

1 Einleitung

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens wird zunehmend bestimmt durch die Qualität seiner Logistik [HN09, Wil09]. Die Innovationen in der Informations- und Kommunikationstechnologie (z. B. der Internethandel) haben zu einem Wandel der Anforderungen an die logistischen Prozesse und Systeme insbesondere in der Distribution geführt. Innerhalb intralogistischer Systeme bilden die Kommissioniersysteme den wirtschaftlich zentralen Bestandteil [HN08]. Es hat einen entscheidenden Einfluss auf die optimale Erfüllung einiger wesentlicher Kaufkriterien (vgl. [Ern11]) heutiger Kunden.

Der wirtschaftliche Betrieb eines Kommissioniersystems beginnt bereits mit der Grobplanung des Systems. Die Auswahl und Dimensionierung der optimalen Lagertechnik und deren Anordnung im Lager ist für den wirtschaftlichen Betrieb dieser Systeme von besonderer Bedeutung. Um diese Grobplanung effektiv und in kurzer Zeit durchführen zu können, ist die Entwicklung leistungsfähiger Planungsmodelle und -systeme erforderlich.

Die aktuell eingesetzten Planungsmodelle können den modernen Anforderungen hinsichtlich einer minimalen Planungsdauer bei einer hohen Ergebnisqualität nicht standhalten [AMW10]. Bedenkt man, dass die Nutzungsdauer eines Kommissioniersystems aufgrund der Dynamik der Märkte stetig sinkt und sich somit die Planungsintervalle weiter verkürzen, rückt die Verkürzung der Planungsdauer und damit die Senkung der Planungskosten in den Fokus [JT12].

Diese Verkürzung der Planungsdauer ist aufgrund der zunehmenden Komplexität logistischer Systeme und des sich stetig reduzierenden Zyklus technischer Innovationen nur durch eine Automatisierung des Planungsprozesses zu erreichen. Diese Arbeit dient der Entwicklung eines computergestützten Assistenzsystems, das den aktuell zeitaufwändigen Planungsprozess effektiv gestaltet und die Planung unter Berücksichtigung der „state of the art“-Technik ermöglicht.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Obwohl die Konzeptplanung von Kommissioniersystemen als eine der schwierigsten und aufwändigsten Aufgabenstellungen in der Logistik betrachtet wird [HSN07], ist sie auch heute noch ein manueller und stark individuell geprägter Prozess [GGU09]. Die fehlende Automatisierung (vgl. [JT12]) wird vor allem mit der Komplexität dieser Planungsaufgabe begründet.

Gegenstand des Prozesses zur Grobplanung ist die Auswahl der technischen Komponenten und deren Organisation zu einem optimalen Gesamtsystem [HSB11]. Das Ziel der Konzeptplanung ist, diejenige Variante eines Kommissioniersystems zu ermitteln, welche die gegebenen Anforderungen funktionell erfüllt und gleichzeitig unter Berücksichtigung der Ziele die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Die Komplexität dieser Aufgabenstellung ergibt sich aus der Variantenvielfalt der technischen und organisatorischen Kombinationen (vgl. [Töp95, Ven11]) und der dadurch begründeten Größe des Lösungsraums. Jede Technik und Organisationsform erfordert verschiedene Randbedingungen, erfüllt unterschiedliche Anforderungen und ist nur zum Teil mit den Realisierungen in anderen Funktionsbereichen kombinierbar. Die Auswahl der optimalen Realisierungsvariante wird durch eine Vielzahl von Planungsparametern und -informationen beeinflusst [HSB11]. Eine große Herausforderung ist die wechselseitige Abhängigkeit der Auswahl mit der Kombination der Realisierungsmöglichkeiten zu einem Gesamtsystem.

Für eine erfolgreiche Automatisierung dieser Planungsaufgabe sind nach Meinung der Autorin zwei wesentliche Erkenntnisse zu beachten. Zum einen handelt es sich bei dieser Problemstellung um eine Aufgabenstellung mit einem geringen Grad an Strukturiertheit (eng. ill-structured problem). Zum anderen ist sie als ein Verteiltes Problem anzusehen, welches durch Methoden des „Verteilten Problemlösens“ (eng. Distributed Problem Solving) gelöst werden sollte. Der in dieser Arbeit gewählte Lösungsansatz der Multiagentensysteme basiert auf diesen beiden Erkenntnissen, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Der Grad an Strukturiertheit einer Problemstellung ist ein Maß für die Anzahl und das Ausmaß von Strukturdefekten [Sch08]. Ein Strukturdefekt entsteht durch fehlende Informationen zur Beschreibung, Bewertung und Lösung der betrachteten Problemstellung. Die Ebenen der Strukturdefekte innerhalb der logistischen Planungsproblemstellungen sind in der Abbildung 1.1 dargestellt, wobei der Grad an Strukturiertheit von unten nach oben abnimmt. Die Konzeptplanung von Kommissioniersystemen ist wirkungsdefekt oder, sofern der Lösungsraum nicht vollständig bekannt ist, abgrenzungsdefekt. Dieser geringe Grad an Strukturiertheit schließt einige Lösungsansätze wie analytische Ansätze aus [Sch08].

Die Konzeptplanung von Kommissioniersystemen wird bisher als eine zentrale Problemstellung betrachtet, d. h. dass sie von einer zentralen Instanz (heute der Mensch) gelöst wird. Im Gegensatz dazu sollte die Konzeptplanung jedoch im Sinne des Distributed Problem Solving (kurz: DPS) als ein Verteiltes Problem definiert werden, bei dem das Fachwissen und die Lösungsmechanismen in lokalen Einheiten (Spezialisten) gekapselt sind. Das DSP ist einem Teilbereich der Verteilten Künstlichen Intelligenz (engl. Distributed Artificial Intelligence) zuzuordnen [Kir02]. In diesem Teilbereich wird erforscht, wie eine Vielzahl von lokalen Einheiten ihr Wissen, ihre Informationen und ihre Fähigkeiten kombinieren können, so dass eine Lösung entsteht, welche von einer einzigen Einheit alleine nicht,



Abb. 1.1: Die Strukturebenen von Entscheidungsproblemen (analog zu [Sch08], S. 40) oder nur mit minderer Qualität, hätte gelöst werden können [DR94, Dur99, LC83, JSW98].

Es wird davon ausgegangen, dass eine komplexe Aufgabenstellung durch lokale, miteinander kooperierende Einheiten mit speziellen, aber komplementären Fähigkeiten und Kenntnissen bearbeitet wird [Fer01]. Die lokalen Einheiten lösen einzelne Problemstellungen, die interdependent sind. Durch diese Sichtweise kann die Komplexität des Gesamtproblems auf weniger komplexe, interdependente Subproblemstellungen verteilt werden, was die Definition und Entwicklung dieser Subproblemstellungen stark vereinfacht (vgl. [Fer01]).

Die besondere Herausforderung beim DPS ist, die Aufgabenstellung so aufzuteilen und zu verteilen, dass sich die verteilten Fertigkeiten in ihrer Lösungsfähigkeit optimal und möglichst überschneidungsfrei ergänzen [Fer01]. Ansonsten können effektive Lösungen nicht effizient bestimmt werden (vgl. [Dur99]).

Die Konzeptplanung für ein Kommissioniersystem wird in dieser Arbeit als die kollektive und kollaborative Planung von Technikspezialisten verstanden. Das gesamte Wissen ist auf die Technikspezialisten verteilt, die über Fachwissen für jeweils eine spezielle technische Realisierungsform wie ein Regalbediengerät, eine Palettenfördertechnik oder einen Sorter verfügen. In einem Planungssystem sollte diese Verteilung und lokale Verankerung des Wissens analog abgebildet werden können.

Beide genannten Erkenntnisse, der geringe Grad an Strukturiertheit und das DPS, begründen die Anwedung der Agentenkonzepte für die Automatisierung dieser Planungsaufgabe. Die entwickelten Methoden für das DPS basieren mehrheitlich auf dem Konzept der Agenten [RN10]. Ein Agent ist charakterisiert durch die Eigenschaften eines autonomen, intelligenten Verhaltens (Entscheiden und Planen) und die Kommunikation mit der Umwelt [LC08]. Das Konzept der Agenten im Sinne der Künstlichen Intelligenz wird nicht

ausschließlich als eine softwaretechnische Einheit gesehen, sondern als ein Paradigma für die Analyse und Entwicklung zukunftsfähiger, wandlungsfähiger und effizienter Modelle und Systeme [RN10].

Agentensysteme sind nach Parunak (1999) insbesondere für Problemstellungen mit einem geringen Grad an Strukturiertheit geeignet [DP99]. Sie bieten sich durch ihren dezentralen Ansatz unter anderem für umfangreiche und hoch komplexe Problemstellungen mit verteilten Informationen an [Jen01]. Der für die Planung erforderliche Informationsaustausch zwischen den Spezialisten wird durch die Kommunikation realisiert. Sie bildet ebenso die Wechselwirkungen, Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den technischen und organisatorischen Realisierungsmöglichkeiten effizient ab. Durch die Verteilung der aufwändigen und schwierigen Lösungsfindung auf lokale Einheiten kann in kürzerer Zeit ein Ergebnis von hoher Qualität erreicht werden [Fer01].

1.2 Motivation der Arbeit

Die Konzeptplanung von Kommissioniersystemen ist derzeit von einer langen Dauer, einem hohem Aufwand und subjektiven Entscheidungen geprägt. Eine Automatisierung dieser Aufgabenstellung wird eine planende Person dazu befähigen, in angemessener Zeit ein sehr gutes Planungsergebnis zu erreichen. Dadurch wird verhindert, dass der Lösungsraum aufgrund einer langen Planungsdauer frühzeitig durch subjektive Entscheidungen eingegrenzt werden muss.

Es ist ein naheliegender logischer Schluss, ein computergestütztes Planungssystem zu entwickeln, das die entsprechenden Kommissioniersystemvarianten generiert, die Wirtschaftlichkeit berechnet und dem Anwender seine Lösungen nach einem definierten Kriterium sortiert. Ein Computer ist prädestiniert für die Berechnung einer sehr hohen Anzahl von Kombinationen und damit aufgrund seiner deutlich höheren Rechenkapazität in der Lage, alle Varianten an Kommissioniersystemen zu berechnen (unabhängig davon, ob es 100.000 oder eine Million Varianten sind), und zwar deutlich schneller als der Mensch.

Durch das hier entwickelte Planungssystem soll diese aufwändige Aufgabenstellung zukünftig erleichtert und beschleunigt werden. Ebenso liegt die Motivation in der Erreichung einer deutlichen Qualitätssteigerung. Die Planungsergebnisse werden reproduzierbar und objektiv vergleichbar, da die Ergebnisse auf der Wirtschaftlichkeit der Lösung beruhen. Eine nachträgliche Selektion anhand von qualitativen Zielkriterien ist dennoch möglich.

Die Entwicklung dieses Planungsassistenzsystems – Agent-PlanKom genannt – soll nicht singulär stattfinden, sondern unter Berücksichtigung der derzeitigen großen Entwicklungsströme in der Logistik. „Die Wirtschaft steht an der Schwelle zur vierten industriellen

Revolution“ [BMB13]. Das Internet hat das Zusammenwachsen der virtuellen und der realen Welt nicht nur in der Produktion und der Logistik, sondern vor allem auch im sozialen Leben initialisiert. Diese Verschmelzung der virtuellen und der realen Welt wird mit der vierten industriellen Revolution verstärkt und beschleunigt [KWH12, Jün13]. Es werden Paradigmen wie die Stärkung und Weiterentwicklung der Intelligenz von Dingen und Computersystemen vorangetrieben (vgl. [KS11]). Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein Lösungsansatz gewählt, der mit dieser weitreichenden Entwicklung konform geht.

Im Bereich der Logistik liegt der Fokus aktuell auf der Erforschung von Steuerungsprinzipien, die diesem Paradigmenwechsel entsprechen (vgl. Abschnitt 2.3.4). Die Verbreitung der vierten industriellen Revolution und deren Nutzen werden sich jedoch nicht auf die Steuerung von Systemen beschränken, sondern sie wird sich ebenfalls auf die gestalterische Planung von Logistiksystemen übertragen. Mit dieser Arbeit sollen durch die Entwicklung des grundlegenden Konzeptes zur ressourcenbasierten Planung, durch die eingesetzten Methoden und Theorien und durch die Ausrichtung des Planungsassistenzsystems die ersten Schritte in die Richtung dieser Vision gegangen werden.

1.3 Zielsetzung und Betrachtungsgegenstand

Das Ziel dieser Dissertation ist, die Dauer für die Konzeptplanung von Kommissioniersystemen deutlich zu reduzieren und die Qualität der Planungsergebnisse zu steigern. Dies erfolgt durch die Entwicklung eines agentenbasierten Planungsmodells für die Auswahl der technischen Komponenten bei der Konzeptplanung eines neuen Kommissioniersystems. Im Vordergrund steht die Konzeption des innovativen Planungsansatzes: dezentrale Planung intelligenter, autonomer, miteinander kommunizierender und zusammenarbeitender Agenten. Es soll das Fundament für die Implementierung computergestützter Planungssysteme als Assistenzsysteme mit Schnittstelle zum Menschen gelegt werden. Mit dieser Arbeit wird das Agentenkonzept auf die gestalterische logistische Planung übertragen, um u. a. die Integration von operativer Steuerung und gestalterischer Planung voranzutreiben [EH12, EH13].

Diese Arbeit soll zum wissenschaftlichen Fortschritt beitragen, ohne den Bezug zu zukünftigen wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten aus den Augen zu verlieren. Aus wissenschaftlicher Perspektive führt die Erforschung der beschriebenen Konzeption zu einer deutlichen Steigerung der Ergebnisqualität. Zum einen basiert die Auswahl des optimalen Konzeptes auf dem Vergleich der Gesamtsysteme. Zum anderen werden die Auswahl und die Dimensionierung der technischen Komponenten nicht länger getrennt voneinander betrachtet, sondern interdependent berücksichtigt.

Die Integration des agentenorientierten Leitgedankens legt den Grundstein für die Anpassungsfähigkeit und die Erweiterbarkeit der Planungsmodelle. Es ist bereits zurzeit zu beobachten, dass die Komplexität und der Umfang von Software- und Assistenzsystemen stetig zunimmt. Die Anpassungsfähigkeit und Erweiterbarkeit werden zu wesentlichen Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit und der Qualität solcher Systeme. Zukünftige Innovation, wie die Detaillierung von technischen Komponenten oder von Berechnungsverfahren, können mit diesem Ansatz mit geringem Aufwand in Agent-PlanKom integriert werden. Damit ist die Nachhaltigkeit dieses Planungsassistenzsystems auch bei weiterhin steigender Komplexität gewährleistet.

Agent-PlanKom bietet auf der anderen Seite das Potenzial, durch eine zukünftige Weiterentwicklung zur Marktreife die Planungsdauer für die Konzeptentwicklung zu senken. Der Anwender wird durch das Planungssystem konkrete Konzeptvorschläge für seinen individuellen Anwendungsfall erhalten. Durch diese Unterstützung wird die Konzeptplanung einem größeren Personenkreis zugänglich, wodurch vor allem mittelständische Unternehmen profitieren können, die nicht über die notwendigen Mittel für eine umfassende Beratung verfügen.

1.4 Vorgehensweise und Aufbau

Bei der Entwicklung von Agent-PlanKom werden softwaretechnische Entwicklungsmethoden eingesetzt, um eine Verwertung der Ergebnisse sicherzustellen. Der Aufbau der Arbeit orientiert sich in den konzeptionellen Kapiteln 4 bis 5 an diesen Methoden der Softwareentwicklung. Der Inhalt der nachfolgenden Kapitel gestaltet sich wie folgt:

Kapitel 2

Die Grundlagen bezüglich Kommissioniersysteme und deren Konzeptplanung werden erläutert. Es erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit dem Stand der Forschung hinsichtlich der Konzeptplanung von Kommissioniersystemen. Daraus wird die Auswahl des Lösungsansatzes – Agentensystem – begründet und die Forschungslücke wird dargestellt.

Kapitel 3

Die grundlegenden Konzepte der Agentenorientierung werden vorgestellt. Es wird sowohl der einzelne Agent definiert und erläutert als auch das Zusammenwirken mehrerer Agenten in einem Agentensystem. Die unterschiedlichen Methoden der agentenorientierten Softwareentwicklung werden vergleichend beschrieben.

Kapitel 4

Die allgemeinen, logistischen und die sich aus der Agentenorientierung ergebenden Anforderungen an das Planungssystem werden erläutert. Letztere sind abgeleitet aus der

Analogie zwischen der systemtheoretischen und agentenorientierten Betrachtung von Systemen und führen zu einer allgemeingültigen Beschreibung von Kommissioniersystemen.

Kapitel 5

Gegenstand dieses Kapitels ist die Entwicklung von Agent-PlanKom unter Berücksichtigung der agentenorientierten Konzepte und der agentenorientierten Softwareentwicklung mit der PASSI-Methode.

Kapitel 6

In diesem Kapitel wird die Implementierung von Agent-PlanKom erläutert. Die Auswahl der Implementierungsplattform JADE wird begründet und die testgetriebene Entwicklung als Validierungsmethode wird vorgestellt. Die implementierten Ressourcen und Algorithmen werden dargestellt.

Kapitel 7

Die Validierung des Planungssystems wird anhand von drei Testfällen durchgeführt. Die Fragen „Was und wie wird validiert?“ und „Welches Ergebnis bringt die Validierung im Hinblick auf die Zielstellung dieser Arbeit?“ werden beantwortet.

Kapitel 8

Den Abschluss bildet nach einer kurzen Zusammenfassung ein Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungsschritte und die mögliche Verwertung der Forschungsergebnisse.