

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die zunehmende globale Vernetzung von Unternehmen sowie die damit einhergehende geografische Entkoppelung von einzelnen Gliedern einer Wertschöpfungskette begünstigen ein wachsendes Transportaufkommen. Eine individualisierte Lebensweise und die permanente Erreichbarkeit durch das Internet sorgen für steigende Wettbewerbstransparenz, erhöhte Kundenanforderungen und abnehmende Kundenloyalität. Gleichzeitig kämpfen Unternehmen mit erhöhtem Wettbewerbsdruck, einer Veränderung der Auftragsstrukturen, einer volatilen Kundennachfrage und knappen Ressourcen (vgl. [GH10]). Die genannten Herausforderungen haben dazu beigetragen, dass die Logistik längst zu einem der wichtigsten Erfolgsfaktoren für viele Unternehmen geworden ist. Die zukünftige Vernetzung aller relevanten Instanzen untereinander und mit dem Internet lassen der Logistik auch im Rahmen von Industrie 4.0 (s. Abschnitt 3.1 ab Seite 45) eine herausragende Rolle zuteilwerden. Hintergrund ist nicht zuletzt die koordinierende und steuernde Querschnittsfunktionalität der Logistik unternehmensintern wie unternehmensübergreifend ([Pla14]; [HRH14]).

Wichtigste Stellhebel einer Supply Chain bilden die logistischen Knoten, die mit dem wachsenden Güterumschlag in besonderem Maße flexibel und adaptiv ausgelegt sein müssen (vgl. [Arn06], S. 1). Sowohl produzierende Unternehmen als auch Logistikdienstleister stehen aufgrund der gestiegenen Flexibilitätsanforderungen in der Praxis vor folgenden typischen mittel- und kurzfristigen Herausforderungen:

- Wie ist die Logistik in der Lage, eine Menge x zu einem Zeitpunkt y zu produzieren?
- Wie ist es möglich, systematisch Ressourcen zu planen und zu allokkieren und unter Berücksichtigung aktueller Umweltbedingungen ad hoc zu reagieren, sodass vereinbarte Service Level gehalten werden?
- Wie wirken sich insbesondere Störeinflüsse auf die zeitgerechte Fertigstellung der Aufträge aus? Welche Aufträge sind zeitkritisch?
- Wie können wir aus Ereignissen ableiten, ob ein Engpass entsteht?

Eine Antwort auf solche Fragen wird dadurch erschwert, dass ein Logistikzentrum sowohl den Beanspruchungen der Umwelt wie z. B. Dynamik, Komplexität und Intransparenz ausgesetzt ist als auch den Belastungen der Informations- und Materialflussversorgung ([HSB06], S. 20). Die Planung des Materialflusses im Sinne einer optimalen Disposition von Aufträgen unterliegt Unsicherheitsfaktoren und ist damit nicht ex ante planbar ([BHV14], S. 619). Gerade dynamische Produktions- und Logistiksysteme mit hohen Anforderungen an den Servicegrad und die Reaktionsfähigkeit bedingen verkürzte Planungs-, Steuerungs- und Realisierungszeiträume (vgl. [MA08], S. 309.). Hierbei gilt der Grundsatz, besser eine gute Entscheidung in begrenzter Zeit zu treffen als eine vermeintlich optimale Entscheidung zu spät [GH10].

Genau an der Stelle, zwischen Planung und Ausführung, greift das Supply Chain Event Management (SCEM). Die Idee dieses Ansatzes ist es, eine Supply Chain ereignisorientiert und entscheidungsunterstützend zu steuern (vgl. [Wil10]). Dazu ist es notwendig, geplante und un-

geplante Events zu identifizieren und zu analysieren, zielorientiert darauf zu reagieren sowie mittel- und langfristig das System durch Lernen zu optimieren ([BFV08], S. 8). Die Intralogistik muss als Teil einer Supply Chain ebenfalls ereignisorientiert ausgerichtet sein, damit verschiedene Belastungen, wie externe oder interne Störungen, bewältigt werden können.

Die Verfolgung der Waren entlang der Supply Chain ist durch heutige Auto-ID-Technologien weitestgehend möglich (vgl. [BSK⁺02]; [BH07]). Solche Techniken ermöglichen es, auf Basis von zeitnahen Informationen (Echtzeitinformatoren) die Supply-Chain-Visibilität zu verbessern, um so Handlungsspielräume für intralogistische Entscheidungen zu eröffnen. Zu diesen Techniken gehören beispielsweise die dezentrale Erfassung und Weiterleitung von Informationen am Packstück durch RFID oder drahtlose Sensornetze. Zusätzlich spielt die Ortung von Objekten durch Positionsbestimmung und Zeitmessung (z. B. via GPS) eine wichtige Rolle.

Auf Basis dieser Ausgangssituation werden nachfolgend Herausforderungen benannt und anschließend skizziert, die im Rahmen der Arbeit besondere Beachtung finden.

Herausforderung 1:

Es gibt derzeit kein ereignisorientiertes Modell, welches sowohl für die Planung einer Topologie als auch für die Allokation von Ressourcen im Rahmen der Auftragsabarbeitung genutzt werden kann. Hier fehlt ein wichtiger Schritt zur Schaffung von Transparenz, indem logistische Objekte wie Aufträge, Ressourcen und Events anhand ihrer Eigenschaften typisiert und klassifiziert werden.

Forschungsprojekte wie RAN (RFID-based Automotive Network, vgl. [RAN11]) und ADiWa (Allianz Digitaler Warenfluss, vgl. [WHB⁺12]) belegen, dass durch eine echtzeitnahe Erfassung von Events in Zukunft eine Vielzahl an Daten über den aktuellen Zustand in der Lieferkette generiert werden. Der Mensch kann diese verteilt auftretende Fülle an Ereignisinformationen nicht ohne vorherige, IT-unterstützte Verdichtung und Vorverarbeitung beherrschen. Bislang gibt es keine Ansätze, Ereignisse (im Folgenden auch Events genannt) für die Intralogistik zu klassifizieren und so deren Kausalzusammenhänge für eine erfolgreiche Logistikabwicklung sinnvoll analysieren zu können. Ein wesentlicher Schwachpunkt liegt darin, dass keine integrierte Betrachtung von Ereignissen, Ressourcen und Aufträgen vorliegt, um Eventauswirkungen richtig analysieren zu können.

Der Logistikentscheider erwartet jedoch eine intuitive Ad-hoc-Entscheidungsunterstützung in Bezug auf die Planung und Steuerung von Ressourcen und Aufträgen. Bereits 2011 bestätigte eine Studie von Capgemini unter 300 Unternehmen, dass das oberste Ziel der Supply Chain Agenda der Unternehmen die Verbesserung der Supply-Chain-Visibilität und damit die Antizipation unerwarteter Ereignisse ist (vgl. [Cap11]).

Herausforderung 2:

Trotz der Verfügbarkeit von Sensoren und des Bedarfs an beherrschbaren Werkzeugen zur Informationsverarbeitung gibt es derzeit kein Verfahren, um den Logistikentscheider durch die zeitnahe Verarbeitung von Eventinformationen in der intralogistischen Steuerung von Aufträgen und Ressourcen kurzfristig zu unterstützen.

Die logistische Leistungsfähigkeit der Ressourcen determiniert letztlich die Leistung des Gesamtsystems. Gerade die Zeitablaufplanung (Scheduling) hat einen wesentlichen Einfluss auf

die rechtzeitige Fertigstellung eines Auftrags und damit auf die voraussichtliche Durchlaufzeit. Die Durchlaufzeit je Arbeitsgang setzt sich aus der Durchführungs- und Übergangszeit zusammen [Wie97]. Die Berechnung von Durchlaufzeiten rührt vor allem aus der Produktions- bzw. Prozessplanung. Die Zeitarten können dabei in Ist-Zeiten und Plan-Zeiten (Soll-Zeiten) differenziert werden. Ist-Zeiten sind die tatsächlich von Personal und Arbeitsmitteln in Anspruch genommenen Zeiten für die Prozessausführung. Zur Planung der Ausführung von Arbeitsvorgängen werden Plan-Zeiten eingesetzt (vgl. [SBL10]). In der Praxis werden diese Zeiten oftmals aus Erfahrungswerten über einzelne atomisierte Tätigkeiten aufsummiert. Die Übergangszeit (z. B. Wartezeit) beansprucht in der Realität den größten Anteil an der Durchlaufzeit ([Sch11], S. 25 f.; [Wie97]). In der Regel wird mithilfe von Mittelwerten und/oder anderen statistischen Methoden versucht, Durchlaufzeiten in abstrahierter Form darzustellen. ([Mül06], S. 78; [SS12], [NW99])

Die Zeitablaufplanung bzw. das Scheduling von Aufträgen als Ganzes zählt zur Klasse der NP-vollständigen Probleme. Das bedeutet, dass es derzeit keinen Algorithmus gibt, der das Problem in polynomialer Zeit optimal löst ([Fel99], S. 13; [Geo95], S. 42; [KSS⁺76], S. 364 ff.). Unter Berücksichtigung der dynamischen Reaktion auf Events wird eine praktikable Ablaufplanung mit beherrschbaren Regeln benötigt, die eine zulässige und gute Lösung bietet. Die (Re-) Allokation von Ressourcen und eine bedarfsorientierte Reihenfolgeplanung von Aufträgen besitzen den größten Einfluss auf einen effizienten Betrieb und die Einhaltung von Service Levels. Gerade in erfahrungsgeprägten Logistikzentren mit wertschöpfenden Prozessen fehlt ein methodischer Ansatz zur Ad-hoc-Reaktion auf Events und damit zur permanenten Planung. Dies betrifft vor allem die ressourcenorientierte Durchlaufzeitberechnung zur Analyse des aktuellen Systemzustands, ob Service Level und Materialflussstatus aufgrund der Umgebungsbedingungen gehalten werden können. So können sich auch mehrere unscheinbare Störungen zu komplexen Ereignissen aggregieren und erst in Summe zu einer Störung des Systems bzw. der Nachfolgeprozesse führen. Uneffektive oder ineffiziente Reaktionsmaßnahmen auf Events verstärken zudem einen unausgewogenen Ressourcenverbrauch und die Intensität von Auslastungsspitzen. Folglich verlassen Aufträge nicht rechtzeitig das Logistikzentrum und es entstehen unnötige Kosten für das verantwortliche Unternehmen (z. B. Produktionsverzug, Vertragsstrafen, negatives Image).

Herausforderung 3:

Heutige Entscheidungsunterstützungssysteme sind durch ihre zentralen Strukturen kosten- und zeitintensiv in der Implementierung und gleichzeitig kaum übertragbar bzw. nur bedingt sinnvoll erweiterbar sind (vgl. [SR04], S. 553; [TA11], S. 261).

Typische streng hierarchische Softwaresysteme, wie TMS- oder WMS-Systeme, verarbeiten Logistikdaten durch vornehmlich zentrale, regelbasierte Steuerungsstrategien (vgl. [BVL12]; VDI4493]). Je nach Umfang des Logistiksystems (u. a. technische Anlagenlösung, Auftragsstrukturen, Versandkanäle) steigt die Komplexität des Softwaresystems. In ungünstigen Fällen wird das System so intransparent, dass die gewünschte Performance nicht erzielt wird oder die gewünschten Steuerungsergebnisse nicht eintreten und Kausalitäten für den Anwender nicht nachvollziehbar sind ([Göh13], S. 114 f.; [BHV14], S. 299). Typische Logistikleitstände, die im operativen Betrieb eine nützliche Hilfestellung für den Logistiker sind, fokussieren in

der Regel Teilbereiche (wie z. B. die Materialflusssteuerung) und visualisieren im Falle einer Störung Ort, Objekt und Zeitpunkt des Störungseintritts. Die logistischen Auswirkungen auf Aufträge oder Sendungen können diese Systeme nicht interpretieren. Nicht zuletzt aus diesen Gründen ist das Erfahrungswissen in aktuellen Systemen stark verwurzelt und bei einer Ad-hoc-Reaktion auf Störeinflüsse essenziell geworden.

Die operative Planung und Steuerung der Logistik beruht oftmals auf einer statischen Disposition von Sendungen und einer tage- oder schichtweisen Planung (vgl. [Gud12a]). In diesem Bereich gibt es viele wissenschaftliche Ansätze, um Arbeitslasten zu prognostizieren, Ressourcen zu planen und zu optimieren. Bei den vorhandenen Modellen werden dabei in der Regel starre Annahmen getroffen (z. B. feste Zeitfenster für Aufträge, homogene Bearbeitungszeiten, durchschnittliche Störungen pro Tag, kein Überholen von Aufträgen) und Teilprobleme fokussiert (z. B. Dimensionierung von Pufferstrecken, Torbelegung) (vgl. [SBB⁺07]; [SWK⁺05]; [CG08]). Lösungen aus dem Operations Research weisen zudem oftmals Kontrollprinzipien auf, die zentral, top-down und sequenziell (starr fortlaufend) orientiert sind (vgl. [CG16]; [FK08]; [BZB⁺09]). Solche Lösungen sind bei Erweiterungen oder Veränderungen des Logistiksystems nicht adaptiv. In den letzten Jahren haben die Forschung sowie erste praktische Realisierungen aufgezeigt, dass sich dezentrale Ansätze zur Steuerung der Logistik als robuster erweisen als gängige zentrale Systeme (s. Kapitel 3.1 S. 45 ff. sowie Kapitel 3.5 S. 56 ff.).

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist es, eine Ad-hoc-Steuerung für logistische Umschlagzentren zu ermöglichen und den Logistiker qualitativ zu unterstützen, (zeitkritische) Aufträge rechtzeitig abzufertigen und Ressourcen effektiv zu allokalieren. Dies erfolgt durch den Aufbau eines Multiagentensystems, welches die im Anwendungskontext herausgearbeiteten Events verarbeitet und eine ressourcenorientierte Durchlaufzeitberechnung anstößt. Damit wird die Agenten-, Ressourcen- und Ereignisorientierung auf die Steuerung von Umschlagzentren übertragen und somit der Logistik eine neuartige Methode zugänglich gemacht. Aus wissenschaftlicher Sicht wird durch die Methode ein neues Planungs- und Steuerungswerkzeug sowie eine nachhaltige und breite Anwendbarkeit geschaffen. Gleichzeitig soll die Steuerungsmethode potenziell eine Übertragbarkeit auf andere Logistiksysteme zulassen.

Die zunehmende Forderung nach einer transparenten Zustandserfassung des logistischen Systems zu jedem Zeitpunkt wird die zur Verfügung stehende Datenmenge in Zukunft durch Enabler-Technologien wie RFID oder GPS um ein Vielfaches steigern [HSD⁺14]. Für Logistikzentren in einem dynamischen Markt mit zeitkritischen Aufträgen resultiert nicht zuletzt daraus die Möglichkeit, die Planungszyklen der Logistik so zu verkürzen, dass die zeitliche und inhaltliche Ungenauigkeit zur Steuerung gemindert wird. Das Ergebnis einer Steuerung der Logistik als Ad-hoc-Reaktion auf Ereignisse liegt in der bedarfsorientierten, dynamischen Planung, damit der Logistiker als letzte Instanz zu einer schnellen Bewertung der Situation und zur Entscheidung über mögliche Handlungsalternativen befähigt wird, ohne dabei auf langwierige und zum Teil behäbige Simulationen zurückgreifen zu müssen.

Eine eventgestützte Reihenfolgeplanung von Sendungen begünstigt die zeitgerechte Abfertigung von Sendungen trotz auftretender Störungen im Materialfluss. Dabei ist ein beschleunigtes Handling von Sendungen grundsätzlich nur für einen Teil des Sendungspools möglich (Fokus: Engpassmanagement). Das Ziel einer automatischen Erkennung und Verarbeitung von Ereignissen aus dem Internet der Dinge ist die zeitgerechte Abfertigung möglichst vieler Sendungen (Einhalten des Service Levels) und somit die Verbesserung der innerbetrieblichen Prozesse. Weitere positive Aspekte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Frühzeitige visuelle Bereitstellung von verlässlichen, aktuellen Informationen über relevante Störungen und Ereignisse
- Unterstützung bei der kurzfristigen Ressourcenplanung und Identifizierung von Kapazitätsreserven (Adaption an veränderte Systemlasten)
- Entschärfung von Engpässen im Materialfluss und Glätten von Lastspitzen
- Kostenreduktion

Die Forschungsziele werden nachfolgend auf Basis der skizzierten Herausforderungen abgeleitet. Anschließend wird das sich daraus ergebende Validierungsziel dieser Arbeit formuliert:

Forschungsziel 1:

Aufbau eines systematischen Strukturmodells zur Topologieplanung und zur Ressourcenallokation als Grundlage für die Transparenz von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Ressourcen, Aufträgen und Events.

Die Berücksichtigung von Events bei der Planung und Steuerung erfordert eine Erweiterung der herkömmlichen Betrachtungsweise. Es müssen Ressourcen, Aufträge und Events klassifiziert und modelliert werden, um eine systematische Definition und Verknüpfung dieser Objekte zu erlangen (Event- und Logistikdaten). In der Literatur wird das bislang ungenutzte Potenzial bemängelt, da die Analyse von Events wertvolle Informationen für zukünftige Entscheidungssituationen liefern kann [Wil10]. Die Arbeit fußt dabei gerade hinsichtlich der Eventorientierung auf Erkenntnissen aus relevanten Forschungsprojekten, die in Kapitel 3.1 Seite 45 ff. aufgeführt sind.

Mit dem aufzubauenden Strukturmodell soll es ermöglicht werden, die Gestaltung der Topologie eines Logistikzentrums sowie die operative Planung und Allokation von Ressourcen durchzuführen und für die IT-Umsetzung transparent zu dokumentieren. Gleichzeitig bildet sie die Grundlage für das zweite Forschungsziel.

Forschungsziel 2:

Ableitung eines Verfahrens zum Lösen der Scheduling-Problematik im Rahmen der dynamischen Disposition zur Ad-hoc-Reaktion bei alarmierenden Ereignissen im Materialfluss und Konzeption des Entscheidungsunterstützungssystems EventPlan.

Eine Voraussetzung für den Aufbau von *EventPlan* ist die genaue Kenntnis über das logistische System, die Anforderungen und die zu erreichenden Ziele im Kontext des Anwendungsfelds. Daraus lassen sich Entscheidungskriterien und -regeln ableiten, welche die Grundlage für den Aufbau des Scheduling-Konzepts bilden. Wesentliche Bestandteile dieses Konzepts sind das Verfahren zur Abfertigungsstrategie für Aufträge und zur Allokation von Ressourcen. Das

Ergebnis mündet für jede Handling Unit und jeden Auftrag in einer ressourcenorientierten Durchlaufzeitberechnung, die auf ihre Kritizität hin überprüft wird.

Durch die Berücksichtigung von dynamischen Attributen im Rahmen des Strukturmodells (s. Forschungsziel 1) in Form von tatsächlich eintretenden Ereignissen kann die Zeitkritizität und Reihenfolgeplanung von Aufträgen zu jeder Zeit bedarfsorientiert untersucht werden. Damit einhergehend wird die Möglichkeit zur eventbasierten Analyse von Wechselwirkungen zwischen dem Einhalten des Service Levels in Abhängigkeit von der aktuellen Ressourcenleistung gegeben. Hiermit soll ein Beitrag geleistet werden, um dem in der Literatur angesprochenen Mangel an Konzepten und mathematischen Modellen zur Erfassung und zielorientierten Interpretation von Echtzeitinformationen sowie zur Ad-hoc-Reaktion entgegenzuwirken (vgl. [Grö09]; [Nyh08]; [Wil10]; [STB⁺07]).

Aufgrund der Lösungsproblematik bei der Ablaufplanung (vgl. [JP14]; [HS10]) wird hierbei auf in der Praxis bewährte Methoden zurückgegriffen und werden diese auf das Anwendungsfeld adaptiert. Für die Luftfrachtbranche wird dazu ein geeignetes Verfahren zum Lösen der Zeitablaufplanungsproblematik erarbeitet.

Forschungsziel 3:

Aufbau des Multiagentensystems EventPlan und des Ablaufplanungsverfahrens als Scheduling-Algorithmus zur Reaktion auf Events, um eine erweiterbare Lösung anbieten und unvorhergesehene Anwendungsfälle abdecken zu können.

In der Logistikforschung vollzieht sich aktuell ein Paradigmenwechsel von starren zentralen Systemen hin zu flexiblen hochreaktiven selbstorganisierenden Systemen [GH10]. Solche Systeme sind in der Lage, das logische Verhalten des realen Systems verständlich abzubilden und ermöglichen eine skalierbare adaptive und robuste Lösung (s. Kapitel 3.4 ab S. 53). Im Rahmen der Arbeit wird das unter Forschungsziel 2 aufgeführte Verfahren als agentenbasiertes Werkzeug zum Scheduling sowie zur ressourcenorientierten Durchlaufzeitberechnung prototypisch anhand eines Airportlogistikzentrums umgesetzt und das reaktive Verhalten der Agenten bei Störungen untersucht. Hierbei werden die physisch verteilt entstehenden Events verarbeitet und die Kommunikation zur Steuerung von Material- und Informationsfluss angestoßen. Gerade durch die Betrachtung eines kompletten Logistiknotens und dessen Schnittstellen können Aussagen über das Verhalten in einem interdependenten System getroffen werden. Die Analyse dieses Verfahrens soll zeigen, ob eine echtzeitnahe Verarbeitung von Events im Materialfluss für eine schnelle Planung einen Vorteil gegenüber einer in der heutigen Praxis typischen tagesbasierten oder schichtweisen Planung hat. Die Kommunikation der Agenten sowie die Steuerungsregeln müssen dabei anhand ihrer Praxistauglichkeit gemessen werden. Die formal korrekte Beschreibung des Verfahrens durch Werkzeuge der PASSI-Methodik ermöglicht eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Supply Chains und Logistikzentren mit ähnlich dynamischen Anforderungen.

Validierungsziel Anwendungsfeld:

Validierung der agenten-, ressourcen- und ereignisbasierten Steuerung am Beispiel eines durch Experten motivierten, realistischen Storyboards eines Luftfrachtlogistikzentrums.

Die Validierung der ressourcenorientierten Entscheidungsunterstützung benötigt ein praktisches Anwendungsfeld mit hohem ökonomischen Interesse und entsprechender Komplexität. Dieses Forschungsfeld mit einem realen logistischen System wird durch das Forschungsprojekt ADiWa bereitgestellt (siehe Abschnitt 3.1 ab Seite 45).

Die Luftfracht hat sich in den vergangenen Jahren zu einem regelmäßigen Frachtprodukt entwickelt und nimmt national wie international einen hohen Stellenwert ein ([Fry13], S. 217). In der Regel weisen Güter, die per Luftfracht versendet werden, entweder eine hohe zeitliche Kritizität oder/und eine hohe Wertigkeit auf. Der Bedarf an Sicherheit und Transparenz wird in der Luftfrachtkette immer wichtiger [IAT17d]. Gleichzeitig sind viele existierende IT-Systeme veraltet ([Fry13], S. 248). Die operative physische Abwicklung im Luftfrachtbereich ist stark vom Erfahrungswissen geprägt. Engpässe und Störfälle werden daher oftmals zu spät erkannt [HHB⁺12].

Die Erforschung einer dezentralen, agentenbasierten Steuerung ist zwar seit der Jahrtausendwende stark vorangeschritten, bedarf jedoch gerade für Logistiksysteme mit wertschöpfenden Funktionen und einer hochreaktiven Eventsteuerung weiterer Forschung hinsichtlich des Praxisnutzens. Hierzu soll das Multiagentensystem prototypisch realisiert und anhand von angereicherten Realdaten validiert werden. Die Relevanz dieses Ansatzes wird durch die hohe Datenflut in Zukunft weiter steigen. So ist anzunehmen, dass die in ein System eingehenden Daten bei steigender Komplexität sowie bei den aktuellen Arbeitsmarktentwicklungen nicht mehr handhabbar sein werden und mögliche individuelle Verbesserungen ihre Wirkung verfehlen. Daher stellt das Konzept der Eventverarbeitung und Einflussanalyse einen Ansatz dar, um Events intelligent zu verdichten, sodass relevante, höherwertige Informationen (z. B. die Gefahr eines Engpasses) generiert werden, die erkannt und durch Selbstheilung, also durch autonome Entscheidungen, behoben werden können.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den avisierten Forschungszielen. Das methodische Vorgehen der Arbeit richtet sich dabei an dem anwendungsorientierten Forschungsprozess nach Ulrich aus (vgl. [Ulr81]). Demzufolge werden Problemstellungen, die in der Praxis bestehen, so bearbeitet, dass die Wissenschaft in Verbindung mit der Praxis eine Lösung erforscht. Der detaillierte Aufbau des anwendungsorientierten Forschungsvorhabens nach Ulrich ist in Abb. 1.1 dargestellt. In der Abbildung sind die wesentlichen Kerninhalte der einzelnen Arbeitspakete bzw. Kapitel dieser Arbeit aufgeführt. Nachfolgend werden diese ausführlich beschrieben.

Kapitel 1 beinhaltet die Motivation, die Zielsetzung und den Aufbau der Arbeit. Zentrale Aspekte bilden die Herausforderungen sowie die Forschungsziele der Arbeit. Hierbei wird die Relevanz verdeutlicht, dass ein Problem der Praxis wissenschaftlich analysiert werden muss.

Kapitel 2 vermittelt die theoretischen Grundlagen der Arbeit. Dazu werden zunächst die Supply Chain, ihre Ressourcen sowie die Bedeutung der Events beschrieben, um den Hintergrund der Arbeit zu erläutern und in das hier spezifizierte Thema der Ereignisorientierung einzuführen. Im Anschluss wird das Thema Modelle und Methoden zur Steuerung von Umschlag-

zentren aufgegriffen. Insbesondere werden relevante Verfahren zur Lösung von (reaktiven) Scheduling-Problemen skizziert sowie wichtige Aspekte zu Multiagentensystemen vorgestellt.

Kapitel 3 befasst sich mit dem Stand der Forschung und gibt dem Leser die Möglichkeit, sowohl die Arbeit in den inhaltlichen Kontext einzuordnen als auch den Stand der Erkenntnisse zu rekapitulieren. Weiterhin werden der Lösungsansatz, das Anwendungsfeld der Luftfrachtlogistik sowie die Forschungslücke begründet.

Kapitel 4 bildet die Basis der ressourcen- und eventorientierten Anforderungserhebung an das System *EventPlan*. Hierbei werden auf Basis wissenschaftlicher Grundlagen die Klassifikation von logistischen Objekten sowie ein Eventmodell aufgebaut. Im letzten Abschnitt wird ein Strukturmodell zur Topologieplanung und zur ereignisbasierten Ressourcenallokation entwickelt, um den Systemaufbau und -ablauf von *EventPlan* methodisch zu unterstützen. Durch die objektorientierte Darstellung des Modells soll sowohl das Verständnis des Lesers gestärkt als auch eine klare Abgrenzung der Thematik aufgezeigt werden. Hierbei wird vor allem darauf eingegangen, wie Ressourcen geplant sowie Aufträge und Events verarbeitet werden und als Input für das Entscheidungsunterstützungssystem zur Verfügung stehen. Das Ziel von Kapitel 4 ist es, das erste Forschungsziel zu erreichen.

Kapitel 5 fokussiert die domänenspezifischen Anforderungen an *EventPlan* und vervollständigt das Konzept des ressourcenorientierten Entscheidungsunterstützungssystems. In den ersten beiden Abschnitten wird in das Thema eingeführt sowie das Vorhaben von Cargo iQ näher gebracht. Im dritten Abschnitt steht die grundsätzliche Beschreibung des logistischen Systems und der Topologie im Vordergrund. Im letzten Abschnitt wird ein Verfahren zur Lösung des Scheduling-Problems abgeleitet. Hierzu werden zunächst die spezifischen Entscheidungskriterien an das Verfahren herausgearbeitet. Im Anschluss werden die im methodischen Grundlagenabschnitt 2.3 vorgestellten Verfahren auf Basis der Kriterien verglichen und bewertet. Die Verfahrensauswahl mündet in der Modifikation des Verfahrens und dem Konzept von *EventPlan*. Das Ziel von Kapitel 5 ist es, das zweite Forschungsziel zu erreichen.

Kapitel 6 beinhaltet den Aufbau des Multiagentensystems *EventPlan* zur Reaktion auf Events. Die inhaltliche Basis dafür liefern vor allem der vorherige Abschnitt 5.4 sowie das Struktur- und Eventmodell aus Kapitel 4. Die methodengestützte Systementwicklung fußt auf ausgewählten Werkzeugen der PASSI-Methodik (siehe Unterabschnitt 2.3.5). Hierzu gehören neben den funktionalen Anforderungen der Aufbau des Agentensystems sowie die Kommunikation und das Verhalten der Agenten bei Eventeintritt. Dazu werden die wesentlichen Inhalte in Form einer Ablaufbeschreibung mithilfe der Modellierungssprache UML und eines mathematischen Algorithmus abgebildet. Im letzten Abschnitt wird die Arbeitsweise des Systems skizziert. Das Ziel von Kapitel 6 ist es, das dritte Forschungsziel zu erreichen.

Kapitel 7 überprüft durch die Validierung des Verfahrens zum reaktiven Verhalten des Multiagentensystems die praxistaugliche Eignung bezogen auf ihren Einsatzzweck. Das Ergebnis soll die Vorzüge einer eventorientierten dynamischen Disposition aufzeigen, die zu einer permanenten fortlaufenden Steuerungsunterstützung beiträgt. Der erste Abschnitt beginnt mit der Erklärung wichtiger Begrifflichkeiten. Im zweiten Abschnitt wird die Motivation für das Validierungskonzept über die Expertenbefragungen aus dem Forschungsprojekt ADiWa begründet. Auf Basis des in Abschnitt 6.3. vorgestellten Verfahrens zum Einsatz des Modells wird die Validierung aufgebaut und anhand von zwei realistischen Storyboards prototypisch getestet.

Die Validierung wird dabei durch die entwickelte Steuerungsmethode ganzheitlich geleitet. Das Kapitel schließt mit dem Nachweis der Validierung bzw. einem Zwischenfazit.

Kapitel 8 beinhaltet die Zusammenfassung der Ergebnisse, die Rekapitulation der entwickelten Methode, eine kritische Reflexion sowie einen Ausblick, in dem auf eine Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere Branchen und Systeme eingegangen wird.

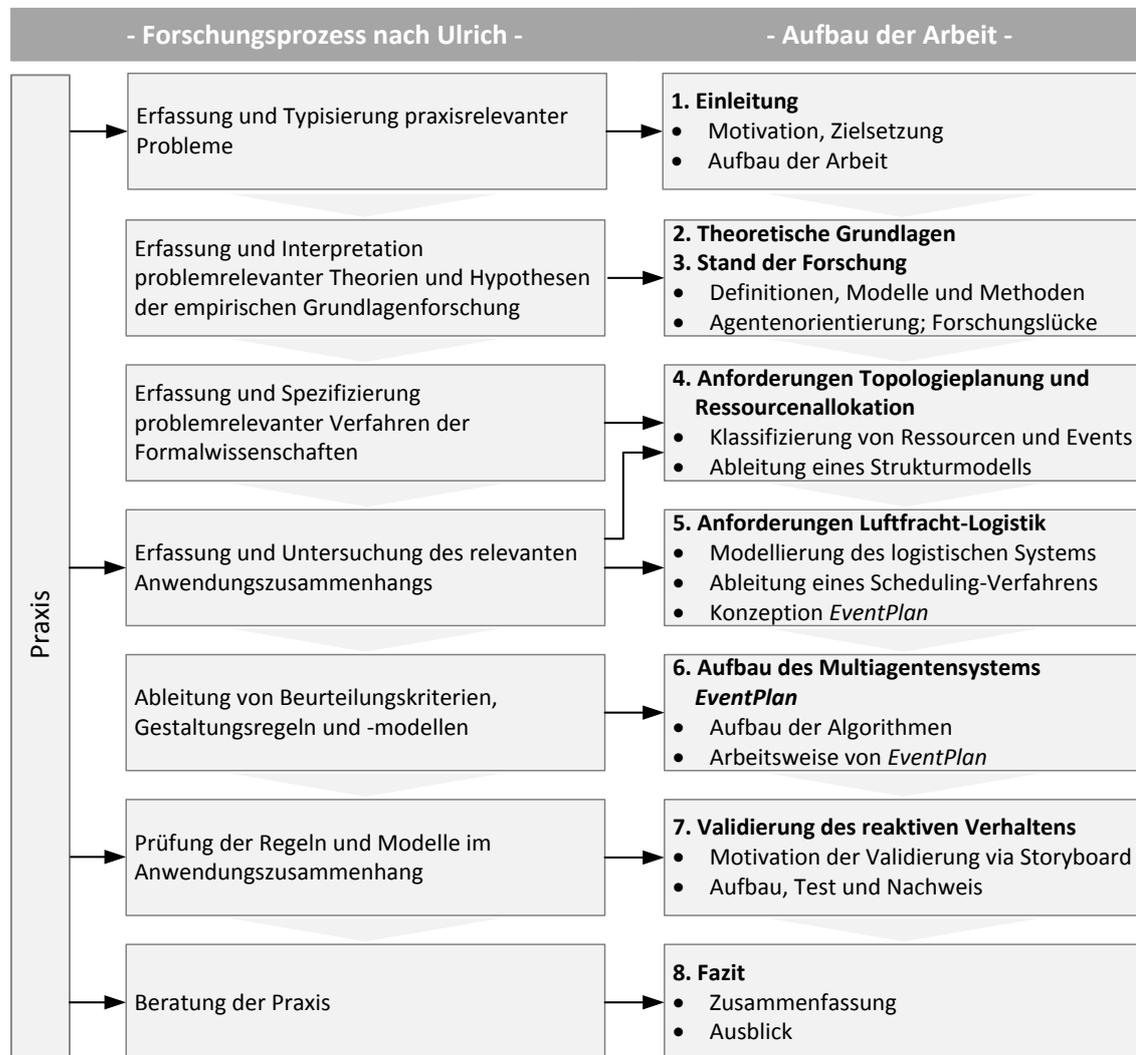


Abb. 1.1: Angewandter Forschungsprozess nach Ulrich (nach [Ulr81])