

RFID-BASED AUTOMOTIVE NETWORK

Die Prozesse der Automobilindustrie transparent und optimal steuern

Schlussbericht

mit den Abschnitten

- I Kurzdarstellung
- II Eingehende Darstellung

Verbundprojekt RAN – RFID-Based Automotive Network

Teilvorhaben: Konzeption eines Informationssystems zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung von Logistikketten



FZI Forschungszentrum Informatik

FZI Förderkennzeichen: 01MA10005

Gefördert durch das



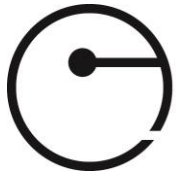
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht zum Verbundprojekt RAN – RFID-Based Automotive Network, Teilvorhaben: Konzeption eines Informationssystems zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung von Logistikketten	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Bender, Matthias; Brandt, Felix; Heckmann, Iris; Kleiner, Natalja; Meyer, Anne	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2012
	6. Veröffentlichungsdatum Juni 2013
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) FZI Forschungszentrum Informatik Haid-und-Neu-Str. 10-14 76131 Karlsruhe	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01MA10005
	11. Seitenzahl 43
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 69
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 18
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Schlussbericht zum Fördervorhaben, 28. Juni 2013 Bibliothek des BMWi, 11019 Berlin; Projektträger DLR, 51147 Köln; Technische Informationsbibliothek, 30167 Hannover	
18. Kurzfassung Prozessstabilität leistet einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz von Logistikprozessen, da sich Störungen in den heute sehr komplexen logistischen Netzwerken der Automobilindustrie häufig fortsetzen bzw. sogar verstärken. Die mittels RAN-Technologie und -Standards realisierbare Transparenz über den Zustand von Logistik- und Produktionssystemen erlaubt erstmals eine verlässliche, echtzeitnahe Identifikation von Planabweichungen in der gesamten Supply Chain. Innerhalb des Teilvorhabens wurde untersucht, wie die mit RAN-Technologie realisierbare Transparenz genutzt werden kann, um ein Disruption Management System zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung von Logistikketten der Automobilindustrie zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde ein generisches Modell entwickelt, das ein allgemeines Vorgehen zur Erkennung und Bewertung von Störungen anhand eingehender Eventdaten beschreibt. Außerdem wurden Modelle und Methoden entwickelt, die die Ermittlung geeigneter Reaktionen auf Störungen erlauben bzw. die Identifikation von Schwachstellen des Liefernetzwerks sowie von Handlungsoptionen zur proaktiven Absicherung gegenüber Supply Chain Risiken ermöglichen. Im Ergebnis wurden Forschungsprototypen konzipiert und teilweise implementiert, die jeweils unterschiedliche Funktionalitäten abbilden: Zum einen werden für ein Disruption Management System notwendige Basisfunktionalitäten zur Verfügung gestellt, wie z.B. die Visualisierung von realen Situationen bzw. Plänen, zum anderen aber auch komplexere Funktionalitäten für das eigentliche Störungsmanagement, z.B. für die Bewertung von Störungen und die Ermittlung effizienter Reaktionen. Darüber hinaus wurden – gemeinsam mit den Verbundpartnern – Leitfäden mit technischen und fachlichen Empfehlungen zur Gestaltung von Prozessketten erarbeitet. Es könnte in dem Teilvorhaben gezeigt werden, dass auf Basis von RAN-Technologie entscheidungsunterstützende IT-Systeme zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung realisierbar sind.	
19. Schlagwörter Disruption Management, reaktive Prozessstabilisierung, proaktive Prozessstabilisierung, Störungserkennung, Störungsbehandlung	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Final report for the joint research project RAN – RFID-Based Automotive Network, subproject: Conceptual Design of an Information System for Reactive and Proactive Stabilization of Logistics Chains	
4. author(s) (family name, first name(s)) Bender, Matthias; Brandt, Felix; Heckmann, Iris; Kleiner, Natalja; Meyer, Anne	5. end of project December 2012
	6. publication date June 2013
	7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address) FZI Forschungszentrum Informatik Haid-und-Neu-Str. 10-14 76131 Karlsruhe	9. originator's report no.
	10. reference no. 01MA10005
	11. no. of pages 43
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 69
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 18
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Final report for the joint research project, June 28, 2013 Library of the BMWi, 11019 Berlin; Project responsible organization: DLR, 51147 Köln; Technische Informationsbibliothek, 30167 Hannover	
18. abstract <p>Process stability plays a major role for the efficiency of logistics processes, since disruptions within the complex supply networks of the automotive industry often propagate through the network or intensify. By means of the technologies and standards developed within the joint research project RAN – RFID-Based Automotive Network it is possible to create comprehensive and close to real time transparency of the supply chain and to reliably detect deviations from an existing plan.</p> <p>The subproject aimed at investigating how this transparency can be used to develop a disruption management system for stabilizing logistics processes in the automotive industry – both in a reactive and proactive manner. For this purpose, a generic model has been developed which describes a general procedure for the detection and assessment of disruptions based on incoming events. Moreover, models and methods which are able to handle disruptions have been developed. This includes the determination of appropriate reactions in case of a disruption as well as the identification of potential weaknesses of the supply chain which enables proactive protection against supply chain risks.</p> <p>Research prototypes have been developed, each of which provides different functionalities of a disruption management system. These functionalities range from basic functionalities, such as the visualization of real situations or plans, to more complex functionalities for the actual disruption handling, e.g. the determination of efficient reactions to disruptions. Additionally, guidelines for the design of process chains have been developed in cooperation with the project partners.</p> <p>It could be shown in this subproject that – based on the technologies developed in RAN – decision support systems for the stabilization of logistics processes can be realized.</p>	
19. keywords Disruption management, reactive stabilization of logistics processes, proactive stabilization of logistics processes, detection of disruptions, disruption handling	
20. publisher	21. price



RFID-BASED AUTOMOTIVE NETWORK

Die Prozesse der Automobilindustrie transparent und optimal steuern

Schlussbericht

Abschnitte I und II

Verbundprojekt RAN – RFID-Based Automotive Network

Teilvorhaben: Konzeption eines Informationssystems zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung von Logistikketten



FZI Forschungszentrum Informatik

FZI Förderkennzeichen: 01MA10005

28.06.2013

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung.....	1
1.	Aufgabenstellung	1
2.	Projektvoraussetzungen	1
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	12
II.	Eingehende Darstellung.....	13
1.	Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnis im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	13
2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	38
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	38
4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	38
5.	Während der Durchführung dem ZE bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	40
6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	41

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Prozessstabilität leistet einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz von Logistikprozessen, da sich Planabweichungen bzw. Störungen in den heute sehr komplexen logistischen Netzwerken häufig fortsetzen bzw. sogar verstärken. Die mittels RAN-Technologien und Standards realisierbare Transparenz über den Zustand von Logistik- und Produktionssystemen erlaubt erstmals eine verlässliche, echtzeitnahe Identifikation von Planabweichungen in der gesamten Supply Chain und ermöglicht darauf aufbauend effiziente Steuerungseingriffe zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung.

Ziel des Vorhabens war die Konzeption und Implementierung eines Informationssystems zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung von Logistikketten. Das umfasste die Entwicklung der dafür notwendigen mathematischen und informationstechnischen Modelle und Algorithmen und einer Anpassung auf den Use Case "Lange Prozesskette" (Daimler). Außerdem sollte die Wirkung von steuernden Eingriffen auf Leistungs- und Stabilitätskennzahlen analysiert, dispositive Handlungsmuster und –empfehlungen für die Prozessstabilisierung sowie technische Empfehlungen für Informationssysteme zur logistischen Prozessstabilisierung erarbeitet werden.

Um dieses Ziel zu erreichen bestanden die Arbeiten des FZI aus der umfassenden Konzeption und beispielhaften Implementierung von Forschungsprototypen, mit denen alle 6 Stufen der Assistenzsystemfunktionen (vgl. 6-Stufen-Konzept der AG Assistenzsysteme) exemplarisch abgedeckt werden - von der reinen Visualisierung/Reporting von IST- und SOLL-Daten und der Identifikation von Störungen, über die Bewertung von Störungen und Handlungsoptionen bis hin zur effizienten Steuerung von Transporten bei Vorliegen einer Störung. Darüber hinaus hat das FZI in großem Maße übergreifende und koordinierende Tätigkeiten bei der Ausarbeitung der AP1 Steuerungsszenarios, aus denen technische und inhaltliche Empfehlungen zu Informationssystemen anhand repräsentativer Logistikprozesse hervorgehen, wahrgenommen.

2. Projektvoraussetzungen

Aufgrund der zunehmenden Spezialisierung bzw. einer Konzentration auf Kernkompetenzen in Branchen wie der Automobilindustrie steigen die Anforderungen an Koordination, Steuerung und Integration der Supply Chain stetig. Zusätzliche Komplexität entsteht durch eine immer weiter steigende – vom Markt gewünschte – Variantenvielfalt und immer kürzere Produktlebenszyklen und kürzere Obsoleszenzzeiten. Aufgrund der erhöhten Anforderungen bei der Steuerung inner- und überbetrieblicher Produktions- und Logistikprozesse müssen neue Methoden und Ansätze zur wirtschaftlichen und unternehmensübergreifenden Planung und Steuerung entwickelt werden - ein Kernziel des RAN Projektkonsortiums.

Die Planung und der Betrieb von Logistikprozessen streben im Wesentlichen nach Effizienz. Dies ist naturgemäß insbesondere in wettbewerbsintensiven Branchen der Fall und wird

zusätzlich verstärkt durch die Internationalisierung des Wettbewerbs. In der Vergangenheit haben Unternehmen sich daher oftmals auf Teilziele wie die Reduzierung von Materialbeständen und niedrige Transportkosten fokussiert. Letztlich erreichten die Bestandsniveaus und die gesamten Transportkosten jedoch kein optimales Niveau, weil im praktischen Betrieb Puffer in Form von Material, Kapazität und Zeit zum Schutz gegen Prozessfehler und -abweichungen und unvorhergesehene Ereignisse notwendig waren. In der Folge ist die Prozessstabilität als ein wesentlicher Beitrag zur Effizienz von Logistikprozessen erkannt worden.

Abweichungen des realen Geschehens vom Geplanten werden ohne den Einsatz passender Technologien nicht oder sehr spät erkannt, da ansonsten Einzelereignisse in der Logistik und Produktion gar nicht, nur summarisch oder unsystematisch erfasst werden können. Dieser Effekt potenziert sich im Produktionsverbund gegenüber der Einzelunternehmung, weil Fehler und Abweichungen nach dem heutigen Stand aufgrund einer zeitverzögerten Rückmeldung noch später erkannt werden.

Arbeitshypothese des Vorhabens war es, dass die frühzeitige und genaue Identifikation des Zustands des Logistiksystems durch Technologien wie bspw. RFID und die Erkennung eventueller Abweichungen vom Plan zeitnahe und effiziente Steuerungseingriffe ermöglichen, die dazu dienen Logistikprozesse zu stabilisieren. In der Folge können weitere Effizienzsteigerungen erreicht werden, indem bspw. Bestände und Kapazitäten gesenkt und allgemein Verschwendung weiter reduziert wird.

Das FZI beschäftigte sich bereits vor dem Projekt RAN in öffentlichen Forschungsprojekten mit der Anwendung mathematischer Entscheidungsmodelle und Algorithmen zur Erreichung stabiler Betriebszustände, sowohl in großen Transportnetzwerken (Projekt LogoTakt) als auch innerhalb logistischer Knotenpunkte (Projekt RoKoKo). Die Abbildung von Unsicherheit mittels Szenarios, der planerische Umgang damit und die Analyse von Logistikprozessen auf einer Menge von Szenarios waren – für den Anwendungsbereich der Risikoidentifikation von Supply Chains – Gegenstand des öffentlichen Forschungsprojekte SCRA (BMBF).

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das FZI war innerhalb des Gesamtvorhabens schwerpunktmäßig am AP1 “Prozesse und Steuerung” beteiligt. Die Arbeiten gliederten sich dabei in die folgenden FZI-Unterarbeitspakete.

UAP 1 Logistikprozessmodellierung

Im UAP “Logistikprozessmodellierung” wurde der Schwerpunkt-Use Case “Lange Prozesskette” des Projektpartners Daimler AG in Prozessmodellen dargestellt und analysiert. Darauf aufbauend wurden geeignete Leistungs- und Risikokennzahlen ermittelt und es wurde für den Schwerpunkt-Use Case ein Kennzahlenkatalog erstellt sowie ein Berechnungsframework konzipiert.

UAP 2 IT-Basissystem

Als technische Basisfunktionalität wurde eine Komponente zur Simulation der Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen implementiert. Diese Komponente kann EPCIS-Events generieren und mit einem Complex-Event-Processing-System (CEP-System) kommunizieren. Die erzeugten Events werden durch das CEP-System empfangen und in den einzelnen CEP-Modulen anhand der zugrundeliegenden Eventmodelle aufbereitet. Daraus werden Informationen zu Soll/Ist-Abweichungen und geschätzten Ankunftszeiten (ETAs) generiert.

UAP 3 Methodenentwicklung Ereignis- und Informationsmanagement

Um auf Störungen reagieren zu können, müssen diese zunächst zuverlässig erkannt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Transport-Event-Management-Referenzmodell, das ein allgemeines Vorgehen zur Erkennung und Bewertung von Störungen anhand eingehender RFID- oder anderer AutoID Events beschreibt, entwickelt und CEP-Module zum Empfangen und Verarbeiten von Events implementiert. Die zur Verfügung stehenden Steuerungseingriffe zur Störungsbehandlung wurden in einem eskalierenden Reaktionsmodell beschrieben, welches darauf abzielt, einen ungültigen Plan durch möglichst geringe Anpassungen in einen zulässigen Zustand zu überführen.

UAP 4 Methodenentwicklung Prozessstabilisierung

Kern dieses UAP war die Entwicklung von Methoden und Modellen zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung. Dazu wurden zunächst die vergleichsweise fortgeschrittenen Ansätze der Methoden des Disruption Management analysiert und deren Übertragbarkeit sowie die Grenzen der Anwendbarkeit auf die Logistik der Automobilindustrie untersucht. Daraufhin wurden für den Bereich der reaktiven Prozessstabilisierung Entscheidungsmodelle entwickelt, mit denen bei Auftreten von Störungen effiziente Steuerungseingriffe über verschiedene Eskalationsstufen hinweg ermittelt werden können und die die Komplexität des Entscheidungskontextes berücksichtigen. Die Arbeiten zur proaktiven Prozessstabilisierung umfassten die Erarbeitung von Methoden zur automatisierten Identifikation von Schwachstellen bzw. störungsanfälligen Prozessen in Supply Chains und - darauf aufbauend - zur Bestimmung von Handlungsoptionen, die eine Fortpflanzung von Konsequenzen auf nachfolgende Prozesse verhindern können.

UAP 5 Disruption Management-Systementwicklung

In diesem UAP wurden Reporting- und Monitoring-Komponenten entwickelt, die die Basis für ein Disruption Management System bilden. Zur Kontrolle und Bewertung von Prozessen wurden verschiedene Qualitätsreporte für unterschiedliche Ziele und Zielgruppen entworfen, von denen einige repräsentative Reporte wichtiger logistischer Prozesse in der Automobilindustrie prototypisch implementiert wurden. Für die Überwachung von regelmäßigen Transporten wurde ein Monitoring-Tool konzipiert und implementiert, mit einem besonderen Augenmerk darauf, den Anwender im Falle von Abweichungen visuell von übergeordneten aggregierten Kennzahlen auf die konkreten Störungsquellen zu leiten. Darüber hinaus wurden zur Visualisierung modular verwendbare, webbasierte Widgets entworfen und implementiert, die als leichtgewichtige und flexible Infrastruktur zur Ansteuerung von Softwarediensten verwendet werden.

Für die proaktive Prozessstabilisierung wurde ein allgemeines Referenzsystem implementiert und auf die spezifischen Anforderungen des Schwerpunkt-Use Case angepasst. Da bereits eine Reihe von Planungslösungen für die integrierte Produktions- und Transportplanung existieren, zielte die technische Umsetzung des Systems darauf ab, unabhängig von den zugrundeliegenden Planungsdaten und -algorithmen zu sein und als Plug-in Lösung fungieren zu können.

UAP 6 Technische und fachliche Empfehlungen

Als wichtiges Ergebnis des Gesamtprojekts wurden durch das AP1 "Prozesse und Steuerung" acht für die Automobilindustrie repräsentative Steuerungsszenarios erarbeitet. Sie stellen Leitfäden zur Gestaltung effizienter und stabiler Logistik- und Produktionsprozesse dar. Das FZI hat hierbei in großem Maße übergreifende koordinierende und inhaltliche Aufgaben wahrgenommen. Die Steuerungsszenarios enthalten Gestaltungsempfehlungen (z.B. bezüglich des Einsatzes von Assistenzsystemfunktionalitäten), beschreiben realisierbare Potenziale und dokumentieren Erfahrungen aus der prototypischen Umsetzung in den RAN Use Cases. Sie können von aktuellen und zukünftigen RAN-Partnern als Vorlage für die Implementierung effizienter Steuerungsmechanismen in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten verwendet werden. Das FZI hat maßgeblich an der inhaltlichen Abgrenzung der Steuerungsszenarios und der Sicherstellung einer hohen Qualität aller Dokumente mitgewirkt.

UAP 7 Evaluierung und Verwertung

Eine Evaluierung der Methoden zur proaktiven Prozessstabilisierung wurde am Use Case „Lange Kette“ von Daimler vorgenommen. Die vom Praxispartner gelieferten Strukturdaten wurden durch die Simulation von Bewegungsdaten angereichert, so dass eine experimentelle Analyse der Konzepte und Verfahren möglich wurde. Die Bewertung von Methoden zur reaktiven Prozessstabilisierung erfolgte ebenfalls basierend auf der Simulation von Bewegungsdaten aus dem Use Case „Lange Prozesskette“ bzw. basierend auf der Simulation eines für die Automobilindustrie typischen Transportnetzwerkes. Darüber hinaus wurden teilweise Konzepte anhand von Gesprächen mit Experten aus der Automobilbranche evaluiert.

Bereits gegen Ende der Vorhabenslaufzeit, haben sich neue direkt beauftragte Industrie- und Forschungsprojekte ergeben, die eine Weiterentwicklung der Methoden und vor allem eine Evaluation dieser im operativen Betrieb vorsehen. Darüber hinaus konnten die Projektergebnisse durch eine Reihe wissenschaftlicher Veröffentlichungen einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht werden.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

4.1. Bekannte Verfahren

Die im Vorhaben entwickelten Modelle und Methoden zur Prozessstabilisierung können in proaktive und reaktive Ansätze unterteilt werden, die teilweise auf unterschiedliche Vorarbeiten und existierende Verfahren aufbauen.

Disruption Management ist eine Methode zur systematischen Behebung von Störungen und wird in der Maschinenbelegungsplanung, Telekommunikationsindustrie, Projektplanung und insbesondere in der Luftfahrtbranche eingesetzt, in der die Forschung bis heute am stärksten intensiviert worden ist. Für eine detaillierte Betrachtung der aktuellen Forschung des Disruption-Managements in der Luftfahrt, die für das Vorhaben RAN von besonderer Bedeutung ist, sei auf einen Überblicksartikel aus dem Jahr 2010 von Clausen et. al. verwiesen (siehe nächstes Kapitel „Verwendete Literatur“).

Die systematische Erkennung von Störungen durch Auswertung von Ereignissen wie z.B. den im Rahmen von RAN betrachteten RFID-Scans wird häufig mit dem Begriff Supply Chain Event Management (SCEM) bezeichnet. Im Rahmen des SCEM werden Logistikprozesse hinsichtlich der erwarteten Ereignisse überwacht. Beim Ausbleiben eines Ereignisses oder beim Auftreten eines unerwarteten Ereignisses werden die von dem Prozessschritt betroffenen Netzwerkteilnehmer benachrichtigt (s. Artikel von Baader aus dem Jahr 2008).

Eines der bekanntesten Werkzeuge im Bereich der Supply Chain Event Management Systeme ist das von SAP angebotene SAP EM. Als Teil von SAP SCM überwacht SAP EM Prozesse, die als Objekte mit definierten Meilensteinen abgebildet werden. Die zu beobachtenden Ereignisse werden zuvor in Kategorien eingeteilt. Wird dabei ein Ereignis beobachtet, das Handlungsbedarf erfordert, wird der entsprechende Logistikpartner darüber informiert (z.B. per E-Mail) und kann frühzeitig Gegenmaßnahmen ergreifen (s. Beitrag von Diessner, 2008).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt auch das System von arvarto (s. Becker, 2008), das im Falle einer Abweichung von erwarteten und tatsächlichen Ereignissen ebenfalls Nachrichten (E-Mail, SMS) generiert, die es an betroffene Logistikpartner versendet.

Neben den klassischen Ansätzen werden im Bereich des SCEM inzwischen aber auch erste agentenbasierte Lösungen erprobt. Beispielsweise stellt Zimmer in einem Beitrag aus dem Jahr 2006 einen agentenbasierten Ansatz vor, bei dem im Prozessverlauf Informationen zu zuvor definierten Überwachungskriterien gesammelt und interpretiert werden. Im Falle von unerwarteten Ereignissen werden wie bei den zuvor vorgestellten Systemen die betroffenen Logistikpartner informiert. Dabei werden die einzelnen Aufgaben auf unterschiedlichen Agenten (autonome Softwareeinheiten) verteilt, welche sich dann um die Ausführung der Aufgaben kümmern, z.B. Sammlung von Informationen durch einen Beobachter-Agenten, Benachrichtigung von Netzwerkteilnehmern durch einen Kommunikations-Agenten usw.

Alle hier vorgestellten Systeme verfolgen zwar bereits den ereignisorientierten Gedanken, beschränken sich jedoch weitgehend auf die Verarbeitung einzelner Ereignisse, ohne diese auf komplexe Zusammenhänge zu untersuchen. Da dies oftmals nicht ausreichend ist, um Störungen frühzeitig zu erkennen, wurden im Rahmen von RAN neben diesen Ansätzen auch die Technologien des Complex Event Processings (CEP) betrachtet. Diese werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt und bieten Methoden und Werkzeuge, um große Ereignismengen in Echtzeit zu überwachen und zu verarbeiten. Dabei werden die Ereignisse nicht einzeln betrachtet, sondern vielmehr die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen

Ereignissen untersucht, um sowohl einfache als auch komplexe Muster zu erkennen (s. Etzion, 2011 und Bruns, 2010).

Weiterhin verhalten sich die SCEM-Systeme bei Feststellung einer Störung eher passiv und nutzen die durch Ereignisse zusätzlich verfügbare Informationen nicht gezielt zur Behebung von Störungen.

Als Reaktion auf eine eingetretene Störung werden oftmals neue Aufträge generiert. In einem Artikel aus dem Jahr 2008 stellt Becker einen Ansatz vor, diesen Vorgang zu automatisieren und mit dem SCEM-System zu verbinden, indem der über eine Störung benachrichtigte Supply-Chain-Teilnehmer direkt einen neuen Auftrag per E-Mail oder SMS generieren und an einen geeigneten Logistikpartner senden kann.

In der Literatur werden aber auch erste innovative agentenbasierte Ansätze zur Störungsbehebung vorgestellt, wie z.B. der für den Schiffstransport entworfene DIAL-Ansatz von Moore (1996). Bei diesem Ansatz wird beim Umplanungsbedarf die gesamte Planungsaktivität in Teilaufgaben aufgebrochen und auf unterschiedliche Agenten verteilt, die gemeinsam eine Gesamtlösung suchen.

Bürck verfolgt mit seinem agentenbasierten Ansatz aus 2000 eine andere Strategie. Statt Teilaufgaben zu verteilen, repräsentiert er die einzelnen Ressourcen eines Logistikpartners (z.B. Fahrzeuge, Anhänger usw.) als Agenten, sich zu Holonen zusammenschließen, um einen Transportauftrag zu erfüllen. Kann einer der Holon-Teilnehmer störungsbedingt seine Aufgabe nicht erfüllen, verlässt er den Holon und der Holon-Agent sucht durch Verhandlungen nach einem neuen Holon-Teilnehmer, der seinen Platz einnimmt.

Diese beiden Ansätze konzentrieren sich jedoch bei der Umplanung nur auf die Ressourcen eines einzelnen Logistikpartners und beziehen weder die Informationen der kompletten Supply Chain ein, noch nutzen sie mögliche Netzwerkeffekte durch Kooperation mit anderen Netzwerkpartnern.

Deshalb wurde im Rahmen von RAN neben den hier vorgestellten Ansätzen aus der Literatur auch auf die Vorarbeiten aus dem BMWi-Projekt LogoTakt, an dem das FZI ebenfalls beteiligt war, zurückgegriffen. Im Rahmen von LogoTakt wurde für getaktete Logistiknetzwerke ein eskalierendes Vorgehen zur Störungsbehebung entworfen, welches Ressourcen einschließlich des Transportnetzwerks auf unterschiedliche Ebenen anordnet und durch Lösungssuche auf einzelnen Ebenen versucht, eine möglichst lokale Lösung für die Störung zu finden. Der Ansatz wurde von Pulter in einem Artikel im Jahr 2010 vorgestellt. Dieses eskalierende Vorgehensmodell wurde in RAN aufgegriffen, auf das RAN-Netzwerk angepasst und erweitert.

Der Großteil der existierenden Literatur zum Thema Identifikation und Analyse von Risiken in Lieferketten beschäftigt sich mit der Konzeption analytischer Systeme. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der empirischen Erfassung risikomindernder Handlungsstrategien. Einige wenige Ansätze quantifizieren und bewerten Abweichungen indem Risikoereignisse und ihre Auswirkungen simuliert werden. Wu und Olson (2008) modellieren beispielsweise eine dreistufige Lieferkette und ermitteln performancerelevante Erwartungswerte. Melnyk,

Rodrigues und Ragatz (2008) entwickeln eine ereignis-basierte diskrete Simulation. Diese Ansätze bieten jedoch keine Integration risikoanalysierender Komponenten in existierende Planungswerkzeuge.

Die Abbildung von Unsicherheit mittels Szenarios, den planerischen Umgang damit und die Analyse von Logistikprozessen auf einer Menge von Szenarios sind – für den Anwendungsbereich der Risikoidentifikation von Supply Chains – Gegenstand des öffentlichen Forschungsprojektes SCRA (BMBF). Dieses abgeschlossene Vorhaben hatte informationstechnische Lösungen für den Umgang mit großen Datenmengen, eine flexible IT-Plattform zur bedarfsgerechten Konfiguration der Analysefunktionen und eine unterstützende Benutzerführung zum Ergebnis. Als Projektpartner konnte das FZI die in diesem Projekt gemachten Erfahrungen für die Entwicklung eines Demonstrators verwenden.

4.2. Verwendete Literatur

Im Folgenden wird eine Auswahl der wichtigsten verwendeten Referenzen gegeben:

Disruption Management

J. Clausen , A. Larsen, J. Larsen und N. J. Rezanova (2010). Disruption management in the airline industry – Concepts, models and methods. *Computers & Operations Research* 37(5), S. 809-821.

J. Clausen, J. Larsen, A. Larsen und J. Hansen (2001). Disruption Management – Operations Research between planning and execution. *Interface*.

G. Yu und X. Qi (2004). *Disruption management: framework, models and applications*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

L. V. Snyder, Z. Atan, P. Peng, Y. Rong, A. J. Schmitt und B. Sinsoysal (2010). *OR/MS Models for Supply Chain Disruptions: A Review*. SSRN eLibrary.

G. Zhu, J. F. Bard, und G. Yu (2005). Disruption management for resource-constrained project scheduling. *Journal of the Operational Research Society* 56, S. 365-381.

X. Qi, J. F. Bard und G. Yu (2004). Supply chain coordination with demand disruptions. *Omega* 32(4), S. 301-312.

X. Qi, J. F. Bard und G. Yu (2006). Disruption management for machine scheduling: The case of SPT schedules. *International Journal of Production Economics* 103(1), S. 166-184.

Y. Xia, M.-H. Yang, B. Golany, S. M. Gilbert und G. Yu (2004). Real-time disruption-management in a two-stage production and inventory system. *IIE Transactions* 36(2), S. 111-125.

Complex Event Management und Supply Chain Event Management

A. Baader und S. Montanus (2008). Transparency in Global Supply Chain Networks - Methods and Tools for Integrated Supply Chain Event Management, 3–11, Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Th. Becker (2008). Supply Chain Event Management: Innovation in Logistics Services, 3–11, Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

R. Bruns und J. Dunkel (2010). Event-Driven Architecture. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

P. Diessner and M. Rosemann (2008). Supply Chain Event Management: Managing Risk by Creating Visibility, 3–11, Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

O. Etzion und P. Niblett (2011). Event Processing in Action. Manning Publications Co.

R. Zimmermann, S. Winkler, und F. Bodendorf (2006). Agent-based supply chain event management concept and assessment, in Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences.

Agententbasierte Umplanung

L.M. Moore, S.R.T. Kumara und R.F. Richbourg (1996). An architecture for logistics replanning. Expert Systems with Applications 11(2), S. 177-190.

H.-J. Bürckert, K. Fischer und G. Vierke (2000). Holonic transport scheduling with teletruck. Applied Artificial Intelligence 14(7), S. 697-725.

Eskalierende Störungsbehandlung

N. Pulter, J. Nimis, und P. C. Lockemann (2010). Störungsmanagement in offenen, getakteten Logistiknetzen. Künstliche Intelligenz 24(2), S. 131-136.

Planung regelmäßiger Touren

M. Baudin (2004). Lean Logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods. Productivity Press.

J.P. Womack, D.T. Jones und D. Roos (1990). The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production. Free Press.

C. Gröer, B. Golden, und E. Wasil (2009). The consistent vehicle routing problem. *Manufacturing & service operations management* 11, S. 630–643.

K. Smilowitz, M. Nowak und T. Jiang (2012). Workforce management in periodic delivery operations. *Transportation Science, Articles in Advance*, S. 1–17, Published Online ahead of print March 8, 2012.

J. Alegre, M. Laguna und J. Pacheco (2007). Optimizing the Periodic Pick-up of Raw Materials for a Manufacturer of Auto Parts. *European Journal of Operational Research* 179, S. 736–746.

H. Andersson, A. Hoff, M. Christiansen, G. Hasle und A. Løkketangen (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research* 37, S. 1515–1536.

L. Bertazzi, M. Savelsbergh und M. Speranza (2008). Inventory Routing. In: B. Golden, S. Raghavan, und E. Wasil (Hrsg.), *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Chapter 3, S. 49–72.

K. Chuah und J. Yingling (2005). Routing for a Just-in-Time Supply Pickup and Delivery System. *Transportation Science* 39(3), S. 328–339.

J.-F. Cordeau, M. Gendreau und G. Laporte (1997). A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems. *Networks* 30, S. 105–119.

B. de Backer, V. Furnon, P. Shaw, P. Kilby und P. Prosser (2000). Solving vehicle routing problems using constraint programming and metaheuristics. *Journal of Heuristics* 6, S. 4.

P. Francis, K. Smilowitz und M. Tzur (2006a). Flexibility and Complexity in Periodic Distribution Problems. *Naval Research Logistics* 54(2), S. 136–150.

P. Francis, K. Smilowitz und M. Tzur (2006b). The Period Vehicle Routing Problem with Service Choice. *Transportation Science* 40(4), S. 439–454.

P. Francis, K. Smilowitz und M. Tzur (2008). The Period Vehicle Routing Problem and its Extensions. In: *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, S. 73–102. Bruce Golden and S. Raghavan and Edward Wasil.

V. Gaur und M. Fisher (2004). A Periodic Inventory Routing Problem at a Supermarket Chain. *Operations Research* 52, S. 813–822.

C. Groër, B. Golden und E. Wasil (2009). The Consistent Vehicle Routing Problem. *Manufacturing & service operations management* 11, S. 630–643.

V. Hemmelmayr, K. Dörner und R. Hartl (2009). A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research* 195, S. 791–802.

V. Hemmelmayr, K. Dörner, R. Hartl und M. Savelsbergh (2009). Delivery strategies for blood products supplies. *OR Spectrum* 31, S. 707–725.

J. Ohlmann, M. Frey und T. Barrett (2008). Route Design for Lean Production Systems. *Transportation Science* 42(3), S. 352–370.

K. Sörensen (2006). Route Stability in vehicle routing decisions: a bi-objective approach using metaheuristics. *Central European Journal of Operations Research* 14(2), S. 193–207.

H. Zhong, R. Hall und M. Dessouky (2007). Territory Planning and Vehicle Dispatching with Driver Learning. *Transportation Science* 41, S. 74–89.

Constraint Programming Ansätze für die Tourenplanung

P. Kilby, P. Prosser, und P. Shaw (2000). A comparison of traditional and constraintbased heuristic methods on vehicle routing problems with side constraints. *Constraints* 5(4), S. 389-414.

P. Kilby und P. Shaw (2006). Vehicle routing. *Foundations of Artificial Intelligence* 2, S. 801-836.

Paul Shaw (1998). Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. In: Maher, M., Puget, J.-F.: Principles and Practice of Constraint Programming - CP98, vol. 1520 of Lecture Notes in Computer Science, S. 417-431. Springer Berlin / Heidelberg.

D. Pisinger und S. Ropke (2010). Large neighborhood search. *Handbook of meta-heuristics*, S. 399-419.

Definition, Analyse und Bewertung von Risiken in Lieferketten

Y. Y. Haimes (2009). On the complex definition of risk: A systems-based approach. *Risk Analysis* 29(12), S. 1647-1654.

W. Klibi und A. Martel (2012). Scenario-based supply chain network risk modeling. *European Journal of Operational Research* 223, S. 644-658.

A. Klinke und O. Renn (2002). A New Approach to Risk Evaluation and Management: Risk-Based, Precaution-Based, and Discourse-Based Strategies. *Risk Analysis* 22(6), S. 1071-1094.

I. Manuj, und T. Metzler (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38(3), S. 192-223.

T. J. Pettit, J. Fiksel und K. L. Croxton (2010). Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics* 31(1), S. 1-21.

G. Svensson (2000). A conceptual framework for the analysis of vulnerability in supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 30(9), S. 731-750.

G. Svensson (2002). Dyadic vulnerability in companies' inbound and outbound logistics flows. *Journal of Logistics: Research and Applications* 5(1), S. 81-113.

B. Van de Walle und M. Turo (2008). Decision support for emergency situations. *Information Systems and E-Business Management* 6(3), S. 295-316.

S. Wagner und C. Bode (2008a). Dominant risks and risk management practices in supply chains. In G. A. Zsidisin and B. Ritchie (Eds.), *Supply Chain Risk - A Handbook of Assessment, Management, and Performance*, Chapter Dominant risks and risk management practices in supply chain, S. 271-290.

S. M. Wagner und C. Bode (2008b). An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. *Journal of Business Logistics* 29, S. 307-325.

S. M. Wagner und C. Bode (2009). Dominant risks and risk management practices in supply chains. In G. A. Zsidisin and B. Ritchie (Eds.), *Supply Chain Risk*, Volume 124 of *International Series in Operations Research & Management Science*, S. 271-290.

D. Waters (2007). *Supply Chain Risk Management*. Kogan Page Limited.

A. Ziegenbein (2007). *Supply Chain Risiken: Identifikation, Bewertung und Steuerung*. Forschungsberichte für die Unternehmenspraxis Bereich Prof. Dr. Schönsleben.

Design von Handlungsoptionen zur Verringerung von Risiken in der Lieferkette

C. Tang und B. Tomlin (2008a). How much flexibility does it take to mitigate supply chain risk? In *Supply Chain Risk: A Handbook of Assessment, Management, and Performance*. Springer.

C. Tang und B. Tomlin (2008b). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics* 116(1), S. 12-27.

S. Tang (2006a). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics* 103, S. 451-488.

S. Tang (2006b). Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. *International Journal of Logistics* 9, S. 33-45.

Szenarioerzeugung

A. Dean und S. Lewis (2006). Screening – Methods for Experimentation in Industry, Drug Discovery, and Genetics. Springer-Verlag.

K. T. Fang, R. Li und A. Sudjianto (2006). Design and Modeling for Computer Experiments. Computer Science and Data Analysis Series.

J. P. C. Kleijnen (2008). Design and Analysis of Simulation Experiments. Springer-Verlag.

D. C. Montgomery (2009). Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben der engen Kooperation mit den Projektpartnern hat das FZI Expertengespräche im Kreise langjähriger Partner, die nicht Teil des Projektkonsortiums sind und aus der Prozessindustrie bzw. der IT-Branche stammen, geführt. Zum einen wurde die Evaluierung einzelner Konzepte und Komponenten auf Basis dieser Expertengespräche ergänzt und zum anderen die Anwendbarkeit von Methoden und Konzepten auf andere Branchen gewährleistet. Aus diesen Gesprächen sind konkrete Nachfolgeprojekte mit unseren Partnern entstanden.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnis im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel des Teilvorhabens des FZI war die Konzeption und Implementierung eines Informationssystems zum Monitoring, zur Planung und zur Steuerung von Logistikketten, das auf die RAN Technologien und RAN Standards aufsetzt und diese zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung nutzt. Dazu wurden informationstechnische und mathematische Modelle für verschiedene Planungsebenen entwickelt und entsprechende Lösungsverfahren konzipiert und implementiert. Als Anwendungsfall im Projekt diente der Use Case “Lange Prozesskette” des Projektpartners Daimler. Die Evaluation der Modelle, Konzepte und Verfahren wurde experimentell bezüglich der logistischen und algorithmischen Leistungsfähigkeit vorgenommen und durch Expertengespräche ergänzt. Darüber hinaus hat das FZI in großem Maße übergreifende und koordinierende Tätigkeiten bei der Ausarbeitung der Steuerungsszenarios in Arbeitspaket 1, aus denen technische und inhaltliche Empfehlungen zu Informationssystemen anhand repräsentativer Logistikprozesse hervorgehen, wahrgenommen.

Gemäß des in AP3 des Gesamtprojektes entwickelten Stufenkonzepts der AG Assistenzsysteme lassen sich die mit RAN-Technologie realisierbaren Assistenzsystemfunktionalitäten in die in Abbildung 1 dargestellte Stufensystematik einordnen. Den Kern der FZI-Arbeiten bildeten dabei - neben der Mitgestaltung der AP1 Steuerungsszenarios - vor allem und von Projektbeginn an die höherstufigen Assistenzsystemfunktionalitäten (Stufe 4-6: “Identifikation von Konsequenzen”, “Bewertung von Alternativen” und “Steuerung von Maschinen oder Aufträgen”). Es wird daher in den folgenden Ausführungen zunächst auf diesen inhaltlichen Schwerpunkt eingegangen und die in diesem Zusammenhang durchgeführten Arbeiten den Kernzielen des FZI gegenübergestellt. Die Darstellung erfolgt anhand der entstandenen Forschungsprototypen mit Verweis auf die FZI-UAP, innerhalb derer die jeweiligen Arbeiten durchgeführt wurden.

Im Anschluss folgt eine Beschreibung weiterer am FZI entstandener Funktionalitäten, die für ein Disruption Management System notwendige Basisfunktionalitäten abbilden und den unteren Ebenen des Stufenkonzepts der AG Assistenzsysteme zuzuordnen sind.

Abschließend wird eine knappe tabellarische Gegenüberstellung von Ergebnis und Ziel gemäß der Struktur der Unterarbeitspakete vorgenommen.

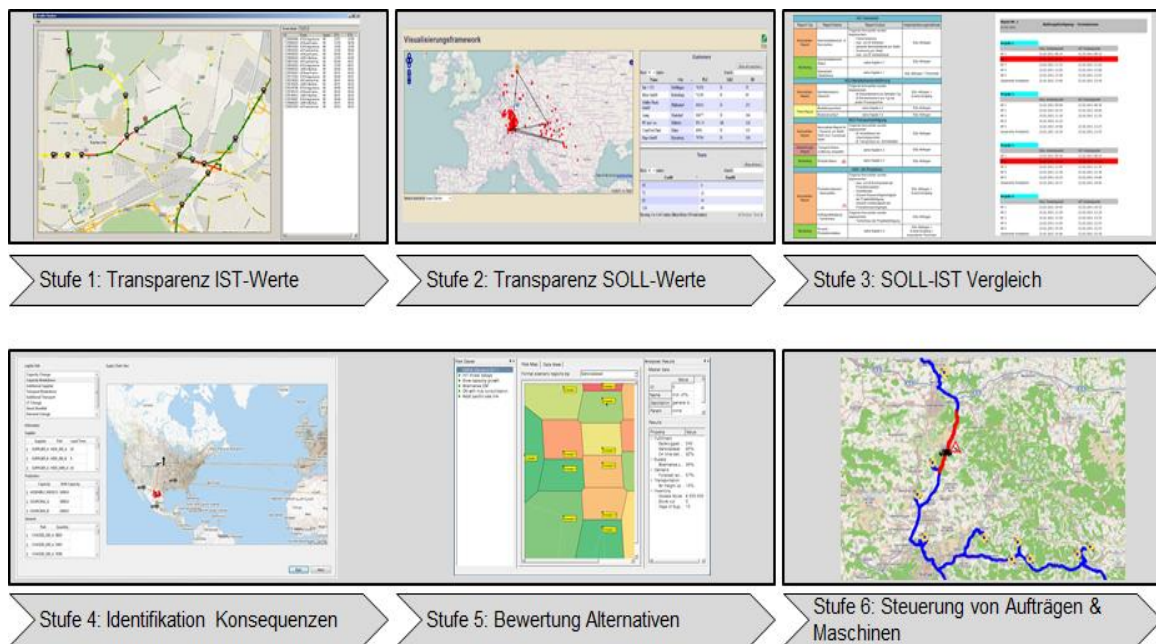


Abbildung 1: RAN Assistenzsystemstufen

Kern der FZI-Arbeiten

Kernziel des FZI

Kernziel des FZI war die Entwicklung eines Disruption Management Systems für Logistikprozesse in der Automobilindustrie. Hierzu sollten mathematische und informationstechnische Modelle und Algorithmen für die Analyse von Prozessstatusmeldungen, die Auswahl und Bewertung von situationsgerechten Maßnahmen zur Prozessstabilisierung und die kurzfristige Vorausplanung von Logistikprozessen für die proaktive Prozessabsicherung erarbeitet werden. Die Methoden sollten beispielhaft in einem Disruption Management System implementiert und evaluiert werden. Außerdem sollten technische und dispositive Handlungsempfehlungen in Form eines Leitfadens entwickelt werden.

Kernerkenntnisse des FZI

Ein IT-gestütztes Disruption Management wurde als Methode in der Luftfahrtindustrie entwickelt und ist dort bereits ein etablierter Ansatz zur Behebung von Störungen und wird in der aktuellen akademischen Literatur vergleichsweise intensiv bearbeitet. Bei Eintreten von Störungen, zum Beispiel in Form von Ausfällen oder Verzögerungen, ermöglicht ein IT-gestütztes Disruption Management System die schnelle Umplanung von Flügen, Neuordnungen von Flugzeugen und Crews auf diese umgeplanten Flüge, eine Verringerung von Folgeverspätungen und damit von erheblichen Kosten für die Fluggesellschaften. Die Übertragung von Modellen und Ansätzen aus dem Luftverkehr auf die Logistik der Automobilindustrie erschien daher als ein vielversprechender Ansatz. Es zeigte sich jedoch, dass die Übertragung aufgrund struktureller Unterschiede der beiden Anwendungsbereiche nicht vollumfänglich möglich ist: Im Gegensatz zum Luftverkehr zeichnet sich die Automobilindustrie durch eine hohe Heterogenität sowohl der zur Verfügung stehenden Ressourcen als auch der zu transportierenden Güter aus. Darüber

hinaus weisen die Entscheidungsstrukturen im Falle von Störungen in der Automobilindustrie eine sehr hohe Komplexität auf – in der Regel sind schon unternehmensintern unterschiedliche Bereiche, Abteilungen und Hierarchien an der Beseitigung einer Störung beteiligt. Im Falle einer Störung in der Supply Chain sind neben Zulieferern in der Regel auch Dienstleister und deren Subunternehmer betroffen, mit teilweise divergierenden Zielfunktionen. Daher erwies sich ein vollintegriertes Disruption Management System, wie es bei Fluggesellschaften - die eine deutlich stärkere Kontrolle über eigene Ressourcen und Mitarbeiter haben - eingesetzt wird, für die Automobilindustrie als nicht umsetzbar. Die Einarbeitung in Modelle und Methoden war jedoch für die Entwicklung alternativer Ansätze wertvoll.

Statt eines integrierten Modells wurde für die reaktive Prozessstabilisierung ein Eskalationsprinzip entwickelt. Dessen Grundidee besteht darin, die Störungsbehandlung möglichst lokal zu halten, d.h. bei Vorliegen einer Störung den vorhandenen Plan durch geringstmögliche Anpassung in einen zulässigen Zustand zu überführen. Gelingt die Störungsbehandlung nicht, wird auf eine höhere Ebene mit weiter reichenden Möglichkeiten zur Plananpassung eskaliert und dort der Lösungsversuch wiederholt. Speziell für das operative Disruption Management in Transportsystemen wurde der Forschungsprototyp “Eskalierendes Störungsmanagement im Transport” konzipiert, der auf dieses Eskalationsprinzip zurückgreift. Durch die hohe Flexibilität des Eskalationsprinzips ist die einfache Übertragbarkeit auf weitere Anwendungsfälle gewährleistet. Darüber hinaus wurde für diesen Forschungsprototypen ein Transport-Event-Management-Referenzmodell entwickelt, das die im Rahmen von RAN betrachteten RFID Events sowie ein allgemeines Vorgehen zur Erkennung und Bewertung von Störungen anhand der eingehenden RFID Events beschreibt. Auch dieses Modell ist hochflexibel und kann beispielsweise um nicht RFID-basierte Daten erweitert werden.

Insbesondere bei der Betrachtung des Use Case “Lange Prozesskette” gemeinsam mit dem Projektpartner Daimler hat sich gezeigt, dass entscheidende Voraussetzungen für eine effiziente Störungsbehandlung im operativen Betrieb die Verfügbarkeit von Planungsergebnissen (SOLL-Werten), die Spezifikation von Zielkriterien (IST-Werten) sowie die Verfügbarkeit von geeigneten Handlungsoptionen sind. Speziell die verfügbaren Handlungsoptionen, d.h. die vorhandenen Alternativen zu den Soll-Prozessen, beeinflussen maßgeblich die Qualität der Störungsbehandlung auf operativer Ebene. Aus diesem Grund wurde gemeinsam mit dem Projektpartner Daimler an den Anforderungen für einen Forschungsprototyp “Strategische Alternativenbewertung” für die proaktive Prozessstabilisierung gearbeitet. Er ermöglicht die Identifikation von Schwachstellen bzw. stör anfälligen Prozessen im Zuliefernetzwerk und erlaubt auf Basis der identifizierten Schwachstellen die Definition von Handlungsoptionen, d.h. beispielsweise die Implementierung alternativer Lieferkanäle (inkl. evtl. Abstimmungen bzw. nötiger Zertifizierung), mit denen eine Fortpflanzung von Konsequenzen auf nachfolgende Prozesse verhindert werden kann.

Eine weitere Erkenntnis besteht darin, dass die mit RAN-Technologie realisierbare Transparenz auch für Anpassungen taktischer Pläne genutzt werden kann. Dies konnte am Beispiel der Planung von Milkruns, einem für die Automobilindustrie typischen Planungsproblem, gezeigt werden. Das FZI konzipierte in diesem Zusammenhang den

Forschungsprototypen “Planung und Steuerung zuverlässiger Milkruns”, der mit Hilfe von Feedback aus der operativen Tourdurchführung die Planung stabiler Milkruns ermöglicht.

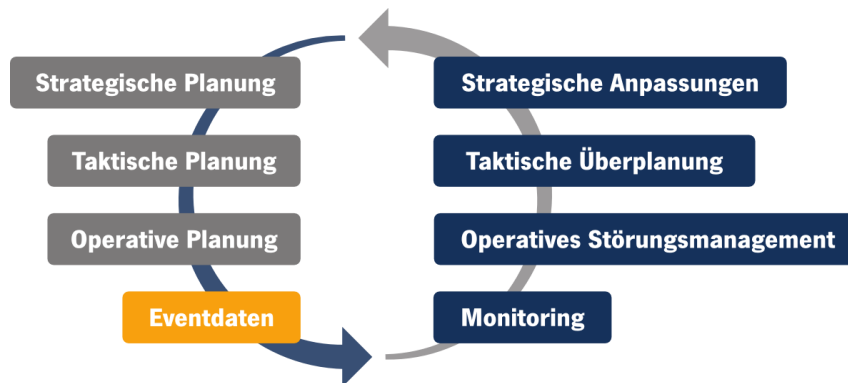


Abbildung 2: Erweiterung des Standardplanungsprozesses um Feedbackschleife

Abschließend kann gesagt werden, dass die volle Nutzung des Potenzials auf den höherstufigen Assistenzsystemstufen durch RAN Technologie sich nur dann vollständig erschließt, wenn die mit RAN verfügbaren Echtzeitdaten dazu verwendet werden, kritische Prozessabweichungen zu identifizieren und zu bewerten sowie Entscheidungen auf allen Planungsebenen zu validieren und ggf. anzupassen. RAN ermöglicht damit erstmals die Erweiterung des Standardplanungsprozesses der Logistik (Abbildung 2, linke Seite) um eine Feedbackschleife (rechte Seite):

Abstrakt gesehen besteht die Notwendigkeit zur Anpassung eines vorhandenen Plans dann, wenn die mittels RFID gewonnenen Informationen über IST (aktuelle) Situationen relevanter Prozesse eine nicht akzeptable Abweichung von den definierten SOLL (geplanten) Situationen wiedergeben (**Monitoring**). Das **operative Störungsmanagement** unterstützt den Disponenten dabei, kurzfristig Alternativen zu identifizieren und zu bewerten, um die Ausführung in die SOLL Situation zurückzuführen. Eine **taktische Überplanung** ist dann sinnvoll, wenn das operative Störungsmanagement wiederholt auf Abweichungen des gleichen Typs bei bestimmten Prozessen reagieren muss. Wenn auch eine wiederkehrende taktische Überplanung Abweichungen und Störungen während der Ausführung nicht verringern kann, sollte eine **strategische Anpassung** durchgeführt werden.

Kommt es bspw. während des Transportablaufs zu einer Abweichung (Verspätung) auf einem Teilabschnitt, kann das operative Störungsmanagement eine alternative Route oder ein alternatives Transportmittel für die folgenden Teilabschnitte vorschlagen. Muss wiederholt eine Verspätung auf diesem Teilabschnitt gemanagt werden, so sollte eine taktische Überplanung erfolgen, deren Ergebnis eine frühere Auslieferung, ein Transportmittelwechsel oder aber eine veränderte Transportroute sein kann. Sofern die taktische Überplanung nicht dauerhaft zur Verringerung der Abweichungen führt, empfiehlt sich eine strategische Anpassung bspw. in Form einer Erhöhung von Sicherheitsbeständen.

Kernergebnisse des FZI

Die Kernergebnisse des FZI bestehen aus drei Forschungsprototypen und den durch das AP1 des Gesamtprojekts, unter maßgeblicher Beteiligung des FZI, erarbeiteten Steuerungsszenarios.

Die Forschungsprototypen spiegeln die Erkenntnis wider, dass die mittels RAN Technologien gewonnene Daten genutzt werden müssen, um die Planungsqualität auf allen Planungsebenen zu verbessern und decken daher alle drei Ebenen ab:

- Für die strategische Planungsebene wurde der Forschungsprototyp “Strategische Alternativenbewertung” entwickelt. Dieser erlaubt es, auf Basis simulierter Abweichungen Schwachstellen des Liefernetzwerks sowie Handlungsoptionen zu identifizieren und ermöglicht dadurch eine proaktive Absicherung gegenüber Supply Chain Risiken.
- Auf taktischer Ebene wurde der Forschungsprototyp “Planung und Steuerung zuverlässiger Milkruns” konzipiert, der die Planung stabiler Milkruns ermöglicht. Außerdem können basierend auf einem Monitoring der IST-Transporte eventuelle Überplanungsbedarfe identifiziert und geeignete Plananpassungen bestimmt werden.
- Für die operative Ebene wurde der Forschungsprototyp “Eskalierendes Störungsmanagement im Transport” konzipiert und umgesetzt, der eine Störungserkennung auf Basis von RAN Events ermöglicht und geeignete Reaktionen zur Störungsbehandlung mit Hilfe eines Eskalationsprinzips ermittelt.

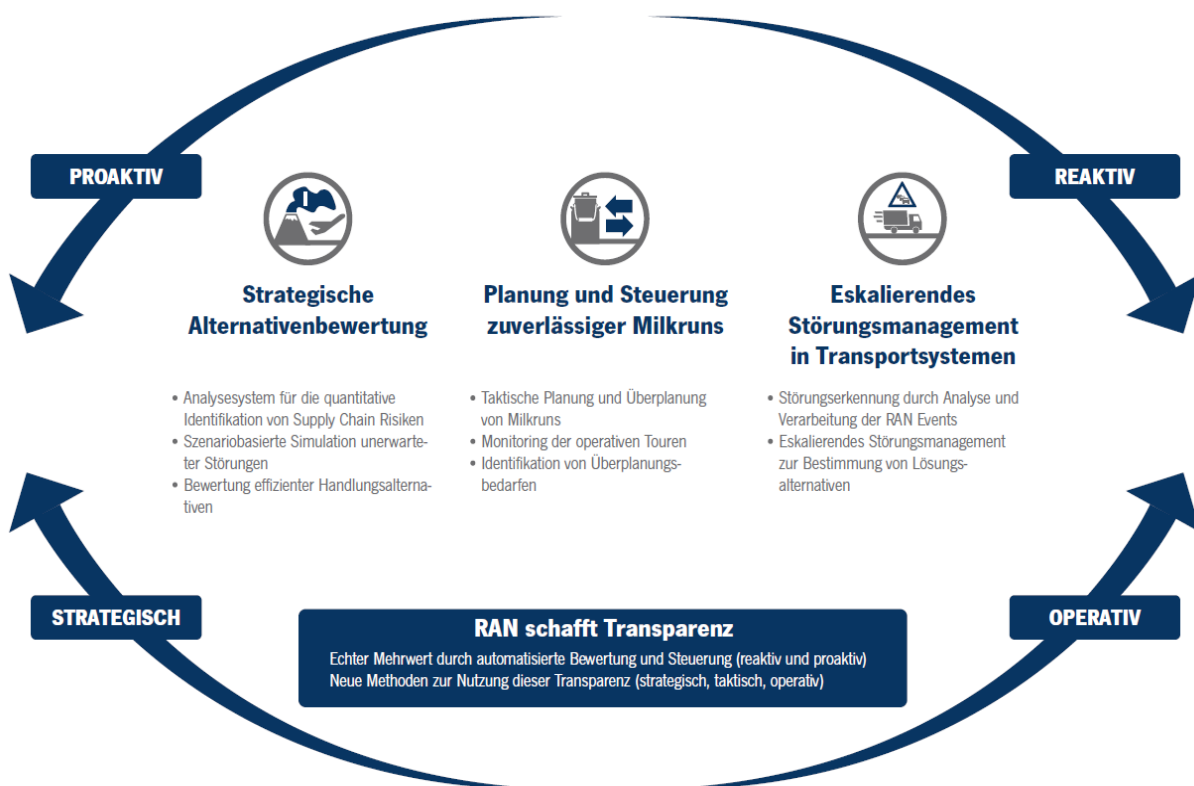


Abbildung 3: Die FZI-Forschungsprototypen

Die drei Forschungsprototypen werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Eskalierendes Störungsmanagement im Transport



Abbildung 4: Das operative Störungsmanagement als Teil der Feedbackschleife

Der Trend zur optimalen Ressourcennutzung durch Pufferreduktion stellt das Transportmanagement vor neue Herausforderungen, denn Störungen im operativen Transportbetrieb kommen leider nicht selten vor und könnten zu teuren Produktionsausfällen durch verspätete Lieferungen führen. Umso wichtiger ist es, diese Störungen frühzeitig festzustellen und schnellstmöglich geeignete Reaktionen einzuleiten. Diese Aufgabe der Disponenten wird jedoch durch die zunehmende Größe der Logistiknetzwerke und die damit verbundene steigende Anzahl und Komplexität von Störungen und Reaktionsmöglichkeiten erschwert. Daher hat das FZI im Projekt RAN eine operative Störungsmanagementkomponente entwickelt, deren Hauptaufgabe darin liegt, anhand definierter Ereignismuster Störungen zu erkennen, den Disponenten darüber zu informieren und ihm kurzfristige Lösungen für die aufgetretene Störung anzubieten. Das Störungsmanagement besteht aus zwei Modulen: der ereignisbasierten Störungserkennung und der eskalierenden Störungsbehandlung.

Die **ereignisbasierte Störungserkennung** nutzt insbesondere, aber nicht ausschließlich, RFID-Scan-Ereignisse, um möglichst viele Informationen über den Transportverlauf zu erhalten. Hierfür hat das FZI im ersten Schritt im Rahmen von FZI-UAP 2 ausgehend von dem RAN-Netzwerk und den RAN-Technologien die Ereignisquellen identifiziert und eine ereignisgesteuerte Referenzarchitektur zur Erfassung und Verarbeitung von Ereignissen innerhalb des Transportnetzwerks als Teil des Stabilisierungssystems entworfen. Wie Abbildung 5 zeigt, nimmt die ereignisgesteuerte Störungserkennung einerseits Ereignisse wie z.B. RAN-RFID-Events von den Quellen entgegen und gleicht sie unter Zuhilfenahme der CEP-Engine Esper gegen zuvor definierte Regel- und Erkennungsmuster ab. Andererseits ist sie an die eskalierende Störungsbehandlung angebunden und kann Kunden und Disponenten über vorliegende Störungen benachrichtigen.



Abbildung 5: Referenzarchitektur Stabilisierungssystem

Im nächsten Schritt wurden im FZI-UAP 3 die im Rahmen von RAN zu betrachtenden Ereignisse festgelegt und ausgehend davon das Transport-Event-Management-Referenzmodell aufgestellt, das die einzelnen Ereignisse auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen abbildet. Das Referenzmodell dient dazu, die Eigenschaften und Zusammenhänge der Ereignisse, insbesondere hinsichtlich der später aufgestellten Regeln zur Störungserkennung darzustellen. Dabei wird zwischen drei Abstraktionsebenen der Ereignisse unterschieden: Feld-, Status- und Störungsereignisse. Zu den Feldereignissen zählen alle Ereignisse, die direkt von den Ereignisquellen ausgelöst werden. Diese werden im Rahmen der Ereignisverarbeitung mit Hilfe von Regeln zu Statusereignissen aggregiert, von denen wiederum durch Einsatz der zuvor definierten Regeln von der CEP-Engine Esper komplexe Störungsereignisse abgeleitet werden. Die Eigenschaften der Ereignisse auf den drei Abstraktionsebenen wurden durch Parameter und ggf. erwartete Parameterwerte beschrieben. Dabei wurden insbesondere die RAN Standards in die Modellierung einbezogen.

Basierend auf dem Transport-Event-Management-Referenzmodell und dem Expertenwissen aus dem RAN-Konsortium wurden im zweiten Schritt für ausgewählte Störungssituationen Muster und Regeln definiert, die später der CEP-Engine als Grundlage für die Störungserkennung übergeben wurden. Die Regeln sind nach dem klassischen Ereignis-Bedingung-Aktion-Prinzip aufgebaut. D.h. für jede Regel wurde ein auslösendes Ereignis definiert und eine zu prüfende Bedingung, die eine Störungssituation bzw. Störungskategorie beschreibt (z.B. fehlender RFID-Scan), festgelegt. Ist diese erfüllt, löst die CEP-Engine eine Aktion wie z.B. die Aktivierung der Störungsbehandlung aus. Durch diesen regelbasierten Ansatz, der nur Ereignisse und KPIs einbezieht, kann die Erkennung von Störungen unabhängig von der konkreten Ursache oder dem Verursacher erfolgen. Zudem wird auf diese Weise ermöglicht, die Bewertung, ob eine Störung kritisch ist oder nicht, implizit in der Bedingung durchzuführen ohne dafür eine zusätzliche Komponente zu benötigen.

Zur Notation der Regeln wurde eine speziell für Esper entwickelte Beschreibungssprache verwendet, um die praktische Umsetzung des Konzeptes zu erleichtern.

Stellt die Störungserkennung eine kritische Störung fest, die einen Eingriff erfordert, wird die **dynamische Störungsbehandlung** zur Prozessstabilisierung aktiviert. Diese ist dafür zuständig, ausgehend von der aktuellen Ist-Nutzung der Ressourcen möglichst schnell

Lösungen zu generieren, zu bewerten und dem Disponenten zur Verfügung zu stellen, mit deren Hilfe der von der Störung betroffene Prozess in einen stabilen Zustand zurückgeführt werden kann. Hierbei verfolgt das FZI einen eskalierenden Ansatz, bei dem Ressourcen und Reaktionsansätze abhängig von ihrer Auswirkung auf das RAN-Netzwerk eingeteilt werden. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Reaktionen zur Prozessstabilisierung so lokal wie möglich erfolgen und die Auswirkungen der Planänderung durch die Störung auf die Gesamtplanung im RAN-Netzwerk so gering wie möglich ausfallen.

Im Rahmen des FZI-UAP 4 wurden im RAN-Projekt fünf Eskalationsebenen identifiziert: Tour-, Transport-, Auftrags-, Flotten- und Netzwerkebene (s. Abbildung 6).

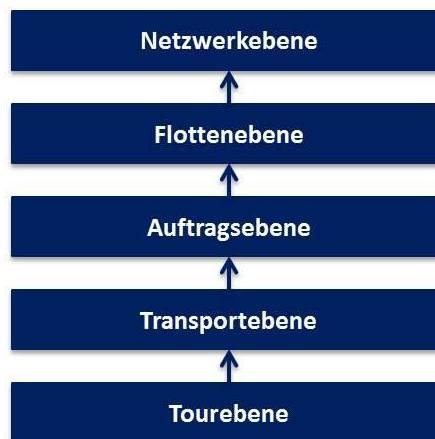


Abbildung 6: Eskalationsebenen

Die Störungsbehandlung auf der untersten Ebene, der *Tourebene*, versucht zunächst, die von der Störung betroffene Tour durch Änderung der Tourpunktreihenfolge zu überplanen. Dabei muss beachtet werden, dass Tourpunkte, die bereits bedient wurden, von den Änderungen ausgenommen werden. Als Ergebnis erhält man eine angepasste Tour, bei der zwar die einzelnen Tourpunkte in einer anderen Reihenfolge angefahren werden, die Öffnungszeiten der Tourpunkte und die Abfahrtszeiten der Anschlusstouren jedoch eingehalten werden. Ist dieser Versuch nicht erfolgreich, wird die Menge der betrachteten Touren erhöht und alle übrigen aktiven Touren so überplant, dass sie die von der Störung betroffenen Tourpunkte übernehmen können. In diesem Zusammenhang ist am FZI unter anderem auch ein Werkzeug entstanden, das in internationalen Lieferketten eine kurzfristige Umleitung der Materialflüsse bis hin zu einzelnen Sendungen ermöglicht, indem es auf alternative Transportrelationen und -modi zugreift und die zugehörigen Ressourceneinsätze neu disponiert. Dabei musste bei der Neudisposition der bereits verplanten Ressourcen insbesondere darauf geachtet werden, dass diese über ausreichend Kapazitäten (freie Ladefläche, Zeitpuffer bei den An- und Abfahrtszeitpunkten usw.) verfügen, damit es zu keiner Folgestörung in den regulären Tourpunkten kommt.

Kann auf der Tourebene keine zulässige Stabilisierungsreaktion für die Störung ermittelt werden, wird die Lösungssuche auf der nächsten Ebene, der *Transportebene*, fortgesetzt. Hier wurde ein Werkzeug entwickelt, das prüft, ob es andere Umschlagpunkte gibt, die über ausreichenden Puffer (Zeitfenster, Ladefläche, Kosten) verfügen, um den Transport zu bedienen. Ist dies der Fall, wird der Warenfluss so umgeleitet, dass der Transport über einen der alternativen Umschlagpunkte erfolgt.

Auf der *Auftragsebene* wird ausgehend von dem spätesten vom Kunden geduldeten Liefertermin geprüft, ob eine der zuvor nicht zulässigen Reaktionsmöglichkeiten (z.B. die Bedienung des Tourpunktes zu einem späteren Zeitpunkt, die zur Überschreitung des vereinbarten Liefertermins führen würde) anwendbar ist, wenn man die Ware zwar zu einem späteren Zeitpunkt als geplant, jedoch innerhalb der zulässigen Lieferzeit ausliefert. Dabei wird nicht nur untersucht, ob die unmittelbar von der Störung betroffenen Aufträge aus der aktuellen Tour entfernt und auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden können, sondern auch ob nicht andere Aufträge innerhalb der betroffenen oder innerhalb einer der übrigen Touren durch problematische Aufträge ersetzt werden können. Auf diese Weise können zuvor unzulässige Lösungen der untergeordneten Eskalationsebenen (z.B. Verschiebung eines Auftrags in eine andere Tour) wieder zulässig werden.

Kann eine Störung nicht mit bereits aktiven Fahrzeugen behoben werden, wird die Reaktionssuche auf die *Flottenebene* eskaliert. Auf dieser Ebene wird versucht, eine Sonderfahrt mit einem der zur Störungszeit noch freien Fahrzeuge zu planen, sofern es noch solche gibt.

Bei den bisher vorgestellten Eskalationsebenen werden nur die lokalen Ressourcen des betroffenen Spediteurs für Reaktionen herangezogen. Dabei wird zur Überplanung der gleiche Planungsalgorithmus wie für die Initialplanung verwendet, um die Durchgängigkeit des Systems zu gewährleisten.

Reichen die Ressourcen des betroffenen Spediteurs nicht aus, um die Störung lokal zu beheben, kann die Suche nach einer Lösung auf die höchste Ebene, nämlich die *Netzwerkebene* eskaliert werden. Auf dieser Lösungsebene werden einerseits alternative Gebietsspeditionen kontaktiert, die dann die Möglichkeit haben ein Unterstützungsangebot zur Auflösung der Störung abzugeben. Zur Kontaktaufnahme und Angebotsabgabe werden auf dieser Ebene Agententechnologien eingesetzt. Können auch andere Speditionen bei der Auflösung der Störung nicht helfen oder erzielt man keine Einigung mit diesen, besteht auf der Netzwerkebene immer noch die Möglichkeit, mit dem Auftraggeber oder Kunden über die Kosten zu verhandeln, die für die Verspätung der Lieferung in Rechnung gestellt werden. Auch hierbei kommen Agententechnologien zum Einsatz.

Da einerseits auf jeder der beschriebenen Ebenen mehrere Stabilisierungsreaktionen existieren können, die jeweils hinsichtlich unterschiedlicher KPIs optimal sind, und es andererseits möglich ist, die Problemlösung auf verschiedenen Ebenen zu verteilen und die Teillösungen zu unterschiedlichen Reaktionsbündeln zusammenzufassen, ist es notwendig, eine Reaktionsbewertung durchzuführen, um den am besten geeigneten Reaktionsvorschlag zu bestimmen. Hierfür werden die ermittelten Lösungsvorschläge anhand der zuvor festgelegten Kriterien und einer entsprechenden Funktion bewertet. Zur Bewertung können beispielsweise zusätzliche Transportkosten, zusätzliche Transportzeit, zusätzliche Transportstrecke usw. herangezogen werden. Diese initiale Liste kann durch den Benutzer um weitere Bewertungskriterien erweitert werden. Ebenfalls kann die Bedeutung der einzelnen Bewertungskriterien über ihre Gewichtung durch den Benutzer gesteuert werden. Gibt der Benutzer keine Präferenzen an, werden alle Kriterien gleich gewichtet.

Als Bewertungsfunktion wird eine einfache additive Methode eingesetzt, da auf diese Weise gewährleistet ist, dass, je nach Gewichtung, wichtige positive Attributwerte weniger wichtige,

jedoch leicht negative Attributwerte ausgleichen. Da die Bewertungskriterien in ihren Werteeigenschaften sehr unterschiedlich sein können, wurde auch ein Verfahren eingeführt, das die Attributwerte im ersten Schritt auf einen einheitlichen Bereich zwischen 0 und 1 normiert. Auf diese Weise wird die Vergleichbarkeit zwischen den Kriterienwerten gewährleistet. Das Bewertungsergebnis einer Reaktionsmöglichkeit ist umso besser, je höher das Ergebnis der Bewertungsfunktion ausfällt.

Das Eskalationsverfahren zur operativen Prozessstabilisierung kann aber nur zuverlässig funktionieren, wenn das zugrundeliegende Reaktionsmodell, das den Raum möglicher Reaktionen umfasst und durch die verfügbaren Ressourcen festgelegt wird, trotz störungsbedingter Reaktionen aktuell ist. Die Aktualität des Reaktionsmodells hängt wiederum eng mit dem Situationsmodell zusammen, das durch die Verwendung von Ressourcen definiert wird und insbesondere für die Störungserkennung wichtig ist. Daher muss bei der Umsetzung der Reaktionen darauf geachtet werden, dass diese beiden Modelle entsprechend angepasst werden. Um dies sicherzustellen, hat das FZI parallel zur Entwicklung des Störungsmanagements im Rahmen von FZI-UAP 3 ein Konzept entwickelt, das die Aktualisierung der beiden Modelle sicherstellt. Erreicht wird dies einerseits durch die sequentielle Bearbeitung von Störungen, die verhindert, dass gleiche Ressourcen doppelt für zwei unterschiedliche Reaktionen verwendet werden. Andererseits ist die Störungsbehandlung eng an die Datensysteme, welche die Plandaten und damit die Ressourcenverwaltung vorhalten, gekoppelt und aktualisiert nach jeder erfolgreich umgesetzten Reaktion direkt die zugrundeliegenden Pläne im System. Auf diese Weise greift sowohl die Störungserkennung als auch die Störungsbehandlung immer auf die aktuellsten Daten und damit auf ein aktuelles Situations- und Reaktionsmodell zu.

Schließlich hat das FZI im Rahmen von FZI-UAP 5 sowohl das Ereignis- und Regelkonzept der Störungserkennung als auch die dynamische Reaktionsbestimmung durch die eskalierende Störungsbehandlung prototypisch implementiert und im Rahmen einer Simulation anhand eines für die Automobilindustrie typischen Netzwerks getestet (FZI-UAP 7).

Planung und Steuerung zuverlässiger Mikruns



Abbildung 7: Die taktische Überplanung als Teil der Feedbackschleife

Ein operatives in Echtzeit arbeitendes Störungsmanagement ist nur begrenzt in der Lage, im Falle von falsch ausgelegten taktischen Plänen einen stabilen Systemzustand zu erzeugen.

Ist beispielsweise bei regelmäßig laufenden Touren zur Produktionsversorgung die Nachfrage häufig höher als bei der Auslegung des taktischen Plans angenommen, so kann das operative Störungsmanagement nur mit dem Auslösen von Sonderfahrten reagieren, um einen Produktionsabbruch zu vermeiden. Damit kommt mittelfristig kein stabiles System zustande. Tritt der umgekehrte Fall ein, dass die Nachfrage bei Zulieferern, die auf einer Tour bedient werden, stets niedriger als angenommen ist, so ist die Regeltour stets stabil - und daher für den Disponenten völlig unauffällig, aber nicht kostendeckend, da das Fahrzeug dauerhaft mit einer niedrigen Auslastung betrieben wird. Ähnlich wie bei mengenmäßigen Abweichungen, können auch dauerhafte Abweichungen in den der taktischen Planung zu Grunde gelegten Fahr- und Servicezeiten entstehen, die zu Instabilitäten in Regeltouren führen.

Solche Sammeltouren zur Produktionsversorgung, die mehrere Verladestellen auf einer definierten Transportroute beinhalten, sind innerhalb des Lean Manufacturing, das nahezu alle großen Automobilhersteller inzwischen umsetzen, eine wichtige Belieferungsform und werden als Milkruns bezeichnet. Der VDA führt Milkruns in seiner Norm 5010 als Standardtransportform. Sie eignen sich für relativ regelmäßig verbrauchte Komponenten oder Teile, mit mittleren Volumina von geographisch geclusterten Zulieferern (siehe VDA Norm 5010, S. 41).

Im Idealfall laufen Milkruns bis zu mehrmals täglich, der Materialabruf beim Zulieferer erfolgt über ein eKANBAN System und es entsteht keinerlei Steuerungsaufwand für Disposition und Zulieferer. Sind die Prozesse jedoch nicht extrem stabil, so kommt es - wie oben beschrieben - entweder ständig zu Eingriffen durch die beteiligten Disponenten oder zu schlecht ausgelasteten Fahrzeugen.

Das FZI hat im Rahmen des RAN Projektes ein Werkzeug konzipiert und teilweise umgesetzt, das den Einsatz des Milkrunkonzeptes für einen breiteren Kreis an Zulieferteilen möglich macht. Grundlage ist eine durch RAN Technologien ermöglichte ständige Überwachung der Touren und gegebenenfalls die Anpassung der Pläne im Falle von dauerhafter Veränderung der Planungsparameter, so dass das Risiko für Instabilität auf der einen und Ineffizienz auf der anderen Seite minimiert wird.

Das Konzept sieht die folgenden Funktionalitäten für das Planungs- und Steuerungstool vor: (1) die automatisierte Erzeugung taktischer Milkrunpläne, (2) die Umsetzung der taktischen Pläne in operative Touren auch im Falle von Abweichungen ggü. den prognostizierten Mengen und (3) die ständige Überwachung von Leistungskennzahlen (Auslastung, Liefertreue, etc.) sowie die Identifikation, ob und in welcher Form eine Anpassung des taktischen Milkrunplans (bspw. auf Basis von prognostizierten Verbräuchen) sinnvoll ist.

Das innerhalb des FZI-UAP 4 entwickelte Architekturkonzept ist in Abbildung 8 skizziert und sieht das Zusammenspiel der Komponenten wie folgt vor:

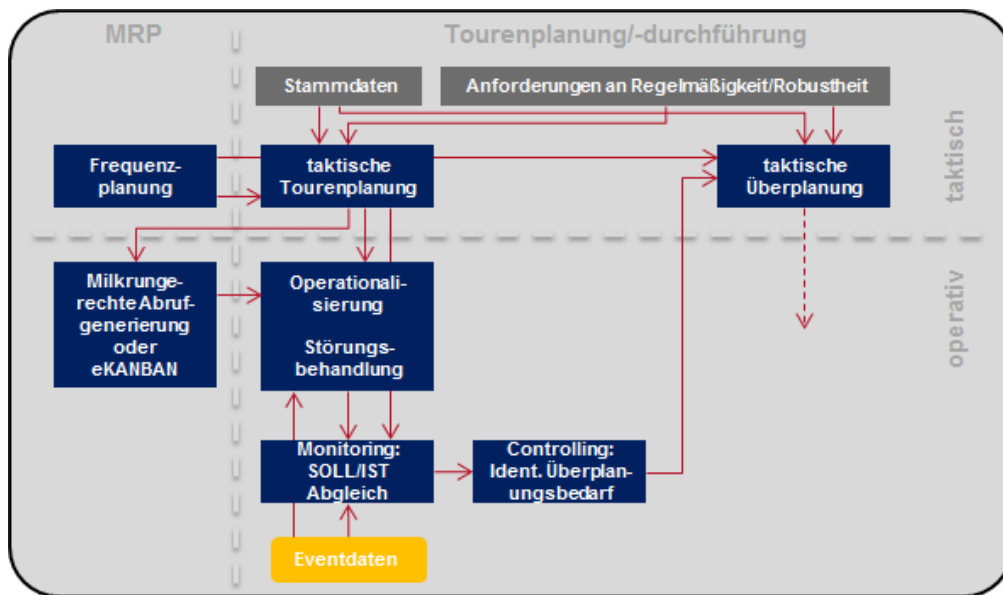


Abbildung 8: Architekturskizze Milkrunplanung und -steuerung

Als Inputdaten für das taktische Milkrunplanungsmodell gehen Stammdaten zu Zulieferern, eine Frequenzplanung je Lieferrelation (Frequenz, durchschnittliche Menge) sowie Anforderungen an Regelmäßigkeit und Robustheit ein. Bei gegebenem “Milkrun-Fahrplan” werden die Volumina je Abholung entweder über ein eKANBAN System gesteuert oder der Fahrplan dient als Grundlage für eine Milkrunrechte Abrufplanung. Weichen die Volumina von den erwarteten Volumina ab, wird zunächst geprüft, ob die Fahrzeugkapazität überschritten ist und es sich damit um eine Störung handelt. Ist das gegeben, so wird über die Störungsbehandlung eine zulässige Lösung erzeugt, indem z.B. ein Gebietsspediteur beauftragt wird, die überschüssigen Mengen oder einzelne Abholungen zu übernehmen.

Das gesamte Milkrunsystem wird in Echtzeit überwacht und eine Controlling Komponente prüft, ob alle Annahmen über die Planungsparameter korrekt sind. Ist das nicht gegeben, wird ein Überplanungsprozess angestoßen und auf prognostizierten Abrufen simulativ geprüft, ob die Anpassung des Milkrunplanes eine Verbesserung der Situation bedeuten würde. Ist dies der Fall, kann ein Disponent über die Annahme des neuen Plans entscheiden - ein angenommener Plan dient dann wieder als Grundlage für die operative Umsetzung und Überwachung.

Zur Umsetzung eines solchen Systems wurde zunächst aufbauend auf den RAN Technologien und Standards ein Datenmodell entworfen, mit dem sowohl taktische und operative Pläne als auch Echtzeitdaten (Events) und die Zusammenhänge zwischen Plan- und Echtzeitdaten vollständig abbildbar sind (FZI-UAP 3). Daraufhin wurde ein Monitoringtool entwickelt (FZI-UAP 5), das der Überwachung eines Milkrunsystems (oder anderer Regeltransporte) durch den Disponenten dient. Zielstellung war es dabei Darstellungsformen zu entwickeln, mit denen alternative Pläne und unterschiedliche Planungsebenen sowie die Abweichungen der Echtzeitdaten von den Plandaten, so dargestellt werden, dass die Unterschiede für den Anwender leicht erfassbar und damit bewertbar werden (Beschreibung siehe Abschnitt “Weitere Ergebnisse FZI”).

In FZI-UAP 4 wurde untersucht, wie geeignete Modelle zur taktischen Milkrunplanung aussehen sollten. Dazu wurden zunächst die Anforderungen an ein Planungsmodell aus der

Literatur zum LEAN manufacturing extrahiert und in Expertengesprächen mit unserem langjährigen Partner LOCOM validiert. LOCOM betreibt seit vielen Jahren Logistikberatung in der Automobilindustrie - unter anderem für die RAN Projektpartner Daimler und Bosch - und legt Milkrunsysteme als Dienstleistung für seine Kunden aus. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden die relevanten akademischen Modelle aus dem Bereich der Tourenplanung untersucht und ein umfassender Literaturüberblick zu den Themen Periodic Vehicle Routing Problem und Inventory Routing Problem erstellt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten mündeten in der Entwicklung eines Mathematischen Modells, das implementiert wurde, um kleine Instanzen (3 Tage, 2 LKW, 10 Verladestellen) optimal zu lösen. Da das Problem eine Verallgemeinerung des Tourenplanungsproblems darstellt mit der Anforderung an Synchronisierung zwischen den Touren an unterschiedlichen Tagen (Definition vgl. Drexel 2012), ist es schwer lösbar. Schon die Lösung der Probleme mit 10 Kunden erforderte eine pfadbasierte Formulierung des Problems mit der Generierung aller zulässigen Pfade vorab. Erwartungsgemäß war es also nötig eine Heuristik zu entwickeln, die auf Basis der optimalen Lösungen für die kleinen Instanzen evaluiert werden sollte. Die Erkenntnisse und Ergebnisse wurden in wissenschaftlichen Vorträgen vorgestellt und sollen in einer geplanten wissenschaftlichen Veröffentlichung verwertet werden.

Sind Synchronisationsrestriktionen in einem Tourenplanungsmodell enthalten, so haben sich in der Literatur in den letzten Jahren Starheuristiken und Verbesserungsverfahren, die auf einer Large Neighborhood Search (LNS) beruhen, als besonders erfolgreich erwiesen. Darüber hinaus hat das FZI mit Constraint Programming (CP) basierter Large Neighborhood Search gute Erfahrungen gemacht, da man in dieser Methode die Stärken des CP mit seinen extrem flexiblen Formulierungsmöglichkeiten für ein Modell mit der Stärke eines lokalen Verbesserungsverfahrens, wie es im Bereich der Tourenplanung erfolgreich ist, verbindet. Daher wurde in FZI-UAP 4 zunächst ein CP Modell für Periodische Tourenplanungsmodelle entwickelt und darauf aufsetzend unterschiedliche Starheuristiken und Verbesserungsverfahren implementiert. Die Ergebnisse, die auf Benchmarkinstanzen aus der Literatur für periodische Tourenplanungsprobleme mit Zeitfenstern (also ohne Synchronisationsanforderungen) erzielt wurden, waren für praxisrelevante Problemgrößen in Bezug auf Geschwindigkeit und Lösungsqualität zufriedenstellend und wurden in wissenschaftlichen Vorträgen und einem Short Paper veröffentlicht.

Das Controlling der Milkrunpläne findet auf Basis der gleichen Konzepte und auf der selben technischen Grundlage statt wie die Überwachung der operativen Touren im eskalierenden Störungsmanagement und wird daher nicht näher beschrieben. Es ist in der bereits beschriebenen Monitoring Komponente umgesetzt.

Für die szenariobasierte Überplanung der taktischen Milkrunpläne wurde in FZI-UAP 4 ein erstes Konzept entworfen. Nach unserem Wissen gibt es derzeit kaum wissenschaftliche Arbeiten, die sich damit beschäftigen taktische Tourenpläne basierend auf Eventdaten und einer Nachfrageprognose automatisiert anzupassen. Daher ist eine Veröffentlichung zu diesem Thema zeitnah geplant. Die Umsetzung des Konzeptes erfolgte aus Zeitgründen noch nicht, da die Arbeiten zum Demonstrator "Planung und Steuerung zuverlässiger Milkruns" erst zu Beginn des Jahres 3 des RAN Projektes begonnen haben. Mit ProveIT hat man jedoch schon heute ein Nachfolgeprojekt, in dem das Konzept implementiert und im laufenden Betrieb beim RAN Partner Bosch und dem Automobilzulieferer ZF verprobt werden soll.

Strategische Alternativenbewertung



Abbildung 9: Strategische Anpassungen als Teil der Feedbackschleife

Auch bei einer wiederkehrenden robusten Überplanung taktischer Transport- und Produktionspläne kann eine dauerhafte Verringerung der Abweichungen nicht immer umgesetzt werden. Insbesondere solche Abweichungen, die sich durch ein hohes Maß an Unsicherheit bzgl. ihres Eintretens und ihrer Konsequenzen auszeichnen, lassen sich durch taktische Überplanungen nicht immer adäquat im Sinne der Unternehmensziele managen. Der Identifikation, Analyse und Bewertung der beschriebenen Abweichungen wird in den vergangenen Jahren unter dem Schlagwort „Supply Chain Risikomanagement“ eine besonders große Aufmerksamkeit zuteil. Für die Integration von risikomindernden Aspekten empfiehlt sich eine strategische Anpassung bspw. in Form einer gezielten Erhöhung von Sicherheitsbeständen an ausgewählten relevanten Standorten oder einer Implementierung weiterer Distributions- und Beschaffungskanäle oder einer Umsetzung kapazitätserweiternder und ggf. flexibel-verfügbarer Maßnahmen. Mit einer strategischen Überplanung sind u.U. enorme Investitionen verbunden, da unter der Beachtung von Risikoaspekten ein Produktionsstandort- oder auch Lieferantenwechsel sinnvoll sein kann. Neuplanungen, die langfristig und nachhaltig Prozessstabilität ermöglichen sollen, können nur in großen zeitlichen Abständen wiederholt werden. Um die Funktion der Lieferkette proaktiv vor unerwarteten Abweichungen zu schützen, empfiehlt es sich eine Analyse möglicher Abweichungen und die Reaktion der zugrundeliegenden Lieferkette auf diese Abweichungen in den ersten Schritt des Planungsprozesses zu integrieren.

Auf Basis dieser Anforderung hat das FZI im Rahmen des RAN Projektes ein Referenz-Werkzeug konzipiert, implementiert und teilweise evaluiert, das Abweichungen simuliert und deren Einflüsse auf die operative Durchführung analysiert. Da Unternehmen Risiken mitunter sehr unterschiedlich wahrnehmen, bewerten und priorisieren, ermöglicht das Werkzeug eine unternehmensspezifische Bewertung der durch die Abweichung hervorgerufenen Konsequenzen. Auf Basis der identifizierten Schwachstellen lassen sich einzelne Handlungsoptionen gezielt auf ihre risikomindernde Wirkung analysieren und bewerten. Die Arbeiten am Forschungsprototyp „Strategische Alternativenbewertung“ umfassten zunächst die Entwicklung eines Referenzsystems mit generischen Komponenten und in einem nächsten Schritt dessen Anpassung auf den Schwerpunkt-Use Case des Projektpartners Daimler. Die technischen (FZI-UAP 5) und methodischen (FZI-UAP 4) Funktionalitäten des entwickelten Referenzsystems sind in Abbildung 10 dargestellt.



Abbildung 10: Funktionalitäten des Referenzsystems "Strategische Alternativenbewertung"

Anwenderorientierte Risikodefinition: Angesichts der zum Teil gravierenden unternehmerischen Folgen, die durch eine Vielzahl unerwarteter Ereignisse in den letzten Jahren beobachtet werden konnten, erscheint ein Streben nach Effizienz und gleichzeitig nach einer zuverlässigen Ausrichtung einer Lieferkette als konkurrierend. Je effizienter das Netzwerk sein soll, d.h. je geringer der Aufwand zur termingerechten Auftragserfüllung sein soll, umso kleiner müssen system-inhärente Puffer dimensioniert werden. Das Netzwerk wird jedoch folglich anfälliger gegenüber Störungen oder Schwankungen sein, da effizienzoptimale Systeme den zulässigen Lösungsraum maximal ausschöpfen. Je zuverlässiger ein Netzwerk sein soll, d.h. je weniger volatil bspw. der Servicegrad auch bei eintretenden Störungen und Schwankungen sein soll, umso größer sind die zeitlichen und kapazitiven Redundanzen zu wählen. Der unter diesen Bedingungen nötige Aufwand liegt über dem des ausschließlich effizienzgetriebenen Netzwerkes.

Das Ziel eines Risikomanagementsystems für Lieferketten liegt nun zum einen in der Anforderung begründet die Anfälligkeit einer Lieferkette gegenüber Risiken, die die Effizienz oder die Zuverlässigkeit bedrohen, zu verstehen und zu bewerten. Darüber hinaus muss ein solches System dabei unterstützen die Dimensionen des vorliegenden Zielkonfliktes zwischen Effizienz und Zuverlässigkeit zu verstehen um die genannten Risiken beherrschbar zu machen, indem geeignete Handlungsoptionen zu deren Verringerung abgeleitet werden. Zu diesem Zweck wurde innerhalb des FZI-UAP 1 ein Katalog von sowohl aussagekräftigen Leistungskennzahlen (Effizienzmaße) sowie risikoindizierender Kennzahlen (Zuverlässigkeitsmaße) erstellt und ein Konzept für ein Kennzahlen-Berechnungsframework entwickelt. Der Anwender wird zu Beginn des Identifikationsprozesses aufgefordert anhand des Kennzahlenkatalogs das unternehmensspezifische Risiko zu definieren.

Konsistentes Datenmodell: Die Analyse von integrierten Beschaffungs- und Distributionsnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken erfordert gegenüber der operativen Produktions- und Beschaffungsplanung einen veränderten Planungsansatz: Da Risiken

definitionsgemäß unsichere Ereignisse betreffen, kann die deterministische Planungslogik dieser Systeme nicht unmittelbar angewandt werden. Auf dem Markt existieren heute Lösungen für die Planung von Produktion, Transport und Logistiknetzwerken, die jedoch den Risikoaspekt nicht beinhalten und überwiegend deterministisch arbeiten. Anwender solcher Lösungen haben einen beträchtlichen Aufwand in die Entwicklung und Implementierung geeigneter Modelle sowie die Konfiguration der Werkzeuge und IT-Systeme investiert. Ein technisches Ziel für die Implementierung des Referenzsystems war es daher die Möglichkeit zu bieten bestehende Planungsmodelle um die Berücksichtigung von Risiken und Unsicherheiten zu erweitern ohne in die Planungslogik einzugreifen. Der Kern des Referenzsystems (Szenarioerzeugung und Planungsauswertung) ist somit nicht abhängig von der Datenstruktur des zugrundeliegenden Planungsmodells. Die interne Datenstruktur wird durch Lieferketten-typische Konzepte (Patterns) und Eigenschaften (Characteristics) abgebildet. Konzepte werden in strukturelle, operative und technische Komponenten unterteilt, um das Design der zugrundeliegenden Lieferkette wie auch ihre logistischen Aktivitäten und Fähigkeiten abbilden zu können. Mithilfe von Regeln werden die Beziehungen der einzelnen Komponenten untereinander beschrieben. Abbildung 11 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

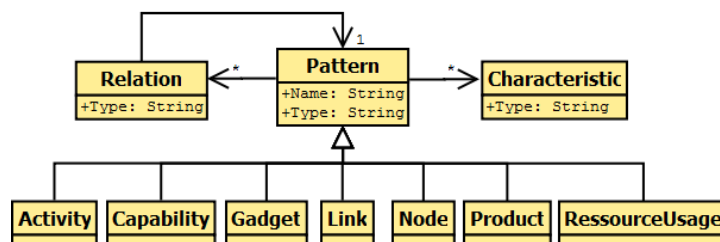


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Lieferketten-typischen Konzepten und Eigenschaften

Die Datenstruktur des zugrundeliegenden Planungsmodells muss in die interne Datenstruktur des Referenzsystems überführt werden. Für einen exemplarischen Transportprozess wird in Abbildung 12 eine Zuordnungsregel dargestellt.

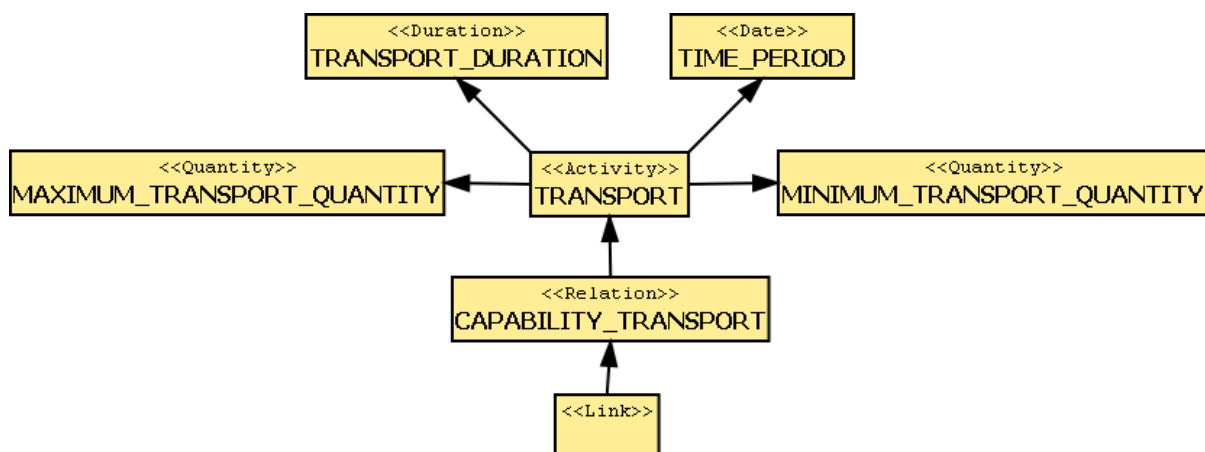


Abbildung 12: Zuordnungsregel für den Transport-Prozess einer beispielhaften Lieferkette

Effiziente Szenarioerzeugung & Intelligente Analyse: Zur Abbildung von Risiken wird eine szenariobasierte Simulation von Abweichungen verwendet. Das Simulationssystem zeichnet sich durch ein effizientes Zusammenspiel der benötigten Komponenten – Simulationskern,

Szenarioverwaltung und Risikoanalyse – aus. Erzeugte Szenarios werden an die Planungskomponente weitergereicht und geplant. Auf Basis der Planungsergebnisse wird überprüft wie das vom Anwender zu Beginn definierte unternehmensspezifische Risiko beeinflusst wird und welche Risikotreiber dafür verantwortlich sind. Da eine Vielzahl ganz unterschiedlicher Faktoren als Risikotreiber infrage kommt und die Planung einer Vielzahl von Szenarios zeitaufwendig ist, wurde der Identifikationsprozess in zwei Phasen eingeteilt: Einer Screening-Phase, die einflussreiche Faktoren von irrelevanten trennt, und eine Analyse-Phase, die das Ausmaß des Einflusses der einflussreichen Faktoren quantifiziert. Das Ziel der ersten Phase besteht darin, die Gesamtzahl zu untersuchender Faktoren derart zu verringern, dass die zweite Phase nur für risikorelevante Faktoren durchgeführt werden kann. Es zeigte sich, dass Methoden der „Response Surface Methodology“ für die Quantifizierung des Risikoniveaus der als relevant identifizierten Faktoren besonders geeignet sind. Diese Methoden basieren auf einem iterativen Ansatz, der auf Basis vorangegangener Szenarioergebnisse Szenarios für einen weiteren Planungsdurchlauf erzeugt.

In einem nächsten Schritt sollte dieses Referenzsystem auf den Use Case „Lange Prozesskette“ des Projektpartners Daimler angepasst werden. Ausgangspunkt hierfür bildete die detaillierte Analyse des Use Case (FZI-UAP 1). Um unter verschiedenen Handlungsoptionen zur Störungsbehandlung wählen zu können und damit erst ein sinnvolles Disruption Management zu ermöglichen, war es erforderlich, die Lieferkette des Use Case in Abstimmung mit dem Projektpartner Daimler zu einem Liefernetzwerk mit alternativen Transportrelationen bzw. -modi und alternativen Produktionsstandorten zu erweitern. Zur Verwendung als Referenzplanungsmodell wurde das resultierende Transportnetzwerk, welches in Abbildung 13 dargestellt ist, anschließend mathematisch modelliert (FZI-UAP 5).

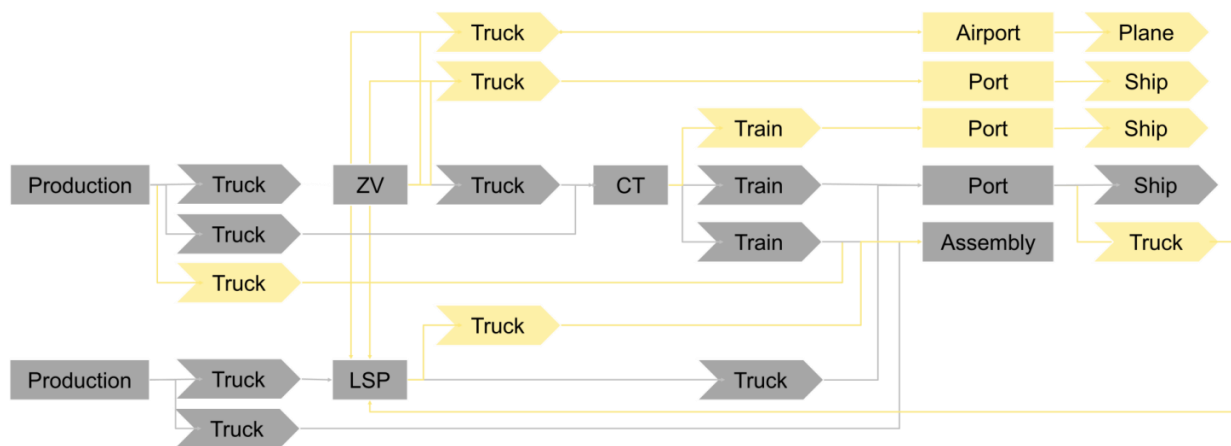


Abbildung 13: Netzwerkstruktur des Use Cases "Lange Prozesskette"

Schließlich hat das FZI den Forschungsprototyp „Strategische Alternativenbewertung“ auf Basis der vom Projektpartner Daimler gelieferten Strukturdaten sowie anhand von simulierten Bewegungsdaten evaluiert (FZI-UAP 7).

Leitfäden

Das FZI hat zusammen mit dem Projektpartner Daimler übergreifende, inhaltliche und koordinierende Aufgaben bei der Ausarbeitung allgemeiner Steuerungsszenarios (FZI-UAP 6) innerhalb des AP 1 des Gesamtprojekts übernommen. In Zusammenarbeit mit den Use-Case-Partnern sowie den beteiligten Forschungseinrichtungen wurden acht, nach Anwendungsbereichen gegliederte und sinnvoll voneinander abgegrenzte Szenarios gebildet, denen jeweils eine für die Automobilindustrie typische Steuerungsaufgabe zugrunde liegt. Die Szenarios enthalten sowohl fachliche als auch technische Empfehlungen zur Gestaltung von Prozessketten und können als Entwurfsmuster für die Automobilindustrie verstanden werden. Um eine hohe Qualität der Konzepte zu erzielen, war das FZI maßgeblich an der Formulierung der Qualitätsanforderungen für die Ausarbeitung der Steuerungsszenarios und deren Abstimmung mit den Projektpartnern beteiligt. Zudem hat das FZI die Partner bei der Ausarbeitung in hohem Maße unterstützt und gemeinsam mit ihnen Maßnahmen zur Qualitätssicherung entwickelt und durchgeführt.

Der inhaltliche Schwerpunkt der Steuerungsszenarios liegt auf der Gestaltung effizienter und stabiler Logistik- und Produktionsprozesse. Die Szenarios beinhalten u.a. Empfehlungen hinsichtlich der Gestaltung des Steuerungsprozesses, des Einsatzes von Assistenzsystemfunktionalitäten und der Gestaltung der Informationsflüsse. Die vom AP 1 des Gesamtprojekts in diesem Kontext erarbeiteten Konzepte können von aktuellen und zukünftigen RAN-Partnern als Entwurfsmuster verwendet und an die Anforderungen eines spezifischen Anwendungsfalls adaptiert werden. Neben den generischen Konzepten werden außerdem die Erfahrungen, die während der Projektlaufzeit mit der prototypischen Umsetzung in den RAN Use Cases gemacht wurden, beschrieben (z.B. die implementierten Assistenzsystemprototypen, das verwendete RFID-Equipment oder die Anbindung an den Infobroker).

In technischer Hinsicht kann aus den Steuerungsszenarios abgeleitet werden, welche Informationen zwischen welchen Akteuren ausgetauscht werden müssen und für welche Prozessbausteine RFID-Lesevorrichtungen installiert werden müssen, um die für die Umsetzung der Assistenzsystemfunktionalitäten erforderlichen RAN-Events generieren zu können. Auf dieser Basis können auch Abschätzungen bezüglich des zu erwartenden Datenvolumens vorgenommen und für die Dimensionierung der einzurichtenden Informationstechnik verwendet werden.

Die Erstellung der Steuerungsszenarios ist eines der Kerneergebnisse des AP 1 und war somit von zentraler Bedeutung für das Gesamtprojekt. Wichtige Vorarbeiten kamen aus der Arbeitsgruppe „Plan- und Störungsdaten“, die durch das FZI ins Leben gerufen wurde und in der unter den Use-Case-Partnern eine Umfrage durchgeführt wurde, anhand derer vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten der RAN-Technologie, gestaffelt nach Umsetzbarkeit, identifiziert werden konnten. Aufgrund der Strukturvorgaben für die Steuerungsszenarios wurde jedoch eine noch breitere Diskussionsgrundlage geschaffen, welche Potenziale auch durch höherstufige Assistenzsysteme gehoben werden können, die gleichzeitig auch für zukünftige RAN Partner dokumentiert sind.

Die ursprünglich in der TVB angestrebte Beschreibung konkreter Situationen, Arten der Abweichung und empfohlener Reaktionen konnten, aufgrund erhöhter

Abstimmungsaufwände, nicht für alle Szenarios in gleichem Maße erreicht werden. Im Szenario „Verbrauchssteuerung“ sind diese Arbeiten zum Beispiel sehr detailliert umgesetzt.

In Hinblick auf das angestrebte Disruption Management System war für das FZI von besonderer Bedeutung, dass durch die Erstellung der Steuerungsszenarios ein Prozess angestoßen wurde, der projektübergreifend ein allgemeines Verständnis der zu steuernden Abläufe bzw. der Notwendigkeit, Abweichungen vom Erwarteten zu erkennen, schaffte. Damit wurde die Grundvoraussetzung erfüllt, um überhaupt höherstufige Assistenzsysteme etablieren zu können.

Weitere Ergebnisse des FZI

Neben den im Abschnitt “Kernergebnis” vorgestellten Forschungsprototypen zur Prozesstablisierung wurden am FZI unterschiedliche Basisfunktionalitäten für Disruption Management Systeme entworfen und implementiert. Sie sind den unteren Ebenen des Stufenkonzepts der AG Assistenzsysteme zuzuordnen. Den Schwerpunkt bildeten die Darstellung von Ist-Situationen auf Basis von RAN-Standards, die Konzeption von Metriken zur Bewertung von Ist-Situationen und die leicht erfassbare Darstellungen von Plänen und Planabweichungen, um die Störungsbehandlung durch einen menschlichen Anwender zu ermöglichen bzw. weitgehend zu unterstützen. Die implementierten Funktionalitäten werden im Folgenden einzeln beschrieben.

Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen mit EAT Berechnung

Der entwickelte Assistenzsystem-Prototyp besteht aus einer Komponente, die die Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen simuliert (FZI-UAP 2). Dabei werden EPCIS-Events generiert, von einer Komponente, die EPICS-Events verarbeiten kann (FZI-UAP 3), empfangen, über ein Regelwerk analysiert und für das Assistenzsystem aufbereitet zur Verfügung gestellt. Das Assistenzsystem generiert Informationen zur Soll/Ist-Abweichung und berechnet die voraussichtliche Ankunftszeit (Estimated Arrival Time auch EAT genannt) anhand der aktuellen Verkehrsinformationen.

Ein Traffic Monitor (s. Abbildung 14) stellt die aktuellen Positionen der Fahrzeuge auf einer Karte dar und gibt dem Anwender in Tabellenform Informationen über die maximale Geschwindigkeit auf den jeweiligen Strecken und die je Fahrzeug erwarteten Ankunftszeiten.

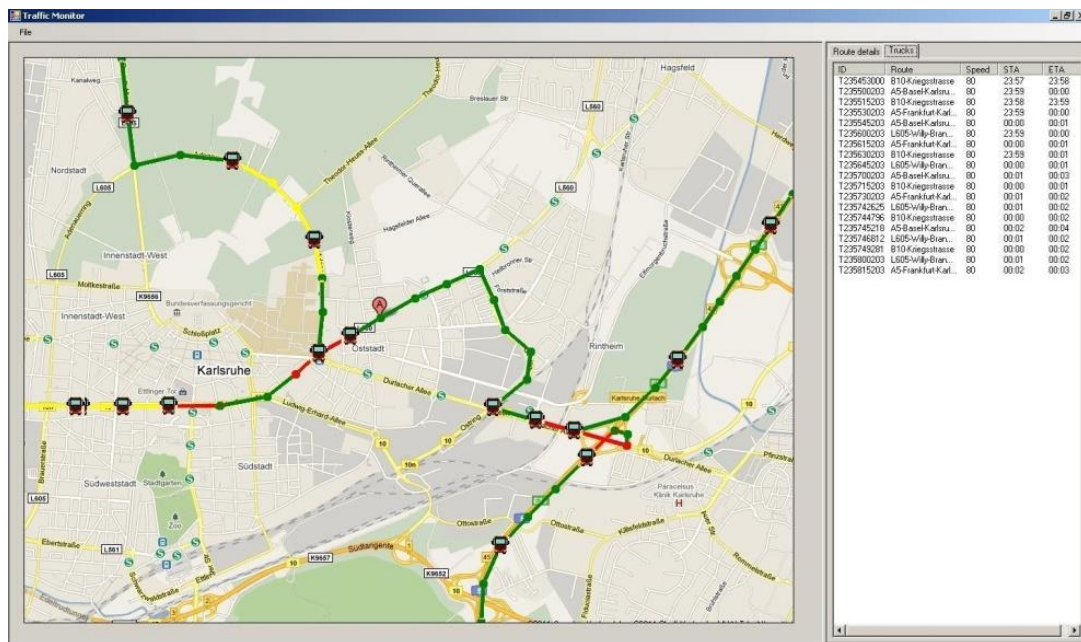


Abbildung 14: Traffic Monitor zur Visualisierung von IST-Werten aus der Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen

Reporting-Komponente

Zur Überwachung und Bewertung von Prozessen, die typisch sind für die RAN Use Cases, wurde ein Kennzahlensystem und unterschiedliche Visualisierungen für Qualitätsreporte entworfen. Hierfür wurden allgemeingültige Report-Typen definiert, die für unterschiedliche Ziele und Zielgruppen bestimmt sind. So dienen bspw. die sog. Kennzahlen-Reports dazu, dem Management in regelmäßigen Abständen Informationen über betriebswirtschaftliche Sachverhalte, Stärken und Schwachstellen zur Verfügung zu stellen. Der sog. Abweichungs-Report hingegen richtet sich eher an Sachbearbeiter oder Mitarbeiter eines Produktionsbereichs und liefert im Störfall Informationen über die aufgetretene Störung, wie z. B. Produktionsfehler oder Transportverzögerungen, und ermöglicht damit eine zeitnahe Reaktion zur Störungsbehandlung.

Ausgewählte Qualitätsreporte wurden mittels des Eclipse BIRT-Tools implementiert (FZI-UAP 5). Die oben beschriebenen Komponenten zur Generierung von EPCIS-Events und zur Nachbildung der Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen wurde als Grundlage zum Test des Reporting-Tools genutzt. Beispielhaft wird an dieser Stelle ein sog. Kennzahlen-Report für den Anwendungsfall einer JIS-Produktion vorgestellt (s. Abbildung 15). Dieser Report dient der Beschreibung der Performance einer Produktionsanlage und besteht aus den folgenden Kennzahlen:

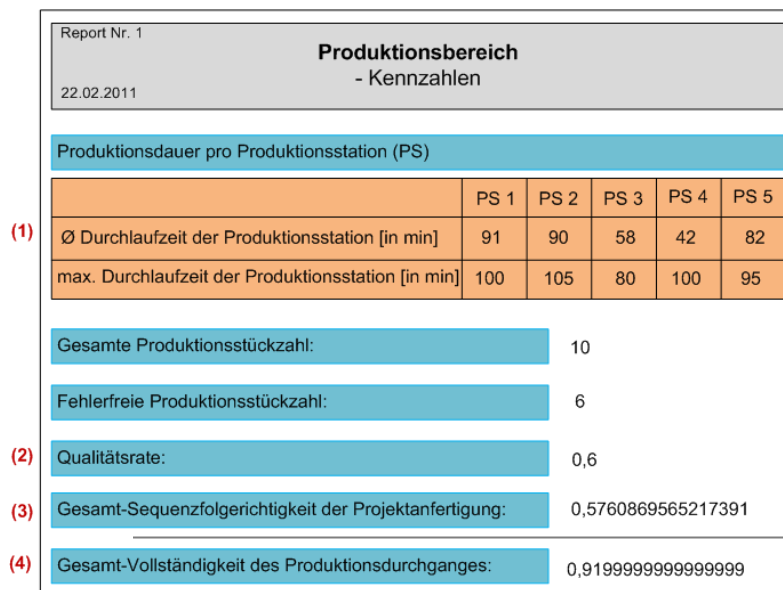


Abbildung 15: Beispiel für einen Kennzahlen-Report für den Produktionsbereich

Monitoring-Komponente

Ein weiteres Arbeitsergebnis innerhalb des FZI-UAP 5 besteht in der Konzeption und Implementierung eines Monitoring-Tools für die Überwachung von regelmäßigen Transporten (oder Milkruns). Auf Basis entsprechender Plan- und Aktualdaten (z.B. Lieferabruf, EPCIS-Event, etc.) wird ein Abgleich zwischen Soll und Ist vorgenommen. Dafür wurde eine Reihe von Kennzahlen zur Überwachung der Prozessstabilität entwickelt. Sie lassen sich in mengenbasierte (z.B. Mengenabweichungen, Lieferrückstand, Servicegrad, etc.) sowie zeitbasierte Kennzahlen (z.B. Termintreue, Durchlaufzeit, etc.) untergliedern. Methoden zur Berechnung der Kennzahlen wurden implementiert und geeignete Formen der Visualisierung konzipiert:

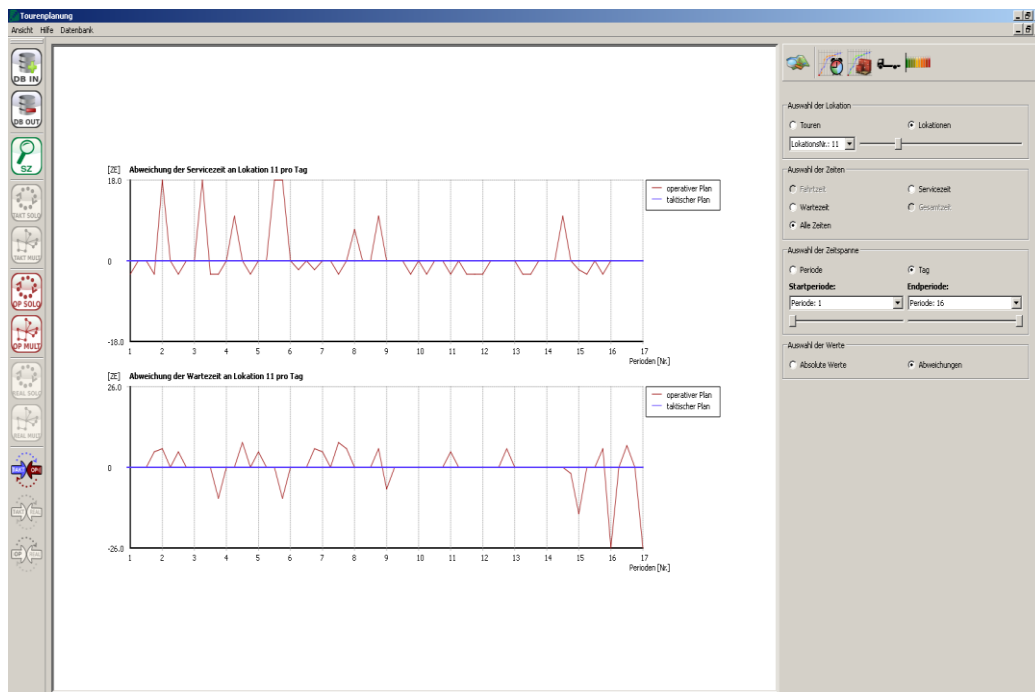


Abbildung 16: Visualisierung von Planabweichungen mit dem Monitoring-Tool

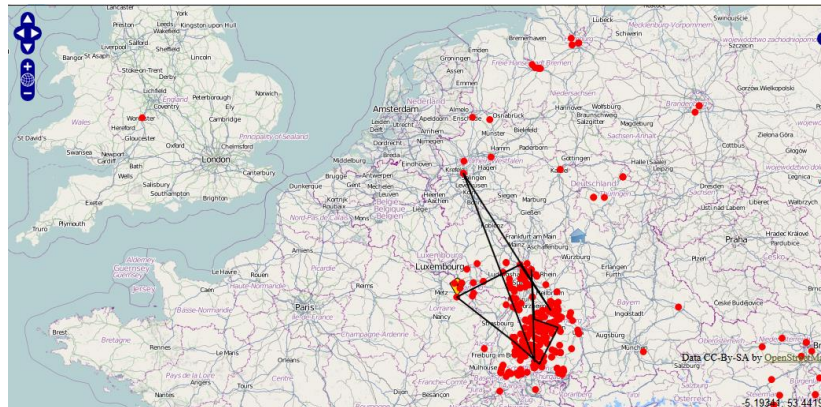


Abbildung 18: Visualisierung von Tourenplanungsergebnissen

UAP-weise Darstellung von Ziel und Ergebnis

Abweichungen von der Arbeits- und Zeitplanung

Aufgrund von Verzögerungen beim Projektstart wurden im ersten Jahr der Projektlaufzeit weniger Ressourcen als veranschlagt eingesetzt. Zurückgestellte Arbeiten des hauptsächlich von den Verschiebungen betroffenen FZI-UAP 1 wurden im zweiten Projektjahr nachgeholt.

Um ein allgemeines Verständnis der zu steuernden Abläufe innerhalb des Gesamtprojekts zu schaffen, hat sich das FZI während des Projektverlaufs in verstärktem Maße an der Erarbeitung der Steuerungsszenarios innerhalb von AP 1 des Gesamtprojekts beteiligt. Daraus resultieren Aufwandsverschiebungen von FZI-UAP 2 und 3 zu FZI-UAP 6. Die Arbeiten am FZI-UAP 6 wurden früher als geplant begonnen, die Entwicklung des Complex Event Processing-Moduls innerhalb von FZI-UAP 3 wurde gegenüber der Planung nach hinten verschoben und in der zweiten Jahreshälfte 2012 durchgeführt.

Gegenüberstellung von Ziel und Ergebnis auf Ebene der FZI-Unterarbeitspakete

UAP 1 Logistikprozessmodellierung

Zielsetzung Entwicklung mathematisch-informationswissenschaftlicher Modelle zur Abbildung realer Logistikstrukturen und -prozesse

- Ergebnisse
- Darstellung des Schwerpunkt-Use Case “Lange Prozesskette” des Projektpartners Daimler in Prozessmodellen
 - Detaillierte Analyse des Schwerpunkt-Use Case “Lange Prozesskette”
 - Katalog von aussagekräftigen Leistungskennzahlen sowie von risikoindizierenden Kennzahlen und Konzept für das Kennzahlen-Berechnungsframework

UAP 2 IT-Basissystem

Zielsetzung	Konzeption und Entwicklung der softwaretechnischen Basisfunktionalitäten des Disruption Management Systems
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• Komponente zur Simulation der Echtzeitüberwachung von Fahrzeugen• Ereignisgesteuerte IT-Architektur des Stabilisierungssystems mit integrierter Störungserkennung und -behandlung sowie Schnittstellen zum Empfang von RAN-Events und zur Weitergabe von Störungsinformationen an RAN-Netzwerkteilnehmer

UAP 3 Methodenentwicklung Ereignis- und Informationsmanagement

Zielsetzung	Wissenschaftliche Erarbeitung von Methoden für die Verarbeitung des Informationsflusses
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• CEP-Module zum Empfangen und Verarbeiten von RFID-Events• Transport-Event-Management-Referenzmodell zur Beschreibung der im Rahmen von RAN betrachteten RFID-Events sowie eines allgemeinen Vorgehens zur Erkennung und Bewertung von Störungen anhand der eingehenden RFID-Events• Konzept zur Aktualisierung von Reaktions- und Situationsmodell für das "Eskalierendes Störungsmanagement im Transport"• Entwurf eines Datenmodelles zur Abbildung sowohl taktischer und operativer Pläne als auch Echtzeitdaten und der Zusammenhänge zwischen Plan- und Echtzeitdaten für die „Planung und Steuerung zuverlässiger Milkruns“

UAP 4 Methodenentwicklung Prozessstabilisierung

Zielsetzung	Wissenschaftliche Erarbeitung von Methoden für die logistische Prozessstabilisierung
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• Entscheidungsmodelle für die reaktive Prozessstabilisierung in Form eines Eskalationsmodelles, das zum Ziel hat, eine Störungsbehandlung zunächst möglichst lokal vorzunehmen und erst falls dies misslingt auf eine höhere Ebene eskaliert, je Ebene können unterschiedliche Entscheidungsmodelle und -methoden zum Einsatz kommen• Architekturkonzept zur Überplanung von taktischen Plänen am Beispiel eines Milkrunsystems• Konzeption und Implementierung eines Planungsmodelles zur taktischen Milkrunplanung und dazugehörige exakte Verfahren und Heuristiken zu dessen Lösung• Entwurf eines Konzepts zur szenariobasierten Überplanung von taktischen Plänen am Beispiel von Milkruns• Methoden zur Identifikation von Schwachstellen einer Supply Chain

und zur Bestimmung von Handlungsoptionen: Szenariobasierte Simulation von Abweichungen zur Abbildung von Risiken sowie Verwendung der „Response Surface Methodology“ für die Quantifizierung des Risikoniveaus der als risikorelevant identifizierten Faktoren

UAP 5 Disruption Management-Systementwicklung

Zielsetzung Softwareentwicklung der Gesamtsysteme: Referenzsystem und Prototyp

Ergebnisse

- Implementierung von Basisfunktionalitäten eines Disruption Management Systems: Reporting- und Monitoring-Komponenten, modular verwendbare, webbasierte Visualisierungswidgets
- Implementierung von Ereignis- und Regelkonzept der Störungserkennung sowie der dynamischen Reaktionsbestimmung durch die eskalierende Störungsbehandlung
- Implementierung eines allgemeinen Referenzsystems für die proaktive Prozessstabilisierung
- Adaption des Referenzsystems auf den Use Case „Lange Prozesskette“: Erweiterung der Lieferkette um alternative Transportrelationen bzw. -modi und alternative Produktionsstandorte sowie mathematische Modellierung dieses Netzwerks

UAP 6 Technische und fachliche Empfehlungen

Zielsetzung Erstellen von praxisgerechter Dokumentation zu empfohlenen Vorgehensweisen für den Aufbau und den Betrieb eines Disruption Management Systems

Ergebnisse

- Fachliche und technische Leitfäden für die Gestaltung von Logistik- und Produktionsketten in der Automobilindustrie (AP1 Steuerungsszenarios)

UAP 7 Evaluierung und Verwertung

Zielsetzung Technische und fachliche Validierung der wissenschaftlichen Arbeiten anhand der praktischen Anforderungen und öffentlichkeitswirksame Darstellung der Ergebnisse

Ergebnisse

- Evaluierung der Methoden zur proaktiven und reaktiven Prozessstabilisierung auf Basis simulierter Bewegungsdaten aus dem Use Case „Lange Prozesskette“ bzw. auf der Simulation eines für die Automobilindustrie typischen Transportnetzwerkes
- Bewertung des Nutzens einer durch das RAN-Konzept realisierbaren frühzeitigen Störungserkennung mithilfe eines Simulationsframeworks
- Evaluierung von Konzepten anhand von Gesprächen mit Experten

- aus der Automobilbranche
- Wissenschaftliche Veröffentlichungen

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das FZI wurde hauptsächlich in Bezug auf Kosten für Mitarbeiter gefördert. Darüber hinaus entstanden für Projektmeetings und Konferenzbesuche Reisekosten. Eine detaillierte Aufführung der Kosten kann dem Verwendungsnachweis entnommen werden.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Automobilindustrie ist durch große und komplexe Logistik- und Produktionsnetzwerke gekennzeichnet, die geplant und gesteuert werden müssen. Mittels der im Gesamtvorhaben entwickelten Technologien ist es möglich, Transparenz über alle relevanten Prozesse des Netzwerks zu schaffen. Sowohl aufgrund der hohen Komplexität, bspw. durch Interdependenzen einzelner Akteure des Netzwerks, als auch aufgrund der großen Menge an Daten, die eine durchgehende RFID-Instrumentierung eines Liefernetzwerks mit sich bringt, ist eine manuelle Datenverarbeitung, Analyse und Entscheidungsfindung jedoch nur schwer zu bewerkstelligen. Der Einsatz entscheidungsunterstützender IT-Systeme für die Planung und Steuerung der Netzwerke ist daher unerlässlich.

Die im Vorhaben eingesetzten wissenschaftlichen Mitarbeiter und Projektleiter arbeiteten daran, die mittels RFID-Technologie erreichbare Transparenz über den Zustand von Logistiksystemen für die prototypische Realisierung eines Disruption Management Systems zur reaktiven und proaktiven Prozessstabilisierung nutzbar zu machen, um im Störfall Handlungsalternativen identifizieren und bewerten zu können und (teil-)automatisierte effiziente Plananpassungen ermitteln zu können. Bei den Arbeiten wurde am aktuellen Stand der Technik angeknüpft und es wurden Methoden bzw. Techniken ausgewählt, die jeweils am besten für das Erreichen des Ziels angesehen wurden. Die Arbeiten werden sowohl als angemessen als auch als notwendig betrachtet, weil sämtliche Schritte in konkretem Bezug zu den entwickelten Disruption Management Prototypen standen. Die Ansätze wurden sowohl quantitativ evaluiert als auch in Expertengesprächen sowohl projektintern als auch mit Experten außerhalb des Projektes diskutiert und haben im direkten Anschluss zu Nachfolgeprojekten (sowohl direkt beauftragte Projekte als auch Forschungsprojekte) geführt - wie im folgenden Abschnitt näher ausgeführt wird.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der wissenschaftliche Ansatz, Informationen über den IST-Zustand einer Lieferkette für systematische Anpassungen bestehender Pläne über alle betrieblichen Planungsebenen (operativ, taktisch, strategisch) hinweg nutzbar zu machen, stellt eine große Neuerung dar und führt zu einem deutlichen Fortschritt im Bereich des Supply Chain Disruption

Managements. Die Erkenntnisse aus dem Projekt können daher, zusätzlich zu den bereits erfolgten Publikationen, auch nach Projektende über weitere Veröffentlichungen der Fachwelt zur Verfügung gestellt werden. Der hohe Innovationsgrad der Forschungsarbeiten ermöglicht es, dass die im Projekt erarbeiteten Konzepte, Methoden und Werkzeuge Eingang in drei Dissertationen finden werden. Zudem erhielten insgesamt zwölf Studenten die Gelegenheit, unter Betreuung von FZI-Mitarbeitern eine Abschlussarbeit mit RAN-Bezug zu erstellen.

Die Fähigkeit Schwachstellen in der Lieferkette proaktiv zu erkennen, stellt das Fundament eines effizienten Risikomanagements dar, welches insbesondere von global agierenden Unternehmen nachgefragt wird. So konnte das FZI ein weltweit führendes Chemieunternehmen für eine Forschungskooperation im Themenfeld "Supply Chain Risiko Management" gewinnen, innerhalb derer das entwickelte Referenzsystem zur proaktiven Prozessstabilisierung auf eine exemplarische Lieferkette der Prozessindustrie angewendet und weiterentwickelt wird.

Die Projektergebnisse bilden außerdem die Grundlage für weitere vielversprechende Forschungsarbeiten, für deren Bearbeitung bereits mehrere Forschungsprojekte beantragt wurden:

Die Arbeiten, die in RAN bzgl. des operativen Störungsmanagements im Transport erfolgt sind, werden im Forschungsprojekt ProveIT - beim BMWI beantragt und in der ersten Runde erfolgreich begutachtet - aufgegriffen. Dabei wird die Entwicklung des Abweichungsmanagements einerseits auf den in RAN entwickelten Eventstandards, die sich längerfristig als VDA Branchenstandards etablieren sollen, aufsetzen. Andererseits wird das in RAN entstandene Transport-Event-Management-Referenzmodell auf weitere (nicht RFID-basierte) Events und die Betrachtung von Verbrauchs- und Bestandinformationen ausgeweitet. Auf diese Weise soll ggü. den Modellen in RAN ein größerer Informationsumfang zur Störungserkennung und -behebung abgedeckt werden. Weiterhin wird das in RAN weiterentwickelte abstrakte Eskalationsmodell zur Störungsbehebung auf die in ProveIT vorgesehenen Use Cases zugeschnitten und - darauf liegt ein Fokus des Projektes - im Echtbetrieb getestet. Dies soll insbesondere in enger Zusammenarbeit mit den auf Transport- und Netzwerkplanung spezialisierten IT-Partnern LOCOM und PTV Group, die im RAN-Konsortium nicht vertreten waren, und mit den Praxispartnern aus dem Automobilbereich, Bosch (vermutlich mit einem im RAN Konsortium vertretenem Standort) und ZF erfolgen.

Mit ABB als Konsortialführer reichte man außerdem beim BMWI im Rahmen der Ausschreibung Autonomik für Industrie 4.0 das Projekt Smart Spare Parts ein, das leider in der ersten Runde nicht positiv begutachtet wurde. Der Fokus von RAN lag auf Verbesserungen im Logistik- und Produktionsbereich unter Zuhilfenahme von RFID-Technologie. Die Informationsweitergabe erfolgt im RAN-Kontext zu diskreten Zeitpunkten (bspw. beim Durchfahren eines RFID-Gates). Das Projekt Smart Spare Parts zielte für den Bereich der Ersatzteillogistik darauf ab, durch zusätzliche Sensorik eine nahezu zeitkontinuierliche Informationsweitergabe zu ermöglichen und so den *Zustand* von Ersatzteilen erfassbar zu machen. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob die in RAN entwickelten Event-Standards derart erweitert werden können, dass die Zustände eines

Ersatzteils ebenfalls übermittelt werden können. Da auch unser Projektpartner ABB die Antragsidee für verfolgenswert hält, wird überlegt, wie ein ähnliches Projekt anderweitig finanziert werden könnte.

Ein weiteres im selben Förderschwerpunkt eingereichtes und nicht positiv beschiedenes Projekt war CollagePlan, das neben anderen das FZI gemeinsam mit der Uni Hohenheim als Konsortialführer, beantragte. Darin sollte - u.a. aufbauend auf die RAN RFID Standards - eine kollaborative, agentenbasierte Produktionsplanung realisiert werden.

Aktuell in der Beantragung befindet sich das Projekt BigPro (Förderschwerpunkt BigData), in dem unter anderem die Anwendbarkeit der generischen Konzepte und Methoden auf das Störungsmanagement in der Produktion überprüft werden sollen.

Darüber hinaus sind Kontakte mit Unternehmen entstanden, die sich an den FZI-Ergebnissen sehr interessiert zeigten. Bezüglich eines integrierten operativen Störungsmanagements für Transport und Produktion fanden bereits erste Gespräche mit einem Industriepartner aus dem RAN-Konsortium statt.

5. Während der Durchführung dem ZE bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Risikoanalyse von Lieferketten ist Thema von Beratungshäusern und Forschungseinrichtungen. So beschäftigt sich bspw. das Fraunhofer IML in Dortmund ebenfalls mit dem Thema und bietet Workshops und Schulungen, sowie einen Mix aus verschiedenen Softwaretools an. Es sind aber keine Ergebnisse bekannt geworden, die auf einem vergleichbaren Ansatz basieren bzw. ein vergleichbares Ziel haben.

Der Bedarf die unternehmenseigene oder -übergreifende Lieferkette auf Schwachstellen hin zu analysieren und ggf. geeignete Handlungsoptionen zu implementieren wächst zunehmend an.

Eine Reihe von proprietären Softwareanbietern versucht dieser großen Nachfrage mit geeigneten Lösungen nachzukommen. So bietet beispielsweise die britische InterSys u.a. eine Visualisierungskomponente an, die den Kunden nach eigenen Angaben dabei unterstützt seine Lieferkette produktweise abzubilden (<http://supplychain-risk.com/>). Die riskmethods GmbH bietet eine cloudbasierte Supply Chain Risk Management Lösung auf SaaS-Basis an. Das methodische Vorgehen beider Lösungen zur Risikobewertung und -analyse ist jedoch nicht ersichtlich. Zudem bieten sie keine Möglichkeit der gezielten Integration von Handlungsalternativen.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyer stellte Überlegungen zur Anwendung regelungstechnischer Methoden auf Supply Chains an (Beyer, Jürgen: "Die Supply Chain als regelungstechnische Aufgabe", at - Automatisierungstechnik 59 (2011): S. 210 - 216), von denen erste Überlegungen in einer Diskussion mit Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans, FZI-Direktor und Leiter des Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme am Karlsruher Institut für Technologie KIT, entwickelt wurden. Der vorgestellte Ansatz bezieht sich jedoch ausschließlich auf die Regelung des Bestellverhaltens und deckt somit nur einen sehr kleinen Teil der

Entscheidungen im operativen Supply Chain Management ab. Auch taktische oder strategische Entscheidungen finden in dem Ansatz - im Gegensatz zu den vom FZI entwickelten Methoden und Ansätzen - keine Berücksichtigung. Dennoch werden auch in zukünftigen FZI Arbeiten Ansätze der Regelungstechnik stärker Berücksichtigung finden und ihre Übertragbarkeit auf andere Problemstellungen geprüft.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Erfolgte Veröffentlichungen und Vorträge

F. Brandt und A. Meyer (2012). Constraint-based construction heuristics for rich vehicle routing problems. Vortrag: 25th European Conference on Operational Research, EURO 2012, Vilnius.

A. Cardeneo, I. Heckmann und M. Keppler (2010). Schlanke Analyse. LOG.Kompass

I. Heckmann (2011). RAPHAEL - An analysis system for the quantitative identification of supply chain risks. Vortrag: Maritime Risk Symposium, New Brunswick, NJ, USA.

I. Heckmann und T. Comes (2013). Modelling Supply Chain Risk for Operational Supply Chain Planning, Vortrag und Short Paper: AMCIS 2013 Association for Information Systems, Chicago, IL, USA

A. Meyer (2012). A constraint programming based approach for planning milk runs. Vortrag: Verolog Conference, Bologna.

A. Meyer (2012). A constraint programming based approach for planning milk runs. Vortrag und Short Paper: CP DP 2012, Montreal.

A. Meyer, K. Furmans, S. Nickel (2013). Modelling milk runs in lean manufacturing - PVRP with additional constraints. Vortrag: 1st International Workshop on Synchronization in Transport, SynchroTrans 2013, Mainz.

Geplante Veröffentlichungen

I. Heckmann, T. Comes und S. Nickel: Defining Supply Chain Risk - A new Concept (eingereicht bei Risk Analysis).

N. Kleiner und P. C. Lockemann: Transportation Event Management Reference Model for Contingency Detection in Timed Transportation Networks (geplant).

N. Kleiner und P. C. Lockemann: Managing Contingencies in Timed Transportation Networks by Agent Technology (geplant).

A. Meyer, K. Furmans, und S.Nickel: Modelling milk runs in lean manufacturing with a Consistent Periodic Vehicle Routing Problem (geplant).