

Selbststeuerung als Ansatz in der Praxis manuell getriebener Logistik

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter, Geschäftsführender Institutsleiter, Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH (BIBA), Bremen, Wissenschaftlicher Beirat, BVL

Daniel Rippel, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, BIBA, Bremen

Steffen Sowade, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, BIBA, Bremen

Michael Teucke, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, BIBA, Bremen

1 Einleitung

Der Einsatz logistischer Systeme ist stets vor dem Hintergrund ökonomischer und gesamtgesellschaftlicher Entwicklungen und deren Auswirkungen auf die Logistik zu betrachten. Moderne, effiziente Logistikprozesse erfordern den Einsatz einer Vielzahl neuer Informations- und Kommunikationssysteme sowie neuartige Steuerungsansätze. Zwar wurden solche Ansätze bereits in weitgehend automatisierten logistischen Systemen eingeführt, in Bereichen der manuellen Fertigung und Transportlogistik besitzen sie jedoch nur eine geringe Bedeutung. Der Grund dafür liegt auf der Hand: neue Steuerungssysteme benötigen zahlreiche und gleichermaßen valide Informationen sowie die entsprechenden technischen Kapazitäten, diese zu verarbeiten. Einerseits ist dazu ein hoher Grad an Automatisierung in der Informationsverarbeitung notwendig. Andererseits ist der hohe Automatisierungsgrad auch an den einzelnen Maschinen und Transporteinheiten erforderlich. Gerade in Anwendungsszenarien mit einem hohen Anteil an manuellen Prozessschritten sind diese Fähigkeiten jedoch nur begrenzt verfügbar. Grenzen in der Informationsverarbeitung manueller Systeme verhindern konsistente Informationsflüsse als Basis für neuartige Steuerungssysteme.

Ein Beispiel für eine einerseits durch einen hohen Anteil manueller Arbeit geprägte und andererseits auf Entwicklungen im Konsumentenverhalten sensibel reagierende Branche stellt die Bekleidungsindustrie dar. Zur Senkung der Herstellungskosten wurde die Bekleidungsproduktion vielfach in Niedriglohnländer im asiatischen Raum ausgelagert. Die resultierende Verlängerung der Transportwege zwischen dem Ort der Herstellung und dem Ort des Kundenbedarfs sowie kulturelle Unterschiede führen zu neuen Schwierigkeiten bei der Bestandskontrolle in der

gesamten Beschaffungskette. Die Einführung neuer Steuerungskonzepte in der Bekleidungsindustrie erscheint somit gleichermaßen schwierig als auch lohnend.

Der vorliegende Beitrag widmet sich der Anwendung des Steuerungskonzepts der Selbststeuerung in der logistischen Praxis auf Basis einer Fallstudie eines deutschen Unternehmens der Bekleidungsindustrie. Ziel des Artikels ist es, Möglichkeiten zur Anwendung von Selbststeuerung innerhalb der logistischen Prozesskette eines Unternehmens in einem für die Implementierung schwierigen Umfeld zu eruieren, nämlich sowohl in einer weitgehend manuell durchgeführten Fertigung als auch in einer durch unvollkommene Informationsflüsse gekennzeichneten Transportkette. Es wird nicht der Anspruch gestellt, einen umfassenden Überblick über die Logistikprozesse der Fallstudie zu bieten. Daher beschränkt sich der Artikel auf die Aspekte der Produktionslogistik und der Transportlogistik des Bekleidungs Herstellers, die für das Verständnis der selbststeuernden Anwendungen wesentlich sind.

Der Aufbau des Artikels folgt der umrissenen Zielstellung. Zunächst werden im zweiten Kapitel die Auswirkungen ökonomischer, ökologischer und sozialer Tendenzen und damit verbundener Trends für Steuerungssysteme der Logistik betrachtet. Das dritte Kapitel erläutert das Konzept der Selbststeuerung logistischer Prozesse. Es definiert den Begriff der Selbststeuerung und beschreibt wesentliche Charakteristika des Konzepts sowie grundlegende Architekturen selbststeuernder Systeme. Weiterhin werden ein Modellierungsansatz für den Systementwurf beschrieben und Auswirkungen von Selbststeuerung auf die logistische Zielerreichung angerissen. Im vierten Kapitel werden, nach einer Einführung in die Fallstudie vor dem Hintergrund der allgemeinen logistischen Problematik in der Bekleidungsindustrie, potentielle Anwendungen und hierfür erforderliche Technologien für die Implementierung selbststeuernder logistischer Prozesse in der Produktionslogistik und der Transportlogistik vorgestellt. Das fünfte Kapitel zieht ein Fazit der vorgestellten Problemstellungen und Lösungsansätze und gibt Anregungen für weiterführende Arbeiten.

2 Auswirkungen von Trends auf Steuerungsansätze der Logistik

Entwicklungen ökonomischer sowie ökologischer, sozialer und demografischer Natur beeinflussen die Produktion und die Logistik, und sind somit bei der Anwendung logistischer Steuerungskonzepte sowohl in der Produktionslogistik als auch in der Logistik der gesamten Wertschöpfungskette zu berücksichtigen.

2.1 Produktionslogistik

Dem Aachener Produktionsplanungs- und Steuerungsmodell (Aachener PPS-Modell) folgend werden unter dem Begriff Produktionslogistik Aufgaben der Eigenfertigungsplanung und -steuerung verstanden, die sich auf die innerbetriebliche Organisation der Leistungserstellung konzentrieren. Ihre Teilaufgaben lassen sich in die Domänen Auftrag und Ressourcen gliedern. Aufträge werden in der Fertigung terminiert, in optimale Losgrößen aufgeteilt und schließlich über die Freigabe in die Produktion eingelastet. In diesem Sinne muss eine Feinplanung, Reihenfolgeplanung und Verfügbarkeitsplanung der Ressourcen durchgeführt werden. Eine übergreifende Aufgabe stellt die Überwachung der Aufträge und Ressourcen im Produktionsverlauf dar [19].

Im Gegenzug zum Aachener PPS Modell verwendet Lödding nur die wesentlichsten Elemente zur Abbildung der Abhängigkeiten in der Fertigungssteuerung und deren Einfluss auf wichtige logistische Zielgrößen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung, die von der Regelgröße Bestand abhängig sind und über die Gestaltung der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung beeinflusst werden können. Die Termintreue hingegen ergibt sich einerseits aus der Gegenüberstellung von Planabgang und Ist-Abgang sowie zwischen der Ist- und Planreihenfolge der Fertigung. Sie kann über die Kapazitätssteuerung, die Reihenfolgebildung und die Auftragszerzeugung beeinflusst werden [18].

2.2 Supply Chain Management

Das Supply Chain Management (SCM) beinhaltet unternehmensübergreifenden Koordinations- und Integrationsaufgaben [18]. Dazu gehören Planung, Gestaltung, Steuerung und Optimierung der Zusammenarbeit der Supply Chain Teilnehmer. Angestrebt werden die Optimierung des Ergebnisses des Wertschöpfungsnetzwerkes und eine starke Wettbewerbsfähigkeit der Teilnehmer im Netzwerk. Die Produktionslogistik kann ebenso als Teil des SCM verstanden werden, da die eigene Leistungserstellung in die Supply Chain integriert wird [38]. Existierenden Ansätzen gemein sind die Ausrichtung am Endkunden und der Einbeziehung aller organisatorischen Einheiten des Wertschöpfungsnetzwerkes, vom Rohmateriallieferanten über nachfolgende Fertigungsstufen bis zum Endkunden. Unterschiede bestehen hinsichtlich des Einschlusses und der Detaillierung einzelner Aufgaben. So rücken Staberhofer und Rohrhofer nur Material- und zugehörige Informationsflüsse in den Blickpunkt, während Stadler und Kilger auch Finanzflüsse einbeziehen [38, 39].



2.3 Steuerungsansätze

Nach Lödning standardisieren Steuerungsverfahren Entscheidungen [18]. Unterschiede zwischen bestehenden Steuerungsverfahren bestehen in Art, Umfang und Ausgestaltung der eingeschlossenen Entscheidungen. Logistische Steuerungsverfahren können unter anderem die Produktionslogistik und das SCM umfassen. Sie sind auf die Erreichung logistischer Zielgrößen zugeschnitten und versuchen über Eingriffe in das logistische System die vorgegeben Regelgrößen für das System als ganzes oder auch nur für seine Komponenten, wie Aufgaben, Prozesse und Maschinen, zu erreichen. Steuerungsrelevante Fertigungsmerkmale sind Fertigungsprinzipien, Fertigungsarten, die Art des Teileflusses, die Variantenanzahl, die Materialflusskomplexität und Schwankungen von Kunden- und Kapazitätsbedarfen. In der betrieblichen Praxis zeigen sich vor allem folgende Schwächen eingesetzter Steuerungsverfahren: Mangelndes Potential an der Stelle im System, falscher Ansatzpunkt, mangelnde Eignung des Verfahrens, falsche Parametrisierung sowie fehlerhafte Umsetzung. Ob ein Verfahren eher zentral oder dezentral realisiert wird, ist eine Entscheidung über die passende Architektur während des Systementwurfs, die insbesondere bei großen und komplexen Systemen in Ermanglung schneller ganzheitlicher Optimierungsverfahren eher zu Gunsten dezentraler Strukturen ausfällt. Unter den oben genannten Fertigungsmerkmalen lassen sich auch Steuerungsverfahren für die manuell getriebene Logistik anwenden. Dabei müssen die Verfahren die Besonderheiten der manuellen Prozessschritte ebenso beachten wie auf sie einwirkende externe Entwicklungen und gesamtgesellschaftliche Trends.

Changeable Manufacturing [8] und Selbststeuerung [14] sind aktuelle Paradigmen in Produktion und Logistik. Während das erste Paradigma auf die Anpassbarkeit von Produkten, Prozessen, Betriebsanlagen und Organisationen abzielt, fokussiert sich Selbststeuerung stark auf Prozesse. Dabei soll die Robustheit der Prozesse erhöht und ihre Komplexität gesenkt werden, indem die Systemflexibilität erhöht wird. Um dies zu erreichen werden Entscheidungsbefugnisse von zentralen Stellen abgegeben und werden an lokale, dezentrale Einheiten delegiert.

2.4 Trends und ihre Implikationen auf logistische Steuerungssysteme

Die Gestalt der von Unternehmen eingesetzten Wertschöpfungsprozesse und ihrer logistischen Steuerungsansätze hängt von verschiedenen gesellschaftlichen, politischen oder technologischen Rahmenbedingungen ab. Da sich diese Bedingungen fortlaufend ändern, müssen sich die Unternehmen anpassen. Ist eine grundlegen-

de Entwicklungsrichtung der Bedingungen erkennbar, wird von einem Trend der Rahmenbedingungen gesprochen.

Zur Ermittlung von Trends werden einzelne Parameter oder Sachverhalte im Zeitverlauf beobachtet. Im Anschluss wird beurteilt, ob diese Zeitreihe eine Entwicklungsrichtung besitzt und welche Stärke diese aufweist. In einem dritten Schritt werden mögliche Ursachen des Trends identifiziert und überprüft sowie eine Trendprognose für die Zukunft abgegeben. Eine Trendfortsetzung ist umso sicherer je mehr trendstützende Ursachen fortbestehen werden und je weniger trendbrechende Entwicklungen antizipiert werden [10]. Hierbei besteht die Gefahr, dass Wirkzusammenhänge nicht erschlossen und Scheinzusammenhänge betrachtet werden. Zur Prognose über zukünftige Entwicklungen sind Trends daher nur bedingt geeignet und kritisch zu hinterfragen [24]. Dennoch liefert die Analyse von Trends und ihrer Einflussfaktoren Aussagen über die Zweckmäßigkeit der Unternehmensstrategie und der verwendeten Steuerungsansätze unter den Einflussfaktoren.

Stärke bzw. Umfang von Trends können zeitlich, räumlich und sachlich variieren. Trends werden als *Megatrends* bezeichnet, wenn sie auf weite Teile des gesellschaftlichen Lebens einwirken und dieses langfristig, global und tiefgreifend prägen und verändern. Megatrends lassen sich über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten beobachten [43]. Die Interpretation und Konstatierung eines Megatrends hängt wiederum stark von der Sichtweise des Betrachters ab.

Megatrends werden zum einen von der wissenschaftlichen Forschung identifiziert [4], zum anderen haben Unternehmen ein Interesse an Trendprognosen und den Ursachen der Trends, um Risiken und Chancen zu erkennen und ihr Geschäftsmodell darauf einstellen zu können [26, 12, 1]. Aus ähnlichen Gründen nimmt auch die Politik Megatrends auf und versucht einzelne Rahmenbedingungen zu beeinflussen [5, 2]. Nachfolgend werden ausgewählte Megatrends und ihre Bedeutung für Steuerungsansätze vorgestellt. Die Aussagen basieren auf einer nicht repräsentativen qualitativen Umfrage national und international operierender Anbieter von Steuerungssystemen. Hierzu wurden jeweils zwei größere, mittlere und kleinere Anbieter, gemessen an der Mitarbeiterzahl, sowie zwei Spin-offs aus der Forschung befragt. Die Produktportfolios reichen von Machine Execution Systems bis hin zu komplexen Supply Chain Management Lösungen.



2.4.1 Globalisierung: Verflechtungen – Mobilität – Risiko von Instabilitäten

Der Trend der *Globalisierung* bezeichnet die zunehmende internationale Verflechtung von Gesellschaft, Politik und Ökonomie sowie ihrer untergeordneten Bereiche z. B. der Logistik. Für westliche Unternehmen ergeben sich einerseits neue Absatz- und Beschaffungsmärkte, andererseits drängen Unternehmen aus sich entwickelnden Ländern zunehmend in Richtung Westen [26].

Die Globalisierung wird von einem Trend zu steigender *Mobilität* zwischen einander fernen Regionen begleitet. Berufliche und private Räume sind hiervon gleichermaßen betroffen. Mit fortlaufender Globalisierung werden auch zukünftig höhere Mobilitätsaufwendungen verbunden sein [43].

Die wachsende internationale Verflechtung birgt auch das *Risiko von Instabilitäten*, die lokal entstehen und sich global auswirken. In der Finanzwirtschaft sind diese Effekte schneller zu beobachten, als beispielsweise Veränderungen der Umweltbedingungen. Verteilungskonflikte oder Terroranschläge sind Gefahren für die nationale Stabilität und können zum Zusammenbrechen von Märkten und dort befindlichen Logistikzentren führen [41].

Der Trendcluster Globalisierung wurde von den befragten Unternehmen als sehr wichtig eingeschätzt. Von besonderer Bedeutung ist die Schaffung standardisierter Schnittstellen zwischen den verschiedenen Steuerungssystemen und den global verteilten Unternehmen. Die Schnittstellen sollen sowohl den Austausch einfacher Daten als auch den Handel mit komplexen Diensten erlauben, um so eine umfassende Kooperation in der globalisierten Welt zu ermöglichen. Die zunehmende Verflechtung verlange zudem hochgradig skalierbare sowie dezentrale Lösungen. Die Kombination von Mobilität und Vernetzung wird als ein wichtiger Aspekt beschrieben. Dazu gehören die Unterstützung mobiler Anwendungen und Computersysteme die Mitarbeiter im Außendienst vollständig in die Unternehmensprozesse integrieren. Die Bedienbarkeit der eingesetzten Lösungen wird hierbei als wichtigster Teilaspekt für deren Erfolg angesehen. Den Gefahren der umfassenden Vernetzung könnte durch dezentrale Systemdesigns begegnet werden. Unschärfe Entscheidungs-systeme bewahren Handlungsfähigkeit auch in Extremsituationen, automatische Rekonfiguration trägt zur aktiven Absicherung gegen Ausfälle bei und dezentral operierende Einheiten können Daten zur Bewertung von Instabilitäten sammeln. Fragen zu Datensicherheit und Datenschutz sind für die neuen Lösungen kritisch.

2.4.2 Wissen: Gesellschaft – Technologiedurchdringung und -konvergenz – Dynamik

Das stete weltweite Wachstum der Forschungsaufwendungen und die breite Durchdringung der Gesellschaften mit Wissen führen zu einem Anstieg der Innovationsgeschwindigkeit und zur Herausbildung *wissensgetriebener Gesellschaften*, in denen Wissen die entscheidende Schlüsselrolle für gesellschaftlichen Fortschritt darstellt. Gleichzeitig schränkt dieses Wissenswachstum den Nutzen alten Wissens ein, d. h. die Halbwertszeit von Wissen sinkt [2].

Wissenschaftlicher Fortschritt ermöglicht neuen Technologien alle Lebenswelten zu durchdringen. Insbesondere die digitale Vernetzung, die weltweite Verfügbarkeit neuer Technologien, sowie die *Konvergenz verschiedener Technologien* beschleunigen die *Technologiedurchdringung* [7]. Wichtige Basistechnologien sind Bio-, Nano-, Optik- und Umwelttechnologien.

Schnell wechselnde Kundenanforderungen und -trends auf der einen und Unternehmen, welche auf die Wettbewerbsmaxime des Innovationsvorsprungs ausgerichtet sind, auf der anderen Seite führen in Kombination mit steigendem Wettbewerb zu immer kürzeren Produktlebenszyklen. Die steigende Anzahl verfügbarer Technologien und durch Technologiekonvergenz mögliche Systeminnovationen, z. B. Mobiltelefone, treiben die *Dynamisierung der Produktlebenszyklen* weiter voran [4].

Die Anbieter sind der Überzeugung, dass die Nutzerkompetenzen der Wissensgesellschaft weiter wachsen und die zukünftig derart vorgebildeten Nutzer die Anwendung neuer, abstrakterer Steuerungsverfahren und Technologien erlauben. Hier wurden u. a. die weitere Durchdringung mit Netzwerktechnologien (Radio Frequency Identification - RFID) und methodische Ansätze zur adaptiven und robusten Planung genannt. Stichworte sind hier beispielsweise höher entwickelte Optimierungsalgorithmen, die verstärkte Anwendung von Regelungstechnik, Serienfertigung mit Fuzzy Logic Sequencing, „Multisite- und Mehrwegesteuerung“, mitlaufende Datenerfassung zur Minimierung von Informationsverlusten und papierlose operative Steuerungssysteme mit praxistauglichen Ein- und Ausgabegeräten. Die Technologien sollen sowohl zur Bewältigung wachsender Dynamik und Variantenvielfalt geeignet sein als auch hochgradig skalierbar sein.

2.4.3 Altersstruktur: Demografischer Wandel in den Industrienationen

Die abnehmende Geburtenrate in den westlichen Industrienationen führt zur Überalterung dieser Gesellschaften. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts unterschreiten ihre



Geburtenraten die Sterberaten. Der *demografische Wandel* kann durch Migration nicht kompensiert werden. Die neue Alterstruktur wird sowohl die Nachfrage nach Gütern als auch Angebote an Humankapital nachhaltig prägen. Angebote altersgerechter Produkte und Arbeitsplätze werden wichtiger [40].

Dies Art der eigenen Betroffenheit und Auswirkungen dieses Trends sind bisher von den Unternehmen kaum reflektiert worden. Vereinzelt wurden eine intuitive Benutzeroberfläche, ergonomische Geräte und geringe Komplexität der Bedienung angeführt, die auf die eigentlichen Steuerungsansätze jedoch wenig Einfluss haben.

2.4.4 Umwelt: Verknappung von Ressourcen – Klimawandel

Die weltweit steigende wirtschaftliche Aktivität bedarf immer mehr Ressourcen. Da die Quellen für Rohstoffe begrenzt sind, führt dies zu einer *Verknappung von Rohstoffen*. Hiervon sind nachwachsende und nicht nachwachsende Rohstoffe gleichermaßen betroffen, denn letztere hängen von der Verfügbarkeit geeigneter Flächen zum Anbau ab. Energieträger sind ebenfalls in die Betrachtungen einzuschließen. Ökonomisch führt Verknappung zu Preisanstiegen [5].

Der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur durch einen vom Menschen verursachten Anstieg der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre wird als Klimawandel bezeichnet. Direkte Folgen des Temperaturanstieges sind unter anderem das Abschmelzen der Gletscher in den Gebirgen und Polen, die Desertifikation bisher urbarer Gebiete, als auch eine Zunahme extremer Wetterphänomene [5].

Alle Befragten Unternehmen gaben an vom Trendcluster Umwelt betroffen zu sein, waren sich aber hinsichtlich ihrer Reaktionsmöglichkeiten und der genauen Auswirkungen auf ihre Planungs- und Steuerungssysteme unsicher.

3 Selbststeuerung als Lösungsansatz

Die aktuelle Situation in der Logistik sowie ihre erwartete Entwicklung deuten an, dass klassische Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) den zukünftigen Anforderungen nicht vollständig gerecht werden. Die logistischen Zielgrößen Auslastung, Verfügbarkeit, Produktivität und Termintreue sowie Lagerbestände, Prozesskosten und Durchlaufzeiten [42, 36, 27] werden immer mehr von Anforderungen an erhöhte Flexibilität, Anpassbarkeit an verschiedene Losgrößen und Produktvarianten sowie einer Reduktion von Rüstzeiten begleitet [36, 42, 19].

Selbststeuerung ermöglicht auf viele der genannten Trends zu reagieren. Die dezentrale Verteilung von Wissen, Aufgaben und Entscheidungskompetenz erhöht die Skalierbarkeit und Flexibilität der Systeme, was sowohl eine schnelle Reaktion auf unerwartete Situationen, als auch eine leichtere und präzisere Anpassung von Prozessen an sich ändernde Situationen erlaubt. Ein weiterer Vorteil besteht in der Reduktion der Komplexität des Systems durch seine Zerlegung in dezentrale autonome Einheiten, die nur eine begrenzte Menge an Informationen und Fähigkeiten besitzen. Im Zuge des Trends der Technologiedurchdringung verbessert sich die Verfügbarkeit notwendiger Schlüsseltechnologien, z. B. RFID-Tags, die eine großflächige und kostengünstige Einführung von immer fähiger werdenden selbststeuernden Systemen ermöglichen.

3.1 Der Begriff „Selbststeuerung“

Der Ursprung des Begriffes „Selbststeuerung“ liegt in unterschiedlichen Forschungsfeldern. Arbeiten aus der Physik und der Biologie bilden die Basis zu den Themen Autonomie und Selbstorganisation und erlauben die Übertragung ihrer Methoden in andere Forschungsfelder. Die Informatik übertrug Konzepte in die Künstliche Intelligenz, die Ingenieurwissenschaft Ansätze in die Regelungstechnik [30].

Der Sonderforschungsbereich 637 definiert Selbststeuerung als: „Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen. Sie setzt voraus, dass interagierende Elemente in nicht-vorhersagbaren Systemen die Fähigkeit und Möglichkeit zum autonomen Treffen von Entscheidungen besitzen.“ [14]. Der Systemtheorie folgend werden Kompetenzen von der Systemebene auf die einzelnen Systemelemente übertragen. Eine grundlegende Annahme der Selbststeuerung ist, dass eine Optimierung der Entscheidungen und Aktionen der einzelnen logistischen Objekte zu einer positiven Emergenz für das gesamte System führt, worunter eine verbesserte Zielerreichung des logistischen Systems durch das Zusammenspiel der einzelnen Systemelemente verstanden wird. Allerdings können weder eine Emergenz noch ein bestimmtes, globales Systemverhalten garantiert werden [27], auch wenn verschiedene Simulationsstudien die positiven Effekte von Selbststeuerung aufzeigen (vgl. Kapitel 3.5).



3.2 Charakteristika von Selbststeuerung

Zur Erfüllung der Aufgaben der PPS und des SCM müssen selbststeuernde Systemelemente bestimmte Fähigkeiten und Eigenschaften aufweisen. Entsprechend der Definition von Selbststeuerung müssen sie in der Lage sein, Entscheidungen zu treffen und umzusetzen. Elemente mit diesen Fähigkeiten werden als intelligente logistische Objekte bezeichnet. Neben den logistischen Objekten muss für die Anwendung von Selbststeuerung ein geeignetes Szenario existieren. Das wichtigste Kriterium für ein geeignetes Szenario ist die Existenz von Entscheidungspunkten. Als Entscheidungspunkte gelten Situationen, in denen logistische Objekte durch Auswahl einer von mehreren möglichen Alternativen eine Entscheidung treffen können, die auf ihrem lokalen Zielsystem beruht. Hierzu muss jedes logistische Objekt das notwendige Wissen über seine Umgebung sowie über allgemeine Methoden und Zusammenhänge besitzen, um eine für sich gute Entscheidung treffen zu können. Dieses Wissen kann entweder von einem Systemdesigner vorgegeben werden oder von den Objekten mithilfe von Sensoren erworben und unter Zuhilfenahme von Lernstrategien nutzbar gemacht werden.

3.3 Architektur

In logistischen Anwendungen kann Selbststeuerung auf unterschiedliche Art und Weise realisiert werden. Die einzelnen Möglichkeiten unterscheiden sich im Grad der Selbststeuerung und im Grad der Dezentralisierung. Je höher beide ausgeprägt sind, desto ausgeprägter ist Selbststeuerung in den einzelnen Systemelementen umgesetzt. Des Weiteren steigt mit beiden auch der Grad der technologischen Komplexität des Systems. Abbildung 1 verdeutlicht den Zusammenhang und stellt einem klassischen PPS-System drei beispielhafte Architekturen der Selbststeuerung gegenüber, die nachfolgend erläutert werden.

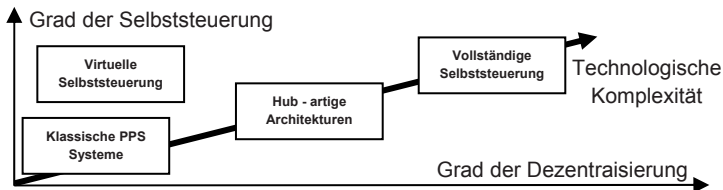


Abbildung 1: Selbststeuernde Architekturen

Bei der *vollständigen Selbststeuerung* wird jedes im System vorhandene Objekt als intelligentes logistisches Objekt umgesetzt, d. h. mit der Fähigkeit ausgestattet Entscheidungen zu treffen und diese selbstständig auszuführen. In der Logistik können zwei unterschiedliche Arten von Systemelementen als intelligente logistische Objekte genutzt werden. Dies sind zum einen Güter, wie Halbzeugnisse, fertige Produkte, Einzelteile, Rohmaterialien oder Komponenten, und zum anderen Ressourcen, wie z. B. Maschinen oder Produktionszentren. Hierbei konsumieren Güter Dienste, die von Ressourcen angeboten werden. Die Dienste können von der Art Transport, Fertigung, Montage oder Lagerung sein. Eine Implementierung dieser Architektur sorgt für ein maximal flexibles und anpassbares System. Die hohe technologische Komplexität kann zu hohen Anschaffungskosten führen.

Die *hubartige Selbststeuerung* ist zwischen vollständiger Selbststeuerung und virtueller Selbststeuerung angesiedelt. In dieser Architektur werden nur bestimmte Objekte als intelligente logistische Objekte realisiert. Diese sind in der Lage, Entscheidungen für sich zu treffen und diese Fähigkeit auch weniger intelligenten Objekten als Dienst anzubieten. Maschinen und Transportgeräte können beispielsweise als Hub-Elemente umgesetzt und mit allen nötigen Fähigkeiten ausgestattet werden. Eine hubartige Architektur hat vor allem in solchen Szenarien Vorteile in denen Maschinen existieren deren Rechenkapazität und Netzwerkanbindung für Selbststeuerung verwendet werden kann. Zudem müssen nicht alle Systemelemente mit der Fähigkeit Entscheidungen zu treffen ausgestattet werden. Es genügt wenn alle nicht-hubartigen Objekte in der Lage sind, ihre eigenen Ziele und die gewünschte Entscheidungsmethodik zu speichern, an einen Hub zu übertragen, sowie die getroffene Entscheidung zu empfangen und umzusetzen.

Virtuelle Selbststeuerung beschreibt Systeme in denen alle logistischen Objekte in einem zentralen Steuerungssystem durch selbststeuernde Agenten repräsentiert werden. Das Verhalten der Objekte wird durch Entscheidungen der Agenten bestimmt, welche auf dem jeweiligen lokalen Zielsystem basieren. Die Entscheidungen werden an die realen Objekte übertragen und dort dezentral ausgeführt. Alle Informationen sind zentral vorhanden, da jedes logistische Objekt innerhalb des zentralen Steuerungssystems abgebildet ist. Die technische Komplexität unterscheidet sich nur wenig von der eines klassischen PPS Systems, was nahe legt, dass die technische Umsetzung dieser Architektur in bestehenden Systemen einfacher ist als die Implementierung anderer Architekturen. Die inhaltliche Komplexität ist genau so hoch wie die einer absolut selbststeuernden Architektur, da für jedes Systemelement Ziele, Fähigkeiten und Wissen abgebildet werden müssen.

Weiterhin müssen alle Objekte mit der entsprechenden Technologie zur Entscheidungsausführung ausgerüstet sein.

Die Auswahl einer konkreten Architektur für ein Szenario wird durch mehrere Kriterien bestimmt. Einerseits sind die bereits vorhandenen und daher für die Selbststeuerung weiterverwendbaren Systemelemente von Bedeutung, andererseits müssen auch soziale und betriebliche Faktoren berücksichtigt werden. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Gegenüberstellung des Nutzens eines selbststeuernden Systems gegenüber den Kosten seiner Implementierung.

3.4 Das ALEM Modellierungs-Framework

Die Entwicklung selbststeuernder logistischer Systeme umfasst vier grundlegende Schritte, die zwischen einer Vorstudie und der Implementierung des Systems eingebettet sind. Hierzu zählen die Spezifikation des Systems, eine Simulation seines Verhaltens, die Konfiguration der Infrastruktur sowie eine Kosten-Nutzen-Analyse des modellierten Systems. Diese Schritte können iterativ wiederholt werden, um das modellierte System zu verbessern und anzupassen (Abbildung 2).

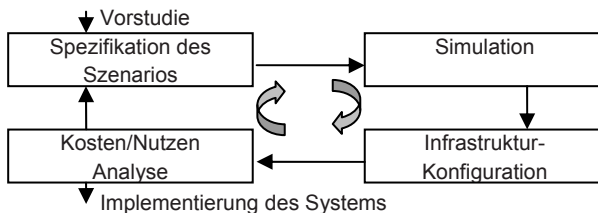


Abbildung 2: Entwicklungszyklus für selbststeuernde Systeme nach [16]

In einer Vorstudie wird zunächst geprüft, ob die Entwicklung eines selbststeuernden Systems zweckmäßig erscheint. Darauf aufbauend werden die Ziele detailliert spezifiziert, welche durch das selbststeuernde System erreicht werden sollen. Die anschließende Spezifikation des Szenarios bildet die Grundlage für die Auswahl der Architektur, geeigneter Entscheidungsmethoden und der Infrastrukturkomponenten. Die Lauffähigkeit und Umsetzbarkeit der Spezifikation wird mittels Simulation überprüft. Nach erfolgreicher Validierung werden geeignete Infrastrukturkomponenten auf Basis der Spezifikation und der vorhandenen Systemelemente ausgewählt. Zum Abschluss erfolgt eine ökonomische Bewertung des Systems unter Einbeziehung des Grades seiner Zielerreichung [16].

Um die Entwicklung selbststeuernder Systeme zu unterstützen, wurde im Sonderforschungsbereich 637 das Autonomous Logistic Engineering Methodology (ALEM) Framework entworfen [32]. ALEM besteht aus verschiedenen Konzepten zur Darstellung und Modellierung von selbststeuernden Systemen sowie entsprechender Werkzeugunterstützung, um die Anwendung der Konzepte zu vereinfachen. Die Struktur des Frameworks ist in Abbildung 3 dargestellt.

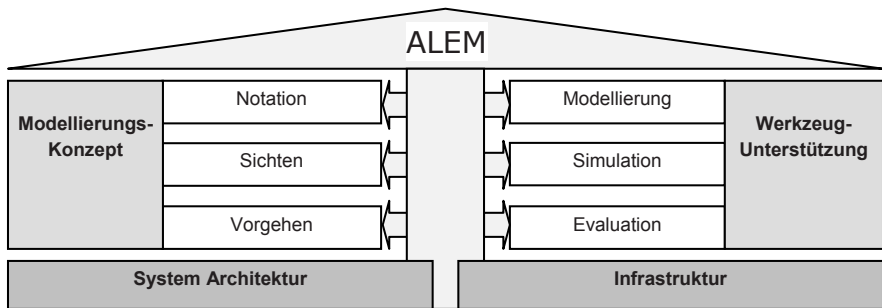


Abbildung 3: Struktur des ALEM-Frameworks

Die grundlegenden Entscheidungen für eine spezifische Architektur sowie eine physische Infrastruktur bilden die Basis für die Spezifikation eines selbststeuernden logistischen Systems. Das Framework stellt notwendige Modellierungskonzepte bereit, darunter eine definierte Notation für alle Systemelemente, ein Sichtenkonzept, um die Komplexität des modellierten Systems handhabbar zu halten, sowie ein Vorgehensmodell, welches einen Benutzer dieses Frameworks durch die Schritte der Modellierung führt. Zudem bietet das Framework Unterstützung in Form von Werkzeugen, welche dem Benutzer bei der Modellierung, der Simulation der Modelle und deren Evaluation behilflich ist. Das Vorgehensmodell besteht aus acht Schritten, die als Richtlinie angesehen werden können, wie ein solches System erstellt oder abgebildet werden kann.



3.5 Auswirkungen von Selbststeuerung

Positive Auswirkungen des Einsatzes von Selbststeuerung wurden bereits in mehreren Simulationsstudien gezeigt. Das verwendete Simulationsszenario besteht aus neun Maschinen, die jeweils mit einem Eingangspuffer ausgestattet sind. Die Maschinen sind in drei Gruppen von je drei gleichartigen Maschinen angeordnet und müssen sequenziell durchlaufen werden. Nach jedem Schritt hat ein Werkstück die Auswahl zwischen drei möglichen Maschinen auf der nächsten Ebene. Anhand dieses Szenarios wurden unterschiedliche Selbststeuerungsmethoden simuliert. Diese lassen sich in Prognosemethoden und Methoden die auf Erfahrungswerten beruhen gliedern [29].

Methoden beider Gruppen zeigten sowohl beim Auftreten spontaner Störungen, bei Maschinenausfällen oder plötzlichen Eilaufträgen als auch bei Änderungen wie der Einführung eines neuen Produktes große Robustheit und Flexibilität [28, 29]. Während Prognosemethoden sehr schnell auf spontane Probleme reagieren können, liefern Methoden die auf Erfahrungswerten beruhen sehr gute Ergebnisse in statischeren Systemen, die starke Varianzen in den Bearbeitungszeiten aufweisen. Das geschilderte Szenario weist viele Charakteristika klassischer Werkstattproduktionen auf, wie sie oft in manuell geprägten Industrien vorzufinden ist.

4 Praxisbeispiel Bekleidungsindustrie

Einsatzmöglichkeiten der Selbststeuerung in manuellen Branchen lassen sich gut am Beispiel der Bekleidungsindustrie aufzeigen. Diese Branche zeichnet sich durch einen sehr hohen Anteil an manuellen Prozessschritten aus, welche besonders im Hinblick auf die Informationsqualität entlang der Supply Chain ein gravierendes Fehlerpotential bergen. Die zu Grunde liegenden Probleme entstehen in der Regel bereits während der Produktion.

4.1 Herausforderungen der Branche im Überblick

Die Prozesskette der Bekleidungsindustrie gliedert sich in vier unterschiedliche Abschnitte: Die Produktion von Garnen und Fäden, die Produktion der Stoffe, die Produktion von Bekleidungsstücken und schließlich die Distribution und der Verkauf. Die Prozessschritte werden in der Regel sequenziell durchlaufen [15, 9, 6, 3].

Nur wenige Arbeitsgänge entlang der Wertschöpfungskette können automatisiert werden, so dass bis zu 80 % der Arbeiten manuell getätigt werden. Der größte

Teil der bei der Produktion anfallenden Kosten entfällt daher auf die Personalkosten [9]. In Folge dessen sind große Teile der Bekleidungsproduktion in Ländern mit niedrigen Personalkosten verlegt worden. Das Ausmaß der Verlagerung lässt sich an der Anzahl der auf dem Weltmarkt gehandelten Bekleidungsstücke verdeutlichen, die sich zwischen 1973 und 2000 um mehr als 1500 % erhöhte. Dies entsprach einem Anstieg des Anteil am internationalen Handelsvolumen von 2,2 % auf 3,2 % [11]. In diesem Zusammenhang reduzierte sich die Produktion von Bekleidungsstücken in westlichen und zentraleuropäischen Ländern auf ein Minimum, während die Produktion in ostasiatischen Ländern stark zunahm [15, 25, 11, 35]. Europäische Bekleidungszulieferer richteten sich neu aus und fokussieren sich inzwischen weniger auf die Produktion von Kleidungsstücken sondern vielmehr auf Planungs- und Koordinationsaufgaben innerhalb der Supply Chain. Diese Aufgaben betreffen Rohstofflieferanten, produzierende Unternehmen, produktionsnahe oder logistische Dienstleister und den Einzelhandel gleichermaßen. Die Trennung von Produktions- und Absatzmärkten der Kleidungsstücke verlangt nicht nur die Berücksichtigung großer geografischer sondern auch großer kultureller Distanzen und Unterschiede. Dieses und die hohen Lieferzeiten haben einen starken Einfluss auf Planung und Koordination innerhalb der Supply Chain [9, 17].

Eine weitere Schwierigkeit stellt die zum Teil stark schwankende Nachfrage der Produkte dar. Das Nachfrageverhalten der Endkunden variiert unter anderem saisonal und kann mittel- und langfristig nur schwer abgeschätzt werden. Beides schränkt die Planungsgenauigkeit für Verkäufer und für ihre Lieferanten ein. Beispielhaft wird der Zeitpunkt des Wechsels zwischen Sommer- und Winterkollektionen im Einzelhandel von den Witterungsbedingungen beeinflusst, deren Auftreten während der Produktionsplanung nur ungenau bekannt ist. Während Verkäufer flexible und schnelle Anpassungen ihrer Lagerbestände an die Nachfrage der Kunden gewährleisten müssen, verlangen sie ihrerseits von ihren Lieferanten die Fähigkeit zu kurzfristigen Anpassungen. Lieferanten müssen zum Teil große Bestände vorhalten um die schnelle und vollständige Anpassung gewährleisten zu können und die erwähnten langen Lieferzeiten zu umgehen. Oftmals existieren spezielle Verträge zwischen Zulieferern und Verkäufern, welche den Verkäufern starken Einfluss auf den Entwurf und die Entwicklung individueller Produkte und Sortimente einräumen, und die oftmals von saisonalen Bestell- oder Lieferdaten losgelöst sind, um ganzjährige eine gleichbleibende Versorgung zu garantieren [9]. Bei den Lieferanten führen solche Verträge zu einer großen Zahl an Produktvarianten die je nach Vertriebspartner exklusiv nur an diesen ausgeliefert werden dürfen.



Ein weiteres verbreitetes Konzept ist das sogenannte „Never-out-of-Stock“ (NOS) Liefersystem, welches als Ausprägung des „Continuous Replenishment“ betrachtet werden kann [13]. Bei dieser Liefervereinbarung verpflichten sich die Lieferanten, die durch Verkäufe an die Endkunden verringerten Lagerbestände eines Verkäufers innerhalb weniger Tage oder zum Teil innerhalb weniger Stunden wieder aufzufüllen. Oftmals reduzieren Kunden als Folge solcher Verträge die Lagerbestände, während auf Lieferanten entsprechende schnell verfügbare Lagerbestände aufbauen müssen, um den vollen Serviceumfang auch bei unvorhersehbaren Produktnachfragen garantieren zu können. Durch dieses Konzept sind die Auslieferungsmengen der Lieferanten direkt mit dem Kundenverhalten verknüpft.

Aufgrund der hohen Produktvielfalt, der geringen Auslieferungszeiten und der großen geografischen Distanzen zwischen Produktionsstätten und Distributionslagern sind Lieferanten in der Textilindustrie auf genaue und frühzeitige Informationen angewiesen, welche und wie viele Artikel sich in den Distributionslagern, der Produktion sowie im Transport befinden [9, 6]. Diese Informationen sind in der Regel aufgrund des hohen Anteils von manuellen Produktionsschritten nur bedingt und oftmals fehlerbehaftet verfügbar. Diese unzuverlässigen Informationen erlauben es den Lieferanten nicht, die Verteilung der Artikel pro-aktiv und nachfrageorientiert zu gestalten oder flexibel auf spontane Änderungen zu reagieren [20].

4.2 Fallstudie zur Bekleidungsindustrie

Die Auswirkungen und Ursachen unzureichender Informationsqualität lassen sich exemplarisch anhand eines deutschen Bekleidungslieferanten zeigen, der Jeanswaren produziert. Das betrachtete Unternehmen vertreibt die produzierten Waren sowohl unter eigenen Marken als auch als Zulieferer von Handelsware für den Bekleidungseinzelhandel in Europa. Bekleidungswerke des Herstellers sowie deren Materialzulieferer befinden sich in der chinesischen Provinz Guangdong und werden von einer Einkaufsagentur in Hongkong betreut. Der Bekleidungslieferant betreibt regionale Distributionszentren in Deutschland, England und Spanien. Jedes Zentrum soll sowohl die sich saisonal verändernde, lokale Nachfrage für einzelne Artikelvarianten als auch für die Gesamtmenge der Nachfrage in den Regionen decken. Die Supply Chain dieses Unternehmens ähnelt stark einer allgemeinen Referenz-Supply Chain für die Bekleidungslogistik [6].

4.2.1 Prozesse und Ablauf der Produktion

Fällt der Bestand eines Artikels in einem der Distributionslager unter eine vorher festgelegte Grenze, löst dieses Lager einen Produktionsauftrag aus, um die Deckung der Kundennachfrage sicherzustellen. Die Bestandsgrenze, bei deren Unterschreitung eine Bestellung ausgelöst wird, sowie die Menge der nachbestellten Artikel werden mithilfe des durchschnittlichen Verbrauches an Artikeln jeden Typs und jeder Variante gebildet. Dabei wird der Durchschnittsverbrauch für den speziellen Artikel über die Wiederbeschaffungszeit prognostiziert. Hierbei dienen die Werte der gleichen Monate aus mehreren vergangenen Jahren als Referenz. Zusätzlich zu diesem Verbrauchswert wird ein klassischer Sicherheitspuffer gebildet und beide Mengen werden miteinander verrechnet [22]. Das Werk in China erstellt anschließend einen Produktionsplan mit einem Planungshorizont von zwei Monaten, der auf den Produktionsanfragen der Distributionszentren basiert. Die Produktionsabfolge beruht auf der geschätzten Reichweite der noch im Lager vorhandenen Artikel sowie der Verfügbarkeit der Rohmaterialien. Das Werk bezieht die benötigten Rohmaterialien wie Stoffe, Knöpfe, Reißverschlüsse als auch die entsprechenden Label, bis auf wenige Ausnahmen direkt von seinen regionalen Zulieferern.

Die Herstellung der Waren im Produktionswerk besteht aus den Prozessschritten der eigentlichen Herstellung aus den Rohmaterialien und der Endbearbeitung der Kleidungsstücke. Die Herstellung beinhaltet das Schneiden der Stoffe, das Nähen sowie das Besticken und Verzieren der Kleidungsstücke. Während der Endbearbeitung werden die fertigen Artikel noch einmal gewaschen und gebügelt, die entsprechenden Etiketten, Knöpfe und andere Kleinteile werden angebracht und überstehende Fäden gekürzt. Die Qualitätskontrolle umfasst das Vermessen und Überprüfen der Kleidungsstücke zwischen den beiden Prozessschritten und in der Endkontrolle.

Für den Zuschnitt der Stoffe werden automatische Auslegemaschinen, manuelle Schnittgeräte sowie Bandschneider benutzt. Für das Nähen werden verschiedene Typen von Einfach- und Doppelnadel-Nähmaschinen, sowie Lochstickmaschinen eingesetzt.

Die Produktionsschritte werden in streng sequenzieller Abfolge durchgeführt. Die Arbeitsstationen sind nach dem Prinzip der Werkstattfertigung in Arbeitsbereichen zusammengefasst. Der Materialfluss zwischen diesen Arbeitsbereichen folgt einer Standard-Sequenz. Innerhalb einiger Arbeitsbereiche, insbesondere beim Nähen, sind die einzelnen Arbeitsstationen nach dem Reihenprinzip angeordnet



und werden sequentiell durchlaufen. Abbildung 4 zeigt schematisch den Aufbau des Produktionswerks.

Halbfertige Produkte werden mithilfe von Handwagen zwischen den Arbeitsstationen transportiert. Jeweils zwischen und nach den Produktionsschritten müssen die Güter bestimmte Qualitätszonen durchlaufen, in denen sie per Hand kontrolliert werden, bevor die Bearbeitung fortgesetzt oder abgeschlossen wird.

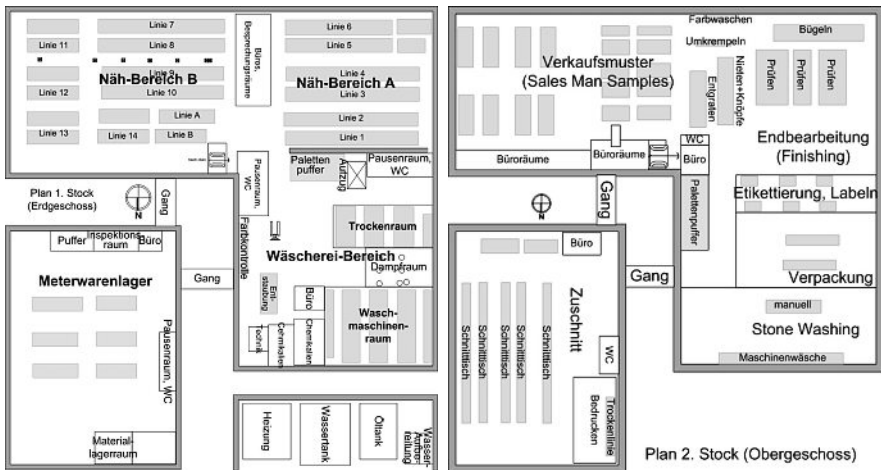


Abbildung 4: Aufbau des Werks: Erdgeschoss (links) Obergeschoss (rechts)

4.2.2 Prozesse und Ablauf der Lieferkette

Nach der Endbearbeitung werden die Artikel gefaltet und sortenrein in Kartons verpackt. Dabei werden von Hand jeweils eine festgelegte Anzahl Artikel (bei Hosen z.B. meist je 20) der gleichen Variante, also der gleichen Größe, Farbe, Qualität und Schnitt in einem Karton verpackt. Diese Kartons werden schließlich in Container verpackt. Eine Containerladung besteht aus 200 bis 500 Paketen á ca. 20 Artikel. Während des Verpackens werden die Artikel manuell erfasst und mit ihrer Anzahl und Variante auf Packlisten vermerkt. Diese Listen sind leider oft fehlerhaft. Häufig werden auch die Artikel nicht sortenrein verpackt, so dass sich in einem Karton verschiedene Artikelvarianten befinden, ohne dass dies auf der Packliste vermerkt ist. Fehler in den Packlisten setzen sich bis in die Distributionszentren fort.

Die beladenen Container werden mit LKW vom Produktionswerk in der Provinz Guangdong nach Hongkong und von dort nach Europa transportiert. Die Container werden generell verschifft. In besonders eiligen Fällen werden sie per Luftfracht nach Europa gebracht. Die Schiffsroute enthält Dubai als Umschlaghafen. Dort kann noch einmal entschieden werden ob die Container weiter mit dem Schiff transportiert werden oder ob aus zeitlichen Gründen der Luftweg gewählt wird. Während Container die per Schiff nach Europa gebracht werden mit LKW von den jeweiligen Häfen zu den Distributionszentren gebracht werden müssen, ist es per Luftverkehr möglich Flughäfen in direkter Nähe zu den Zentren als Zielort zu wählen. Allerdings erhöht der Luftweg die Kosten des Transportes um den Faktor 3 bis 5. Abbildung 5 veranschaulicht die Transportsituation.

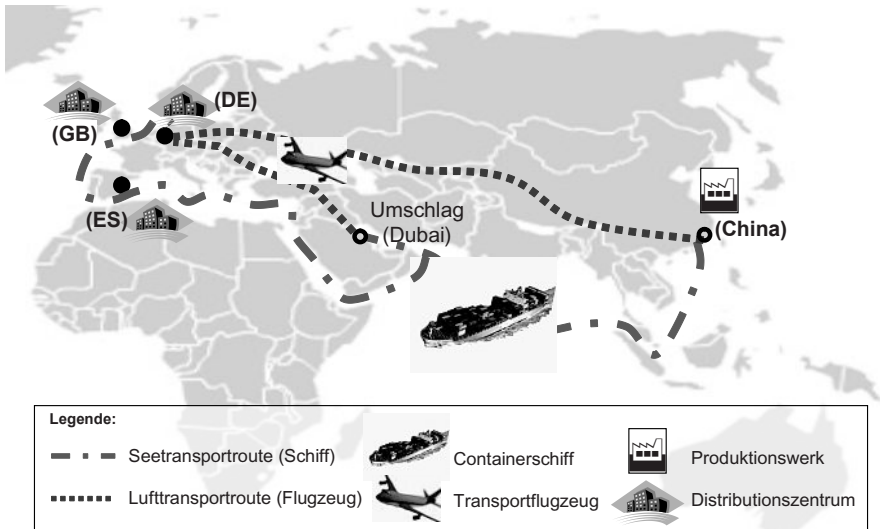


Abbildung 5: Transportnetzwerk der Fallstudie

Nach der Ankunft in den Distributionszentren werden die Container entladen und die Pakete eingelagert. Dabei werden die Pakete gezählt und mit der Packliste verglichen. Aufgrund der großen Anzahl der eintreffenden Pakete kann deren Inhalt nur stichprobenartig überprüft werden. Die meisten Pakete werden ungeöffnet eingelagert. Falls der Vorrat an bestimmten Artikeln bereits erschöpft ist, werden die ungeöffneten Pakete zum Kommissionieren direkt in den Verladebereich



weitergeleitet. Beim Verpacken der Waren aufgetretene Fehler bleiben oft unentdeckt, bis während der Kommissionierung eines Kundenauftrags der fehlerhafte Inhalt eines Paketes festgestellt wird.

Kundenbestellungen werden jede Nacht über elektronische Datenaustausch (Electronic Data Interchange) Protokolle an die Distributionszentren weitergeleitet. Diese Bestellungen beruhen auf den Verkaufszahlen des Tages und beinhalten für jede Filiale des Verkäufers die genaue Anzahl für jede bestellte Artikelvariante. Die Bestellungen werden kumuliert und mit den aktuellen Lagerbeständen des Zentrums verglichen. Reicht die gelagerte Menge eines Artikels nicht aus, wird dem Verkäufer sofort eine „nicht verfügbar“ Benachrichtigung zugestellt. Verfügbare Artikel werden dem Kundenauftrag entsprechend kommissioniert und in der Regel noch am selben Tag versendet.

Engpässe in den Supply Chain Prozessen bilden die Anschaffungs-, Produktions- und Transportzeiten. Die Verfügbarkeit von textilen Rohmaterialien am Werk ist beschränkt, und die Anschaffungs- und Produktionszeiten können unterschiedlich sein. Die langen und unsicheren Beschaffungszeiten für Rohmaterialien in der Produktion sowie die ebenfalls langen Transportzeiten zwischen Asien und Europa tragen in kritischem Maße zu den weitläufigen Zeitplanungen bei. Einschließlich der Beschaffung der Rohmaterialien beträgt die Durchlaufzeit für die Produktion der Waren sechs bis zehn Wochen, während die Zeitdauer für den Warentransport im Schiffsverkehr ca. vier Wochen beträgt. Diese Werte stimmen annähernd mit Vergleichswerten aus der Literatur [23] überein.

4.3 Konzepte für die Praxis

Kommunikations- und Identifikationstechnologien sowie die Fähigkeit eines Objektes, seinen eigenen Zustand zu bestimmen, sind Grundvoraussetzungen für die Anwendung von Selbststeuerung. Jeder dieser Aspekte kann auf verschiedene Arten umgesetzt werden. Im Folgenden wird vor allem die Auswahl von Identifikationstechnologien betrachtet, da eine zuverlässige Identifikation der Roh-, Halb- und Fertigwaren geeignet ist in der Fallstudie beschriebenen Informationsproblem zu beheben und eine unabdingbare Grundlage für die Einführung von Selbststeuerung ist [31].

4.3.1 Identifikationstechnologien

RFID-Transponder (Tags) können an nahezu allen Objekten angebracht werden. Auf ihnen können Informationen mithilfe von Schreib- und Lesegeräten gespeichert und wieder ausgelesen werden. Die Tags gibt es in verschiedenen Größen und Funktionsumfängen z. B. hinsichtlich ihrer Speicherfähigkeit und Funkreichweite. Sie sind preisgünstig und können in großen Mengen genutzt werden, um Objekte mit Informationen zu verknüpfen. Die Weiterentwicklung der RFID-Tags, so genannte Smart-Tags, erlaubt es, zusätzlich bestimmte Operationen auf Basis der gespeicherten Daten auszuführen [21]. Je nach Fähigkeit des Tags können dies einfache Berechnungen oder komplexe Entscheidungen sein. Wie die RFID Tags können sie an nahezu allen Objekten angebracht werden. Für Smart-Boxes gilt dies nicht, da sie weitaus größer sind und über zusätzliche Schnittstellen zu drahtlosen Funknetzwerken, Möglichkeiten der autarken Energieversorgung, eigene Ein- und Ausgabegeräte sowie Systeme zur Positionsbestimmung verfügen können. Sie lassen sich z. B. gut an Maschinen montieren.

4.3.2 Produktionslogistik

In der Produktion gibt es verschiedene Möglichkeiten um Güter und Halbzeuge mit der notwendigen Technologie zur Identifikation und Nachverfolgung auszustatten. Die Methoden unterscheiden sich u. a. hinsichtlich des Aufwandes ihrer Implementierung. Einige Vorschläge können mangels verfügbarer Technologien gegenwärtig noch nicht realisiert werden [34]. Ein für die Bekleidungsproduktion geeignetes System implementiert Aufträge, Halbzeuge und Güter als logistische Objekte, die autonom ihren Weg durch die Fabrik bestimmen. Intelligente Handwagen können für den Transport der Objekte zwischen Maschinen und Arbeitsstationen genutzt werden.

Abbildung 6 zeigt eine Möglichkeit, Selbststeuerung in der Bekleidungsindustrie einzuführen. Dabei werden die zuvor dargestellten Erkenntnisse über die Bekleidungsindustrie mit in Betracht gezogen. Aus Stoffbahnen werden einzelne Panele geschnitten, die in einen intelligenten, flexibel einsetzbaren Handwagen verladen werden. Der Wagen ist mit einer Smart-Box ausgestattet, die über ein Display aus energiesparendem digitalem Papier verfügt. Das Display zeigt alle Informationen über die im Wagen enthaltenen Produkte sowie deren Verarbeitungsinformationen an [37]. Der Wagen ist in der Lage die Anzahl der eingebrachten Stücke zu bestimmen z. B. durch Wiegung des Inhalts, die Überwachung der Einbringung und Entnahme mittels einer Lichtschranke, einen manuell bedienbaren Zählmechanismus



oder Kombinationen verschiedener Verfahren. Der Wagen ist ebenso in der Lage Informationen z. B. über Ausschuss zu verarbeiten. Die vom intelligenten Wagen verwalteten Informationen werden über drahtlose Kommunikationstechnologien wie WLAN oder RFID mit dem Gesamtsystem abgeglichen.

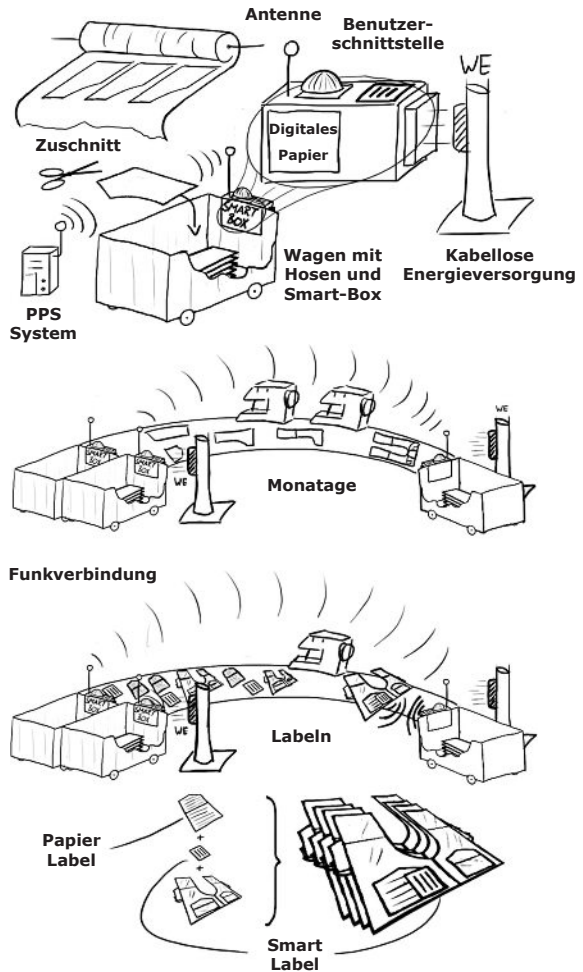


Abbildung 6:
Intelligente Losgröße und
intelligentes Kleidungsstück

Der Vorschlag ermöglicht die Identifizierung und Verfolgung von Losen oder Teilen davon innerhalb des Produktionsprozesses. Im Falle der Nutzung manueller Eingabemechanismen muss sichergestellt werden, dass der Inhalt des Handwagens mit den gespeicherten Informationen konsistent ist und bleibt. Die Smart-Box des Wagens entscheidet aufgrund der gespeicherten Informationen, welche Arbeitsstation oder Maschine als nächstes aufgesucht werden muss. Die Entscheidungsfindung folgt einer Selbststeuerungsstrategie, die entweder ein fester Bestandteil des Wagens ist oder von ihm selbst aufgrund von Umgebungseinflüssen ausgewählt und angewendet wird. Die Strategie verwendet die aktuell gespeicherten Daten. Im Rahmen der Qualitätskontrolle in den Qualitätszonen werden alle im Wagen vorliegenden Erzeugnisse überprüft. Die Inventarliste des Wagens wird ebenso kontrolliert und entsprechend angepasst, falls Erzeugnisse die Qualitätsprüfung nicht bestehen. Im Wagen gespeicherte Informationen werden beim Umladen der Güter ebenfalls weitergegeben. Wagen, die ihre Güter am Anfang einer Produktionslinie zur weiteren Verarbeitung entlassen, übergeben die gespeicherten Informationen an den Wagen, der die Güter nach der Verarbeitung wieder aufnimmt. Der zu beladene Wagen wird zusätzlich mit den Informationen der eben durchgeführten Bearbeitung ergänzt. Während der Endbearbeitung wird an dem fertigen Bekleidungsstück in Verbindung mit dem Papierlabel ein Smart-Tag befestigt. Dieses Label erhält neben einer eindeutigen Identifikationsnummer auch die im letzten Wagen gespeicherten Informationen. Somit verfügt jede Hose über alle Informationen der Historie ihres Produktionsloses und sie kann im späteren Verlauf der Supply Chain eindeutig identifiziert werden. Die einzelnen Lose agieren im Produktionssystem als selbststeuernde intelligente logistische Objekte. Das aufwändigere und technologisch schwierigere Taggen einzelner Artikel und seiner Teile ist hier nicht erforderlich.

4.3.3 Supply Chain

Neben den Problemen, die sich in der Produktion von Bekleidungsstücken gezeigt haben, können anhand der Fallstudie zwei grundlegende Problemstellungen in der Supply Chain identifiziert werden. Einerseits schlägt sich hier die geringe Verfügbarkeit vertrauenswürdiger Informationen nieder die bereits in Abschnitt 4.3.2 besprochen wurde. Die zweite Problemstellung bezieht sich auf die Nutzung dieser Informationen für eine dynamische Umlagerung von Produkten, die sich im Transport befinden, entsprechend der Nachfrage durch Kunden oder dem Bedarf der Distributionszentren.

Abbildung 7 stellt modellhaft die Supply Chain und die möglichen Transportalternativen dar wie sie in der Fallstudie identifiziert wurden (Abbildung 5). Das Quellenelement der Kleidungsstücke ist das Werk in China. Ein Frachtschiff transportiert die Waren von dort aus über Dubai zu den Distributionszentren in Spanien (ES), Großbritannien (GB) und Deutschland (DE). Alternativ können die Waren in eiligen Fällen per Flugzeug direkt aus China oder von Dubai zu den Distributionszentren transportiert werden. Jedes der Distributionszentren besteht aus einem Lager und einer operativen Komponente, die durch Reduktion der Lagerbestände die Kundennachfrage erfüllt. Dubai wird in diesem Zusammenhang als reiner Umschlagort betrachtet. Die logistischen Objekte können sich jeweils in Hongkong und in Dubai für ein Transportmittel entscheiden. Diese Orte werden als Entscheidungspunkte bezeichnet. Obwohl das Frachtschiff auf dem Weg nach England und Deutschland das spanische Distributionszentrum passiert, ist dieser Hafen kein Entscheidungspunkt. Für Spanien bestimmte Güter werden dort gelöscht. Alle anderen verbleiben bis zu ihrem Transportziel an Bord. Dasselbe gilt auch für das Distributionszentrum in England.

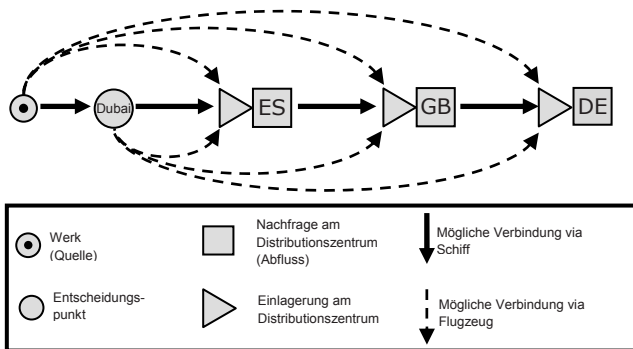


Abbildung 7: Modell der Transportkette der Fallstudie

Die in Abschnitt 4.3.2 vorgeschlagene Identifikationsmethode für fertige Kleidungsstücke kann genutzt werden, um die Supply Chain zu stärken. Die logistischen Objekte lassen sich wie folgt Beziehung bringen. Ein Auftrag initiiert ein Fertigungslos, welches aus einzelnen Kleidungsstücken besteht. Kleidungsstücke werden in diesem Zusammenhang als intelligente logistische Objekte betrachtet und können zu Paketen zusammengefasst werden, welche wiederum zu Containerladungen und Transportladungen zusammengestellt werden können. Der

Transport zu den Distributionszentren wird durch eine Transporteinheit, ein Frachtschiff oder Flugzeug, ausgeführt.

Ein Fertigungslos enthält eine Menge an Artikeln desselben Typs und derselben Qualität, kann aber unterschiedliche Farben und Größen enthalten. Alle Artikel eines Loses stammen vom gleichen Hersteller, sind für einen einzigen Kunden bestimmt und müssen zu demselben Zeitpunkt ausgeliefert werden. Hierzu können Pakete und Container können zu einem Transportlos zusammengefasst werden, welche sich dasselbe Transportmittel teilen. Im Anschluss an die Produktion erfolgt im Produktionswerk die zunehmende Zusammenfassung von Artikeln zu größeren logistischen Verpackungs- und Transporteinheiten, die beim Wareneingang bzw. bei der Einlagerung im Distributionszentrum wieder aufgehoben wird. Bei der Kommissionierung und dem Warenversand werden im Distributionszentrum neue logistische Einheiten gebildet. Ein Fertigungsauftrag besteht aus einer bestimmten Menge an Kleidungsstücken.

Sobald mehrere logistische Objekte zu einem höherstufigen Objekt zusammengefasst werden z. B. Hosen zu Pakten oder Pakete zu Containerladungen wird dieses

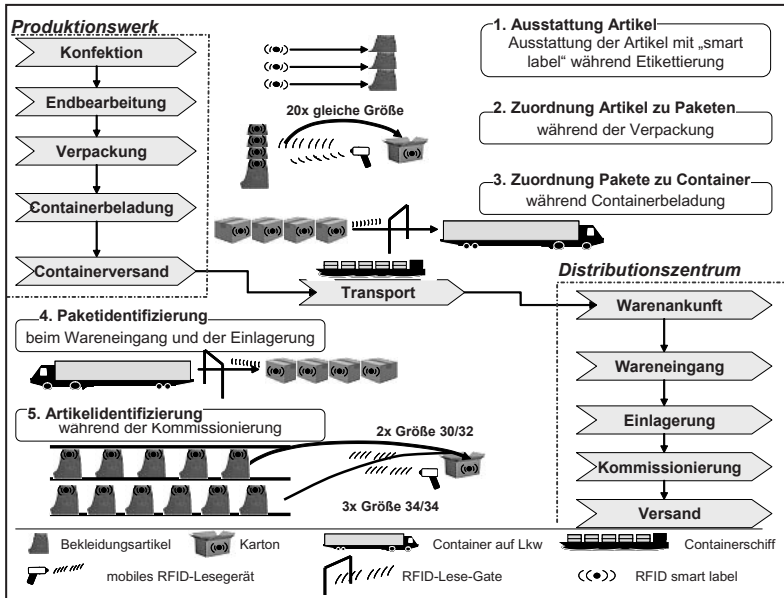


Abbildung 8: Verwendung von smart tags innerhalb der Supply Chain während Transport und Distribution



neue Objekt mit einem Smart-Tag versehen, wie in Abbildung 8 dargestellt. Dieser Tag übernimmt und kumuliert die Informationen der Einzelteile. Auf diese Art und Weise bleiben die Informationen, die während der Produktion gewonnen werden, auf höheren Verpackungsebenen erhalten und können genutzt werden. Jeder Container besitzt Informationen, welche Artikel er in welchen Varianten enthält und welchen Aufträgen sein Inhalt zugeordnet ist. Durch das Vorhandensein dieser Informationen können auch Objekte auf höheren Verpackungsebenen als intelligente logistische Objekte umgesetzt und mit Selbststeuerungsstrategien ausgestattet werden.

Die Verfügbarkeit dieser Informationen erlaubt die Anwendung von Selbststeuerung, um die Flexibilität der Supply Chain sowie deren Robustheit zu erhöhen. Einerseits kann nun eine dynamische Umverteilung von Artikeln oder Packstücken auf bestimmte Kundenbestellungen erfolgen, andererseits ist es möglich, dass die intelligenten logistischen Objekte sich selbstständig zu optimierten Transportlosen zusammenstellen.

Im Rahmen der Fallstudie wurden zwei spezielle Anwendungsfälle für selbststeuernde Konzepte in der Supply Chain identifiziert:

- 1) Falls Kleidungsstücke aufgrund von Transportverzögerungen nicht in der Lage sind, ihren Zielort termingerecht zu erreichen und der Kunde die Annahme verspäteter Lieferungen verweigert, müssen die Kleidungsstücke in der Lage sein, sich selbst späteren Kundenbestellungen zuzuordnen. Weiterhin können die logistischen Objekte ihre Entscheidung weitergeben, um eine Überproduktion oder einen zu großen Lagerbestand an den Distributionszentren zu vermeiden.
- 2) Aufgrund der langen Produktions- und Lieferzeiten kann es vorkommen, dass Kunden nicht mehr in der Lage sind, bestellte Waren entgegen zu nehmen. Dies kann als Folge von Insolvenzen geschehen, von denen hauptsächlich kleinere Kunden betroffen sind. In diesem Fall müssen die bestellten Kleidungsstücke versuchen, sich selbstständig einem anderen Kundenauftrag zuzuordnen bzw. Verkaufsmaßnahmen an andere Kunden zu initiieren.

Im Allgemeinen müssen Kleidungsstücke, die ihr Ziel ändern, ihre Entscheidung den entsprechenden Distributionszentren mitteilen. Diese bestellen nun fehlende Artikel nach oder stornieren eine Bestellung. Dieses Zusammenspiel von Kleidungsstücken und Distributionszentren ermöglicht es dem Logistiksystem, flexibel und schnell auf Schwankungen in der Auftragslage zu reagieren.

Neben der Fähigkeit der selbststeuernden Auftragszuweisung bergen die im Smart-Tag der logistischen Objekte mitgeführten Informationen und Fähigkeiten auch Potential in der Optimierung des Transportverhaltens. Logistische Objekte besitzen alle notwendigen Informationen sich selbststeuernd zu Transportlosen zu bündeln. Dies kann nach festgelegten Regeln geschehen, die z. B. allen Kleidungsstücken gleichen Typs, Qualität, Farbe oder Größe die Bündelung erlauben. Andere Möglichkeiten bestehen im Zusammenschluss von Objekten, die demselben Auftrag oder demselben Ziel-Lager zugeordnet sind. Diese Zusammenschlüsse können die ökonomische Effizienz erhöhen, da genau die benötigte Menge an Ladungskapazität auf einem bestimmten Transportmittel gebucht wird.

Neben der automatischen Bildung optimaler Transportlose durch die logistischen Objekte können die Lose auch die für sie optimale Transportroute auswählen. Verschiedene Protokolle, die sich bereits in Kommunikationsnetzwerken bewährt haben, wurden bereits erfolgreich in Transportszenarien angewendet [33]. Die Protokolle legen das Vorgehen zum Austausch von Informationen fest ohne die Entscheidung selbst einzuschränken. Im Szenario der Fallstudie sollten die Entscheidungen schrittweise getroffen werden. Das bedeutet, dass ein Transportlos an jedem Entscheidungspunkt neu über die Auftragszuordnung und damit verbundene Maßnahmen entscheidet. Zum Beispiel kann in Hongkong entschieden werden, dass ein Frachtschiff zur termingerechten Erreichung des Distributionszentrum in England ausreicht. Wenn das Schiff nun verspätet in Dubai eintrifft, hat die Ladung noch einmal die Möglichkeit sich zu entscheiden, ob die Weiterreise per Frachtschiff oder per Flugzeug unter den gegebenen Umständen sinnvoller ist, oder ob das Reiseziel in der gegebenen Zeit überhaupt noch erreichbar ist. Diese Entscheidung ist nur an den Entscheidungspunkten des Transportnetzes möglich (Abbildung 7) und erlaubt es den logistischen Objekten, ihr Transportziel, den durch sie bedienten Auftrag sowie die Auswahl des Transportmittels zu überprüfen und gegebenenfalls zu modifizieren.

Um die Verfügbarkeit und die Flexibilität der Supply Chain zu erhöhen, sind zusätzliche Entscheidungspunkte notwendig. Aus diesem Grund wird empfohlen, den logistischen Objekten zu erlauben von einem Distributionszentrum in ein anderes zu reisen. Diese zusätzlichen Verbindungen erlauben es im Falle eines Engpasses in einem der Distributionslager, Kleidungsstücke aus anderen Lagern heranzuziehen, falls nicht schnell genug neue Waren aus dem Transport oder der Produktion beschafft werden können.



5 Fazit

Selbststeuerung in der Logistik wird verstanden als die Verlagerung von Fähigkeiten zur Informationsverarbeitung, Entscheidungsfindung und Entscheidungsausführung auf einzelne logistische Objekte, z. B. Produkte oder Produktkomponenten und Fertigungs- oder Transportmittel. Selbststeuerung eröffnet Potentiale zur Verbesserung der Flexibilität und Robustheit logistischer Prozesse in einem logistisch komplexen Umfeld. Selbststeuerung kann in unterschiedlichen Architekturen realisiert werden, die sich vor allem im Grad der Selbststeuerung, dem Grad der Dezentralisierung und der systemischen als auch technologischen Komplexität unterscheiden. Das Modellierungswerkzeug ALEM stellt alle notwendigen Konzepte und Hilfestellungen die notwendig sind, um selbststeuernde Logistiksysteme zu entwerfen.

Die Bekleidungsindustrie ist einerseits durch eine in erheblichem Ausmaß manuell durchgeführte Fertigung sowie andererseits durch eine Internationalisierung der Wertschöpfungsketten mit langen Transportwegen bei gleichzeitig erforderlicher, schneller Reaktionsfähigkeit auf Änderungen im Absatzmarkt gekennzeichnet. Hohe Anforderungen an die Bekleidungslogistik gehen mit unzureichender Informationsqualität einher, welche insbesondere das Management der großen Anzahl an verschiedenen Produktvarianten erschwert. Aus diesen Gründen stellt die Bekleidungsindustrie ein besonders herausforderndes Anwendungsgebiet für die Einführung selbststeuernder Prozesse in der Logistik dar.

Diese Herausforderung wurde anhand einer Fallstudie eines Bekleidungslieferanten herausgearbeitet. Es wurde ein Vorschlag zur Problemlösung durch ein hubbasiertes Selbststeuerungskonzept vorgestellt, welches bereits in der Fertigung ansetzt und im weiteren Durchlauf der logistischen Prozesse die Transporte zu Distributionszentren und bis zur Auslieferung an den Kunden umfasst. Durch den Einsatz sogenannter Smart-Boxes, welche die Fähigkeiten der RFID-Technik zur Datenhaltung um einfache Datenverarbeitung ergänzen, können logistische Objekte mit den für Selbststeuerung erforderlichen Fähigkeiten zur Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung ausgestattet werden. In der Fertigung lassen sich intelligente Trolleys und RFID-Gates zur Steuerung und Nachverfolgung von Produktkomponenten einsetzen. Im weiteren Verlauf der Supply Chain können die einzelnen Waren oder logistische Verpackungs- und Transporteinheiten durch Smart-Boxes dazu befähigt werden, selbständig Entscheidungen zur Zuordnung zu Kundenaufträgen sowie zur Auswahl der Transportmittel zu treffen und neue Produktionsaufträge anzustoßen.

Ansatzpunkte für weitere Arbeiten bestehen im in der detaillierten Analyse der technischen Machbarkeit, der logistischen und ökonomischen Auswirkungen sowie der Implementierung der Vorschläge im Test- und Echtzeitbetrieb.

6 Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Teilprojekts „Adaptive Geschäftsprozesse – Modellierung und Methodologie“ und des Transferprojekts „Auftragszuordnung in der Supply Chain“ des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ (SFB 637).

Besonderer Dank gilt der Firma OSPIG und ihrem kaufmännischen Leiter Dr. rer. pol. Luling Lo, die den Autoren für die Ausarbeitung der Fallstudie Pate standen und ohne die keine detaillierten Einblicke hinter die Kulissen der Bekleidungsindustrie möglich gewesen wären.

Den Mitarbeitern Mehmet-Emin Özşahin und Torsten Hildebrandt des Lehrstuhls für *Planung und Steuerung Produktionstechnischer Systeme* am *BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik* danken wir für ihre kontinuierliche Begleitung bei der Erarbeitung dieses Beitrags.

7 Literaturverzeichnis

- [1] *Die 20 wichtigsten Megatrends*. online. http://www.z-punkt.de/fileadmin/be_user/D_Publikationen/D_Arbeitspapiere/Die_20_wichtigsten_Megatrends_x.pdf. Version: April 2008
- [2] *Forschung und Innovation für Deutschland - Bilanz und Perspektive*. online. http://www.stade.ihk24.de/produktmarken/innovation/forschung_und_entwicklung/Wissenschaft_und_Forschung/Broschueren_Internet_Veroeffentlichungen/forschung_und_innovation_fuer_deutschland.pdf. Version: April 2009
- [3] Abd-Ellatif, S.A.M.: *Strukturierungsmethoden als Basis für die Einführung von qualitätsorientierten Leitsystemen in der textilen Prozesskette*, Universität Achen, Diss., 2004



- [4] Arndt, H.: *Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse*. 3., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006 <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-9133-1>. – ISBN 978-3-8349-9133-1
- [5] Braun, S.; Loew, T.; Clausen, J.; Franz, P.; Mayer, F.: *Megatrends der Nachhaltigkeit*. online. http://www.bmu.de/wirtschaft_und_umwelt/unternehmensverantwortung_csr/nachhaltigkeitsmanagement/doc/37049.php. Version: Oktober 2008
- [6] Bruckner, A.; Müller, S.: *Supply Chain Management in der Bekleidungsindustrie* / Forschungsstelle der Bekleidungsindustrie Köln. 2003. – Forschungsbericht
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Management Summary - Effektive und effiziente europäische Normungs- und Standardisierungsprozesse und -strukturen*. online. http://www.din.de/sixcms_upload/media/2896/TK_Brosch%FCre.pdf. Version: Februar 2008
- [8] ElMaraghy, H. A.: *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. Springer Verlag, London, 2009
- [9] Fissahn, J.: *Marktorientierte Beschaffung in der Bekleidungsindustrie*, Universität Münster, Diss., 2001
- [10] Gordon, A.: *Future Savvy: Identifying Trends to Make Better Decisions, Manage Uncertainty, and Profit from Change*. Amacom Books, 2008. – ISBN 9780814409121
- [11] Grömling, M.; Matthes, J.: *Globalisierung und Strukturwandel der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie*. Deutscher Instituts-Verlag, 2003
- [12] Gundlach, J.: *Megatrends und Trends, Sammlung und Interpretation*. online. http://www.gundlach-consulting.ch/global/pdf/Megatrends_und_Trends__Interpretation_und_Sammlung.pdf. Version: 2008 April
- [13] Heydt, A. von d.: *Efficient Consumer Response - so einfach und doch so schwer*. In: Heydt, A. von d. (Hrsg.): *Efficient Consumer Response – Konzepte – Erfahrungen und Herausforderungen*. Franz Vahlen GmbH München, 1999, S. 2–23

- [14] Hülsmann, M. (Hrsg.); Windt, K. (Hrsg.): *Understanding of Autonomous Cooperation and Control in Logistics – The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow*. Springer Verlag, Berlin, 2007
- [15] Hurcks, K.: *Internationale Beschaffungsstrategien in der Textil- und Bekleidungsindustrie*, Universität Münster, Diss., 1993
- [16] Kolditz, J.: *Ein Vorgehensmodell zur Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse*, Universität Bremen, Diss., 2009
- [17] Langenhorst, I.: *Shop-Logistik in der Bekleidungsindustrie: Eine Analyse der Anforderungen herstellerinitiiert Shop-Systeme an die Logistikprozesse der Bekleidungsindustrie*, Universität Münster, Diss., 1999
- [18] Lödding, H.: *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*. 2., erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, Berlin, 2008 <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-76860-9>. – ISBN 978-3-540-76860-9
- [19] Luczak, H. (Hrsg.); Eversheim, W. (Hrsg.); Schotten, M. (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung, Konzepte*. 2., korrigierte Aufl., Nachdr. Berlin [u.a.]: Springer Verlag, Berlin, 2001 http://katalog.suub.uni-bremen.de/DB=1/LNG=DU/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8000&TRM=60984766*. – ISBN 354065559X
- [20] Mannel, A.: *Prozessorientiertes Modell der ökonomischen Auswirkungen des RFID-Einsatzes in der Logistik*, Universität Münster, Diss., 2006
- [21] Overmeyer, L.; Nyhuis, P.; Höhn, R.; Fischer, A.: Controlling in der Intralogistik mit Hilfe von Pre Processing Labels. In: Pfohl, H. (Hrsg.); Wimmer, T. (Hrsg.): *Steuerung von Logistiksystemen - auf dem Weg zur Selbststeuerung*. Dt. Verkehrs-Verlag, Hamburg, 2006, S. 205–215
- [22] Pfohl, H.-C.: *Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 6th. Springer Verlag, Berlin, 2000
- [23] *Kapitel China: Textil- und Bekleidungs-Supply Chain zwischen Deutschland und China*. In: Pfohl, H.-C.; Gomm, M.; Shen, X.: *Jahrbuch der Logistik 2007*. free beratung, Korschenbroich, 2007, S. 258–264



- [24] Rust, H.: *Zukunftsillusionen: Kritik der Trendforschung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009 <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-91778-8>. – ISBN 978-3-531-91778-8
- [25] Schneider, A.: *Internationalisierungsstrategien in der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie - eine empirische Untersuchung*, Universität Aachen, Diss., 2003
- [26] Schneider, S.: *Megatrends in der globalen Wirtschaft – Implikationen für deutsche Unternehmen*. online. http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD000000000207579.pdf. Version: Februar 2007
- [27] Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.: Autonomous processes in assembly systems. In: *CIRP Annals* 56 (2007), Nr. 2, S. 712–729. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2007.10.002>. – DOI 10.1016/j.cirp.2007.10.002
- [28] Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.; Beer, C. de; Jagalski, T.: Modelling and Simulation of a Pheromon based Shop Floor Control. In: Cunha, P. (Hrsg.); Maropoulos, P. (Hrsg.); University of Setubal (Veranst.): *Proceedings of the 3rd International CIRP Sponsored Conference on Digital Enterprise Technology - DET2006* University of Setubal, 2006
- [29] Scholz Reiter, B.; Freitag, M.; Beer, C. de; Jagalski, T.: Analysing the Dynamics caused by Autonomously Controlled Logistic Objects. In: *Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production Toronto, Canada*, 2007
- [30] Scholz-Reiter, B.; Höhns, H.: Selbststeuerung logistischer Prozesse mit Agentensystemen. In: Schuh, G. (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. Berlin: Springer Verlag, Berlin, 2006, S. 745–780
- [31] Scholz-Reiter, B.; Jagalski, T.; Beer, C. de: Selbststeuerung logistischer Prozesse in Produktionsnetzen. In: *Industrie Management* 23 (2007), S. 19–22
- [32] Scholz-Reiter, B.; Kolditz, J.; Hildebrandt, T.: The Autonomous Logistics Engineering Methodology (ALEM). In: Maropoulos, Paul G. (Hrsg.); Newman, Stephen T. (Hrsg.): *Proceedings of 4th International CIRP-Sponsored Conference on Digital Enterprise Technology (DET2007)*. Bath: University of Bath, 2007. – 9 pages, CD-ROM

- [33] Scholz-Reiter, B.; Rekersbrink, H.; Makuschewitz, T.: A distributed routing concept for vehicle routing problems. In: *Logistics Research* 1 (2008)
- [34] Scholz-Reiter, B.; Sowade, S.; Hildebrandt, T.; Rippel, D.: Modelling of Autonomous Control explicitly considering Orders as a Kind of Immaterial Logistic Objects in Manufacturing Processes. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2009)*. München, Deutschland, 2009
- [35] Scholz-Reiter, B.; Teucke, M.; Lo, L.: Stellung Chinas in der Bekleidungsindustrie und Auswirkungen auf die Logistik. In: *Industriemanagement* 24 (2008), S. 15–18
- [36] Scholz-Reiter, B.; Windt, K.; Kolditz, J.; Böse, F.; Hildebrandt, T.; Philipp, T.; Höhns, H.: New Concepts of Modelling and Evaluating Autonomous Logistics Processes. In: Chryssolouris, G. (Hrsg.); Mourtzis, D. (Hrsg.): *Manufacturing, Modelling, Management and Control 2004. IFAC Workshop Series*, Elsevier Science, Amsterdam, 2005
- [37] Signer, B.: *Fundamental Concepts for Interactive Paper and Cross-Media Information Spaces*, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Diss., 2005
- [38] *Kapitel 2*. In: Staberhofer, F.; Klaus, P.; Falkenhausen, E. von F. R. F. Rohrhofer; Weiss, P.; Klima, T.W.J.; Schitter, W.; Schmidt, R.; Rothböck, M.; Weichselbaum, E.: *Ganzheitliches Supply Chain Management*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2007. – ISBN 978-3-8349-9317-5, 27–71
- [39] Stadtler, H.; Kilger, C.; Stadtler, H. (Hrsg.); Kilger, C. (Hrsg.): *Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software, and case studies*. 4. ed. Berlin [u.a.]: Springer Verlag, Berlin, 2008. – ISBN 3540745114 and 978-3-540-74511-2
- [40] Teschke, R.; Arbeitnehmerkammer Bremen: *Betriebe im demografischen Wandel*. http://www.arbeitnehmerkammer.de/cms/upload/Downloads/Broschueren_Studien/Betriebe_im_demografischen_Wandel.pdf. Version: November 2005



- [41] Wandinger, T. M.: *Ursachen von Konflikten und Kriegen im 21. Jahrhundert*. online. http://www.bpb.de/publikationen/LTV7P9,0,0,Ursachen_von_Konflikten_und_Kriegen_im_21_%A0Jahrhundert.html. Version: 2001
- [42] Wiendahl, H. P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [43] Zukunftsinstitut: *Megatrends - Grundlagen des Wandels*. online. http://www.provvido.com/mediapool/48/485622/data/Megatrends_Zukunftsinstitut.pdf. Version: Dezember 2007