

Forschungsinitiative des BMWi  
„ProveIT“



*PRO*duction plan based recovery of *VE*hicle routing plans within  
*I*ntegrated *T*ransportnetworks

**Schlussbericht**  
**Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)**  
**FKZ: 19G13009C**

Projektlaufzeit:  
01.11.2013 - 31.10.2016

Stand: 24.04.2017

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Kurze Darstellung.....</b>	<b>3</b>
1.1 Aufgabenstellung.....	3
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand .....	4
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
<b>2. Eingehende Darstellung .....</b>	<b>6</b>
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse .....	6
2.1.1 Gesamtkonzept und Datenmodell .....	6
2.1.1.1 Taktische Planung.....	7
2.1.1.2 Operative Planung .....	9
2.1.1.3 Operative Ausführung .....	10
2.1.2 Untersuchung von Abweichungen und Maßnahmen mittels Simulation.....	12
2.1.3 Analytische Modellierung von Transportsystemen in der Beschaffung .....	15
2.1.3.1 Motivation und Modellierung des Systems.....	15
2.1.3.2 Mathematische Formulierung des Modells .....	17
2.1.3.3 Quantitative Untersuchungen.....	19
2.1.3.4 Fazit .....	21
2.1.4 Gegenüberstellung der Ziele und der erzielten Ergebnisse.....	22
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	23
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	24
2.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	24
2.5 Erfolge und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	25

# 1. Kurze Darstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Bedingt durch die stochastische Natur des Verkehrsgeschehens, menschliche Fehler oder technisches Versagen kommt es in Logistiksystemen fortwährend zu Abweichungen von einem geplanten Sollzustand. Um das System wieder zurück in den gewünschten Sollzustand zu überführen, sind oftmals aufwändige Eingriffe erforderlich. Die zunehmende Verbreitung von Konzepten wie der Just-in-Time Anlieferung sowie das Senken von Sicherheitsbeständen aus Gründen der Verschlinkung der Supply Chain führen dazu, dass die Vulnerabilität von Logistiksystemen für derartige Störungen zunimmt. Ohne einen angemessenen Eingriff kann eine Störung im Transport in der Folge sogar bis zum Bandstillstand führen. Ob ein Eingriff sinnvoll oder angemessen ist, wird heutzutage in der Regel von einem menschlichen Disponenten beurteilt. Die Entscheidungsfindung ist jedoch durch die vielen Abhängigkeiten im System sehr komplex: Selbst wenn dem menschlichen Planer umfangreiche Informationen zur Verfügung stehen, ist nicht sichergestellt, dass die Qualität der getroffenen Entscheidung ausreichend gut ist. Eine Unschärfe, sowohl bei der Beurteilung der Situation als auch bei der Nachvollziehbarkeit der getroffenen Entscheidungen, ist meist unvermeidbar.

Das Konsortium von ProveIT hatte sich daher zum Ziel gesetzt, den Planer in die Lage zu versetzen, objektiv richtige, rechtzeitige und automatisierte Eingriffe in vernetzte Logistiksysteme zu ermöglichen, um so nachhaltig wirtschaftliche und stabile Lieferketten zu gestalten. Das IFL übernahm dabei die Erstellung des Gesamtkonzepts, die Erstellung eines übergreifenden Datenmodells, die Erstellung eines Abweichungsmodells sowie die Untersuchung von logistischer Stabilität in Transportsystemen.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Ein typisches Logistiksystem in der Beschaffungslogistik der deutschen Automobilindustrie besteht aus einem oder mehreren Lieferanten, einem (oder mehreren) Spediteuren sowie einem Empfangswerk. Das Empfangswerk bestellt die Ware bei einem Lieferanten. Dieser stellt die bestellte Ware bereit, sodass diese vom Spediteur abgeholt werden kann. Der Spediteur transportiert die Ware dann zum Empfänger, der die Lieferung schließlich entgegennimmt.

Um in der Lage zu sein, ein Akteur-übergreifendes Störungsmanagement zu etablieren, war es erforderlich, dass alle beteiligten Parteien des Beschaffungsprozesses im Projekt abgebildet werden. Dabei müssen sowohl die Material- als auch die Informationsflüsse berücksichtigt werden. Im Projekt ist dies gelungen. Mit den Unternehmen Robert Bosch, ZF Friedrichshafen und der Spedition Geis waren zwei Empfangswerke und ein Spediteur vertreten, die zwei typische Anwendungsfälle für die physische Abwicklung des Materialflusses lieferten. Durch die Softwarepartner Locom, PTV und FZI wurden die Informationsflüsse für unterschiedliche Planungs- und Steuerungsaufgaben abgebildet.

### **1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Dauer des Verbundprojekts betrug drei Jahre. Diese Zeit teilte sich grob in zwei Phasen ein. In der ersten Phase wurde eine Basisplattform entwickelt, die grundlegende Funktionen bietet. In der anschließenden Phase folgten Praxistests durch die Anwender bei den Industriepartnern Bosch und ZF. In dieser wurden die Dienste kontinuierlich auf Basis des Feedbacks der Anwender weiterentwickelt in mehreren Iterationsstufen weiterentwickelt. Das Vorgehen hierbei war stets iterativ.

In der ersten Projektphase lag der Schwerpunkt der Arbeiten des IFL auf der Erstellung des Gesamtkonzepts. Dieses wurde in Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern erstellt und durch das IFL zusammengeführt. Elementarer Bestandteil war die Erstellung und fortlaufende Weiterentwicklung des Prozessmodells, das die Abläufe und Arbeitsschritte für die Feldtests dokumentierte. In der zweiten Projektphase wurde das Gesamtkonzept ebenfalls iterativ weiterentwickelt und die Erkenntnisse aus den Feldtests darin eingebracht. Der Schwerpunkt in der zweiten Projektphase lag auf den Forschungsarbeitspaketen UAP 1.3 und 1.4. Diese wurden parallel zur iterativen Weiterentwicklung des Gesamtkonzepts und Begleitung der Feldversuche bearbeitet.

### **1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand**

ProveIT lässt sich aus wissenschaftlicher Sicht den Forschungsrichtungen des Supply Chain Event Managements, des Supply Chain Risk Managements und des Supply Chain Disruption Managements zuordnen.

Die Idee des Supply Chain Event Managements ist es, Abweichungen von einem Planzustand zu erkennen, indem relevante Prozesse abgebildet und deren Verlauf beobachtet wird, um sogenannte Events zu erzeugen. Wenn eine Abweichung auftritt, werden die betroffenen Prozessteilnehmer benachrichtigt. Diese können dann entscheiden, ob Sie in den Prozess eingreifen wollen, um das System wieder in den Planzustand zu überführen. Als weit verbreitetes Beispiel für eine Supply Chain Event Management Software sei an dieser Stelle das Supply Chain Event Management Modul SAP EM der Firma SAP genannt.

Wie zuvor beschrieben, ist ein menschlicher Planer auf Grund der Komplexität der Entscheidung selbst bei nahezu vollständiger Information aufgrund der beschränkten menschlichen Beurteilungsfähigkeit nicht immer in der Lage, eine angemessene Entscheidung zu treffen. ProveIT setzt an dieser Stelle an, indem es mit Hilfe eines Eskalationsschemas Handlungsvorschläge generiert, die einen Disponenten im Störfall bei der Entscheidungsfindung unterstützt.

Beim Supply Chain Disruption und Supply Chain Risk Management wird untersucht, wie Supply Chains mit Störungen umgehen sollen um den aus der Störung entstehenden Schaden minimal zu halten. Beim Supply Chain Risk Management wird bereits in der Planungsphase versucht, Risiken zu vermeiden oder möglichst gering zu halten (präventiver Ansatz). Beim Supply Chain Disruption Management befindet sich die Supply Chain bereits im Betrieb und soll nach einer Störung wieder zurück in einen Zielzustand überführt werden (reaktiver Ansatz).

In beiden Forschungsrichtungen gibt es Gemeinsamkeiten mit ProveIT, aber auch entscheidende Unterschiede. Das Arbeiten mit Ziel-Zuständen und das Überführen eines unerwünschten Ist-Zustands in einen wünschenswerten Soll-Zustand ist eine dieser Gemeinsamkeiten. Bei diesen Ansätzen liegt der Fokus in der Regel aber auf sehr großen Störungen, also beispielsweise der Ausfall eines Lieferanten oder der Ausfall von Transportkapazitäten durch Naturkatastrophen (etwa durch einen Vulkanausbruch). Diese Ereignisse haben eine starke Auswirkung auf das System, sind allerdings extrem selten. Der Fokus von ProveIT liegt im Gegensatz dazu vielmehr auf kleineren (alltäglichen) Störungen im operativen Betrieb, wie beispielsweise Verspätungen durch Verkehrsstörungen. Durch die Beherrschung auch dieser vielfach übersehen Probleme ergeben sich erhebliche Potentiale zur Steigerung der Effizienz einer Supply Chain.

### **Verwendete Literatur:**

- Becker, T. (2008) - Supply Chain Event Management: Innovation in Logistics Services. Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management. Springer-Verlag.
- Behdani, B., Adhitya, A., Lukszo, Z., Srinivasan, R. (2012) - How to handle disruptions in supply chains. An integrated framework and a review of literature.
- Furmans, K. (2003) – Zeitdiskrete stochastische Modelle von Logistiknetzwerken am Beispiel mehrstufiger Sammeltransporte. 9. Magdeburger Logistik-Tagung.
- Nyhuis, P. (2008) – Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Springer-Verlag.
- Projektgruppe Standardbelieferungsformen (2008) - Standardbelieferungsformen der Logistik in der Automobilindustrie. VDA Empfehlung 5051.
- Pulter (Kleiner), N., Nimis, J., Lockemann, P.C. (2010) - Managing contingencies in timed transportation networks by agent technology. In: Proceedings of the Workshop on Artificial Intelligence and Logistics (AILog-2010)
- Pulter, Natalja and Nimis, Jens and Lockemann, Peter C. (2010) – Störungsmanagement in offenen, getakteten Logistiknetzen.
- Tempelmeier, H. (2011) – Inventory Management in Supply Networks. Books on Demand.

## **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen des Projektes gab es direkte Schnittstellen zu allen Projektpartnern. Für die Erstellung des Gesamtkonzepts wurden Beiträge von allen Projektpartnern verarbeitet und zusammengeführt. In Workshops mit den Projektpartnern erfolgte über die gesamte Projektlaufzeit ein enger Austausch, mit Fokus auf die Schnittstellen zwischen den Partnern und Softwaresystemen. Für die Modelle zur Stabilitätsuntersuchung war eine intensive Abstimmung mit den Praxispartnern erforderlich, um die Validität und Praxistauglichkeit der Modelle zu gewährleisten.

Weiterhin wurden die durch das FZI bzw. die Praxispartner gewonnenen Felddaten verarbeitet. Dazu wurden dem IFL Zugänge zu den Transferdatenbanken des FZI und der PTV geschaffen und Abzüge der erhobenen Projektdaten in den Forschungsarbeitspaketen verwendet.

## 2. Eingehende Darstellung

### 2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Gegenstand des AP1 waren die Erstellung des Gesamtkonzepts, die Sicherstellung eines einheitlichen, durchgängigen Datenmodells, eine simulative Untersuchung von Abweichungen und Maßnahmen sowie eine analytische Modellierung von Transportsystemen zur Untersuchung der Stabilität.

#### 2.1.1 Gesamtkonzept und Datenmodell

Im Rahmen der Arbeitspakete 1.1 „Gesamtkonzept“ und 1.2. „Datenmodell“ wurden die Prozessabläufe der Use Cases aus Sicht der Anwender ermittelt sowie sichergestellt, dass Informationen für die Berechnungen von Kennzahlen und Inputs für Dienste zur Verfügung stehen.

Der Einsatz von ProvelT ist in der Beschaffung vorgesehen. Die Komplexität besteht darin, dass bis zu drei Parteien in den Prozess eingebunden sind: Empfänger, Spediteur und Lieferant. Diese setzen möglicherweise auch drei verschiedene IT-Systeme ein.

ProvelT ändert den gewöhnlichen Bestellprozess. Üblicherweise wird eine SAP-MRP-Planung im Zusammenhang mit einem Gebietsspeditionskonzept eingesetzt. In diesem Fall führt der Empfänger der Waren einen MRP-Lauf durch und sendet eine Bestellung mit gewünschtem Lieferzeitpunkt an den Lieferanten. Der Lieferant setzt sich mit dem Spediteur in Verbindung und teilt ihm – unter Berücksichtigung der gewöhnlichen Transportzeit – ein ausreichend frühes Abholdatum (er „avisiert“ den Spediteur). Dies wird so gewählt, dass die Ware zum gewünschten Liefertermin beim Empfänger eintrifft.

Dieser Prozessablauf hat verschiedene Nachteile. Sobald die Bestellung an den Lieferanten versendet wurde, ist der Empfänger der Waren „out of the loop“. Er bekommt keine Statusmeldung, ob die Ware abgeholt wurde. Im Falle einer reduzierten Lieferfähigkeit des Lieferanten fällt ein etwaiger Materialengpass erst im Wareneingang auf. Dies ist sehr spät und erfordert unter Umständen teure Korrekturmaßnahmen.

Weiterhin hat der Empfänger keine Transparenz darüber, welche Leistung er durch den Spediteur erhält. Es ist beispielsweise möglich, dass der Empfänger mehrere Bestellungen des Segments LTL („Less Than Truck Load“) absendet. Der Spediteur kann jedoch die kleinen LTL Bestellungen zu einem FTL („Full Truck Load“) bündeln. Da der Empfänger jedoch nicht weiß, wie hoch das totale Transportvolumen ist, könnte der Spediteur einen einzigen FTL leisten, aber mehrere LTL abrechnen und sich so auf Kosten des Empfängers, der die Fracht zahlt, bereichern.

Dieser Prozessablauf wird durch ProvelT sowohl erweitert als auch geändert. Einerseits hat der Empfänger bzw. Verlader nun die Möglichkeit, auf einem taktischen Zeithorizont seine Bestellungen räumlich als auch zeitlich zu bündeln, um kostengünstige Transporte zu ermöglichen. Dazu werden Informationen über die benötigten Mengen („Bedarfe“) mit den Verpackungsinformationen verknüpft, um die benötigte Transportkapazität in einem bestimmten Zeitraum zu berechnen. Es werden Bestellvorschläge erzeugt, die der Disponent verwenden kann, um die Dispositionsparameter manuell anzupassen. Dies ist ein Planungsschritt, der vorher noch nicht existierte bzw. vom Verlader nicht durchgeführt wurde.

Weiterhin ändert sich der operative Prozess. Wie oben beschrieben, erfolgt die Beauftragung des Spediteurs in der Ist-Situation durch den Lieferanten. Im ProvelT-Fall ändert sich dies dahingehend, dass der Empfänger nun den Spediteur tatsächlich beauftragt. Dazu lässt sich der Empfänger nun nach Absenden die Machbarkeit der Bestellung bestätigen. Anschließend erstellt er aus Verpackungsinformationen und Bedarfen einen Transportauftrag, den er an den Spediteur sendet.

Eine weitere Erweiterung stellt die Überwachung der operativen Ausführung dar. Eine Kernidee von ProvelT ist es, die Einhaltung von Plänen zu überwachen. Dazu werden Soll- und Ist-Zustand gegenübergestellt. Auf diese Weise wird es möglich, Pläne von geringer Güte zu identifizieren und die Planung, basierend auf den gewonnenen Informationen über die Planausführung, in zukünftigen Perioden zu verbessern.

Nachfolgend werden die o.g. Sollprozesse zur taktischen und operativen Planung sowie der Prozess zur Überwachung der operativen Ausführung im Detail beschrieben.

### **2.1.1.1 Taktische Planung**

Die taktische Planung ist ein neuer Prozess, der aktuell in dieser Form nicht durchgeführt wird und daher für ProvelT neu entworfen wurde. Diese kann sowohl beim Empfänger im Rahmen einer Materialdisposition als auch beim Spediteur im Rahmen der Transportplanung durchgeführt werden. Die Prozessschritte sind in Form eines Swimlane-Diagramms in Abbildung 1 dargestellt, um die einzelnen Prozessschritte der beteiligten Akteure darzustellen.

Eingangsdaten der taktischen Planung beim Empfänger sind die Netzwerkdaten und die Teilebedarfe des Empfängers. Letzteres ist häufig das Ergebnis einer SAP-MRP-Planung, bei der die Teilebedarfe mittels Stücklistenauflösung aus den Bedarfen der fertigen Produkte gewonnen werden. Diese werden in das ProvelT-Modul „Materialdisposition“ importiert, um einen Vorschlag zur kostengünstigen räumlichen und zeitlichen Bündelung von Bestellungen zu erstellen („Bestellvorschläge“). Der Disponent begutachtet diesen Vorschlag und hat daraufhin die Möglichkeit, die Dispositionsparameter seines ERP-Systems so einzustellen, dass die vom ERP erstellten Bestellungen den ProvelT Bestellvorschläge entsprechen.

Weiterhin hat der Disponent die Möglichkeit, sich eine Transportvorschau über zukünftig auftretende Transporte zu erstellen. Dazu werden geplante Bestellungen (häufig die aus den Sekundärbedarfen erzeugte Lieferplaneinteilung) mit den Verpackungsdaten verknüpft und sogenannten Transportsegmenten (FTL oder LTL) zugewiesen.

Die Umsetzung der taktischen Planung wird allein vom Empfänger durchgeführt. Eine zwingende Kommunikation mit den anderen beteiligten, d.h. Spediteur und Lieferant, findet nicht statt. Ziel der taktischen Planung ist es, das ERP so einzustellen, dass sich Bestellungen intelligent und kostengünstig bündeln lassen. Die eigentliche Bestellung ist hingegen Teil der operativen Planung.

Neben dem Empfänger der Waren hat auch der Spediteur die Möglichkeit, eine taktische Planung für sein Netzwerk durchzuführen. Hierzu werden historische Transportdaten mit Fuhrparkdaten verknüpft. Ergebnis ist eine taktische Vorausschau über Ort und Zeitpunkt zukünftiger Bedarfe nach Transportkapazität (Fragestellung: Wann und wo werden wie viele LKW benötigt?).

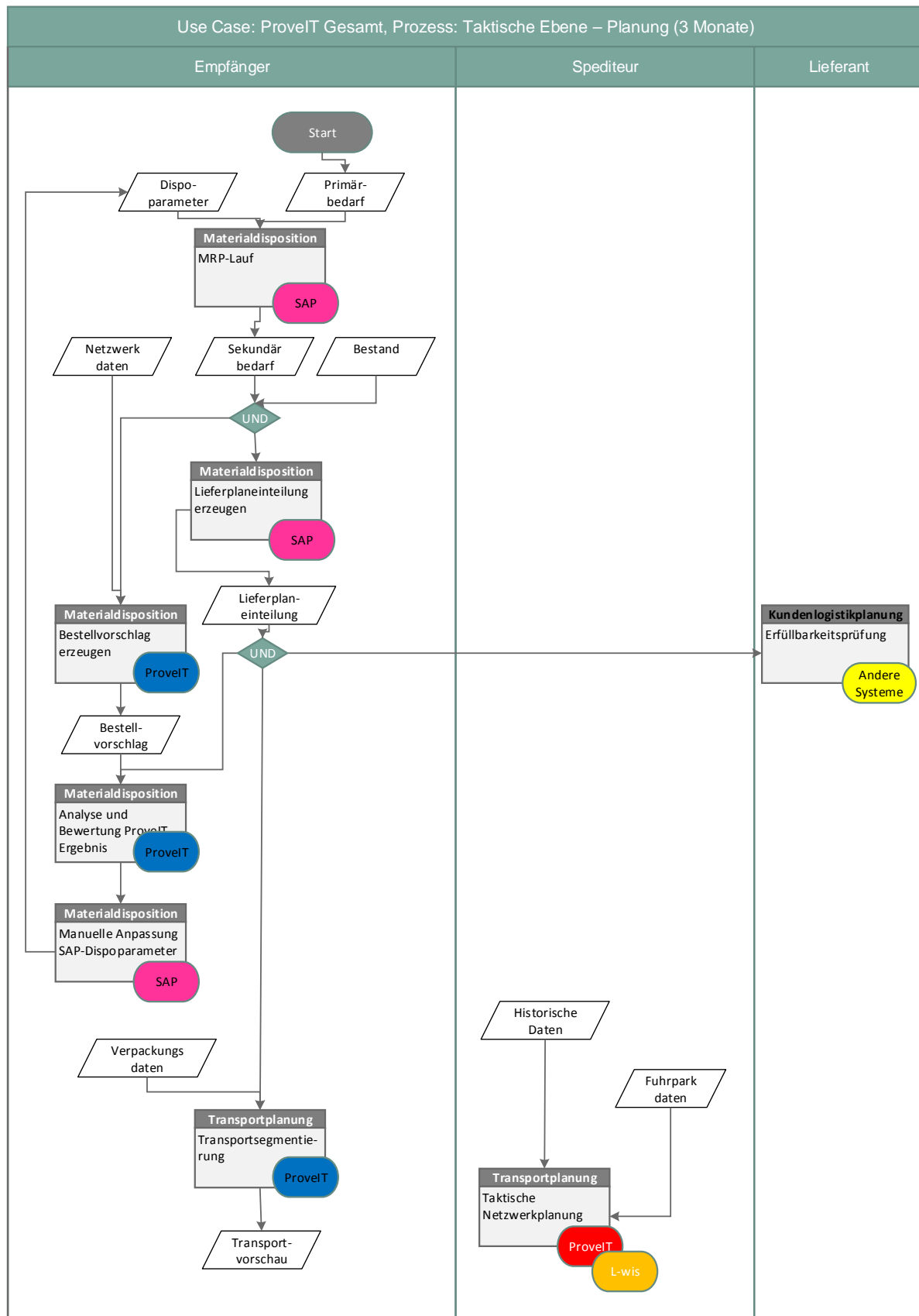


Abbildung 1: Prozess der taktischen Planung



### 2.1.1.2 Operative Planung

Neben der Möglichkeit, die Pläne auf taktischem Zeithorizont zu verbessern, bietet ProveIT auch die Möglichkeit, die Bestellungen auf der operativen Ebene an die Lieferanten zu versenden. Der Ablauf ist in Abbildung 2 dargestellt.

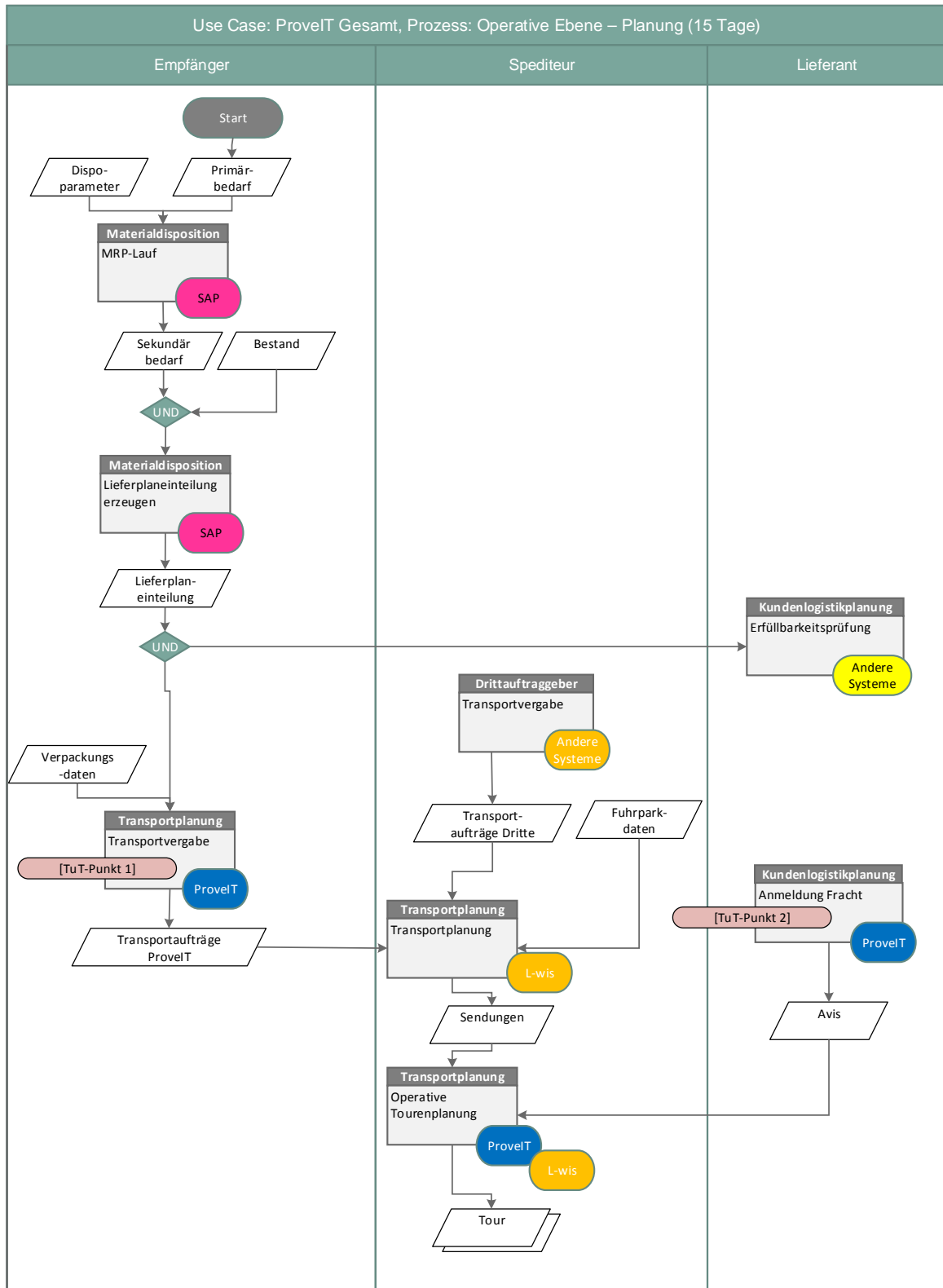


Abbildung 2: Prozess der operativen Planung

Eingangsdaten für das ProvelT-TMS sind Bestellungen des ERP-Systems. Häufig sind dies Lieferplaneinteilungen, die durch einen SAP-MRP-Lauf erzeugt wurden. Diese werden im TMS miteinander verknüpft, sodass daraus ein Transportauftrag erzeugt wird. Dieser wird direkt in das System des Spediteurs übergeben.

Der Spediteur sammelt in seinem System die Aufträge des Empfängers, der mit dem ProvelT-TMS arbeitet, sowie Aufträge von Drittanbietern, die nicht mit dem ProvelT TMS arbeiten. Dies sind die Eingangsdaten für Tourenplanung. Dort werden die einzelnen Transportaufträge den Fahrzeugen aus dem Fuhrpark des Spediteurs zugeordnet und für jedes Fahrzeug die wegminimale Reihenfolge für die Anfahrt der Tourpunkte berechnet.

Die „Tour“ ist schließlich das Ergebnis der operativen Tourenplanung des Spediteurs. Diese wird über eine Schnittstelle (Transferdatenbank) an die Smartphone-App übergeben und somit dem Fahrer der Tour verfügbar gemacht, so dass dieser die korrekte Ausführung durch die Eingabe von Statusmeldungen überwachen kann. Zur tiefergehenden Beschreibung der Verwendung der Eingangsdaten ist an dieser Stelle auf die Beschreibung der Planungsdienste im Gesamtabschlussbericht verwiesen.

### 2.1.1.3 Operative Ausführung

In Abbildung 4 ist der Prozessablauf der operativen Ausführung dargestellt. Eingangsdatum ist die Tour, die zuvor im Rahmen der operativen Planung erstellt wurde. Der Disponent des Spediteurs erstellt aus der Tour einen Fahrauftrag. Dieser wird dem Fahrer auf der ProvelT App angezeigt.

Mittels „Start Tour“ Senslet (zur Erklärung des Begriffs „Senslet“ sei an dieser Stelle auf den Gesamtbericht des Konsortiums verwiesen) kann der Fahrer der App mitteilen, dass er die Tour beginnen möchte. Nach der Bestätigung tritt er seine Tour an und fährt zum ersten Tourstopp.

Jede Tour besteht dabei aus den drei sich wiederholenden Bausteinen „Fahren“, „Warten“, und „Laden“ (siehe Abbildung 3). Vor und nach jedem Prozessschritt übermittelt der Fahrer per Eingabe über das Smartphone, dass ein Schritt vollendet ist und der nächste beginnt. Durch die Zeitpunkte, die in einer Datenbank gespeichert werden, lassen sich die Prozesszeiten bestimmen. Dies ist beispielsweise nützlich für den Verbesserungsprozess, da sich durch eine Analyse der gesammelten Daten identifizieren lässt, ob bei einem Lieferanten die Wartezeiten entgegen der Annahme überdurchschnittlich hoch sind.

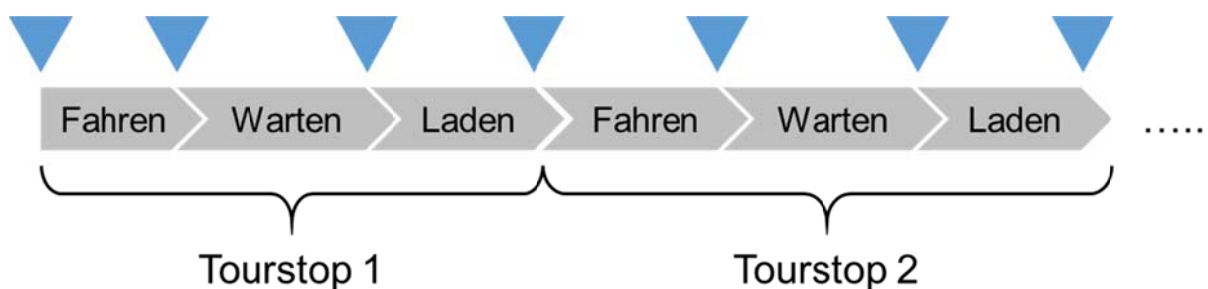


Abbildung 3: Bausteine einer Tour

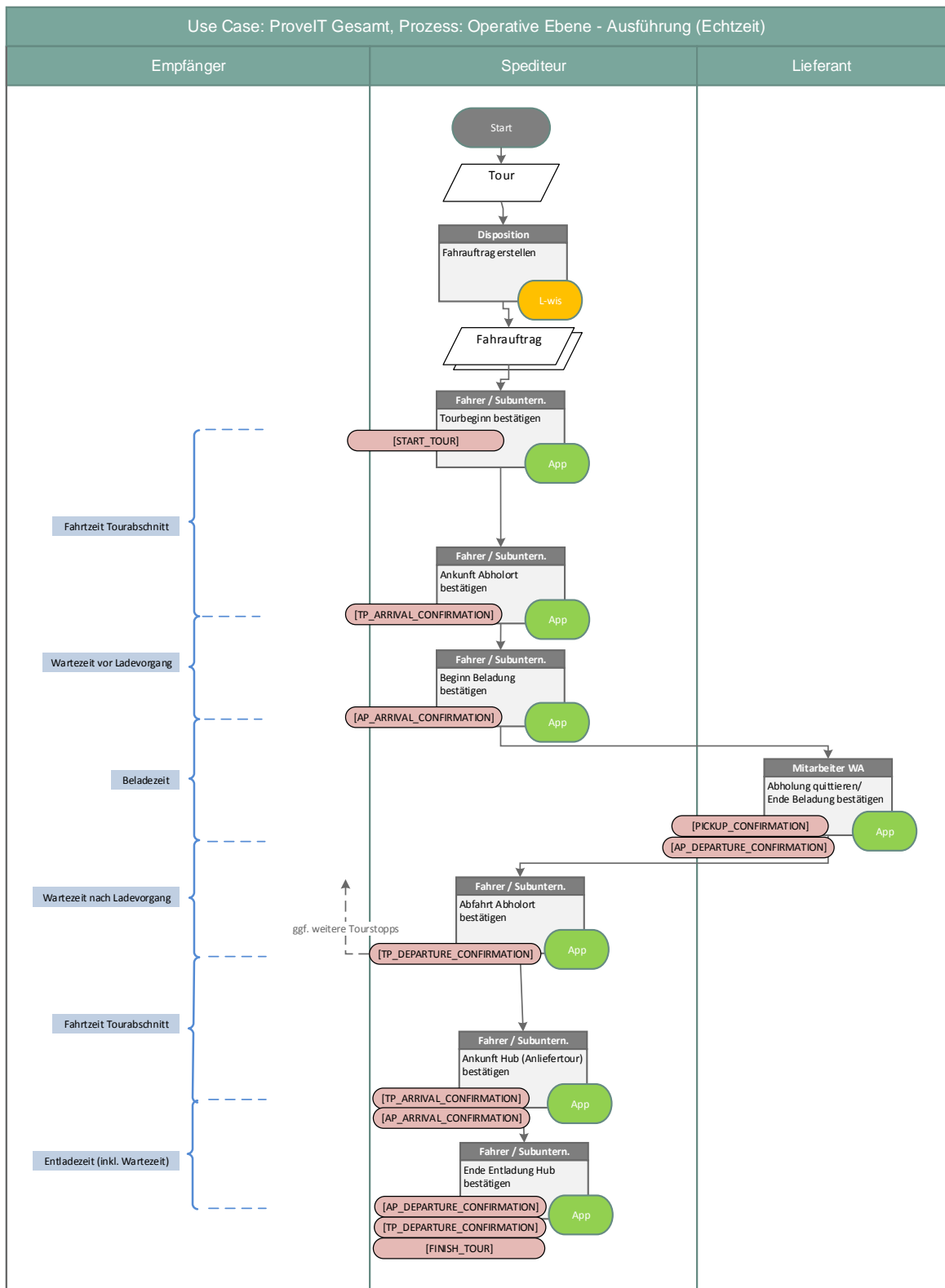


Abbildung 4: Prozess der operativen Ausführung

## 2.1.2 Untersuchung von Abweichungen und Maßnahmen mittels Simulation

Es erfolgte im Rahmen des Projekts die Untersuchung von Lieferketten unter stochastischen Einflüssen sowie der Wirksamkeit von ausgesuchten Maßnahmen zur Reaktion auf Abweichungen in der Ausführungsebene von den ursprünglich geplanten Abläufen mittels Simulation. Dazu wurde die Prozesskette eines produzierenden Unternehmens von der Produktion, über die Bedarfsermittlung und Bestellung bis hin zu den Bereitstellungs- und Transportprozessen bei den Lieferanten und Logistikdienstleistern abgebildet und simuliert. Dabei wurden die in den Feldversuchen relevanten Transportkonzepte eines Gebietsspediteurs mit Vorholgebieten und Hubs für die Konsolidierung und den Umschlag sowie eines Milkruns (als Regelverkehr für geringe bis mittlere Entfernungen) umgesetzt (siehe Abbildung 5).

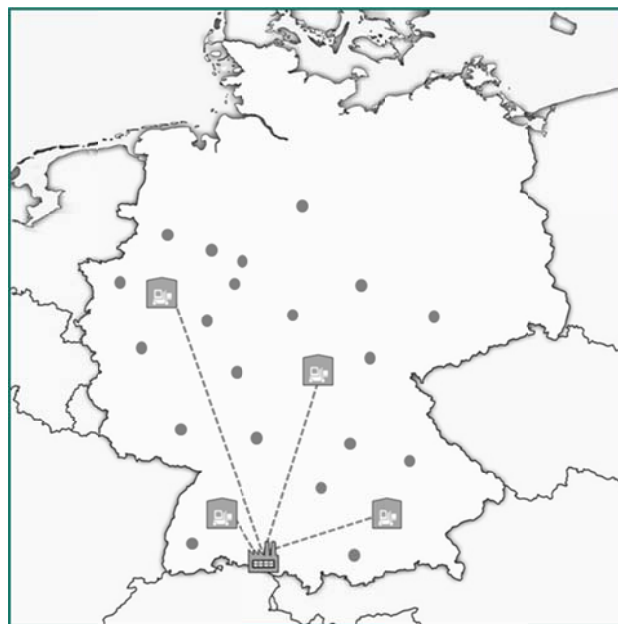


Abbildung 5: Die Grundstruktur des simulierten Netzwerks

Es wurde dabei der Frage nachgegangen, wie sich das abgebildete Transportnetzwerk unter stochastischem Einfluss anhand definierter Kennzahlen verhält und ab wann Abweichungen von den Planzuständen auch zu tatsächlich kritischen Systemzuständen führen, messbar etwa an der Anzahl der Produktionsausfälle durch fehlendes Material. Im Anschluss wurde untersucht, wie verschiedene Maßnahmen mit unterschiedlichen Eingriffsgrenzen auf der taktischen und operativen Ebene auf das Gesamtsystem wirken und welche Kennzahlen langfristig bei den verschiedenen Akteuren beeinflusst werden. Das Ziel war an dieser Stelle die Suche nach guten Systemzuständen aus Gesamtkostensicht über die gesamte Prozesskette, vom Lieferant bis zum Empfänger.

Die Modellierung der Lieferkette erfolgte agentenbasiert in der Simulationsumgebung AnyLogic. Dazu wurden die beteiligten Akteure Lieferant, Logistikdienstleister und Empfänger als Softwareagenten abgebildet und das individuelle Prozessverhalten implementiert. Das stochastische Geschehen der Supply Chain ist über Verteilungsfunktionen zu Prozess- und Wartezeiten sowie Wahrscheinlichkeitsverteilungen zum Eintritt bestimmter Ereignisse (etwa Stau oder Fehler bei der Bereitstellung von

Material) in das Modell eingeflossen. Die Transportprozesse finden im Modell in einem Abbild des realen Verkehrsnetzes mithilfe der GIS-Funktionen in AnyLogic auf der Grundlage von OpenStreetMap-Daten statt (siehe Abbildung 6).

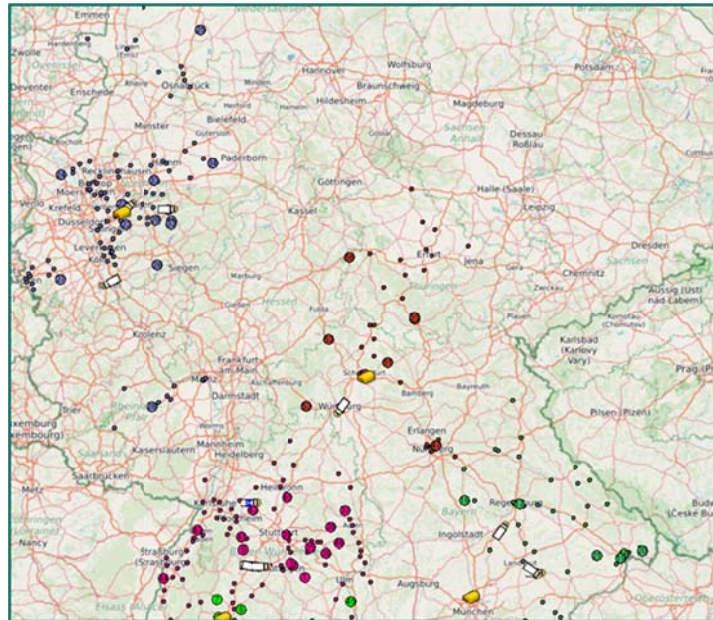


Abbildung 6: Integration von OSM-Daten in das Modell

Der Aufbau des Modells erfolgte in modularer Bauweise, so dass die einzelnen Simulationsbausteine je nach Anwendungsfall bis zu einem gewissen Grad flexibel kombiniert und auch für spätere Untersuchungen eingesetzt und erweitert werden können. Zusätzlich zum eigentlichen Ablaufmodell erfolgte im Rahmen des Projekts die Entwicklung einer Infrastruktur zum datenbankbasierten Austausch der Eingangs- und Ausgangsdaten mit weiteren Anwendungen wie MS Excel, MS Access und IBM SPSS. Im Rahmen einer Experimentplanung wurden die statistischen Grundlagen gelegt, um eine zielgerichtete Durchführung der Simulationsexperimente sicherzustellen.

Zur Visualisierung des Modellablaufs wurde ein User Interface aufgebaut, das die geographisch verteilten Prozesse in der Karte darstellt und einen Überblick über die relevanten Kennzahlen der einzelnen Agenten in Form von Übersichten und Histogrammen gibt (siehe Abbildung 7). Dies diente zum einen im Rahmen des Modellbildungsprozesses der Kontrolle des Modellverhaltens und zum anderen ermöglicht das entwickelte User Interface im fertigen Modell eine detaillierte Betrachtung und Analyse von einzelnen Simulationsläufen bereits in der Simulationsumgebung.

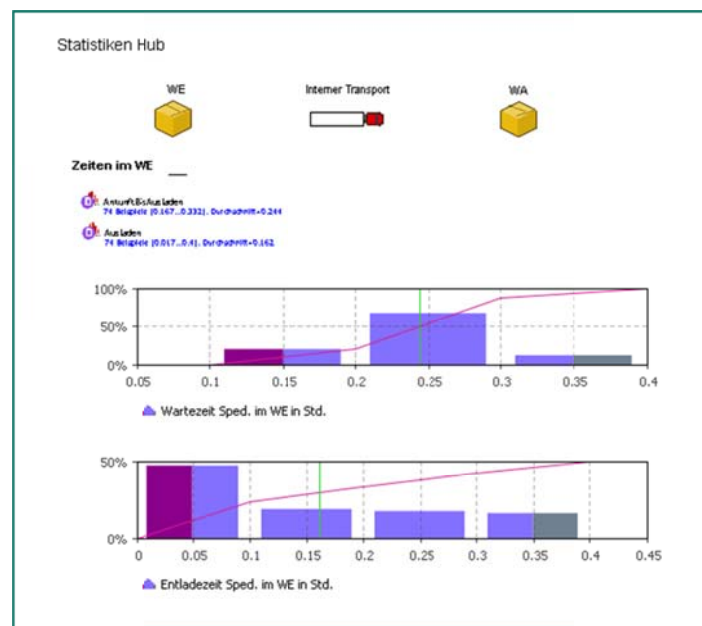


Abbildung 7: Kennzahlenübersicht im User Interface

Es wurden in der Simulationsumgebung Maßnahmen zur Steuerung und Überplanung der Lieferkette sowohl auf der taktischen als auch auf der operativen Ebene implementiert, um daran verschiedene Eingriffsgrenzen untersuchen zu können. Um transportrelevante Handlungsalternativen ansteuern zu können wurden Plan-Ist-Vergleiche implementiert, die das Auslösen von Maßnahmen beim Über- oder Unterschreiten von Schwellwerten ermöglichen. Dabei wurden Informationen über den Stand von Planung und Ausführung entlang der gesamten Kette kombiniert. Folgende Maßnahmen wurden im Rahmen der Studie in Hinblick auf Wirkkorridore und Wechselwirkungen im Gesamtsystem untersucht:

- Tourbezogene Maßnahmen: Änderung der Toursequenz und Änderung der Tourzuordnung innerhalb der Betrachtungsperiode
- Priorisierung von Aufträgen: Vorziehen von Aufträgen anhand von Verspätungsmerkmalen, Dringlichkeitsmerkmalen und fixen (material- oder lieferantenbezogenen) Merkmalen
- Einsatz zusätzlicher Ressourcen: Auslösen einer Sonderfahrt anhand der voran genannten Merkmale
- Alternativer Werkstoffeinsatz: Verwendung von gleich- oder höherwertigem Material von anderen Lieferanten
- Bestandsmanagement: Anpassung der Bestellparameter
- Ressourcenallokation: Anpassung von Transportkapazitäten sowie Fahrplänen und Öffnungszeiten

Im Rahmen der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die voran beschriebenen Fragestellungen mit simulativen Methoden grundsätzlich in geeigneter Weise abgebildet und untersucht werden können. Vor allem die Analyse von Auswirkungen auf eine Vielzahl von Zielkriterien in unterschiedlichen Abschnitten des Beschaffungsprozesses und für eine Vielzahl unterschiedlicher Eingangsdaten ist mit den entwickelten Modellen möglich. Es ist

jedoch zu beachten, dass die Erkenntnisse der simulativen Untersuchungen in der Regel nicht verallgemeinert werden können, sondern vielmehr eine Aussage über die Wirkzusammenhänge für die abgebildeten Anwendungsfälle zulassen. Es konnten für die untersuchten Abweichungsszenarien Aussagen über die Kritikalität aus Gesamtsystemsicht getroffen werden. Für den voran genannten Maßnahmenkatalog konnte die Wirksamkeit für variierende Eingriffsgrenzen und -strategien aufgezeigt werden.

### **2.1.3 Analytische Modellierung von Transportsystemen in der Beschaffung**

Nachdem im vorhergehenden Kapitel Transportsysteme simulativ untersucht wurden, erfolgt in diesem Kapitel eine analytische Modellierung der Systeme. Es wird zunächst die Motivation erläutert. Anschließend erfolgen die Modellierung des Systems und die Anwendung auf zwei Fallbeispiele. Abschließend folgen quantitative Untersuchungen zu den untersuchten Systemen.

#### **2.1.3.1 Motivation und Modellierung des Systems**

Ein Transportsystem in der Beschaffung, dargestellt in Abbildung 8, besteht typischerweise aus einem Empfänger, der Waren bestellt, und einem Lieferanten, der Material versendet. Beide Einheiten sind durch den Transport miteinander verbunden, der das Material physisch vom Standort des Lieferanten zum Standort des Empfängers transportiert.

Der Transport ist mit Unsicherheit behaftet, d.h. die Dauer des Transports ist in der Regel nicht immer exakt dieselbe, sondern die Dauer des Transports streut zufällig. Die Ursache liegt in der stochastischen Natur des Verkehrsgeschehens, die dazu führt, dass regelmäßig Abweichungen auftreten. Diese sind jedoch nicht vorherzusehen, sondern treten zufällig mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf, wie beispielsweise eine durch einen Verkehrsunfall verursachte Straßensperrung.

Diese Unsicherheit kann je nach geographischer Verteilung des Lieferantennetzwerks stärker oder schwächer ausgeprägt sein. Bei regionaler Belieferung und geringen Transportdistanzen sind die möglichen Abweichungen und damit auch die Unsicherheit gering. Bei überregionaler, internationaler oder gar transkontinentaler Belieferung sind die zu bewältigenden Distanzen und damit auch die Unsicherheiten größer.



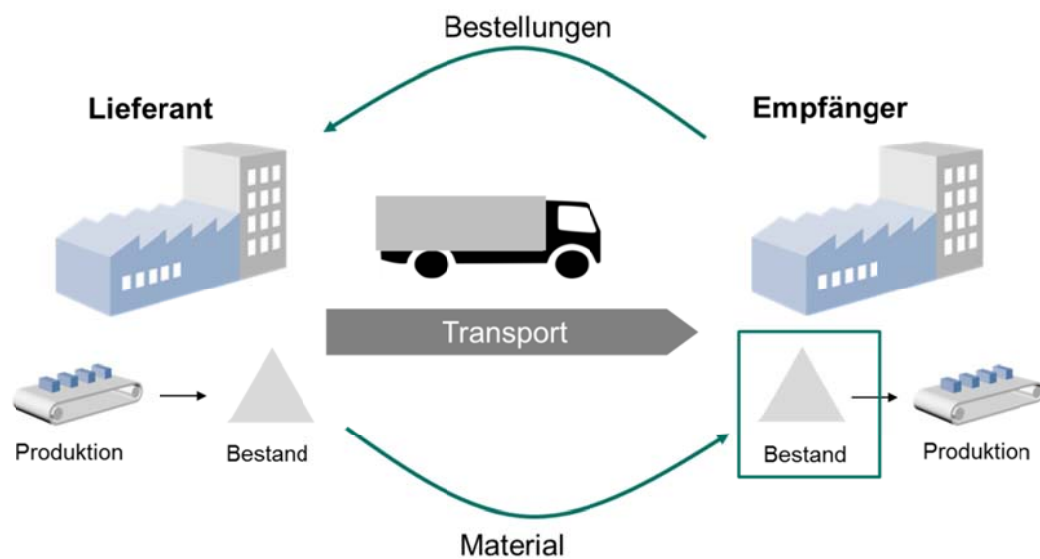


Abbildung 8: Transportsystem in der Beschaffung

Wenn beispielsweise bei einem Überseetransport durch eine Verspätung im Vorlauf ein Schiff verpasst wird und nun auf das nächste gewartet werden muss, werden aus wenigen Stunden Verspätung plötzlich mehrere Tage Verspätung. Diese Verzögerung kann im Empfangswerk zu einem Materialengpass führen.

Um einen solchen Engpass zu vermeiden, muss sich die Unsicherheit des Transports (und die Zuverlässigkeit des Lieferanten) in Sicherheiten in Form von Bestand beim empfangenden Werk widerspiegeln. Erfolgt die Lieferung stets zuverlässig und pünktlich, so ist weniger Bestand erforderlich. Kommt es jedoch häufig zu größeren Verzögerungen, so ist mehr Bestand erforderlich.

Aktuell erfolgt die Dimensionierung des Bestands häufig auf der individuellen Erfahrung des Planers. Dies ist jedoch eine subjektive Entscheidung und hängt von der Erfahrung des Planers ab. Ein unerfahrener Planer ist häufig nicht in der Lage, eine zufriedenstellende Entscheidung zu treffen.

Die wissenschaftliche Literatur liefert bereits einige mathematische Modelle zur stochastischen Modellierung von Transportsystemen (Furmans, 2003) sowie stochastische Bestandsmodelle (Tempelmeier, 2011), die sich dafür eignen, den erforderlichen Bestand objektiv zu berechnen. In der Praxis haben Sie sich jedoch noch nicht durchgesetzt.

Dies ist teilweise darin begründet, dass die benötigten Daten schwierig oder gar nicht zu beschaffen sind. Häufig hat der Empfänger keine Informationen darüber, auf welchen Verkehrsträgern und auf welchen Routen das Material unterwegs ist, bevor es beim ihm eintrifft.

Durch die Einführung von Supply Chain Event Management (SCEM) Systemen und der damit einhergehenden Möglichkeit zur Überwachung von Transporten (Tracking & Tracing) entfällt diese Barriere nun. Informationen, die vorher schwer zu beschaffen waren, sind nun deutlich einfacher zu beschaffen und liefern dem Planer wertvolle Informationen über das Ausmaß an Unsicherheit, mit der die Beschaffung eines konkreten Teils behaftet ist.



Nachfolgend wird daher dargelegt, wie stochastische Bestands- und Transportmodelle miteinander verknüpft werden müssen, um die erforderlichen Sicherheiten in einem Logistiksystem der Beschaffung objektiv zu bestimmen. Dazu werden Messdaten, die im Rahmen der ProvelT Feldversuche ermittelt wurden, verwendet um das stochastische Verhalten des Verkehrsgeschehens abzubilden. Es wird hergeleitet, welche Abweichungen in der Realität auftreten können und wie diese in stochastischen Bestandsmodelle abgebildet werden können.

### 2.1.3.2 Mathematische Formulierung des Modells

Um ein Beschaffungssystem zu modellieren, ist es zunächst erforderlich, den Bestand des empfangenden Werkes zu analysieren. Dieser ist in Abbildung 8 mit einem grünen Kasten markiert. Der Verlauf des Bestandes in Abhängigkeit von der Zeit ist in Abbildung 9 dargestellt.

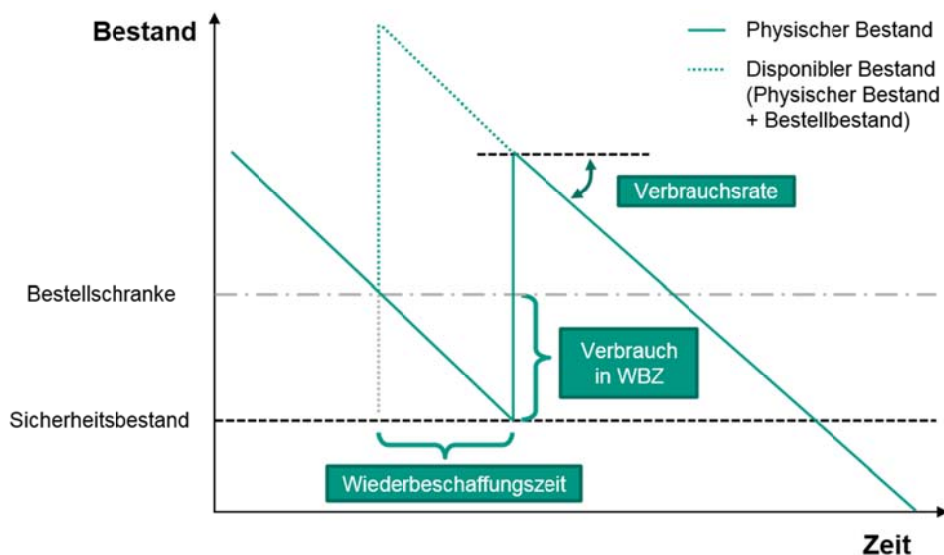


Abbildung 9: Das ideale Lagermodell (in Anlehnung an Tempelmeier 2011)

Der Bestand hat im idealen Lagermodell einen sägezahnartigen Verlauf. Mit zunehmender Zeit sinkt der Bestand. Die Steigung der Gerade entspricht dabei der Rate des Verbrauchs (Mangeneinheiten pro Zeiteinheit). Unterschreitet der Bestand eine Bestellschranke wird einer Bestellung ausgelöst. Nach einem definiertem Zeitintervall, der Wiederbeschaffungszeit, trifft die bestellte Menge beim Empfänger ein und die Bestandskurve bewegt sich senkrecht nach oben.

Die Idee des idealen Lagermodells ist es, die Bestellschranke bei bekannter Verbrauchsrate und bekannter Wiederbeschaffungszeit so zu wählen, dass der Bestand im Zeitraum der Wiederbeschaffungszeit nicht unter null (oder einen definierten Sicherheitsbestand) fällt.

Das ideale Lagermodell ist jedoch eine stark vereinfachte Idealisierung der Realität. Sowohl die Wiederbeschaffungszeit als auch die Verbrauchsrate nehmen in der Realität keinen festen, deterministischen, Wert an, sondern sind Zufallsvariablen. Dies bedeutet, dass beide Größen verschiedene Werte mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten annehmen.

Die Abweichungen, die in der Realität auftreten können, sind in Abbildung 10 dargestellt. Im Lagerzugang kann es zu einer Lieferterminabweichung und einer Liefermengenabweichung kommen. Bei einer Lieferterminabweichung trifft die bestellte Ware mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vor oder nach dem geplanten Zeitpunkt des Eintreffens ein. Im Falle einer Liefermengenabweichung stellt der Lieferant mehr oder weniger Einheiten einer bestellten Sachnummer bereit.

Im Lagerabgang kann eine Bedarfsabweichung auftreten. Dies bedeutet, dass der Verbrauch einer bestimmten Sachnummer höher oder niedriger ist, als der geplante Verbrauch.

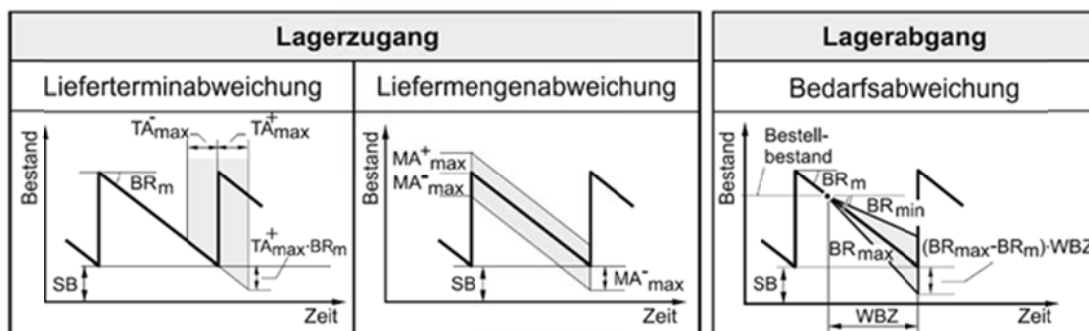


Abbildung 10: In der Unternehmenspraxis auftretende Abweichungen vom idealen Lagermodell (Quelle: Nyhuis 2008)

Mit Hilfe der ProveIT-App (Detailbeschreibung siehe Gesamtbericht des Konsortiums) lassen sich zu den o.g. Abweichungen Daten aus dem Feld sammeln. Aus diesem empirischen Datensatz lässt sich ableiten, welche Abweichungen (d.h. Art und Intensität der Abweichung) in welcher Häufigkeit auftraten.

Aus den Häufigkeitsverteilungen der empirisch gemessenen Abweichungen in Lagerzugang und Lagerabgang lassen sich diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu Wiederbeschaffungszeit und Nachfrage ableiten. Diese können dann als Input für ein Bestandsmodell mit stochastischer Wiederbeschaffungszeit verwendet werden.

Mit Hilfe dieses Modells lässt sich der Bestand berechnen, der für die Einhaltung eines gewünschten statistischen Sicherheitsniveaus erforderlich ist. Das Prinzip, nach dem vorzugehen ist, ist in Abbildung 11 dargestellt.

Im Beispiel kann die Wiederbeschaffungszeit entweder die Werte „1 Schicht“, „2 Schichten“ oder „3 Schichten“ einnehmen. Alle Werte sind mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit behaftet. Weiterhin ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage für eine Schicht bekannt. Da die Wiederbeschaffungszeit bis zu drei Schichten dauern kann, müssen wir auch für diese Fälle die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage berechnen. Wenn nun die drei Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Nachfrage mit den Wahrscheinlichkeiten der Wiederbeschaffungszeit gewichtet und aufsummiert werden, ergibt sich eine aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage in der Wiederbeschaffungszeit. Aus dieser lässt sich der notwendige Bestand für ein gewünschtes Sicherheitsniveau berechnen.

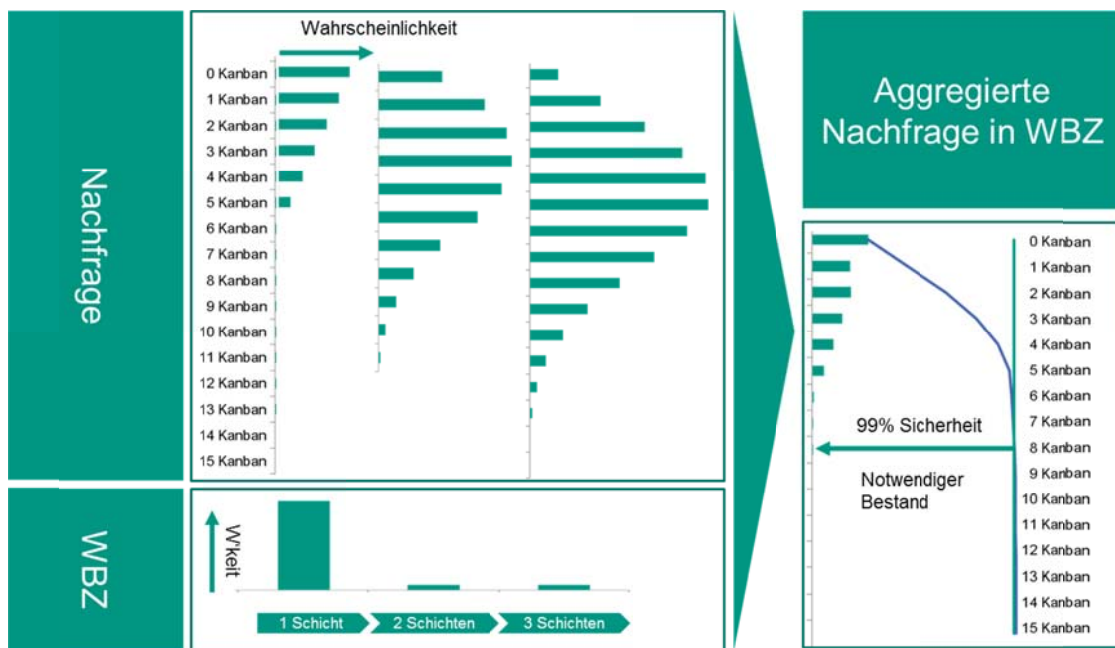


Abbildung 11: Berechnung der aggregierten Nachfrage bei einem Bestandsmodell mit stochastischer Wiederbeschaffungszeit

In ProveIT wurden im Rahmen der Feldversuche (siehe Gesamtbericht des Konsortiums) empirische Daten der Wiederbeschaffungszeit ermittelt. Im Folgeabschnitt soll die Verwendung des hier beschriebenen Modells illustriert werden, in dem es auf das Beispiel des „Saar-Pfalz“ Milkruns der Firma Bosch angewendet wird.

### 2.1.3.3 Quantitative Untersuchungen

Zur Modellierung des Systems im Falle des Bosch Milkruns sind einige vereinfachende Annahmen erforderlich, die in Abbildung 12 dargestellt sind.

Planprozess und Transportzeit [Schichten]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bestandsüberprüfung und <b>Bestellung alle drei Schichten</b></li> <li>▪ Lieferant stellt Ware am <b>nächsten Tag</b> bereit</li> <li>▪ <b>Transport</b> zum Empfänger</li> <li>▪ <b>Vereinnahmung</b> im Wareneingang</li> </ul>	$P(0 \leq T < 1)$	$P(1 \leq T < 2)$	
		Feldversuch	$\frac{1}{11}$	$\frac{10}{11}$
		Verbesserungsszenario 1	$\frac{4}{11}$	$\frac{7}{11}$
		Verbesserungsszenario 2	$\frac{7}{11}$	$\frac{4}{11}$

Abbildung 12: Planprozess und Transportzeit im Modell des Saar-Pfalz-Milkruns

Das System wird nur zu diskreten Zeitpunkten alle acht Stunden (=1 Schicht) betrachtet. Es wird angenommen, dass der Bestand täglich zum gleichen Zeitpunkt überprüft wird. Direkt darauf wird die Bestellung an den Lieferanten gesendet. Der Lieferant benötigt einen Tag, um die Bestellung zu verarbeiten und stellt das Material am Folgetag für den Milkrun bereit. Der Milkrun benötigt in 1/11 der Fälle weniger als eine Schicht, in 10/11 der Fälle mehr als eine Schicht, bis er beim Empfänger eintrifft. Weiterhin wurden zwei

Verbesserungsszenarien betrachtet, in denen angenommen wird, dass der Milkrun seine Tour schneller vollenden kann (Verkürzung der Tourdauer). Wenn das Material beim Empfänger eingetroffen ist, beginnt die Vereinnahmung. Es wird angenommen, dass die Durchlaufzeit der Vereinnahmung immer exakt eine Schicht beträgt.

Von diesem geplanten, idealisierten Prozessablauf können in der Realität Abweichungen auftreten. Diese sind in Abbildung 13 zusammenfassend dargestellt.

Bereitstellungsfehler	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mit einer Wahrscheinlichkeit von X% wird nur eine Teilmenge der Bestellung bereitgestellt</li> <li>▪ Die Restmenge wird an einem Folgetag bereitgestellt</li> </ul>
Zeitpunkt der Fehlererkennung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>„Spät“ - Wareneingang des Empfängers</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der Fehler in der Bereitstellung wird im Rahmen des Wareneingangskontrolle beim Empfänger bemerkt</li> <li>▪ Die fehlenden Waren werden „<b>übermorgen</b>“ bereitgestellt</li> </ul> </li> <li>▪ <b>„Früh“ - Warenausgang des Versenders</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der Fehler in der Bereitstellung wird bereits durch den Fahrer im Warenausgang beim Lieferanten bemerkt</li> <li>▪ Die fehlenden Waren werden „<b>morgen</b>“ bereitgestellt</li> </ul> </li> </ul>

Abbildung 13: Bereitstellungsfehler und Zeitpunkt der Fehlererkennung im Modell des Saar-Pfalz-Milkruns

Die Abweichung, die im Modell betrachtet wird ist der sog. Bereitstellungsfehler. Dieser bezeichnet eine fehlerhafte der Bereitstellung einer Bestellung einer Sachnummer durch den Lieferanten. Dies bedeutet, dass der Lieferant eine bestellte Sachnummer nicht bereitstellt. Der Fehler kann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit von X% auftreten.

Die Erkennung des Fehlers kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgen, „früh“ oder „spät“. Eine späte Fehlererkennung bedeutet, dass die fehlende Sachnummer erst bei der Vereinnahmung im Wareneingang des Empfängers bemerkt wird. Es wird in diesem Fall sofort reagiert. Auf Grund der Reaktionszeit des Lieferanten – es wird immer ein Tag zur Verarbeitung einer Bestellung benötigt – können die fehlenden Waren allerdings erst „übermorgen“ bei der nächsten Milkrun-Tour mitgenommen werden.

Ein Fehler kann jedoch auch „früh“ erkannt werden. Dies bedeutet, dass der Fahrer genau weiß, wie viele Packstücke von welcher Sachnummer mitgenommen werden müssen. Dadurch ist er in der Lage, direkt im Warenausgang des Lieferanten eine Kontrolle auf Vollständigkeit durchzuführen. Eine Fehlmenge wird sofort bemerkt und kann bereits „morgen“ bei der nächsten Milkrun Tour mitgenommen werden.

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse einer quantitativen Analyse dargestellt, die mit Hilfe des voran beschriebenen Verfahrens am Beispiel des „Saar-Pfalz“ Milkruns der Firma Bosch durchgeführt wurden. Es wurde eine frühe und späte Fehlererkennung betrachtet. Weiterhin wurden Auftrittswahrscheinlichkeiten des Bereitstellungsfehlers von 5% und von 1% angenommen.

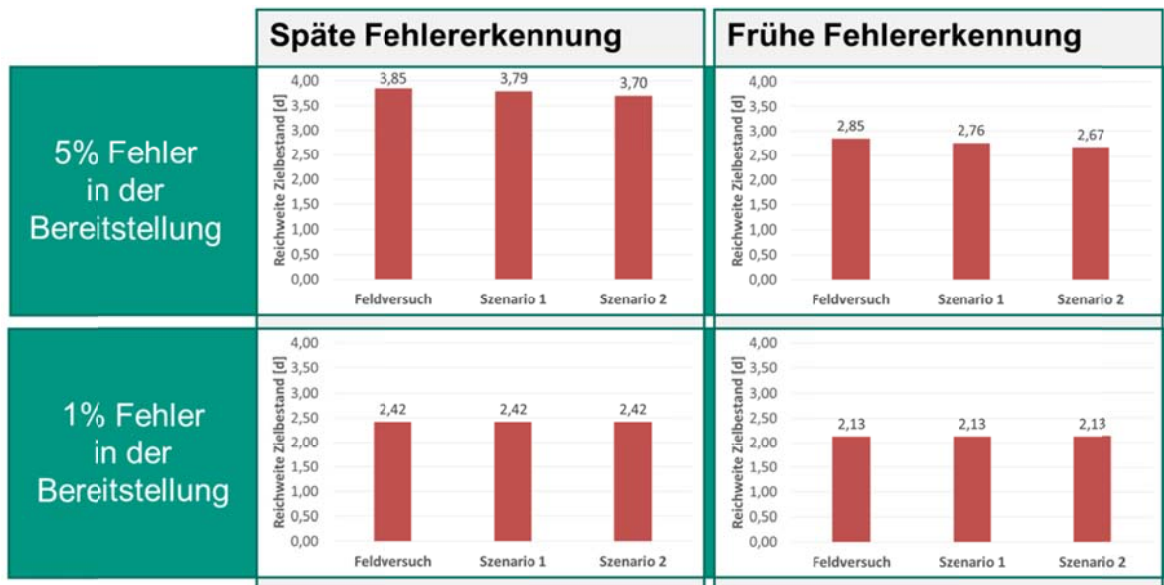


Abbildung 14: Notwendiger Bestand in verschiedenen Szenarien für ein statistisches Sicherheitsniveau von 99% im Bosch Use-Case

Anhand des einfachen Modells lässt sich erkennen, dass eine Verkürzung der Tourdauer des Milkruns nur einen geringen Einfluss auf den notwendigen Bestand hat. Weiterhin ist erkennbar, dass das Modell eine hohe Sensitivität in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Bereitstellungsfehlers und den Zeitpunkt der Fehlererkennung hat. Um den notwendigen Bestand höchstmöglich zu senken ist also eine zuverlässige Bereitstellung besser geeignet, als eine Verkürzung der Tourdauer des Milkruns.

#### 2.1.3.4 Fazit

Stochastische Bestandsmodelle sind geeignet, um den für eine statistische Sicherheit notwendigen Bestand objektiv zu ermitteln. Die bisher bestehende Barriere, die schwierige Datenbeschaffung, die eine quantitative Bewertung der in den operativen Abläufen auftretenden Abweichungen erschwert, wird durch SCEM-Systeme geringer.

Die Modelle lassen sich auf sämtliche in der Realität auftretenden Transportsysteme übertragen. Besonders großes Potenzial für den Nutzen der Modelle liegt in der Anwendung bei langen globalen Lieferketten. Diese sind sehr komplex und für einen Planer sehr schwer zu überblicken. Auf Grund der langen Transportzeiten fällt es einem menschlichen Planer schwer, ein „Bauchgefühl“ zu entwickeln, das ihn in die Lage versetzt, den Bestand angemessen zu wählen. Es liegt die Vermutung nahe, dass hier der notwendige Bestand auch am stärksten überschätzt wird. Durch den Einsatz von SCEM-Systemen lassen sich die Abweichungsdaten nun mit geringerem Aufwand sammeln und somit auch der objektiv erforderliche Bestand bestimmen.

## 2.1.4 Gegenüberstellung der Ziele und der erzielten Ergebnisse

### UAP 1.1 – Gesamtkonzept und Ermittlung der Basisdienste

#### Ziele:

- Definition inhaltlicher Szenarien an der Schnittstelle Produktion und Transportlogistik
- Ermittlung und Beschreibung der Dienste, die auf der ProveIT-Plattform bereitgestellt werden
- Spezifizierung der Prozessabläufe bei Benutzung der ProveIT-Plattform auf operativer und taktischer Ebene und Überführung in ein Gesamtkonzept

#### Ergebnisse:

- Ein Prozessmodell für die taktische Planung, die operative Planung und die operative Ausführung wurde zunächst als Vision definiert und im Projektverlauf iterativ in ein praktikables, umsetzbares Prozessmodell überführt.
- Das entwickelte Prozessmodell wurde im Feldversuch umgesetzt und dabei durch die Anwender erprobt.
- Das Gesamtkonzept sowie die Ermittlung und Beschreibung der Basisdienste wurden realisiert und dem BMWi im September 2014 vorgestellt. Im Anschluss wurde das Konzept – parallel zur Weiterentwicklung der Dienste – ebenfalls iterativ weiterentwickelt.

### UAP 1.2 – Erstellung eines durchgängigen Datenmodells

#### Ziel:

- Koordination und Ausarbeitung eines Datenmodells, das alle Informationen für die Berechnungen von Kennzahlen und Inputs für die Dienste zur Verfügung stellt

#### Ergebnisse:

- Das Datenmodell wurde aufgestellt und in das Prozessmodell integriert und ermöglicht einen durchgängigen Datenfluss über alle Akteure (Empfänger, Spediteur und Lieferant).
- Der Datenfluss gemäß des Prozessmodells wurde durch die Softwarepartner umgesetzt und in den Feldversuchen erprobt.
- Im Rahmen des Prozessmodells wurden Track & Trace Punkte definiert, an denen der Status einer Tour durch die App zurückgemeldet wird. Diese wurden in der Event-Datenbank abgebildet.
- Es erfolgte eine Anbindung der AnyLogic-Modellumgebung an die Transferdatenbank des Konsortiums.

### UAP 1.3 – Erstellung eines Abweichungsmodells

#### Ziele:

- Entwicklung eines Simulationsmodells zur Abbildung eines transportlogistischen Netzwerks unter Berücksichtigung von Aspekten der Lagerhaltung

- Untersuchung der Auswirkungen von Abweichungen und geeigneten Maßnahmen auf der operativen und taktischen Ebene auf das Gesamtnetzwerk
- Untersuchung einer Abweichungsbeurteilung auf der Grundlage von verteilten Informationen entlang der Supply Chain (vom Lieferant, über den Transport bis hin zur Produktion beim Empfänger)

#### **Ergebnisse:**

- Es wurde ein AnyLogic-basiertes Simulationsmodell erstellt, das die Abbildung der im Projekt fokussierten Prozesskette ermöglicht. Dabei wurden typische Abweichungen und ein Maßnahmenkatalog auf der operativen und taktischen Ebene abgebildet.
- Die Abhängigkeiten im Netzwerk wurden untersucht und für die abgebildeten Anwendungsszenarien wurden Wirkzusammenhänge abgeleitet.
- Es wurden verschiedene Abweichungsbewertungen auf der Grundlage verteilter Informationen entlang der gesamten Kette implementiert und die Wirkungsweise anhand ausgewählter Kennzahlen dargestellt.

### **UAP 1.4 – Untersuchungen zur Stabilität in der Transportlogistik**

#### **Ziele:**

- Mathematisches Modell, das es ermöglicht das stochastische Verhalten von Verkehrssystemen und Produktionssystemen quantitativ abzubilden in deren Interaktion zu verstehen
- Bewertung der Stabilität eines Logistiksystems der Transportlogistik sowie Bewertung von Maßnahmen zur Stabilisierung

#### **Ergebnisse:**

- Es konnte ein mathematischer Modellierungsansatz gefunden werden, der es erlaubt das stochastische Verhalten von Transportsystemen in ein stochastisches Bestandsmodell mit stochastischer Wiederbeschaffungszeit zu integrieren.
- Der Modellierungsansatz eignet sich für die im Forschungsprojekt abgebildeten Use Cases, lässt sich aber auch auf noch komplexere Transportnetze übertragen (z.B. Vorlauf per LKW in Brasilien, Transport per Schiff zu einem Hafen in Europa, Transport per LKW in ein Crossdocking-Zentrum, Umschlag, Transport per LKW zum Empfänger).
- Mit Hilfe des Modells können die Stabilität im Ist-Zustand und Szenarien für Stabilisierungsmaßnahmen bewertet werden.
- Die Modelle können zur Dimensionierung von Sicherheiten, beispielsweise Zeit- oder Bestandspuffern, in Abhängigkeit von der Prozessstabilität verwendet werden.

## **2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Das IFL wurde hauptsächlich in Bezug auf Kosten für wissenschaftliche und studentische Mitarbeiter gefördert. Darüber hinaus entstanden für Projektsitzungen Reisekosten. Eine detaillierte Aufführung der Kosten kann dem zahlenmäßigen Verwendungsnachweis entnommen werden.



## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten des IFL im Projekt ProveIT waren aus verschiedenen Gründen umfangreich und komplex. Stand der Technik in der Automobilindustrie ist ein meist nicht standardisierter intransparenter Transportprozess, der durch eine unidirektionale Kommunikationskette geprägt ist. Am Beginn dieser Kette steht der Empfänger der Waren, in der Mitte der Lieferant und am Ende der Spediteur, der den Transport übernimmt. Dies ist wenig intuitiv, da der Spediteur aus physischer Sicht das Bindeglied zwischen Lieferant und Empfänger darstellt. Diese physische Sicht spiegelt sich auch in den Verträgen wieder: Der Empfänger zahlt im Regelfall auch die Fracht.

Eine Idee von ProveIT war es, das Empfangswerk als Zahler der Fracht stärker in die Steuerung der Transporte zu involvieren. Hierfür musste ein völlig neuartiges Prozessmodell mit den verschiedenen Akteuren erarbeitet werden, indem der Material- und Zahlungsmittelfluss gleich bleibt, allerdings der Informationsfluss verändert wird. Eine besondere Herausforderung im Projekt war hierbei, dass in den Unternehmen bereits eine gewisse IT-Landschaft existierte und es Anforderungen hinsichtlich der „führenden Systeme“ gab. Dadurch ergab sich eine Diskrepanz zwischen einem als Vision erdachten Prozess und einem im Projekt praktikabel umsetzbaren Prozess. Hierbei galt es einen Kompromiss zu finden. Die Abweichung von der Vision musste so gering wie möglich sein. Gleichzeitig musste auf Grund der begrenzten Projektlaufzeit und des straffen Zeitplans mit frühzeitigen Feldversuchen die Umsetzbarkeit durch die Projektpartner gewährleistet sein.

Aus wissenschaftlicher Sicht lagen die Herausforderungen vor allem in der Kombination von Konzepten und Modellen aus unterschiedlichen Teilbereichen der Logistik (Transport, Lagerhaltung und Produktion). An dieser Stelle leisten die entwickelten simulativen und analytischen Modellen einen Beitrag zur Beherrschung dieses komplexen Anwendungsfalls. Ein wichtiger Aspekt bei der Modellbildung ist dabei die Sicherstellung der Validität der Modelle aus Sicht der Praxis. Das Projekt ermöglichte durch den Einsatz der ProveIT-App die Gewinnung von Prozessdaten, die für die Systemüberplanung und weitere Modellierung hervorragend geeignet sind.

Für die Stabilitätsuntersuchung wurden zeitdiskrete Modelle zur Modellierung mehrstufiger Transportsysteme mit stochastischen Bestandsmodellen mit stochastischer Wiederbeschaffungszeit verknüpft. In die Modellierung der Transportsysteme floss vor allem das Prozesswissen der Branchenkenner Geis und PTV ein. Um für den Vergleichsfall „Späte Fehlerkennung im Wareneingang“ realistische Reaktionen für den „Fall ohne ProveIT“ zu ermitteln, wurden Gespräche mit Disponenten der Firmen Bosch und ZF geführt. Es wurde erfragt, auf welcher Informationsgrundlage die Entscheidung (beispielsweise über eine Sonderfahrt) getroffen wird, und wie die Entscheidung in Abhängigkeit von der Information getroffen wird (beispielsweise, ab welcher Verspätung eine Sonderfahrt ausgelöst wird). Dieses Prozesswissen wurde in die Stabilitätsmodelle integriert.

## 2.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das IFL folgt dem Ansatz, wissenschaftliche Erkenntnisse aus Forschungsprojekten in hohem Maße in die Lehre und in Industrieprojekte einzubringen. Ziel ist es, innovative logistische Konzepte in die Praxis zu transferieren. Darüber hinaus fließen die Erkenntnisse



in weitere Forschungsprojekte ein, um die erarbeiteten Methoden zu erweitern oder auf verwandte Probleme anzuwenden.

Es ist geplant, die gewonnenen Erkenntnisse in Fachzeitschriften zu publizieren und sie so der Fachwelt verfügbar zu machen. Als Universitätsinstitut ist das IFL auch sehr stark in die Lehre eingebunden. Hier sind die Erkenntnisse aus ProveIT in folgende Vorlesungen eingeflossen:

- Logistik – Aufbau, Gestaltung und Steuerung von Logistiksystemen
- Logistik in der Automobilindustrie
- Globale Logistik
- Modellbildung und Simulation

## **2.5 Erfolge und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses**

Die Ergebnisse des ersten Arbeitspakets wurden im Rahmen der Abschlussveranstaltung des Projekts im House of Living Labs des FZI vorgestellt. Hierzu wurden neben den Konsortialpartnern auch Kunden und Partner eingeladen, um die Ergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit bekannt zu machen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts entstehen weiterhin zwei Dissertationen. Die Finalisierung der Dissertation mit dem Arbeitstitel „Stability in Transport Logistics – Definition, Measures and Evaluation“ erfolgt voraussichtlich innerhalb der ersten Jahreshälfte 2017. Eine zweite Dissertation zu dezentralen Ansätzen der Planung und Steuerung von Logistiknetzwerken wird voraussichtlich Anfang 2018 folgen.