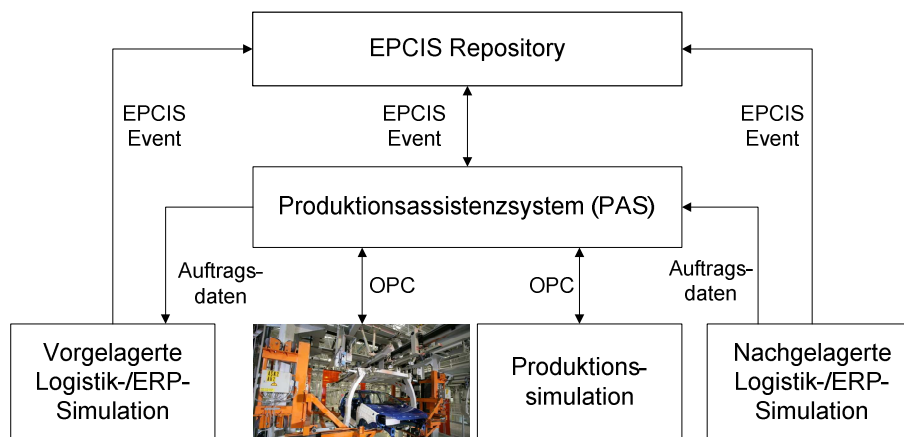


Abbildung 8: Testumgebung für das Produktionsassistenzsystem (PAS)

5.2 Simulationsablauf

Eine erste Umsetzung der Testumgebung aus Abbildung 8 kann mit Simulationswerkzeugen erfolgen. So kann z.B. Tecnomatix Plant Simulation³ dafür verwendet werden, um eine

³ http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml

konkrete Produktionsanlage mit dazugehöriger Lieferkette zu modellieren und die Ansätze in dieser Umgebung zu evaluieren. Für diesen Beitrag kam eine vereinfachte Simulation zum Einsatz, die sich vorerst auf den Überwachungsaspekt eines PAS fokussiert und z.B. konkrete Umplanungsmaßnahmen ausklammert. Plan- und simulierte Ist-Daten werden hier dafür genutzt, die Effektivität der Ansätze zur Grenzwertbestimmung zu evaluieren.

Es wird eine sequenzielle Prozesskette angenommen, die jeder Auftrag durchläuft und wodurch die geplante (Soll-)Auftrags-DLZ für alle Aufträge gleich ist. Prozesse zwischen zwei Erfassungspunkten sind von unterschiedlicher, durchschnittlicher Dauer und Variabilität. Letzteres führt zu Abweichungen der Soll-Auftrags-DLZ (vgl. Abbildung 4). Die durchschnittliche Auftragsbearbeitungsdauer beträgt 5000 Zeiteinheiten (ZE). Aufträge die diese Dauer um 10% über- bzw. unterschreiten werden als verspätet bzw. verfrüht eingestuft. Das Überwachungssystem besteht aus 26 Lesepunkten.

Als nächstes werden zufällige Ist-DLZ von Aufträgen generiert und an jedem Punkt die Ist-Abweichung registriert. Mit diesen Daten wird dann der Korrelationsansatz zur dynamischen Grenzwertbestimmung durchgeführt. Anschließend werden erneut Ist-DLZ generiert, ohne die Systemkonfiguration zu ändern. Um die Grenzwertansätze zu evaluieren, muss nun die Möglichkeit einer Systemreaktion gegeben sein. Zu diesem Zweck wird ein Faktor eingeführt, der richtig erkannte, kritische Abweichungen in Abhängigkeit von dem Zeitpunkt der Identifikation reduziert. Für diesen Auftrag wird also die Terminabweichung an jedem noch folgenden Erfassungspunkt um einen Faktor (5% in der Simulation) reduziert. Dies begünstigt den Ansatz, der besonders früh eine kritische Abweichung feststellt.

Dadurch wird eine Evaluation der drei Ansätze anhand von logistischen und finanziellen Kenngrößen ermöglicht. Logistische Kenngrößen der Simulation sind die Termintreue und die absolute, durchschnittliche Auftrags-DLZ. Als finanzielle Kenngröße werden die Gesamtkosten verwendet, die sich in der Simulation aus zwei Quellen ergeben. Zum einen fallen für jeden verspäteten bzw. verfrühten Auftrag, dessen Abweichung außerhalb des Grenzwertes liegt (d.h. außerhalb der 10%-Marke), Kosten in Höhe der absoluten Abweichung an (1€/ZE). Ohne diese Kosten ist eine Überwachung der Lieferkette unnötig, da die Einhaltung der Termintreue in diesem Fall keine Relevanz für das betreffende Unternehmen hätte. Die zweite Kostenart resultiert aus den ausgelösten Meldungen (d.h. Abweichung lag außerhalb des Grenzwertes) und der damit verbundenen Systemreaktion (200€/Meldung). Diese Kosten spiegeln die Aufwände wider, die im Unternehmen durch Umplanungen entstehen. Ohne diese Kosten ist eine Reaktion immer von Vorteil, unabhängig von den eigentlichen Ausmaßen der Abweichung sowie der Umplanung.

5.3 Evaluation

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis der dynamischen Grenzwertbestimmung für die einzelnen Lesepunkte des Überwachungssystems. Es wird deutlich, dass einige Grenzwerte recht gering ausfallen (vgl. rechtes Diagramm). Dieser Umstand resultiert aus vergleichsweise niedrigen Korrelationen an diesen Lesepunkten (vgl. linkes Diagramm). Zwischen den Ist-Abweichungen an diesen Punkten und den Lieferterminabweichungen am Prozessende sind also nur schwache Zusammenhänge messbar. Es ist daher sinnvoll, nur Grenzwerte für die Simulation zu verwenden, bei denen eine starke Korrelation (z.B. $\rho_m > 0,5$) vorliegt.

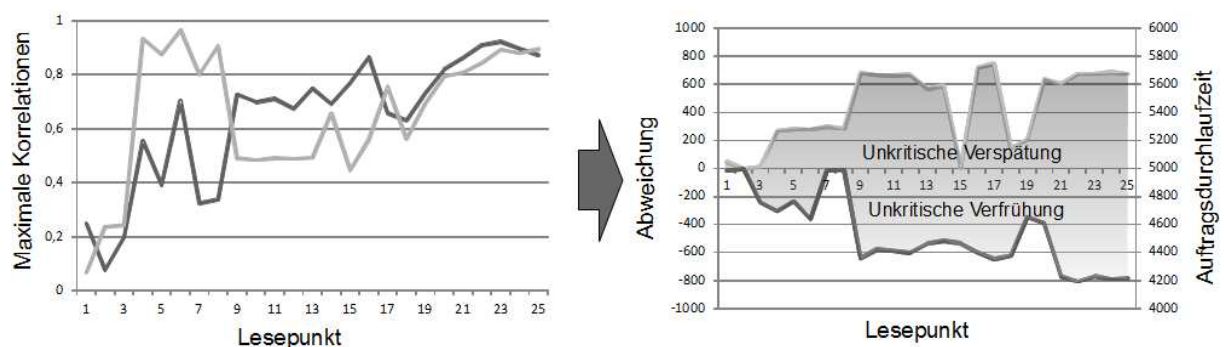


Abbildung 9: Maximale Korrelationen und dazugehörige Grenzwerte

Die Evaluation erfolgt anhand der Ansätze aus Abschnitt 4 (statisch und dynamisch), sowie eines „überwachungsfreien“ Systems. Tabelle 1 zeigt die Evaluation der Simulationsdaten. Je höher der Korrelationswert, desto strenger ist die Auswahl der relevanten Grenzwerte und desto mehr Punkte des Überwachungssystems werden vernachlässigt. Diese Reduktion gilt für beide Ansätze, auch wenn sie ausschließlich aus dem dynamischen Ansatz resultiert. Würden nur einige Punkte beim dynamischen Ansatz Grenzwerte aufweisen, dafür aber alle Punkte beim statischen Ansatz, würde ansonsten der Performancevergleich verzerrt werden.

Tabelle 1: Evaluation der Ansätze für die Grenzwertbestimmung

ρ	Systemkosten			Ø DLZ-Abweichung			Liefertermintreue		
	Stat	Dyn	Kein	Stat	Dyn	Kein	Stat	Dyn	Kein
0,5	182.131 €	101.552 €	87.323 €	173,3	208,6	257,1	99,8%	99,6%	86,2%
0,55	182.131 €	101.552 €	87.323 €	173,3	208,6	257,1	99,8%	99,6%	86,2%
0,6	170.331 €	87.224 €	87.323 €	176,3	212,0	257,1	99,8%	99,5%	86,2%
0,65	169.931 €	87.224 €	87.323 €	176,3	212,0	257,1	99,8%	99,5%	86,2%
0,7	168.834 €	69.361 €	87.323 €	178,0	221,0	257,1	99,7%	96,2%	86,2%
0,75	126.952 €	65.544 €	87.323 €	195,7	225,3	257,1	99,6%	96,2%	86,2%
0,8	127.083 €	71.736 €	87.323 €	199,4	227,9	257,1	99,6%	96,1%	86,2%
0,85	127.484 €	82.301 €	87.323 €	201,2	238,6	257,1	99,4%	90,6%	86,2%

Tabelle 1 zeigt, dass die einzelnen Kenngrößen in Konflikt zueinander stehen und somit eine Einzelbetrachtung angebracht ist. Die Systemkosten werden bei einem Korrelationswert von 0,75 durch die dynamische Grenzwertbestimmung minimiert. Die meisten Kosten verursacht der statische Ansatz, da dieser viele Fehlalarme auslöst. Das System ohne Überwachung resultiert in konstanten Kosten, die sich ausschließlich aus verspäteten bzw. verfrühten Auslieferungen ergeben. Soll eine hohe Liefertreue erzielt werden, ist sowohl der statische als auch der dynamische Ansatz vorteilhaft. Allerdings resultiert letzterer bei einer Liefertreue von 99,5% in vergleichsweise niedrigen Kosten. Ein System ohne Überwachung schneidet am schlechtesten ab, da hier keine Möglichkeit der Intervention gegeben ist. Bei der durchschnittlichen DLZ-Abweichung ist der statische Ansatz generell besser als die beiden anderen Systeme. Dies resultiert daraus, dass die Grenzwerte dieses Ansatzes tendenziell niedriger sind als beim dynamischen Ansatz. Dadurch wird eine frühere Erkennung von kritischen Abweichungen ermöglicht. Aufgrund des Reduktionsfaktors werden kritische Abweichungen hier stärker reduziert als beim dynamischen Ansatz. Bei einem System ohne Überwachung kann die durchschnittliche DLZ-Abweichung nicht beeinflusst werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag gliedert sich in zwei wesentliche Bestandteile. Erstens, es wurde ein weitgehend auf Standards basierender Ansatz zur Kopplung von logistischen Überwachungssystemen mit der Fertigungsleitebene vorgestellt. Sie ist die Grundvoraussetzung für ein Produktionsassistenzsystem (PAS), das auf ein produktionsbasiertes Management von Ereignissen der Lieferkette abzielt. Mithilfe der Kopplung wird es ermöglicht, Ereignisse frühzeitig zu identifizieren, um dann Gegenreaktionen in der Produktion zu konzipieren und umzusetzen.

Für die Identifikation von Ereignissen wurde im zweiten Teil die Überwachungskomponente eines PAS adressiert. Es wurde ein intuitiver Ansatz für die dynamische Bestimmung von Grenzwerten für kritische Terminabweichungen vorgestellt und gegen zwei weitere Ansätze evaluiert. Anhand einer Simulation konnte gezeigt werden, dass der dynamische Ansatz zu einer Minimierung der Kosten führen kann und dennoch eine hohe Liefertreue garantiert. Der Ansatz hat den Vorteil, dass die Grenzwerte mit mehr Ist-Auftragsdurchlaufzeiten verfeinert werden können. Zudem ist eine kontinuierliche Anpassung der Grenzwerte unabdingbar, da sich Prozesse in ihrer Stabilität und Qualität über die Zeit ändern können.

In einem nächsten Schritt sollte der vorgeschlagene Ansatz gegen komplexere Modelle, z.B. auf Basis von Markov-Ketten, evaluiert werden. Zudem sollte eine Kombination von Logistiksimulationen mit echter Hardware erfolgen (Hardware-in-the-Loop-Simulation). Hier könnten die Reaktionsmechanismen eines PAS direkt in einer Produktionsanlage getestet

werden. Dafür muss ein PAS zuerst mit einem MES (z.B. SimaticIT) gekoppelt werden. Um den Schritt von einer reinen zu einer Hardware-in-the-Loop-Simulation zu vereinfachen, sollte die Produktionssimulation zudem dieselbe Schnittstelle wie die reale Anlage besitzt.

7. Literatur

- [1] S. M. Wagner und C. Bode, An empirical investigation into supply chain vulnerability, *Journal of Purchasing and Supply Management* **12**(6), 301–312 (2006).
- [2] J.-H. Thun und D. Hoenig, An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry, *International Journal of Production Economics* (2009).
- [3] C. Perrow, *Normal Accidents*, Basic Books, New York, 1984.
- [4] R. Gaonkar und N. Viswanadham, A conceptual and analytical framework for the management of risk in supply chains, *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2699–2704 (2004).
- [5] K. Knickle, *Supply Chain Event Management - The next best thing to supply chain perfection*, AMR Research Outlook, 2001.
- [6] W. Günthner, S. Meißner, M. Conze, und R. Fischer, *Stand und Entwicklung des RFID-Einsatzes in der Automobillogistik: Ergebnisse einer empirischen Studie*, RFID Anwenderzentrum München, 2010.
- [7] J. Curtin, R. J. Kauffman, und F. J. Riggins, Making the 'MOST' out of RFID technology: a research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID, *Information Technology and Management* **8**(2), 87–110 (2007).
- [8] P. Bensel, F. Fürstenberg, und S. Vogeler, *Supply Chain Event Management: Entwicklung eines SCEM-Frameworks*, Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin, 2008.
- [9] F. Straube, S. Vogeler, und P. Bensel, RFID-based Supply Chain Event Management, in *RFID Eurasia, 2007 1st Annual*, pages 1–5, 2007.
- [10] K. Traub, editor, *The EPCglobal Architecture Framework, EPCglobal Final Version 1.3 Approved 19 March 2009*.
- [11] EPCIS, EPC Information Services Version 1.0.1 Specification, September 21 2007.
- [12] S. Lamparter, C. Legat, R. Lepratti, J. Scharnagl, und L. Jordan, Event-based Reactive Production Order Scheduling for Manufacturing Execution Systems, in *18. IFAC World Congress*, 2011.
- [13] EPCglobal, The Application Level Events (ALE) Specification, Version 1.1.1, Part I: Core Specification.