

Projektarbeit

**Entwicklung eines Softwarearchitektur-Konzeptes zur Steuerung
einer Modell-Fabrikanlage unter besonderer Berücksichtigung
von Automatisierungskonzepten für das Internet der Dinge**

Simon Tietze
Matrikelnummer: 142825
Studiengang: Logistik

ausgegeben am: 20.01.2015

eingereicht am: 15.04.2016

Betreuer:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
M.Sc. Software Engineering Felix Dross

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung	2
2 Automatisierung – Heute und Morgen	4
2.1 Klassische Automatisierungskonzepte	4
2.1.1 Darstellung der Automatisierungspyramide	4
2.1.2 Zentrale Steuerung von hierarchischen Produktionssystemen	6
2.2 Zukunftsorientierte Automatisierungskonzepte	7
2.2.1 Industrie 4.0	7
2.2.2 Das Internet der Dinge	8
2.2.3 Die Bausteine für das Internet der Dinge in der Intralogistik	10
2.2.4 Aktuelle Forschungsarbeiten	12
3 Veranschaulichung der Automatisierungskonzepte in der Modellfabrik	15
3.1 Aktuelles Automatisierungskonzept in der Modellfabrik	15
3.1.1 Aufbau der Modellfabrik	15
3.1.2 Aktuelles Steuerungskonzept in der Modellfabrik	17
3.2 Umsetzung eines zukunftsorientierten Automatisierungskonzeptes in der Modellfabrik	18
3.2.1 Modifizierung der Modellfabrik und Entwicklung einer Klassenhierarchie	18
3.2.2 Hardware- und Steuerungskonzept für die Modellfabrik	21
3.3 Anwendungsbeispiele in der Modellfabrik	24
4 Zusammenfassung und Ausblick	28
Abbildungsverzeichnis	29
Abkürzungsverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	32
A Abbildungen	33

1 Einleitung

Die deutsche Logistik-Branche ist ein stetig expandierender Wirtschaftszweig (Kille und Schwemmer 2014, S. 49). Diese Entwicklung gilt auch für die Intralogistik, die in den vergangenen Jahren kontinuierlich an wirtschaftlicher Bedeutung zugenommen hat. Dies lässt sich an den Umsatzzahlen deutscher Unternehmen im Bereich Intralogistik verdeutlichen. Auch wenn im Ländervergleich die USA und der Wachstumsmarkt China hinsichtlich der Umsätze deutlich vor Deutschland rangieren, hat Deutschland seit einigen Jahren im Exportgeschäft die prädominante Position inne. (Friedrich 2015)

Das Exportgeschäft in der deutschen Intralogistik-Sparte wird in hohem Maße von softwareintensiven Systemen im Sinne der Automatisierungspyramide bestimmt. Jedoch wird nach Einschätzungen von Experten diese Systemlandschaft in den folgenden Jahren einem grundsätzlichen Wandel unterworfen sein (Reinhart u. a. 2013, S. 89; ten Hompel und Henke 2014, S. 615). Aufgrund verkürzter Entwicklungszeiten, einer zunehmenden Individualisierung der Nachfrage und wachsenden Flexibilitätsanforderungen der Absatzmärkte (Lasi u. a. 2014, S. 261-262) wird ein Paradigmenwechsel in der Automatisierung von Produktionssystemen und in der Intralogistik stattfinden (Günthner, Chisu und Kuzmany 2010, S. 46). In diesem Zusammenhang werden immer wieder Begriffe wie *Cyber-Physical System*, *Smart Factory*, *Swarm Automation* und *Internet der Dinge* genannt. Alle diese Ansätze und Impulse können unter der Maxime der *Industrie 4.0* zusammengefasst werden. Diese neuartigen Konzepte dienen als Antreiber einer 4. Industriellen Revolution, in der die hierarchische Automatisierungspyramide aufgebrochen wird – die zentrale Steuerung von Prozessen wird durch eine flexible und dezentrale Ablauforganisation mit autonomen Objekten abgelöst (Spath 2013, S. 93).

Der Wirtschaftsstandort Deutschland steht somit in den kommenden Jahren vor großen Herausforderungen. Neben den technischen Aufgaben werden auch arbeitssoziologische Probleme durch die 4. Industrielle Revolution adressiert (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Damit Deutschland seine wirtschaftliche Bedeutung im Bereich Logistik behält und der Wirtschaftsstandort Deutschland gestärkt wird, ist eine Auseinandersetzung mit dem Thema *Industrie 4.0* unumgänglich.

Um den technischen Herausforderungen zu begegnen, wird derzeit am Fachgebiet IT in Produktion und Logistik (ITPL) eine Modell-Fabrikanlage entwickelt. Diese soll dazu dienen, sowohl klassische als auch zukunftsorientierte Materialflusskonzepte zu erproben und die Unterschiede zwischen den Automatisierungskonzepten zu verdeutlichen.

Damit in der zu entwickelnden Modell-Fabrikanlage die verschiedenen Automatisierungs- und Materialflusskonzepte untersucht werden können, wird eine entsprechende Softwarearchitektur benötigt. Diese sollte sich entsprechend der zu analysierenden Konzepte möglichst flexibel an ebendiese anpassen lassen. Im Rahmen der Planung für die Modellfabrik soll ein Konzept für solch eine anpassungsfähige Softwarearchitektur entworfen werden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt dabei auf einem Softwarearchitekturkonzept auf Basis des Internet der Dinge (IdD).

Zunächst wird der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik dargestellt. Hierbei soll verdeutlicht werden, welche spezifischen Charakteristika sowohl klassische als auch zukunftsorientierte Konzepte in der produktionsnahen Intralogistik besitzen. Hier wird unter anderem auf die Umsetzung der Automatisierungspyramide und des IdD-Konzeptes

Bezug genommen; außerdem wird herausgestellt, welche strukturellen Unterschiede zwischen diesen beiden Paradigmen bestehen. Des Weiteren werden die Auswirkungen auf die Informationslogistik innerhalb einer Produktionsanlage untersucht. In dieser Analyse soll auch konkret auf neue Steuerungskonzepte für die produktionsnahe Intralogistik verwiesen werden.

Aufbauend auf der zuvor durchgeführten Analyse von klassischen und zukunftsorientierten Automatisierungs- und möglichen Steuerungskonzepten für die produktionsnahe Intralogistik soll für die Modell-Fabrikanlage eine Softwarearchitektur konzeptioniert werden, die dem Paradigma des IdD folgt.

Daran anschließend wird das erarbeitete Softwarearchitekturkonzept anhand zweier Fallbeispiele mit Orientierung an konkreten Ablaufszenarien aus der Modell-Fabrikanlage veranschaulicht. Dabei sollen die Fallbeispiele alle definierten Anforderungen an das Softwarearchitekturkonzept abdecken und nach Möglichkeit verschiedenartige Prozesse innerhalb der Modell-Fabrikanlage einbinden. Hierbei werden sowohl die funktionalen Eigenschaften der einzelnen Komponenten als auch die Interaktion zwischen den Komponenten dargestellt.

2 Automatisierung – Heute und Morgen

Die vorliegende Arbeit lässt sich zwischen zwei großen Themengebieten einordnen. Zunächst werden klassische Automatisierungskonzepte erläutert. Diese können im Allgemeinen unter dem Begriff der Automatisierungspyramide zusammengefasst werden, deren Einführung bisher noch nicht in allen produzierenden Unternehmen abgeschlossen ist.

Trotz alledem befindet sich dieses Konzept bereits wieder im Umbruch. Als Weiterentwicklung, aber auch als Gegenentwurf dazu, werden zukunftsorientierte Automatisierungskonzepte dargestellt, die Bestandteil der Industrie 4.0 sein sollen und nach Meinung von Experten somit einen Paradigmenwechsel in der Automatisierungstechnik im Bereich der produktionsnahen Intralogistik einleiten. Andere Autoren sind bei der Beschreibung weniger drastisch und sprechen vom Computer Integrated Manufacturing 2.0 (CIM 2.0).

Inwieweit sich diese Konzepte unterscheiden, wird im Folgenden dargestellt. Des Weiteren wird auf vorhandene Forschungsarbeiten im Bereich des IdD als richtungsweisende Grundlagentechnologie der Industrie 4.0 eingegangen.

2.1 Klassische Automatisierungskonzepte

Im Bereich der klassischen Automatisierungstechnik gibt es Ansätze und Begrifflichkeiten, die sich in ihrer Bedeutung überschneiden. Worin Einigkeit besteht, ist die hierarchische Abbildung eines Produktionssystems. Es existieren über- und untergeordnete Ebenen, sodass übergeordnete Hierarchien die Dienstleistungen der untergeordneten verwenden können. In die entgegengesetzte Richtung werden Informationen an übergeordnete Ebenen weitergeleitet.

Als Beispiel für die Überschneidung der Begrifflichkeiten dienen die Ausdrücke CIM-Pyramide und Automatisierungspyramide. Die Ebenen der CIM-Pyramide tauchen in der Automatisierungspyramide als obere drei Ebenen auf. Deshalb wird sich im Folgenden auf die Darstellung der Automatisierungspyramide konzentriert. Hierbei wird auch auf die Entwicklung der pyramidalen Darstellung eingegangen. Des Weiteren wird die zentrale Steuerung von hierarchisch aufgebauten Produktionssystemen verdeutlicht.

2.1.1 Darstellung der Automatisierungspyramide

Automatisierungsstrukturen haben sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts in mehreren Schritten entwickelt. Der Beginn der Entwicklung war davon geprägt, dass Aktoren und Sensoren in der zu automatisierenden Anlage integriert wurden. Als nächster Entwicklungsschritt erfolgte die Einrichtung von Leitständen; dabei wurden Anzeige- und Bedienelemente zentralisiert, sodass Produktionssysteme besser gesteuert werden konnten. Als Weiterentwicklung sind diese Leitstände zu Messwarten ausgebaut worden. Sie unterschieden sich von Leitständen dadurch, dass sie um Regler erweitert wurden. Der Eingriff in die Prozessdurchführung erfolgte nun nicht mehr durch das Personal, sondern konnte mit dem Regler durch die Erfassung von Ist- und die Vorgabe von Soll-Werten ablaufen. (Heimbold 2015, S. 41-43)

Die Entwicklung setzte sich fort, indem die Steuerung durch zentrale Prozessrechner erweitert wurde. Dieser Weiterentwicklung folgte die Integration von Mikrorechnern in das

Produktionssystem. Große Anlagen waren somit flexibler zu steuern und leistungsfähiger, da Prozessinformationen eine horizontale Integration erfuhren und somit leichter und schneller zwischen den Anlagenkomponenten ausgetauscht werden konnten. (Heimbold 2015, S. 43-44)

Mit der Entwicklung der beschriebenen Automatisierungsstrukturen erfolgte auch die Gliederung des Produktionssystems in aufeinander aufbauende Hierarchieebenen. In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze hinsichtlich Strukturierung und Anzahl sowie Zugehörigkeit der Hierarchieebenen zu finden (vgl. Beuschel 1994, S. 21-25; Langmann 1996, S. 34-35; Lauber und Göhner 1999, S. 39; Heimbold 2015, S. 36; Heinrich und Glöckler 2015, S. 4; DIN EN 62264-1 2014, S. 16-17). Die Autoren haben bei ihrer Darstellung der Hierarchien verschiedene Aspekte herausgearbeitet, wie bspw. typische Aufgaben und Funktionen (Beuschel 1994, S. 24; Langmann 1996, S. 36; Heimbold 2015, S. 36), technologische Einheiten (Beuschel 1994, S. 25), verwendbare Gerätetechnik (Langmann 1996, S. 36), Informationen/Daten (Heimbold 2015, S. 36), zugeordnete Netzwerktopologie (Heimbold 2015, S. 109) oder Verarbeitungszeiten (Zeichen und Fürst 2000, S. 26; Heimbold 2015, S. 28; DIN EN 62264-1 2014, S. 16) auf den jeweiligen Hierarchieebenen. Eine Übersicht über einen Teil der genannten Aspekte wurde von Kropik (2009, S. 62) zusammengestellt.

Allmählich hat sich die pyramidale Darstellung durchgesetzt. Mit dieser Illustrationsform wird einerseits die hierarchische Abhängigkeit der einzelnen Ebenen dargestellt und andererseits die sich potenzierende Verteilung der verwendeten Gerätetechnik von der oberen bis zur unteren Hierarchieebene veranschaulicht. Diese hierarchisch aufgebaute Grundordnung wird von Arnold und Furmans (2009, S. 7) anhand der Steuerungsaufgaben innerhalb eines Materialflusssystems verdeutlicht.

Heimbold (2015, S. 36-38) hat sich bei der Darstellung des Ebenenmodells auf fünf Hierarchieebenen festgelegt (Abbildung 2.1). Auch Heinrich und Glöckler (2015, S. 4-5) arbeiten mit fünf Hierarchieebenen bei der Skizzierung des Ebenenmodells. Beide Darstellungen orientieren sich an der Purdue Enterprise Reference Architecture, welche auch der Norm DIN EN 62264-1 zugrunde liegt. Durch die Differenzierung in mehrere Ebenen werden die unterschiedlichen Anforderungen und Aufgabenbereiche verdeutlicht. Die folgende Auflistung zeigt eine genauere Darstellung der Funktionsinhalte der einzelnen Ebenen:

- **Unternehmensleitebene:** Dieser Ebene sind alle Aktivitäten zugeordnet, die zur Führung eines Betriebes erforderlich sind. Insbesondere umfasst sie die *strategische* Personal-, Investitions- und Produktionsplanung, um die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsbetriebes zu sichern (Heinrich und Glöckler 2015, S. 4). Diese Ebene kann durch Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme) unterstützt werden (Kropik 2009, S. 62).
- **Produktionsleitebene:** In dieser Ebene laufen die Prozesse ab, die einen reibungslosen Betriebsablauf sichern. Hierzu gehört zunächst die Feinplanung der Produktion und die Auftragsverwaltung (Heinrich und Glöckler 2015, S. 5). Außerdem werden auf dieser Ebene Steuerungsaufgaben wahrgenommen. Die Ebene stellt somit ein Bindeglied zwischen Planung und Produktion dar (Kropik 2009, S. 61-62). Die adressierten Aufgaben werden von einem Manufacturing Execution System (MES) übernommen, welches auf die Informationen und Daten aus übergeordneter Ebene angewiesen ist und Störungen im Betrieb an ebendiese übermittelt.
- **Prozessleitebene:** Auf dieser Ebene findet die Zusammenführung der Daten aus untergeordneten Ebenen statt. Bei Störungen oder Ausfällen übernimmt die Prozessleitebene eine koordinierende Funktion (Langmann 1996, S. 36). Zusätzlich wird in dieser Ebene die Protokollierung und Archivierung der Messwerte vorgenommen (Heimbold 2015, S. 37). Die Aufgaben dieser Ebene werden durch Supervisory-Control-and-Data-Acquisition-Systeme unterstützt.

- **Steuerungsebene:** Hier findet die Steuerung und Bedienung der einzelnen Maschinen statt. Des Weiteren werden auf dieser Ebene immer mehr Funktionen wie Beobachten, Regeln und Kommunizieren durchgeführt. Zur Steuerung und Regelung der Maschine kommt eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zum Einsatz. (Arnold und Furmans 2009, S. 7)
- **Feldebene:** Diese Ebene beinhaltet die Aktoren und Sensoren, die für die Erfassung der Prozessdaten notwendig sind. Hier findet auch die Signalaufbereitung und die Anpassung des Prozesses als Reaktion auf ebendiese statt (Beuschel 1994, S. 24). Die Feldebene ist das Verbindungsstück zwischen dem technischen Prozess und der übergeordneten Prozesssteuerung. Eine Anforderung ist, dass Datenmengen in kurzer Reaktionszeit an die übergeordneten Systeme übertragen werden können (Heimbold 2015, S. 28).

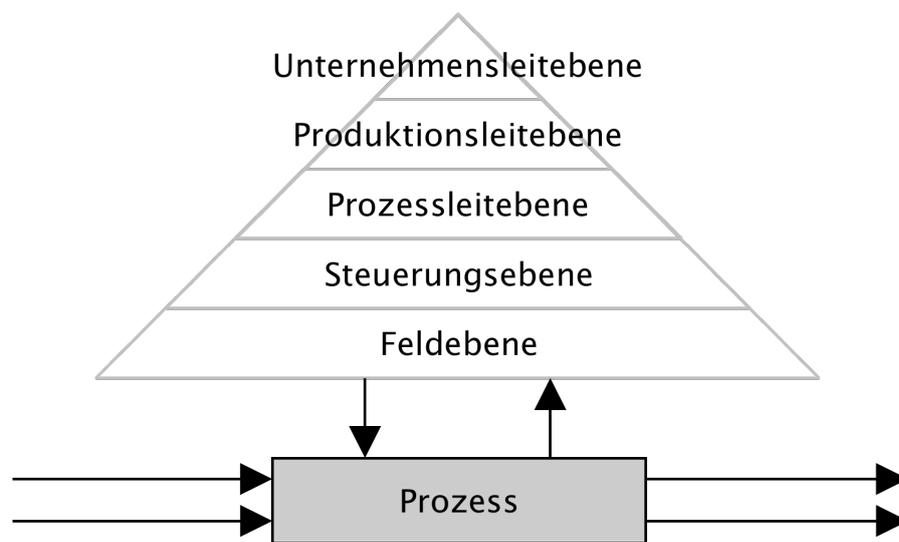


Abbildung 2.1: Automatisierungspyramide (Heimbold 2015, S. 36)

Da die Hierarchieebenen der Automatisierungspyramide unterschiedliche Aufgaben übernehmen, gibt es verschiedene Anforderungen an die verwendeten Systeme zum Informationsaustausch zwischen den Ebenen. Während auf höheren Ebenen größere Datenmengen verarbeitet werden und die Relevanz der Verarbeitungszeit niedrig ist, werden auf niedrigen Ebenen kurze Reaktionszeiten gefordert, da kleinere Datenmengen verarbeitet werden. Somit entstehen beim Betrieb von Anlagen Echtzeitanforderungen.

2.1.2 Zentrale Steuerung von hierarchischen Produktionssystemen

Wie in Unterabschnitt 2.1.1 bereits erwähnt, übernimmt die Produktionsleitebene im Ebenenmodell eine vermittelnde Funktion zwischen Planung und Produktion und führt sowohl Planungs- als auch Steuerungsaufgaben durch; bspw. wird hier einerseits die Grobplanung der Unternehmensleitebene in eine Feinplanung überführt (Heimbold 2015, S. 36-37) und andererseits findet auf dieser Ebene die Produktionssteuerung statt, was die Verwaltung und Abarbeitung der Lieferaufträge einbezieht (Langmann 1996, S. 36).

Automatisierten Produktionssystemen ist also gemein, dass die Planung und Steuerung des Produktionsablaufes zentral in der Produktionsleitebene erfolgt. Die Aufgaben dieser Hierarchieebene werden durch den Einsatz von MES unterstützt. Obwohl auf der Unternehmensleitebene Planungsaufgaben, unterstützt durch ERP-Systeme, wahrgenommen werden, sind diese nicht mit MES zu vergleichen. Sie heben sich von ERP-Systemen durch

die Anbindung zur Automatisierungsebene und der Einbeziehung der Maschinen- und Anlagensteuerung ab (Berres u. a. 2006, S. 25). Dies kann auch mit der zeitlichen Prozessgebundenheit dargestellt werden. Die Unternehmensleitebene agiert nicht prozess-, sondern produktgebunden (Beuschel 1994, S. 24), und bestimmt mit durchschnittlichen Kapazitäten die Auftragslast (Berres u. a. 2006, S. 25). Demgegenüber existiert auf den darunterliegenden Hierarchieebenen eine Prozessgebundenheit, die weiter in prozessfern, prozessnah und prozessgebunden differenziert werden kann. Eine genaue Zuordnung zu den einzelnen Ebenen ist nicht möglich; es gibt fließende Übergänge zwischen Produktionsleit-, Prozessleit- und Steuerungsebene.

Der Einfluss auf den technischen Prozess lässt sich auch an den Funktionen (Funktionsbereichen) ablesen, die der Produktionsleitebene zugeordnet sind (Unterabschnitt 2.1.1, S. 5). Kropik (2009, S. 102) bezieht sich bei der Beschreibung von Produktionsleitsystemen und den zugeordneten Funktionsbereichen auf die Automobilfertigung. Seine Angaben lassen sich aber auch im Allgemeinen auf Systeme der Produktionsleitebene übertragen, was die Überschneidung mit den MES-Funktionsgruppen zeigt (vgl. Berres u. a. 2006, S. 25-26), die die *Manufacturing Enterprise Solutions Association* zusammengestellt hat.

2.2 Zukunftsorientierte Automatisierungskonzepte

In Abschnitt 2.1 wurden Steuerungssysteme in hierarchisch aufgebauten Produktionssystemen entsprechend der Automatisierungspyramide dargestellt. Dieses hierarchische Ebenenmodell in Produktion und Logistik steht vor einem grundlegenden Wandel. Eine zunehmende Digitalisierung der Produktion und die Kombination mit sich gut weiterentwickelnden Internettechnologien führt zu einer Revolution in der Produktion und der produktionsnahen Intralogistik.

Diese Entwicklung ist durch die Bezeichnung *4. Industrielle Revolution (Industrie 4.0)* geprägt, die im Folgenden näher erläutert werden soll. Hier wird auch auf Begriffe, die in der Literatur mit der Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden, eingegangen. Ein wesentlicher Bestandteil und Treiber der Industrie 4.0 ist das IdD als Internettechnologie. Diese Internettechnologie wird in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise erklärt.

2.2.1 Industrie 4.0

Die Bezeichnung „Industrie 4.0“ ist ein Sammelbegriff für viele gegenwärtige Entwicklungen, die nicht konkret voneinander abgegrenzt werden können. Im Folgenden sollen einige dieser neuen Konzepte erklärt und deren Unterschiede aufgezeigt werden:

- **Smart Factory:** Die Smart Factory zeichnet sich durch ihre Kontextsensitivität aus. Das bedeutet, dass Systeme und Anwendungsprogramme Informationen aus ihrer Umgebung nutzen, um Menschen und Maschinen bei der Arbeitsverrichtung zu unterstützen. Hiermit unterscheiden sie sich von herkömmlichen Systemen und Anwendungsprogrammen, die bisher in Fabriken eingesetzt wurden. Sie verbinden Informationen aus der physischen und virtuellen Welt. Die Position von Werkstücken oder der Zustand von Werkzeugen sind Informationen der physischen Welt; im Gegensatz dazu handelt es sich bei elektronischen Dokumenten oder Simulationsmodellen um Informationen der virtuellen Welt. (Lucke, Constantinescu und Westkämper 2008, S. 115-116)

- **Swarm Automation:** Swarm Automation bezeichnet ein Konzept der Interaktion vieler kleiner, autonomer Einheiten, die das Verhalten von Schwärmen nachempfinden. Hierbei kommunizieren die einzelnen Einheiten untereinander und interagieren mit ihrer Umwelt. Der Aktionsraum der autonomen Einheiten ist dabei nicht auf physische Räume begrenzt, sondern wird auf den Bereich der virtuellen Welt erweitert. Eine Herausforderung bei der Steuerung solcher Schwärme ist, dass nicht versucht wird, einzelne Einheiten oder Agenten im Schwarm zu beeinflussen, sondern immer die Schwärmdynamik und das Gruppenverhalten berücksichtigt werden. (Lee und Seppelt 2009, S. 430)
- **Cyber-Physical System (CPS):** Ein CPS zeichnet sich durch die Integration der physischen und virtuellen Welt aus. Dies betrifft sowohl die Produkt- als auch die Produktionsebene, sodass seine physische oder virtuelle Darstellung nicht mehr differenziert werden kann. Lasi u. a. (2014, S. 262) führen hierzu ein Beispiel aus dem Bereich des Instandhaltungsmanagements an: Mechanische Komponenten unterliegen einem physischen Verschleiß. Zu diesen Bauteilen findet bspw. eine digitale Datenerfassung hinsichtlich Einsatzzeiten oder Belastung statt. Der reale Status des Elementes setzt sich aus der physischen Komponente und deren digital erfassten Zusatzdaten zusammen - die enge Vernetzung der physischen Welt mit der digitalen Ebene führt dazu, dass eine Trennung zwischen diesen beiden nicht mehr ohne Weiteres möglich ist (Broy 2010, S. 26).
- **IdD:** Neue Anforderungen und Entwicklungen in der Steuerung von Produktions- und Materialflusssystemen fordert die Abflachung der hierarchischen Automatisierungspyramide. Systeme sollen dabei in einzelne modulare Einheiten zerlegt werden, die autonom agieren, kooperieren und die Aufgaben der Automatisierungspyramide übernehmen. Das IdD dient dazu, die Vernetzung der einzelnen modularen Einheiten zu ermöglichen, sodass sich die intelligenten Objekte untereinander koordinieren und abstimmen können. Es soll nach dem Vorbild des Internets aufgebaut sein. (Günthner, Chisu und Kuzmany 2010, S. 46)

Die dargestellten Konzepte weisen große Überschneidungen auf und lassen sich nicht konkret voneinander trennen. Sie beeinflussen Technologien, Systeme und Prozesse sowie die komplexe Interaktion dieser Elemente. Ein zentrales Merkmal dieser Entwicklung ist, dass eine Integration von Produktionstechnologien und Produkten sowie eine Verknüpfung mit beteiligten Bausteinen und Teilsystemen stattfindet. Dies geschieht unter der Nutzbarmachung von Internettechnologien (Köhler, Six und Michels 2015, S. 18), zu denen auch das Internet der Dinge zählt.

2.2.2 Das Internet der Dinge

Die Aufgabe des Internets besteht darin, innerhalb einer volatilen Topologie für die zeitgerechte und korrekte Übertragung von Datenpaketen zu sorgen. Materialflusssysteme erfüllen eine ähnliche Aufgabe unter gleichen Bedingungen, wie bspw. dem zeitgerechten und korrekten Transport von Transporteinheiten. Hierbei hat das Internet durch seinen dezentralen Aufbau Vorteile hinsichtlich Flexibilität, Robustheit und Skalierbarkeit eines Systems (Chisu 2010, S. 19). Demgegenüber weisen heutige Materialflusssysteme eine stark ausgeprägte Steuerungshierarchie auf, wie bereits in Unterabschnitt 2.1.2 beschrieben.

Da die genannten Eigenschaften des Internets auch in heutigen Materialflusssystemen eine hohe Relevanz besitzen, wird einer Adaption des Steuerungsprinzips des Internets in Kombination mit Technologien aus dem Bereich der Radio-Frequency Identification (RFID) ein großes Potenzial innerhalb der Intralogistik beigemessen (Kuzmany 2010, S. 55). Chisu (2010, S. 21-23) und Kuzmany (2010, S. 55-57) führen hierzu eine Analogie zwischen Materialflusssystemen und dem Internet an. Der Vergleich zwischen Datenpaketen und

Transporteinheiten sowie Router, Netzwerk und Materialflusstechnik soll dabei die Basis für einen neuen Ansatz in der Materialflussteuerung sein (Abbildung 2.2).

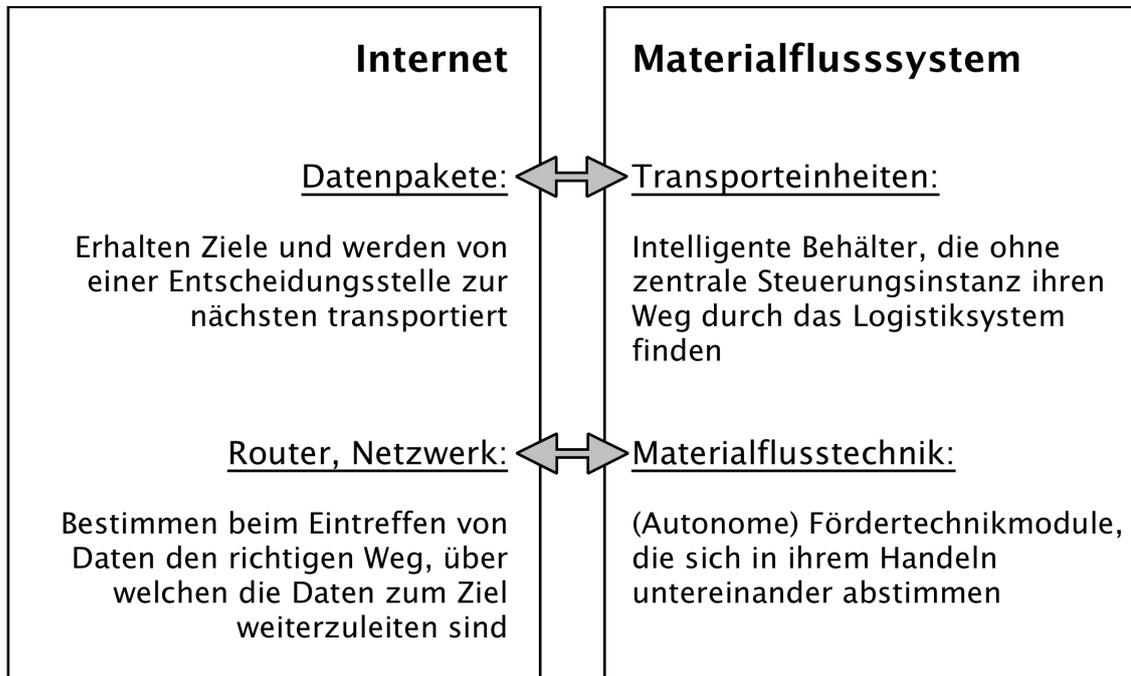


Abbildung 2.2: Analogie zwischen Internet und Materialflusssystemen (Kuzmany 2010, S. 56; Chisu 2010, S. 22)

Zentrales Merkmal des IdD in der Intralogistik ist, dass der Transport der Transporteinheiten selbstständig und autonom durch die Transporteinheiten organisiert wird. Während im Internet die Datenpakete neben den Nutzdaten mit Headern ausgestattet sind, über die Zieladresse, Sequenznummer etc. mitgeteilt werden können, werden Transporteinheiten auch mit zusätzlichen Informationen ausgestattet (Abbildung 2.3). Als Einsatzmöglichkeiten bestehen dabei sowohl die Verwendung von Barcodes als auch die Nutzung von RFID-Chips. Während beim Einsatz von Barcodes entsprechende Daten nach der Identifizierung aus der zentralen Datenbank abgerufen werden müssen (Data-on-Network), können auf einem RFID-Chip die Daten direkt an der Transporteinheit gespeichert werden (Data-on-Tag). Über die Funktionalität der Transporteinheit hinaus, durch enthaltene Ziel-Informationen autonom und selbstorganisiert ebendieses zu erreichen, müssen die Transporteinheiten entgegen dem passiven Charakter von Datenpaketen aktiv in den Prozess eingreifen oder steuernde Aufgaben übernehmen. Hierfür ist den Transporteinheiten eine eigene Steuerungslogik, wie bspw. ein Softwareagent, zuzuweisen, der komplexe Abläufe und die Abarbeitung von Aufträgen verschiedenster Art überwacht (Abbildung 2.3).

In dieser Übertragung der Steuerungsarchitektur erfüllen Fördertechnikmodule die Aufgabe der Router und Datenleitungen im Internet. In gleicher Weise, wie Router im Internet Aufgaben, wie z. B. die gleichmäßige Aufteilung der Datenpakete oder die Wegbestimmung, übernehmen, soll die Materialflusstechnik die Routenfindung für eine Transporteinheit gleichfalls autonom leiten. Die einzelnen Module der Fördertechnik werden hierfür ebenfalls wie die Transporteinheiten zur Erfüllung ihrer Aufgaben mit intelligenten Softwareagenten ausgestattet. Somit können die einzelnen Elemente der Fördertechnik miteinander kommunizieren und die Abarbeitung von Aufträgen ohne zentrale Steuerungsinstanz lenken.

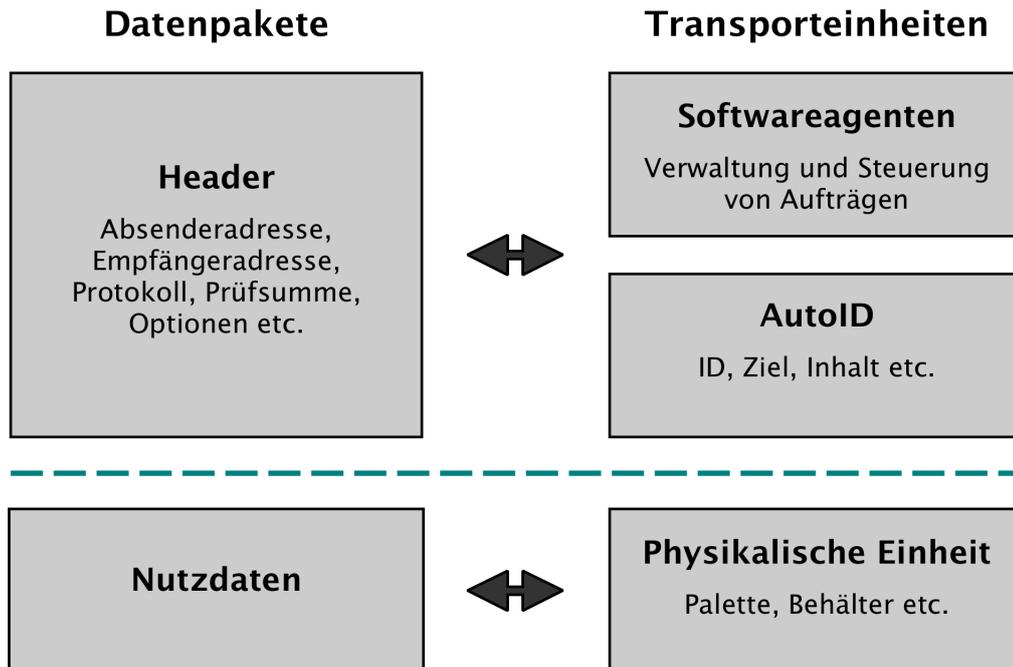


Abbildung 2.3: Analogie zwischen Datenpaketen und Transporteinheiten (Chisu 2010, S. 23)

2.2.3 Die Bausteine für das Internet der Dinge in der Intralogistik

Wie in Unterabschnitt 2.2.2 bereits beschrieben, existieren im IdD Materialflusselemente und Transporteinheiten, die über Technologien aus dem Bereich der automatischen Identifikation und Datenerfassung (autoID) identifiziert werden können. Damit weitere Funktionalitäten, wie z. B. Optimierung, Visualisierung oder Koordination, die nicht von einzelnen Transporteinheiten oder Fördertechnikmodulen übernommen werden, in Materialflusssystemen realisiert werden können, werden Dienste benötigt, die in Form eines Softwareagenten die erweiterten Funktionalitäten in einem Materialflusssystem übernehmen. Um ein entsprechendes System zu steuern, sind im IdD somit drei verschiedene Entitätstypen notwendig, die sich wie folgt gliedern lassen:

- Transporteinheiten
- Module
- Dienste

Diesen Entitäten werden jeweils eigene Softwareagenten zugeordnet. Damit sind sie mit einer Intelligenz ausgestattet, die sie autonom handeln und mit anderen Entitäten koordinierend und kooperierend interagieren lässt, um auf diese Weise die übertragenen Aufgaben zu erfüllen.

Transporteinheiten

Die Transporteinheit ist die kleinste logistische Einheit, die in einem Materialflusssystem separat gehandhabt werden kann. Diese muss durch den Einsatz von autoID-Technologien eindeutig zu identifizieren sein; entweder per Barcode oder RFID-Chip. Dabei werden die zwei verschiedenen Speicherungsprinzipien Data-on-Tag (RFID-Chip) und Data-on-Network (Barcode) unterschieden. Es sollte immer der Ansatz verfolgt werden, möglichst viele Informationen direkt an der Transporteinheit zu speichern, um so den Kommunika-

tionsaufwand weitestgehend zu reduzieren. Dazu bietet sich der Einsatz von RFID-Chips an. Zumindest sollten die Zieladresse, mögliche Zwischenziele und Bearbeitungsstationen direkt an der Transporteinheit verfügbar sein.

Alle Informationen, die nicht direkt an der Transporteinheit gespeichert werden können, müssen in Form eines Softwareagenten verwaltet werden. Die Softwareagenten werden dann gemeinsam auf einem Server-PC ausgeführt. Hierbei könnte es sich z. B. um Packmuster in der Transporteinheit oder geometrische Angaben für die Lastübergabe handeln. Als weitere Möglichkeit wird die Migration der Agenten durch das System hindurch genannt (vgl. Chisu 2010). Hierbei wird der Agent immer direkt an das entsprechende Modul übergeben, auf dem sich die Transporteinheit befindet.

Durch die zusätzliche Ausstattung der Transporteinheit mit einem Softwareagenten besitzt sie die Fähigkeit, neben dem Speichern von Informationen und Prozessdaten auch Dienstleistungen von Elementen der Fördertechnik in Anspruch zu nehmen. Somit kann sie die Erfüllung der ihr übertragenen Aufgaben unabhängig von einer übergeordneten Steuerungsinanz verfolgen.

Module

Module im IdD sind Elemente der Materialflusstechnik, die sich durch autonomes Agieren auszeichnen. Sie sind jeweils mit eigenen Recheneinheiten ausgestattet, können aber auch wie die Transporteinheiten als Softwareagenten auf einer gemeinsamen Plattform ausgeführt werden, um somit die Kosten für die Hardware zu senken. Die Module sind dadurch gekennzeichnet, dass sie jeweils genau eine logistische Grundfunktion erfüllen: Fördern/Transportieren, Verteilen/Zusammenführen, Lagern und Handhaben (Arnold und Furmans 2009, S. 1). Somit können die Elemente des Materialflusses in die folgenden fünf Funktionsklassen eingeteilt werden (Libert, Chisu und Luft 2010, S. 102):

- Stetigförderer
- Unstetigförderer
- Verzweigung, Zusammenführung
- Lagerfach
- Arbeitsstation

Die Module müssen dabei Aufgaben aus zwei verschiedenen Bereichen übernehmen, die sie konkret von den Transporteinheiten abgrenzen. Dabei entstehen zwei Anforderungen an die Steuerungslogik der Module (Chisu 2010, S. 26):

- Steuerung und Überwachung erfordert Echtzeitfähigkeit der Hard- und Software
- Interaktion der Entitäten erfordert komplexe Logik und Kommunikation

Es wird als sinnvoll erachtet, diese zwei Bereiche mit darauf ausgerichteten Werkzeugen und Programmiersprachen umzusetzen. Das Resultat ist eine 2-Schichten-Architektur, in der einerseits ein Softwareagent für die Interaktion und Kommunikation mit anderen Entitäten sorgt, und andererseits die Maschinensteuerung die Überwachung und Steuerung der Eingangs- und Ausgangssignale übernimmt. (Chisu 2010, S. 27)

Dienste

Neben den Transporteinheiten und Modulen existieren als weitere Entität die Dienste. Sie werden als reine Software-Programme realisiert und übernehmen im IdD Aufgaben, die weder einer Transporteinheit noch einem Modul zugeordnet werden können. Hinsicht-

lich der erwähnten Aufgaben handelt es sich vorrangig um Funktionen zur Koordination, Optimierung, Überwachung und Visualisierung des Produktionssystems.

Als mögliche Dienste kämen z.B. eine Visualisierungsumgebung, eine Datenaustauschplattform oder ein Verkehrsleitsystem infrage, mit dem Ziel, die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Entitäten und mit menschlichen Bedienern zu unterstützen.

2.2.4 Aktuelle Forschungsarbeiten

Wie die Kommunikation und Steuerung in Produktionssystemen mit einem IdD-Konzept aussehen kann, wurde bereits grundlegend von Chisu (2010) herausgestellt. Des Weiteren hat sich Kuzmany (2010) der Konzeption von Modulen für das IdD gewidmet. Im Folgenden werden verschiedene Aspekte aus beiden Forschungsarbeiten, die für diese fachwissenschaftliche Projektarbeit relevant sind, hervorgehoben.

Chisu – „Kommunikations- und Steuerungsstrategien für das Internet der Dinge“

Zunächst wird von Chisu (2010, S. 19-24) die prinzipielle Funktionsweise des IdD beschrieben; hierbei geht er auch auf die darin existierenden grundlegenden Entitäten *Transporteinheiten*, *Module* und *Dienste* ein. Als Basis für die Entwicklung einer Softwarearchitektur wird eine Klassenhierarchie über die Elemente des IdD entworfen (Abbildung A.1 im Anhang).

Darauf aufbauend wird zunächst eine Domänenontologie der Begriffe für das IdD entwickelt (Chisu 2010, S. 53-55). Da in der Domänenontologie nur die Begriffe für das IdD und deren statische Beziehung zueinander beschrieben werden, wird zusätzlich eine Kommunikationsontologie definiert, um die tatsächliche Interaktion zwischen den Entitäten zu beschreiben (Chisu 2010, S. 56-58).

Das entwickelte Kommunikationskonzept dient als Basis für die Herleitung eines Steuerungskonzeptes für das IdD. Dabei sind folgende zwei Aspekte für diese fachwissenschaftliche Projektarbeit von besonderer Relevanz (Chisu 2010, S. 87):

- Zielbestimmung und Auftragsdisposition
- Wegplanung und Transport

Zunächst einmal sind Transporteinheiten intelligente Objekte, die das Abarbeiten der ihnen übertragenen Aufgaben autonom und selbstständig übernehmen. Ein Schritt eines Arbeitsplans verweist dabei immer auf eine spezielle Funktion, die von einem oder mehreren Modulen angeboten wird. Hierbei werden Verzeichnisse eingesetzt, in denen die einzelnen Module registriert und ihre jeweiligen Funktionen hinterlegt sind. Zum Zweck der Inanspruchnahme der Funktion eines Moduls durchsucht die Transporteinheit das entsprechende Verzeichnis nach der benötigten Funktion und kann das jeweilige Modul direkt kontaktieren. (Chisu 2010, S. 88)

In den Modulen können weitere Informationen, wie bspw. die Kosten der Funktionserbringung, hinterlegt sein. Wenn folglich mehrere Module die gleiche Funktion anbieten, kann mit den Informationen über die Kosten der Funktionserbringung in Form einer Auktion eine bestmögliche Auswahl getroffen werden (Chisu 2010, S. 90-91). Dabei ist zu beachten, dass im Rahmen einer Kostenberechnung neben den Kosten für die reine Funktionserbringung durch ein Modul auch die Transportkosten zu betrachten sind. Hierzu wird eine Wegplanung zu allen möglichen Zielmodulen durchgeführt und die berechneten Pfade bewertet. Die Berechnung dieser Pfade unterliegt einer gewissen Unschärfe. Es sei erwähnt, dass sie in diesem Fall lediglich dazu dient, das bestmöglich zu erreichende Ziel zu identifizieren, und nicht für die Durchführung einer konkreten Routen- und Transportplanung für eine Transporteinheit verwendet wird. Eine genauere Berechnung der Transportkosten

könnte durch die einzelnen Module der Fördertechnik erfolgen; jedoch würde auch hier nur der aktuelle Zustand der Materialflussanlage betrachtet – Veränderungen von verschiedenen Faktoren im Verlauf des Transportes können auch in diesem Fall die Transportkosten stark beeinflussen. (Chisu 2010, S. 89-90)

Bei der konkreten Wegplanung können im Anschluss daran zwei Prinzipien unterschieden werden. Einerseits kann die Wegplanung der Transporteinheit zugeordnet werden, andererseits ist es möglich, die Wegplanung der Transportinfrastruktur zu übertragen. Letzteres würde einer ähnlichen Funktionsweise wie dem Internet entsprechen. (Chisu 2010, S. 103)

Grundsätzlich verfügen Transporteinheiten über die notwendige Funktionalität zur Wegplanung, da sie sie bereits bei der Zielbestimmung und Auftragsdisposition einsetzen und so das günstigste Zielmodul bestimmen. Jedoch würde die Übertragung der konkreten Wegplanung auf die Transporteinheit eher einer zentralen Steuerung entsprechen. Die Transporteinheiten müssten in diesem Fall neben der Anlagentopologie auch alle Spezifika und Verfahrensweisen des jeweiligen Systems kennen – die Vorteile gegenüber aktuellen Automatisierungssystemen wären somit nur noch von geringem Ausmaß. Deshalb sind die Aufgaben der Wegplanung und Transportdurchführung auf die Module der Fördertechnik zu übertragen. (Chisu 2010, S. 103-104)

Kuzmany – „Konzeption und Entwicklung von Modulen für das Internet der Dinge“

Auch Kuzmany (2010, S. 53-60) geht zunächst auf die grundsätzliche Funktionsweise des IdD ein, widmet sich dann aber der konkreten Entwicklung von Modulen im IdD. Nachdem er die Vorgehensweise und die betrachteten Funktionsklassen innerhalb der Module dargestellt hat (Kuzmany 2010, S. 61-76), wird der grundsätzliche Aufbau von Modulen und deren Steuerung beschrieben.

Die Module sind zunächst in eine mechanische und eine steuerungstechnische Ebene unterteilt. Auf der mechanischen Ebene befinden sich die Aktoren und Sensoren. Die steuerungstechnische Ebene wird dann durch einen Softwareagenten mit einer 2-Schichten-Architektur realisiert (Kuzmany 2010, S. 77). Die obere Schicht des Softwareagenten übernimmt dabei die strategische Steuerung. Diese ist für die eigentliche Kommunikation der Module untereinander verantwortlich. Des Weiteren werden der strategischen Steuerung auch Aufgaben für bestimmte Materialflussstrategien (z. B. Sortieren) oder die Wegplanung in Abhängigkeit der Auslastung zugeordnet (Kuzmany 2010, S. 79). Die untere Schicht des Softwareagenten übernimmt dann die operative Steuerung. Sie ist für die Verarbeitung der Eingangs- und Ausgangssignale verantwortlich und kommuniziert mit der mechanischen Ebene. Die operative Steuerung wird außerdem durch eine Sicherheitssteuerung erweitert, die für die Ermittlung besonderer Gefahrensituationen oder kritischer Systemzustände verantwortlich ist (Kuzmany 2010, S. 78-79).

Neben dem grundlegenden Aufbau der Module wird auch die Steuerung der Module und die Umsetzung ebendieser thematisiert. Dazu werden von Kuzmany (2010, S. 87-90) zunächst Anforderungen an die entsprechende Hardware gestellt. Im Anschluss daran werden aufbauend auf dem vorher entwickelten Softwarearchitektur-Konzept vier mögliche Entwürfe für die Konzeptionierung der Steuerungshardware dargestellt. Die entwickelten Konzepte sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden (Kuzmany 2010, S. 91-93):

- **Konzept I: Einsatz einer SPS**

Das Materialflusssystem wird auf Basis der SPS-Technologie aufgebaut; sowohl die Agentenebene als auch die Maschinensteuerungsebene werden darauf implementiert.

- **Konzept II: Einsatz eines Embedded-PC ohne Soft-SPS**

Agenten- und Maschinensteuerungsebene werden durch den Embedded-PC auf einer Plattform vereint. Eine Herausforderung dabei ist, die Echtzeitfähigkeit des Systems aufrechtzuerhalten.

- **Konzept III: Kombination aus PC und SPS**

Der PC deckt die Agentenebene ab; die Kommunikation zur SPS kann dann über ein Feldbussystem realisiert werden. Diese Lösung führt dazu, dass es zu einem hohen Kommunikationsaufwand zwischen PC und SPS kommt.

- **Konzept IV: Einsatz eines Embedded-PC mit Soft-SPS**

Ein Embedded-PC mit Soft-SPS verfügt einerseits über ein normales Betriebssystem und andererseits über ein SPS-Betriebssystem. Diese Variante gleicht die Nachteile der beiden vorherigen Konzepte aus, sodass die Agentenebene im herkömmlichen Betriebssystem implementiert und die Maschinensteuerung auf der Soft-SPS umgesetzt wird.

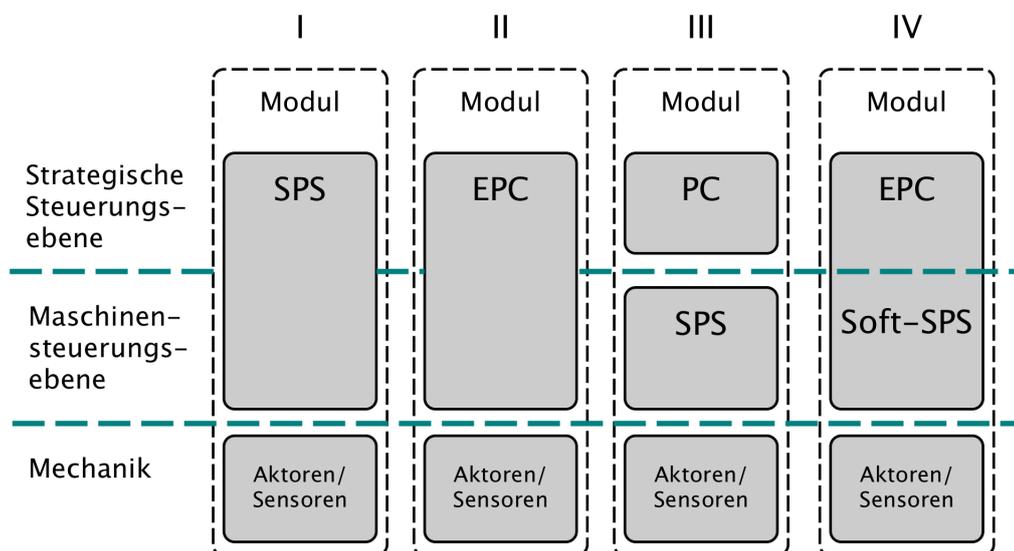


Abbildung 2.4: Hardwarekonzepte für das IdD (Kuzmany 2010, S. 91)

Das Konzept eines Embedded-PC mit Soft-SPS erfüllt die von Kuzmany (2010, S. 93) aufgestellten wirtschaftlichen und technischen Anforderungen sowie die Anforderungen an die Benutzerfreundlichkeit am besten und wird als Grundlage für das IdD empfohlen. Bei einer Entscheidung über die Implementierung müssen aber auch die Kosten und die Komplexität des umzusetzenden Systems einbezogen werden, sodass ggf. auf ein alternatives Hardwarekonzept zurückgegriffen werden muss (Kuzmany 2010, S. 93).

3 Veranschaulichung der Automatisierungskonzepte in der Modellfabrik

Nachdem in Kapitel 2 herkömmliche und zukunftsgerichtete Automatisierungskonzepte vorgestellt wurden, wird im folgenden Kapitel erarbeitet, wie eine Modellfabrik entsprechend des IdD betrieben werden kann. Dazu wird die Modellfabrik zunächst in seinem bisherigen Aufbau und seiner Steuerung dargestellt. In diesem Zusammenhang wird die derzeitige Umsetzung eines klassischen Automatisierungskonzeptes mit hierarchischem Aufbau in der Modellfabrik verdeutlicht.

Daraufhin wird ausgeführt, wie die Modellfabrik modifiziert werden muss, damit sie nach einem zukunftsorientierten, auf dem IdD basierenden, Automatisierungskonzept betrieben werden kann. Auch hier wird auf die ausgeführten Vorarbeiten zurückgegriffen.

3.1 Aktuelles Automatisierungskonzept in der Modellfabrik

Die Modellfabrik ist die Ausgangsbasis für die Entwicklung eines zukunftsorientierten Steuerungskonzeptes. Zum grundlegenden Verständnis wird zunächst der Aufbau der Fabrik beschrieben. Hierbei wird auch auf die Ausrichtung des Materialflusses eingegangen. Darauf aufbauend wird das aktuelle Steuerungskonzept an einem Ausschnitt aus der Modellfabrik dargestellt. Dabei wird ganz konkret der hierarchische Aufbau des Steuerungskonzeptes thematisiert.

3.1.1 Aufbau der Modellfabrik

Die Modellfabrik in ihrem bisherigen Aufbau und ihrer derzeitigen Ausstattung ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Das System besteht aus einem Eingangslager, Transport- und Fertigungsbändern, Drehtischen, Pushern, zwei Schienen-Transportsystemen mit Querverschiebewagen, einer Schweiß- und einer Fertigungsabteilung, einem Portalkran sowie einem Hochregallager (HRL). Neben den fördertechnischen Anlagen und Maschinen ist die Modellfabrik mit Motoren, Tastern, Lichtschranken, Initiatoren und Reedkontakten ausgestattet, um die Fabrik entsprechend steuern zu können. Des Weiteren ist ein Barcode-Leser zur Identifikation der Werkstücke integriert.

In Abbildung 3.1 ist zunächst deutlich zu sehen, dass in der Modellfabrik kein gerichteter Materialfluss vorliegt. Bis auf wenige Ausnahmen kann in der Modellfabrik ein Großteil der Transport- und Fertigungsbänder in beide Richtungen betrieben werden. Ausschließlich die Transportbänder zur Ein- (TB 42.1) bzw. Auslagerung (TB 42.2) im HRL und das Transportband zum Versand (TB 42.3) haben eine eindeutige Förderrichtung. Zusätzlich ist ein Portalkran installiert worden, dessen Aktionsbereich in Abbildung 3.1 grau hinterlegt ist.

Das Eingangslager besteht aus vier Auslagerungstürmen; über diese treten die Werkstücke als Rohmaterialien in das Materialflusssystem ein. Die weitere Beförderung im System erfolgt über die Transport- und Fertigungsbänder, die Schienen-Transportsysteme und den

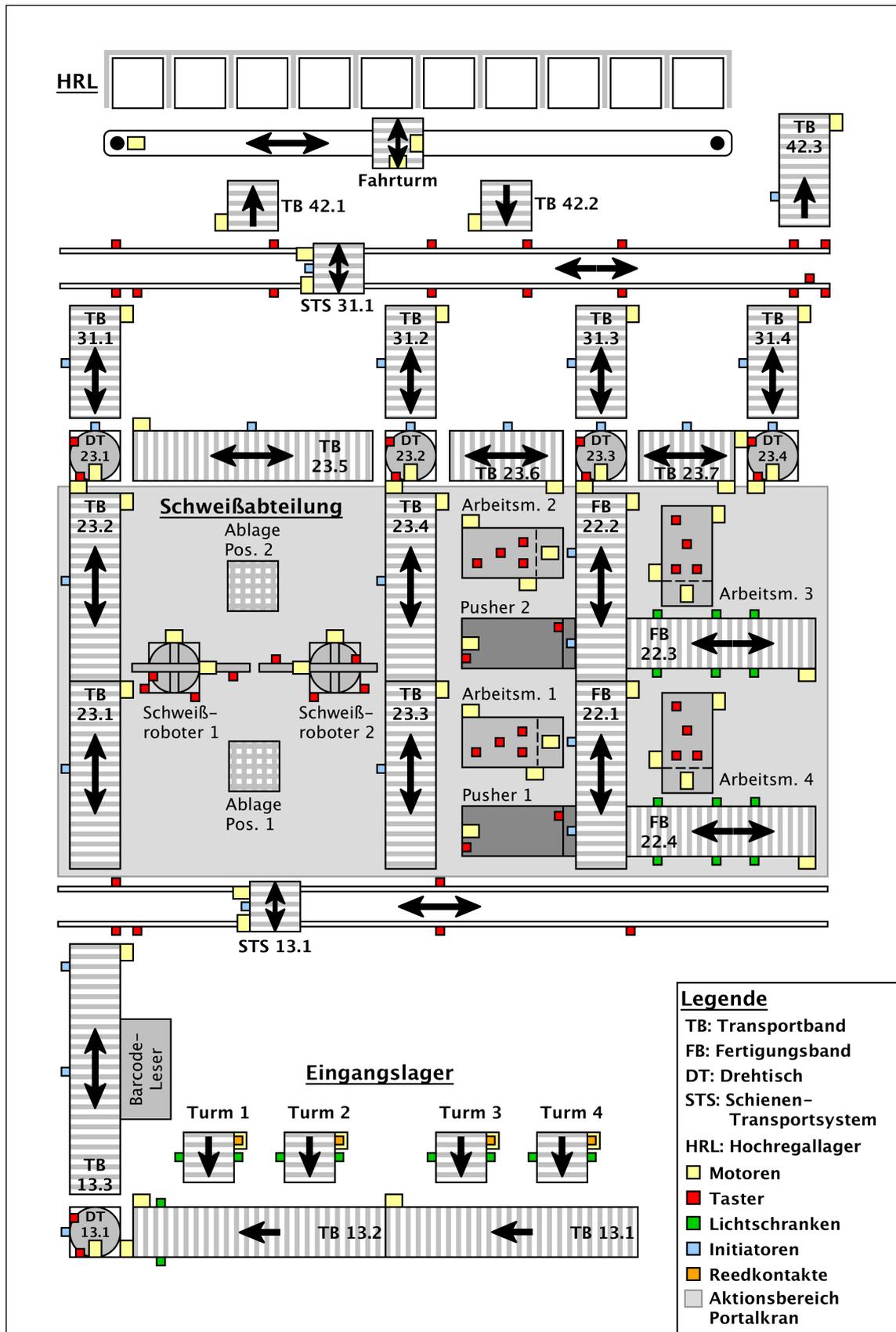


Abbildung 3.1: Aufbau der Modellfabrik

Portalkran. Der Barcode-Leser sorgt kurz nach Eintritt des jeweiligen Werkstücks in das Materialflusssystem für dessen eindeutige Identifizierung. Dies ist notwendig, da die Bearbeitungsaufgaben und die Reihenfolge ebendieser zwischen den einzelnen Werkstücken variieren können. Somit ist der Weg des Werkstücks durch das Produktionssystem nicht durch eine einheitliche Bearbeitungsreihenfolge für alle Werkstücke übereinstimmend vorgegeben, sondern für jedes Werkstück individuell. Der Portalkran unterstützt dabei den Betrieb der Fabrik unter anderem dadurch, dass er den Transport der Werkstücke zur Ablage Position 1 und 2 der Schweißroboter in der Schweißabteilung übernimmt. Darüber hinaus unterstützt er den Transport im gesamten Produktionssystem und kann bspw. Werkstücke direkt von einer Ablage in der Schweißabteilung auf ein Fertigungsband befördern.

3.1.2 Aktuelles Steuerungskonzept in der Modellfabrik

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, existiert in der Modellfabrik ausschließlich ein Barcode-Leser. Da die Identifikation der Werkstücke durch den Barcode-Leser nur an dieser Stelle im Materialflusssystem erfolgt, muss der weitere Transportweg durch das System konkret vorgegeben werden. Dies geschieht durch einen Materialflussrechner, der als zentrale Steuerungsinstantz den Weg durch das System für jedes Werkstück auf Basis der Bearbeitungsreihenfolge und des Zustandes des Systems ermittelt und vorgibt. Das grundsätzliche Steuerungskonzept in seiner bisherigen Weise ist an einem Ausschnitt aus der Modellfabrik in Abbildung 3.2 dargestellt.

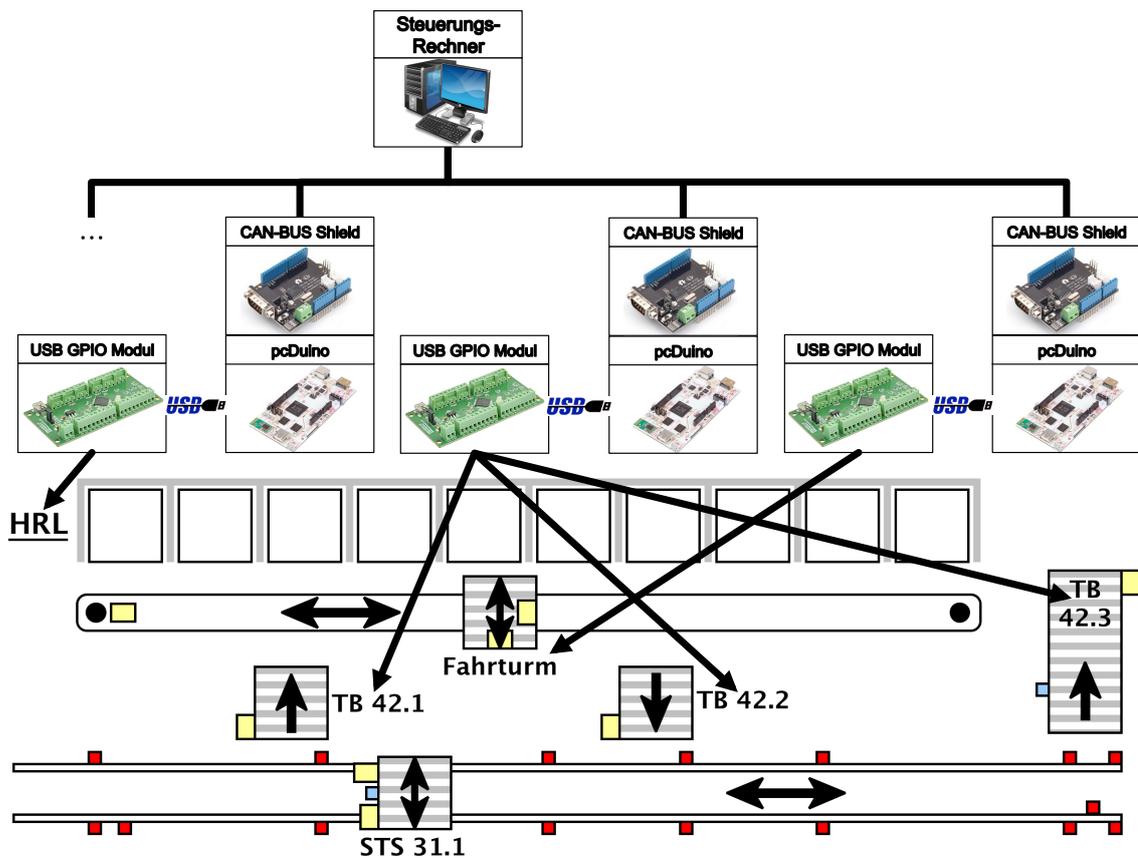


Abbildung 3.2: Steuerungskonzept der Modellfabrik

Beim Betrieb einer Fabrik werden auf oberster Ebene, der Unternehmensleitebene, entsprechend der Automatisierungspyramide (Unterabschnitt 2.1.1) strategische Entscheidungen getroffen. Für den Betrieb der Modellfabrik ist diese Ebene nur in geringem Maße aus-

geprägt; lediglich eine Vorgabe von Produktionszahlen kann der Unternehmensleitebene zugeordnet werden. Auf der zweiten Ebene, der Produktionsleitebene, wird die Auftragsverwaltung ausgeführt, aber auch die steuernde Durchsetzung der Produktionsplanung findet hier statt. Diese Aufgaben werden in der Modellfabrik von einem zentralen Steuerungsrechner übernommen. Wie in Abbildung 3.2 zu erkennen ist, ist das gesamte System auf diesen zentralen Steuerungsrechner ausgerichtet. Er übernimmt neben den oben erwähnten Aufgaben auch den Aufgabenbereich der dritten Hierarchieebene, zu dem unter anderem die Überwachung und Steuerung des Prozesses gehört.

Zur Übertragung der Daten zwischen der dritten und vierten Hierarchieebene wurde in der Modellfabrik ein Control-Area-Network-Bus (CAN-Bus) installiert. Die vierte Ebene stellt die Steuerungsebene dar und wird in der Modellfabrik durch die *pcDwinos* repräsentiert. Hierbei handelt es sich um kleine Computer, die im Sinne einer SPS die Aufgaben der Steuerung und Regelung der Maschinen übernehmen. Hierbei wertet die SPS Signale von Schaltern und Sensoren aus, um im Folgenden Signale an die Aktoren zu senden. Das Empfangen und Weitergeben dieser Signale erfolgt über die *USB GPIO Module*, über die die SPS direkt mit der untersten Ebene, der Feldebene, verbunden ist. Hier befinden sich dann die Aktoren und Sensoren. In Abbildung 3.2 ist zu erkennen, dass in der derzeitigen Steuerungsweise mehrere Module über eine SPS gesteuert werden.

3.2 Umsetzung eines zukunftsorientierten Automatisierungskonzeptes in der Modellfabrik

Im vorherigen Abschnitt 3.1 wurde der Aufbau der Modellfabrik und ihre bisherige Betriebsweise gezeigt. Darauf fußend wird in diesem Abschnitt zunächst dargestellt, wie der Aufbau der Fabrik geändert und erweitert werden muss, um die Basis für eine Automatisierung entsprechend des IdD zu schaffen. Daran anschließend wird für die Modellfabrik ein Steuerungskonzept gemäß dem IdD entwickelt und vorgestellt. Hier wird konkret auf die vorgestellten Aspekte aus den aktuellen Forschungsarbeiten zu diesem Thema zurückgegriffen (Unterabschnitt 2.2.4).

3.2.1 Modifizierung der Modellfabrik und Entwicklung einer Klassenhierarchie

In Unterabschnitt 2.2.2 wurde die Analogie zwischen dem Internet und Materialflusssystemen beschrieben. Unter anderem wurde auch auf verschiedene Anforderungen zur Steuerung innerhalb der Fabrik eingegangen (Unterabschnitt 2.2.4). Besondere Bedeutung hat hierbei die durchgängige Identifizierung der Transporteinheiten im Materialflusssystem. Hierfür kommen verschiedene autoID-Technologien infrage; entweder kann eine Identifizierung über Barcodes oder über RFID-Chips erfolgen (Unterabschnitt 2.2.2, S. 9). Es ist festzuhalten, dass der Einsatz von RFID-Chips grundsätzlich dem von Barcodes vorzuziehen ist, da neben einer reinen Identifikation weitere Informationen wie Bearbeitungsreihenfolge, Status etc. direkt an der Transporteinheit gespeichert werden können. Für die Umsetzung eines Steuerungskonzeptes innerhalb der Modellfabrik, welches sich am IdD orientiert, ist hinsichtlich der Kosten für eine solche Implementierung eine Identifizierung mittels Barcodes ausreichend.

Die modifizierte Modellfabrik ist in Abbildung A.2 im Anhang abgebildet; die erweiterte Ausstattung der Modell-Fabrikanlage mit Barcode-Lesern ist an einem Ausschnitt in Abbildung 3.3 dargestellt. Demnach besitzt jedes Element im Materialflusssystem einen Barcode-Leser zur eindeutigen Identifizierung bei der Übergabe der Werkstücke zwischen den einzelnen Anlagenkomponenten. Somit ist jederzeit ersichtlich, welches Werkstück sich auf welchem Anlagenteil befindet. Darüber hinaus können über die Barcodes an den Ar-

beitsmaschinen Informationen zum auszuführenden Bearbeitungsschritt abgerufen werden. Erst durch eine konsequente Durchdringung des gesamten Systems mit Barcodes kann eine direkte Kommunikation zwischen dem Werkstück und einer Arbeitsmaschine entstehen.

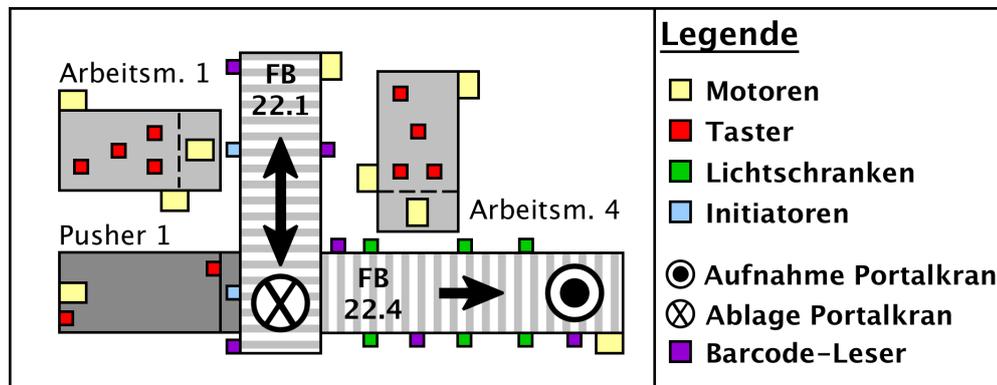


Abbildung 3.3: Ausschnitt aus der Modellfabrik

Da in der Modellfabrik bisher kein gerichteter Materialfluss vorlag, wurde die Ausrichtung des Materialflusses überarbeitet. In einigen Teilen der Fabrik wurde deshalb ein gerichteter Materialfluss vorgegeben, um die Steuerung der Modellfabrik zu vereinfachen. Außerdem wurden für den Portalkran eindeutige Aufnahme- und Abnahmestellen definiert, um eine Steuerung entsprechend des IdD besser umsetzen zu können.

Um die einzelnen Elemente in der Modellfabrik entsprechend des IdD zu systematisieren, wurde eine Klassenhierarchie entwickelt. Dies dient dazu, die einzelnen Elemente zu verallgemeinern und deren Gemeinsamkeiten darzustellen; Besonderheiten einzelner Arbeitsmaschinen oder bestimmter Transportbänder werden hierfür ausgeblendet. Die Klassenhierarchie für die Modellfabrik wird von der Klassenhierarchie des IdD (Abbildung A.1) abgeleitet und entsprechend den Gegebenheiten in der Modellfabrik angepasst; hierbei werden auch die vorgenommenen Änderungen an der Modellfabrik mitberücksichtigt. Die Klassenhierarchie ist in Abbildung 3.4 als UML-Klassendiagramm dargestellt und verfügt über folgende Klassen:

- **Basisagent:** Er stellt die Basis für alle weiteren Klassen in der Modellfabrik dar und verfügt über Funktionen und Eigenschaften, die für die Einbindung der drei Grundklassen des IdD (Transporteinheit, Modul, Dienst) in die Modellfabrik grundlegend relevant sind. Mögliche Grundfunktionen der einzelnen Entitätstypen des IdD können bspw. das Senden und Empfangen von Nachrichten sein. Bei der Klasse *Basisagent* handelt es sich um eine abstrakte Klasse, die selbst nicht instanziiert werden kann, sondern ausschließlich als Ausgangsbasis für die Ableitung der drei Entitätstypen des IdD dient.
- **Dienst:** Die Klasse *Dienst* wird von der Klasse *Basisagent* abgeleitet. Innerhalb der Modellfabrik dient sie wiederum als Basis für die Ableitung des Auftragsverwaltungs-, des Verzeichnis- und des Routingdienstes. Bei einem Dienst handelt es sich ausschließlich um einen Softwareagenten; ihm ist folglich kein reales Objekt in der Modellfabrik zugeordnet.
- **Transporteinheit:** Auch die Klasse *Transporteinheit* wird von der Klasse *Basisagent* abgeleitet und stellt den Softwareagenten einer Transporteinheit dar.
- **Modul:** Die Klasse *Modul* wird ebenfalls von der Grundklasse *Basisagent* abgeleitet und bildet den Ausgangspunkt für die Einrichtung verschiedener Modularten innerhalb der Modellfabrik.

- **Logistisches** und **produktionstechnisches Modul**: Die beiden Klassen sind von der Grundklasse *Modul* abgeleitet und bilden die Basis für die Implementierung von unterschiedlichen Modultypen. Bspw. könnte die Klasse *Logistisches Modul* bereits über einen standardisierten Mechanismus zur Koordination des Lastwechsels verfügen.
- **Unstetigförderer, Verzweigung/Zusammenführung** und **Maschine**: Hierbei handelt es sich um spezifische Module, die bereits über spezialisierte Funktionen und Eigenschaften verfügen. Grundsätzlich können die Softwareagenten dieser Klassen bereits genutzt werden; es können aber auch weitere spezialisierte Ableitungen konkreter Module auf Basis der Grundklasse erfolgen. Erforderlich wäre die Ableitung spezieller Module, z. B. für die Arbeitsmaschinen im Produktionssystem, um ihnen die jeweiligen an der Transporteinheit zu verrichtenden Funktionen zu übertragen.

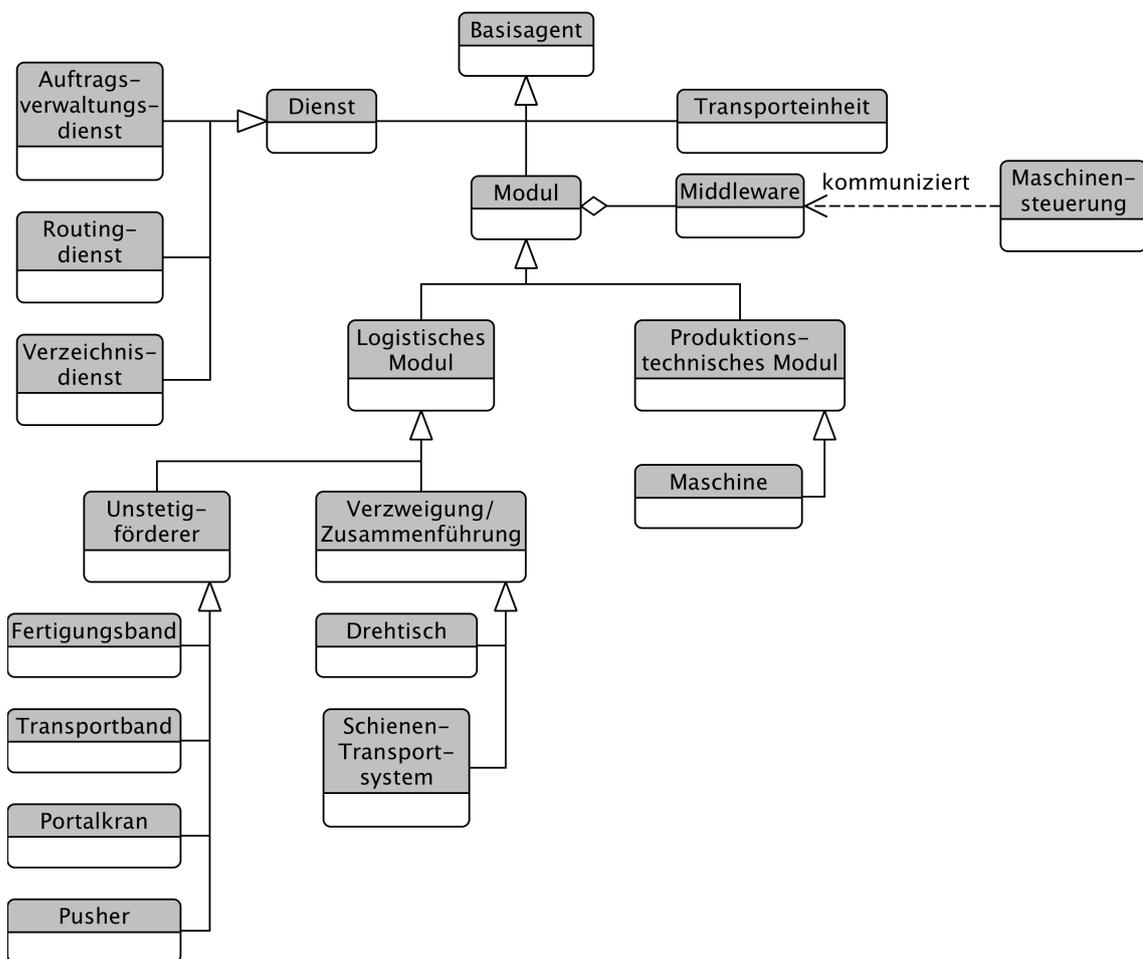


Abbildung 3.4: Klassendiagramm für die Modellfabrik

Da in einem Modul unterschiedliche Aufgaben ausgeführt werden müssen, wird die steuerungstechnische Ebene durch eine 2-Schichten-Architektur realisiert (Unterabschnitt 2.2.4, S. 13). Dies stellt sich im UML-Klassendiagramm wie folgt dar: Ein Modul verfügt einerseits über einen Softwareagenten und andererseits über eine Maschinensteuerung. Diese beiden Bestandteile sind durch eine Middleware getrennt, über die der Modulagent mit der Maschinensteuerung kommuniziert. Die Middleware dient dabei als Vermittlungsschicht und definiert bspw. Kommunikationsprotokolle oder auszutauschende Variablen.

Die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Entitätstypen des IdD (Transporteinheit, Modul, Dienst) sind im UML-Klassendiagramm

gramm nicht weiter spezifiziert worden. Dies begründet sich darin, dass im IdD grundsätzlich die Möglichkeit bestehen soll, dass alle Entitätstypen koordinierend und kooperierend untereinander interagieren können (Unterabschnitt 2.2.3, S. 10). Eine Darstellung dieser vielfältigen Kommunikationsbeziehung würde die Übersichtlichkeit des Diagramms stark beeinträchtigen. Es sei jedoch erwähnt, dass es einer Ausprägung der Entitätstypen nicht prinzipiell möglich ist, mit einer anderen Ausprägung in Kontakt zu treten. So ist es z. B. nicht vorgesehen, dass sich eine Transporteinheit an dem Verzeichnisdienst anmeldet, da dieser für die Verwaltung der einzelnen Module und ihrer Funktionen geplant ist.

3.2.2 Hardware- und Steuerungskonzept für die Modellfabrik

In Unterabschnitt 2.2.4 wurden vier Hardwarekonzepte für das IdD vorgestellt. Bewertet an verschiedenen Kriterien stellt der Einsatz eines Embedded-PC mit Soft-SPS die bestmögliche Lösung für eine Umsetzung eines IdD-Konzeptes in einem Materialflusssystem dar. Trotzdem muss abhängig von der vorliegenden Systemkomplexität und den zu erwartenden Kosten durch die Implementierung unter Umständen auf ein alternatives Hardwarekonzept zurückgegriffen werden, welches den technischen und finanziellen Möglichkeiten eines Unternehmens gerecht wird. Deshalb soll bei der Umsetzung eines IdD-Konzeptes in der Modellfabrik die vorhandene Technik weitestgehend in das neue Konzept integriert werden. Um die existierende Hardware der Modellfabrik weitestmöglich weiter zu verwenden und somit die Kosten für eine Implementierung des IdD möglichst gering zu halten, soll folgend das *Konzept III: Kombination aus PC und SPS* (Unterabschnitt 2.2.4, S. 14) als Grundlage für die Automatisierung in der Modellfabrik entsprechend des IdD dienen.

Das *Konzept III* ist so strukturiert, dass einerseits die einzelnen Module über eine eigene SPS verfügen, andererseits mehrere den Modulen zugeordnete Softwareagenten auf einer gemeinsamen Plattform ausgeführt werden (Abbildung 3.5). Zur Umsetzung dieses Hardwarekonzeptes können folglich die pcDuinos wiederverwendet werden. Auf ihnen soll zukünftig die SPS der Module umgesetzt werden. Außerdem existiert ein zentraler Steuerungsrechner, auf dem die Softwareagenten der einzelnen Module ausgeführt werden können.

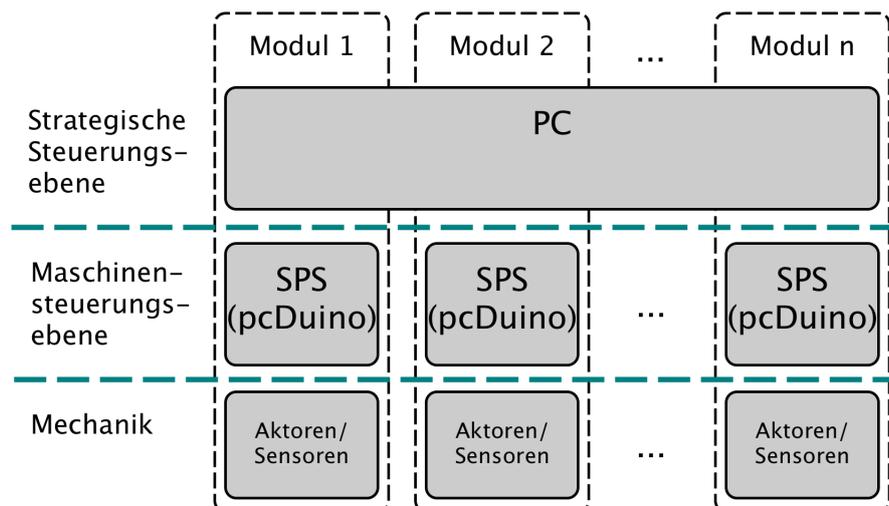


Abbildung 3.5: Neues Hardwarekonzept in der Modellfabrik

Um einen modularen Aufbau des Systems, wie in Abbildung 3.5 dargestellt, entsprechend des IdD in der Modellfabrik zu realisieren, müssen die einzelnen Module über eine eigene SPS verfügen. Dem entgegen werden in der Modellfabrik bisher mehrere Module über einen pcDuino gesteuert (vgl. Abbildung 3.2). Infolge der Weiterentwicklung der Modellfabrik

soll die SPS der Module über einen eigenen pcDuino je Modul verwirklicht werden. Die Programmierung der SPS ist dabei soweit vereinheitlicht, dass sie für jedes gleiche Modul wiederverwendet werden kann. Die Modellfabrik muss in diesem Fall um pcDuinos erweitert werden, damit jedes Modul seine eigene SPS erhält und eine gemeinsame Steuerung mehrerer Module wie bisher über einen pcDuino unterbunden wird.

Ähnlich wie mit der Programmierung der SPS der Module verhält es sich auch mit den zugehörigen Softwareagenten. Wie bereits im UML-Klassendiagramm dargestellt (Unterabschnitt 3.2.1), werden die Module über ein Vererbungsmodell entwickelt. Die Softwareagenten werden also nicht für jedes einzelne Modul neu konstruiert, sondern stattdessen auf Basis der übergeordneten Klasse für ihre Anwendungszwecke erweitert. Gleiche Module verfügen demnach über gleiche Softwareagenten. Eine Möglichkeit des neuen Steuerungskonzeptes für die Modellfabrik in Anlehnung an das IdD ist in Abbildung 3.6 dargestellt.

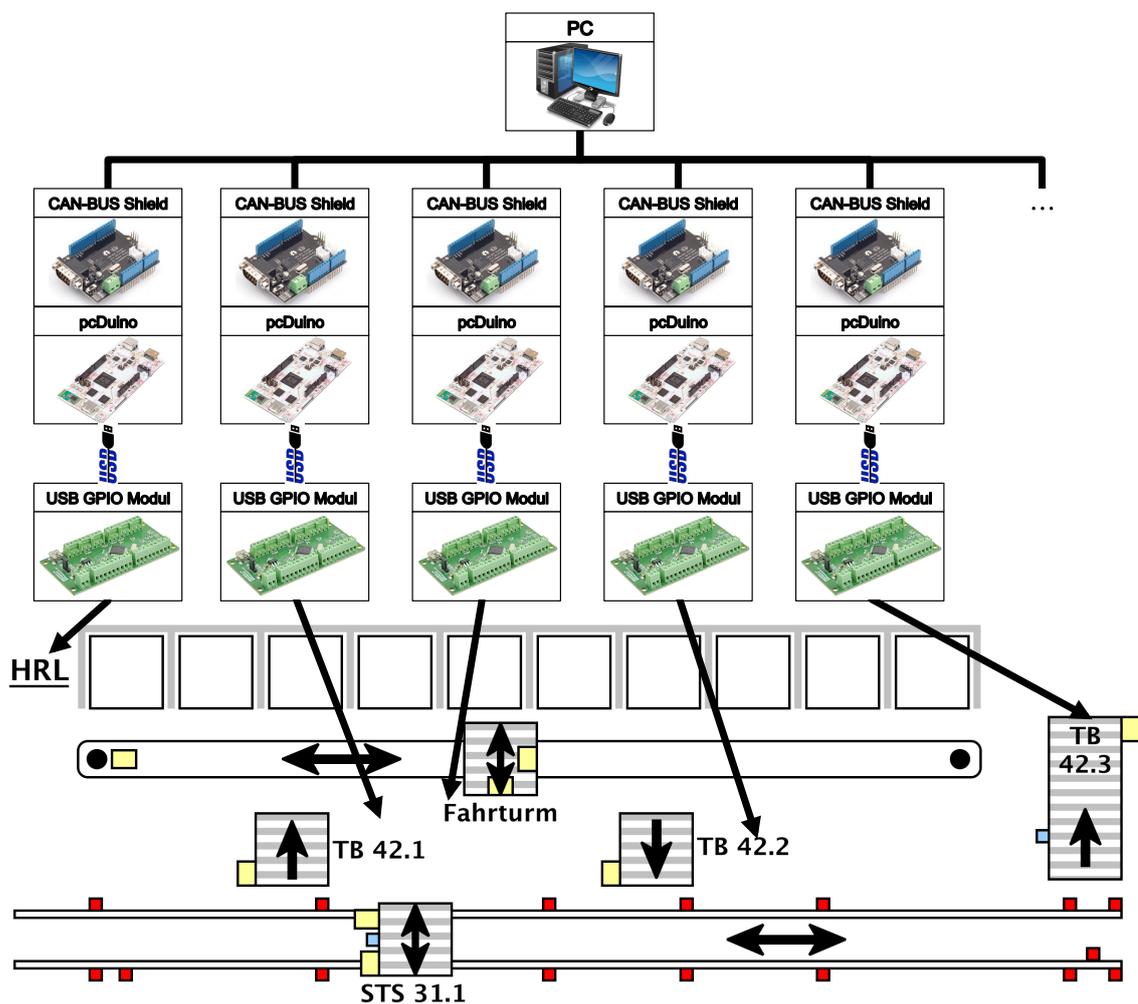


Abbildung 3.6: Neues Steuerungskonzept in der Modellfabrik

Durch den modularen Aufbau ist es möglich, weitere Module in die Topologie der Fabrik zu integrieren. Diese können ohne großen Aufwand direkt an die bestehende Fördertechnik angebaut und durch die Anmeldung am Verzeichnisdienst in ebendiesem verwaltet werden. Der Aufwand für die Erweiterung der Anlagentopologie wird sehr klein gehalten, da Vorgänger- und Nachfolger-Modul im Routingdienst erfasst werden und einheitliche Datenaustauschformate dafür sorgen, dass die Kommunikation zwischen allen Elementen des Materialflusssystems problemlos möglich ist.

Die Softwareagenten der Transporteinheiten und Module sind in der Modellfabrik realen Objekten zugeordnet. Daneben existierten die *Dienste*, die als reine Softwareagenten in der Modellfabrik agieren und koordinierende Aufgaben übernehmen, die weder einer Transporteinheit noch einem Modul zugeordnet werden können (Unterabschnitt 2.2.3). Um die Modellfabrik nach einem IdD-Konzept betreiben zu können, ist es unumgänglich, diese zu spezifizieren und ihre Aufgaben zu definieren. In der Modellfabrik sollen zunächst folgende Dienste realisiert werden:

- **Verzeichnisdienst:** Logistische und produktionstechnische Module, die neben einer reinen Transportdienstleistung weitere Funktionen anbieten, melden sich im Verzeichnisdienst an. Dies geschieht initial durch die einzelnen Module selbst. Neben ihrem eindeutigen Identifikationsmerkmal werden zusätzlich ihre anzubietenden Funktionen erfasst. Der Softwareagent einer Transporteinheit kann dann die Module ermitteln, die für den jeweiligen Arbeitsschritt die entsprechende Funktion anbieten und die Kosten erfragen.
- **Routingdienst:** Alle logistischen Module der technischen Anlage melden sich im Routingdienst an. Hierbei hinterlegen sie sowohl Vorgänger- als auch Nachfolger-Modul, sodass der Routingdienst die Überwachung der Anlagentopologie übernimmt. Die konkrete Wegplanung obliegt den Modulen und wird in Zusammenarbeit mit dem Routingdienst ausgeführt. Hierbei wird der Istzustand der fördertechnischen Anlage betrachtet; auf Basis dessen werden die entsprechenden Module für den Transport ermittelt. Dies geschieht ohne konkrete Beteiligung der Transporteinheit (Unterabschnitt 2.2.4, S. 13); somit fällt dem Routingdienst zusätzlich die Aufgabe zu, auf Anfrage den Transporteinheiten entsprechende Wegentscheidungen zu übermitteln.
- **Auftragsverwaltungsdienst:** Neben dem Routing- und Verzeichnisdienst existiert ein Auftragsverwaltungsdienst. Dieser stellt eine Verbindung zwischen den übergeordneten Systemen der ersten Ebene in der Automatisierungspyramide und der Agentenebene dar. Er ordnet den einzelnen Transporteinheiten bei Eintritt in das System eine bestimmte Bearbeitungsreihenfolge des jeweiligen Produktionsauftrages zu. Die Verwaltung über die Abarbeitung der Bearbeitungsreihenfolge obliegt dann dem Softwareagenten der Transporteinheit.

in Kontakt treten. Hierbei fragt die Transporteinheit die Kosten für die Funktionserbringung an.

- Nachdem die Module die Anfrage mit einem Angebot ihrerseits beantwortet haben, muss die Transporteinheit die Aufwände für den Transport abschätzen, um eine optimale Lösung für das Problem zu bestimmen. Auf Basis einer Auktion wird unter Berücksichtigung aller Kosten die günstigste Alternative von der Transporteinheit ausgewählt.
- Schließlich wird dem günstigsten Modul der Bearbeitungsauftrag zugewiesen; die anderen Module werden über die Ablehnung ihres Angebots informiert.

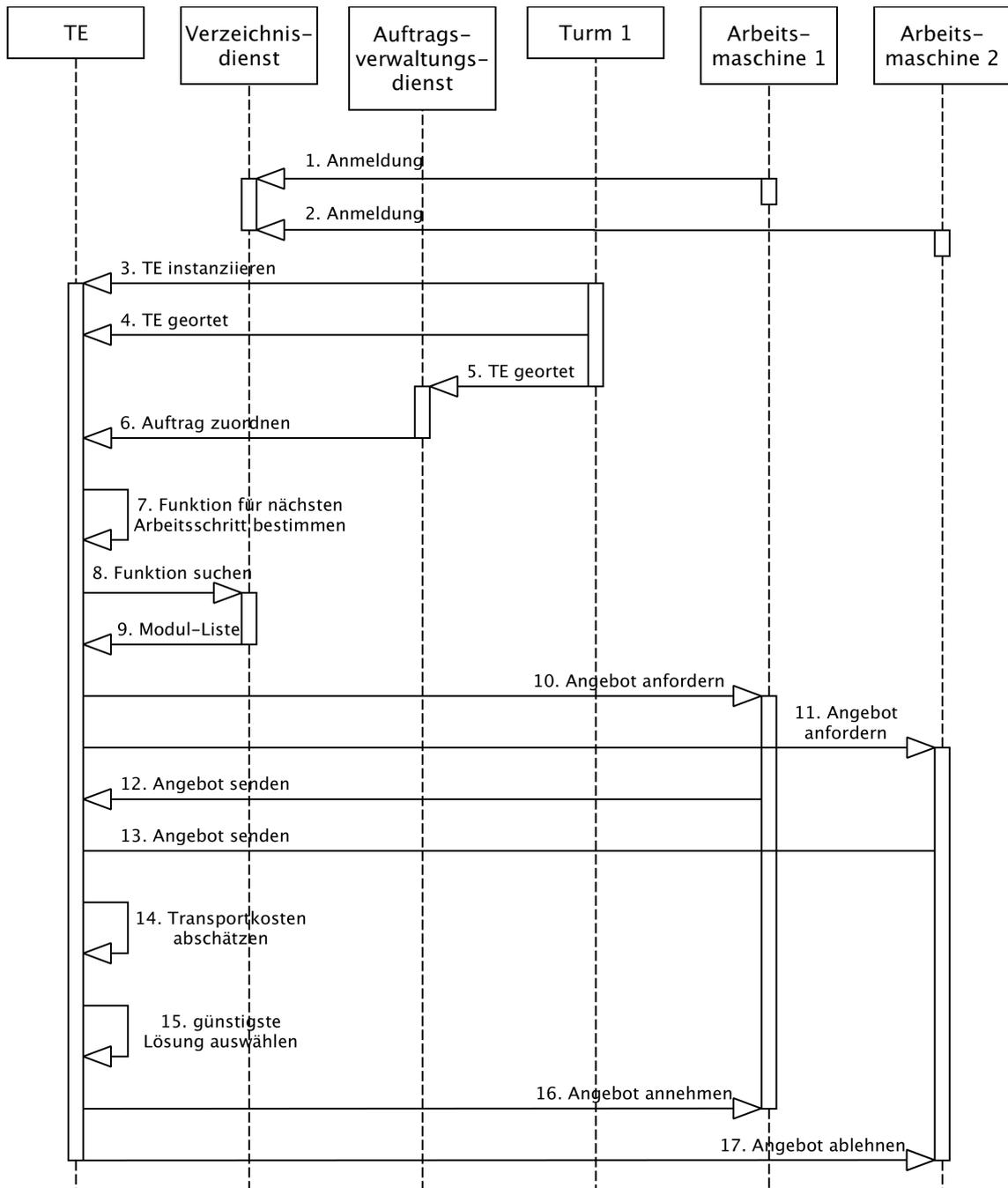


Abbildung 3.8: Initialisierung der Transporteinheit und Auftragszuordnung

Nachdem im ersten Szenario beschrieben wurde, wie ein Auftrag der Transporteinheit zugeordnet und das günstigste Modul für die Funktionsausführung bestimmt wird, soll im Folgenden die anstehende Auslagerung aus dem Auslagerungsturm näher untersucht werden. Der Ausgangspunkt dafür ist, dass die Transporteinheit bereits das günstigste Modul für die Funktionserbringung des nächsten Arbeitsschrittes bestimmt hat und vom Auslagerungsturm darüber informiert wurde, dass sie in ebendiesem geortet wurde. Der weitere Kommunikationsablauf könnte dann wie folgt aussehen (Abbildung 3.9):

- Zunächst melden sich alle logistischen Module im Routingdienst an. Hier werden auch die zugehörigen Vorgänger- und Nachfolger-Module erfasst, sodass der Routingdienst die Anlagentopologie kontrollieren kann.
- Nachdem der Transporteinheit bereits ein Auftrag zugeordnet und das nächste produktionstechnische Modul bestimmt wurde, muss ein entsprechender Pfad für den Transport zu ebendiesem Modul vorgegeben werden. Hierzu wird der Routingdienst von der Transporteinheit kontaktiert und ein entsprechender Pfad angefragt. Der Routingdienst antwortet der Transporteinheit und übermittelt einen in Kooperation mit den Modulen errechneten Pfad.
- Demnach muss zunächst die Auslagerung aus dem Auslagerungsturm erfolgen. Dies wird direkt bei *Turm 1* angefragt. Dieser initiiert die Auslagerung und fragt seinerseits wiederum beim *Transportband 13.2* an, ob das Werkstück übergeben werden kann.
- Infolge der erfolgreichen Übergabe wird die Transporteinheit auf dem Transportband geortet. Durch die Ortung der Transporteinheit auf dem Transportband wird von der Transporteinheit der Transport auf ebendiesem angefordert. Nachdem die Transporteinheit erfolgreich transportiert wurde, wird sie an den Drehtisch übergeben.
- Hier wiederholt sich obiges Szenario: Von der Transporteinheit wird die Drehung ebendieser angefordert und vom *Drehtisch 13.1* ausgeführt. Anschließend wird die Transporteinheit an das nächste Modul übergeben.

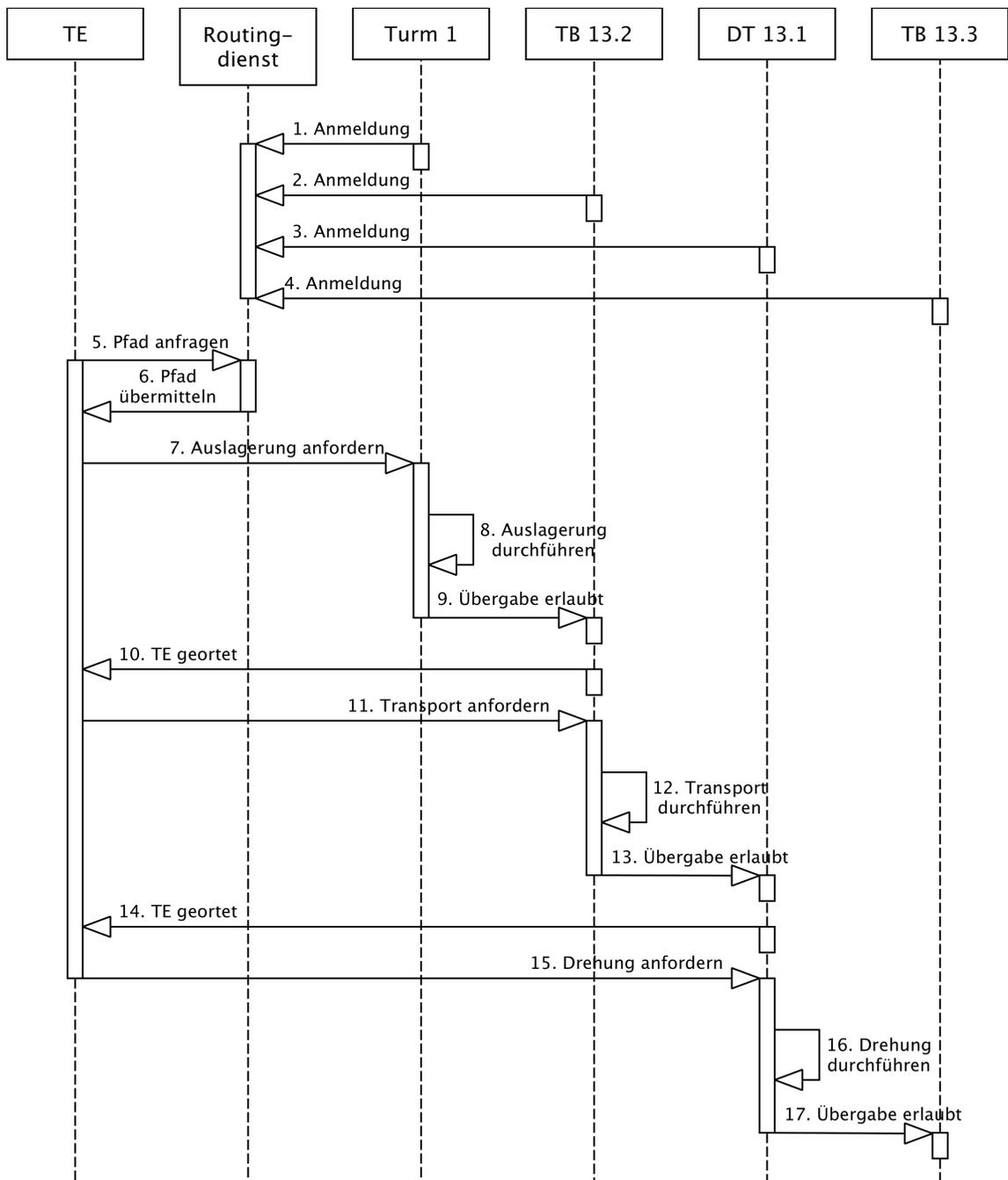


Abbildung 3.9: Auslagerung und Transport der Transporteinheit

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit wurde ein Softwarearchitekturkonzept für die Modellfabrik am Fachgebiet ITPL entwickelt. Dieses Konzept orientiert sich an einer Automatisierung entsprechend des IdD.

Als Basis für dieses Konzept sind zunächst die theoretischen Voraussetzungen sowohl für eine klassische Automatisierung als auch für eine zukunftsorientierte Automatisierung nach dem IdD betrachtet worden. Somit können an der Modellfabrik die Unterschiede zwischen beiden Automatisierungsparadigmen verdeutlicht werden.

Dazu wurde zunächst die Modellfabrik in ihrem bisherigen Aufbau und ihrer Steuerung beschrieben. Daran ließ sich die hierarchische Strukturierung und Orientierung des Produktionssystems gemäß der Automatisierungspyramide aufzeigen. Darauf aufbauend wurde die Modellfabrik modifiziert, um eine Automatisierung entsprechend des IdD umsetzen zu können. Hierbei wurde sowohl auf die Hardware- als auch auf die Softwarekonzepte eingegangen, die dafür in der Modellfabrik umzusetzen sind. Wichtige Punkte bei der Modifikation der Modellfabrik waren die durchgängige Identifizierung der Transporteinheiten innerhalb des Systems und die Umsetzung einer getrennten SPS der Module über einzelne *pcDuinos*.

Weiterhin wurde auf die Verwirklichung der *Dienste* innerhalb der Modellfabrik eingegangen. Abschließend wurde in zwei Anwendungsbeispielen dargestellt, wie sich die Interaktion zwischen den verschiedenen Entitäten innerhalb der Modellfabrik abspielen kann.

Mit dem ausgearbeiteten Konzept und den beschriebenen Anwendungsbeispielen wurde bereits eine Arbeitsgrundlage für die Umsetzung eines Automatisierungskonzeptes gemäß des IdD innerhalb der Modellfabrik geschaffen. Damit dieses Automatisierungskonzept erfolgreich in die Modellfabrik integriert werden, kann sind weitere Betrachtungen notwendig. Zunächst einmal muss sich mit der genauen Ausstattung der Modellfabrik auseinandergesetzt werden. Dazu ist es bspw. notwendig, festzulegen, wie die durchgängige Identifizierung der Transporteinheiten innerhalb des Materialflusssystems erfolgen kann. Außerdem muss die genaue Ausstattung der Fabrik mit *pcDuinos* und *USB GPIO Modulen* erfolgen.

Des Weiteren ist es erforderlich, die Klassenhierarchie für die Modellfabrik auszugestalten. Hierzu gehört, die einzelnen Module für die Modellfabrik zu konkretisieren und Attribute sowie Operationen für die einzelnen Klassen zu definieren. Auf dieser Basis kann dann ein Kommunikationsmodell für die Modellfabrik entwickelt werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu untersuchen, wie Auktionen und Verhandlungen zwischen den verschiedenen Entitäten innerhalb der Modellfabrik ablaufen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Automatisierungspyramide (Heimbold 2015, S. 36)	6
Abb. 2.2:	Analogie zwischen Internet und Materialflusssystemen (Kuzmany 2010, S. 56; Chisu 2010, S. 22)	9
Abb. 2.3:	Analogie zwischen Datenpaketen und Transporteinheiten (Chisu 2010, S. 23)	10
Abb. 2.4:	Hardwarekonzepte für das IdD (Kuzmany 2010, S. 91)	14
Abb. 3.1:	Aufbau der Modellfabrik	16
Abb. 3.2:	Steuerungskonzept der Modellfabrik	17
Abb. 3.3:	Ausschnitt aus der Modellfabrik	19
Abb. 3.4:	Klassendiagramm für die Modellfabrik	20
Abb. 3.5:	Neues Hardwarekonzept in der Modellfabrik	21
Abb. 3.6:	Neues Steuerungskonzept in der Modellfabrik	22
Abb. 3.7:	Ausschnitt aus der modifizierten Modellfabrik	24
Abb. 3.8:	Initialisierung der Transporteinheit und Auftragszuordnung	25
Abb. 3.9:	Auslagerung und Transport der Transporteinheit	27
Abb. A.1:	UML-Klassendiagramm für das IdD (in Anlehnung an Chisu 2010, S. 36)	33
Abb. A.2:	Modifizierte Modellfabrik	34

Abkürzungsverzeichnis

autoID	automatische Identifikation und Datenerfassung
CAN-Bus	Control-Area-Network-Bus
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CPS	Cyber-Physical System
ERP-System	Enterprise-Resource-Planning-System
HRL	Hochregallager
Industrie 4.0	4. Industrielle Revolution
IdD	Internet der Dinge
ITPL	IT in Produktion und Logistik
MES	Manufacturing Execution System
RFID	Radio-Frequency Identification
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung

Literatur

- Arnold, Dieter und Kai Furmans (2009). *Materialfluss in Logistiksystemen*. 6. Aufl. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 397. ISBN: 978-3-642-01404-8.
- Berres, Bernd u. a. (2006). *MES Manufacturing Execution System – Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung*. Hrsg. von Jürgen Kletti. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Beuschel, Jürgen (1994). *Prozesssteuerungssysteme – Einführung in die Informationsverarbeitung in Automatisierungsanlagen*. München: Oldenbourg Verlag.
- Broy, Manfred (2010). „Cyber-Physical Systems – Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung“. In: *Cyber-Physical Systems – Innovation durch software-intensive eingebettete Systeme*. Hrsg. von Manfred Broy. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 17–31.
- Chisu, Razvan (2010). „Kommunikations- und Steuerungsstrategien für das Internet der Dinge“. Diss. München: Technische Universität München, S. 174. ISBN: 394170205X.
- DIN EN 62264-1 (2014). *Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen – Teil 1: Modelle und Terminologie*. Norm.
- Friedrich, Juliane (2015). *Zahlenkompass 2014/2015*. URL: <http://foerd.vdma.org/documents/105812/1005415/Zahlenkompass%20Intralogistik%202014-2015/869338c9-01cc-45b4-9460-680342099f90>.
- Günthner, Willibald und Michael ten Hompel, Hrsg. (2010). *Internet der Dinge in der Intralogistik*. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-04895-1.
- Günthner, Willibald A., Razvan Chisu und Florian Kuzmany (2010). „Die Vision vom Internet der Dinge“. In: *Internet der Dinge in der Intralogistik*. Hrsg. von Willibald Günthner und Michael ten Hompel. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer. Kap. 6, S. 43–46. ISBN: 978-3-642-04895-1.
- Heimbold, Tilo (2015). *Einführung in die Automatisierungstechnik*. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.
- Heinrich Berthold; Linke, Petra und Michael Glöckler (2015). *Grundlagen Automatisierung*. Hrsg. von Springer. Berlin, Heidelberg.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2014). *Wandel von Produktionsarbeit – Industrie 4.0*. Soziologische Arbeitspapiere 38. Dortmund: Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät.
- Kille, Christian und Martin Schwemmer (2014). *Die TOP 100 der Logistik*. Hamburg: DVV Media Group.
- Köhler, Peter, Björn Six und Jan Stefan Michels (2015). „Industrie 4.0: Ein Überblick“. In: *Industrie 4.0: Ein praxisorientierter Ansatz*. Hrsg. von Christiana Köhler-Schulte. Berlin: KS-Energy-Verlag, S. 17–43.
- Kropik, Markus (2009). *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuzmany, Florian Alexander (2010). „Konzeption und Entwicklung von Modulen für das Internet der Dinge“. Diss. München: Technische Universität München, S. 174. ISBN: 394170205X.
- Langmann, Reinhard (1996). *Prozesslenkung – Grundlagen zur Automatisierung technischer Prozesse*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Lasi, Heiner u. a. (2014). „Industrie 4.0“. In: *Wirtschaftsinformatik 56.4*, S. 261–264.
- Lauber, Rudolf und Peter Göhner (1999). *Prozessautomatisierung 1*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Lee, John D. und Bobbie D. Seppelt (2009). „Human Factors in Automation Design“. In: *Springer Handbook of Automation*. Hrsg. von Shimon Y. Nof. Berlin, Heidelberg: Springer. Kap. 25, S. 417–436.
- Libert, Sergey, Razvan Chisu und Artur Luft (2010). „Softwarearchitektur für eine agentenbasierte Materialflusssteuerung“. In: *Internet der Dinge in der Intra-logistik*. Hrsg. von Willibald Günthner und Michael ten Hompel. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer. Kap. 11, S. 95–106. ISBN: 978-3-642-04895-1.
- Lucke, Dominik, Carmen Constantinescu und Engelbert Westkämper (2008). „Smart factory - a step towards the next generation of manufacturing“. In: *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier : The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, May 26-28, 2008, Tokyo, Japan*. Hrsg. von M. Mitsuishi. London: Springer, S. 115–118.
- Reinhart, G. u. a. (2013). „Cyber-Physische Produktionssysteme – Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik“. In: *wt Werkstattstechnik online* 103.2, S. 84–89.
- Spath, Dieter, Hrsg. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- ten Hompel, Michael und Michael Henke (2014). „Logistik 4.0“. In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Hrsg. von Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 615–624.
- Zeichen, Gerdfried und Karl Fürst (2000). *Automatisierte Industrieprozesse*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Modifizierte Modellfabrik

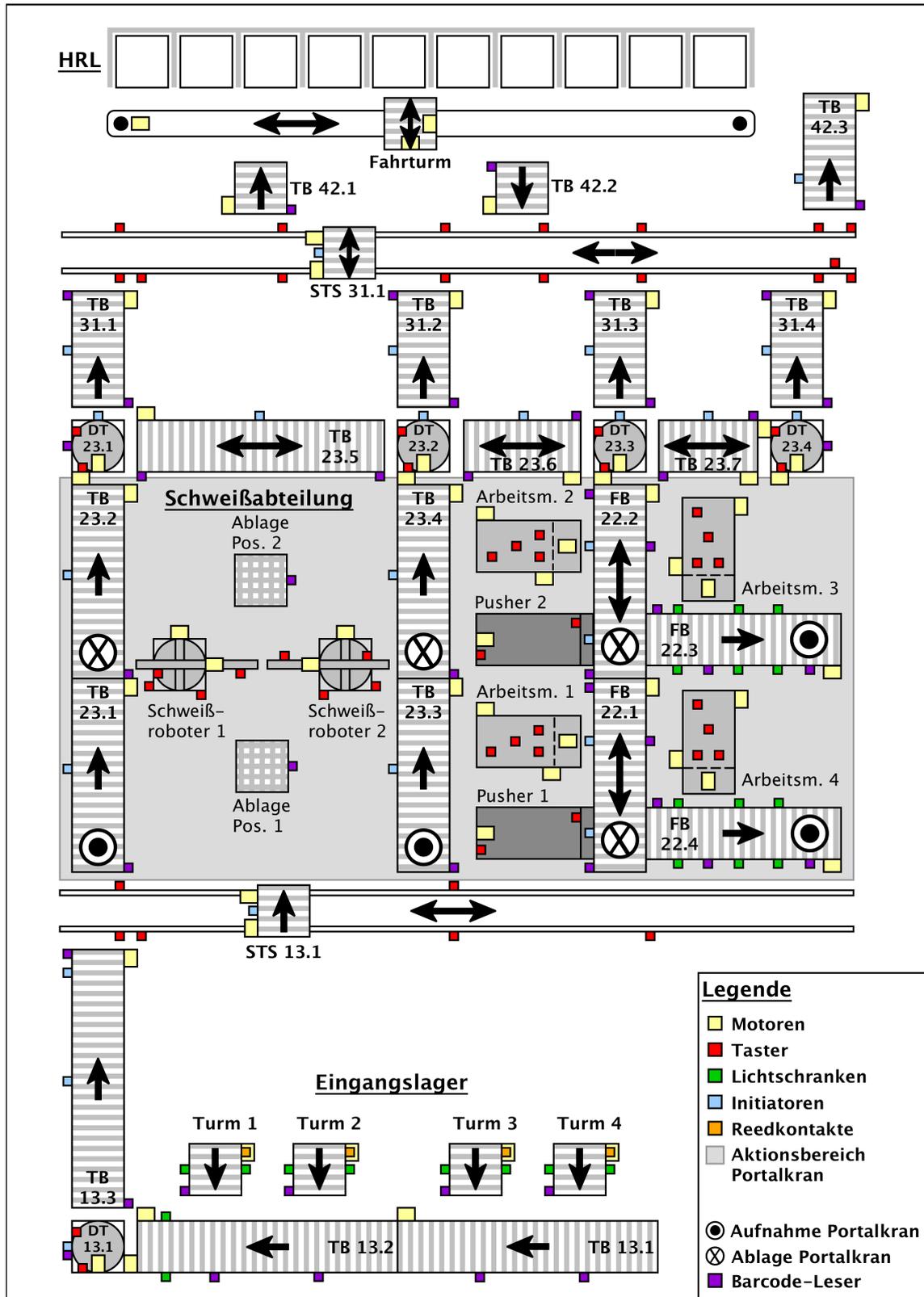


Abbildung A.2: Modifizierte Modellfabrik

Eidesstattliche Versicherung

Name, Vorname

Matrikelnummer

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende fachwissenschaftliche Projektarbeit mit dem Titel

Entwicklung eines Softwarearchitektur-Konzeptes zur Steuerung einer Modell-Fabrianlage unter besonderer Berücksichtigung von Automatisierungskonzepten für das Internet der Dinge

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift