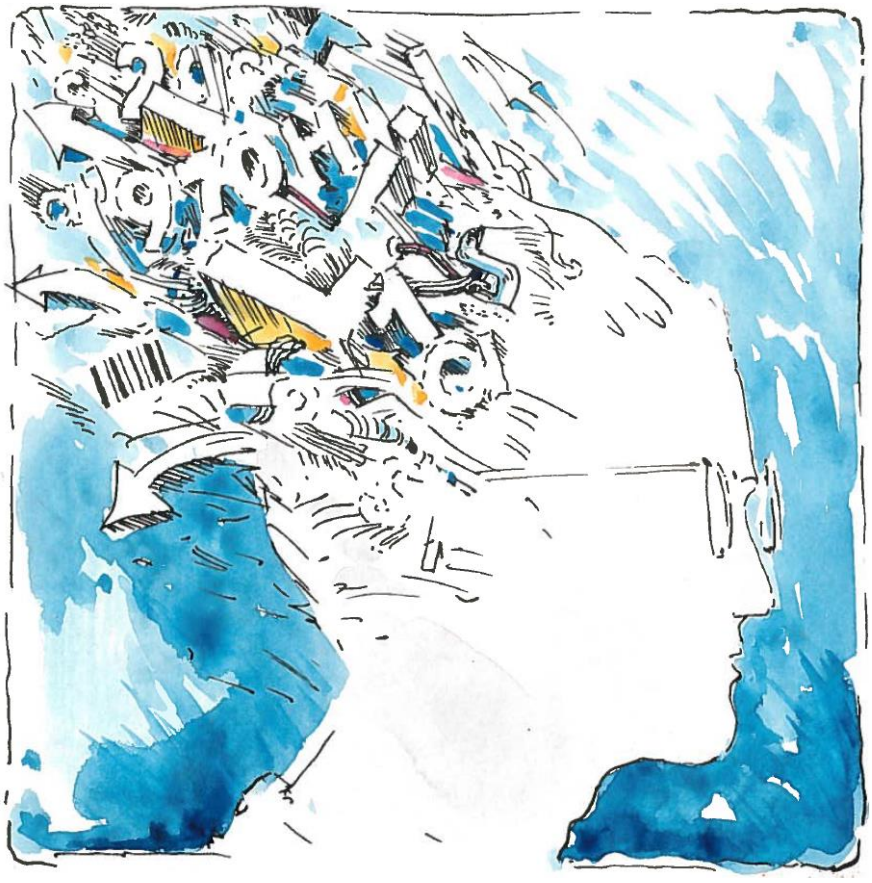
Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas

IT-Grundlagen der Logistik

www.tup.com/hochschule_und_universitaet



2. Auflage, Januar 2018

DR. THOMAS + PARTNER
GmbH & Co. KG www.tup.com

IT-Grundlagen der Logistik

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas
Erste Auflage, Karlsruhe, im Oktober 2016
Erweiterte 2. Auflage, Stutensee, im Januar 2018

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.
Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler ist der Herausgeber (info@tup.com) dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig. Fast alle Produktbezeichnungen und weitere Stichworte und sonstige Angaben, die in diesem Buch verwendet werden, sind als eingetragene Marken geschützt.
Da es nicht möglich ist, in allen Fällen zeitnah zu ermitteln, ob ein Markenschutz besteht, wird das T-Symbol in diesem Buch nicht verwendet.

IT-Grundlagen der Logistik

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Inhaltsverzeichnis II

Abbildungsverzeichnis VI

Einleitung IX

Themenschwerpunkte X

1 Systemarchitektur für Materialfluss-Steuerungen 1

1.1 Denkschritte für die neue Systemarchitektur 1

1.2 Applikationsspezifische Modularisierung von Förderanlagen mit SAIL 2

1.2.1 Kernfunktionen 2

1.2.2 Anlagenkomponenten einer Förderanlage 4

1.3 Aufgabenzuordnung zwischen dem Transportsteuerungssystem und dem Material Flow Control System 6

1.3.1 Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation 7

1.3.2 Vorteile der Systemarchitektur 8

2 Gestaltung und Einsatz innovativer Material- Flow-Control-Systeme (MFCS) 9

2.1 Die Materialflusssteuerung als Dienstleistung für ein Distributionszentrum 9

2.2 Beziehungen zwischen Transportverwaltung, Transportdurchführung und Transportsteuerungssystemen 9

2.3 Grundlagen der MFCS-Entwicklung 11

2.3.1 Hierarchisches Abbild der statischen und dynamischen Anlagenressourcen 11

2.3.2 Parametrierung, Anpassung, Erweiterungen 13

2.3.3 Ergebnis durch Rekursives Routing am Beispiel eines Distributionszentrums 13

2.3.4 Methoden zur Bildung von optimalen Fahraufträgen 14

2.4 Fehler in der Planungsphase bei MFC-Systemen 15

2.5 MFC-Systeme in der Praxis - Herausforderungen und Kostentreiber 16

2.5.1 Vermeidung von Schnittstellenvielfalt im Projekt 16

2.5.2 Hohe Effizienz und Transparenz bei Inbetriebnahme und Wartung 17

2.6 Auf dem Weg zur Schaltschranklosen Fabrik 17
2.6.1 Effizienzpotential bei elektrischen Antrieben 19
2.6.2 Auf der Zielgeraden der „Schaltschranklosen Fabrik“ Industrie 4.0 20
2.7 Einordnung des MFC-System in die Systemlandschaft 20
2.7.1 Modellentwicklung für eine standardisierte Lösung 21
2.7.2 Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme 22
3 Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik 23
3.1 Identifikation 23
3.1.1 Identifikationssysteme mit optischen Datenträgern 23
3.1.2 1 D-Code in Ausführung als OCL-Barcode 23
3.1.3 Global Standard One (GS1) 24
3.1.3.1 GS1 Complete 25
3.2 Lesegeräte 29
3.2.1 Strichcode-Laserscanner 29
3.2.2 CCD-Sensoren 31
3.3 RFID – Radio Frequency Identification Device 32
3.3.1 RFID - Die Frequenz-Problematik 32
3.3.1.1 RFiD-Systeme der Trägerfrequenz 13.56 MHz 33
3.3.1.2 EPC: Electronic Product Code 34
3.3.1.3 Electronic Printing von RFID-Tags 35
4 Datenkommunikation in der Intralogistik 37
4.1 Bedeutung von Information in der Intralogistik 37
4.1.1 ECR - Efficient Consumer Response Informationskreislauf 38
4.1.2 Electronic Data Interchange EDI 39
4.2 Industrielle lokale Netze (Industrie-LAN) 40
4.2.1 Ethernet-LAN 40
4.2.2 Zuverlässigkeit der Informationsübertragung 43
4.2.3 Kommunikationssoftware TCP/IP 44
4.2.3.1 Netzwerkschicht des Internets 45
4.2.3.2 Funktionen des TCP (Transmission Control Protocol) 46
4.2.4 Reliable Application Data Transfer (TP-RADT) 47
4.3 Drahtlose Kommunikation in der Intralogistik 51
5 Geschäftsprozesse in der Intralogistik – Software follows Funktion 53
5.1 Wo liegen die größten Potenziale? 53
5.1.1 A Warehouse is not a Warehouse 55
5.1.2 Faktoren, die den Projekterfolg beeinträchtigen 56
5.1.3 Erweiterte Prozessmodulierungs-Symbolik 56

5.2 Beschreibung der Geschäftsprozessmodule eines Warehouse Management Systems 57
5.2.1 Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im Wareneingang 58
5.2.2 Wareneingang ohne Avis-Daten 61
5.2.3 Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang 65
5.2.3.1 Analysemodell „Integriertes Geschäftsprozessmodul“ 67
5.3 Kommissioniersysteme 68
5.3.1 Anforderungen an Kommissioniersysteme 68
5.3.1.1 Marktflexibilität 69
5.3.1.2 Retouren 69
5.3.1.3 Batch-Kommissionierung 69
5.3.1.4 Batchbildung 69
5.3.2 Geschäftsprozessmodul zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorter 70
5.3.2.3 IT-Prozessebene 74
5.3.2.5 Batchbildung 75
5.3.2.7 Mensch-Maschine-Kommunikation 77
5.3.2.8 Analysemodell für das Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorterpackerei“ 78
5.3.3 Manuelle Sorterkommissionierung mit Hochregal-Wannenpuffer und Sortier-Packmodul (MSK) 79
5.3.3.1 Geschäftsprozessmodul MSK 80
5.3.3.2 Batchbildung Zielstellungen 82
5.3.3.3 Analysemodell für Geschäftsprozesse Manuelle Sorterkommissionierung „MSK“ 85
5.4 Prozesse Lagerverwaltung und Bestandsverwaltung 87
6 Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben 89
6.1 Adaptive IT – Komponenten am Praxisbeispiel Warehouse Management System (WMS) 90
6.2 Softwaretechnik 90
6.2.1 Erfahrungen aus Praxisabwicklungen 91
6.2.2 Entwicklungsprozess mit objektorientierten Werkzeugen 91
6.2.3 Vorgehensmodell: Iterative Prozesse 92
6.2.4 Vorgehensmodell “Prinzip der agilen Methoden“ 92
6.3 Objektorientierung 94
6.3.1 Entwurfsmuster “Die Brücke“ angewendet auf das Transportgut 95
6.3.2.1 Anwendungsdomäne / Anwendungsbestimmte Software 98
6.3.2.2 TWS-Plattform 99
6.3.3 Die Abstrakte Fabrik angewendet auf die Lagerplatzverwaltung 100
6.4 Framework 102

6.4.1 Framework versus Klassenbibliothek 103
6.5 Softwarearchitektur 104
6.5.1 Separation-of-Concerns-Prinzip 105
6.5.2 Information-Hiding-Prinzip 105
6.5.3 Abstraktions-Prinzip 106
6.5.4 Modularitäts-Prinzip 106
6.5.5 Trennung nach Aspekten und Typisierung von Software 107
6.5.6 Middleware 108
6.5.7 Laufzeitumgebung 109
6.6 Anwendungsdomäne 109
6.6.1 Auswahl der Programmiersprache 112
6.7 Zusammenfassung 112
7 Literatur und Quellen 114

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Die Anlagenkomponenten nach SAIL 1

Abbildung 1.2: Anlagenkomponenten einer Förderanlage 4

Abbildung 1.3: Förderkomponenten, die Anlagefunktionen in wiederverwendbare Einheiten kapseln 5

Abbildung 1.4: Aufgabenzuordnung zwischen dem Transportsteuerungssystem und dem MFCS (siehe Kapitel 2) 6

Abbildung 1.5: Gewerkeübergreifende Kommunikation 7

Abbildung 2.1: Aufgabenzuordnung des MFCS 10

Abbildung 2.2: Anlagenabbild (Teilansicht). Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche wird das Anlagenbild im MFCS abgelegt 12

Abbildung 2.3: Praxisbeispiel: Groblayout eines Distributionszentrums 14

Abbildung 2.4: Neue Funktionskonfiguration (MFCS ist über TP-RADT mit den Förderelementen verbunden) 18

Abbildung 2.5: Die Vorteile der Schaltschranklosen Fabrik 20

Abbildung 2.6: Adaptiver Prozessbaustein MFCS 21

Abbildung 2.7: Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme 22

Abbildung 3.1: Applizierung des OCL im Wareneingang (inbound) 24

Abbildung 3.2: GTIN/EAN 13 25

Abbildung 3.3: Prinzip GS1 26

Abbildung 3.4: Codeaufbau und Beschreibung eines SSCC (GS1-128) 27

Abbildung 3.5: GLN, GTIN und SSCC im Verband GS1 28

Abbildung 3.6: Datenbezeichner-Tabelle (Ausriss) 28

Abbildung 3.7: Stationärer Scanner an Verzweigepunkt an Fördertechnik 29

Abbildung 3.8: Mobile Datenerfassung im Ersatzteilbereich Aviation 30

Abbildung 3.9: Smart Mobile-Logistik 30

Abbildung 3.10: Prinzipskizze eines CCD-Scanners mit 8k CCD-Zeile 31

Abbildung 3.11: CCD-Kameras im Einsatz: Mehrseiten-Warenidentifikation, Wägung und Vermessung von Paketen im Wareneingang 32

Abbildung 3.12: Übersicht über die Frequenzbereiche 33

Abbildung 3.13: Kompatibilität GS1 und EPC 34

Abbildung 3.14: RFID-Einsatz entlang der Supply Chain 35
Abbildung 3.15: Gedruckte Tags (Bildquelle: www.polyic.de, 2015) 35
Abbildung 4.1: Bedeutung von Information in der Logistik 37
Abbildung 4.2: ECR - Efficient Consumer Response 39
Abbildung 4.3: Liefer-Avisierung per EDI 40
Abbildung 4.4: Das ISO/OSI-Protokoll 41
Abbildung 4.5: Shake-Hand-Verfahren beim Rechnungsonline-Druck 43
Abbildung 4.6: Übertragungssystem TCP/IP und TP-RADT 47
Abbildung 4.7: Fremdsystemkopplung über die gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT 49
Abbildung 4.8: Smart Mobile Logistics 51
Abbildung 4.9: Smartwatch projiziert Information auf die Handfläche (www.a-su.com.cn) 52
Abbildung 5.1: Prozesskette einer WMS-Lösung 53
Abbildung 5.2: Bestandteile der Softwarearchitektur einer adaptiven IT-Lösung 54
Abbildung 5.3: Interdisziplinäres Team 55
Abbildung 5.4: Legende und Erweiterung der Modulierungssymbole für die folgenden Abbildungen 57
Abbildung 5.5: Geschäftsprozessmodul Wareneingang 58
Abbildung 5.6: Electronic Data Interchange (EDI), LE-Avisierung im Warenfluss 58
Abbildung 5.7: LE-Avisierung und automatisierte Wareneingangs-Abwicklung 59
Abbildung 5.8: Geschäftsprozessmodul Wareneingang (Best-Practice-Komponente) 61
Abbildung 5.9: Geschäftsprozessmodul: Wareneingang ohne Daten-Avisierung. Sehr Kosten-, Zeit- und Ressourcenaufwendig (Erklärung siehe Folgeseite) 63
Abbildung 5.10: Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang 66
Abbildung 5.11: Prinzipskizze: „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungs-Online-Druck und Sorterpackerei“ 71
Abbildung 5.12: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 1) 73
Abbildung 5.13: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 2) 74
Abbildung 5.14: Arbeitsfortschritts-Überwachung im Leitstand (roter Pfeil) 75
Abbildung 5.15: Ablauf der Wannenbefüllung und Rundgangsbildung 76
Abbildung 5.16: Mensch-Maschine-Kommunikation während des Rundgangs 77
Abbildung 5.17: Prinzipskizze: Geschäftsprozess MSK mit dynamischen Packmodulen 81

Abbildung 5.18: Geschäftsprozessmodul MSK (Prozessinformationen 1-5 sind unter Kapitel 5.3.3.3 beschrieben) ... 84

Abbildung 6.1: Präferierte Zielvorstellung für ein Lauffähiges Kundensystem ... 91

Abbildung 6.2: Iteratives Vorgehensmodell ... 92

Abbildung 6.3: Zusammenhang zwischen Lastenheft (Anforderungsdefinition) und Pflichtenheft (Anforderungserfüllung) ... 93

Abbildung 6.4: Prinzip der agilen Methoden ... 94

Abbildung 6.5: Klassendiagramm - Anwendung des Brückenmusters in der Transportverwaltung ... 96

Abbildung 6.6: Zentrale Klasse LTG ... 97

Abbildung 6.7: Verbindung von Transport- und Platzverwaltung über die Klasse LTG ... 98

Abbildung 6.8: Teilaspekte einer Anwendungsdomäne ... 98

Abbildung 6.9: Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz) ... 99

Abbildung 6.10: Abstraktes Fabrik-Muster angewendet auf die Lagerplatzverwaltung ... 100

Abbildung 6.11: Komponenten des Frameworks. Struktureller Aufbau / Beziehungen (Johnson 1997) ... 103

Abbildung 6.12: Klassenbibliothek versus Framework ... 104

Abbildung 6.13: Subsystem ohne und mit Facade (Gamma, 2004) ... 105

Abbildung 6.14: Aufteilung in Anwendungsdomäne und Middleware ... 107

Abbildung 6.15: Middleware ... 108

Abbildung 6.16: TWS - Übersicht ... 110

Abbildung 6.17: Hollywood-Prinzip ... 111

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4.1: TP-RADT (Reliable Application Data Transfer - Header und Datenblock) ... 50

Tabelle 5.1: Schwankungsbreiten in den Auftragsstrukturen (Praxisbezogene Werte der Firma Dr. Thomas + Partner) ... 70

EINLEITUNG

Die rasante Weiterentwicklung der Informationstechnologie beeinflusst die Logistik-Geschäftsprozesse drastisch. Ohne ständige kritische Würdigung der weltweiten IT-Entwicklung (Halbwertszeit IT-Wissen: < 3 Jahre) ist eine strategische IT-Ausrichtung in Unternehmen gefährlich. Im Fokus steht dabei immer der Kostendruck.

Diese Gründe führen dazu, dass das vorliegende Skript jährlich überarbeitet wird, und die Einflüsse an Praxisbeispielen verdeutlicht werden.

THEMENSCHWERPUNKTE

Kapitel 1:
Systemarchitektur für Materialfluss-Steuerungen
Zielführend für eine neue Systemarchitektur für MFCSysteme ist die Überlegung, neue standardisierte Funktionsgruppen einer Wiederverwendbarkeit zugänglich zu machen.

Kapitel 2:
Gestaltung und Einsatz innovativer Material-Flow-Control-Systeme (MFCS)
Die wichtigste Aufgabe des MFCS ist die Beauftragung von Fördersystemen mit Fahraufträgen in einer Weise, die die Anlage optimal auslastet und die logistischen Prozesse termingerecht bedient.

Kapitel 3:
Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik
Entlang der Geschäftsprozesse ist die codierte Information das Bindeglied zwischen dem Informationsfluss und dem Materialfluss und trägt bei der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zur Fehlervermeidung bei.

Kapitel 4:
Datenkommunikation in der Intralogistik
Eine Information beschreibt den Inhalt einer Nachricht, die für die Empfängeradresse von Wert ist. Dabei kann die Empfängeradresse sowohl ein Mensch als auch eine Maschine sein.

Kapitel 5:
Geschäftsprozesse in der Intralogistik – Software follows function
Werden die Geschäftsprozesse von WE bis WA mit wiederverwendbaren Bausteinen adaptiert, dann werden Potenziale sichtbar. Vor diesem Hintergrund erscheint die Überlegung zielführend, wie durch eine innovative Software-Architektur ein auf dem Baukastenprinzip beruhendes Rahmenwerk einer Wiederverwendbarkeit zugänglich gemacht werden kann. Daher gilt: **Software follows function**. Und nur dann, wenn in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert werden, und gemeinsam im interdisziplinären Team - aus Logistik-Planern, dem Kunden (Nutzer) und dem Implementierungs-Leiter (IL) - unterschrieben werden.

Kapitel 6:
Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben
Die heute erreichte Entwicklung der objektorientierten Softwaretechnik und die zunehmende Durchdringung der industriellen Software-Produktion mit dieser Technik ermöglicht es, Systementwürfe zu erstellen, die in ihrer Anlage schon die Chancen - sowohl für einen hohen Wiederverwendungsgrad als auch für eine erleichterte Anpassbarkeit - bieten. In der Softwareentwicklung werden objektorientierte Methoden eingesetzt, um die Produktivität, die Wartbarkeit und die Softwarequalität zu verbessern. Ein wichtiger Aspekt der Objektorientierung ist dabei: die verwendeten Objekte sollen in erster Linie die reale Welt abbilden.

1 SYSTEMARCHITEKTUR FÜR MATERIALFLUSS-STEUERUNGEN

Zielführend für eine neue Systemarchitektur für Materialflusssteuerungen ist die Überlegung, neue standardisierte Funktionsgruppen einer Wiederverwendbarkeit zugänglich zu machen. Wiederverwendbarkeit bei anlagentechnischen Komponenten heißt, dass abgeschlossene Förderkomponenten definiert und deren Schnittstellen und Funktionsweise beschrieben sind und diese nach dem Baukastenprinzip moduliert werden können.

Bei Wiederverwendbarkeit der Funktionsebenen, die keinen Bezug mehr zu einzelnen fördertechnischen Komponenten haben, führen objektorientierte Ansätze weiter (siehe Kapitel 1.3 und Kapitel 6).

Über mehrere Jahre haben führende Köpfe der Industrie in Zusammenarbeit mit Verbänden und Branchenspezialisten gearbeitet, um diese Welten in Einklang zu bringen. Die Lösung liegt in einer segmentierten Standardisierung. Nicht das System als solches wird standardisiert, sondern dessen Funktionen, Komponenten und Schnittstellen (siehe VDI/VDMA 5100).

Verbunden mit dem Paradigmenwechsel - von einer bereichsorientierten Top-Down-Zerlegung (Ebenen-Modell, siehe VDI 15276) zu einer Systemarchitektur (SAIL VDI/VDMA 5100) mit standardisierten Funktionsgruppen - wird das Potenzial für die Intralogistik sichtbar.

1.1 Denkschritte für die neue Systemarchitektur

Um die Potenziale sowohl aus Kunden- als auch aus der Betreibersicht darstellen zu können, sind folgende Denkschritte für eine neue Systemarchitektur notwendig:

1. Primäre Anlagenzerlegung nach fördertechnischen Funktionen

2. Kapselung der gefundenen Funktionen in Komponenten

3. Standardisierung der Komponenten

4. Standardisierung der Schnittstellen der Komponenten

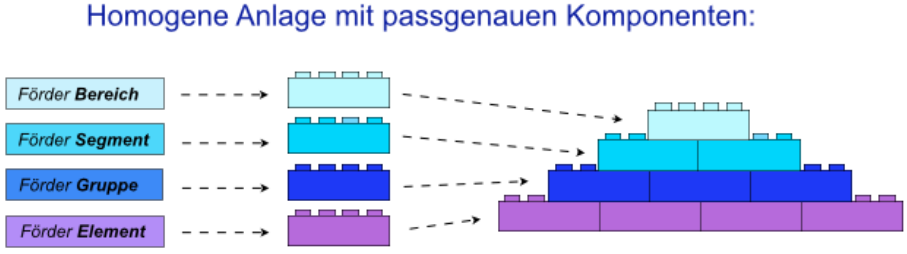


Abbildung 1.1: Die Anlagenkomponenten nach SAIL

Die Ziele dieser neuen Systemarchitektur mit einer funktionszentrierten Anlagenmodulierung sind:

- Eine gesteigerte Planungsintelligenz durch eine modulare Baukastensicht der Anlage in der Planungsphase
- Einheitliche und eindeutige Begriffsdefinitionen
- Eine transparente Funktionsbewertung in der Beschaffungsphase:
  „Kunde sagt, was er will - Lieferant sagt, was er liefert“
- Projektpartner verständigen sich auf derselben Basis; damit wird eine klare Funktionsabgrenzung bei der interdisziplinären Zusammenarbeit während der Realisierungsphase gewährleistet

Daraus resultiert, dass die neue Systemarchitektur als Kostenbremse bei der Modulierung von intralogistischen Materialfluss-Steuerungen wirkt.

1.2 Applikationsspezifische Modularisierung von Förderanlagen mit SAIL

Inspiriert wurde die standardisierte Systemarchitektur für Intralogistik-Anlagen durch die objektorientierte Programmierung, die bereits vor einigen Jahren in der industriellen Software-Entwicklung zu einem Perspektivenwechsel geführt hat. Durch die Schaffung der Richtlinie VDI/VDMA 5100 „SAIL“ (Systemarchitektur für die Intralogistik) erfolgte eine Übertragung dieser erfolgreichen Ansätze auf die Modellierung von Intralogistik-Systemen. Großes Augenmerk wurde dabei auf die Wiederverwendbarkeit der Komponenten gerichtet, die völlig neue Perspektiven bei der Systemmodellierung ermöglicht.

Die folgenden Funktionen und Komponenten wurden von einem Expertenkreis identifiziert und definiert, um eine systemübergreifende Modularisierung zu ermöglichen.

1.2.1 Kernfunktionen

Der aktuelle Entwicklungsstandard von SAIL abstrahiert fünf automatisierungstechnische Kernfunktionen einer Förderanlage. Die vorgeschriebenen gekapselten Funktionen sind nach außen in ihren Schnittstellen definiert, die interne Steuerungs- und Datenstruktur ist jedoch dem jeweiligen Hersteller freigestellt. Funktionen erhalten den Präfix ' F ' (Function).

Funktion Anlagensteuerung F:AS (Facility Control F:FC)

Die Anlagensteuerung bedient direkt die Anlage, d.h. die F:AS empfängt Signale von Sensoren, sendet Signale an die Aktoren und steuert damit die Antriebe. Sie realisiert alle Entscheidungen, die für die Eigensicherheit der Anlage und für die Durchführung eines Transportschrittes notwendig sind. Hier fällt die Entscheidung ob gefördert werden kann.
Die F:AS bekommt nach Anfrage die Förderrichtung von der Funktion

Richtungsentscheidung (F:RE).

Funktion Richtungsentscheidung F:RE (Direction Control F:DC)

Die Richtungsentscheidung F:RE ermittelt aus den eingestellten Betriebsparametern des jeweiligen Punktes und den ggf. vorhandenen Fahrauftragsdaten des sich an diesem Punkt befindlichen Förderobjektes, ob und in welcher Richtung gefördert werden soll. Ein Transportauftrag (TA) bezieht sich immer auf genau ein identifizierbares Förderobjekt und untergliedert sich in einzelne Fahraufträge (FA) an Fördersysteme, die den Transport dann tatsächlich durchführen. Der FA gilt immer nur bis zum Erreichen der Fördersystemgrenze.

Für identifizierbare Förderobjekte mit Transportauftrag wird die erforderliche Richtungsinformation aus dem Fahrauftrag bei der Funktion Fahrauftragsverwaltung F:FA ermittelt. Ein Schwarzfahrer ist ein identifizierbares Förderobjekt ohne Transportauftrag. Da kein Transportauftrag vorliegt und somit auch keine Förderrichtung, muss diese aufgrund festgelegter Regeln in der F:RE entschieden werden.

Funktion Fahrauftragsverwaltung F:FA (Mission Management F:MM)

Die Fahrauftragsverwaltung stellt für die Richtungsentscheidung F:RE die relevanten Daten des Fahrauftrags zur Verfügung. Über die Identifikation eines Förderobjektes und eines Entscheidungspunktes muss die Fahrauftragsverwaltung F:FA die Information liefern, ob eine Richtungsanweisung vorliegt und welche Ausprägung diese hat. Dieser Vorgang stellt hohe Anforderungen an die Reaktionszeit. Außerdem ist F:FA dafür verantwortlich, Fahraufträge anzulegen, zu verändern und zu löschen wenn dies von der beauftragenden Funktion Ressourcennutzung verlangt wird.

Funktion Ressourcennutzung F:RN (Ressource Utilisation F:RU)

Die Ressourcennutzung kennt den aktuellen Belegungszustand der Transportsysteme, deren mögliche Transportkapazitäten und Struktur, die vorliegenden Transportaufträge und die notwendigen Parameter für die Strategien zur Nutzung der freien Ressourcen. Hier wird entschieden, welches von mehreren konkurrierenden Transportobjekten eine freie Ressource nutzen darf. Daraus resultiert die Vergabe oder Veränderung eines Fahrauftrages an die Fahrauftragsverwaltung F:FA. Die F:RN bedient sich zur Verfolgung ihrer Betriebsstrategien der Parameter des jeweiligen Entscheidungspunktes bei der F:RE.

Funktion Transportkoordination F:TK (Transport Coordination F:TC)

Die Funktion Transportkoordination F:TK ist die Schnittstelle vom MFCS zu den beauftragenden Systemen, sprich dem WMS bzw. dem Host. Die F:TK wird mit Transporten beauftragt und sorgt dafür, dass diese zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort fertiggestellt werden.

Aufgaben der F:TK sind die Ermittlung von passenden Betriebsstrategien sowie beispielsweise die Organisation der Nachschub-Koordination oder die Durchführung der Kommissionierung mit Rundgängen, Batchbildung und Batchpuffer. Es werden die Verfügbarkeiten aller Bereiche und Systeme betrachtet und die Laststeuerung für die einzelnen Transportsysteme berücksichtigt.

1.2.2 Anlagenkomponenten einer Förderanlage

Aufbauend auf den fünf abstrahierten Anlagenkernfunktionen, sind die Komponenten einer Förderanlage nach dem Baukastenprinzip für Materialflussanlagen definiert. Die Idee dahinter ist, dass die Elemente des Baukastens Förder-Komponenten sind, welche die Kernanlagenfunktionen in abgeschlossene wiederverwendbare Einheiten kapseln.

Eine Förderanlage wird aus verschiedenartigen Anlagenkomponenten modelliert, sie erhalten den Präfix ' A ' (in der englischen Nomenklatur Präfix 'C' für Component).
Die Komponenten dienen zur Kapselung der Funktionen bei der Modellierung.

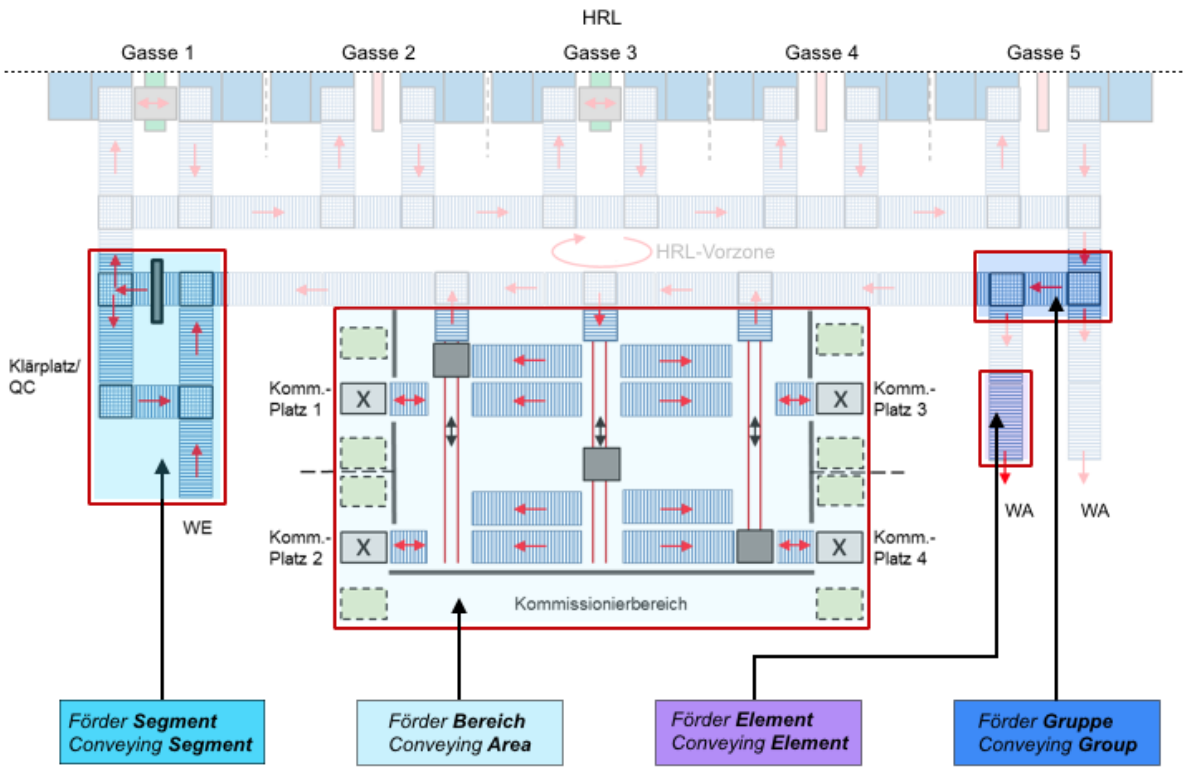


Abbildung 1.2: Anlagenkomponenten einer Förderanlage

Förderelement A:FE (Conveying Element C:CE)

Ein Förderelement ist die kleinste Komponenten-Einheit. Es besteht aus einem Antrieb für die Hauptförderrichtung, den Antrieben für die abzweigenden Förderrichtungen sowie der zugehörigen Sensorik. Es beinhaltet nur die Funktion Anlagensteuerung F:AS *(bzw. Facility Control F:FC)*. Die Ausprägung ist unmittelbar von der technischen Ausführung der Förderelemente und der Informationsgeber abhängig.

Fördergruppe A:FG (Conveying Group C:CG)

Eine Fördergruppe ist dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Gruppe von Förderelementen betreibt. Sie ist also eine Zusammenfassung von Förderelementen, die zusammen ein mehr oder weniger komplexes Anlagengebilde darstellen, das nach außen als ein Verzweigungspunkt erscheint. Dementsprechend besitzt die Fördergruppe eine Richtungsentscheidungsinstanz F:RE *(bzw. Direction Control F:DC)* mit deren Betriebsparametern.

Fördersegment A:FS (Conveying Segment C:CS)

Ein Fördersegment ist ein Zusammenschluss mehrerer Fördergruppen und bildet so eine Einheit. In der Folge entsteht ein zunehmend komplexerer Materialfluss. Das Fördersegment stellt daher für diese Gruppe die Funktion Fahrauftragsverwaltung F:*FA (bzw. Mission Management F:MM)* bereit.

Förderbereich A:FB (Conveying Area C:CA)

Ein Förderbereich wiederum besteht aus einer Gruppe von Fördersegmenten. Innerhalb dieses Bereichs wird die koordinierende Funktion der Ressourcennutzung F:RN *(bzw. Ressource Utilisation F:RU)* bereitgestellt.

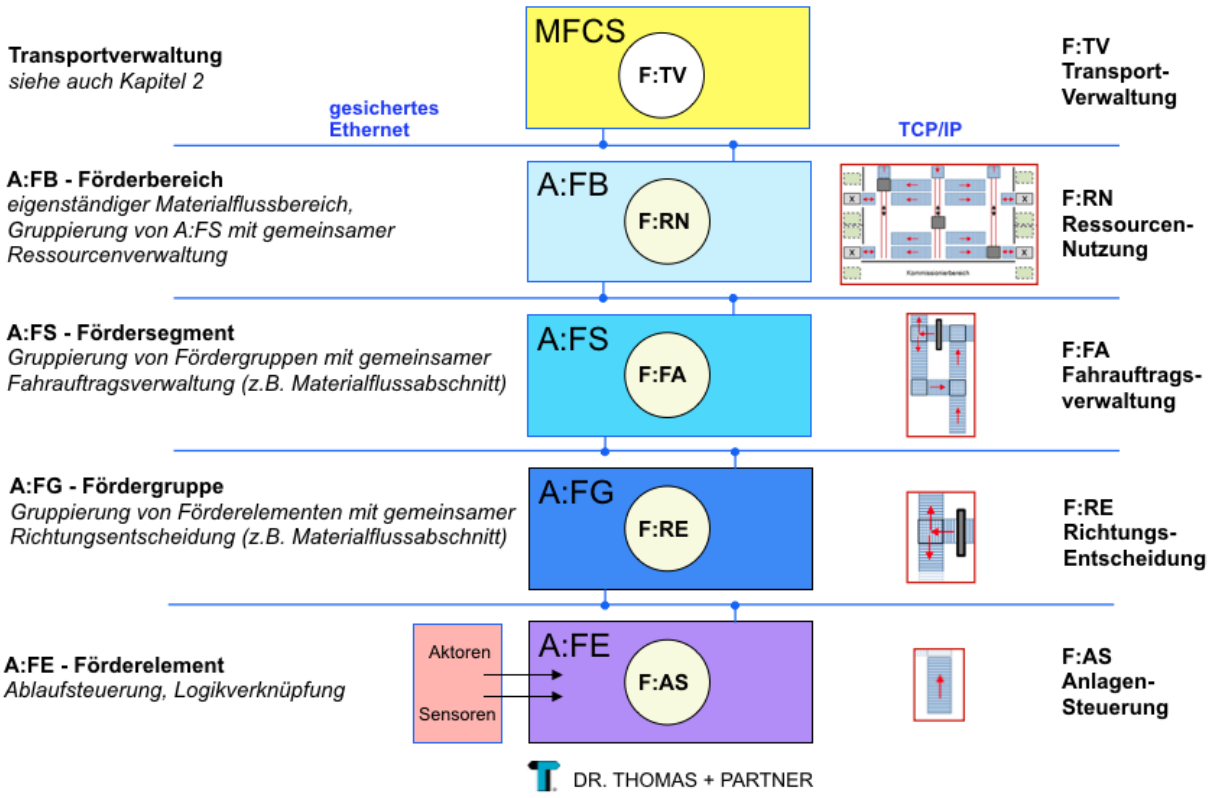


Abbildung 1.3: Förderkomponenten, die Anlagefunktionen in wiederverwendbare Einheiten kapseln

1.3 Aufgabenzuordnung zwischen dem Transportsteuerungssystem und dem Material Flow Control System

Die Aufgabenzuordnung zwischen dem Transportsteuerungssystem (TSS) und dem Material Flow Control System (MFCS) wird zum einen durch die rasante Hardware-Entwicklung vorangetrieben und zum anderen durch die objektorientierte Programmierung. Die Anlagen-nahen Förderkomponenten, welche die beschriebenen Anlagenfunktionen F:AS und F:RE in wiederverwendbare Einheiten kapseln, bilden die Grundlage für die Modulierung des TSS. Die Modellierung dieser gekapselten Einheiten zu einem TSS wird positiv unterstützt durch die rasante Hardware-Entwicklung bei den MFCS, die Prozessreaktionszeiten < 15 ms garantieren. Passend zu dieser Aufgabenzuordnung werden die Funktionsebenen F:FA, F:RN, F:TV, die keinen Bezug mehr zu den fördertechnischen Komponenten haben, auf dem MFCS abgebildet.

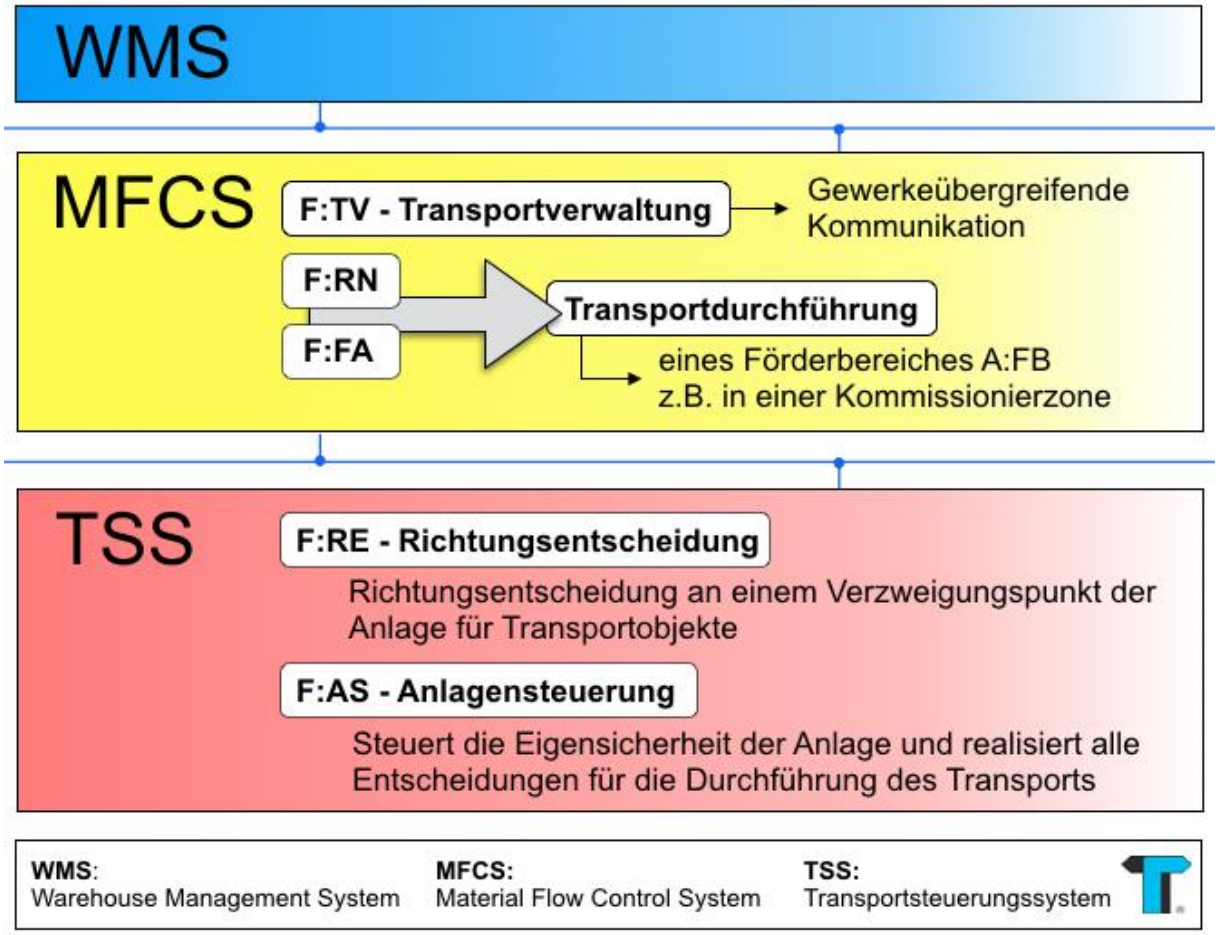


Abbildung 1.4: Aufgabenzuordnung zwischen dem Transportsteuerungssystem und dem MFCS (siehe Kapitel 2)

Damit wird auch das eigentliche Ziel, die Wiederverwendbarkeit dieser MFCS-Komponenten, erreichbar. Die industrielle Software-Entwicklung des MFCS mit dem Ansatz der objektorientierten Programmierung, hier als Beispiel durch ein programmiertechnisches Verfahren, dem Entwurfsmuster “die Brücke“ (siehe Kapitel 2.1).

Mit dieser Aufgabenzuordnung wird darüber hinaus eine Reduzierung der Komplexität erreicht, was wiederum deutlich mehr Transparenz in der Software-Architektur schafft (siehe Kapitel 2.1).

1.3.1 Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist es heute oftmals der Fall, dass bei einem Neu- oder Umbau eines Distributionszentrums verschiedene Gewerke-Hersteller unter einem Dach zusammenarbeiten. Diese Heterogenität der Lieferanten und deren Systeme bringt jedoch gleichzeitig auch zusätzliche Reibungspunkte mit sich. So sind zwar die Mindestanforderungen für den Informationsaustausch zwischen den SAIL-Komponenten in VDI/VDMA 5100 dargestellt. Die Anforderung an eine Gewerke übergreifende Kommunikation, zum Beispiel zwischen einem Hochregal-Lager (HRL), der HRL-Vorzone und der Kommissionier-Anlage, sind jedoch nicht Gegenstand der Richtlinie.

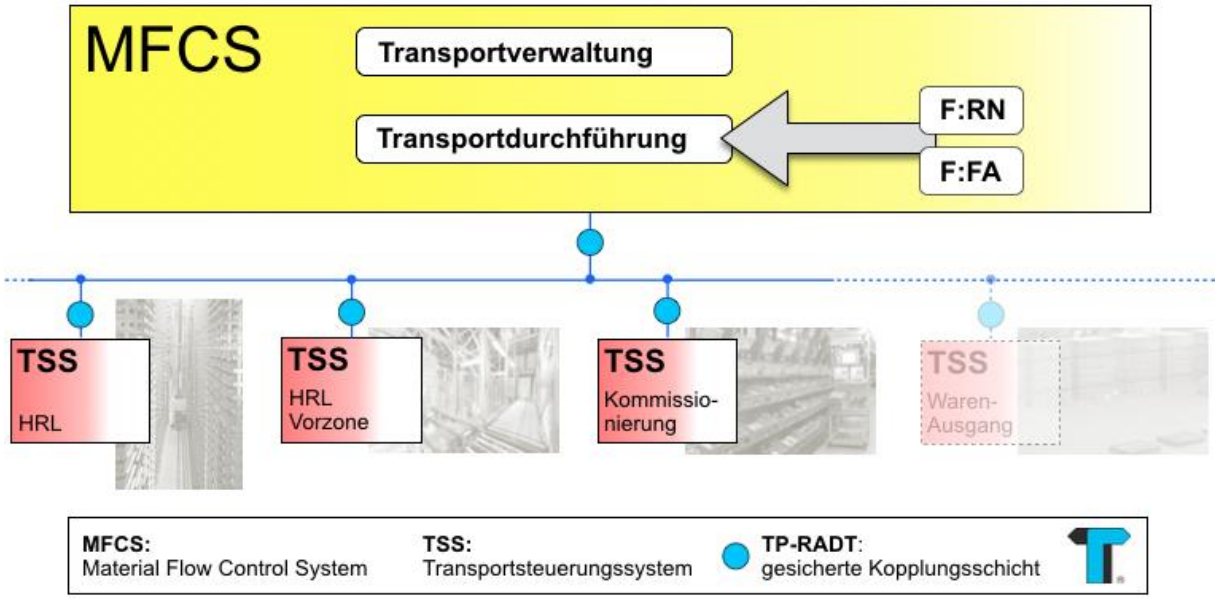


Abbildung 1.5: Gewerkeübergreifende Kommunikation

Eine Integration verschiedener Lösungen der jeweiligen Gewerke-Hersteller in das Gesamtgefüge erfordert ein gemeinsames Lösungsverständnis, denn die unkoordinierte Funktions-Modulierung führt zur **informellen Fraktionsbildung**. Der Schlüssel sind **klar definierte Schnittstellen**, sowohl zwischen den Gewerken als auch von den einzelnen Gewerken zum übergeordneten MFCS. Eine heterogene Individualität in der Umsetzung der Kopplung von Fremdsystemen wäre ein Rückschritt und verbunden mit einem extrem hohen Engineering-Aufwand, der dann zur **Kostenfalle** werden kann.

Sind die Schnittstellen genau definiert, bringt das Vorteile für den Hersteller und den Anlagenbetreiber. Der Lieferant kann seine Komponenten bereits bei der Herstellung ausgiebig testen, lange bevor sie tatsächlich im Lager verbaut werden.

Auch die Fernwartung im After-Sales wird möglich, wenn alle Komponenten zentral angesprochen und überprüft werden können.

Die Kopplung zu Fremdsystemen - z.B. zwischen dem HRL und einem Kommissionier-System - wird über eine **gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT** (= **R**eliable **A**pplication **D**ata **T**ransfer by Dr. **T**homas + **P**artner) realisiert, die einen geblockten Telegrammaustausch über Streamsocket auf TCP/IP (siehe Kapitel 4.2.4) ermöglicht.

1.3.2 Vorteile der Systemarchitektur

Die Vorteile der Systemarchitektur für Intralogistik-Anlagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine modulare Baukastensicht der Anlage in der Planungsphase
- Eine transparente Funktionsbewertung in der Beschaffungsphase
- Eine klare Funktionsabgrenzung bei der interdisziplinären Zusammenarbeit während der Realisierungsphase
- Eine eindeutige Schnittstellendefinition an den Bausteingrenzen während der Realisierungsphase.
- Der Hersteller ist innerhalb der Funktionen an keine Konventionen gebunden.
- Eine hohe Verfügbarkeit durch klare Funktionsabgrenzung in der Betriebsphase.
- Eine risikoarme Austauschbarkeit funktional abgegrenzter Teilgewerke oder Komponenten in der Modernisierungsphase.
- Eine Wiederverwendbarkeit der gekapselten Einheiten

2 GESTALTUNG UND EINSATZ INNOVATIVER MATERIAL-FLOW-CONTROL-SYSTEME (MFCS)

Die wichtigste Aufgabe des MFCS ist die Beauftragung von Fördersystemen mit Fahraufträgen in einer Weise, die die Anlage optimal auslastet und die logistischen Prozesse termingerecht bedient.

2.1 Die Materialflusssteuerung als Dienstleistung für ein Distributionszentrum.

Als Materialflusssteuerung, auch Material Flow Control System (MFCS), wird sehr häufig eine direkt einer Förderanlage zugeordnete Auftragsverwaltung bezeichnet. Diese Sicht aber wird der Aufgabe nicht gerecht, wenn in einem Distributionszentrum eine gewachsene heterogene Struktur an Förderanlagen existiert, die erst in ihrem koordinierten Zusammenwirken das optimale Betriebsergebnis ermöglicht.

Das MFCS erfüllt im engeren Sinne in der Welt der IT-Systeme von Distributionszentren, eine zentrale Funktion, die jederzeit den optimalen Durchsatz der Anlage gewährleistet. Dabei werden seine Funktionen einerseits von einer in der Regel Investitionskosten-optimierten Anlage oder einem Konglomerat verschiedener Anlagen und Ausbaustufen genutzt, andererseits von den Funktionen des operativen Betriebs mit unterschiedlichen Nutzungsstrategien. Dabei muss das MFCS in seinem Verhalten berechenbar und stabil sein und jederzeit zur Laufzeit an neue Strategien, erweiterte Anlagen und neue Ideen angepasst werden können. Dieses setzt für ein MFC-System standardisierte Module voraus, die flexibel genug sind, mit allen Anforderungen fertig zu werden, oder die leicht auf neue Anforderungen angepasst, bzw. erweitert werden können.

2.2 Beziehungen zwischen Transportverwaltung, Transportdurchführung und Transportsteuerungssystemen

Erinnern sie sich daran, dass die Transportverwaltung als Aufgabenschicht direkt über der Transportdurchführung liegt (siehe Kapitel 1, Abbildung 1.5).

Während der **Transportverwaltung** die zentrale Instanz zur Überwachung, Beauftragung und Koordination aller Transportaufträge und Transportressourcen ist, realisiert die Transportdurchführung die erzeugten Transportaufgaben zwischen Transportverwaltung und dem Transportsteuerungssystemen (TSS). Es wird deutlich die wichtigste Funktion innerhalb eines MFC-System ist die Beauftragung von Förderanfragen in einer Weise, die die Anlage optimal auslastet und die logistischen Prozesse bestmöglich bedient.

Beide Ziele können nicht unabhängig voneinander erreicht werden, manchmal entstehen Zielkonflikte. Führend ist immer der logistische Prozess: Die termingenaue und vollständige Auslieferung von Ware ist das Primärziel, an dem sich sowohl die Gestaltung der Anlage als auch deren Betrieb zu orientieren hat. Die optimale Auslastung der Anlage durch das MFCS ist diesem Ziel untergeordnet.

Es wird sichtbar: Die **Transportverwaltung** ist die zentrale Instanz zur Überwachung, Beauftragung und Koordination aller Transportaufträge und Transportressourcen (Abbildung 2.1).

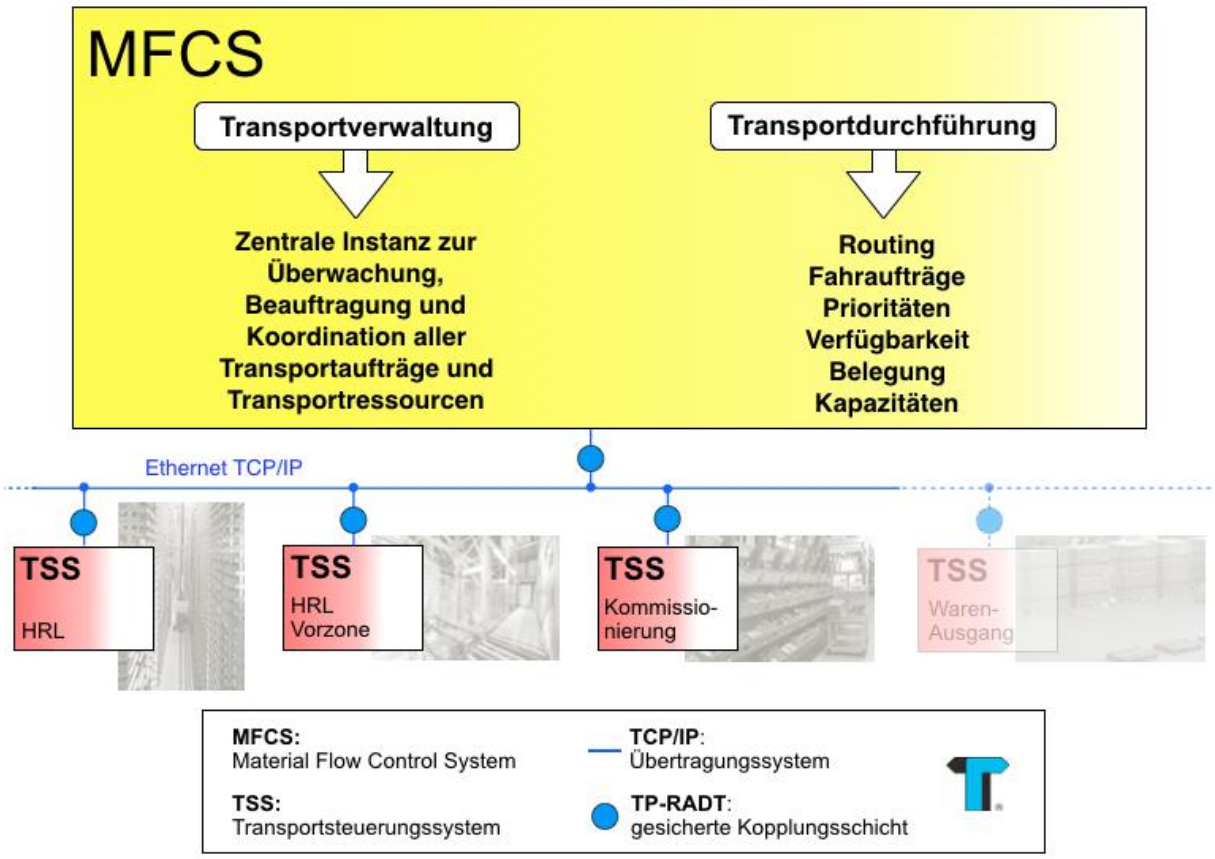


Abbildung 2.1: Aufgabenzuordnung des MFCS

Die **Transportdurchführung-Schicht**, hat primär die Aufgabe, bestehende Transportaufgaben so durchzuführen, dass die Anlage nicht blockiert wird. Hierzu hat es den Betriebszustand der Anlage und den Belegungszustand von Strecken, Punkten und Transportressourcen zu beachten und die vorhandenen verfügbaren Fördermittel mit entsprechenden Fahraufträgen zu beauftragen. Die Durchführung der Fahraufträge selbst ist nicht Aufgabe des MFCS, sondern die der unterlagerten Steuerungen. Insbesondere muss bei der Transportkoordination die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Belastungssituation aller Förderbereiche gemeinsam berücksichtigt wird. So werden durch „standardisierte Module“ für Regalbediengeräte, Palettenfördersysteme Taxibetrieb für fahrerlose Transportsysteme usw., gemeinsam gesteuert.

2.3 Grundlagen der MFCS-Entwicklung

Es gibt ein paar interessante Ansätze bei der Modellentwicklung für eine **standardisierte Lösung**:

a) Aus logistischer Sicht gilt die Prämisse:
Das MFC-System berechnet in Echtzeit (real-time) den schnellsten Weg zum Zielpunkt und entscheidet immer unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Anlagenressourcen über die effektivsten Wege. Diese logistische Vorgabe gelingt durch **die Abbildung der Förderanlagen in einem hierarchischen Konzept**.

b) Aus Aspekten der Wiederverwendbarkeit sind Entwurfsmuster eine bewährte Schablone für die wiederverwendbare Vorlage zur Problemlösung. Ziel dabei ist es, einen getesteten Standard-Softwarebaustein zu generieren (vgl. Kapitel 6.3.1: *Entwurfsmuster „Die Brücke“ angewendet an das Transportgut*).

2.3.1 Hierarchisches Abbild der statischen und dynamischen Anlagenressourcen

Erinnern wir uns: das MFCS ist die zentrale Instanz zur Überwachung, Beauftragung und Koordination aller Transportaufträge und Transportressourcen. Innovative MFCS berechnen in Echtzeit den schnellsten Weg durch eine Förderanlage und bestimmen immer unter Berücksichtigung der verfügbaren Anlagenressourcen, die effektivsten Wege.

Ebene Anlagenmatrix:

Dem MFCS liegt ein **statisches Abbild der Förderanlagen zugrunde**, das auf einem Konfigurationssystem erstellt bzw. gepflegt wird (Abbildung 2.2).
Die Förderanlagen werden als Netz von Wegen- und Anlagenpunkten abgebildet.
Mit diesem Ansatz wird die **Anlagenmatrix** aus folgenden Daten erzeugt:

- Anlagenpunkten
- Wege als gerichtete Verbindungen zwischen zwei Punkten
- Fahrplan-Einträge die definieren auf welchen Weg von einem Punkt aus das Transportziel erreicht werden kann
- Hier werden alle in der Anlage möglichen Transportalternativen aufgelistet
- Die Einträge (Transportalternativen) enthalten eine Sortierreihenfolge die bestimmt, welche Alternative zu bevorzugen sind.
- Außerdem ist hier festgelegt welcher „Bereichsverwalter“ für die Zuteilung zu einem konkreten Transporter (standardisiertes Modul) zuständig ist.

Abbildung 2.2: Anlagenabbild (Teilansicht). Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche wird das Anlagenbild im MFCS abgelegt

Ebene Rekursives Routing - Routengenerator

Mit der Anlagenmatrix und einem speziellen Routing wird der kürzest mögliche Weg zum Zielpunkt berechnet. Mit diesem Ansatz erzeugt ein Routengenerator eine Routingtabelle der Quelle/Zielbeziehungen (siehe auch Kapitel 2.3.3).

Es sollte jetzt deutlich geworden sein, wie der Weitertransport eines Transportgutes beauftragt wird. Im Hintergrund wird mit den statischen Daten (Anlagenmatrix) und dem momentanen vorliegenden Betriebszustand, dynamisches Abbild der Anlagenressourcen (Routingtabelle), einer freien Ressource (Fördertechnik, Stellplatz, Fördermittel…) der Fahrauftrag zum Transport eines Transportgutes vergeben.

Die Aufnahmekapazität der freien Ressource wird bestimmt durch den Typ des Bereichsverwalters bzw. des Transporteurs bzw. durch die Aufnahmefähigkeit des Endpunktes des aktuellen Weges.

Dabei gelten die Grundregeln:

- Ein Fahrauftrag wird vergeben, wenn auf der Strecke bis zum nächsten Zielpunkt die Anlagenkapazität ausreicht.
- Mit der Beauftragung wird der Quellplatz entlastet, der jetzt wieder neu belegt werden kann, indem ein wartender Transportauftrag zu diesen Anlagenpunkt aktiviert wird

Für die Lösung von inhomogenen und komplexen Förderanlagen hilft der Ansatz für unterschiedliche Fördermittel jeweils angepasste Bereichsverwalter, standardisierte Module einzusetzen.

Die Anwendung in der Praxis zeigt, mit dem Einsatz nachfolgender Module (Bereichsverwaltern) lässt sich die Komplexität beherrschen:

- Regalbediengeräte (mehrfachtiefe Einlagerung)
- Palettenfördersysteme
- Taxi-Betrieb für Bereiche mit fahrlosen Transportsystemen (siehe Übung fahrloses Transportsystem)
- Elektro-Hängebahn oder Elektro-Palettenbodenbahn
- Direktbetrieb von Behälterfördersysteme und Sortern
- sowie Shuttle-Systeme

2.3.2 Parametrierung, Anpassung, Erweiterungen

Der größte Teil der Funktionen innerhalb des MFCS kann fertig entworfen und ausprogrammiert werden, soweit es sich auf die Ressourcenbelegung und die Beauftragung bisher bekannter Fördersysteme bezieht. Ein Großteil der anlagenspezifischen Anpassung kann in der Laufzeitapplikation durch Parametrierung vorgenommen werden.

In der ständig veränderten Welt der Technik muss man natürlich auch mit völlig neuen Geräten und Fördertechniken rechnen, die eine Anpassung oder Erweiterung des Standards erfordern. Darüber hinaus muss das System es auch ermöglichen, dass projektspezifische Erweiterungen vorgenommen werden können.
Dies wurde bei der Modell-Entwicklung des MFC-System durch

- standardisierte Module (Bereichsverwalter)
- und dem Entwurfsmuster *„Die Brücke“* (angewendet auf das Transportgut im Rahmen eines Lagerplatzsystems, siehe Kapitel 6.3.1 ff)

erreicht.

2.3.3 Ergebnis durch Rekursives Routing am Beispiel eines Distributionszentrums

Nachdem wir im vorherigen Abschnitt *Rekursives Routing* behandelt haben, wollen wir nun am Praxisbeispiel eines **Distributionszentrums** das Ergebnis der damit erzeugten Routentabelle darstellen. In der folgenden Abbildung 2.3 ist das Groblayout abgebildet.
Zur Abbildung der logistischen Prozesse sind folgende Fördermittel im Einsatz:

- 102 Stapler
- 18 Regalbediengeräte (RBGs)
- 4 Palettenfördersysteme

- 1 Leichtförderanlage
- 1 Sorteranlage

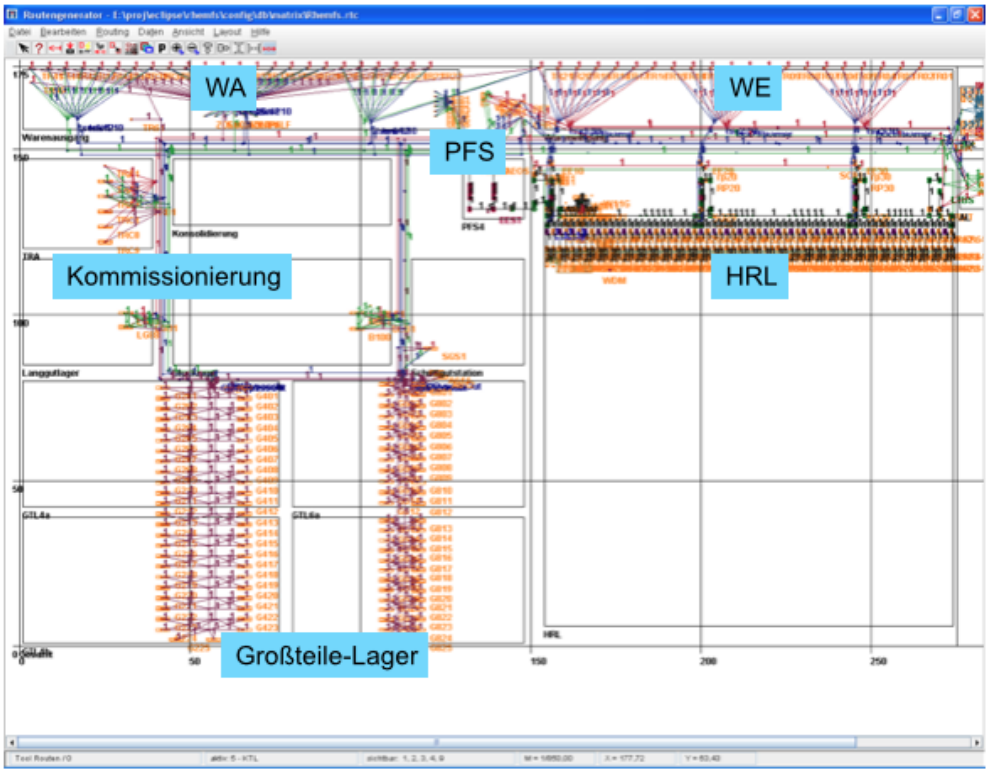


Abbildung 2.3: Praxisbeispiel: Groblayout eines Distributionszentrums

Die auf der Basis erzeugte Routingtabelle arbeitet mit

- 510 Punkte → Quelle/Ziel
- 26.000 Punkte Wegebeziehungen
- 88.000 Quelle-Senke-Beziehungen

Zusammenfassend kann als Ergebnis gezeigt werden, dass **ein MFC-System** in diesem Distributionszentrum, online den Materialfluss bedient (vom Wareneingang bis zum Warenausgang).

2.3.4 Methoden zur Bildung von optimalen Fahraufträgen

Was hilft das beste Routing, wenn keine planbaren Aufträge vorhanden sind?
Abgeleitet aus der Praxis eignen sich die folgenden Methoden zur Bildung von optimalen Fahraufträgen (siehe Kapitel 5.3 ff):

- Mithören am Bestelltopf
  → frühzeitig Nachschub auslösen und an das MFCS weiterleiten
- Batchkommissionierung
  → Raffen von Kundenaufträgen, Mehrfachzugriff auf einen Artikel

- Zeitscheibenbildung
  → termingerechte Tourenbereitstellung im Warenausgang
- Reservierung von Eilbatches
  → zeitgesteuertes Einschleusen in den Tagesablauf

2.4 Fehler in der Planungsphase bei MFC-Systemen

Das Material Flow Control System ist das Herzstück eines komplexen Warehouse Management Systems. Erst ein optimiertes und störungsfreies Routing ermöglicht die Wirtschaftlichkeit eines Lagers. Genau deshalb sind eine saubere Planung und Umsetzung des MFCS eine unverzichtbare Voraussetzung für ein erfolgreiches WMS-Projekt. Leider wird genau an dieser Stelle oft versäumt, den Kunden bereits im Vorfeld auf den richtigen Weg zu leiten (Konfliktsituation: Planer / Gewerke-Lieferant / IT-Realisierung).

Häufige **Fehler in der Praxis** sind unter anderem:

- für einen einfachen, geradlinigen Materialfluss wird zu wenig Zeit verwendet
- hochkomplexe Sonderwünsche werden hochgespielt
- aus Planungsunsicherheit werden viele Funktionen für wenig Geld angestrebt
- für systemverbessernde Maßnahmen nach der Hochlaufphase ist kein Budget mehr eingeplant

Betriebszustände

Über die Diskussion der möglichen Parametrierbarkeit des MFCS wird oftmals die Frage gestellt: In welchem Betriebszustand wird welche Zuteil-Strategie für Aufträge auf freie Ressourcen verwendet? Mögliche Strategien sind beispielsweise:

- FIFO-Steuerung (First-in-first-out-Steuerung)
- PRIO-Steuerung (Prioritätssteuerung)
- FIFO in der Prioritätssteuerung
- Ressourcensteuerung

Die Erfahrung zeigt: Ein komplexes MFCS ist auch von bestausgebildetem Leitstandpersonal nicht manuell steuerbar. Daher hat sich eine Mischlösung bewährt:
Auf der Förderstrecke FIFO-Steuerung, bei der Auslagerung vom HRL PRIO-Steuerung.

Kennzahlen

Bei der Definition und Zielvorstellung, mit welchen Kennzahlen das MFCS bewertet werden soll, kommt oft der Wunsch nach einer Vielzahl von Statistiken auf. Dies birgt bei der Planung verschiedene Probleme:

- Langwierige Diskussionen in der Pflichtenheft-Phase und der anschließenden Anforderungsanalyse.
- Die Logistiker und Entwickler vergeuden wertvolle Zeit, die dann in der Konstruktions- und Implementierungsphase fehlt (siehe Kapitel 5 „Geschäftsprozesse“).
- Nach der Hochlaufphase ändert sich die Fragestellung häufig erneut.

Auswertung und Datenverdichtung

Hier gilt, dass aus dem Analysemodell für die Geschäftsprozesse von WE bis WA, durch eine industrielle Planung (Software Follows Funktion) alle Arten möglicher Ereignisse definiert sein sollten. Damit erfolgt als Zielvorstellung die Auswertung und Datenverdichtung dezentral auf PC-Basis (siehe Kapitel 5 und Kapitel 6).

2.5 MFC-Systeme in der Praxis - Herausforderungen und Kostentreiber

In Projekten fehlt oft die klare Aufgabenteilung zwischen dem Transportsteuerungssystem und dem MFCS. Entgegen der Fehleinschätzung vieler Projektverantwortlicher hat sich die Aufteilung:

- Ein Ansprechpartner für die Anlagensteuerung und
- ein Ansprechpartner für das MFCS (Logik auf dem MFCS)

in der Praxis bewährt.

2.5.1 Vermeidung von Schnittstellenvielfalt im Projekt

Bei unterschiedlichen Gewerkelieferanten im Projekt, bei dem jeder Lieferant seine Schnittstelle zu den Fremdgewerken durchsetzen will, herrscht eine heterogene Individualität, die schnell zum Kostentreiber werden kann. Die homogene Integration erfordert ein gemeinsames Lösungsverständnis (wie in Kapitel 1.3.1 „Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation“ erläutert wird).

Nach heutigem Stand der Technik wird die Kopplung zu Fremdgewerken, auch zu SPSen, über eine gesicherte Kopplungsschicht realisiert, die einen geblockten Telegrammaustausch über Streamsockets auf TCP/IP abwickelt. Der Nachrichtenaustausch und der Quittungsverkehr erfolgen dabei über einen einzigen Socket (Kapitel 4.2.3.2).

Die Vorteile liegen auf der Hand:

Ein Streamsocket auf TCP/IP ist weltweit problemlos nutzbar und auf jeder Plattform einsetzbar. Die Administration ist einfach (Firewall, Tunneling, siehe Kapitel 4.2.3.2).

2.5.2 Hohe Effizienz und Transparenz bei Inbetriebnahme und Wartung

Zwei der großen Herausforderungen in Intralogistik-Projekten, die Inbetriebnahme und die Wartung, werden entschärft, wenn alle Gewerke-Lieferanten ein gemeinsames Lösungsverständnis entwickeln und sich auf gemeinsame Schnittstellen verständigen.

Mit dieser Maßnahme wird auch die geforderte Transparenz des Betreibers für den laufenden Prozess erfüllt. Darüber hinaus erwartet der Betreiber einen Remote-Zugriff und den Einsatz von flexiblen Wartungstools (vgl. Kapitel 1.3.1 Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation).

2.6 Auf dem Weg zur Schaltschranklosen Fabrik

Der Trend zur Schaltschranklosen Fabrik entwickelte sich langsam in den 90er Jahres des vorherigen Jahrhunderts.

- Die digitalen I/O wurden durch die Einführung von Bus-Systemen (z.B. Interbus, Phoenix, u.a.) dezentralisiert
- Die Power-Elektronik wanderte aus dem Schaltschrank zu den Antrieben. Übrig blieb die Steuerungslogistik und die Einspeisung

Der Stand der Technik heute:

- Ein Teil der Steuerungselektronik ist im MFC (Server) angelegt
- Die Richtungsentscheidung F: RE und die Anlagensteuerung F: AS sind Teil des Transportsteuerungssystem (TSS) und damit integrierter Bestandteil der SPS bzw. PC (Speicherprogrammierbaren Steuerung / PC) im Schaltschrank
- Die unterlagerte SPS führt die Fahraufträge aus. Verbunden mit dem Nachteil der doppelten Datenhaltung innerhalb MFC-Systeme und der SPS (vergleiche auch Abbildung 2.1 in Kapitel 2.2).
  Neuer Ansatz durch stetige Software-Optimierung und immer potenterer Hardware werden heute in der Praxis bei MFC-System Prozessreaktionszeiten <10 ms gewährleistet. Damit gelingt ein neuer Ansatz in der Materialflusstechnik.

Innovativer, neuer Ansatz in der Materialflusstechnik:

- Die Steuerungslogik wandert aus dem Schaltschrank zur Physik, jedes Förderelement hat seine eigene Steuerungslogik
- Das MFC-System ist jetzt direkt über eine Fremdsystemkopplung (gesicherter TP-RADT) mit den Förderelementen im Lager verbunden, wenn jedes Förderelement seine eigene Anlagensteuerung F:AS besitzt (vergleiche auch Kapitel 4.2.3.2 und 4.2.4). Durch den gesetzlich vorgeschriebenen Einsatz von Energiesparmotoren seit 2011 ist die Integration der Anlagensteuerung F:AS in die Antriebssteuerung ein logischer Schritt (international harmonisierte Wirkungsgradnorm (DIN EN 60034-30:2009). Der technologische Hintergrund dabei ist, die vorgegebenen Wirkungsgradklassen werden durch digital geregelte Drehstrom-Asynchronmotoren erreicht (siehe auch Kapitel 2.6.2).

Wie in Abbildung 2.4 erläutert, ist die Anlagensteuerung in die Antriebssteuerung integriert. Überträgt man diese Idee in die Praxis, ist es leicht vorstellbar, welches Potenzial sich dahinter verbirgt. Im Schaltschrank bleibt letztlich nur noch die Energieeinspeisung übrig

- Damit entfallen beträchtliche Verkabelungsaufwände zu den Sensoren und Aktoren
- Die einzelnen Förderelemente werden online vom MFC-System über LAN-Kommunikation (TP-RADT) angesprochen
- Gleichzeitig wird ein großer Vorteil sichtbar, es findet keine doppelte Datenhaltung mehr statt. Vereinfacht die Synchronisierung der Bestandsdaten und Fahrauftragsdaten nach einer Fehlerbehebung

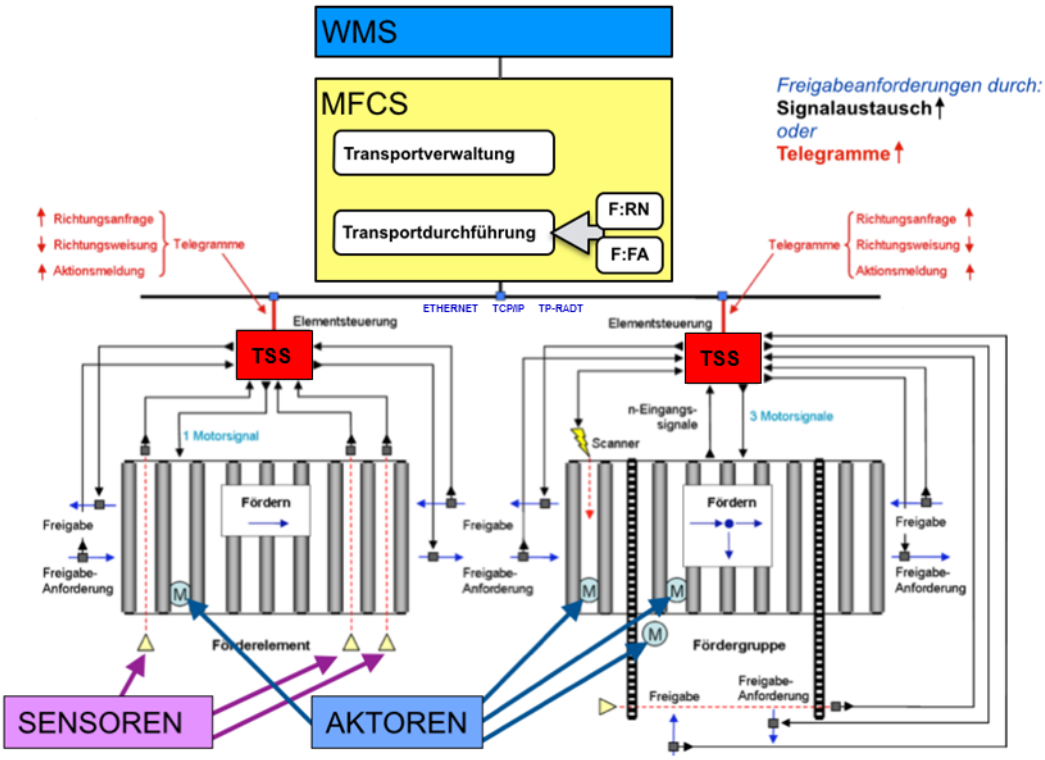


Abbildung 2.4: Neue Funktionskonfiguration (MFCS ist über TP-RADT mit den Förderelementen verbunden)

Die Förderelemente können direkt beim Hersteller gefertigt und getestet werden, inklusive der Anlagensteuerung F:AS, so erklärt sich die Bedeutung des Satzes *„Die Steuerungslogik wandert aus dem Schaltschrank zur Physik“*. Die Montage und Inbetriebnahme beim Kunden ist dann nur noch die Kür, da die Elemente auf Grundlage des SAIL-Standards gefertigt und bereits getestet sind. Die Förderelemente können jetzt problemlos vor Ort installiert werden, und über das Übertragungssystem TCP/IP - TP-RADT mit dem Materialflussrechner verknüpft werden (siehe Kapitel 4.2.4). Auch nach der Erstinstallation können so Förderelemente und Lagerleistung umgehend und komplikationslos den aktuellen Marktanforderungen angepasst werden. Komplexe und starre Förderanlagen mit aufwendigen SPS-Steuerungen könnten dann schon in absehbarer Zukunft der Vergangenheit angehören (Abbildung 2.4).

2.6.1 Effizienzpotential bei elektrischen Antrieben

Ein interessantes Merkmal von **Energiesparmotoren** der Wirkungsgradklassen:

- IE2 - für gehobenen Wirkungsgrad
- IE3 - für Premienwirkungsgrad
- IE4 - für Super Premiumwirkungsgrad

ist, dass mit dem Wirkungsgrad die Effizienz von Elektromotoren bei der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie beschrieben wird.
Der Gesamtwirkungsgrad ist abhängig vom Motor, Getriebe und Regelung (weltweit gültige Wirkungsgradkurven; Quelle: IEC, DENA, DICE, SEW, ZVEI).

Energiekosten senken durch mehr Energieeffizienz (Quelle: SEW-Eurodrive, 2012):

Die Energiekosten werden reduziert durch den gesteigerten Gesamtwirkungsgrad. Diese Energieoptimierung soll am Beispiel für einen horizontalen Transport dargestellt werden. Aktuelle Messungen an einem Gurt-Förderer im Rahmen eines Gepäckfördersystems in der Flughafenlogistik belegen

- Eine durchschnittliche Reduzierung der Leistungsaufnahme um ca. 4.400 kWh/a je Antrieb
- Eine Senkung des Energieverbrauchs um 55 %
- Eine CO_2-Emissionsreduzierung von 2.391 kg je Antrieb pro Jahr
- Energiekosten-Ersparnis von 536 € je Antrieb pro Jahr

2.6.2 Auf der Zielgeraden der „Schaltschranklosen Fabrik“ Industrie 4.0

In der folgenden Abbildung 2.5 sind die Vorteile der beschriebenen Technologie einer Schaltschranklosen Fabrik graphisch aufbereitet.

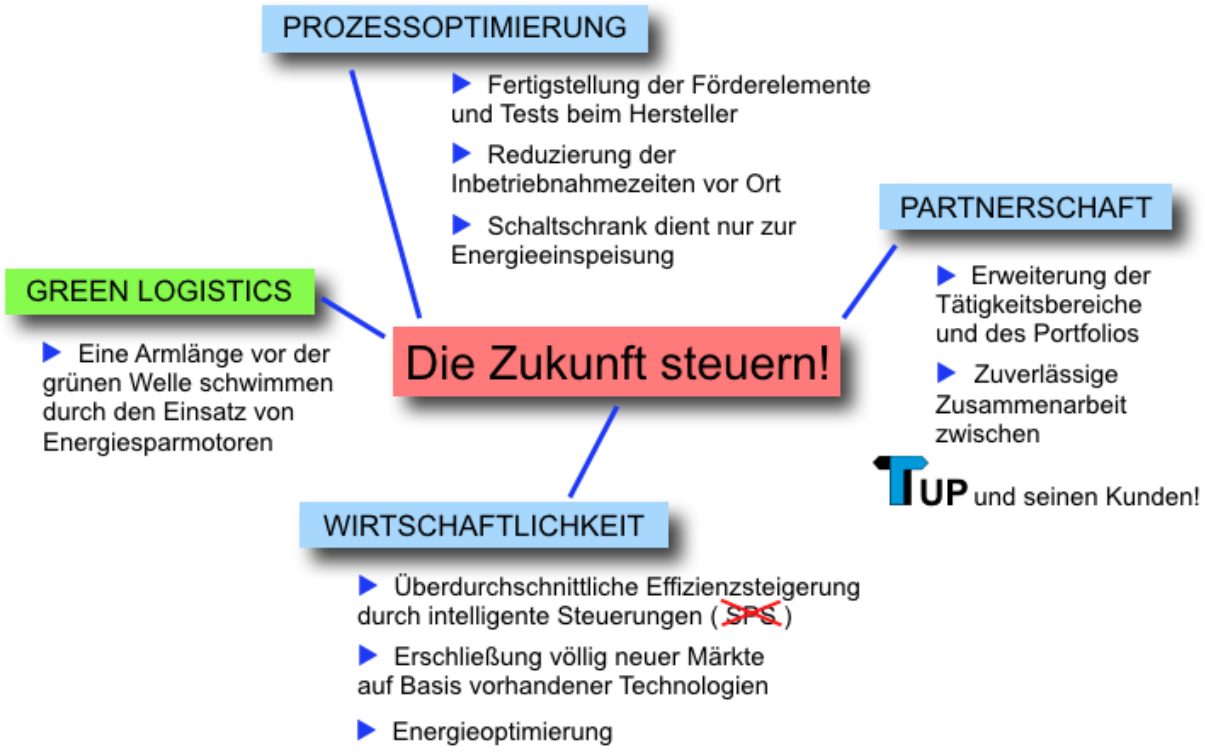


Abbildung 2.5: Die Vorteile der Schaltschranklosen Fabrik

2.7 Einordnung des MFC-System in die Systemlandschaft

Die Abbildung 2.1 zeigt den heutigen Stand der Aufgabenzuordnung des MFC-System. Mit der neuen Funktionskonfiguration werden die Abwicklungen der Fahraufträge vom TSS auf die Transportdurchführungsschicht verlagert (vergleiche Abbildung 2.4). Hier wird sichtbar, dass die Steuerungslogik aus dem Schaltschrank zur Physik wandert, und dass jedes Steuerungselement (Conveyor-Element) seine eigene Steuerungslogik aufweist:

- Damit entfallen beträchtliche Verkabelungsaufwände (Kostenfaktor), die einzelnen Förderelemente werden online vom MFC-System über LAN-Kommunikation angesprochen
- Gleichzeitig wird ein großer Vorteil sichtbar:
  es findet **keine doppelte** Datenhaltung mehr statt
- Dies vereinfacht die Synchronisierung der Bestandsdaten und Fahrauftragsdaten nach einer Fehlerbehebung

2.7.1 Modellentwicklung für eine standardisierte Lösung

Als Grundlage wird in Kapitel 2.3 die Abbildung der statistischen und dynamischen Anlagenressourcen in einem hierarchischen Konzept hergeleitet. Ein weiterführender Modellansatz ist mit dem Ziel verbunden, einen standardisierten Prozessbaustein MFCS zu entwickeln. Die Idee dahinter ist, die Transportverwaltung und Transportsteuerung als einen adaptiven „Prozessbaustein MFCS“ zu generieren (siehe Abbildung 2.6).
Unterstützt wird diese Entwicklung durch eine innovative Software-Architektur, mit der eine Wiederverwendbarkeit des „Prozessbausteins MFCS“ gelingt.

Im Rahmen der Wiederverwendbarkeit von Prozessbausteinen sind die Verfahren, wie die Standardsoftware und Prozessbausteine zu einem lauffähigen Kundensystem zusammgestellt werden, von enormer Wichtigkeit. Die dabei verwendeten Customizing-Verfahren unterteilen sich in:

- Programmtechnische Verfahren und
- Datentechnische Verfahren

Unter den Programmtechnischen Verfahren ist das Entwurfsmuster (englisch: Design Pattern) eine bewährte Schablone für eine wiederverwendbare Vorlage zur Problemlösung. Entstanden ist der Begriff in der Architektur und wurde später für die Software-Entwicklung übernommen (siehe Kapitel 6 „Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben“).

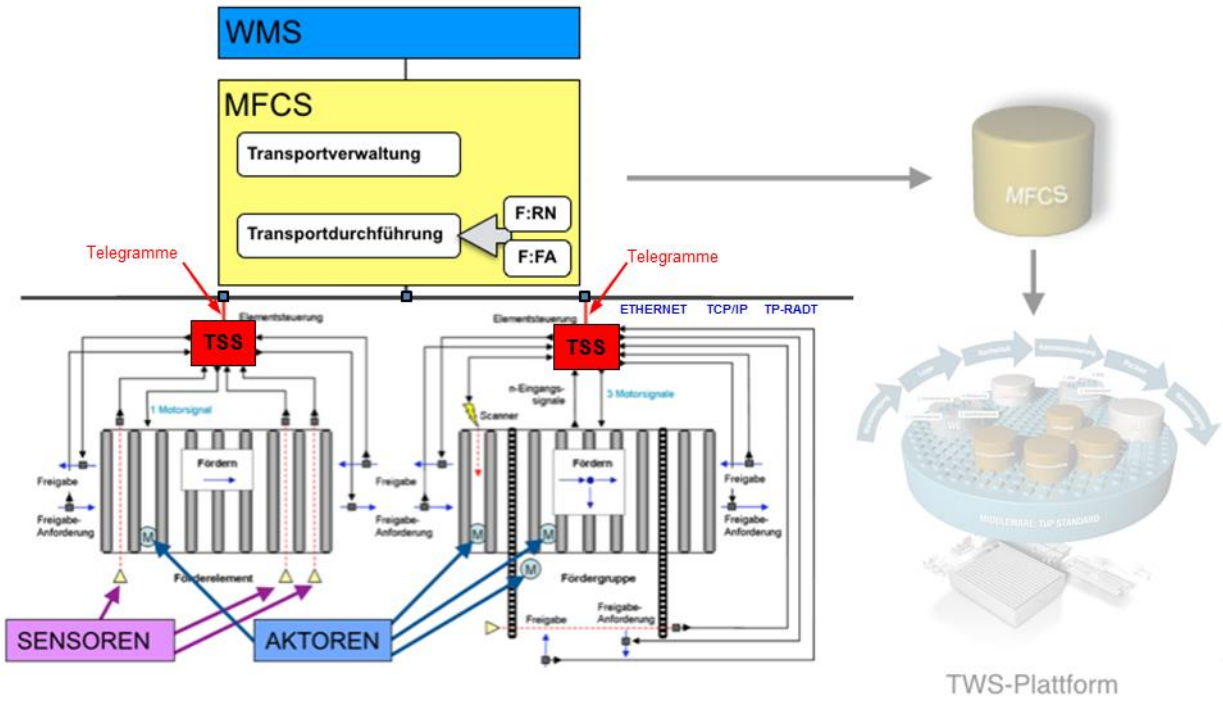


Abbildung 2.6: Adaptiver Prozessbaustein MFCS

2.7.2 Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme

Für ein lauffähiges Kundensystem spielt die in Abbildung 2.7 dargestellte TWS-Plattform die zentrale Rolle. Sie ist quasi das Bindeglied der abstrakten und unabhängigen Komponenten und konkretisiert deren Teilaspekte.

Die TWS-Plattform adressiert immer alle Aspekte einer intralogistischen Anwendungsdomäne und ist in sich nach Aspekten strukturiert.
Die TWS-Plattform macht architektonische und strukturelle Vorgaben (Frameworks) und unterstützt verschiedene Customizing-Technologien (siehe Kapitel 6). Mit diesem Ansatz wird das MFC-System als IT-Prozessbaustein auf die TWS-Plattform mit den Basisdiensten aufgesetzt. Damit gelingt ein weiterer innovativer Ansatz:

- Die Schnittstelle „Warehouse Management System“ WMS über ein LAN Kommunikation (Ethernet – TCP/IP – TP-RADT) entfällt.
- WMS und MFCS sind auf einer Hardware-Plattform vereint;
  damit kann das Konzept eines Clusters mit automatischer Fehlererkennung und Fehlerbeseitigung zum Einsatz kommen.
- Diese Entwicklung erhöht die Planungsintelligenz bei intralogistischen Systemen
- Führt zu Best-Practice-Lösungen und
- ermöglicht Kostenersparungen und Risikominimierung durch den gewerkeübergreifenden Einsatz der neuen MFCS-Technologie

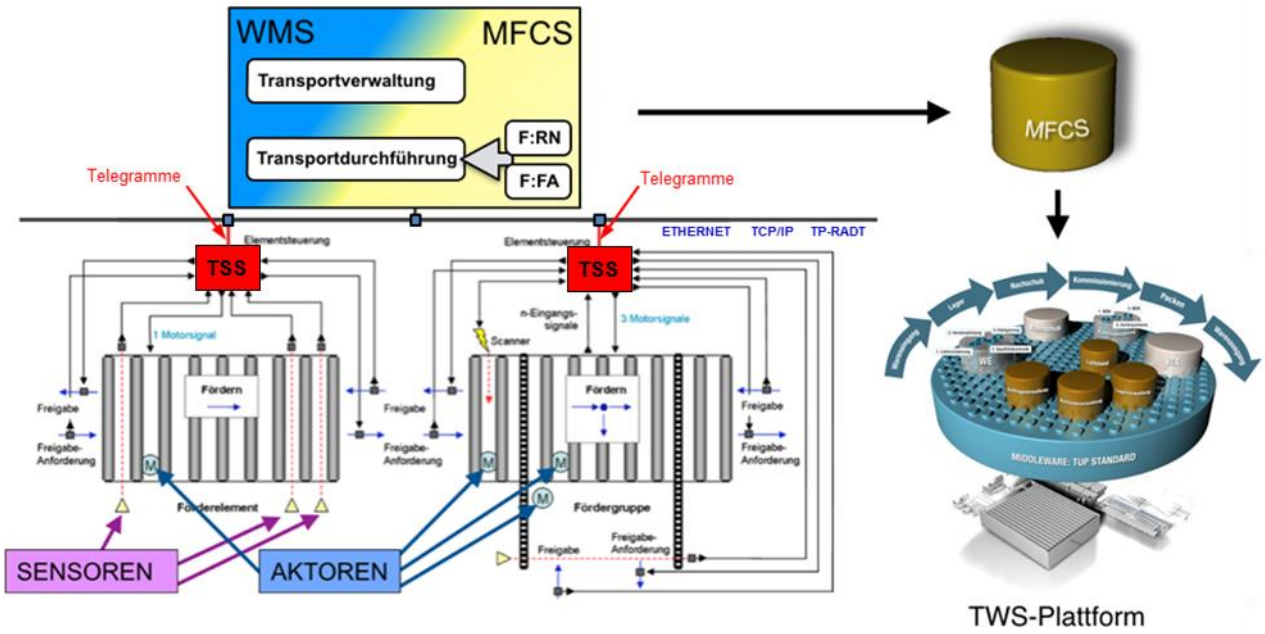


Abbildung 2.7: Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme

3 WARENIDENTIFIKATION – ANWENDUNG IN DER LOGISTIK

3.1 Identifikation

Unter Identifizierung versteht man das eindeutige, zweifelsfreie Erkennen eines Objektes. Dies entspricht der Formulierung der DIN 6763 in der die Identifikation definiert ist.
Zur eindeutigen Identifikation jedes Objektes wird einem Objekt ein Datenträger bzw. Informationsträger (Barcode oder RFID) angebracht, der bei Bedarf ausgelesen und beschrieben werden kann. Entlang der Geschäftsprozesse ist die codierte Information das Bindeglied zwischen dem Informationsfluss und dem Materialfluss und trägt bei der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zur Fehlervermeidung bei.

3.1.1 Identifikationssysteme mit optischen Datenträgern

Noch werden die meisten Identifikationsaufgaben in der Logistik und Distribution mit optischen Datenträgern gelöst. Die Gründe dafür sind, dass sich die optischen Datenträger sehr günstig herstellen lassen und das für die Codiertechnik weltweit gültige Standards existieren, z.B. der GS1-Standard, ein 1 D-Code (Strichcode bzw. Barcode). Barcodes bzw. Strichcodes basieren auf dem Binärsystem, welches durch eine bestimmte Anzahl von parallelen, abwechselnd schwarzen Balken (Bars) und weißen Lücken (Spaces) in unterschiedlichen Modulbreiten dargestellt werden.

Vorteile von Strichcodesystemen in der Logistik:

- Berührungslose Datenerfassung im Prozessverlauf
- Trägt bei der Mensch-Maschine-Kommunikation zur Fehlervermeidung bei (siehe Kapitel 5.3.2.7 „Mensch-Maschine-Kommunikation“)
- Flexible und schnelle Erstellung von Etiketten
- Mit Klarschrift zusammen auf einem Datenträger kombinierbar
- Kostengünstiges Datenträgermedium (bedrucktes Stück Papier)

3.1.2 1 D-Code in Ausführung als OCL-Barcode

Werden im WE eines Distributionszentrum LEs mit SSCC-Labels unterschiedlicher Hersteller ausgeliefert und sollen im Durchlauf automatisch erfasst werden, muss mit folgenden Einschränkungen gerechnet werden (siehe Kapitel 5.2.1, Abbildung 5.6):

a) Die aufgebrachten SSCC-Labels müssen omnidirektional erfasst werden (unabhängig von der Ausrichtung der Ware)

b) Eine mangelhafte Druckqualität in Verbindung mit Transportschäden des SSCC-Labels führen im laufenden Förderfluss zu unkalkulierbaren Leseraten

c) Die omnidirektionale Lesung im laufenden Förderfluss mittels CCD-Kameras, kann durch den Einsatz durch Applizieren eines vorgefertigten Over-Corner-Label (OCL) preisgünstiger gestaltet werden (Vermeidung von Kostentreibern).

Der nächste Schritt im Prozess- und Datenfluss ist, die erfassten SSCC-Daten und die vom WMS ermittelten Zielkoordinaten mit dem OCL zu verknüpfen und auf einer Datentabelle des MFCS zu hinterlegen. Mit diesem vorgedruckten datenreduzierten OCL wird im Förderfluss eine hohe Lese-Rate erreicht – egal ob das Fördergut längs oder quer gefördert wird (siehe Kapitel 5.2.1 „Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im WE“).

Abbildung 3.1: Applizierung des OCL im Wareneingang (inbound)

3.1.3 Global Standard One (GS1)

Standards sind heutzutage in jeder Branche, in jedem Unternehmen, unabdingbar. Entlang der unternehmensübergreifenden Geschäftsprozesse ist der GS1-Standard, als codierte Information das Bindeglied zwischen dem Informationsfluss und Materialfluss.

Bereits 1977 wurde die dazu notwendige Grammatik einer einheitlichen „Sprache“ gemeinsam von der internationalen Artikel Numbering Association (EAN international) in Brüssel und dem Uniform Code Council (UCC) heute GS1 in den USA verbindlich festgelegt und ist mittlerweile in über 100 Ländern akzeptiert.

3.1.3.1 GS1 Complete

Alle Beteiligten entlang der Supply Chain sollten der Organisation GS1 angehören, welche weltweit einheitliche Vorraussetzungen der Warenidentifikation garantieren kann:

GS1 Complete stellt hierfür die weltweit gültigen, branchenübergreifenden GS1 Standards für Identifikation, Datenträger, elektronische Kommunikation und Prozessgestaltung komplett in einem Leistungspaket zur Verfügung.

Am Anfang steht der Erwerb des Herstellers einer **GTIN** (Globale Trade Item Number) welche die **GLN** (Global Location Number) beinhaltet. Beide Nummern - GTIN und GLN - sind im 13-stelligen GTIN/EAN-Code kombiniert, und gewährleisten, daß jedes Produkt exakt zurückverfolgt werden kann:

Abbildung 3.2: GTIN/EAN 13

Durch die Einmaligkeit der Ziffernfolge dieses Barcodes kann an jeder Lokation entlang der Versorgungskette die Information, **wann**, **wo** und **von wem** ein Artikel hergestellt wurde, einfach ermittelt werden (siehe Kapitel 5.2 ff).

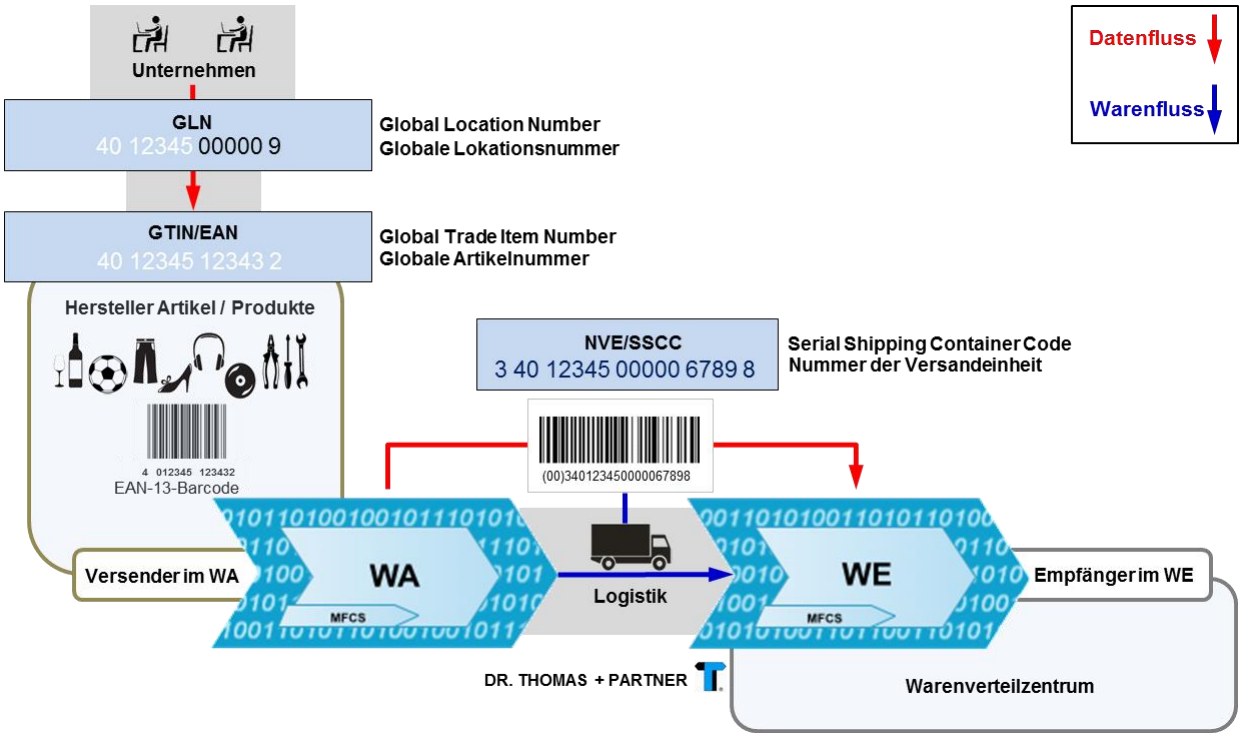


Abbildung 3.3: Prinzip GS1

Dieser Vorgang ist heute leider noch nicht selbstverständlich. Häufig entstehen bei der Analyse dieser Geschäftsprozesse (siehe Kapitel 5) vermeidbare und immense Kostentreiber, und es kommt auch des Öfteren zu unerwünschten Überschneidungen bez. der Dateninformation.

Und richtige Information ist alles.

Werden die Produkte in Versandeinheiten (wie Kartons oder auf Paletten) transportiert, sollte der **SSCC** (Serial Shipping Container Code) Verwendung finden. Auf dieser Nummer der Versandeinheit werden alle Elemente gemeinsam gespeichert.

Es handelt sich dabei um eine weltweit eindeutige und unverwechselbare 18-stellige Ziffernfolge, mit der es möglich ist, Sendungen vom Versender bis hin zum Empfänger unternehmensübergreifend nachzuvollziehen (Abbildungen 3.3 und 3.4).
Jeder Artikel erhält so ein unverwechselbares Etikett, das ihn innerhalb einer bestimmten Verpackungshierarchie identifiziert.

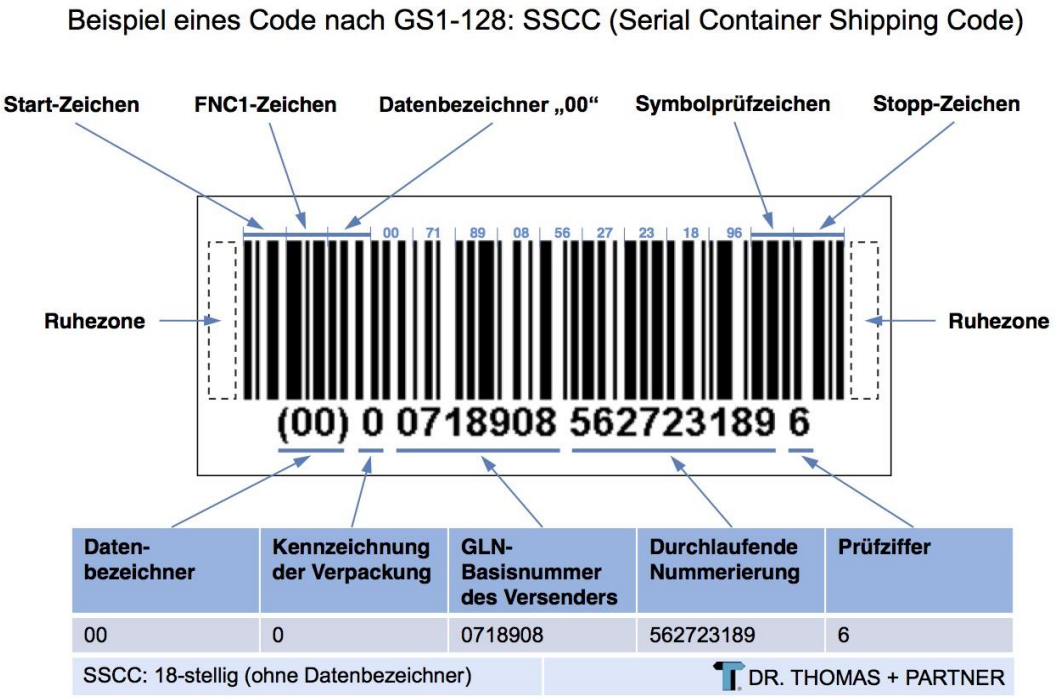


Abbildung 3.4: Codeaufbau und Beschreibung eines SSCC (GS1-128)

Unter Einbeziehung des warenbegleitenden Informationsflusses (Daten-Avisierung) mittels elektronischen Datenaustauschs (EDI), stellen die Möglichkeiten der Nutzung des SSCC eine „Königslösung“ dar, da beim Waren-Empfänger keine komplizierte Warenvereinzelung stattfinden muss, und somit hohe Kosten (Lagerfläche, Zeit, Personal) entfallen (Abbildung 3.3 und Kapitel 5.2.1).

Alle drei Elemente - GLN, GTIN und SSCC - spiegeln sich im GS1-Standard wieder, und sorgen für eine einfache, einheitliche und überschneidungsfreie Warenidentifikation und somit einer sauberen Datenhaltung innerhalb des gesamten Logistik-Prozesses (Abbildung 3.5).

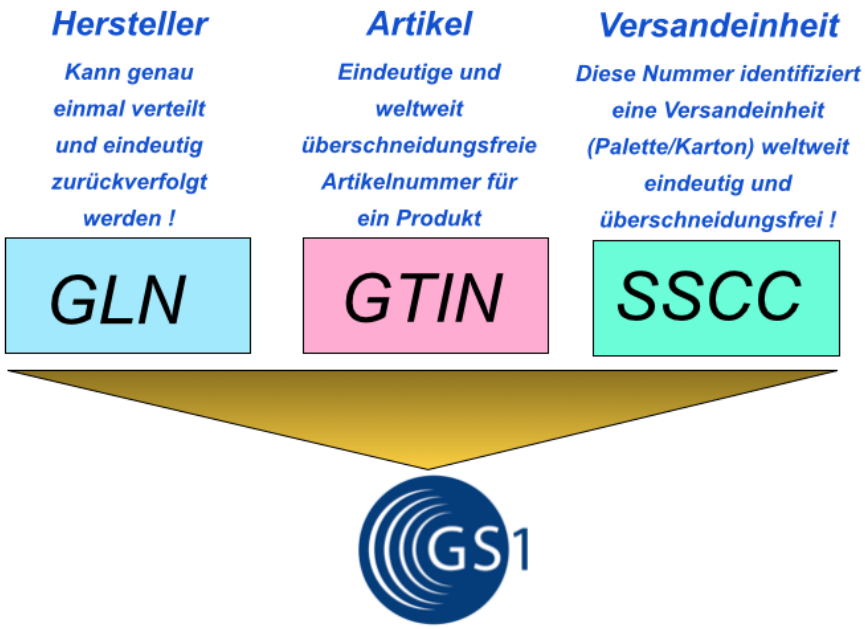


Abbildung 3.5: GLN, GTIN und SSCC im Verband GS1

Durch Angabe des SSCC als zentraler Zugriffsschlüssel auf Packstücke im elektronischen Datenaustausch, kurz EDI (siehe Kapitel 5.2.1 “Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im Wareneingang“), wird sichergestellt, dass auf allen Ebenen der Lieferkette ein Ident für ein Packstück vergeben ist.

Der SSCC (GS1-128) ist 18-stellig (ohne Miteinbeziehung des Datenbezeichners 00).
Die Zahl 128 deutet auf die Anzahl der möglichen Zeichen, die durch diesen Code abgebildet werden können (Abbildung 3.6).

DB	Codierter Dateninhalt	Format
00	SSCC	n2 + n18
01	GTIN der Handelseinheit	n2 + n14
02	GTIN der enthaltenen Einheit	n2 + n14
10	Losnummer / Chargennummer	n2 + an..20
15	Mindesthaltbarkeitsdatum (JJMMTT)	n2 + n6
21	Seriennummer	n2 + an..20
37	Anzahl der enthaltenen Einheiten	n2 + n..8
330x	Bruttogewicht, Kilogramm	n4 + n6
400	Bestellnummer des Warenempfängers	n3 + an..30
410	GLN des Warenempfängers	n3 + n13
421	Postleitzahl im internationale Format (vorangestellter 3-stelliger ISO-Ländercode)	n3 + n3 + an..9
...		

DB = Datenbezeichner
n = numerisch
an = alphanumerisch

Abbildung 3.6: Datenbezeichner-Tabelle (Ausriss)

3.2 Lesegeräte

Die optische Codierung der jeweiligen Objekte entlang der Geschäftsprozesse werden durch Scanner und/oder CCD-Kameras erfasst, decodiert und zur Weiterverarbeitung an das MFCS oder WMS-System übergeben.

3.2.1 Strichcode-Laserscanner

Heutzutage sind Halbleiterlaser im Lichtwellenbereich von ca. 670 nm bis 1,6 µm betreibbar, wobei die Lichtwellenlänge vom verwendeten Halbleiter abhängt. Aufgrund seines sichtbaren Laserstrahls ist der GaAs-Halbleiter derzeit der einzige Laser aus dieser Gruppe, der in der Lesetechnik verwendet wird. Sichtbares Licht ist notwendig, um die Justierung von Laserscannern ohne zusätzliche Maßnahmen zu realisieren.

Laser erzeugen einen kontinuierlichen Strahl von kohärentem und planparallelem Laserlicht. Dieser Laserstrahl trifft auf einen Schwingspiegel, ein rotierendes Polygonrad oder andere optische Systeme. Dadurch entsteht auf der abzutastenden Oberfläche beim Einstrahlscanner eine sichtbare rote Abtastlinie, beim Raster-Laserscanner ein Bündel von projizierten parallelen Linien. Befindet sich ein Strichcode in der Leseebene, wird die Reflexion der Lücken stärker und die der Striche schwächer reflektiert.

Das reflektierte Licht wird dann von einer Empfangsoptik (Sammellinse) erfasst und mittels Empfangseinheit (Photo-Transistor) in eine elektrische Impulsfolge umgewandelt, verstärkt und zwischengespeichert. Erst nach mehrfacher identischer Lesung und Auswertung inklusive Prüfziffer-Ermittlung wird die Lesung als richtig definiert und über eine gesicherte Schnittstelle mittels dem übertragenen Netzwerk als Information der Empfängeradresse übergeben (siehe Kapitel 4.2.4).

Einsatz der Laser-Technik in der Logistik:

a) Festinstallierte Systeme, z.B. an I-Punkten (siehe Abbildungen 5.6 und 5.7)

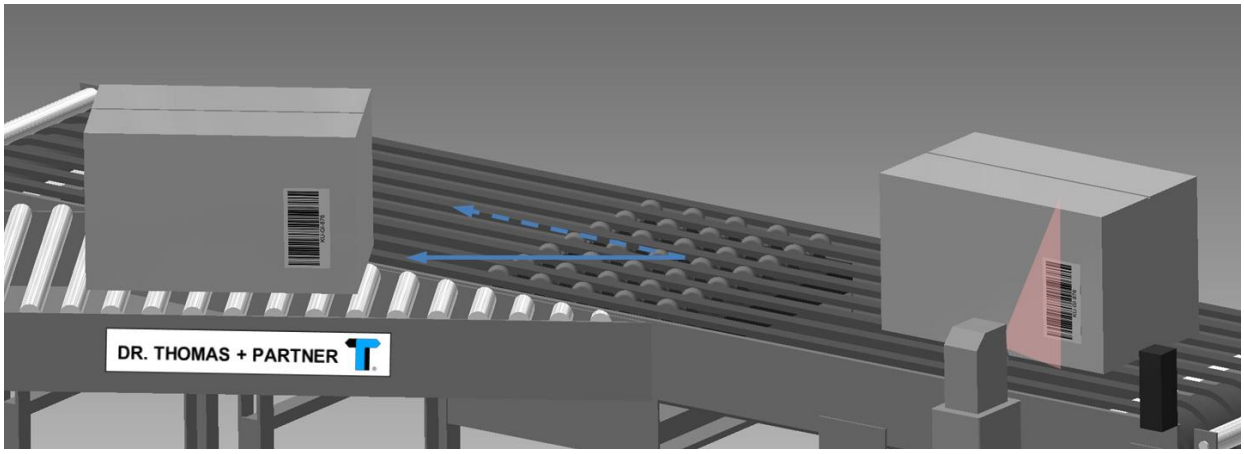


Abbildung 3.7: Stationärer Scanner an Verzweigepunkt an Fördertechnik

b) Mobile Datenerfassungs-Einheiten, z.B. bei der MDE-Kommissionierung (Kapitel 5)

Abbildung 3.8: Mobile Datenerfassung im Ersatzteilbereich Aviation

c) Ringscanner in der Smart-Mobile Logistik (Kapitel 4.3)

Abbildung 3.9: Smart Mobile-Logistik

3.2.2 CCD-Sensoren

CCD-Sensoren gehören zu den Festkörper-Bildempfängern. Es handelt sich dabei um hochintegrierte Halbleiterschaltkreise, welche die drei Funktionen fotoelektrische Bilderfassung, Speicherung und Auslesung beinhalten und in einem Bauteil gespeichert und transportiert werden.

Das CCD-Prinzip (Charge Coupled Device - d.h. ladungsgekoppelte Elemente) werden in der Logistik wie folgt angewendet:

a) Als **CCD-Zeilensensor** (Zeilenförmiger Bildaufnehmer)
Als Bespiel löst ein 8 k CCD-Zeilensensor 0,1 mm (254 dpi) auf einer geforderten Förderbreite von 800 mm auf. Etikettendrucker haben eine Auflösung von 200-250 dpi.

Bei einer Scan-Rate von 16.000 Scans/s kann bis zu einer Fördergeschwindigkeit von 2,3 m/s gelesen werden (Abbildung 3.10).

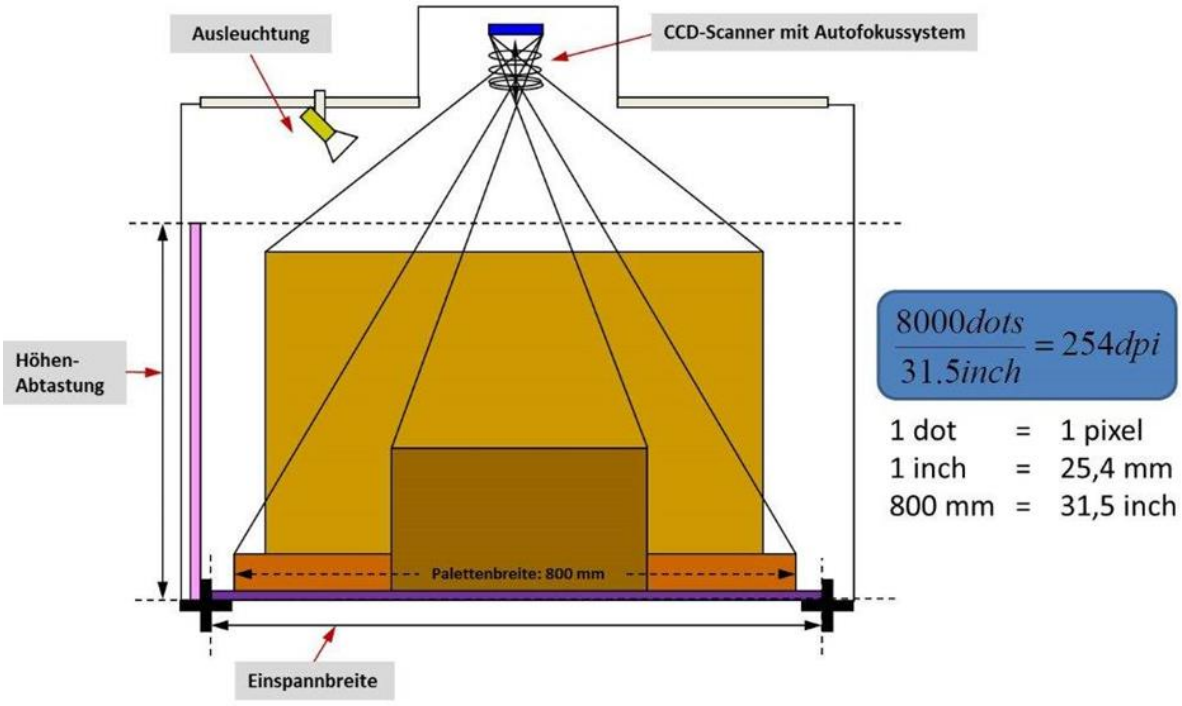


Abbildung 3.10: Prinzipskizze eines CCD-Scanners mit 8k CCD-Zeile

b) Mit einer **CCD-Matrixkamera** (z.B. 1280 x 960 Pixel) optischer Empfänger werden Strichcodes zweidimensional als vollständiges Bild aufgenommen.

Abbildung 3.11: CCD-Kameras im Einsatz: Mehrseiten-Warenidentifikation, Wägung und Vermessung von Paketen im Wareneingang

3.3 RFID – Radio Frequency Identification Device

Mit der RFID-Technik können die Identifikationsaufgaben in der Logistik und Distribution durch elektronische Datenträger (Tags) erweitert werden.

Die RFID-Technik identifiziert den Tag kontaktlos über Funk.

Ein RFID-System besteht aus zwei Komponenten:

- Transponder (Tag) mit Daten
  Transmitter - Res**ponder**: Sende-Antwortgerät (Kunstwort)
- Lesegerät- Auswerte-Einheit
  (das trotz seines Namens bei Einsatz aktiver Tags sowohl die Information auslesen und den Tag beschreiben kann)

3.3.1 RFID - Die Frequenz-Problematik

RFID- Technologie-Einsatz ist international gesehen noch durch die Nutzung von unterschiedlichen Frequenzbereichen eingeschränkt nutzbar. In der EU hat sich das Frequenzband mit 868 MHz durchgesetzt. In den USA dagegen das Frequenzband mit 915 MHz (915 MHz entspricht der Bandbreite für Mobilfunk in Europa). Im Mikrowellen-Bereich ab 2,4 GHz nutzen China, Japan, Korea nochmals andere Frequenzbereiche (Abbildung 3.12 „Übersicht über die Frequenzbereiche“).

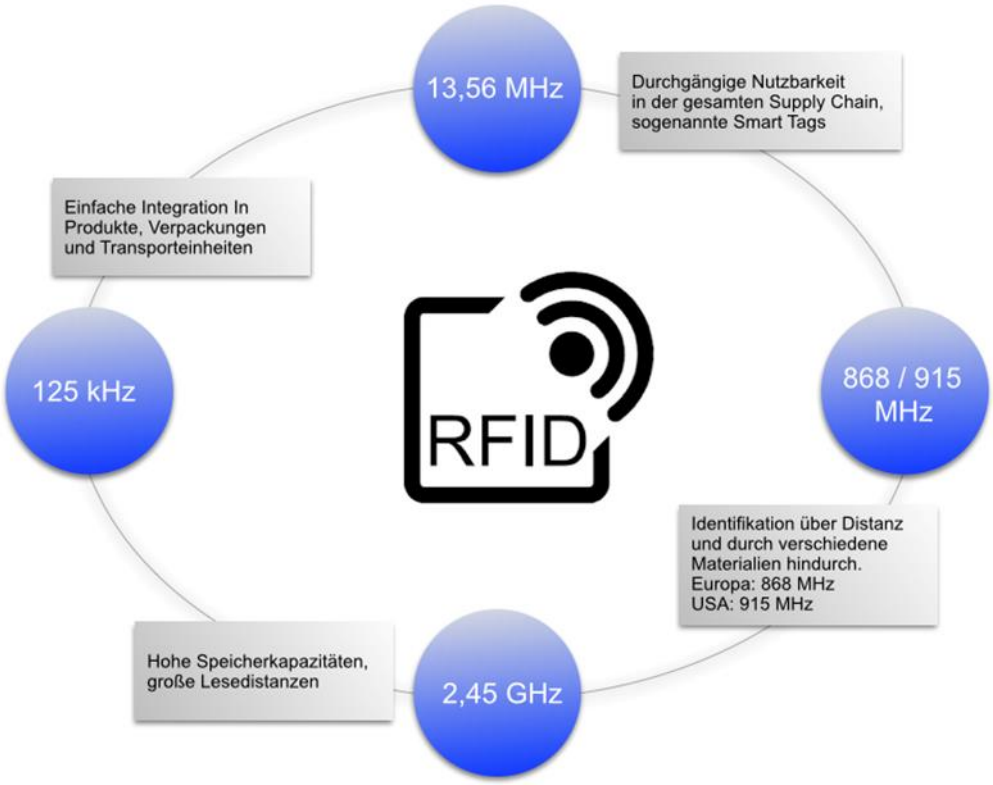


Abbildung 3.12: Übersicht über die Frequenzbereiche

RFiD-Systeme der Trägerfrequenz 13.56 MHz

Weltweit werden RFID-Systeme mit der Trägerfrequenz 13,56 MHz genutzt.
Die Übertragung der Energie und Daten findet durch elektromagnetische Wellen im Kommunikationsbereich bis 1,0 m zwischen der Auswerteeinheit und dem Tag, mit dem Smart Label statt (Vicinty Standard der ISO 15693).

Diese Smartlabels sind als ultraflache Transponder mit Antenne und integrierten Schaltkreis IC auf einer Folie aufgebracht. Der IC enthält einen Speicher für eine eindeutige Identifikationsnummer (GUID = Globally Unique Identifier) und die Funktionen zur berührungslosen Datenübertragung.

Vorteile:

- Weitgehende Lageunabhängigkeit beim Lesevorgang der Smart-Labels
- Identifizierung von Fördermitteln bei denen das Smart-Label in das Material eingearbeitet sind. Beispielsweise Behälter-, Taschenidentifikation (Taschensorter)
- Das HF-Feld 13.56 MHz wird im Vergleich zu den UHF-Feldern weniger durch Flüssigkeiten gedämpft (Einsatz in der Pharmaindustrie, z.B. Seriennummer enthält die individuelle Kennzeichnung jedes einzelnen Produktes, jede einzelne Arzneimittelverpackung erhält eine eigene einmalige Nummer)

Nachteile:

- Preis pro Tag muss akzeptiert werden
- Keine flexible und schnelle Erstellung von Tags
- Tag nicht kombinierbar mit Klarschrift

3.3.1.2 EPC: Electronic Product Code

Durch die technische Ausprägung der Smartlabels mit dem eindeutigen Identifikations-Schlüssel dem Electronic Product Code (EPC) ist die Kompatibilität zum Global Standart One (GS1) gegeben. Damit ist eine durchgängige Nutzbarkeit in der gesamten Supply Chain gegeben (Abbildung 3.13 „Kompatibilität GS1 und EPC“).

Der EPC-Code ermöglicht eine eindeutige Kennzeichnung von Waren und wird als Nachfolger des GTIN (EAN-Barcodes) gesehen. Im Gegensatz zum GTIN-System ist es mit dem EPC möglich, jedem einzelnen Artikel eine eindeutige Nummer zuzuordnen (Beim EAN verfügt nur jede Artikelart über eine eigene Nummer).

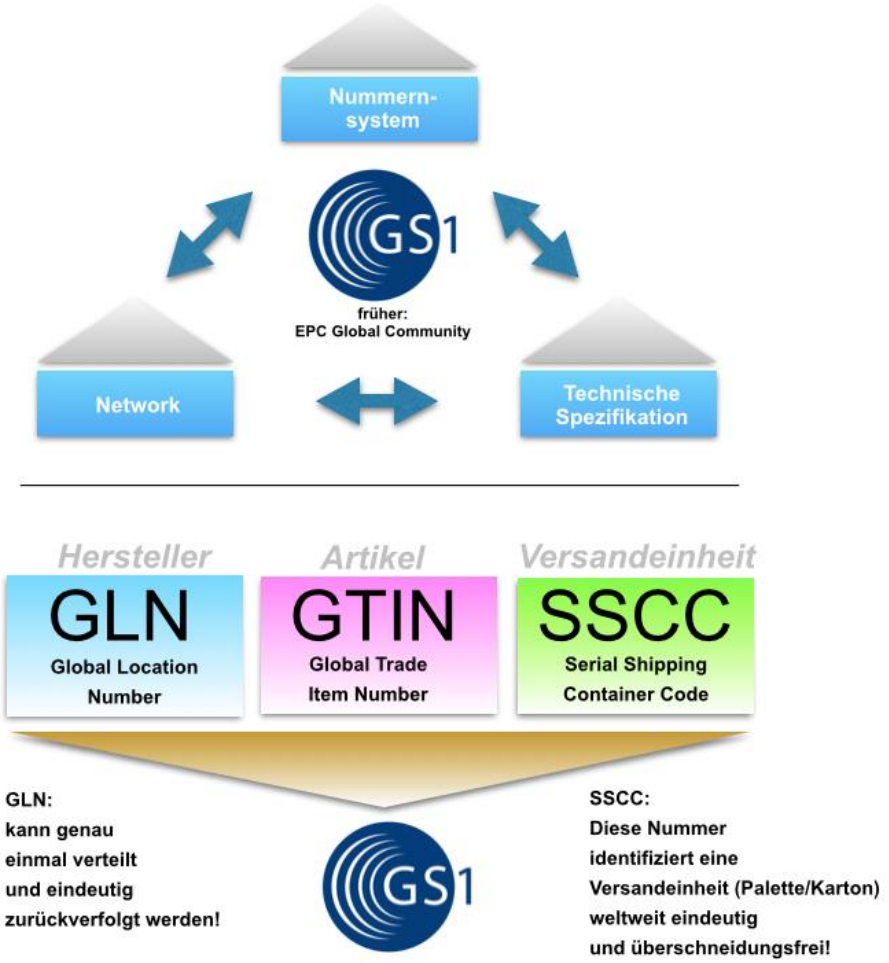


Abbildung 3.13: Kompatibilität GS1 und EPC

Über die weltweit normierten Protokolle der Luftschnittstelle von RFID-Systemen (EPC Air Standard) wird die Entwicklung zur Pulk-Erfassung vorangetrieben. Dabei wird mit verschiedenen Auswerte-Einheiten basierend auf dem verwendeten Protokolltyp gearbeitet (Multi-Indent-Fähigkeit).

Mit Hilfe der Multi-Ident-Fähigkeit sollen sich manuelle Zähl-, Scann-, Erfassungs-, und Kontrollvorgänge entlang der Supply Chain-Abwicklung vereinfachen lassen (Abbildung 3.14). Im Fokus der Intralogistik stehen die Geschäftsprozesse Wareneingangs- und Warenausgangs-Abwicklung.

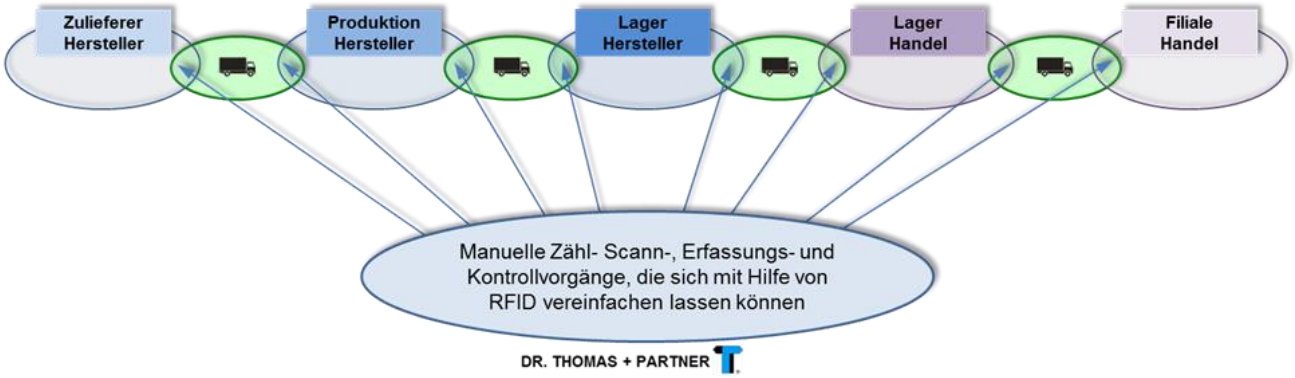


Abbildung 3.14: RFID-Einsatz entlang der Supply Chain

3.3.1.3 Electronic Printing von RFID-Tags

Mehrere europäische Forschungseinrichtungen arbeiten an der polymer-elektronischen Technologie. Schwerpunkte sind dabei der Einsatz von Materialien auf der Basis organischer Halbleiter in Verbindung mit amorphen Schwermetall-Multikomponenten.

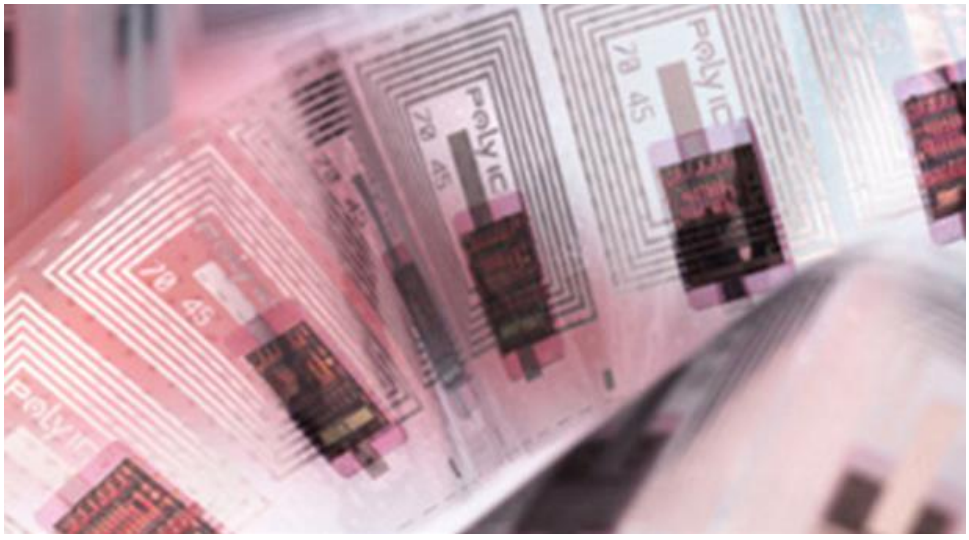


Abbildung 3.15: Gedruckte Tags (Bildquelle: www.polyic.de, 2015)

Ein erster, wichtiger Fertigungsschritt, ist das Bedrucken der Antennen von RFID-Tags. Herausforderungen für das Electronic-Printing von RFID-Tags sind:

- Kostengünstige Prozesse (Drucken statt Lithographie).
  Preisziel für die Herstellung des Tags unter 1 Cent.
- Low-Cost-Electronic für alltägliche Dinge, direkt auf die Verpackung druckbar
- Flexibel, leicht, bruchsicher

Kritische Anmerkung zur Umweltverträglichkeit:
Nach EU-Recht muss Elektroschrott recycelt werden, dazu kommen noch die amorphen Schwermetalle, die einer gesonderten Entsorgung unterliegen.

4 DATENKOMMUNIKATION IN DER INTRALOGISTIK

4.1 Bedeutung von Information in der Intralogistik

Eine Information beschreibt den Inhalt einer Nachricht, die für die Empfängeradresse von Wert ist. Dabei kann die Empfängeradresse sowohl ein Mensch als auch eine Maschine sein. Hier muss schon bei der Software-Entwicklung stark darauf geachtet werden, dass die versendeten, bzw. empfangenen Informationen keine redundanten oder irrelevanten Nachrichten enthalten. Eine gute Software-Architektur schafft Transparenz (siehe Kapitel 6.1 ff).

Die Bedeutung von Information in der Logistik teilt sich in zwei Bereiche auf (Abbildung 4.1). Auf der einen Seite stehen der operative Bereich mit seinem Produktionsfaktor (beispielsweise dem Wareneingang via Electronic Data Interchange (EDI) in Verbindung mit dem GS1-Standard (siehe Kapitel 3.1.3), auf der Anderen agiert der strategische Bereich mit dem Wettbewerbsfaktor (z. B. mit der Betrachtung per ECR - Efficient Consumer Response - siehe Kapitel 4.1.1).

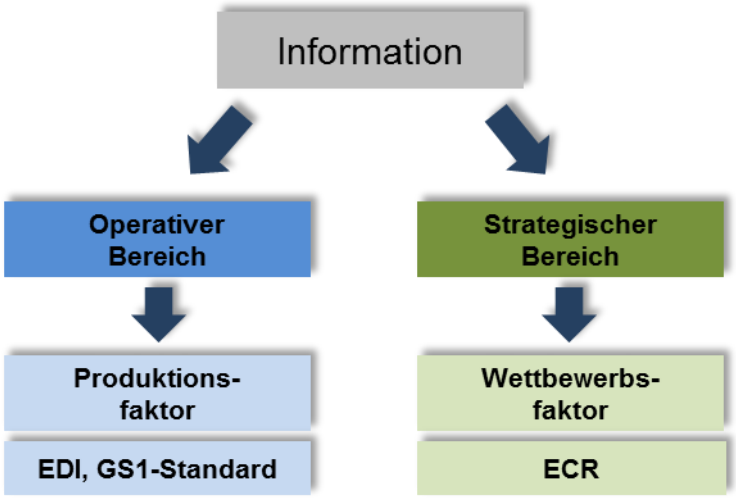


Abbildung 4.1: Bedeutung von Information in der Logistik

In Zukunft werden der Logistik Informationen über das Cloud-Computing bereitgestellt, was wiederum ein Umdenken in der Praxis erfordert:
Denn im Gegensatz zur Cloud müssen beim sogenannten „Taktilen Internet“ die online bereitgestellten Informationen näher an den Nutzer gebracht werden.

So erfordern Anwendungen wie die Steuerung und Datenverwaltung von automatischen Kleinteile-Lagern in Kombination mit Shuttle-Systemen, im Geschäftsprozessmodul zweistufige Kommissionierung, extrem niedrige Reaktionszeiten (von End zu End: deutlich unter 15 Millisekunden).

Echtzeit-Anwendungen werden daher, um Latenzen zu vermeiden, noch lokal in den Distributionszentren gehalten. Letztere sind aber bereits über Intranet (lokale Standleitungen) miteinander verbunden.

Hinsichtlich des Datenschutzes muss aber von einer globalen Vernetzung im Sinne von Industrie 4.0 gepaart mit dem Internet der Dinge abgeraten, oder zumindest der Ansatz mit dem Anwender gemeinsam diskutiert werden.
Nötige Sicherheitsmechanismen mit Industriestandards gibt es bisher noch nicht, lediglich Insellösungen liegen vor.

4.1.1 ECR - Efficient Consumer Response Informationskreislauf

Efficient Consumer Response, kurz ECR, betrachtet die informelle Versorgungskette vom Hersteller bis zum Abverkauf unter dem Aspekt der Verbraucherbedürfnisse und des maximalen Kundennutzens. Damit die Betrachtung, sowie die Auswertungen der gesammelten Erkenntnisse (Informationen) allen beteiligten Unternehmen/Gewerken von Nutzen sind, spricht man von einer ECR-Kooperation. Sie ist für alle an der Versorgungskette beteiligten Unternehmen verpflichtend - wenn im Verbund beschlossen.

So werden mit den schlüssigen Informationen bei der Produktion von Ware, beim Transport der Ware, beim Lagern der Ware und beim eigentlichen Management der Ware Aufwände und Kosten auf das Nötigste reduziert. Berücksichtigt werden beispielsweise: Verkaufsprognosen, Trendeffekte, Saisoneffekte, Umsatzplanung und Marktaktivitäten. Sie werden vom Händler zum Hersteller transportiert, der diese Informationen analysiert und folglich die Produktion so steuert, dass Ressourcen im Vorfeld geschont werden. In der Automatisierung spricht man auch von Lean Industry.

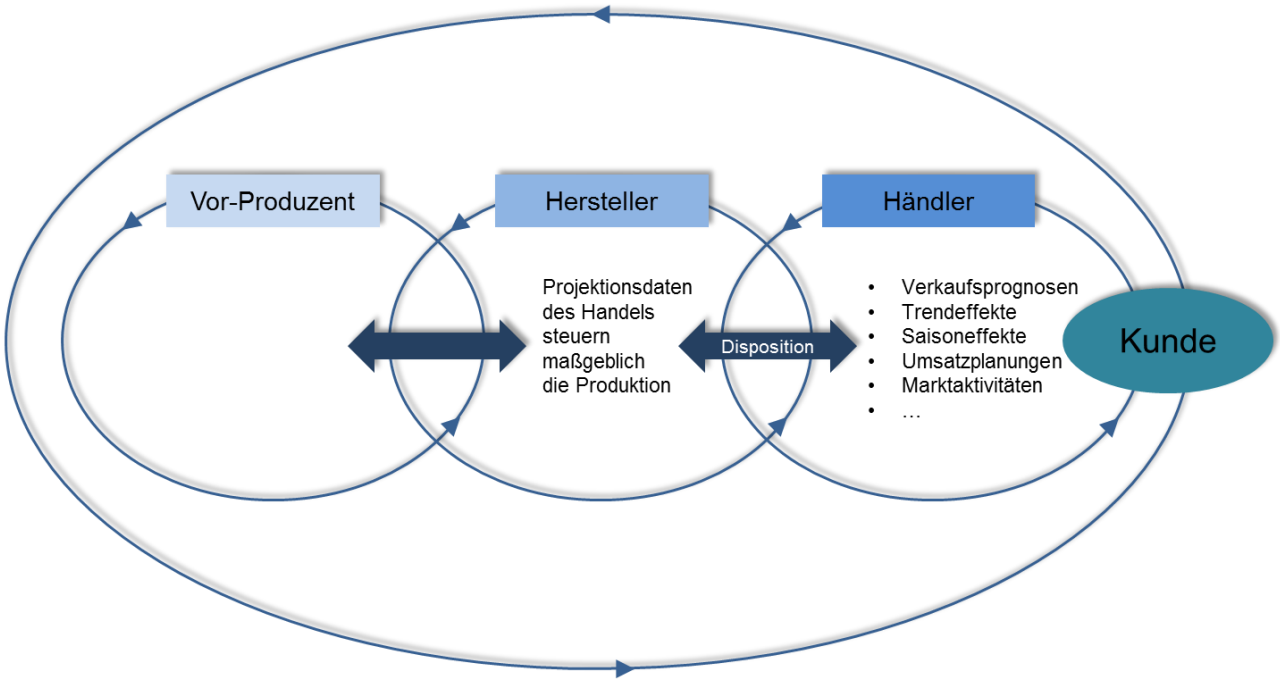


Abbildung 4.2: ECR - Efficient Consumer Response

4.1.2 Electronic Data Interchange EDI

EDI ermöglicht es, Hersteller, Lieferanten und Handel elektronisch zu verbinden und ist somit für die Bestell-Abwicklung und bei der Liefer-Avisierung einsetzbar (Abbildung 4.3).

Mit der Liefer-Avisierung per EDI über das verbundene Extranet dokumentiert der Lieferant den Versand der Ware inklusive der Ankündigung, wann diese beim Kunden ankommt. Hersteller (Versender) und das Warenverteilzentrum (Empfänger) tauschen im Prozessverlauf die Bestelldaten und Lieferdaten (Avis) über ein Netzwerk aus (Kapitel 5.2.1).

Durch die enge Verzahnung zwischen WMS und der überlagerten kaufmännischen Ebene (ERP) existiert eine strukturierte Vorinformation über die jeweils ankommende Ware - ein sogenanntes Avis.

Vorteil:

- Keine manuelle Papierdokumentation
- Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im WE (siehe Abbildungen 5.6 und 5.7)
- Reduzierung des Personalaufwands
- Bessere Personalplanung
- Just-in-Time-Abwicklung
- Verbesserte Reaktionszeiten im Unternehmen
- Vermeidung von Übertragungsfehlern
- Last but not least, eine Intensivierung der Partnerbeziehungen

4.2 Industrielle lokale Netze (Industrie-LAN)

Über ein Local Area Network (LAN) wird die Kommunikation innerhalb der klassischen Systemlandschaft in der Intralogistik abgewickelt. Werden mehrere LANs zu einem großen Netzwerk zusammengeschlossen, so spricht man vom Intranet bzw. vom Extranet. Das Intranet ist Eigentümer orientiert und somit ist der Zugriffstyp privat, nur den Organisationsmitglieder vorbehalten.

Haben auf ein Intranet externe Dritte ganz oder teilweise Zugriff, spricht man vom Extranet. Ein Extranet ist die kontrollierte Ausweitung eines Intranet für Außenstehende z.B. Geschäftspartner (Abbildung 4.3).

Abbildung 4.3: Liefer-Avisierung per EDI

4.2.1 Ethernet-LAN

Es gibt viele Gründe für den Erfolg von Ethernet.

Erstens war Ethernet das erste umfassende eingesetzte Hochgeschwindigkeits-LAN. Zweitens waren Token Ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface) und ATM (Asynchronous Transfer Mode) komplexer und teurer als Ethernet. Drittens: der wichtigste Grund für einen Umstieg auf andere LAN-Techniken war die höhere Übertragungsgeschwindigkeit der neuen Technologie. Ethernet konnte jedoch immer „kontern“ und bot neue Versionen, welche die gleiche oder sogar höhere Übertragungsgeschwindigkeit lieferte als die Konkurrenz (100 Mbit/s, 1 Gbit/s, sind typische Datenraten für Ethernet) (“Computernetzwerke: Der Top-Down-Ansatz“ James F. Kurose, Keith W. Ross, Pearson, 6. aktualisierte Auflage, 2014).

Bei Ethernet handelt es sich um ein lokales Netzwerke (LAN). Das Netzwerk nutzt dabei die Schicht 1 und 2 des OSI-Schichtenmodells (Standard IEEE 802.2).

Die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells sind in Abbildung 4.4 dargestellt. In den 1970 Jahren nahm das OSI-Modell Gestalt an. Der internationale Normenausschuss (ISO, International Organization for Standardization) schlug vor, dass Computernetzwerke in sieben Schichten organisiert werden sollten. Dieses theoretische Referenzmodell macht deutlich:

- Die Schichten 1 bis 4 sind für die Übertragung zwischen den Teilnehmern zuständig
- Die Schichten 5 bis 6 koordinieren die Struktur und die Synchronisierung des Datenaustausches und die Datenkompression und Datenverschlüsselung
- Schicht 7 ist die Anwendungsschicht

Die Nachteile des Siebenschichtigen ISO/OSI-Referenzmodell:

- Einschränkung der Echtzeitfähigkeit, da viele Schichten durchlaufen werden
- Bei kurzen Nachrichten (z.B. MFCS ⇔ SPS) entsteht ein hoher Protokollaufwand

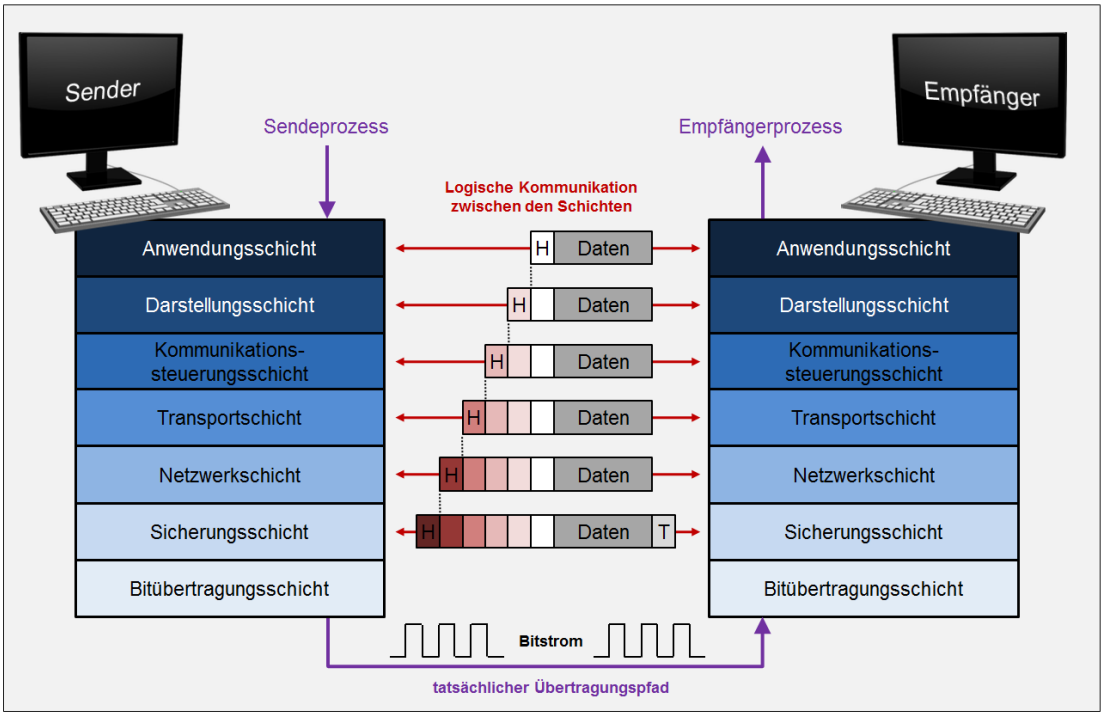


Abbildung 4.4: Das ISO/OSI-Protokoll

Ein Einsatz von lokalen Netzwerken für die industrielle Kommunikation ist an zwei wesentlichen Voraussetzungen gebunden:

1. Erfüllung von „Echtzeit-Anforderungen“
2. Hohe Zuverlässigkeit der Informationsübertragung

Beide Voraussetzungen werden zunächst nicht vom ETHERNET erfüllt.

Ein entscheidender Nachteil von ETHERNET ist die Übertragungstechnik. So transportiert die Technologie seine verpackten Daten ohne festes Zugriffsraster. Bei ETHERNET gibt es keine Garantie, dass die Daten innerhalb einer bestimmten Zeit den Empfänger erreichen.

Der Grund: ETHERNET setzt ein zufälliges Buszugriffs-Verfahren ein, nach dem CSMA-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access), wie es im Prinzip vom Telefon her bekannt ist. Ein sendewilliger Teilnehmer stellt zunächst fest, ob die gemeinsame Busleitung frei ist (Carrier Sense) und er sendet seine Informationen, falls diese nicht besetzt ist.

Wird dagegen die Busleitung bereits von einer anderen Station (Sender) benutzt, dann zieht sich der sendewillige Teilnehmer von Bus zurück und wartet und versucht zu einem späteren Zeitpunkt erneut seine Information zu übertragen (Multiple Access).

Die zeitliche Übertragungseffizienz beim zufälligen Buszugriff, lässt sich verbessern, durch das CSMA/CD-Verfahren. Beginnt jemand zu sprechen, hören Sie mit dem Sprechen auf. In den Netzwerken nennt man das: Kollisionserkennung CSMA/CD-Verfahren.

Beim CSMA/CD-Verfahren (Collision Detection), erkennen die sich im Netzwerk befindlichen Stationen (Multiple Access) durch Abhören des Übertragungsmedium (Carrier Sense) automatisch Kollisionen und unterbrechen den eigenen Sendeversuch. Ein neuer Sendeversuch wird nach einem zufälligen Zeitintervall neu versucht.

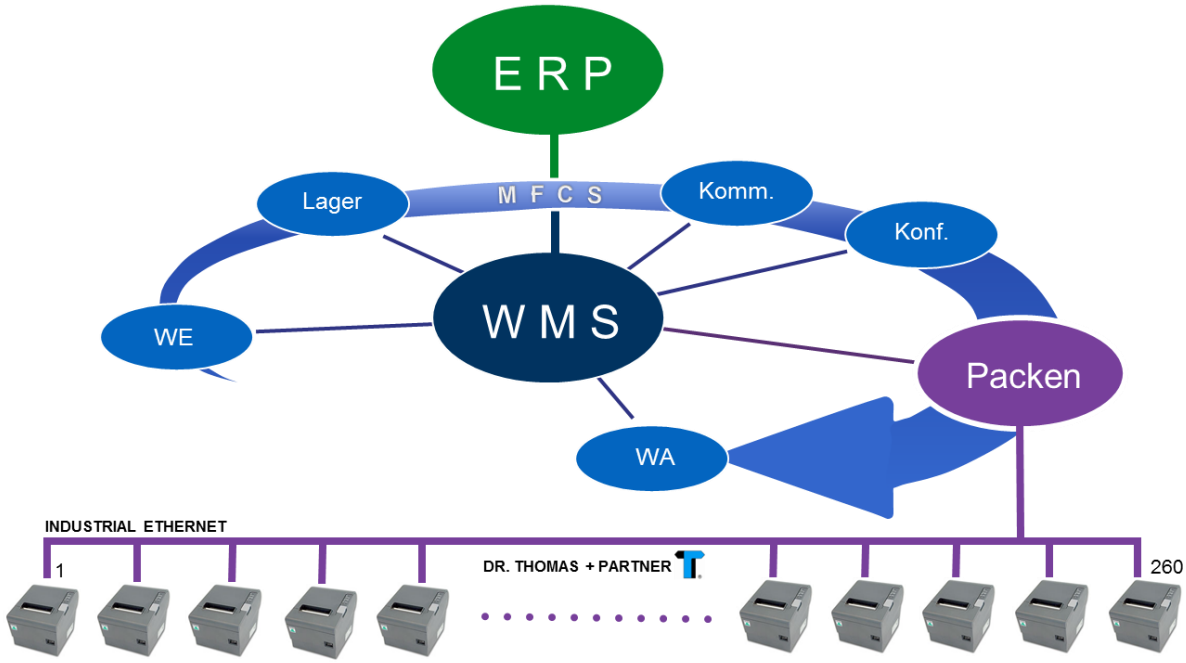
Zur Einschätzung der Effizienz von CSMA/CD sollte man sich einfach die Daten-Übertragungsrate (100 Mbit/s entsprechen ca. 66.000 DIN A4-Seiten/s) vor Augen führen. Selbst wenn durch das Medienzugriffs-Protokoll von CSMA/CD die Effizienz um 50% eingeschränkt wird, reicht die effektive Übertragungsrate in der Praxis vollkommen aus. Das heißt die End-zu-End-Signalausbreitungsverzögerung spielt keine Rolle. Das nachfolgende Praxisbeispiel soll diese Aussage belegen:

Praxisbeispiel: Online-Druck der Kundenrechnungen an den Packplätzen

Vom Otto Versandzentrum in Haldensleben werden täglich über 300.000 Sendungen mit durchschnittlich 2,7 Teilen pro Sendung an die jeweiligen Kunden versendet.

Oftmals werden im Versandhandel die Rechnungen zu den Kundenbestellungen eines Tages auf den zentralen Hochleistungs-Druckern im Voraus gedruckt und entweder beim Kommissionieren oder spätestens beim Packen mit Ware zusammengeführt. Nicht so in Haldensleben. Hier sind kaufmännische und logistische Anforderungen beim Online-Druck der Kundenrechnung zu berücksichtigen.

Der kommerzielle Rechner (ERP-Ebene) bereitet aus den Kundenbestelldaten die Kundensendungen und übergibt die logistischen Daten wie Sendungsnummer, Anzahl, Teile pro Sendung, laufende Teilenummer einer Sendung und die kaufmännischen Daten (Rechnungsdaten) an das Warehouse-Management-System (WMS). Entsprechend dem Arbeitsfortschritt (Nachschub, Kommissionierung, Packen - steuert das WMS die logistischen Daten dem Packsorter zu. Sobald der Sorter eine Kundensendung als “komplett“ an das WMS meldet, werden die aus dem kaufmännischen System bereitgestellten Rechnungsdaten in die Steuersequenzen für den Laserdruck umgesetzt. Alle 260 Laserdrucker sind hierbei wie Werkzeugmaschinen ins Shake-Hand-Verfahren eingebunden (Abbildung 4.5).



Rechnungsonline-Druck: 260 Rechnungsdrucker – „Shake-Hand-Verfahren!“

Kommunikation: Rechner / Drucker (6 unterschiedliche Kunden- / Mandantenformulare)

- *Rechnungsvordruck „… aus richtigem Schacht…“ (Handshake!)*
- *Rechnungsvordruck „… richtiges Format…“ (Handshake!)*
- *Rechnungsvordruck „… vor Druckwalze…“ (Handshake!)*
- *Rechnungsvordruck „… während Druck…“ (Handshake!)*
- *Komplette Kundenrechnung „… richtige Ausgabe…“ (Handshake!)*

Abbildung 4.5: Shake-Hand-Verfahren beim Rechnungsonline-Druck

Dieser aufwendige Telegrammverkehr zwischen dem WMS und den Druckern ist notwendig, damit der kaufmännische Maßstab eingehalten wird und kein Mehrfachdruck einer Kundenrechnung erfolgt. Auf diese Weise wird die Korrektheit einer Kundenrechnung gewährleistet.

Auch hier wird deutlich: Information ist ein Produktionsfaktor (siehe Kapitel 4.1).

Wie in Abbildung 4.5 auch sichtbar wird, sind die 260 Rechnungs-Online-Drucker über ein 100 Mbit/s schnelles Ethernet mit dem Client WMS verbunden. Der Praxisbetrieb zeigt, dass die End-zu-End-Signalausbreitungsverzögerung dabei **keine Rolle** spielt.

4.2.2 Zuverlässigkeit der Informationsübertragung

Am nachfolgenden Beispiel der Übertragung eines IP-Datagramms von einem Client (z.B. WMS) zu einem Fremdsystem, wobei beide Systeme aus selben Ethernet-LAN ausgeschlossen sind, soll die Zuverlässigkeit der Informationsübertragung erläutert werden.

Der sendende Client verkapselt (verpackte Daten) das IP-Datagramm innerhalb eines sogenanntes Ethernet-Rahmens und übermittelt diesen an die Bitübertragungsschicht. Der Adapter des empfangenen Fremdsystems erhält den Rahmen von der Bitübertragungsschicht, extrahiert das IP-Diagramm und übermittelt es an die Netzwerkschicht.

Die Ethernet-Techniken bieten der Netzwerkschicht einen unzuverlässigen Dienst an. Der Grund: das IP-Datagramm ist in den Ethernet-Rahmen eingebunden samt Quelle, Zieladresse und einem Cyclic Redundancy Check (CRC). Der Ethernet Rahmen wird aber übertragen, ohne vorher einen Handshake durchzuführen. Darüber hinaus ist weder vorgesehen einen Acknowledgement zu übertragen, noch einen negativen Acknowledgement zu senden, wenn bei der Übertragung Bitfehler im Rahmen aufgetreten sind.

Eine hohe Zuverlässigkeit der Informationsübertragung kann jedoch dadurch erfüllt werden, dass ETHERNET zusätzlich zum Standard IEEE 802.3 mit einer übergeordneten Kommunikationssoftware ausgerüstet wird, dem TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Diese Software ist für Kommunikation besonders geeignet, weil sie die Datenübertragung durch Fehlererkennung (z.B. durch Wiederholung und Fehlerkorrektur sichert (siehe Kapitel 4.2.4. und Abbildung 4.7).

4.2.3 Kommunikationssoftware TCP/IP

Die Kommunikationssoftware TCP/IP ist dem Ethernet übergeordnet, und bildet zusammen mit dem TCP-Socket und dem Bindeglied RADT zur Anwendungssoftware, die in Abbildung 4.6 abgebildete Schichtenstruktur. Mit dieser standardisierten Ethernet-TCP/IP Struktur wird die industrietaugliche Protokollübertragung festgelegt. Diese standardisierte Kommunikationssoftware für die LAN-Vernetzung ist auf alle Betriebssystemen verfügbar (z.B. UNIX, Linux, Solaris, Windows, HP-UX). Das Bindeglied zur Anwendungssoftware bildet die überlagerte Kommunikationssoftware RADT eine weitere anwenderfreundliche Softwarestruktur (siehe auch Kapitel 4.2.4).

4.2.3.1 Netzwerkschicht des Internets

Die Netzwerkschicht des Internets hat drei Hauptfunktionen

Internet-Protocol (IP):

- Adressierungskonventionen
- Datagrammformat
- Paketverarbeitungskonventionen

Routing-Komponenten:

- Wegewahl und Weiterleitungstabelle

Controll Message Protocol:

- zur Erkennung von Fehler- und Informationsnachrichten

Internet Protocol (IP):

- Weiterleiten und Adressieren im Internet

Ein Client ist normalerweise nur mit einer einzigen Leitung an das Netzwerk angeschlossen. Will das IP von diesem HOST aus ein Datagramm senden, so macht es das über diese Leitung (bei WLAN über einen drahtlosen Link, siehe Kapitel 4.2.4). Diese Grenze zwischen der Hardware und der physikalischen Leitung wird als Schnittstelle (Interface) bezeichnet. Damit dieses Datagramm im Netzwerk entsprechend der IP-Adressierung weitergeleitet wird, werden sogenannte Router eingesetzt, die fähig sind IP-Diagramme zu senden und zu empfangen. Damit wird klar, das IP verlangt, dass jeder HOST und jede Routerschnittstelle ihre eigene IP-Adresse haben.

In Analogie zu dem MFC-System (vgl. Kapitel 2.4) sind die Aufgaben der Netzwerkschicht vergleichbar. Die Aufgabe der Netzwerkschicht ist die Weiterleitung mittels Weiterleitungstabelle pro Router und das Routing durch Routing-Algorithmen. Damit wird der Pfad bestimmt, der von den Datenpaketen durchlaufen wird, während sie sich von einem Sender zu einem Empfänger bewegen. Im MFC-System wird das statische Anlagenabbild einer Förderanlage abgelegt. Damit sind die möglichen Förderwege abgebildet auf denen Fördergut bewegt werden kann. Auf Basis der möglichen Förderwege wird durch ein spezielles Routing die Quelle/Ziel-Beziehung erzeugt (siehe auch Kapitel 2.4.1).

Das IP-Dienstmodell ist ein sogenannter Best-Effort-Dienst. Das bedeutet, das IP tut sein Bestes um die Datagramme zwischen dem kommunizierenden Client und Server zu transportieren, aber es gibt keinerlei Garantien. Insbesondere garantiert es nicht die geordnete Reihenfolge der Datagramme beim Empfänger. Durch das Routing von einzelnen Datagrammen im Netzwerk kann es auftreten, dass einzelne Datagramme in einer falschen Sequenz (Reihenfolge) beim Empfänger eintreffen. Des Weiteren garantiert das IP nicht die Integrität der Daten innerhalb der Segmente und auch nicht die Zustellung der Segmente. Aus diesen Gründen wird es als unzuverlässiger Dienst bezeichnet und wäre somit für die Vernetzung von industriellen Steuerungssystemen gänzlich ungeeignet,

so dass eine weitere Softwareschicht erforderlich ist (TCP).

4.2.3.2 Funktionen des TCP (Transmission Control Protocol)

Das TCP-Protokoll bietet den aufrufenden Anwendungen einen zuverlässigen, verbindungsorientierten Dienst an:

Im Einzelnen erfüllt die TCP-Software folgende Funktionen:

- Zuverlässigen Datentransfer
- Flusskontrolle
- Sequenznummern
- Empfangsbestätigungen (Acknowledgements)
- Timern (Zeitüberwachung zwischen Sende- und Empfangsbestätigung (time out))
- Wiederholungen bei Übertragungsfehlern und Telegrammverlust (Repeat)

TCP-Streamsocket

Das TCP ist ein verbindungsorientiertes Protokoll. Das bedeutet, bevor ein Client (z.B.: ein Warehouse Management System WMS) und ein Server (Fremdsystem) beginnen können Daten miteinander auszutauschen, müssen sie zuerst eine Handshake-Prozedur durchführen und eine TCP-Verbindung zueinander aufbauen. Das Ende der TCP-Verbindung wird dem WMS-Socket und das andere Ende einem Fremdsystem-Socket zugeordnet. Zur Erzeugung der TCP-Verbindung wird die Socketadresse des WMS-Systems (IP-Adresse und Quellportnummer) mit der Socketadresse des Fremdsystems (IP-Adresse und Zielportnummer) verbunden.

Die Transportschicht auf dem Server (Fremdsystem) merkt sich die folgenden vier Werte aus dem Verbindungsaufbausegment:

1. Die Quellportnummer
2. Die IP-Adresse des Quellsystems
3. Die Zielportnummer
4. ihre eigene IP-Adresse.

Das neu erzeugte Verbindungssocket wird durch diese vier Werte identifiziert.
Alle späteren eintreffenden Segmente, deren Quell-Port, Quell-IP-Adresse, Ziel-Port und Ziel-IP-Adresse mit den vier Werten übereinstimmen, werden auf diesen Socket geleitet.
Über die nun bestehende TCP-Verbindung können Client und Server Daten austauschen.

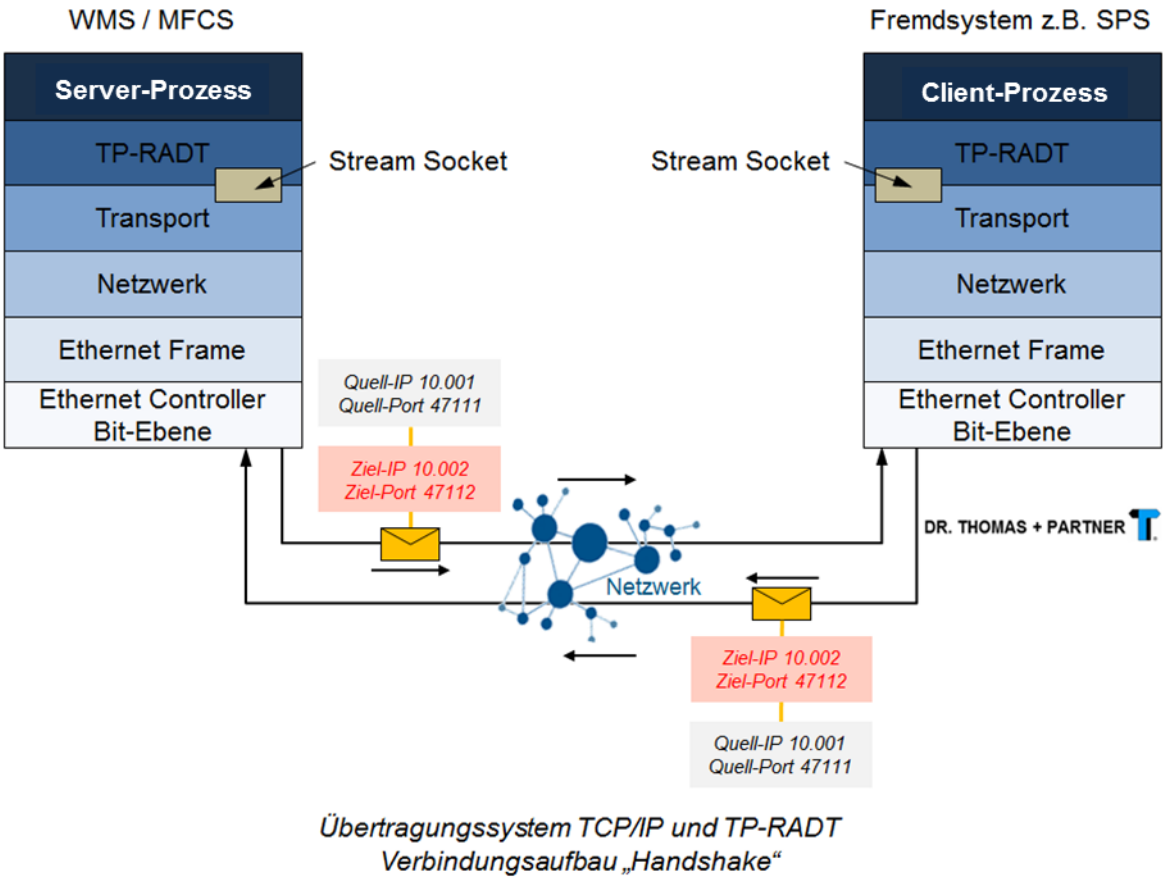


Abbildung 4.6: Übertragungssystem TCP/IP und TP-RADT

Vorteile des Nachrichtenaustausches und des Quittungsverkehrs über einen Streamsocket auf TCP/IP

- Weltweit nutzbar, auf jeder Plattform verfügbar
- Einfach zu administrieren (Firewall, Tunneling)
- Einfache APPs für viele Programmiersprachen

4.2.4 Reliable Application Data Transfer (TP-RADT)

Fremdsystemkopplung

Mit der standardisierten Ethernet TCP/IP-Struktur wird die industrietaugliche Protokollübertragung festgelegt (vgl. Kapitel 4.2.2). Das Bindeglied zur Anwendungssoftware bildet die überlagerte Kommunikationssoftware TP-RADT. Über diese anwenderfreundliche Kommunikationssoftware- eine gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT- wird zu Fremdsystemen auch zu SPS (Speicher Programmierbaren Steuerungen) ein geblockter Telegrammaustausch über Streamsockets TCP/IP abgewickelt (Abbildung 4.7).

Die Anwendung aus dem Client-Prozess erzeugt Nachrichten an ein Fremdsystem und übergibt sie dem Übertragungsservice. Die Anforderung an TP-RADT ist die Sequenztreue:

Daten werden in der Reihenfolge empfangen wie sie gesendet werden (FiFo), genauso die effizienten Telegramme:

Hier kann gewählt werden, ob die Telegramme zu Blöcken werden dürfen bzw. wie groß ein Block sein darf. Bei der Übertragung an Speicher-Programmierbare-Steuerungen (SPS) wird immer der Einzel-Telegrammverkehr mit konstanter Telegrammlänge und Quittung angewendet.

TP-RADT garantiert eine sichere Übertragung.

Jeder Nachrichtenblock, und wenn er auch nur aus einem einzelnen Telegramm besteht, wird mit einer Sequenznummer versehen und an den Verbindungspartner übertragen.

Die sichere Übertragung ist wie folgt festgelegt:

- Jede Nachricht erhält vom Sender eine Sequenznummer (DT: Data Transfer)
- Der Empfänger quittiert den Erhalt der Nachricht unter Angabe der Sequenznummer (DC: Data Confirmation)
- Der Sender überwacht das Eintreffen der Quittung, nach einem Timeout wird die Sendung wiederholt, die Sequenznummer bleibt gleich.
- Der Empfänger erkennt doppelte Sequenznummern, verwirft die Wiederholsendungen, quittiert sie aber!
- Der Sender sendet die nächste Nachricht erst wenn die aktuelle Nachricht quittiert ist.

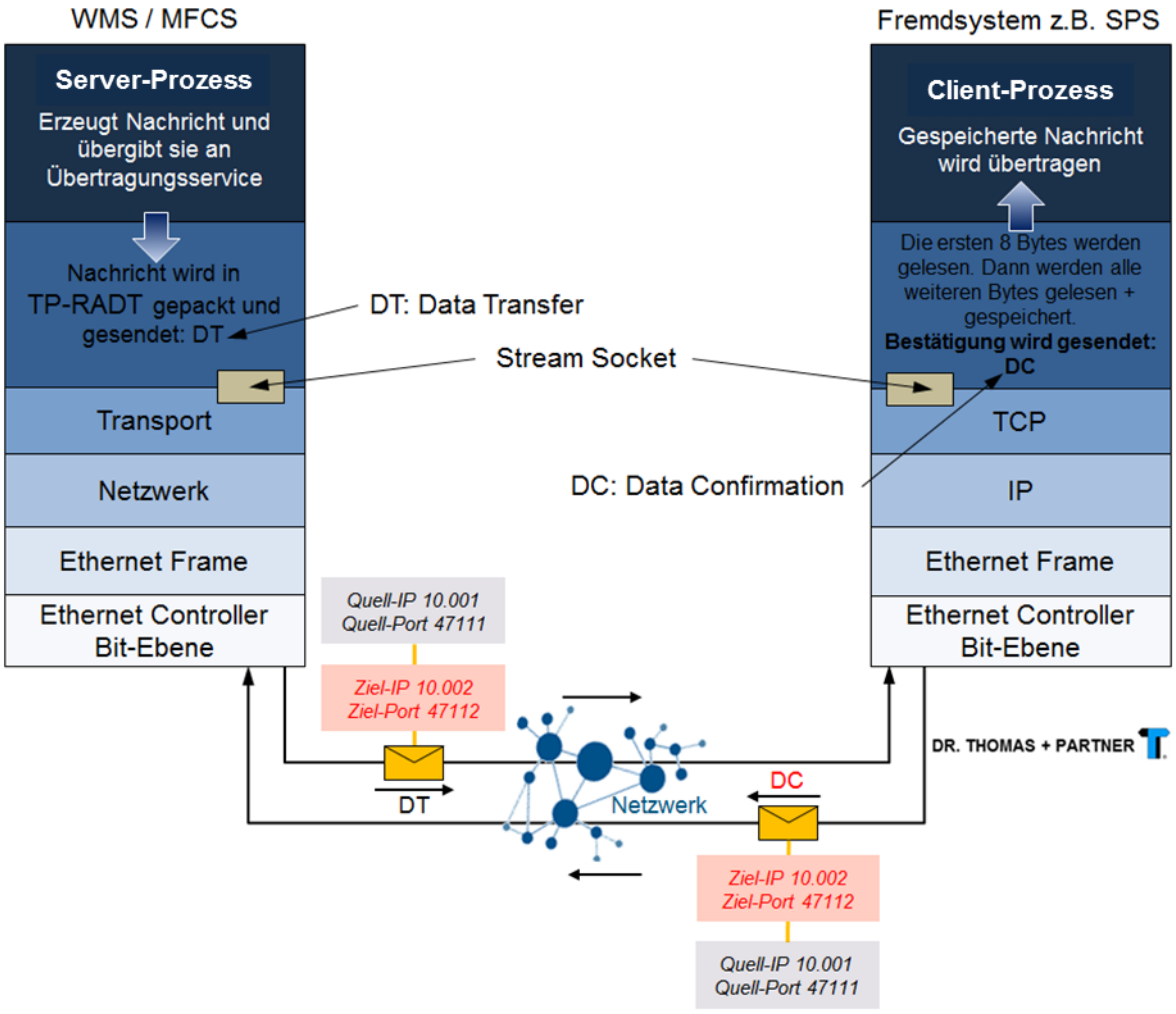


Abbildung 4.7: Fremdsystemkopplung über die gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT

TP-RADT überwacht die Verfügbarkeit der Verbindung:

- Die Verfügbarkeit der Verbindung soll permanent überwacht werden.
- Probleme werden dadurch erkannt wenn sie auftreten, nicht erst wenn das Medium benötigt wird
- Der überwachende Partner (auch beide) starten einen Timer, der mit jedem Empfang nachgestartet wird.
- Läuft der Timer ab, gab es Probleme oder nichts zu übertragen (Schwachlast), dann sendet der Überwacher einen „Ping“ und wartet auf das Echo.
- Trifft das Echo ein, wird (wie bei jedem Empfang) der Timer nachgetriggert.
- Bleibt das Echo aus, ist die Verbindung gestört, das ist jetzt bekannt.
- Die Verbindung wird abgebaut und danach wieder neu aufgebaut.
- Mit dieser Methode wird sichergestellt, dass keine Nachricht verloren geht oder die Übertragungsstrecke unbemerkt gestört ist.

Tabelle 4.1: TP-RADT (Reliable Application Data Transfer - Header und Datenblock)

	TP-RADT Feldbezeichnung	Anzahl (Bytes)	Inhalt
H E A D E R	Blocklänge	0 - 7	Die ersten 8 Bytes (nur gelesen)
	Typkennung	8 - 9	Nachrichtenart des Blocks
	Laufnummer	10 - 11	00 bei Erststart, sonst zw. 01 u. 99
	Fehlercode	12 - 13	Information über Verlauf des Blocktransfers
	Sendeerkennung	14 - 17	Sender der Nachricht
	Empfängerkennung	18 - 21	Empfänger der Nachricht
DT	Datenblock DT	22 - …variabel	Ab 22 bis … Anzahl variabel

Da auf der Empfängerseite ausreichend Puffer für den Empfang bereitgestellt werden muss, ist es notwendig, daß für jede Verbindung die maximale Länge der Nachricht vereinbart wird.

Für die weitere Beschreibung gilt folgende Bezeichnung:
ein Block, der Daten zum anderen System überträgt (Data Transfer ´DT´) wird als **Datenblock** bezeichnet, alle anderen als **Steuerblock** (Header).

Das Feld **Fehlercode** wird nur für die Übermittlung von Fehlern dieser Übertragungsschicht bei der Datenquittierung (Data Confirmation ´DC´) verwendet. Fehler der Applikation dürfen hier nicht übertragen werden, hierfür ist gegebenenfalls ein eigenes Applikationsfehler-Telegramm zu definieren.

Mögliche Werte im Fehlercode:

- 00 - kein Fehler
- 01 - Sequenzbruch festgestellt

Das Feld **Typkennung** wird nur für die Steuerung der Übertragung (mit folgenden Werten) verwendet:

- DT - Data Transfer - Übertragung eines Datenblocks
- DC - Data Confirmation - Steuerblock zur Quittierung eines Datenblocks
- PT - Ping Transfer - Steuerblock zur Initiierung der Prüfung der Verbindung
- PC - Ping Confirmation - Steuerblock als Antwort zur Prüfung der Verbindung

4.3 Drahtlose Kommunikation in der Intralogistik

In Zukunft werden drahtlose und mobile Netzwerke eine Schlüsselrolle beim Realisieren allgegenwärtiger Computerumgebungen spielen. WLAN, auch bekannt als Wireless LAN oder WiFi, ist heute eine der wichtigsten Netzwerkzugangs-Technologien für das Internet, die überall anzutreffen ist. Aus der Vielzahl unterschiedlicher Anwendung ist der Einsatz von Smartphones in der Intralogistik nur ein Beispiel. Ein Smartphone, eingebunden in die Schnittstelle Mensch-Maschine, ist heute Stand der Technik (siehe auch Abbildung 4.8 und Abbildung 5.16 „Kommissionierabläufe“).

Die drahtlosen Netzwerke unterscheiden sich nicht wesentlich von ihren leitungsgebundenen Gegenstücken. Die Netzwerkschicht der oberen Schichten, sowohl der drahtlosen wie auch der leitungsgebundenen Netzen, bieten denselben Best-Effort-Zustelldienst (vgl. Kapitel 4.2.2 ff.).

Ein Smartphone verfügt zum Einen über eine Netzwerkzugangstechnik über WLAN (Standard IEEE 802.11) und zum Anderen über Bluetooth-Netzwerkszugangstechnik (Standard IEEE 802.1.5.1). Bluetooth arbeitet im Lizenzfreien 2.4.-GHz Funkband, es handelt sich im Grunde genommen um eine Kabelersatz-Technik mit niedrigen Energieverbrauch und kurzer Reichweite.

Abbildung 4.8: Smart Mobile Logistics

In der Zukunft werden sicherlich auch Smartwatches oder Armbänder in der Kommissionierung zum Einsatz kommen, welche die zum Picken benötigte Information einfach auf die Handfläche projizieren. Diese Mini-Beamer-Technologie könnte zum Beispiel auch mit einem Ringscanner via Bluetooth (z.B. Smartwatch linke Hand / Ringscanner rechte Hand) kommunizieren (siehe Abbildungen 4.8 und 4.9).

Abbildung 4.9: Smartwatch projiziert Information auf die Handfläche (www.a-su.com.cn)

5 GESCHÄFTSPROZESSE IN DER INTRALOGISTIK – SOFTWARE FOLLOWS FUNKTION

Die Intralogistik stand lange Zeit vor dem Problem: Standard oder Individuallösung?
Die Lösung: Das Beste aus beiden Welten in Form einer ausgewogenen Mischung.

5.1 Wo liegen die größten Potenziale?

Die Intralogistik profitiert von der rasanten Hardware-Entwicklung (siehe Kapitel 2.4).
Mit Blick auf die Softwareentwicklung von Warehouse Management Systemen (WMS) hört man häufig:

„Das haben wir schon immer so gemacht!“

„Das funktioniert, da steckt unser Know-how dahinter!“

Die Lösung: Schere aus dem Kopf, dann erkennt man die Potenziale:

An die Geschäftsprozesse vom Wareneingang (WE) bis zum Warenausgang (WA) werden **vielfältige verschiedenartige Anforderungen** gestellt, obwohl die grundlegenden Funktionalitäten bei jeder **WMS-Lösung gleichartig** oder **mindestens ähnlich** sind.

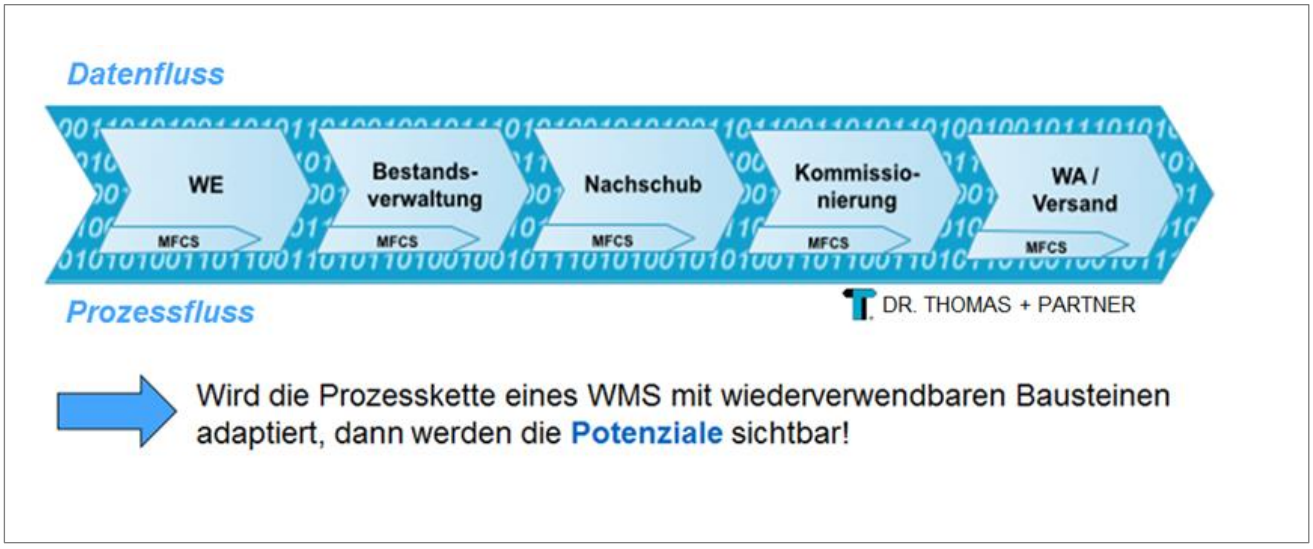


Abbildung 5.1: Prozesskette einer WMS-Lösung

Werden die Geschäftsprozesse von WE bis WA mit wiederverwendbaren Bausteinen adaptiert, dann werden Potenziale sichtbar. Vor diesem Hintergrund erscheint die Überlegung zielführend, wie durch eine innovative Software-Architektur ein auf dem Baukastenprinzip beruhendes Rahmenwerk einer Wiederverwendbarkeit zugänglich gemacht werden kann. Die heute erreichte Entwicklung der objektorientierten Softwaretechnik und die zunehmende Durchdringung der industriellen Software-Produktion mit dieser Technik ermöglicht es, Systementwürfe zu erstellen, die in ihrer Anlage schon die

Chancen - sowohl für einen hohen Wiederverwendungsgrad als auch für eine erleichterte Anpassbarkeit - bieten.

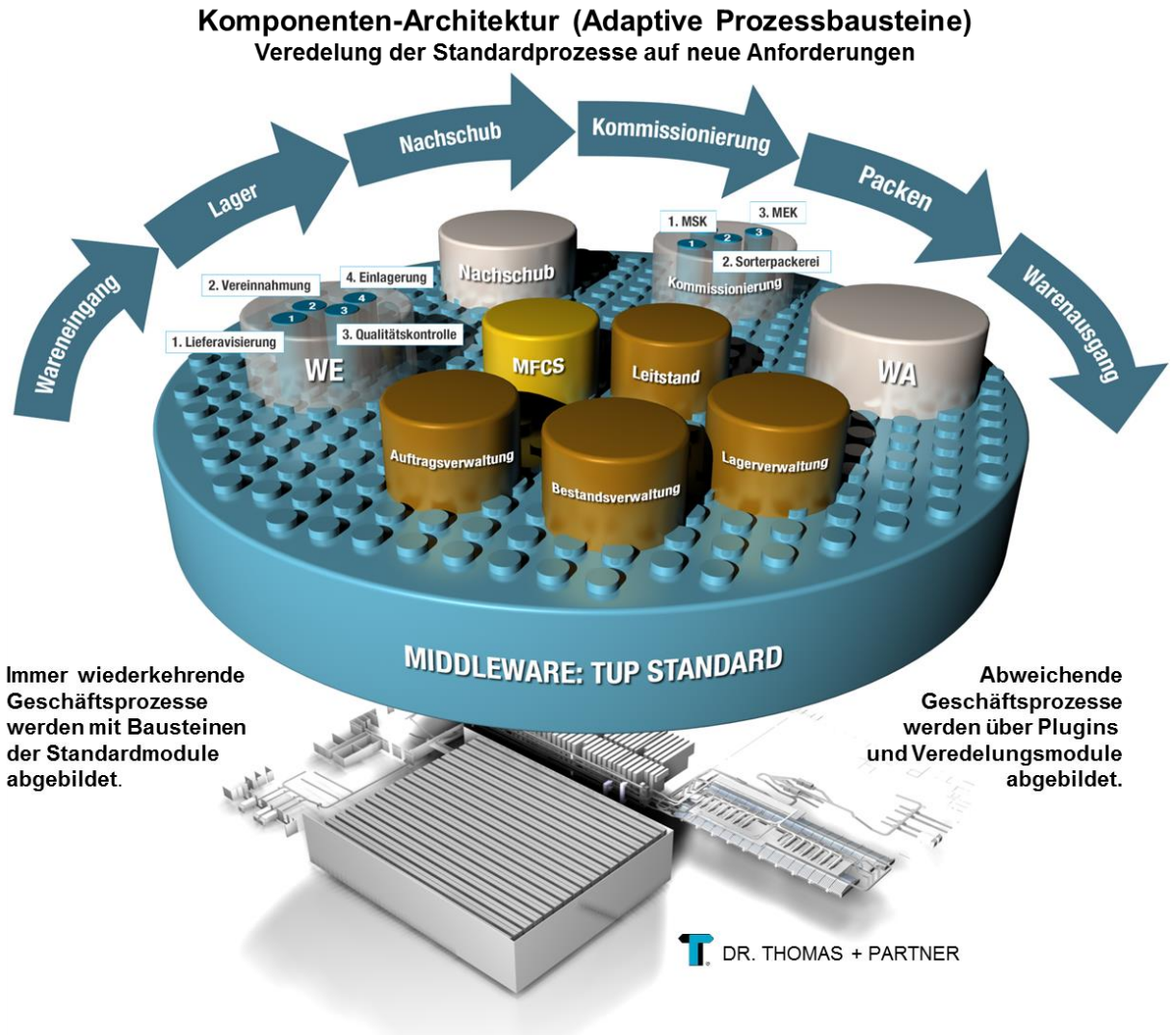


Abbildung 5.2: Bestandteile der Softwarearchitektur einer adaptiven IT-Lösung

Die Abbildung 5.2 macht deutlich, welche Bestandteile der Softwarearchitektur einer adaptiven IT-Lösung förderlich sind:

- Anwendungsdomäne Intralogistik
  - Komponeneten-Architektur mit adaptiven Prozessbausteinen (Standartbaustaine Framework)
  - Veredelung der Standardbausteine auf die Anforderungen der Projektspezifikas
- Middleware (auch Zwischenanwendung)
  - Eine anwendungsunabhängige Technologie, die zwischen fachlicher Anwendungssoftware und Betriebssystem / Hardware vermittelt
  - Die Middleware hat den größten Wiederverwendungsgrad

In Kapitel 6 “Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben“ werden die Möglichkeiten beschrieben, wie durch die Softwaretechnik eine Systemarchitektur mit Klassenmodellen geschaffen wird, die das Ziel einer hohen Wiederverwendbarkeit mit einer leichten Anpassbarkeit vereinen.

5.1.1 A Warehouse is not a Warehouse

Die Erfahrungen aus den Praxisabwicklungen machen deutlich:
bevor die IT zielgerichtet ihre SW-Entwicklung beginnen kann, müssen die spezifischen Projektanforderungen ausgearbeitet vorliegen. Aus IT-Sicht gilt dabei natürlich, dass in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert und gemeinsam im interdisziplinären Team mit dem Implementierungsleiter (IL) unterschrieben werden. Mit dieser Vorgehensweise wird frühzeitig das Know How des IL mit einbezogen.

Hier gilt immer die Ansage:
Die Informatik sorgt nicht für das Verständnis des Problems, sondern gibt Methoden an, auf die dann jedoch die Logistiker angewiesen sind, um ihre Kerngeschäftsprozesse eines WMS einer Lösung zuzuführen.

Die Lösung kann daher nur heißen: Schon früh alle Beteiligten - Kunden/Nutzer, Logistikpartner und Softwareentwickler - in ein interdisziplinäres Team einzubinden.
Die Zusammenarbeit dieses Teams mit dem Kunden sichert eine großmögliche Effizienz der Prozesse und eine maximale Akzeptanz (Abbildung 5.3).

Abbildung 5.3: Interdisziplinäres Team

5.1.2 Faktoren, die den Projekterfolg beeinträchtigen

Die praktische Erfahrung bei der Projektabwicklung verdeutlicht (immer öfter), die Pflichtenheftphase ist das Kernstück jeder gemeinsamen Software und Hardware-Lösung.

Der Projekterfolg hängt direkt oder indirekt mit den, gemeinsam im Team erarbeiteten spezifischen Anforderungen, zusammen. Die größtmögliche Effizienz und maximale Akzeptanz kann nur erreicht werden, wenn auch die „Project-Owner“ für das Projekt (neben dem Tagesgeschäft) auch die notwendige Zeit vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt bekommen. Oft wird ein Projekt mit den besten Absichten gestartet, kann dann aber, wegen mangelnder Kommunikation durch Arbeitsüberlastung der „Project-Owner“, den Projekterfolg stark beeinträchtigen.

Als Quelle können hier auch die Untersuchungen des TÜV Rheinland / Berlin/ Brandenburg und der Standish Group dienen. Demnach beeinträchtigen den Projekterfolg:

❍ Unvollständige Anforderungen	13,1%
❍ Die späteren Nutzen haben nicht die nötige Zeit zur Verfügung für geregelte Projektzusammenarbeit	12,4%
❍ Es liegen falsche Erwartungen vor	9,9%
❍ Change Requests	8,7%
In Summe mit	44,1%

In den weiteren Kapiteln wird aufgezeigt, dass nur mit einer zielführenden Planung, im Einklang mit den Geschäftsprozessmodulen, ein Projekterfolg realisiert werden kann. D.h., das Projekt liegt innerhalb der geplanten Termine und dem geplanten Budget und erfüllt alle spezifischen Anforderungen.

5.1.3 Erweiterte Prozessmodulierungs-Symbolik

In Anlehnung an Andreas Gadatsch (“Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker“, 7. Auflage, 2012) und Jürgen Pitschke (“Architektur, Methode, Prozess: Ein Business Analysis Framework“, 2012), werden drei Bearbeitungsebenen für den Entwurf von wiederverwendbaren IT-Bausteinen unterschieden. Dies sind die logistische Ebene, die IT-Ebene und die Prozessschritt-Ebene in Verbindung mit einer IT-Prozessebene. Die dafür verwendeten Symbole und Elemente werden in der Abbildung 5.4 „Erweiterung der Modulierungssymbole“ dargestellt. Damit soll der Handshake zwischen Logistikplanern, Nutzern und Softwareentwicklern unterstützt werden mit der Zielsetzung, Best-Pratice-Module zu erstellen. Diese sollen in einem ersten Schritt beschrieben und in einem zweiten Schritt als adaptive Programm-Module einer Wiederverwendbarkeit zugänglich gemacht werden (siehe Kapitel 6).

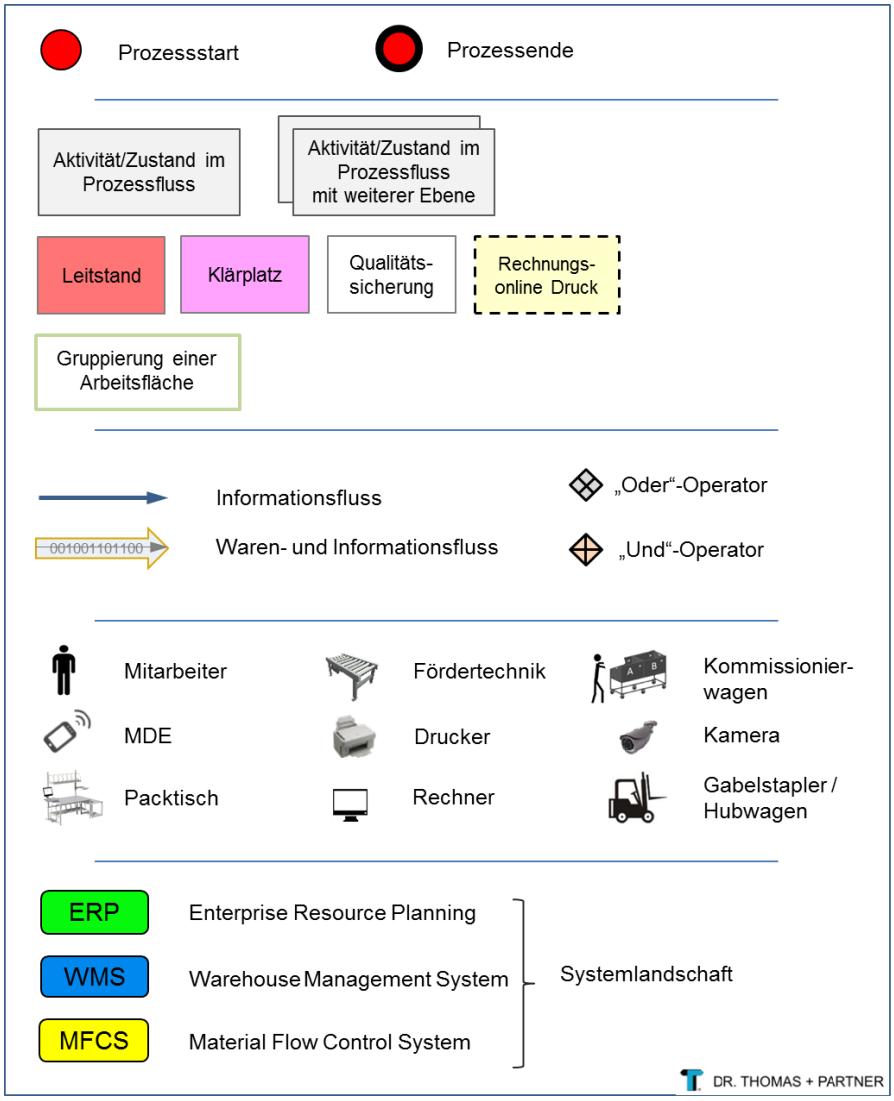


Abbildung 5.4: Legende und Erweiterung der Modulierungssymbole für die folgenden Abbildungen

5.2 Beschreibung der Geschäftsprozessmodule eines Warehouse Management Systems

Beginnend mit der Darstellung und Abbildung des Geschäftsprozessmoduls Wareneingang (WE) wird das Modellkonzept sichtbar. Der WE wird weiter detailliert, mit dem Ziel, immer wiederkehrende Teilprozesse als Standardmodule abzubilden und abweichende Teilprozesse über Veredelungsmodule (Plugins) abzubilden.

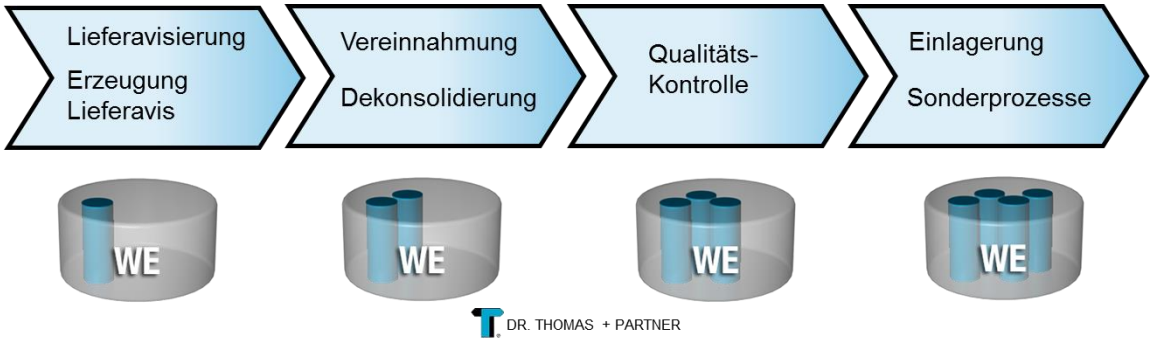


Abbildung 5.5: Geschäftsprozessmodul Wareneingang

Ein weiterer Vorteil wird sichtbar: Überflüssige Features, die nicht zur geforderten Aufgabenstellung nötig sind, werden nicht implementiert (siehe Kapitel 5 und Kapitel 6).

5.2.1 Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im Wareneingang

Hersteller (Versender) und das Warenverteilzentrum (Empfänger) tauschen im Prozessverlauf die Bestelldaten und Lieferdaten (Avis) über ein Netzwerk aus. Mit der Liefer-Avisierung per EDI (Electronic Data Interchange, Abbildung 5.6) überträgt der Versender dem Empfänger gleichzeitig die eindeutige Nummer jeder einzelner Liefereinheiten. Dazu wird jede Liefereinheit (LE) des Versenders im Warenausgang mit genau diesem SSCC codiert (siehe GS1 im Kapitel 3.1.3).

Vereinzelung entfällt

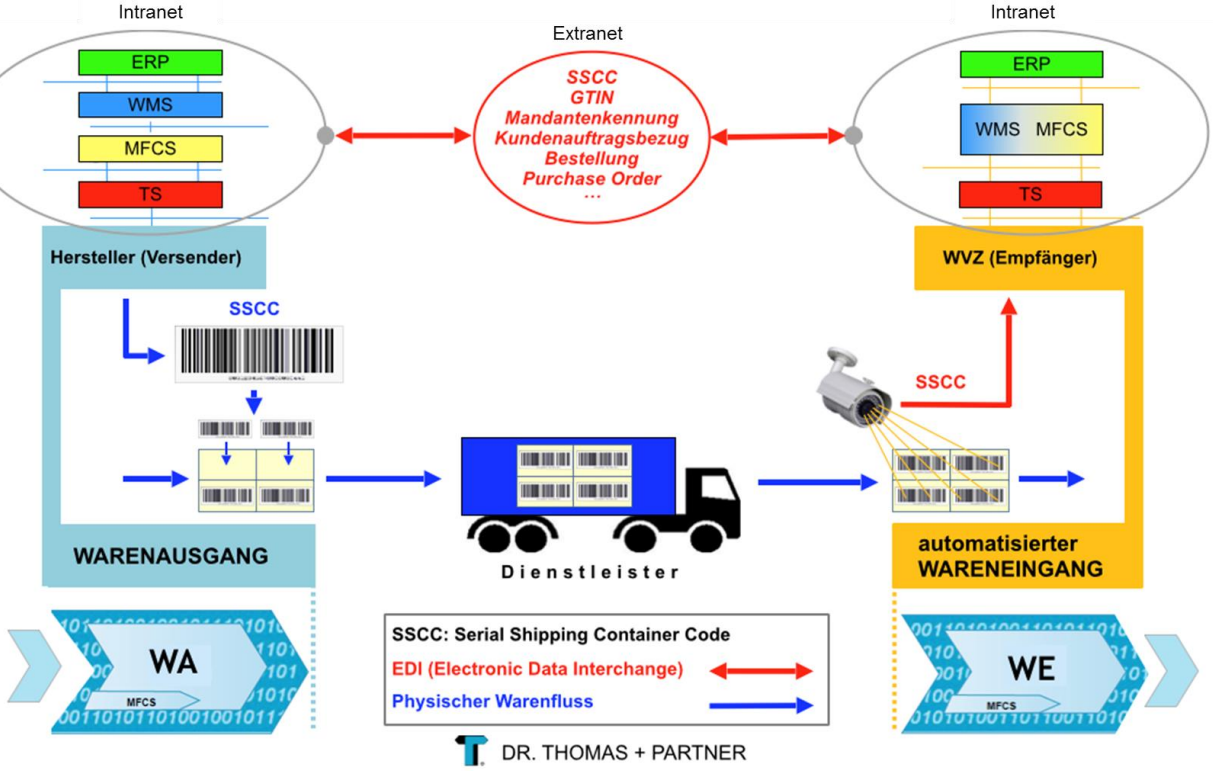


Abbildung 5.6: Electronic Data Interchange (EDI), LE-Avisierung im Warenfluss

Bevor der physische Wareneingang erfolgt, werden die dem Empfänger übermittelten Daten auf der ERP-Ebene für das WMS (Warehouse Management System) als Avis-Daten aufbereitet und entsprechend lesbar weitergeleitet. Für den asynchronen Prozessverlauf der automatischen Datenerfassung, mittels SSCC und entsprechenden Kamerasystemen, wird die Entladung zum Beispiel eines angelieferten Containers fördertechnisch unterstützt.

In der Praxis legt der Speditionsmitarbeiter die angelieferte LE auf ein teleskopierbares Förderband auf. Im Förderfluss werden die LEs, im Durchlauf, von Kamerasystemen erfasst und die SSCC-Informationen dem WMS online übertragen. Im WMS erfolgt der Lieferabgleich gegen die übermittelten Avis-Daten. Die erfassten SSCC-Daten werden mit den Zielkoordinaten für den Einlagerungsprozess ergänzt, und dem MFCS übertragen.

Im weiteren Förderfluss wird über einen Applizierer ein vorgedrucktes Etikett - ein sogenanntes Over Corner Label (OCL) - aufgebracht. Mit der anschließenden Lesung durch einen Scanner werden im MFCS die SSCC-Daten und die Zielkoordinaten mit den datenreduzierten Informationen des OCL-Barcodes in einer Datentabelle abgelegt.
Durch die raffinierte Applizierung des OCL entlang einer Kante, können die Informationen des Barcodes über Scanner längs und quer - ergo von 2 Seiten ausgelesen werden (siehe Abbildung 5.7 unten und in Kapitel 3.1.2, Abbildung 3.1).

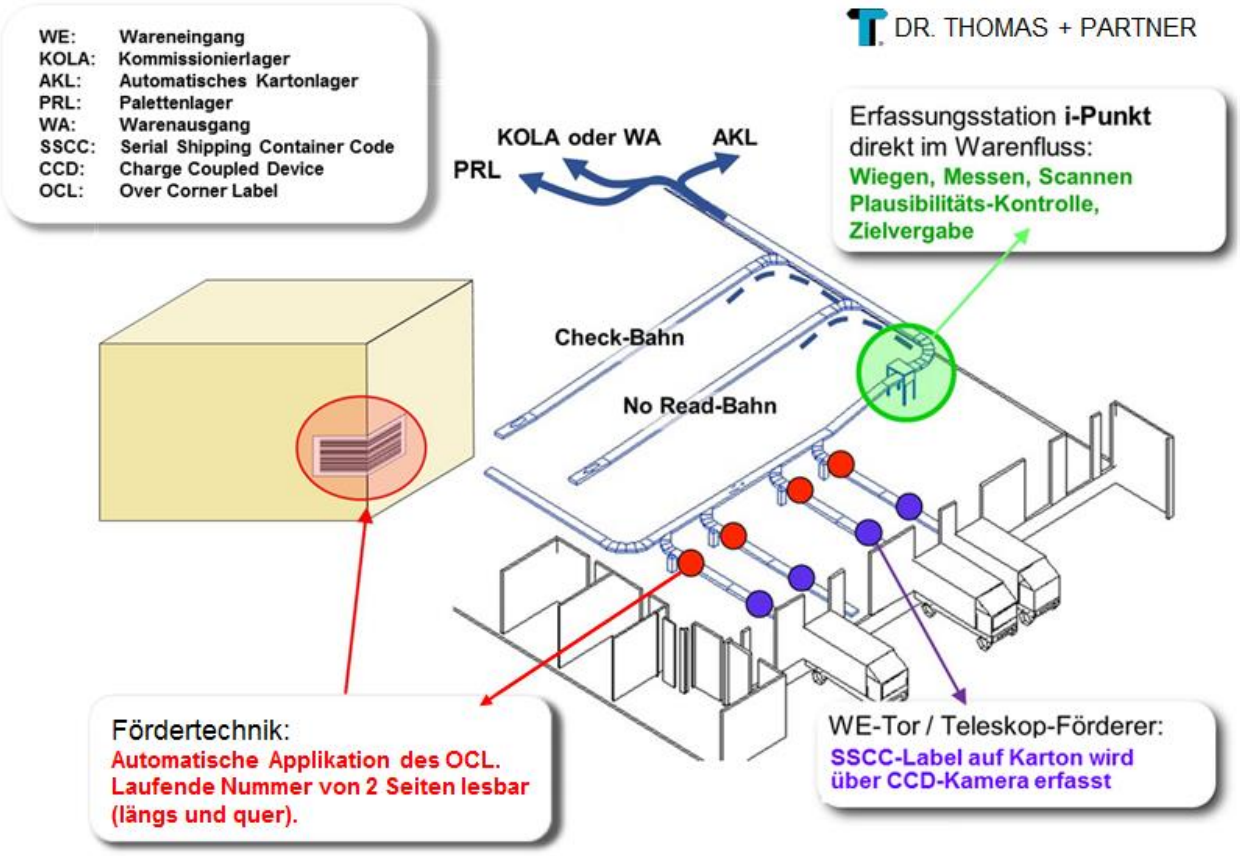


Abbildung 5.7: LE-Avisierung und automatisierte Wareneingangs-Abwicklung

Daraufhin erfolgt die Konturenkontrolle (Abmessungen, Gewicht) und der Abgleich der Logistik-Daten (Versandeinheits-Informationen). Die erfassten Logistik-Daten werden dem WMS übertragen. Zum einen dienen diese erfassten Daten zur Plausibilitäts-Kontrolle (beschädigte Verpackungen werden direkt aus dem Materialfluss gezogen und zur Nachkontrolle geleitet), zum anderen dienen die Daten als fördertechnische Vorgaben, beispielsweise für den automatischen Zugriff der Regalbediengeräte.

Begreift man durch die vorangegangene detaillierte Betrachtung, dass die Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im WE, die Voraussetzung für ein Standardmodul erfüllt, hat man zu dem Denken in wiederverwendbaren Bausteinen (im IT-Sprachgebrauch auch als „Service“ bezeichnet) die Brücke geschlagen (siehe auch Abbildung 5.8).
Dieses Vorgehen ist auch eine Richtschnur, die im Sinne der Wiederverwendbarkeit als **Best-Practice-Komponente** eingesetzt werden kann.

Mit den unter Kapitel 5.1.3 skizzierten Modulierungssymbolen werden die einzelnen Prozess-Schritte (siehe Abbildung 5.4) der folgenden Geschäftsprozessmodule erklärt.

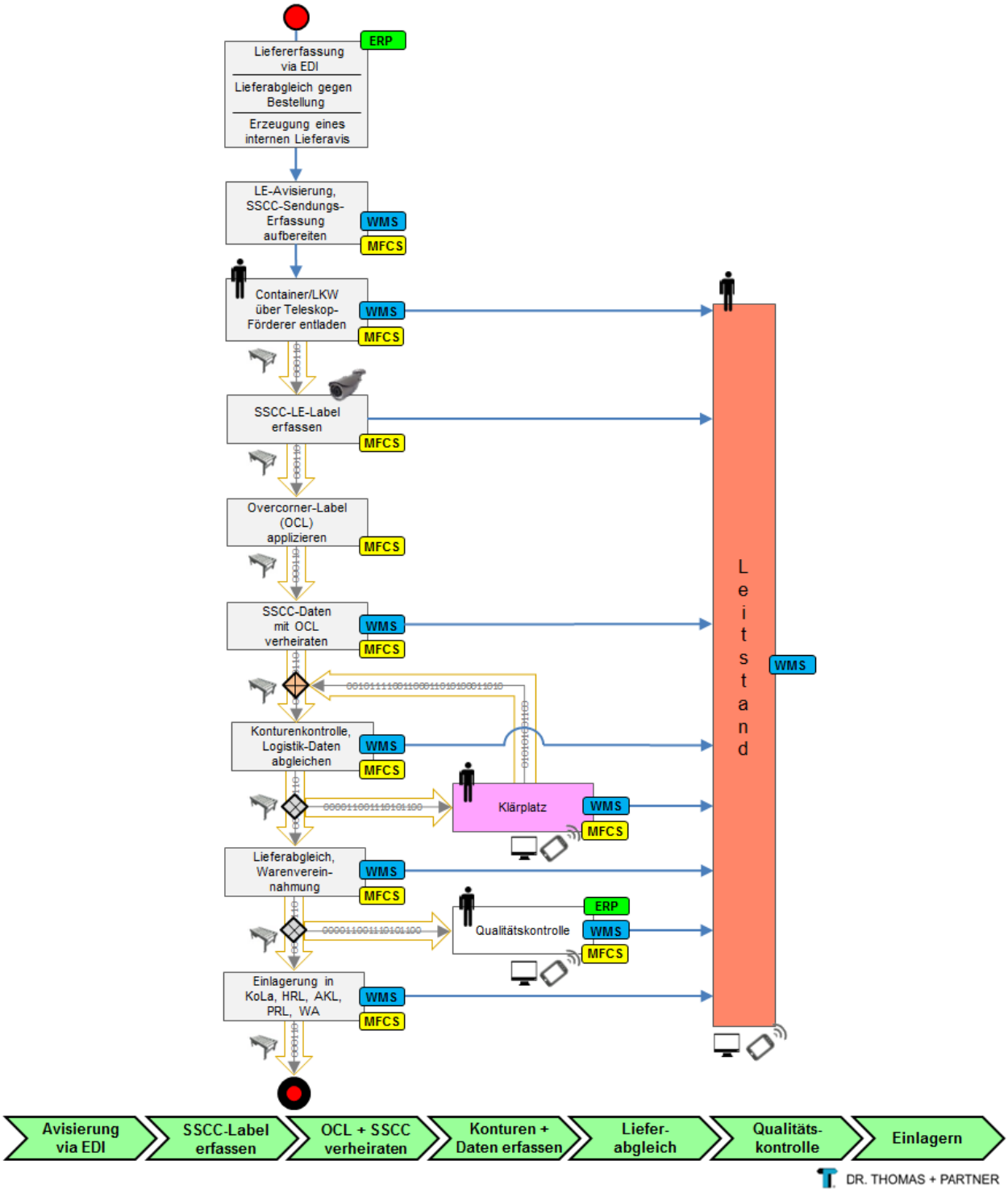


Abbildung 5.8: Geschäftsprozessmodul Wareneingang (Best-Practice-Komponente)

5.2.2 Wareneingang ohne Avis-Daten

Bevor die angelieferte Ware entladen werden kann, wird vom WE-Büro der Lieferschein-Bestellabgleich über Zugriff auf das Enterprise Ressource Planning (ERP) System angestoßen. Nach der Erzeugung eines internen Avis durch das ERP-System und der Datenübertragung ERP → WMS → WE-Büro, kann die angelieferte Ware entladen werden

und auf der WE-Eingangsfläche bereitgestellt werden. Parallel dazu werden von dem WE-Büro LE-Label (laufende Nummer) zur internen Verwaltung und Materialflusssteuerung ausgegeben, mit der Vorgabe, jede konsolidierte LE-Einheit zu identifizieren und datentechnisch mit dem dann aufgebrachten LE-Label zu verheiraten.

Auf der WE-Eingangsfläche beginnen die Mitarbeiter mit der Dekonsolidierung, Vereinzelung und Identifizierung jeder LE durch MDE-Scans (wenn möglich) oder die manuelle Eingabe, mit dem Ziel, die Sendungserfassung gegen das erzeugte interne Avis physisch abzugleichen. Jede identifizierte LE wird mit einem von dem WE-Büro ausgegebenen internen LE-Label mit Materialflusssteuerung verheiratet. Dabei muss mit einer Fehlerrate von 0,46 bis 0,94 % gerechnet werden.

Die mit dem MDE-System erfassten Daten werden online über WLAN an das WMS übertragen. Im WMS erfolgt der Lieferabgleich gegen die vom ERP-System übermittelten Avis-Daten.

Nach Abschluss der Sendungserfassung auf der WE-Fläche kann, je nach Anlagenausbildung des Wareneingangs eine manuelle oder eine automatisierte Variante eingesetzt werden. Die automatisierte Variante hat den Charme, dass mit dem Denken in wiederverwendbaren Bausteinen, die Best-Practice-Variante „Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung“ für die nachfolgenden Prozessschritte integriert werden kann.

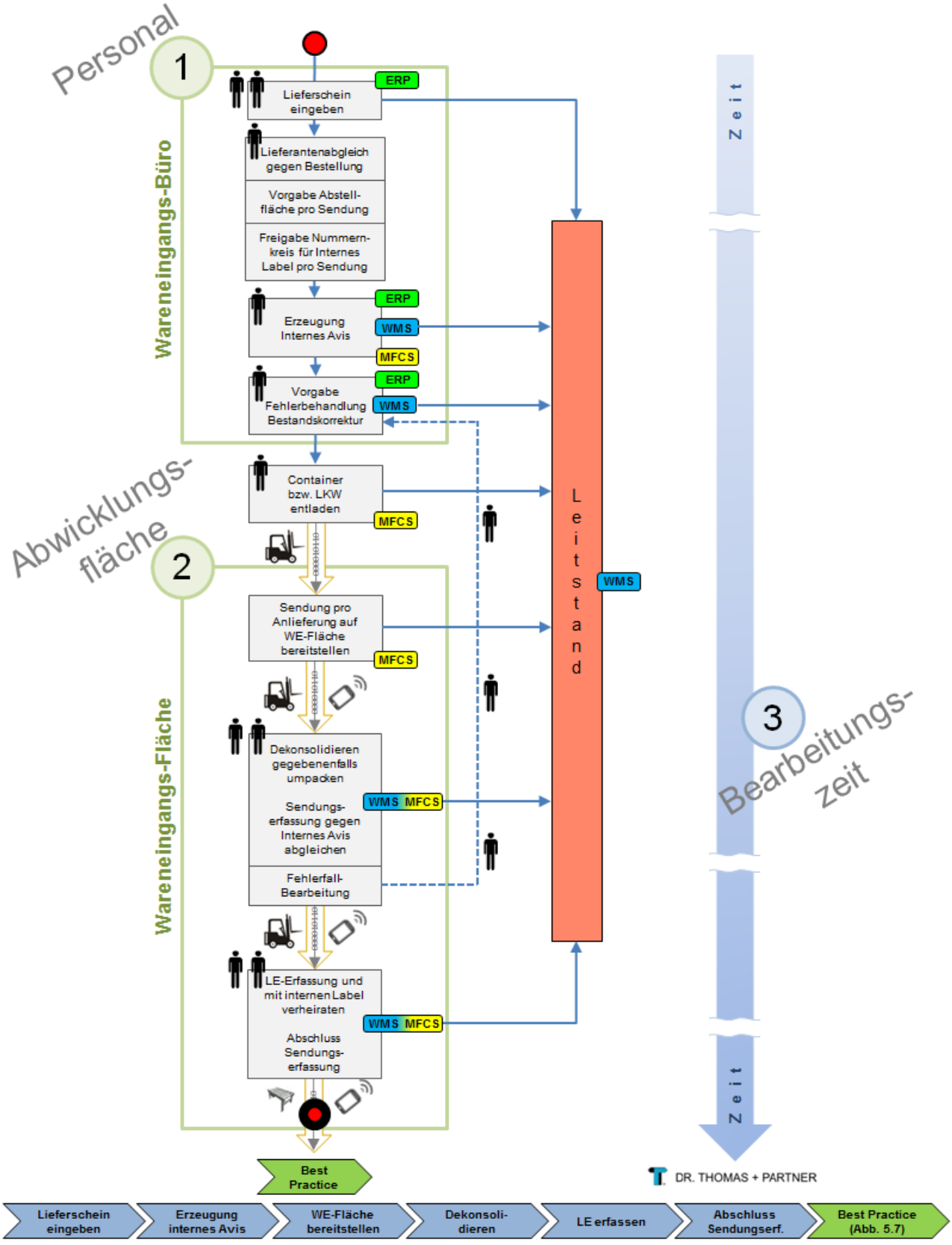


Abbildung 5.9: Geschäftsprozessmodul: Wareneingang ohne Daten-Avisierung. Sehr Kosten-, Zeit- und Ressourcenaufwendig (Erklärung siehe Folgeseite).

Die Kostentreiber bei der Abwicklung Wareneingang ohne Avis-Daten

1

Der hohe **Personaleinsatz** gegliedert nach Qualifikationsanforderungen (WE-Büro, manuelle Tätigkeiten auf der WE-Fläche). Im WE-Büro sind Bildschirmarbeitsplätze im Einsatz, die eine Verbindung zum ERP-System und zum WMS/MFCS ermöglichen (siehe Abbildung 5.9).

Die nachfolgenden Tätigkeiten erfordern besonders geschultes Personal:

- Lieferschein gegen offene Bestellung abgleichen
- Internes Avis erzeugen
- Vorgabe Abstellfläche im WE pro angelieferte Sendung (Haftungsübergang)
- Freigabe Nummernkreis für internes Packstück-Label
- Vorgabe Umpack-Anweisung und Überwachung
- Erzeugung von internen LE in Abstimmung mit Vorgabe der Logistik-Daten, Registrierung von Versandschäden oder falscher Verpackung und Abklärung
- Fehlerbehandlung: Differenzen Lieferschein-Bestellung.
  Klare Vorgabe wie diese Fälle abgeklärt werden

2

Der **Abwicklungs-Flächenverbrauch** im Wareneingangsbereich in Abhängigkeit zu der Umschlagshäufigkeit (siehe Abbildung 5.9).

Personaleinsatz für manuelle Tätigkeiten auf der WE-Fläche:

- Container bzw. LKW mittels Teleskop-Förderer entladen oder Handhubwagen und mit Gabelstapler (mit MDE-Anbindung) auf zugewiesene WE Fläche bereitstellen.
- Dekonsolidieren, Vereinzelung und Identifizierung jeder LE durch MDE-Sendungserfassung: Gegen internes Avis und zum Abgleich. Im Hintergrund erfolgt die Datenverarbeitung (siehe auch Kapitel 4).
  MDE kommuniziert über WLAN zu Access-Point, Access-Point über Industrie-LAN mit WMS. Damit erfolgt der Abgleich gegenüber dem erzeugten internen Avis.
- Fehlerfall-Bearbeitung nach Vorgabe des WE-Büro Klärung (z.B. Bestandskorrektur)
- Gegebenenfalls Umpacken nach Vorgaben

3

Erhöhte **Bearbeitungszeit** bis die angelieferte Ware weiterverarbeitet werden kann (z.B. Kunden warten auf Nachlieferung, siehe Abbildung 5.9).

5.2.3 Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang

In der folgenden Abbildung 5.9 wird die Teilprozess-Komponente „WE-Prozess ohne Avis im WE“ (Kapitel 5.2.2) nach Abschluss der Sendungserfassung mit der in Kapitel 5.2.1 beschriebenen Best-Practice-Komponente weitergeführt.

Aus IT-Sicht kann die Best-Practice-Komponente, ein immer wiederkehrender Geschäftsprozess, als ein Baustein-Standardmodul abgebildet bzw. adaptiert werden. Damit wird auch die Objektorientierung sichtbar: die verwendeten Objekte sollen die reale Welt abbilden (hier, Best-Practice-Komponente).

Der abweichende Geschäftsprozess, WE-Prozess ohne Avis wird als eine spezielle Lösungsvariante, ein projektspezifisches Plug-in definiert und kann mit dem Standardmodul Best-Practice-Komponente zu einem lauffähigen WE-Prozess veredelt werden (siehe Abbildung 5.10).

Hier wird der Leitgedanke deutlich:

software follows function gilt dann wenn in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert wurden und gemeinsam im interdisziplinären Team aus Logistik-Planern, dem Kunden/ Nutzer und dem Implementierungsleiter (IL) unterschrieben wurden. Das Know-how des IL wird frühzeitig in die Prozessgestaltung und Anforderungsaufnahme mit einbezogen (siehe auch Kapitel 5.1.2) …

… wenn alle Beteiligten wie Logistik-Planer, Software Entwickler und Nutzer als Team zusammen arbeiten (Kapitel 6.1 und Abbildung 6.1).

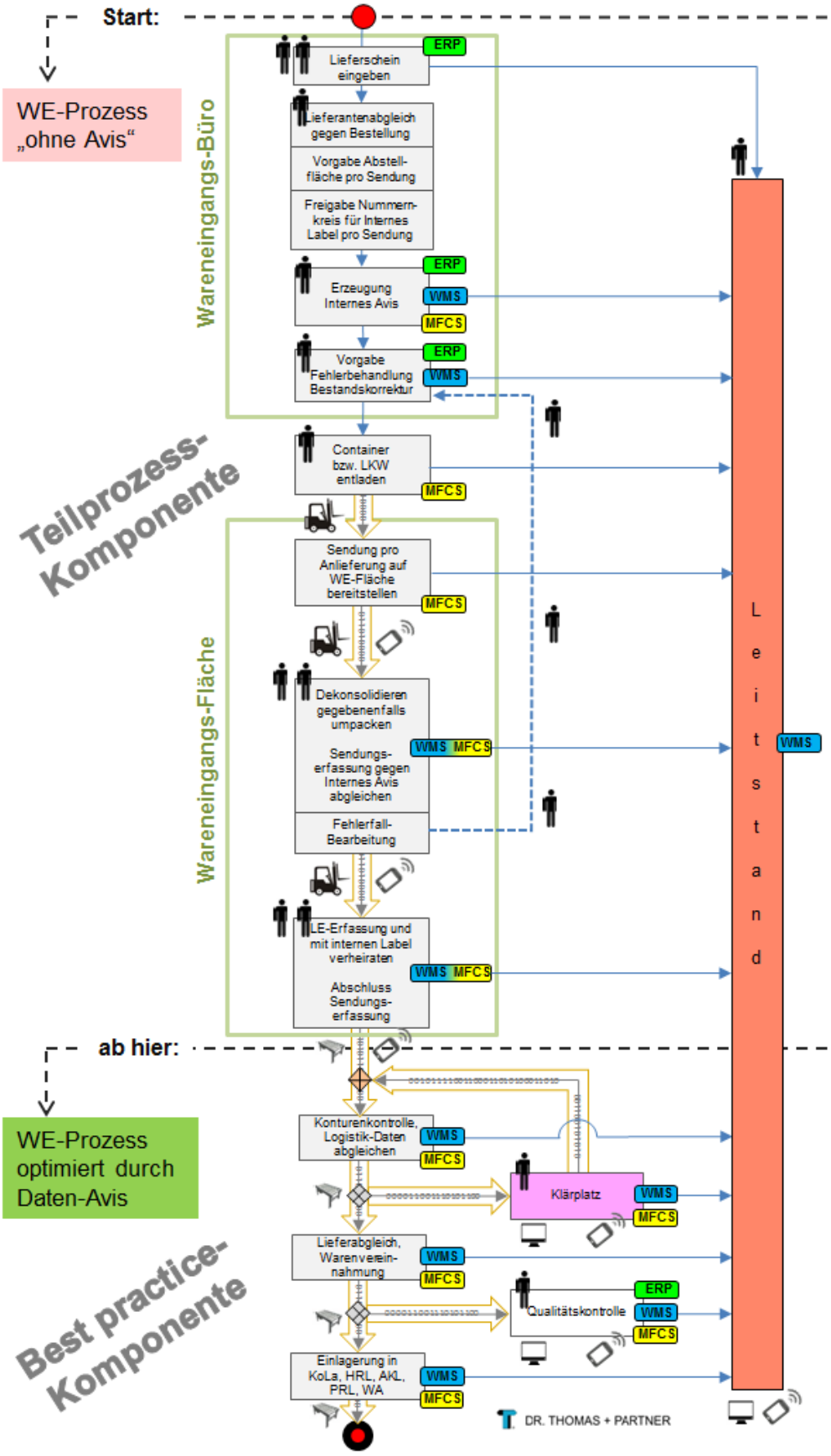


Abbildung 5.10: Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang

5.2.3.1 Analysemodell „Integriertes Geschäftsprozessmodul“

Entlang der Prozess-Instanzen des integrierten WE-Geschäftsprozessmoduls (Abbildung 5.9) werden die dem Leitstand übertragenen Daten zur Erstellung des Analysemodells für den Geschäftsprozess übertragen.

Informationsbedarf im Prozessschritt	→ Lieferscheinabgleich → Erzeugung internes Avis → Vorgabe Abstellfläche (Haftungsübergang) → Lieferscheinabgleich → Erzeugung Internes Avis → Vorgabe Abstellfläche (Haftungsübergang) → Avisierungs-Daten auf Basis LE → Vorgabe Dekonsolidierung → Vorgabe Umpack-Anweisung → Vorgabe Qualitätsprüfung → Artikel freigeben / gesperrt / ausbuchen → Vorgabe Transportauftrag zur Einlagerung → Sonderprozesse (Bypass für Kommissionierung / Cross-Docking)
Prozessziele	→ kurze Durchlaufzeiten → wenig Platzbedarf → kurze Mitarbeiteranbindung → hohe Prozessqualität
Daten* aus Prozess für Leitstand	→ Anlieferzeiten bzw. –peaks → Artikel freigeben / Artikel gesperrt / Artikel ausgebucht → Anzahl der Verteilung der Artikel auf verschiedene Ziele **extrahierte Daten aus “Informationsbedarf im Prozessschritt“*
Empfänger der Kennzahlen	→ Einkauf → Leitstand, Logistik-Leiter → WE-Leiter → Mitarbeiter Wareneingang
Kennzahlen zur Messung der Ziele (Benchmark-Vergleich)	→ Anzahl angenommene Artikel pro Δt** → Anzahl der Mitarbeiter im WE pro Δt** → Flächenverwendungsgrad → Warenannahmezeit → rollierender Arbeitsfortschritt → Qualität WE *** betrachteter Zeitraum z.B. im Schichtbetrieb*

Kostentreiber!
(siehe auch Abbildungen 5.8 ff.)

→ Mensch / Fläche / Zeit
→ Sonderprozesse
(fehlende Infos, Verpackungsbeschädigung)
→ Qualität der Artikel (Prüfung, Nacharbeit)
→ Artikelhandling
(mechanisiert, manuell, mehrfach, einfach)

5.3 Kommissioniersysteme

Als Kommissioniersystem wird das Teilsystem der Intralogistik verstanden. Nach Timm Gudehus (“Logistik 2“, 2012, S. 707) ist kommissionieren „das Zusammenstellen von Ware aus einem bereitgestellten Artikelsortiment nach vorgegebenen Aufträgen“. Die genauen Definitionen können in der VDI-Richtlinie 3590 nachgelesen werden.

Im folgenden Kapitel werden Kommissioniersysteme in den folgenden Ausprägungen beschrieben und diskutiert:

- Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer (Kapitel 5.3.3 ff)
- Manuelle Sortierkommissionierung MSK (Kapitel 5.3.3.3)

5.3.1 Anforderungen an Kommissioniersysteme

Die Anforderungen an die aktuellen Kommissioniersysteme ergeben sich aus den Trends am Markt – betrachtet aus Kundensicht als auch aus Sicht der Unternehmen.
Die Kundenzufriedenheit wird beeinflusst durch ihre Erwartung einer hohen Liefergeschwindigkeit.
In Zeiten von Same-Day-Delivery fließt daher in die Auftrags-Priorisierung immer die Cut-off-Zeit[1] (Ausgangszeitpunkt) mit ein. Die Cut-off-Zeit ist in der Praxis das entscheidende Kriterium).

Fehler in der Kommissionierung führen zum Verlust von Zeit und/oder Kundenzufriedenheit. Hierbei können vier Fehlerarten unterschieden werden:

- Typfehler (falscher Artikel)
- Mengenfehler (falsche Artikelanzahl)
- Auslassungsfehler (Artikel fehlt)
- Zustandsfehler (Artikel ist unvollständig oder defekt)

Zur Fehlervermeidung werden heute Kommissionier-Führungsmethoden wie Pick-by-MDE, Pick-by-Voice, Pick-by-Light, Pick-by-Point oder Datenbrillen in Verbindung mit Augmented Reality eingesetzt.

[1] Cut-off-Zeit = Annahmeschluss: Zeitpunkt, an dem eine Bestellung (oder eine Wanne) bei einem Logistikdienstleister sein muss, um innerhalb eines definierten Zeitraums die Ware zustellen zu können.

Beispielsweise bei der Kommissionierung mittels MDE wird sowohl der Lagerplatz als auch der Artikel durch Scannen bestätigt. Dies verringert die Gefahr von Auslassungs- und Typ-Fehlern. Durch das einblenden von Bildern und Symbolen kann die Fehlerrate weiter gesenkt werden (siehe Kapitel 4 und Abbildung 5.16 „Mensch-Maschine.Kommunikation während des Rundgangs“).

Weitere Trends werden in der Kommissionierung sichtbar:

5.3.1.1 Marktflexibilität

Die Marktanforderungen ändern sich stetig. Ein Kommissioniersystem sollte flexibel sein und auf diese Änderungen eingehen können. Neben adaptiven IT-Prozessen, sind die Ergonomie und der Faktor Mensch eine treibende Kraft. Die Forschung ist hier in einigen Bereichen deutlich hinter den Entwicklungen in der Praxis.

5.3.1.2 Retouren

Die Bearbeitung von Retouren kostet Zeit und Geld. Daher sollte ein effizienter Umgang mit Retouren angestrebt werden, z.B. einstreuen von Retouren in einen dynamischen Zwischenpuffer über eine dreistufige Kommissionierung.

5.3.1.3 Batch-Kommissionierung

Bei der Batch-Kommissionierung werden mehrere Aufträge zu einem Batch zusammengefügt. Innerhalb dieses Batches werden Pick-Positionen zu Kommissionier-Aufträgen beziehungsweise Rundgängen gruppiert (“Design and control of warehouse order picking: a literature review. European Journal of Operational Research 182(2), 481-501”, De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J. (2007)). Dabei müssen nicht alle Artikel eines Auftrags im selben Rundgang sein (“Erweiterung des Warenverteilzentrums der MCM Klosterfrau“ in: Logistik für Unternehmen 6/2009“, Dietmar Hoffbauer). Anschließend ist eine Konsolidierung erforderlich, das heißt, die Artikel werden wieder zu Kundenaufträgen zusammengeführt. Eine Batchkommissionierung wird daher auch als mehrstufige Kommissionierung bezeichnet. Unter einem zweistufigen Kommissioniersystem versteht man eine Batchkommissionierung mit anschließender Sortierung (siehe auch Kapitel 5.3.2). Ziel einer Batch-Kommissionierung ist es, die durchschnittlichen Wege je Auftrag zu verringern und die Kommissionier-Behälter besser auszulasten.

5.3.1.4 Batchbildung

Bei der Batchbildung sind in der Theorie die Batch-Größen deutlich kleiner als bei der Sorterkommissionierung oder der unter 5.3.3 beschriebenen manuellen Sortierkommissionierung mit Batchpuffer. In den meisten derzeitigen Veröffentlichungen wird eine Batchgröße kleiner 150 Artikel als Messgröße genommen. In den Kapiteln 5.3.2 und 5.3.3 dargestellten Geschäftsprozessmodulen wird die Batchgröße aus 5000 bis 10000 Artikeln gebildet. Für die meisten in der Theorie entwickelten Algorithmen sinkt eine mögliche Verbesserung mit steigender Batchgröße. Hier werden Batches nur nach der Nähe der Eingangszeit-Fenster gebildet.

In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass weder die Nähe, noch der Eingang der Aufträge das entscheidende Kriterium sind, sondern die Cut-off-Zeiten der Aufträge (siehe auch Kapitel 5.3.1, “Feed Algorithmen“ Ho et al. 2008, Ho & Tseng 2006).

5.3.2 Geschäftsprozessmodul zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorter

Rahmenbedingungen

Zur Einordnung dieses Geschäftsprozessmoduls einer zweistufigen Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorter und Packerei wurden in der Tabelle 5.1 folgende Annahmen und Schwankungsbreiten festgelegt:

Tabelle 5.1: Schwankungsbreiten in den Auftragsstrukturen (Praxisbezogene Werte der Firma Dr. Thomas + Partner)

Auftragsstruktur	33.000 Aufträge/Tag bis 100.000 Aufträge/Tag Ø 2,3 bis Ø 4 Artikel/Kundenauftrag Einpöstige Aufträge (17 % - 30 %)
Sortiment	150.000 gültige Artikel (SKU)
Ø Zugriffe je Lagerart und Tag	1. Zugriff (35 %) 2.-5. Zugriffe (40 %) > 5 Zugriffe (18 %) Golden Carton[2] (7%)

Die beispielhaft dargestellte Prozess-Schrittebene des Geschäftsprozessmoduls „zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorter“ soll auch als Synonym für den Einsatz technischer Varianten für die Sorterausbildung gelten.

Wird innerhalb der Prozess-Schrittebene ein Kippschalen-, Quergurt- oder Taschensorter eingesetzt, ist die Abfolge der Prozessschritte (Auftragspriorisierung, Batchbildung, Rundgangsbildung, Kommissionierverfahren, Batchpuffer, Batchsorter und Sorterpackerei) identisch. Sicherlich können unterschiedliche technische Ausprägungen dazu genutzt werden, sodass durch weitere Prozessschritte eingehende Retouren in einem dynamischen

[2] Golden Carton: die komplette Kartonmenge eines Artikels wird für einen oder mehrere Kundenaufträge benötigt.

Zwischenpuffer gespeichert werden und dem jeweiligen Batch wieder zugeführt werden können.

5.3.2.1 EP-Abwicklung, MP-Abwicklung

In der Prinzipskizze in der folgenden Abbildung 5.11 „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungs-Online-Druck und Sorterpackerei“ sind zwei Abwicklungsarten abgebildet, die zu unterschiedlichen Abwicklungsarten führen:

Die Einpöstige-Abwicklung (EP-Abwicklung) und die Mehrpöstige Abwicklung (MP-Abwicklung) für sorter-fähige Artikel.

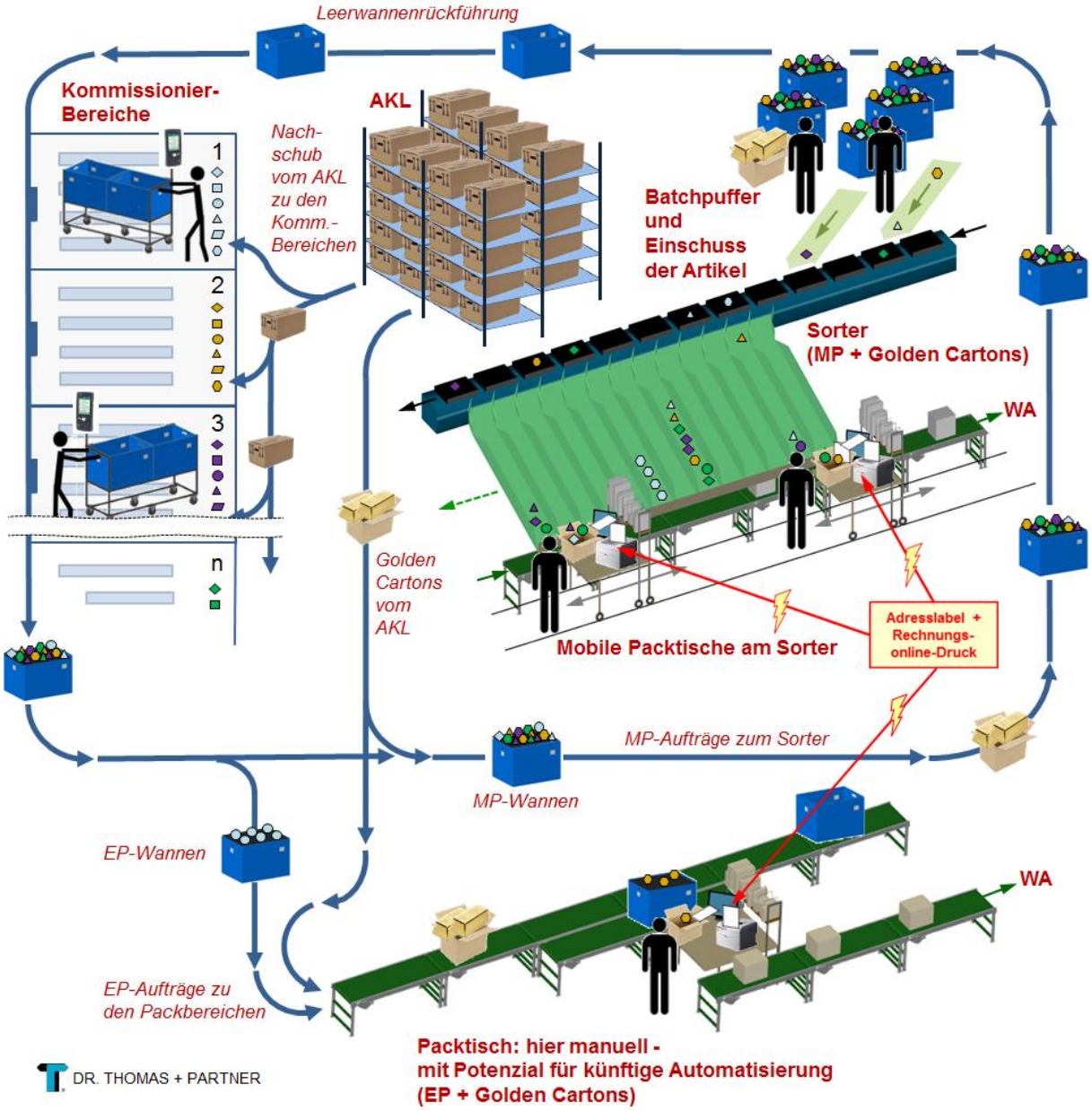


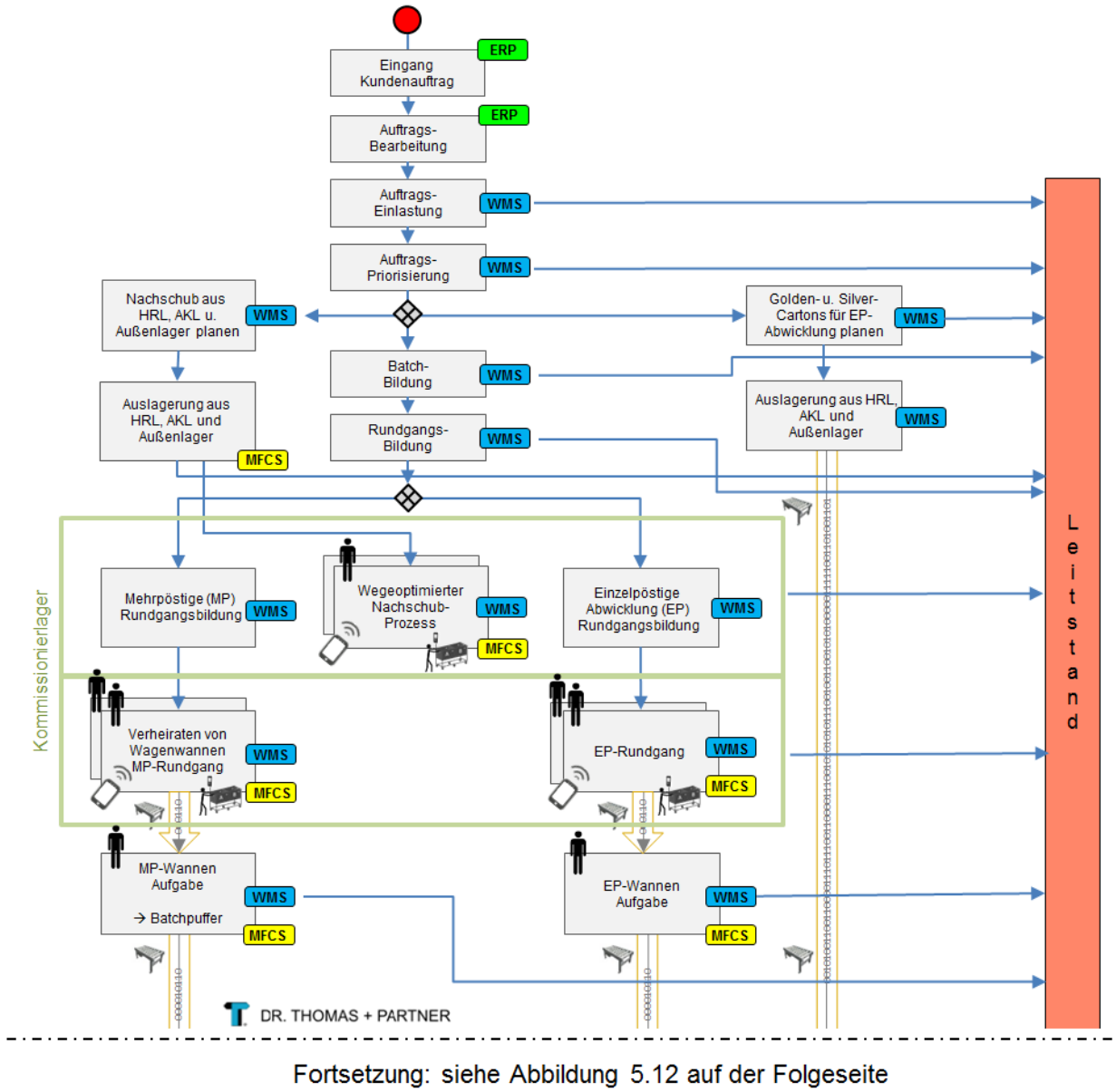
Abbildung 5.11: Prinzipskizze: „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungs-Online-Druck und Sorterpackerei“

5.3.2.2 “Golden Carton“ Abwicklung

In der Abbildung 5.12 „Geschäftsprozessmodul zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungs-Online-Druck und Sorterpackerei“ wird eine weitere Abwicklungsart sichtbar.

Die „Golden Carton“-Abwicklung. Vor der Batchbildung wird durch die Auftragspriorisierung überprüft, ob es Artikel gibt, für welche die Bestellungen über alle betrachteten Aufträge größer ist als ein Vielfaches der Menge eines Nachschubkartons.
Für diese Fälle wird die passenden Anzahl der Nachschub-Kartons direkt aus dem Nachschublager ausgelagert und artikelrein in Wannen umgepackt (EP-Wannen).
Der Vorteil dieser Abwicklung ist leicht zu erkennen. Der Nachschubkarton muss nicht erst ausgelagert werden und ins Kommissionierlager wieder eingelagert werden, um durch die Mehrpöstige oder Einpöstige Rundgangsbildung „leergepickt“ zu werden.

In Abb. 5.12 zweigt die Fördertechnik die EP-Wannen für die EP-Packerei ab und fördert an dem Verzweigungspunkt in der Durchlaufrichtung den Anteil der MP-Wannen zur batchreinen Sortierung weiter.
Der Prozessschritt in der EP-Packerei beginnt mit der Entnahme der Artikel, das GTIN/EAN-Label (Kap. 3.1.3) wird gescannt.
Parallel dazu wird der Rechnungs-online-Druck aktiviert und gemeinsam der automatischen Verpackung zugeführt.



Fortsetzung: siehe Abbildung 5.12 auf der Folgeseite

Abbildung 5.12: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 1)

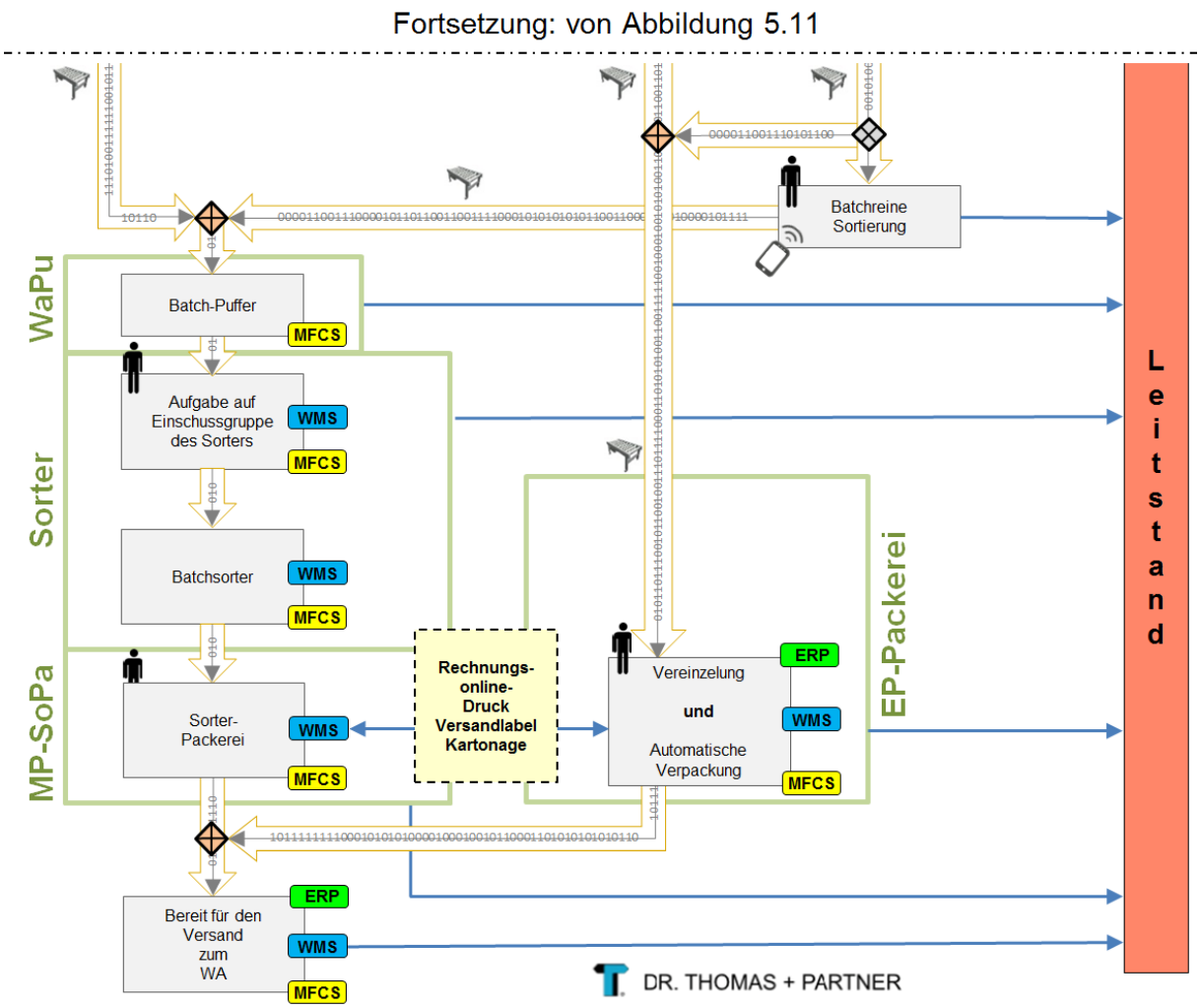


Abbildung 5.13: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 2)

5.3.2.3 IT-Prozessebene

Das Augenmerk der IT-Prozessebene liegt auf der Auftrags-Priorisierung, der Batchbildung und der Wannen- und Rundgangsbildung und der Mensch-Maschine-Kommunikation.

5.3.2.4. Auftrags-Priorisierung

Für die Auftrags-Priorisierung werden mittels einer SQL-Abfrage zuerst aus allen disponierten Aufträgen, Aufträge mit einer bestimmten Pickart (z.B. MP → Großaufträge) und einer gewissen Auftragsart (z.B. EP) ausgewählt. Nach diesen Kriterien werden die Aufträge dann sortiert.

Aufträge haben abhängig von ihren Frachtführern (z.B. DHL, Hermes, …) dem Service (z.B. Normal, Nacht, Express) und dem Land (z.B. Deutschland, Schweiz, …) ein logisches Warenausgangsziel. Sowohl Aufträge als auch die logischen Warenausgangsziele haben

eine Batch-Priorität. Die Batch-Priorität ist eine numerische Darstellung der Dringlichkeit mit der die Aufträge „gebatcht“ werden müssen.
Die Batch-Priorität der logischen Warenausgangsziele orientiert sich an den Cut-Off-Zeiten. Dabei können für die gleiche Tour auch mehrere Abhol-Zeiten bestehen. Dann orientiert sich die Batchpriorisierung immer an der letzten Cut-Off-Zeit.

Aufträge werden zuerst nach der Batchpriorität der Aufträge, also nach dem Eilkennzeichen sortiert. Aufträge mit Eilkennzeichen werden vor allen anderen Aufträgen eingereicht. Das nächste Sortierkennzeichen ist die Batchpriorität der logischen Warenausgangsziele. Dabei werden die Aufträge aufsteigend sortiert. Anschließend werden frühere Cut-Off-Zeiten vor späteren Cut-Off-Zeiten eingereiht. Als letztes werden die Aufträge aufsteigend nach dem Bestellzeitpunkt sortiert.

5.3.2.5 Batchbildung

Als Beispiel werden alle Aufträge aus der durch die Auftrags-Priorisierung sortierten Liste, nacheinander, solange dem Batch hinzugefügt, bis eine der beiden konfigurierbaren Abbruchbedingungen erfüllt ist. Zum einen gibt es eine maximale Anzahl an Teilen pro Batch (z. B. 10.000 Teile). Zum anderen gibt es eine maximale Anzahl an Picks pro Batch. Dies ist abhängig von der Anzahl der Mitarbeiter-/innen und der Dauer, die die Abarbeitung der Batches benötigt.

Grundsätzlich werden überlappende Batches zeitlich eingeplant, damit ein kontinuierlicher Arbeitsfortschritt in der Kommissionierabwicklung erfolgen kann (vgl. Abbildungen 5.13 und 5.14).

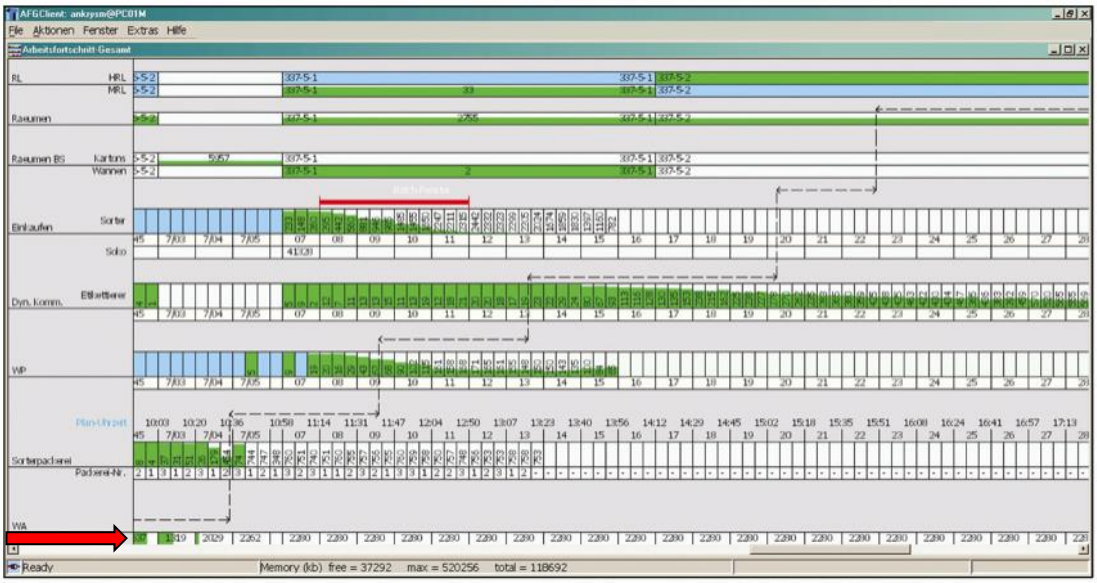


Abbildung 5.14: Arbeitsfortschritts-Überwachung im Leitstand (roter Pfeil)

5.3.2.6 Wannen- und Rundgangsbildung

Jedes Lagerfach in den Kommissionierzonen hat einen sogenannten Pickindex.
Dieser Index liefert abhängig von Bereich, Gang, Regalspalte und Höhe eine Bewertung für das Lagerfach. Diese Indizierung ist parametrierbar, sodass sowohl nach der Schleifen-, als auch nach der Stichgangsstrategie kommissioniert werden kann. Alle Pickpositionen, die in diesem Batch und in einem Kommissionierbereich benötigt werden, werden anhand ihrer Pick-Indizes aufsteigend sortiert. Dann werden solange Pickpositionen zu einer Wanne hinzugefügt, bis ein definiertes Volumen erreicht ist. Sind alle Wannen gebildet, so werden immer, in diesem Fall bis zu vier Wannen, zu einem Rundgang zusammengefasst.
Das Bilden des Rundganges ist in Abbildung 5.15 dargestellt.

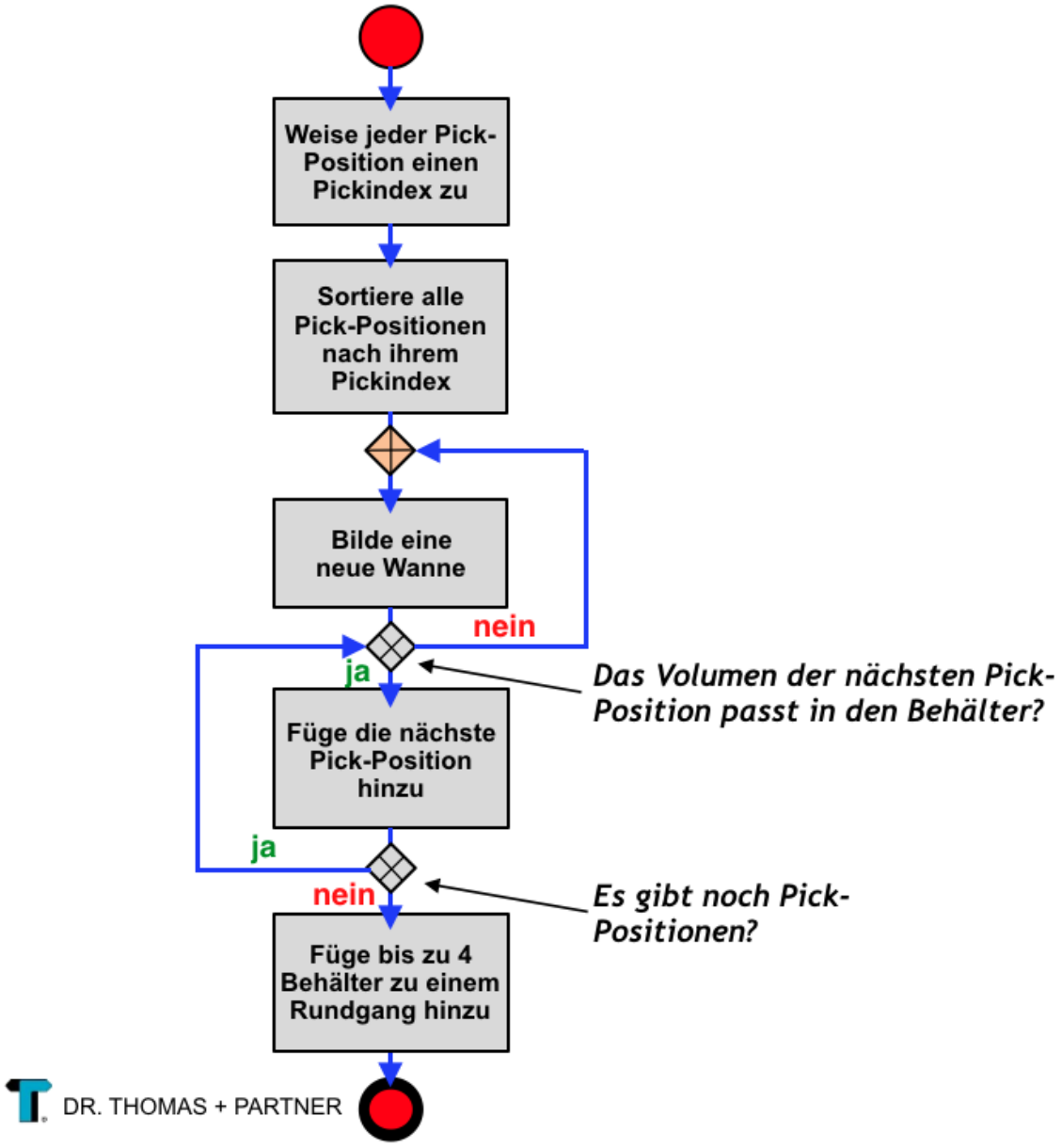


Abbildung 5.15: Ablauf der Wannenbefüllung und Rundgangsbildung

5.3.2.7 Mensch-Maschine-Kommunikation

Bilden die Abbildungen 5.12 und 5.13 das Geschäftsprozessmodul einer zweistufigen Kommissionierung bis hin zur Sorter-Packerei mit Rechnungs-Online-Druck ab, wird in der Abbildung 5.16 die Mensch-Maschine-Kommunikation zwischen dem Kommissionier-Personal und dem WMS/MFCS in einer weiteren Ebene aufgezeigt.

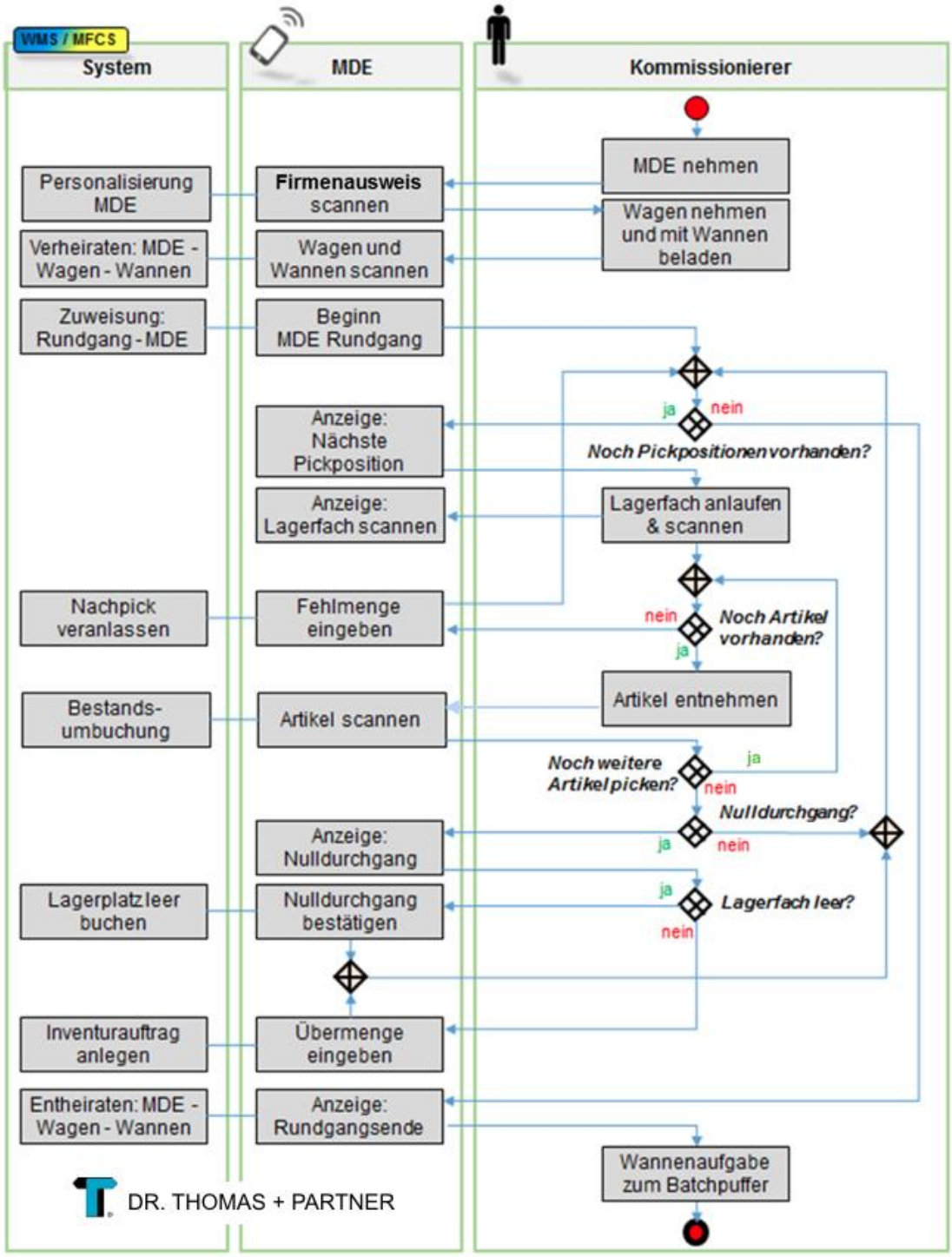


Abbildung 5.16: Mensch-Maschine-Kommunikation während des Rundgangs

5.3.2.8 Analysemodell für das Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorterpackerei“

Entlang der Prozess-Instanzen des Geschäftsprozessmoduls (Abbildung 5.13) werden die dem Leitstand übertragenen Daten zur Erstellung des Analysemodells für den Geschäftsprozess übertragen.

Informationsbedarf im Prozessschritt

- → Anzahl der Übertragungen der Kommissionieraufträge über den Tagesablauf von ERP an WMS
- → Batch-Auffüllung entlang der übertragenen Zeitintervalle
- → Arbeitsfortschritt-Meldungen von Beginn der Kommissionierung bis WA.
  Übergabe an KEP-Dienste
- → MDE geführte
  Batch-Kommissionier-Steuerung (online):
  - → Scan: Gasse, Regal, Fach, Lagerfach
  - → Scan: Artikel, Eingabemenge
  - → Nulldurchgang
  - → Fehlermengenabwicklung
- → Warenbegleitschein-Abwicklung
  - → Durchlaufzeit Warenbegleitscheine
- → BDE-Meldung: Beginn Kommissionier-Rundgang
- → BDE-Meldung: Ende Kommissionier-Rundgang
  - → Fehlermengenabwicklung
    (erst nach Meldung Ende)
- → Status Wannenpuffer
- → Batchstatus
- → Batchfreigabe
- → Dynamischer Batch-Wechsel
- → Packprozess-Abwicklung

Prozessziele

- → Kurze Durchlaufzeiten
- → Hohe Rundgangs-Rendite durch kurze Wege
- → Zeitgesteuerter Prozessablauf
- → Synchroner Arbeitsfortschritt (Plan, Uhrzeit)
- → Keine Abweichung vom vorgeschriebenen Prozessende
- → Prozess-Sicherheit

Daten aus Prozess für Leitstand

- → Anzahl Kommissionieraufträge
- → Mehrfach-Zugriff pro Artikel und Batch
- → Anzahl Artikel pro Auftrag
- → Anzahl Golden Cartons
- → Dynamische Batchkommissionierung
- → Anfang / Ende pro Batch
- → Arbeitsfortschritts-Überwachung (Plan, Uhrzeit)
- → Nachschub benötigt / beendet
- → Zeitliche Batchkommissionierungs-Abwicklung

→ (Treppenkurve)
→ (Arbeitsfortschritt)
→ Status Wannenpuffer
→ Sorterpackerei (Dynamischer Batch-Übergang)

Empfänger der Kennzahlen	→ Leitstand, Logistik-Leiter → Kommissionierungs-Leiter → Mitarbeiter in der Logistik → Vertrieb → Geschäftsführung in verdichteter Form (online)
Kennzahlen zur Messung der Ziele	→ Anzahl Kommissionieraufträge → Anzahl Artikel pro Auftrag → Wegezeiten pro Auftrag / Wegezeiten pro Batch → Kommissionszugriffe pro MA → Batchoptimierung → Kapazitätsauslastung → Fehlmengen
Kostentreiber!	→ Artikelhandling → Wegezeiten pro Auftrag / Batch → Fehlerbehandlung → Zeitliche Differenzen in der Batch-Bearbeitung durch fehlende Prozesssicherheit

5.3.3 Manuelle Sorterkommissionierung mit Hochregal-Wannenpuffer und Sortier-Packmodul (MSK)

Die Idee des MSK-Prozess wurde aus der Marktanforderung geboren:

Weniger Technik erhöht die Flexibilität der Versandabwicklung.

Weniger Technik wendet sich gegen den Einsatz von Sortern (Quergurt-, Kippschalen-, Taschensorter, etc.) in der Ausprägung festinstallierter Fördertechnik, die auf eine vorgegebene Sortierleistung optimiert ist, und diese im laufenden Betrieb immer zur Verfügung stellt.

Die notwendige Flexibilität der Versandabwicklung ist durch die Marktanforderung zum Beispiel des E-Commerce-Handels erforderlich. Der hohe Bestelleingang zu Wochenbeginn nimmt im Laufe der Woche kontinuierlich ab, und erfordert durch den überproportionalen Bestelleingang des darauffolgenden Wochenendes eine angepasste Durchsatzleistung.

Manuelle Sorter Kommissionierung mit Regal-Wannenpuffer und Sortier-Packmodul (MSK)

Die Idee des MSK-Prozesses wurde aus den Marktanforderungen geboren:

- Weniger festinstallierte Fördertechnik wendet sich gegen den Einsatz von dem Sortersystem (Quergurt-, Kippschalen-, Taschensorter)
- Angepasste Durchsatzleistung an die Ganglinien des Bestelleingangs (hoher Bestelleingang am Wochenende)
- Einsatz manuell bedienter Sortier- und Packmodule

Außerdem beeinflussen Feiertage, Saisonflüsse und Ferienzeiten die Ganglinie des Bestelleingangs. Denkt man diese flexible Anpassung an die Markterfordernisse weiter, wird schnell eine mögliche manuelle Abwicklung denkbar. Entsprechend den schwankenden Kundenaufträgen über den betrachteten Zeitraum, wird durch den Einsatz von manuell bedienten Sortier-, und Packmodulen eine kostengünstige Variante sichtbar.

Mit dem Ersatz der festinstallierten Fördertechnik (z.B. Quergurt-, Kippschalensorter) durch die manuell bedienten Sortier- und Packmodule ist der Daten- und Prozessfluss vom Eingang des Kundenauftrag bis zum Prozessschritt der Batchbildung mit dem, in Kapitel 5.3.2 ff beschriebenen, Geschäftsprozessmodul identisch.

Aus Projektsicht muss damit nur die Schnittstelle zum eingesetzten ERP-System angepasst werden. Die Prozessschritte Auftragseinlastung, Auftragsbearbeitung, Auftrags-Priorisierung und der daraus resultierende notwendige Nachschub, können als Module wie in Abbildung 5.17 „eins zu eins“ übernommen werden.

5.3.3.1 Geschäftsprozessmodul MSK

Die manuelle Sorterkommissionierung MSK sollte die oben aufgezählten Vorteile wie Flexibilität in der Versandabwicklung aufweisen. Dazu muss die MSK in der Anschaffung als auch im Unterhalt eine günstigere Alternative gegenüber dem, in Kapitel 5.3.3 ff beschriebenen Sortereinsatz, bieten.

Als Vorgaben zur Abwicklung wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Ein Batch-Sortiermodul und Packmodul verarbeitet jeweils 60 bis 100 Kundenaufträge
- Ein Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- 80 Kundenaufträge pro Sortier-, Packmodul entsprechen damit 240 Teile pro Modulbatch
- Das Bestellvolumen resultiert aus heterogener Sortimentbreite (z.B. Stiefel bis Textilien)
- Durchschnittlich 30 Teile pro Kommissionierwanne
- Einsatz von zwei Wannen pro Kommissionier-Rundgang
- Einsatz eines Wannenpuffer mit Einzelzugriff pro Kommissionierwanne

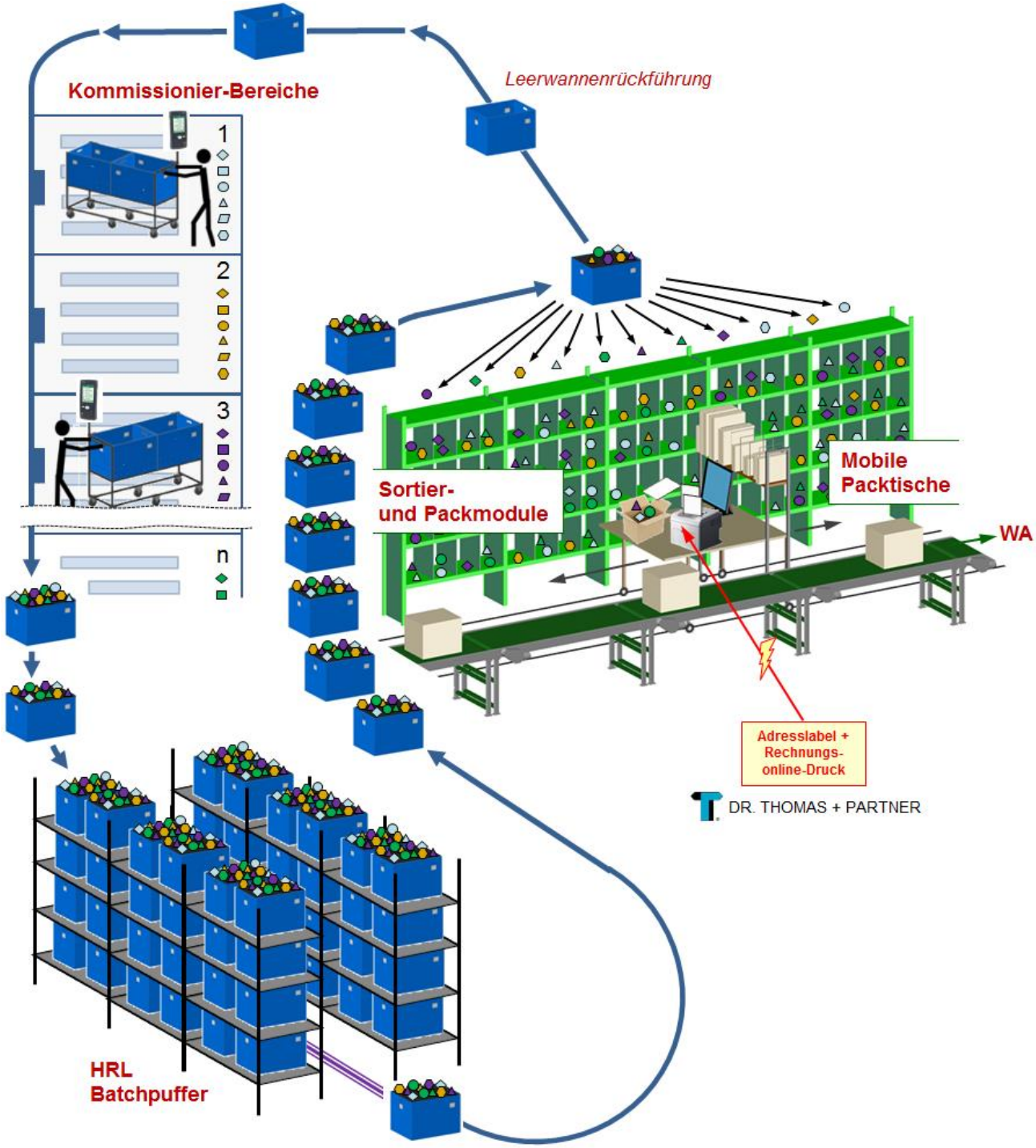


Abbildung 5.17: Prinzipskizze: Geschäftsprozess MSK mit dynamischen Packmodulen

5.3.3.2 Batchbildung Zielstellungen

Jede batchbildung hat die Zielstellungen:

Zum einen den Mehrfachzugriff auf Artikel entlang des Kommissionier-Rundgangs möglichst oft zu erreichen und zum anderen die Pickdichte zu erhöhen und damit die Kommissionier-Wegzeit gering zu halten.

Voraussetzung für diese Zielstellungen ist eine Poolbildung mit ausreichenden Aufträgen in Abhängigkeit des Personaleinsatzes. Durch diese Organisationsform, erst wenn genügend Aufträge für eine Poolbildung vorhanden sind, werden globale Lösungsverfahren eingesetzt mit der Zielfunktion “wie findet man das globale Minimum“.

Das globale Minimum ist erreicht wenn eine abgeglichene Auftragseinlastung und die darauf folgende Abarbeitungszeit ähnlich einer Sägezahnkurve gelingt. Wobei die organisatorischen Maßnahmen durchaus auch eine zeitlich verschiebbare Pausenzeit vorsehen kann.

Batchbildung pro Sortier-, Packmodul

Alle Aufträge sind durch die Auftrags-Priorisierung, wie in Kapitel 5.3.2 ff beschrieben, nach den Cut-off-Zeiten eingereiht. Die Batchbildung pro Modul ist mit dem Ziel verbunden, die durchschnittlichen Wege je Pickposition zu verringern und die Kommissionier-Wannen optimal auszulasten. Pro Rundgang sind zwei Kommissionierwannen im Einsatz und pro Wanne können 30 Teile transportiert werden. In Abstimmung mit der Vorgabe, wie in Kapitel 5.3.3.1 ersichtlich, ist die Gesamtkommissionierfläche in einzelne Komm.-Bereiche unterteilt. Diese Vorgabe “zwei Wannen in einem Komm-Bereich“ führt zu optimierten Rundgängen, da der Wegeanteil pro Bereich gering gehalten werden kann (Abbildung 5.17).

Rundgangsoptimierung

Die Rundgangsoptimierung jedes Kommissionierbereiches hat als Variable “welche Wanne bedient welches Sortiermodul“ verbunden mit dem Ziel, die Kundenaufträge pro Komm-Bereich zu synchronisieren und somit die Cut-off-Zeiten einhalten zu können. Der Kommissionier-Rundgang startet mit der Personalisierung und Lokalisierung und der Wannenanmeldung über MDE Scans. Diese erfassten Daten werden mit der Rundgangsoptimierung, die im Hintergrund gelaufen ist, verheiratet. Danach beginnt das Komm-Personal mit dem MDE geführten Rundgang. Jede Pickposition auf dem wegeoptimierten Rundgang wird gescannt und mit der vorgegebenen Wanne verheiratet. Am Ende des Rundgangs werden die Wannen gescannt und niveaugleich auf die Fördertechnik geschoben. Die Fördertechnik transportiert die vollen Wannen zum Wannenpuffer, einem Hochregal (HRL) mit Einzelzugriff, und führt Leerbehälter dem Kommissionier-Personal wieder zu.

Rundgangsabwicklung

Die Rundgangabwicklung jedes einzelnen Komm.-Bereichs führt zu unterschiedlicher Durchlaufzeiten, dabei müssen auch Leistungsunterschiede des Personals berücksichtigt werden. Die Funktion des Batchpuffers (HRL) glättet durch seine Zwischenspeicher-Funktion, die zeitlichen Abhängigkeiten. Die Zwischenspeicher-Funktion gilt auch für den

Abzug aus dem HRL. Sind alle Wannen für die Kundenaufträge eines Sortier-, und Packmodul im HRL zwischengespeichert und ein Modul hat freie Kapazität, d.h. der Sortierprozess ist abgeschlossen, werden die nächsten Wannen aus dem HRL abgezogen und zum Sortiermodul gefördert.

Sortierprozess und Packvorgang

Der Sortierprozess, der oben in der Annahme aus 80 Kundenaufträge, aus durchschnittlich drei Teilen besteht, wird MDE-gesteuert in ein Waben-Regal händisch nach Kundenauftrag sortiert. Anfang und Ende des Sortiervorgangs werden erfasst. In diesem Beispiel soll das eingesetzte Personal die Kundenaufträge sortieren und im nächsten Prozessschritt verpacken. Der Packvorgang pro Kundenauftrag beginnt mit der Auswahl (der Verpackung, und dem Erfassen jedes Artikels). Den Abschluss bildet der automatisch angestoßene Online-Rechnungsdruck und der Druck des Adress-Labels, inklusive der Rückmeldung. Der verschlossene Versandkarton ist über das Adresslabel vom MFCS auf der Ausgangsfördertechnik identifiziert. Diese Information “die bestellte Ware ist versandfertig“, kann dem Kunden als Service übermittelt werden. Entsprechend den Cut-Off-Zeiten werden die versandfertigen Kundenaufträge den KEP-Diensten zugefördert.

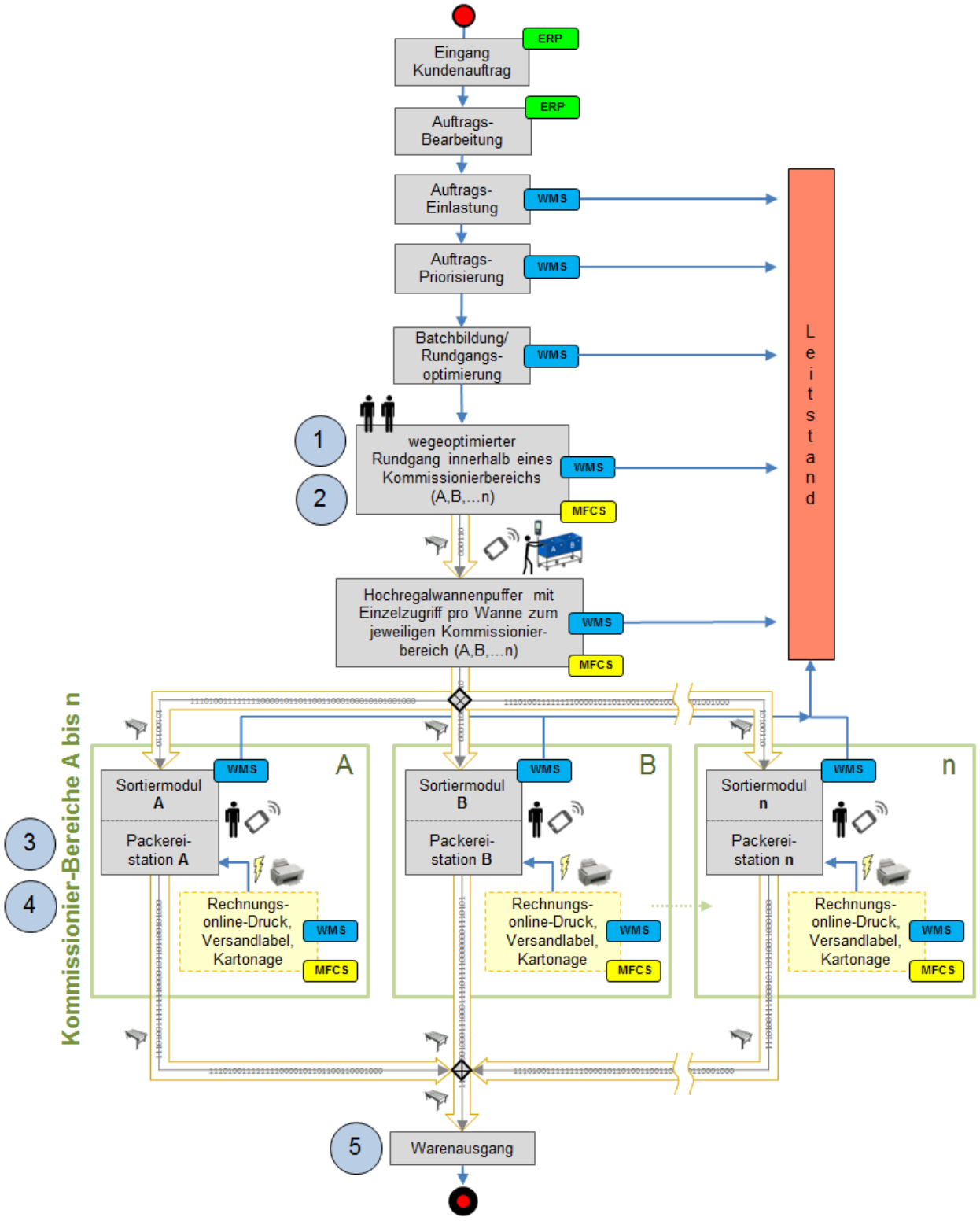


Abbildung 5.18: Geschäftsprozessmodul MSK

(Prozessinformationen 1-5 sind unter Kapitel 5.3.3.3 beschrieben)

5.3.3.3 Analysemodell für Geschäftsprozesse Manuelle Sorterkommissionierung „MSK“

Entlang der Prozess-Instanzen des Geschäftsprozessmoduls MSK in Abbildung. 5.3.3.3, werden die, dem Leitstand übertragenen Daten zur Erstellung des Analysemodells für den Geschäftsprozess übertragen:

Information zur flexiblen Versandabwicklung

- Eingang Kundenaufträge + prognostizierte online Bestelleingänge
- Einlasten Anzahl der Aufträge pro Δt* in Abhängigkeit der Cut-off-Zeit
- Abgeleiteter Personalaufwand nach Kommissionier-, Sortier-, und Packbereich pro Δt*

** betrachteter Zeitraum z.B. im Schichtbetrieb*

Prozessziele

- Flexibilität bei der Versandabwicklung
- Flexibler Personaleinsatz z.B. Jahresarbeitszeitmodell
- Rundgangoptimierung abgestimmt mit Cut-off-Zeiten
- Prozesssicherheit
- Permanente Sicht auf die Kostentreiber

Kostentreiber

- Fehlende Organisationsvorgaben für den Personaleinsatz entlang der Bedarfs-, Poolbildungs-, Optimierungs-, Auftragseinlastung
- Abarbeitungszeit für die Zielstellungen “Kommissionierwegzeit zu optimieren“ und “Mehrfachzugriff zu ermöglichen“

Prozessinformationen MDE ⇔ WMS/MFCS

1

MDE geführte MSK-Kommissionierung

→ Personalisierung MDE
→ Lokalisierung/Komm.-Bereich
→ Verheiraten beider Wannen
→ Zuweisung Rundgang im Bereich
→ Anzeige nächste Pickposition
→ Anzeigen Lagerfach ⇔ quittieren
→ Artikel entnehmen ⇔ quittieren und mit vorgegebener Wanne verheiraten

2	→ Fehlerbehandlung analog, Abbildung 5.16 “Mensch-Maschine-Kommunikation während des Rundgangs“ → Anzeige “Rundgangsende“, Übergabe auf Fördertechnik → Status “Kommissionier-Rundgänge pro Kommissionier-Bereich“ → Status “HRL Zwischenspeicherfunktion pro Rundgang“
3	→ Informationsfreies Sortiermodul + alle Kundenaufträge für ein Modul, sind im HRL eingelagert → Abzug der Kommissionier-Wannen zu dem freien Sortiermodul → Personalisierung MDE → Beginn “händischer Sortiervorgang“ → Artikel identifizieren und mit vorgegebenem Fach verheiraten, bis alle Kundenaufträge (in diesem Bespiel 80 Kundenaufträge) sortiert sind → Ende Sortiervorgang
4	→ Personal wechselt zum nächsten Prozessschritt “Packvorgang“ → Auswahl Verpackung → Erfassung jedes Artikels pro Kundenauftrag → Online Rechnungsdruck und Druck Adress-Labels → Identifizierung über Adresslabel auf der Ausgangsfördertechnik
5	→ Sortierung nach Cut-off-Zeit in Container bzw. LKW → Info an den Kunden Versandstatus

Betriebsdatenauswertung aus den Prozessinformationen MDE ⇔ WMS/MFCS zur Leitstand und Ressourcenplanung	→ Arbeitsfortschritt - zeitlicher Gesamtüberblick der MSK zur Überwachung und Steuerung, sowohl der Einzelprozesse, als auch des Gesamtprozesses → Kennzahlen Soll/Ist entlang der Prozess-Instanzen vom Einlasten der Kundenaufträge, über den Kommissionier-Ablauf mit Auswirkung auf den Batchabschluss und den Sortier-,

	und Verpackungsprozess und damit die Cut-off-Zeit sowie die Übergabe an den KEP-Dienst
Empfänger der Kennzahlen z.B. zeitliche Arbeitsfortschrittsgraphik	• Logistik-Leitung • Komm-Leitung • Personal in der Logistik • Vertrieb • Geschäftsführung, z.B. Visualisierung in verdichteter Form: TUP-Apps
Kennzahlen zur Messung der Ziele (Benchmark-Vergleich)	• Personaleinsatz versus Bestellabwicklung • Auftragsstruktur “Aufträge pro Tag“ • Kapazitätsauslastung • Ø Kommissionier-Zugriffe pro MA • Ø Sortier-, Packleistung pro MA • Fehlmengen

5.4 Prozesse Lagerverwaltung und Bestandsverwaltung

Unter dem Oberbegriff Lagerung sind die Prozesse Lagerplatzverwaltung, Bestandsverwaltung bis hin zu den Inventurfunktionen vermerkt. Unter der Lagerplatzverwaltung verbergen sind wiederum:

die **Lagerorganisation** mit den Unterpunkten

- ❑ Lager-Parametrierung für hohe Flexibilität in der Kapazitätsausnutzung
- ❑ Handling von qualitätsgestuften Waren
- ❑ Handling von Mischkartons, Retouren und kundenspezifischen Kartoninhalten
- ❑ Lagertopologie und Zonenstrategie

die **Belegungsstrategien/Platzvergabestrategien** mit den Unterpunkten

- ❑ Artikel- und Lagerbereichs-bezogene Strategien für eine gute Platzausnutzung und kurze Wege bei der Ein- und Auslagerung
- ❑ Bedarfsgerechte Lagerplatz-Ordnung: von Festplatz-Zuordnung bis zur dynamischen Lagerplatzvergabe

die **Bewegungen** mit den Unterpunkten

- ❑ Optimierung durch Verdichtungsprozesse
- ❑ Transparente Prozesse im Bewegungsprotokoll

Unter dem Begriff **Bestandsverwaltung** subsumieren sich die:

Artikelstammpflege

- ❑ Erfassung und Verwaltung der Artikelstammdaten
- ❑ Pflege der logistischen Daten zum Artikel

Bestandsdisposition

- ❑ Optimale Bestandshaltung zur Erfüllung der geforderten Lieferfähigkeit
- ❑ Dispositionsstrategien auf Basis der Artikel-Logistikdaten
- ❑ Sicherung der Warenverfügbarkeit am Zugriffsplatz
- ❑ Standortübergreifende Nachschub-Strategien

Bestandsbewegungen

- ❑ Durchführen von Einzel- und Sammel-Umlagerungen
- ❑ Automatische und kontrollierte manuelle Korrektur der Bestände
- ❑ Sichtbarkeit aller Bewegungen im Bestandsprotokoll

Inventurfunktionen

- ❑ Permanente Aktualisierung inventurrelevanter Daten bei Bestandsbewegungen
- ❑ Zertifizierte Prozesse mit Wirtschaftsprüfer-Testat

Zollprozesse

- ❑ Rückverfolgbarkeit des Ursprungs

Begreift man durch die vorangegangene grobe Vereinfachung, dass die Prozesse Lagerplatzverwaltung und Bestandsverwaltung weiter detailliert werden können, hat man gedanklich zu dem Denken „in wiederverwendbaren Bausteinen“ (im IT-Sprachgebrauch als Module oder Services bezeichnet) die Brücke geschlagen.
Selbst bei diesem groben Detaillierungsgrad fällt auf, dass es eine Lagerplatzverwaltung und eine Bestandsverwaltung in unterschiedlicher Ausprägung je nach Anwendungsfall geben kann. Aber man erkennt auch, es gibt Grundfunktionen der Lagerverwaltung und der Bestandsverwaltung, die in jedem Distributionszentrum abgebildet werden müssen.

Konsequenterweise werden die Grundfunktionen als wiederverwendbare Bausteine ausgeführt und können damit projektspezifisch angepasst oder erweitert werden. Die Grundlagen für die Erstellung dieser modular konzipierten, wiederverwendbaren Software-Bausteine werden in Kapitel 6 beschrieben.

6 SOFTWAREENTWICKLUNG NACH INDUSTRIELLEN MAßSTÄBEN

In dem vorausgegangenen Kapitel wurde mit der Herleitung der Geschäftsprozessmodule entlang des Prozess- und Datenflusses am Praxisbeispiel WMS/MFCS die Basis für die Entwicklung mit wiederverwendbaren adaptiven IT-Prozessbausteine geschaffen.

Wiederverwendbarkeit, Änderbarkeit und Erweiterbarkeit eines Softwaresystems wird weitgehend durch Softwarearchitektur bestimmt. Sie ist die grundlegende Organisation eines Systems und wird verkörpert (IEEE P1471)

- durch ihre Komponenten
- die Beziehungen untereinander und zur Umgebung
- und die Prinzipien, die den Entwurf und die Evolution leiten

Über 100 weitere Definitionen zur Softwarearchitektur sind unter der Webseite des Software Engineering Instituts nachzulesen.

In der Softwaretechnik sind u.a. zwei Entwicklungen festzustellen

- Komplexität von Software: Der Trend geht dahin, dass Software immer komplexer wird – daraus folgt eine zunehmende Bedeutung der Softwarearchitektur. Eine „gute Softwarearchitektur“ schafft Transparenz.
- Software muss sich an ständige Veränderungen anpassen: Neue Anforderungen oder Kundenwünsche müssen während oder nach der Entwicklungsphase ohne großen Aufwand und ohne aus den vorhandenen systematischen Strukturen auszubrechen, umsetzbar sein. Ansonsten entsteht im Laufe der Zeit ein „Big Ball of Mud“ (gewucherte Software). Eine „gute Softwarearchitektur“ wirkt dem entgegen (siehe auch Abbildung 6.2).

Das Maß für die Qualität der Softwarearchitektur unterteilt sich in ein:

- Mittelbares Maß: Performance, Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit, Robustheit, Funktionsumfang, Benutzbarkeit.
- Unmittelbares Maß: Flexibilität, Testbarkeit, Integrierbarkeit, Wartbarkeit, Änderbarkeit, Portierbarkeit, Skalierbarkeit, Wiederverwendbarkeit.

Dabei ist immer zu beachten: Die Informatik sorgt nicht für das Verständnis des Problems, sondern gibt Methoden an, auf die dann jedoch die Logistiker angewiesen sind um ihre Kerngeschäftsprozesse z.B. hier eines WMS einer Lösung zuzuführen. Daher gilt:

Software follows function nur dann, wenn in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert wurden und gemeinsam im interdisziplinären Team aus Logistik-Planern, von

dem Kunden/Nutzer und dem IL (Implementierungs-Leiter) unterschrieben wurden. Das Know-how des IL wird frühzeitig in die Prozessgestaltung und Anforderungsaufnahme mit einbezogen. Der IL steuert die Softwareentwicklung und koordiniert die beteiligten Entwickler und schirmt das Entwicklerteam gegen äußere Einflüsse ab. Die direkte Einflussnahme auf einzelne Entwickler durch die Kunden erhöht deutlich das Kommunikationsrisiko innerhalb des Projektes. Die Kommunikation erfolgt immer über den IL (vergleiche auch Kapitel 5.1.2). Aus Sicht der Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben bestimmen diese Einflussfaktoren im wesentlichen den Aufbau der Softwarearchitektur. So erfüllt „gute Softwarearchitektur“ die gesetzten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen, die an das Softwaresystem gestellt werden, besser als „schlechte Softwarearchitektur“.

6.1 Adaptive IT – Komponenten am Praxisbeispiel Warehouse Management System (WMS)

Begreift man durch die in Kapitel 5.2 und in Abbildung 5.7 detaillierte Betrachtung, dass die Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im WE als Geschäftsprozessmodul “Wareneingang“, als Best-Practice-Komponente in einen wiederverwendbaren IT-Prozessbaustein implementiert werden kann, hat man zu einem Denken in wiederverwendbaren adaptiven IT-Komponenten die Brücke geschlagen.

Dieses Vorgehen ist auch die Richtschnur, die im Sinne der Wiederverwendbarkeit als Best-Practice-Komponente eingesetzt werden kann. Dies wird in Abbildung 5.9 gezeigt, in der der Teilprozess “Wareneingang“ ohne Daten-Avisierung, durch ein Verfahren zur Anpassung nichtgleichartiger Prozesse (projektspezifische Plugins), mit der Best-Practice-Komponente als Gesamtprozessmodul Wareneingang veredelt wird.

Damit wird auch die objektorientierte Softwaretechnik sichtbar, die verwendeten Objekte sollen die reale Welt abbilden (z.B. Best-Practice-Komponente).

6.2 Softwaretechnik

Wie bereits erwähnt, sind zwei Eigenschaften einer adaptiven IT-Lösung für ein lauffähiges Kundensystem notwendig

- Die Wiederverwendung von IT-Prozessbausteinen (Komponenten)
- Und die Anpassung „nicht“-gleichartiger Geschäftsprozesse durch Veredelung

Verbunden mit der in Abbildung 6.1 wünschenswerten Zielvorstellung für ein lauffähiges Kundensystem, initiiert das sofort die Frage nach der richtigen Softwarearchitektur.

Die Softwaretechnik (engl. Software-Engineering) beschäftigt sich mit der Herstellung von Software.

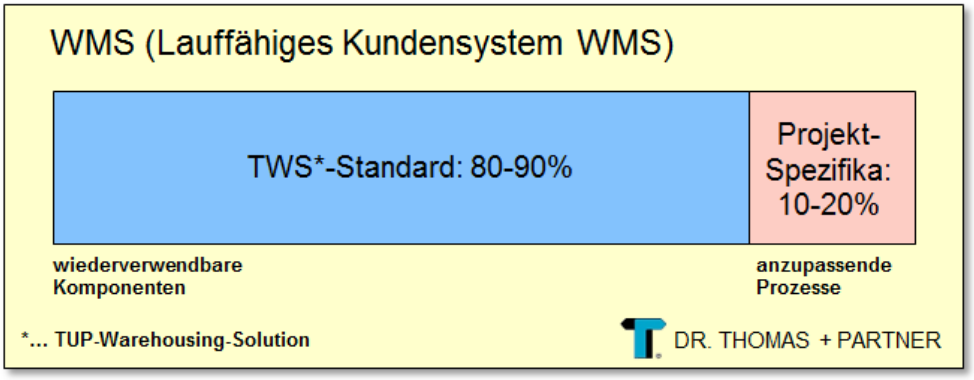


Abbildung 6.1: Präferierte Zielvorstellung für ein Lauffähiges Kundensystem

Eine Definition von Helmut Balzert beschreibt das Gebiet als zielorientierte Bereitstellung und systematische Verwendung von Prinzipien, Methoden und Werkzeugen für die arbeitsteilige, ingenieurmäßige Entwicklung und Anwendung von umfangreichen Softwaresystemen. Zielorientiert bedeutet das die Berücksichtigung z.B. von **Kosten, Zeit und Qualität** (“Lehrbuch der Softwaretechnik. Basiskonzepte und Requierements Engineering“ Helmut Balzert et al., 2009).

6.2.1 Erfahrungen aus Praxisabwicklungen

Die Erfahrungen aus den Praxisabwicklungen machen deutlich, bevor die IT zielgerichtet ihre SW-Entwicklung beginnen kann, müssen die spezifischen Projektanforderungen ausgearbeitet vorliegen (vgl. Kapitel 5.1.1 und 5.1.2). Aus IT-Sicht gilt dabei natürlich, dass in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert und gemeinsam im interdisziplinären Team mit dem Implementierungsleiter (IL) unterschrieben wurden.

Aus leidvoller Erfahrung muss immer wieder darauf hingewiesen werden.

Das Know-how des IL muss frühzeitig in die Prozessgestaltung und Anforderungsaufnahme mit einbezogen werden. Der IL steuert die Softwareentwicklung und koordiniert die beteiligten Entwickler und schirmt das Entwicklerteam gegen äußere Einflüsse ab.
Die direkte Einflussnahme auf einzelne Entwickler durch die Kunden erhöht deutlich das Kommunikationsrisiko innerhalb des Projektes. Die Kommunikation erfolgt immer über den IL.

6.2.2 Entwicklungsprozess mit objektorientierten Werkzeugen

Da Software zu erstellen und zu warten aufwendig ist, erfolgt die Entwicklung anhand eines strukturierten zielorientierten Planes. Zielorientiert bedeutet, die Berücksichtigung von überschaubaren, zeitlich und inhaltlich begrenzten Phasen, sowie Kosten und Qualität.

Von Anfang an sollte das Projekt aus einem interdisziplinär zusammengesetzten Projekt-Team bestehen, d.h. auch die Entwicklung von Software ist somit interdisziplinär ausgerichtet. Zudem sollte das Vorgehensmodell interaktiv sein, da spät erkannte Fehler oft erhebliche Kosten verursachen.

6.2.3 Vorgehensmodell: Iterative Prozesse

Dabei unterstützt die industrielle Softwaretechnik den Entwicklungsprozess mit objektorientierten Werkzeugen (siehe Abbildung 6.2).

- Man verlässt das Wasserfallprinzip
- Im interaktiven Prozess nimmt man in jeder Phase Unvollständigkeiten bewusst in Kauf
- Die Rückkehr zu jeder Phase wird durch Werkzeuge (case tools) unterstützt, die eine permanente Konsistenzprüfung des Gesamtsystems zulassen
- Damit fließen Erkenntnisse aus der Praxis (Einsatz und Wartung) zurück in die Entwicklung
- Die geforderte Änderbarkeit und Erweiterbarkeit wird erleichtert

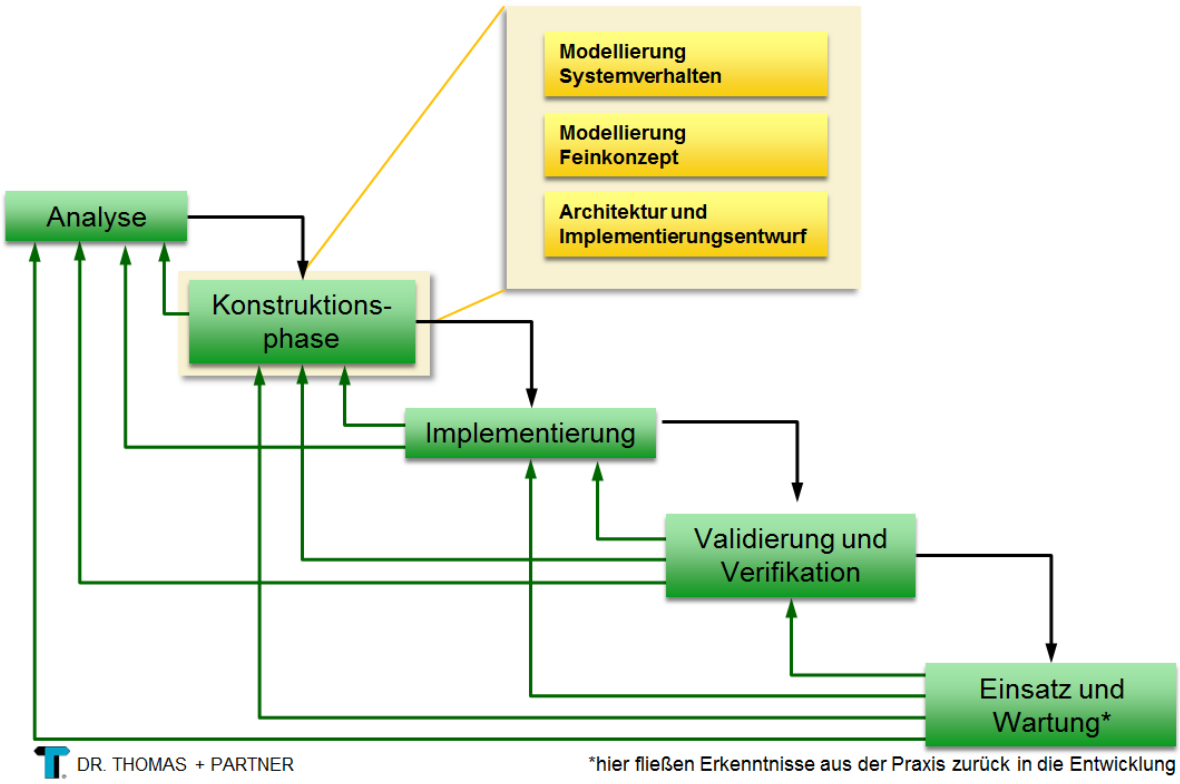


Abbildung 6.2: Iteratives Vorgehensmodell

6.2.4 Vorgehensmodell "Prinzip der agilen Methoden"

Das Vorgehensmodell bei Dr. Thomas + Partner orientiert sich an „Scrum" ("The Scrum Guide" - Schwaber, Ken und Sutherland, Jeff; 2015). Es werden aber nicht alle Rollen und Objekte daraus entnommen. Herauszustellen ist in diesem Zusammenhang, dass die agilen Komponenten nur auf die Softwareentwicklung abzielen, und nicht auf die Feinspezifizierung

der Anforderungserfüllung die durch den Softwareanbieter entlang der Prozesskette als Pflichtenheft und als Vertragsbestandteil verankert wird.

Abbildung 6.3: Zusammenhang zwischen Lastenheft (Anforderungsdefinition) und Pflichtenheft (Anforderungserfüllung)

Die Basis der agilen Vorgehensmodelle ist somit ebenso ein vollständiges, gut dokumentiertes und unterschriebenes Pflichtenheft, wie bei allen klassischen Vorgehensmodellen. Ist das Pflichtenheft für die Umsetzung erstellt, wird der grobe Terminplan zu Rate gezogen. Hierauf holen die Entwickler ihren “Rückstand“ (d.h. die spezifischen Arbeitspakete) auf. Diese werden in einem Deploymentzyklus abgearbeitet. Ein Deployment bzw. Teilauftrag mit dem entsprechenden Zeitrahmen des einzelnen Entwicklers, hat eine Dauer von einer Woche. Innerhalb dieser Zeit werden Aufgaben aus dem Pool der Spezifikationen bearbeitet. Diese sind im Unterschied zu Scrum nicht in der “Arbeitspaket-Planung“ festgelegt, sondern ergeben sich während des Deployments. Täglich findet ein sogenanntes Stand-up mit dem gesamten Entwicklungsteam statt (ca. 10-15 Minuten). Der Fokus liegt dabei auf der regelmäßigen Auslieferung von Inkrementen, d.h. zu einem festen Wochentag werden fertiggestellte Arbeitspakete in das Testsystem gespielt und dem Kunden über eine geteilte Plattform angezeigt. Hierin kann der Kunde direkt Fehler vermerken und Änderungen oder Verbesserungsvorschläge einbringen. So ist TUP sehr nah am Kunden und kann Feedback direkt einarbeiten (Abbildung 6.4).

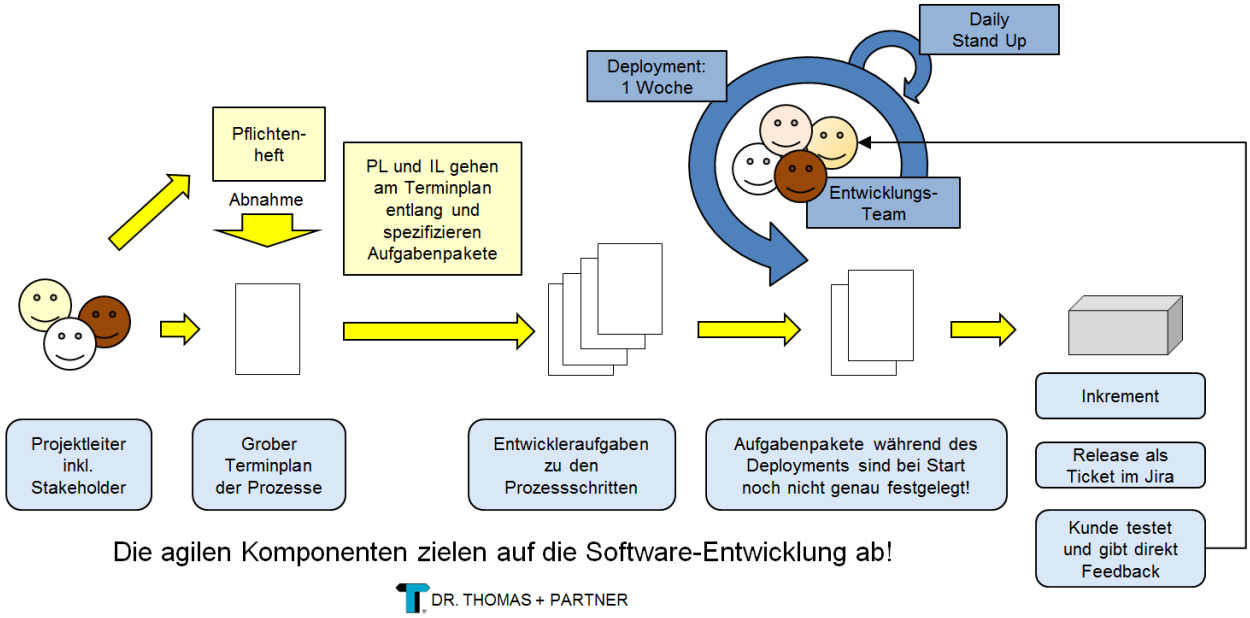


Abbildung 6.4: Prinzip der agilen Methoden

6.3 Objektorientierung

In der Softwareentwicklung werden objektorientierte Methoden eingesetzt, um die Produktivität, die Wartbarkeit und die Softwarequalität zu verbessern. Interessant wird es aber erst, wenn die erstellten adaptiven IT-Prozessbausteine bei Bedarf möglichst beliebig oft wiederverwendet werden können. Ein wichtiger Aspekt der Objektorientierung ist dabei: die verwendeten Objekte sollen in erster Linie die reale Welt abbilden (siehe auch Kapitel 6.1 “Adaptive IT-Prozessbausteine“).

Die Idee der Wiederverwendbarkeit von anwendungsbestimmter Software kommt aus der Erfahrung heraus, dass Elemente von Softwaresystemen oft nach dem gleichen Muster gebaut sind (siehe auch Kapitel 5.1 „Wo liegen die größten Potenziale?“).

Ein Muster beschreibt ein wiederkehrendes Problem und erläutert den Kern der Lösung, so dass diese Lösung beliebig oft angewendet werden kann, ohne sie ein zweites Mal zu entwickeln. Diese Muster sind somit viele Mikroarchitekturen, die als Bausteine für den Entwurf verwendet werden können und existieren auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen. Aus einer Perspektive können sie als Architekturmuster mit dem höchsten Abstraktionsgrad angesehen werden, aus einer anderen hingegen als Entwurfsmuster. Ein Entwurfsmuster (engl. *design pattern*) beschreibt eine bewährte Schablone für ein Entwurfsproblem. Es stellt eine wiederverwendbare Vorlage zur Problemlösung dar.

6.3.1 Entwurfsmuster “Die Brücke“ angewendet auf das Transportgut

Man stelle sich die wiederverwendbare Komponente Transportverwaltung im Rahmen eines Lagerplatzverwaltungs-Systems vor, das sehr eng mit dem Transportsystem zusammenarbeitet. Die Aufgabe des Transportsystems ist es, den Transport von Transportgütern zu verwalten. Dazu benötigt und definiert sie die Fachklasse Transportgut. In der Außenwelt, also den Systemen und Komponenten, in denen die Komponente Transportverwaltung eingesetzt wird, existieren aber konkrete Transportgüter wie Palette, Behälter, Kartons, usw. (siehe auch Kapitel 2.3 „Grundlagen der MFCS-Entwicklung“).

Eine Lösungsmöglichkeit wäre nun, dass eine Komponente abstrakt definiert, wie ein Transportgut aus ihrer Sicht auszusehen hat - in Java etwa durch ein Interface.

Alle konkreten Transportgüter müssen dieses Interface implementieren. Damit ist einerseits die Struktur in allen Systemen, die die Komponente Transportverwaltung verwenden, gleich. Andererseits muss jede konkrete Implementierung dann auch die innere Struktur und Funktionsweise der Transportverwaltung kennen, um das definierte Interface sinnvoll zu implementieren. Selbst eine Implementierung durch kopieren des Source-Codes von einer Vorlage birgt Fehlerquellen und führt außerdem zu einer unerwünschten Vervielfältigung und Varianz der Sourcen.

Eine andere Lösungsmöglichkeit als Alternative zum Interface ist die Möglichkeit, eine abstrakte Oberklasse als Wurzel für alle konkreten Transportgüter zu definieren und damit auch die Interna der Transportverwaltung in der Oberklasse zu implementieren. Damit würde die mehrfache Implementierung pro konkreter Transportgutklasse entfallen, auch das Problem mangelnder Kapselung wäre gelöst. Allerdings könnte ein konkretes Transportgut dann nur Transportgut sein und nicht gleichzeitig z.B. Bestandseinheit, da eine Mehrfachvererbung in Java aus guten Gründen nicht möglich ist Eine Bestandseinheit ist in diesem Zusammenhang eine abstrakte Definition der Komponente Bestandsverwaltung, die ähnlich wie die Komponente Transportverwaltung mit dem Transportgut nun mit der abstrakten Oberklasse Bestandseinheit definiert hat, wie eine Bestandseinheit auszusehen hat.

Die Lösung liegt in der Trennung von Abstraktionen (Definition) und Implementierung. Somit ist zum Beispiel auch die Zusammenarbeit einer konkreten Fachklasse (hier Lagereinheit LE) mit zwei und mehr Komponenten möglich. Das wird erreicht durch das aus der Literatur wohlbekannte Entwurfsmuster der Brücke (siehe Abbildung 6.5), das als externes Wissen genutzt wird (Gamma et al. 2004).

Worin liegt hier der Vorteil?

Durch die im Interface „TransportGut“ definierte Beziehung zu der konkreten Klasse „TransportGutImp“ werden einfach alle Methoden aus dem Interface „TransportGut“ an eben dieses Objekt weitergereicht. Alles was dahinter passiert, ist dem Programmierer der Lagereinheit verborgen.

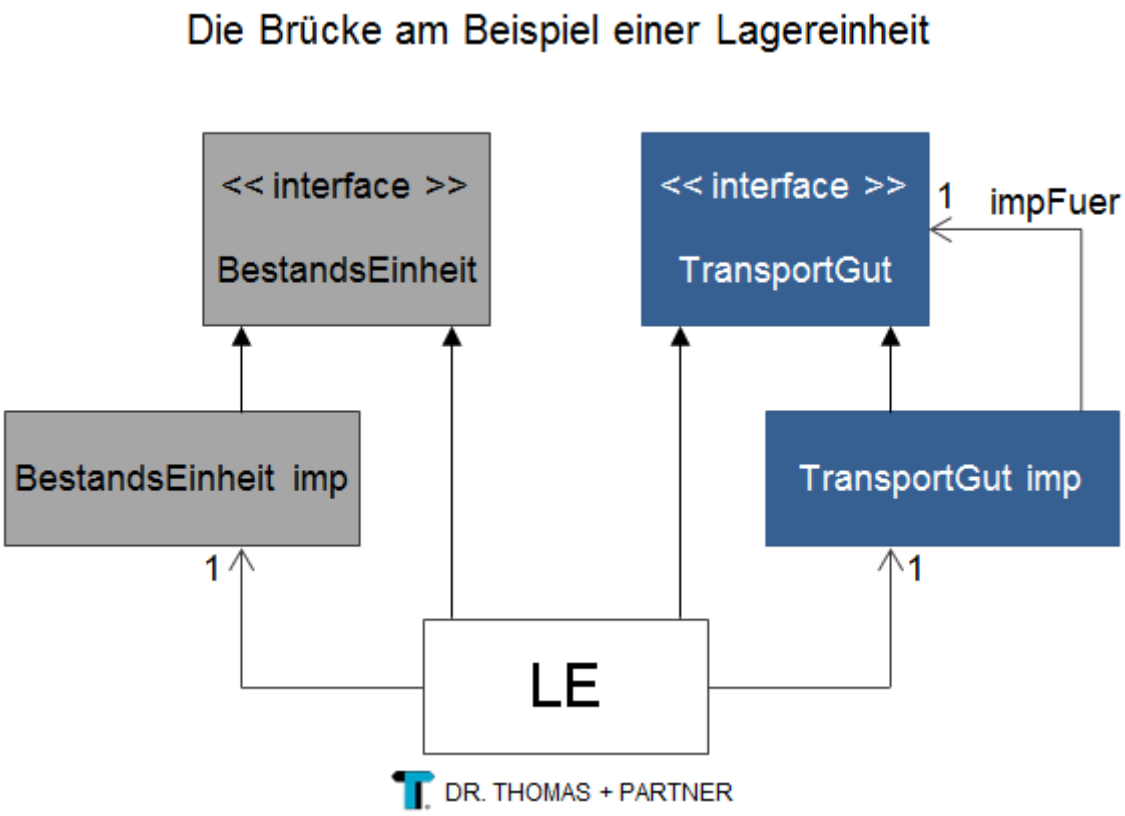


Abbildung 6.5: Klassendiagramm - Anwendung des Brückenmusters in der Transportverwaltung

Durch die Rückreferenz auf das aktuelle Objekt, kann die „TransportGutImp“ auch wieder auf die LE in ihrer Eigenschaft als „TransportGut“ zugreifen.

6.3.2 Verbindung von Transport- und Platzverwaltung über die Klasse LTG

Die Komponenten „Transportverwaltung“, „Platzverwaltung“ und „Bestandsverwaltung“ definieren jeweils die abstrakte Klasse „TransportGut“, „LagerGut“ und „Stock“. Die zentrale und konkrete Klasse „Lager-Transport-Gut (LTG)“ vereint dabei die drei Aspekte: Lagerung, Transport und Nutzung. Entsprechend ist die Klasse LTG aufgebaut (Abbildung 6.6).

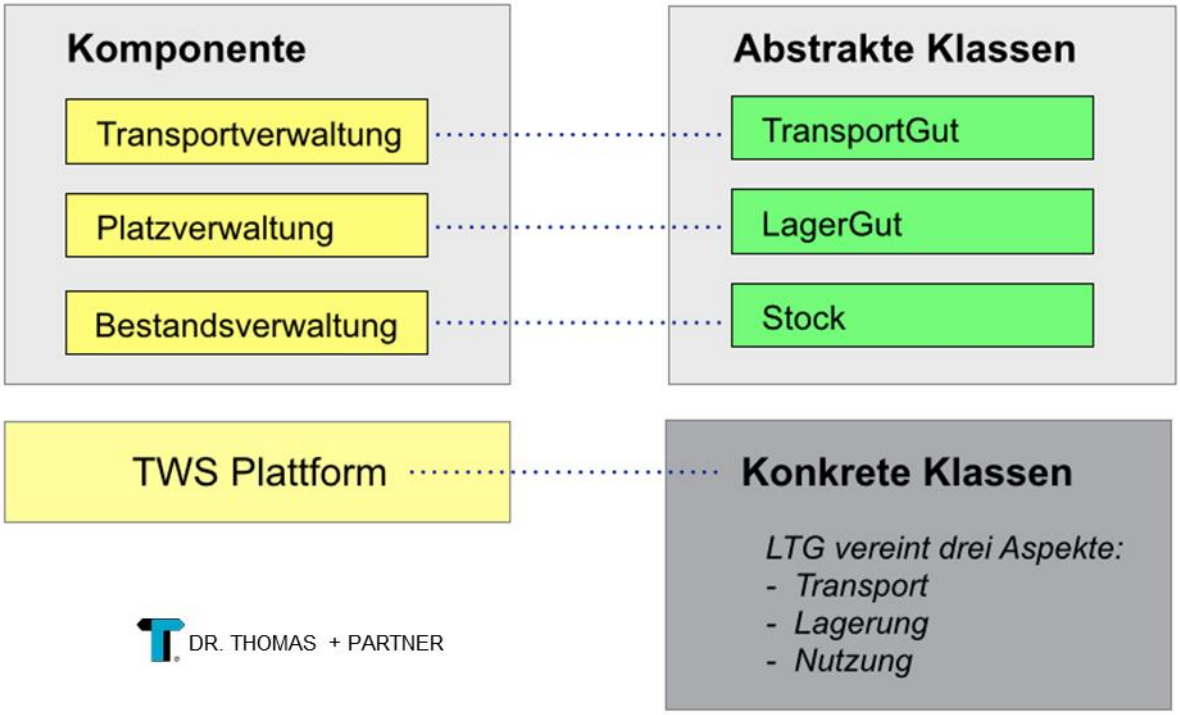


Abbildung 6.6: Zentrale Klasse LTG

Anwendung des Entwurfsmusters „Brücke“

Unter Zuhilfenahme des Entwurfsmusters „Brücke“ (siehe Kapitel 6.3.1: „*Entwurfsmuster Die Brücke“*), einem objektorientiertem Strukturmuster, lässt sich die konkrete Klasse mit der abstrakten Klasse in Verbindung bringen. Zweck einer Brücke ist es, die Abstraktion von der Implementierung zu entkoppeln, sodass beide unabhängig voneinander variiert werden können. Dadurch ist es möglich, einen getesteten Standard-Software-Baustein zu generieren, der alle transport- und lagertechnischen Fragestellungen abdeckt und somit zielführend für die innovative MFCS-Entwicklung ist.

Im Falle der Komponenten Transportgut und Lagergut sind diese immer als Bestandseinheiten zu betrachten und unterliegen somit der Bestandsverwaltung.

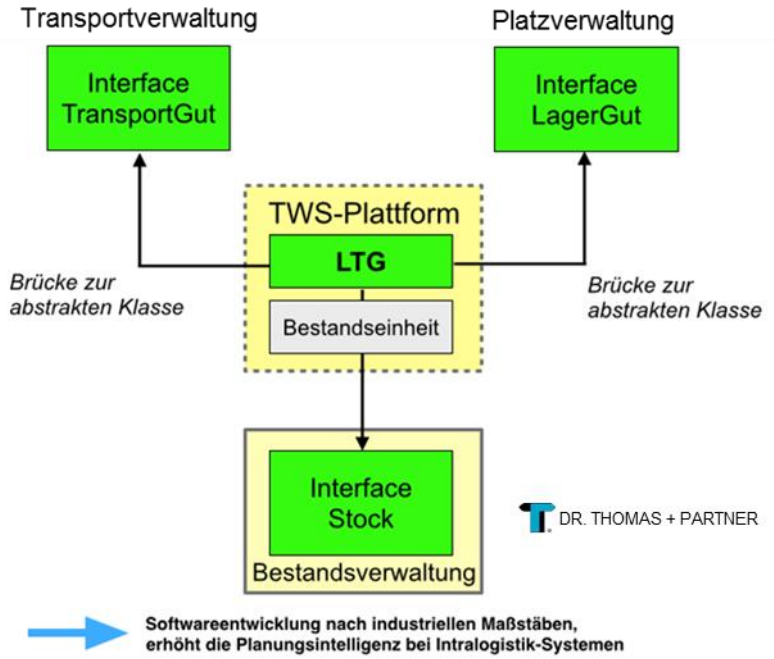


Abbildung 6.7: Verbindung von Transport- und Platzverwaltung über die Klasse LTG

Die Klasse LTG ist aufgrund ihrer Einbindung in die Transport- und Platzverwaltung in der Lage, alle transport- und lagertechnischen Aufgabenstellungen zu erfüllen. Zielführend ist dabei die Wiederverwendbarkeit dieser getesteten Software (Abbildung 6.7).

6.3.2.1 Anwendungsdomäne / Anwendungsbestimmte Software

Die Anwendungsdomäne bewältigt alle Aufgaben und Geschäftsprozesse der Intralogistik (siehe Kapitel 6.6). Mit dem architektonischen Konzept der Komponentenorientierung gelingt mit den beschriebenen Komponenten Transport-, Platz- und Bestandsverwaltung eine unabhängige Lösung für einen Teilaspekt einer Anwendungsdomäne (Abbildung 6.8).

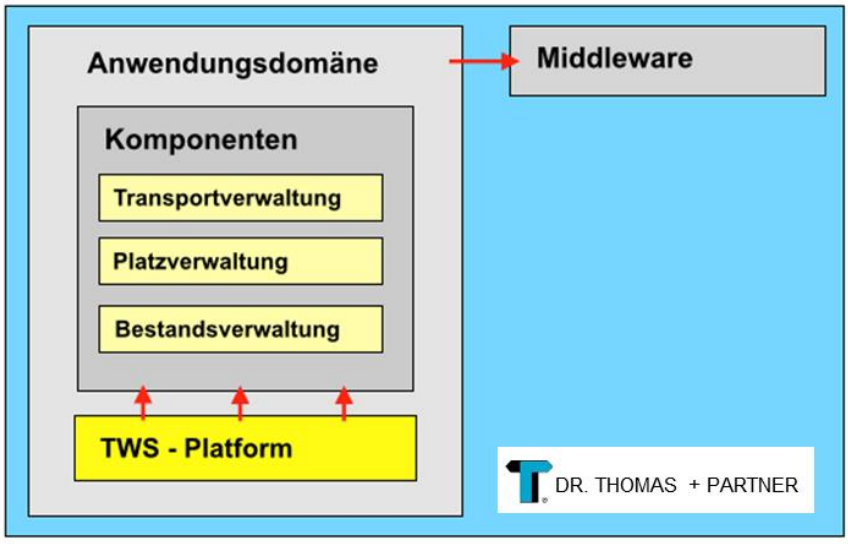


Abbildung 6.8: Teilaspekte einer Anwendungsdomäne

6.3.2.2 TWS-Plattform

Für ein lauffähiges Kundensystem spielt die in Abbildung 6.9 dargestellte TWS-Plattform die zentrale Rolle. Sie ist quasi das Bindeglied der abstrakten und unabhängigen Komponenten und konkretisiert deren Teilaspekte. Die TWS-Plattform adressiert immer alle Aspekte einer intralogistischen Anwendungsdomäne und ist in sich nach Aspekten strukturiert. Die TWS-Plattform macht architektonische und strukturelle Vorgaben (Frameworks) und unterstützt verschiedene Customizing-Technologien (siehe Kapitel 6.4). Mit diesem Ansatz wird das MFC-System als IT-Baustein auf die TWS-Plattform mit den Basisdiensten aufgesetzt.

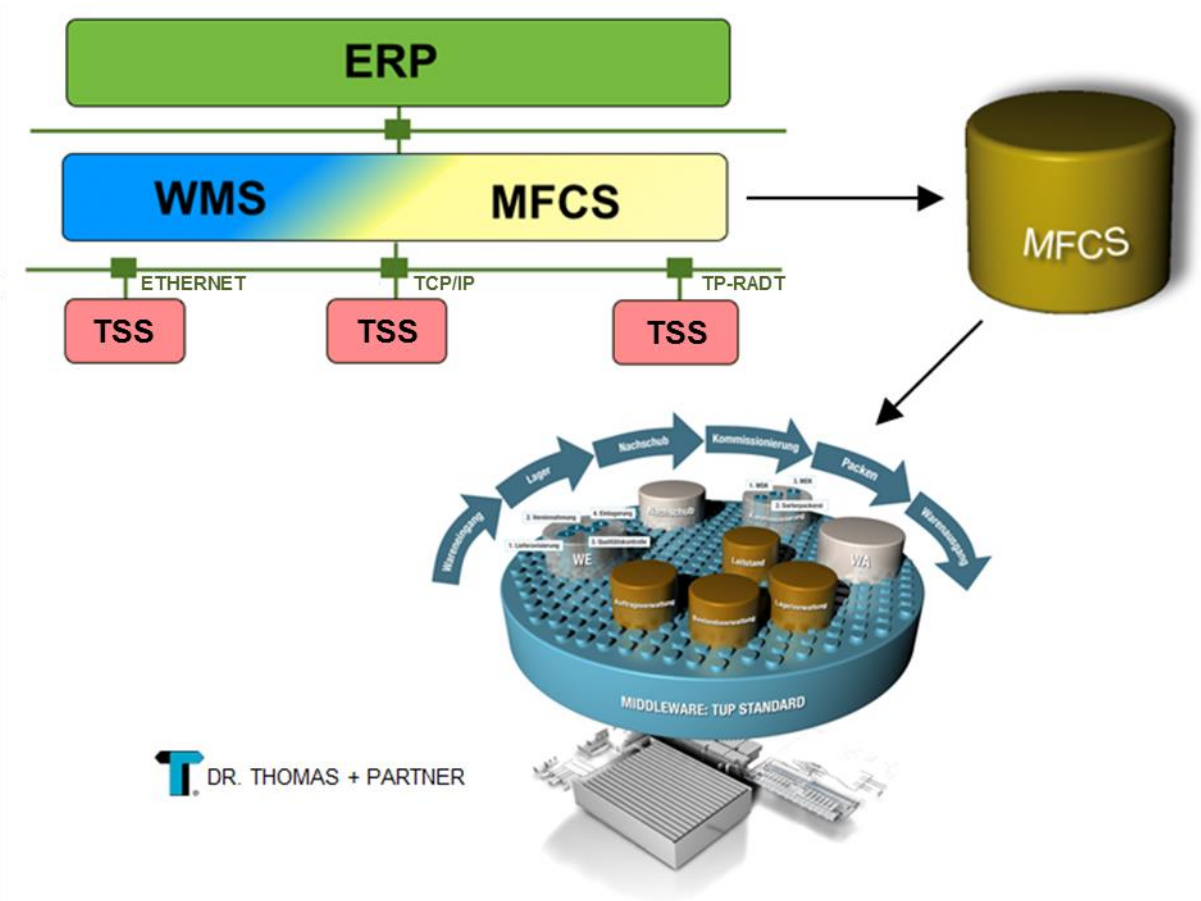


Abbildung 6.9: Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)

Diese Software-Entwicklung nach industriellen Maßstäben:

- erhöht die Planungsintelligenz bei intralogistischen Systemen,
- führt zu Best-Practice-Lösungen (siehe Kapitel 5.2 und ff.) und
- ermöglicht Kosteneinsparungen und Risikominimierung durch den Gewerke übergreifenden Einsatz der neuen MFCS-Technologie.

6.3.3 Die Abstrakte Fabrik angewendet auf die Lagerplatzverwaltung

Motivation

In der Lagerplatzverwaltung (siehe auch Kapitel 5.4) soll es möglich sein, Lagergüter mit unterschiedlichen Einlagerstrategien einzulagern. So soll z.B. bei Kunde „A“ möglichst nahe an den Gassenköpfen eingelagert werden, bei Kunde „B“ sollen zuerst Lagerplätze in einer für Menschen optimalen Höhe belegt werden, usw..
Zusätzlich soll die geeignete Einlagerstrategie abhängig vom Lagerhilfsmittel (LHM) des Lagerguts und des Einlager- bzw. Umlager-Grunds sein. Um die Anwendung portierbar zu halten, sollte sich die Anwendung die einen Lagerplatz sucht nicht an einen spezifischen Satz von Einlagerstrategien binden. Um den Aufwand bei Wiederverwendung zu minimieren, sollte die Auswahl einer Einlagerstrategie nicht über die ganze Anwendung verteilt, sondern an einer einzigen Stelle entscheiden werden.

In der prozeduralen Programmierung wäre ein Lösungsansatz, eine Bibliothek von Einlagerstrategien anzulegen, die über die Zeit hinweg „wachsen“ würde. In der objektorientierten Welt wäre ein Ansatz ein kundenspezifisches „PlatzAnweiser“ Objekt erzeugen, das die gewünschte Einlagerstrategie implementiert. Dies hat einen Nachteil, dass die Anwendung (hier: der „PlatzSucher“) diesen konkreten „PlatzAnweiser“ kennen muss. Dies führt zu Problemen wenn die Anwendung bei einem anderen Kunden wiederverwendet werden soll, da sie mit dem konkreten PlatzAnweiser des anderen Kunden „verhaftet“ ist.
Das aus der Literatur bekannte Muster „Abstrakte Fabrik“ (Gamma et al. 2004) wurde zur Lösung dieses Problems herangezogen (Abbildung 6.10). Die daraus umgesetzte „PlatzAnweiserFabrik“ deklariert eine Schnittstelle zum Erzeugen eines geeigneten „PlatzAnweisers“. Jeder der dazu benötigten Teilnehmer hat seine eigene Aufgabe die er erledigen muss.

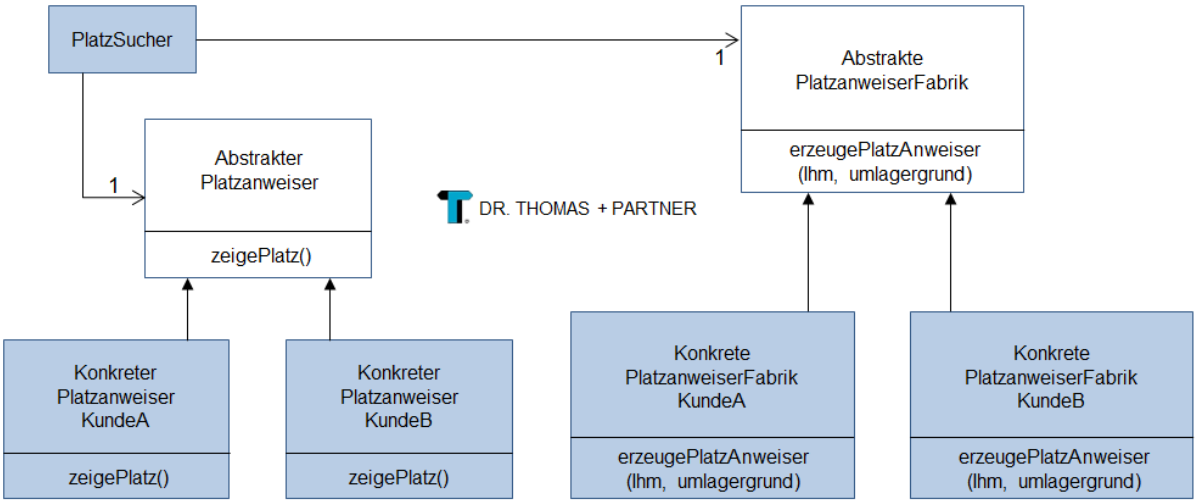


Abbildung 6.10: Abstraktes Fabrik-Muster angewendet auf die Lagerplatzverwaltung

Abstrakte PlatzAnweiserFabrik
Deklariert die abstrakte Schnittstelle die kundenspezifische PlatzAnweiser erzeugt

Konkrete PlatzAnweiserFabrik
Implementiert die Operation zur Erzeugung kundenspezifischer Platzanweiser zur Laufzeit

Abstrakter PlatzAnweiser
Deklariert die abstrakte Schnittstelle für einen bestimmten Typ eines kundenspezifischen PlatzAnweisers

Konkreter PlatzAnweiser
Implementiert unter Berücksichtigung der kundenspezifischen Einlagerstrategie die Lagerplatzsuche

PlatzSucher
Die konkrete Anwendung die einen Platz sucht. Sie verwendet nur die Schnittstellen, welche von der abstrakten PlatzAnweiserFabrik und des abstrakten PlatzAnweisers deklariert sind.

Zur Bewältigung dieser Aufgaben führen sie Interaktions-Schritte durch:

1. Der „PlatzSucher“ erzeugt sich zur Laufzeit ein kundenspezifisches Exemplar einer „PlatzAnweiserFabrik“.
2. Diese konkrete Fabrik erzeugt anhand des übergebenen LHM´s und des Umlagergrundes einen geeigneten kundenspezifischen „PlatzAnweiser“.
3. Der „PlatzSucher“ wendet sich an den erzeugten „PlatzAnweiser“ der ihm nach seiner implementierten Einlagerstrategie einen Lagerplatz vorschlägt.

Das Entkoppeln zwischen einem „PlatzSucher“ von einem Dienstleister „PlatzAnweiser“ erzeugt die Aufgabenteilung zwischen Suche und Strategie. Dies aber hat zur Folge, dass der „PlatzSucher“ nicht die Platzstrategie selber vorgeben kann, sondern diese über eine Dienstleistung bezieht. Da die „Dienstleister“ sich einfacher den logistischen Prozessen und den Ansprüchen anpassen können, werden hier die Kernkompetenzen eindeutig gebündelt. Durch den einfachen Austausch eines konkreten Dienstleisters zur Laufzeit, können logistische Prozessänderungen in der IT schnell und einfach an einer zentralen Stelle realisiert werden. Es gilt: In der „PlatzAnweiserFabrik“ wird entschieden welcher Typ des „PlatzAnweisers“ verwendet wird.

Das Abstrakte Fabrik-Muster kapselt den zu verwendeten Typ des „Dienstleisters“, indem sie anhand von Eingangsparametern und kundenspezifischen Gegebenheiten den geeigneten Typ erzeugt. Der „PlatzSucher“ kennt die konkreten „PlatzAnweiser“ nicht, er kommuniziert mit ihm nur über die Schnittstellen seiner Abstraktion (siehe Abbildung 6.10).

6.4 Framework

Nach Ralph E. Johnson und Brian Foote (1998) bedeutet Framework wörtlich übersetzt Rahmen, Gerüst oder Skelett. In der Regel wird durch das Framework – im Gegensatz zu einer reinen Klassenbibliothek – eine Software-Architektur für eine Anwendung vorgegeben.

Ein objektorientiertes Framework legt die Struktur wesentlicher Klassen und Objekte sowie ein Modell des Kontrollflusses in der Anwendung fest (“Hollywood-Prinzip“, siehe Kapitel 6.6 und die Abbildungen 6.16 und 6.17). In diesem Sinne werden Frameworks im Wesentlichen mit dem Ziel einer Wiederverwendung von Architekturen entwickelt und genutzt.

Mit guten Frameworks gelingt es häufig, einen Wiederverwendungsgrad um 70 Prozent und höher zu erzielen. Das konsequente Anwenden von Frameworks erleichtert massiv das Entwickeln von Softwaresystemen, ohne dass die Mächtigkeit des verwendeten Implementierungs-Mechanismus eingeschränkt wird.

Frameworks sind in Software gegossene Konzepte und Lösungen, auf der Basis von detailliert erarbeiteten Geschäftsprozessen. Diese Konzepte helfen einem Entwickler beim Modellieren der Anwendungsdomäne und beim Erkennen der relevanten Beziehungen unter den Objekten. Der Vorteil erwächst daraus, dass die zentralen Objekte, Beziehungen und Schnittstellen im Framework bereits modelliert sind. Für einen mit der Anwendungsdomäne vertrauten Entwickler führt dies zu einem beschleunigten Projektfortschritt. Ein unerfahrener Entwickler ist in der Lage, Anwendungen zu schreiben, ohne die Anwendungsdomäne vollständig verstanden zu haben. Er findet einen großen Teil des Grundwissens als integralen Bestandteil des Frameworks.

Das Erarbeiten des Wissens über ein spezielles Anwendungsgebiet ist mit erheblichen Aufwendungen verbunden. Frameworks können als Absicherung dieser großen Investitionen verstanden werden. Während früher (unabhängig vom Umfang der Dokumentationen) dieses Wissen zusammen mit den Entwicklern der Firma verließ, liegt es nun als abstrahierte, wiederverwendbare Softwarearchitektur vor. Ein gutes Framework ermöglicht, Anwendungen zu entwickeln, ohne alle Details der dazu benötigten Ressourcen verstehen zu müssen.

Ein Framework kann sowohl Eigenschaften eines komponentenbasierten Systems haben, als auch Entwurfsvorlagen in Form von Mustern (siehe Kapitel 6.3.3) beinhalten (Ralph E. Johnson “Frameworks = Components + Pattern“; Johnson 1997).

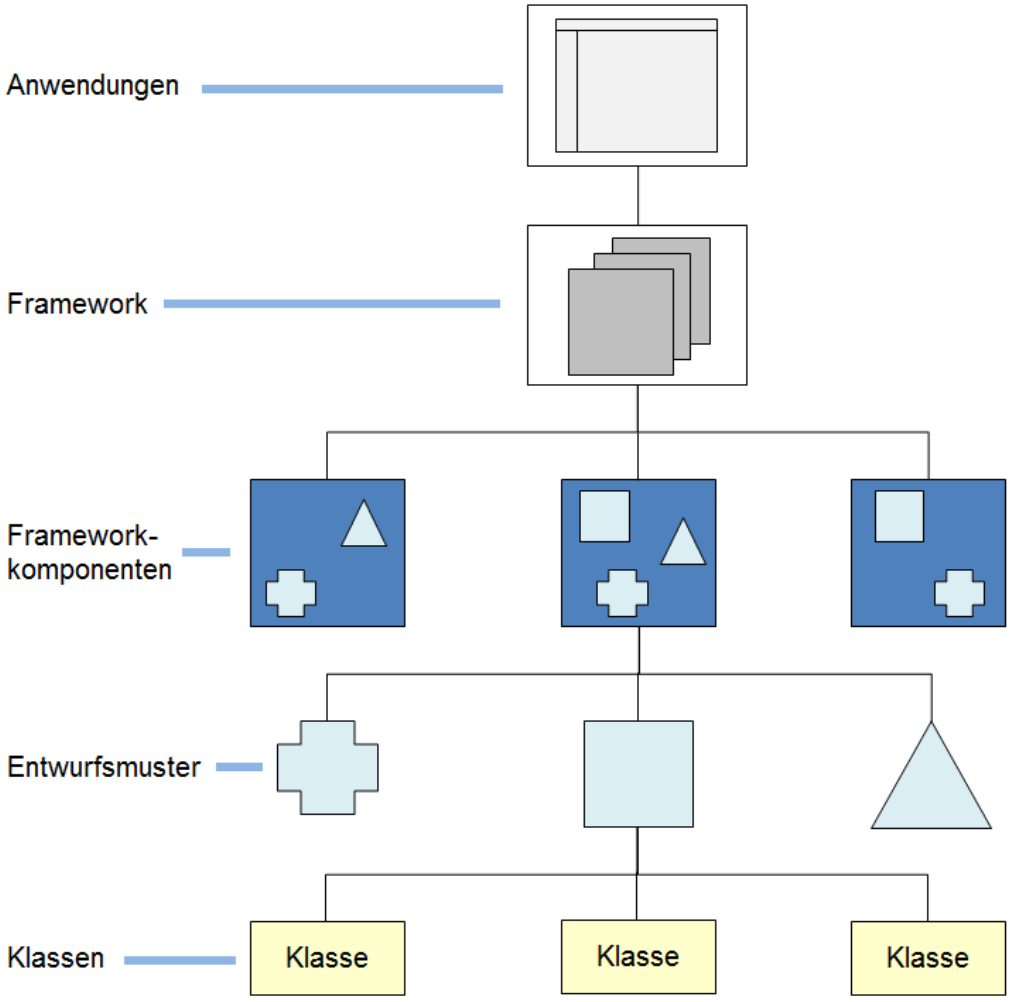


Abbildung 6.11: Komponenten des Frameworks. Struktureller Aufbau / Beziehungen (Johnson 1997)

Frameworks = Components + Pattern (Johnson 1997)

Die Struktur gestaltet sich in Form einer Beziehung zwischen der Anwendung als spezifischer Instanziierung des Frameworks, dem Framework selbst, den Entwurfsmustern, Komponenten und Klassen. Klassen und Entwurfsmuster vereinigen sich dabei zu Komponenten, die bestimmte Funktionalitäten zur Verfügung stellen. Auch die Komponenten selbst werden entsprechend von bewährten Architekturmustern konfektioniert. Zusammen bilden alle Komponenten das eigentliche Framework (Abbildung 6.11).

6.4.1 Framework versus Klassenbibliothek

Beim vergleich zwischen dem Einsatz von herkömmlichen Klassenbibliotheken und Frameworks lässt sich folgender Unterschied feststellen (siehe Abbildung 6.12):

- Klassenbibliotheken (vorgefertigte Teile) bieten gewöhnlich eine Menge Funktionalitäten an, die entsprechende Algorithmen für ein bestimmtes Anwendungsgebiet realisieren.

- Frameworks gehen viel weiter, indem sie die gesamte Architektur einer Standardlösung kapseln. Der Benutzer muss sich nicht mehr darum kümmern, wie das Framework gesteuert wird. Er passt es nur noch für seine spezifischen Bedürfnisse an. Während beim Einsatz einer Klassenbibliothek die gesamte applikatorische Logik neu implementiert werden muss, kann diese durch ein Framework zu einem großen Teil wiederverwendet werden.

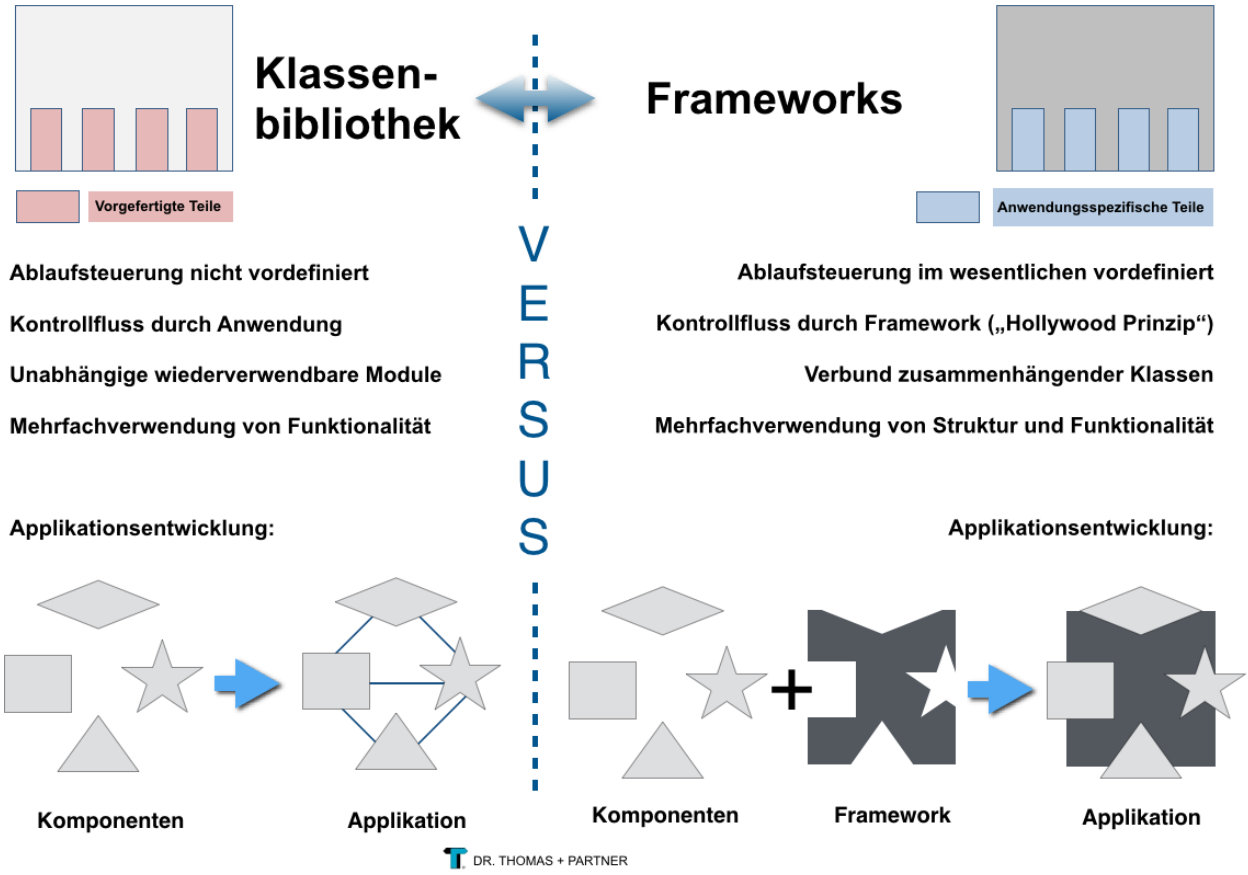


Abbildung 6.12: Klassenbibliothek versus Framework

6.5 Softwarearchitektur

Das Ziel ist, dass sich Anwendungssoftware leicht an Änderungen der Anforderung anpassen lässt. Eine solche adaptive IT erfordert eine modulare Systemarchitektur, die in ihrer Eigenschaft skalierbar, anpassbar, erweiterbar und möglichst wiederverwendbar sein muss. Dieses Ziel lässt sich durch eine nach den Architektur-Prinzipien ausgerichtete Softwarearchitektur erreichen.

Die Bausteine (Module) sollten

- nach verschiedenen Aspekten getrennt sein (Separation of Concerns)
- die Ausprägung von Black-Boxes haben Information-Hiding (siehe Kapitel 6.5.2)
- und einen hohen Abstraktionsgrad haben

6.5.1 Separation-of-Concerns-Prinzip

Mit dem Prinzip Separation of Concerns (Trennung von Aufgabenbereichen) werden verschiedene Aspekte eines Problems voneinander getrennt und jedes Teilproblem für sich behandelt. Die Zerlegung eines Softwaresystems in eine Struktur von Systembausteinen folgt diesem Prinzip.

Wichtigster Einsatz ist die Unterstützung der Modularisierung. Dabei sind Teile eines Softwaresystems, die für bestimmte Angelegenheiten, Aspekte oder Aufgaben verantwortlich sind, zu identifizieren und als eigene Systembausteine zu kapseln. So wird ein komplexes Gesamtsystem in verständliche und handhabbare Einzelteile zerlegt. Grundsätzlich wird immer angestrebt fachliche und technische Teile zu trennen. Software, die sich mit verschiedenen Aspekten gleichzeitig befasst, ist in jeder Hinsicht nachteilig.

6.5.2 Information-Hiding-Prinzip

Das Prinzip ist fundamental, um komplexe Systeme zu gliedern und zu verstehen. Nach diesem Prinzip werden nur die wirklich notwendigen Teilausschnitte der gesamten Information gezeigt, die für die jeweilige Aufgabe gebraucht werden. Alle restlichen Informationen bleiben verborgen.

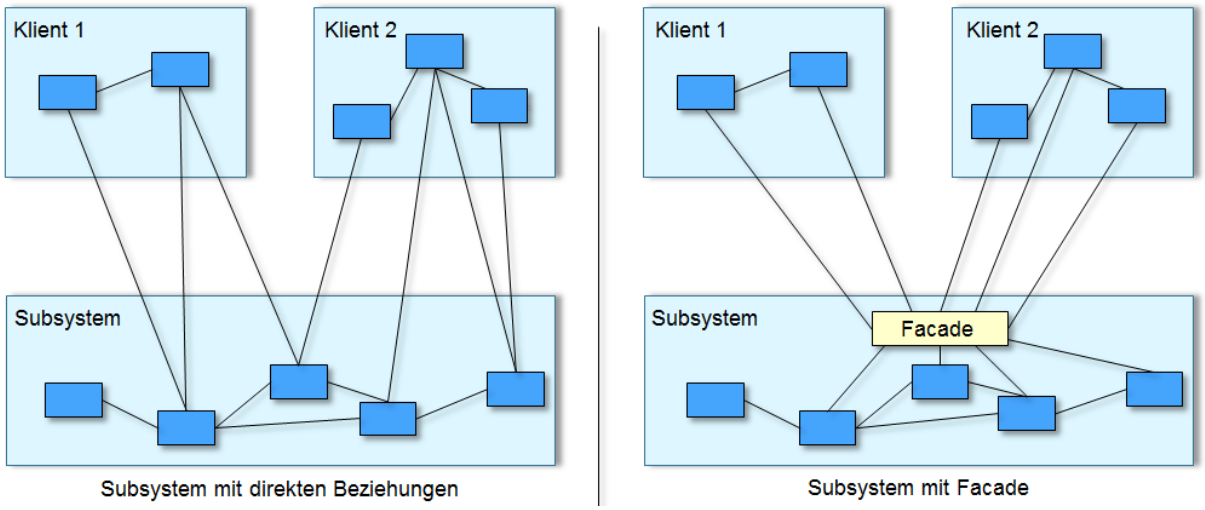


Abbildung 6.13: Subsystem ohne und mit Facade (Gamma, 2004)

Anwendung findet dieses Prinzip in der Modularisierung eines Systems. Ein Baustein wird gekapselt und ist nach außen durch wohl definierte Schnittstellen bekannt.

Das Prinzip ist allerdings nicht auf einzelne Bausteine beschränkt, sondern auch für größere Strukturen der Architektur anwendbar. Ein Beispiel ist das Facade-Entwurfsmuster (Gamma, 2004). Die Facade (auch als Fassade bezeichnet) schützt ein ganzes Subsystem vor dem direkten Zugriff und liefert eine gemeinsame Schnittstelle (siehe Abbildung 6.13).

Eine weitere Anwendung des Information Hiding ist das Black-Box-Prinzip. Hierbei sind die Interna des Bausteins nicht sichtbar, ausschließlich die Schnittstelle ist zu sehen. So können Interna quasi beliebig geändert werden, sofern die Schnittstelle unverändert bleibt.

6.5.3 Abstraktions-Prinzip

Das Prinzip ist hierbei wichtige Aspekte zu identifizieren und unwichtige Details zu vernachlässigen. So lassen sich komplexe Probleme besser verstehen.

- Im Bereich Softwarearchitektur gibt es einige spezielle Teilprinzipien der Abstraktionen, die sich auf Schnittstellenabstraktionen beziehen:
  Explizite Schnittstelle: Jeder Baustein gibt explizit bekannt, welche Schnittstelle er an Klienten herausgibt.

- Trennung von Schnittstelle und Implementierung: Damit sich ein Klient auf die Schnittstelle verlassen kann, soll die Schnittstelle separat von den Implementierungen betrieben werden. So ist es möglich verschiedene Versionen von Bausteinen oder Implementierungen verschiedener Hersteller zu verwenden, ohne etwas am Klient ändern zu müssen. Anwendung findet das insbesondere, wenn die Schnittstelle standardisiert ist.

- Liskovsches Substitutions-Prinzip: Bei Vererbungsabstraktionen sollen erbende Klassen von Klienten, durch die Schnittstelle der vererbenden Klasse aufrufbar sein.

- Schnittstellen-Segregations-Prinzip: Komplexe Schnittstellen, auf denen mehrere Klententypen basieren, sollten in mehrere einzelne Schnittstellen aufgetrennt (segregiert) werden.

Schnittstellenabstraktionen dienen oft der Realisierung von loser Kopplung. Ebenso hängt das Modularisierungsprinzip eng mit Abstraktionen zusammen. Des Weiteren spielt die Abstraktion beim Aspekt der Portabilität und Plattformunabhängigkeit eine große Rolle.

6.5.4 Modularitäts-Prinzip

Eine Architektur sollte aus wohl definierten Bausteinen bestehen, deren funktionale Verantwortlichkeiten klar abgegrenzt sind, d. h. leicht austauschbar und in sich abgeschlossen.

Das Modularitäts-Prinzip dient der **Änderbarkeit**, **Erweiterbarkeit** und **Wiederverwendbarkeit** von Bausteinen einer Architektur. Es ist eine Kombination aus den Prinzipien “Abstraktion“, “Separation of Concerns“ und “Information Hiding“.

Es gibt einige Ansätze, die die Modularität einer Softwarearchitektur unterstützen. Die Modularität hängt aber auch stark von der Disziplin des Entwicklers und vom Entwurf des Architekten ab. Modularität dient der losen Kopplung und hohen Kohäsion und hängt von Separation of Concerns, Information Hiding und Abstraktion ab.

Nach B. Meyer (1997) gibt es fünf Kriterien der Modularität, die zur Bewertung der Modularität einer Softwarearchitektur herangezogen werden können:

- Modulare Dekomposition des Problems: Komplexe Softwareprobleme werden in kleiner Teilprobleme zerlegt, die dann als eigenständige, weitgehend unabhängige Bausteine (Module) implementiert werden.
- Modulare Komposition: Die Teillösungen (Module), der durch Dekomposition zerlegten Teilprobleme, können wieder zu verschiedenen Softwarearchitekturen frei komponiert werden.
- Modulares Verständnis: Jeder einzelne Baustein kann verstanden werden ohne die anderen Bausteine zu kennen.
- Modulare Kontinuität: Kleine Änderungen der Problemspezifikation in einer aus Bausteinen komponierten Softwarearchitektur bewirken eine Änderung nur an einem Baustein oder einer kleinen Anzahl von Bausteinen.
- Modulare Protektion: unvermeidbare Fehlerzustände sollen auf den fehlerhaften Baustein begrenzt bleiben.

6.5.5 Trennung nach Aspekten und Typisierung von Software

In einem ersten Schritt wird die Software getrennt nach dem Aspekt:

- Technikbestimmter Software und
- Anwendungsbestimmter Software

So teilt sich das IT-System in Anwendungsdomäne und Middleware auf (Abbildung 6.14). Die Anwendungsdomäne bewältigt dabei alle Aufgaben des Problemfeldes der Intralogistik.

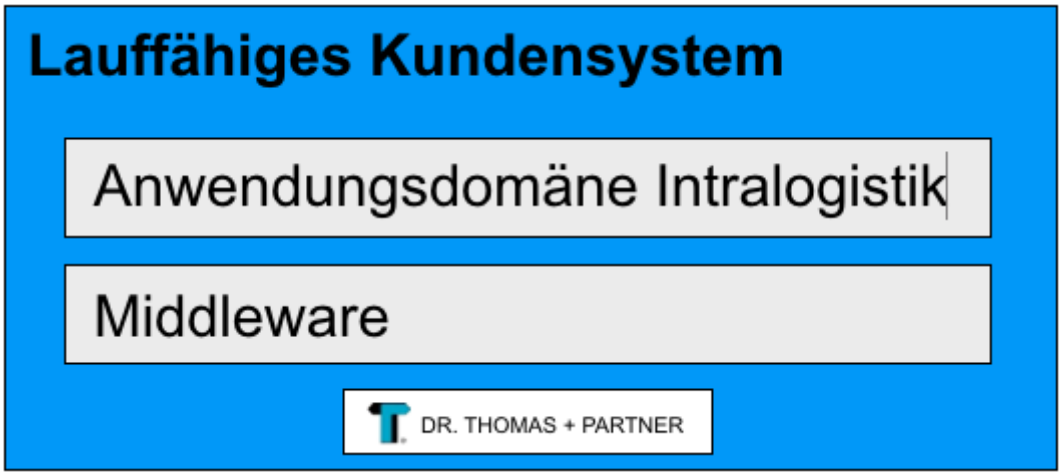


Abbildung 6.14: Aufteilung in Anwendungsdomäne und Middleware

6.5.6 Middleware

Die Middleware (auch “Zwischenanwendung“) bezeichnet eine anwendungsunabhängige Technologie, die zwischen fachlicher Anwendungssoftware und Betriebssystem / Hardware vermittelt. Sie bietet notwendige und hilfreiche Dienste für die Implementierung und Laufzeit von Anwendungssoftware. Sie ist aber selbst nicht dem Bereich der Anwendungssoftware zuzuordnen.

Die Middleware hat den größten Wiederverwendungsgrad. So ist es möglich, sie in einer anderen Anwendungsdomäne einzusetzen. Bei Veränderungen der betrieblichen Prozesse ist keine Neuprogrammierung nötig. Eine zentrale Datenbank ist über die Middleware verbunden. Nach dem Separation-of-Concerns-Prinzip wird die Middleware weiter in unabhängige Bausteine (Module) unterteilt (Abbildung 6.15).

Abbildung 6.15: Middleware

Die gelben Module sind Eigenentwicklungen von Dr. Thomas + Partner. Der Vorteil einer Eigenentwicklung gegenüber dem Bezug von Fremdprodukten (Entscheidung: Make-or-buy) ist die Unabhängigkeit von Änderungen der Software (Software-Releases der Fremdhersteller).

6.5.7 Laufzeitumgebung

Die Laufzeitumgebung ist eine Softwareschicht, die sich zwischen der Applikationsschicht und der Betriebssystemschicht befindet. Sie stellt die Grundfunktionen zur verfügung, die von Programmen benötigt werden. Eine Laufzeitumgebung für die Server-Anwendungsprogramme zu schaffen. Dabei sind im Fokus:

- Eine einfache, einheitliche Schnittstelle für den Programmierer der Anwendung (Information-Hiding-Prinzip).
- Facade (bzw. Fassade) für proprietäre Middleware (Information-Hiding-Prinzip).
- Erweiterbar und konfigurierbar (Prinzip des Entwurfs für Veränderung).

Hierzu stellt die Laufzeitumgebung jedes Prozesses (Container) als “Hülle“ standardisierte Dienste zur Verfügung, die die Inter-Prozesskommunikation, die Parametrierung der laufenden Instanz, das Logging/Tracing und die Transaktionskontrolle zur Verfügung stellen. Darüber hinaus sind hier die Basisdienste bzw. der Zugriff auf diese Dienste angeordnet. Die Datenbankanbindung (Persistenz-Layer) realisiert den Zugriff auf Daten von der Anwendung aus, die Kommunikation zu externen Systemen wird über eine für die Anwendung transparente gesicherte Schicht abgewickelt.

6.6 Anwendungsdomäne

Nach dem Gesichtspunkt der Wiederverwendung strukturiert sich die Anwendungsdomäne in (Abbildung 6.16)

- Komponenten
- TWS Plattform
- Plugins
- Projektspezifika

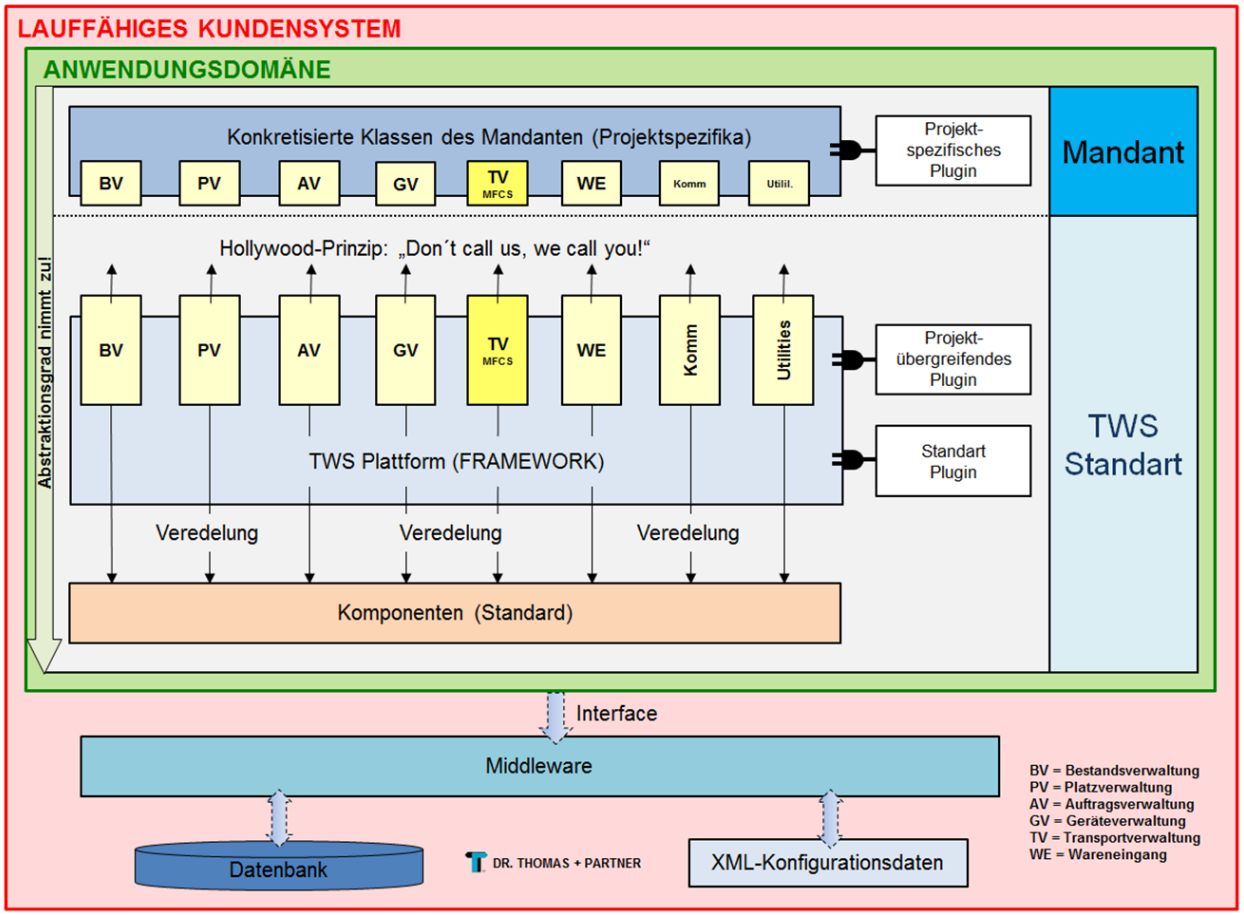


Abbildung 6.16: TWS - Übersicht

Die **Komponenten** stellen eine in sich unabhängige Lösung für einen größeren Teilaspekt aus einer definierten Anwendungsdomäne dar (Komponenten-Standard: Best-Practice-Komponente, vgl. Kapitel 5.2.1)

Das eigentliche TWS ist die **TWS-Plattform** (Framework) und spielt die zentrale Rolle. Sie ist quasi das Bindeglied der abstrakten unabhängigen Komponenten und konkretisiert die Teilaspekte der Komponenten. Die TWS-Plattform macht architektonische und strukturelle Vorgaben. Je nach Anwendungsfall werden das Framework, Komponenten oder Teile der Komponenten zu passender Zeit aufgerufen (**Hollywood-Prinzip**, Invertierter Kontrollfluss; siehe Abbildungen 6.16 und 6.17) und, soweit erforderlich, konkretisiert. So kann das Framework wie bei einem Baukasten mit “Anwendungscode“ vervollständigt werden.

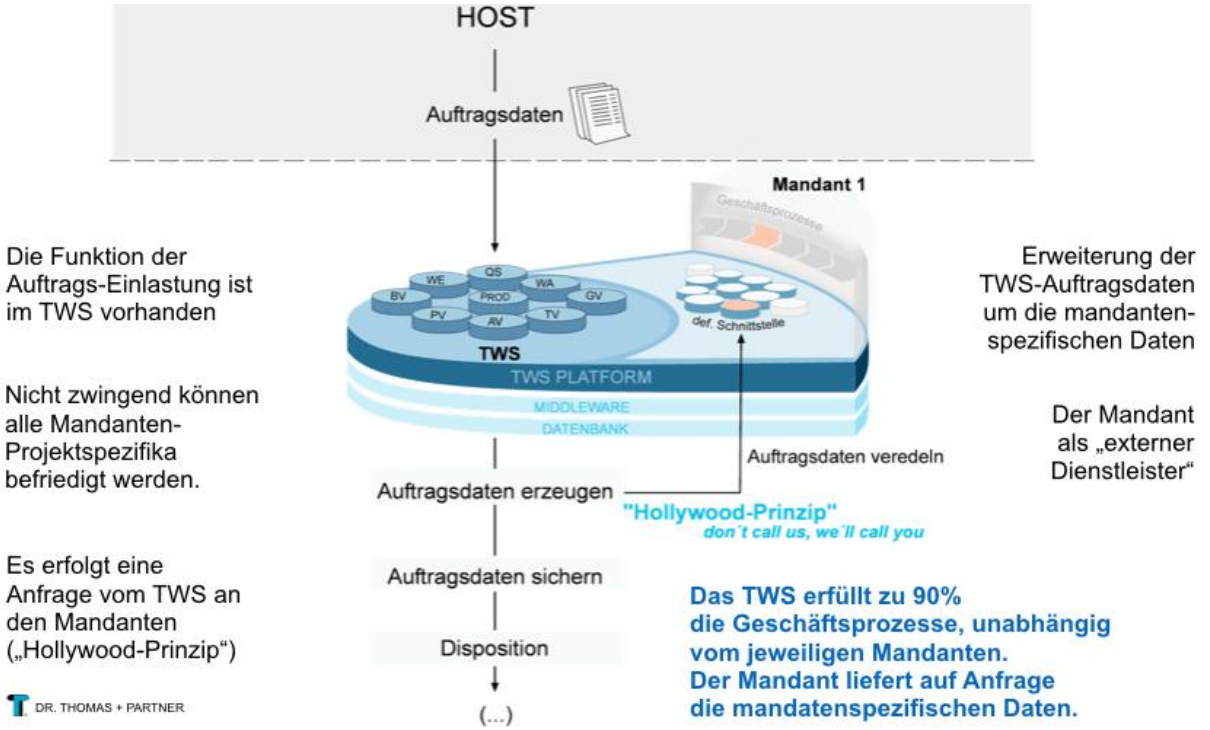


Abbildung 6.17: Hollywood-Prinzip

Plugins sind einzelne Klassen oder Netzwerke von Klassen, die spezielle Lösungsvarianten für eine konkrete Plattform und/oder Komponenten implementieren. Die Plugins müssen nicht mehr den Ansprüchen an Flexibilität genügen, wie es bei Komponenten oder der TWS-Plattform der Fall ist (siehe auch Kapitel 6.1).

Es werden drei Typen von Plugins unterschieden:

- Projektspezifische Plugins (vgl. Kapitel 5.2.2)
- Projektübergreifende nicht Standard-Plugins
- Projektübergreifende Standard-Plugins

Projektspezifische Software definiert zusammen mit den Komponenten, der TWS-Plattform und den Plugins das lauffähige System. Projektspezifika leisten die Konkretisierung derjenigen Anteile, bei denen die Komponenten der TWS-Plattform und/oder die Plugins noch abstrakt geblieben sind oder bei denen die Architektur eine Individualisierung sogar verlangt.

Adaptive IT ist eine Kombination aus Konzepten, Technologien und Nutzung von entsprechenden Werkzeugen moderner Softwareentwicklung.

Ein erster Bestandteil der adaptiven IT sind im Beispiel TWS die unabhängigen Komponenten und das Framework.

Als zweiten Bestandteil ist die XML-Konfiguration anzusehen.

In der Praxis lassen sich hier (TWS) durch die XML-Konfiguration

- Parameter in Modulen einstellen sowie
- durch Setzen bestimmter Parameter auch Module ein- oder ausschalten.

6.6.1 Auswahl der Programmiersprache

Die gängigen modernen Programmiersprachen wie java, C++ und C# unterstützen die objektorientierte Programmierung. Die Konzeption der verwendeten Objekte erfolgt dabei in der Regel auf Basis der folgenden Paradigmen: Klasse, Abstraktion, Daten-Kapselung, Polymorphie und Vererbung.

Der Vorteil, der für den Einsatz von Java spricht:

- Portierbarkeit (Hardware- und Betriebssystem unabhängig, d.h. plattformunabhängig)
- breites Einsatzspektrum (Applets/ Internet und Programme/ lokal)
- bekannte Syntax
- Robustheit
- Sicherheit
- viele Features standardmäßig
- dynamisch und modular
- Verbreitung

Java ist mittlerweile für die verschiedensten Computersysteme verfügbar und hat eine weite Verbreitung gefunden. Ebenso bringt Java eine umfangreiche Klassenbibliothek mit, die für (fast) alle täglichen Programmieraufgaben eine Unterstützung enthält. Durch das Konzept der virtuellen Maschine ist ein einmal kompilierter Programmcode auf jeder Plattform, für die eine Java VM (Virtual Machine) vorhanden ist, lauffähig. Ein erneutes Übersetzen auf der jeweiligen Zielplattform ist nicht mehr notwendig. Ein handfester Vorteil ist die mittlerweile freie Verfügbarkeit von integrierten Entwicklungsumgebungen. Java hat sich als Industriestandard etabliert. So wurde die Programmiersprache Java für TWS gewählt.

6.7 Zusammenfassung

In der Intralogistik ließ sich in den letzten Jahren ein großer Wachstum feststellen. Im Bereich der IT (Materialflusssteuerung, Lagerverwaltungssysteme) gibt es hohe Einsparungspotenziale. Die IT spielt auch hier eine große Rolle in der Wertschöpfungskette eines Unternehmens.

Viele ältere MFCS und Lagerverwaltungssysteme haben große Defizite und sind nicht mehr zeitgemäß. MFCS sind in einem heterogenen Umfeld angesiedelt, d.h. viele verschiedene unterlagerte Systeme verschiedener Hersteller sind angeschlossen.

Jede Änderung in einem dieser Systeme hat eine Änderung der entsprechenden Schnittstellen der Materialflusssteuerung zur Folge. Lagerverwaltungssysteme müssen sich an ständig ändernde Anforderungen, wie z.B. Änderung des Produktspektrums oder neue Durchsatz-Zahlen, anpassen.

Inspiriert durch die objektorientierte Programmierung (OOP) führt ein Paradigmawechsel zu einer neuen Systemarchitektur (SAIL- Systemarchitektur in der Intralogistik) im Bereich der Materialflusssteuerung. Zur Erstellung des SAIL-Modells sind folgende Vorgehensschritte maßgeblich:

- Primäre Anlagenzerlegung nach Funktionen und nicht nach Ebenen.
- Kapselung der gefundenen Funktionen in Komponenten.
- Standardisierung der Schnittstellen der Komponenten.
- Bereitstellung von Steuerungskomponenten analog zu verfügbaren Mechanikkomponenten.

Das Ergebnis ist eine Systemarchitektur, in der die Komponenten leicht und problemlos austauschbar sind, da sich die grundlegenden Schnittstellen nicht ändern. Die einheitliche Architektur ermöglicht eine Kostenersparnis, durchgehende Visualisierung, einen vereinfachten Betrieb und eine erhöhte Verfügbarkeit sowie eine höhere Flexibilität bei jeder Anlagenmodifikation.

Das zweite Konzept wird als adaptive IT bezeichnet. Es nutzt dabei alle vorhandenen Techniken moderner Softwareentwicklung. Der Grundgedanke adaptiver IT ist ein Softwaresystem, das sich an die ständig ändernden Prozesse anpassen lässt.

Am Beispiel des Lagerverwaltungssystems TWS wird der Aufbau eines solchen Systems beschrieben. Kern ist die Entwicklung einer geeigneten Softwarearchitektur. Die richtige Softwarearchitektur macht die Komplexität der Softwarelösung beherrschbar und schafft die Voraussetzung, sich an ständige Veränderungen anpassen zu können. Durch eine transparente Softwarearchitektur und ausgereifte, wiederverwendbare Komponenten lassen sich Projekte relativ schnell realisieren. Änderungen lassen sich ebenso schnell und problemlos umsetzen.

TWS ist durch seine modulare Struktur und die Verfügbarkeit verschiedener Customizing-Technologien sehr flexibel. Nach jedem Projekt fließen die gewonnenen Kenntnisse im Sinne von Kaizen (ständige Verbesserung) in TWS zurück. So entsteht eine ausgereifte Anwendungssoftware hoher Qualität.

Beide Konzepte (SAIL und adaptive IT) haben den Einsatz moderner Softwaretechnik (OOP) wie Funktionskapselung, Modularisierung und den Aspekt der Wiederverwendbarkeit gemeinsam. Vorteile beider Konzepte sind u.a. eine große Transparenz, eine höhere Planungssicherheit, eine Kostenreduzierung in der Angebotsphase und eine Risikominimierung bei der Inbetriebnahme.

7 LITERATUR UND QUELLEN

Literaturnachweise:

“Funktionen, Komponenten und Schnittstellen eines Systems“ (VDI/VDMA 5100) - Seite 1 und Seite 2.

“Mindestanforderungen für den Informationsaustausch zwischen den SAIL-Komponenten“ (VDI/VDMA 5100) - Seite 7.

SEW Eurodrive - Auszug aus eniem Firmenprospekt der Firma SEW vom 2010 - Seite 19.

Smart Label (Vicinty Standard der ISO 15693) - Seite 33.

“Computernetzwerke: Der Top-Down-Ansatz“ James F. Kurose, Keith W. Ross, Pearson, 6. aktualisierte Auflage, 2014 - Seite 40.

“OSI-Schichtenmodell“ (Standard IEEE 802.2) - Seite 40.

“Ethernet“ (Standard IEEE 802.3) - Seite 44.

“Netzwerkzugangstechnik über WLAN“ (Standard IEEE 802.11) - Seite 51.

“Bluetooth-Netzwerkszugangstechnik“ (Standard IEEE 802.1.5.1) - Seite 51.

“Grundkurs Geschäftsprozess-Managament: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker“ Andreas Gadatsch, 7. Auflage, 2012 - Seite 56.

“Architektur, Methode, Prozess: Ein Business Analysis Framework“ Jürgen Pitschke, 2012 - Seite 56.

“Dynamische Disposition: Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands- und Fertigungsdisposition“ Timm Gudehus, 2012 - Seite 68.

“Design and control of warehouse order picking: a literature review. European Journal of Operational Research“ 182(2), 481-501 R. De Koster, T. Le-Duc, and K.J. Roodbergen, (2007) - Seite 69.

“Erweiterung des Warenverteilzentrums der MCM Klosterfrau“
in: Logistik für Unternehmen 6/2009 Dietmar Hoffbauer - Seite 69.

“Feed Algorithmen“ Ho et al., 2008, Ho & Tseng, 2006 - Seite 70.

“Lehrbuch der Softwaretechnik. Basiskonzepte und Requierements Engineering“ Helmut Balzert et al., 2009 - Seite 91.

“The Scrum Guide“ Ken Schwaber, Jeff Sutherland, 2015 - Seite 92.

“Entwurfsmuster der Brücke“ nach Erich Gamma et al., 2004 - Seite 95 und Seite 100.

“Framework“ nach Ralph E. Johnson and Brian Foote, 1998 - Seite 102.

“Frameworks = Components + Pattern“ nach Ralph E. Johnson, 1997 - Seite 103.

„Facade-Entwurfsmuster“ nach Erich Gamma et al., 2004 - Seite 106.

“Fünf Kriterien der Modularität“ nach Bertrand Meyer, 1997 - Seite 107.

Abbildungsnachweise

Abbildung 3.15: “Gedruckte Tags“ (Quelle: www.polyic.de, 2015) - Seite 35.

Abbidung 4.9: „Smartwatch projiziert Information auf die Handfläche“ (www.a-su.com.cn, 2016) - Seite 52.

Abbildung 6.11: Komponenten des Frameworks. Struktureller Aufbau / Beziehungen (Ralph E. Johnson, 1997) - Seite 103.

Abbildung 6.13: Subsystem ohne und mit Facade (Facade-Entwurfsmuster, Erich Gamma, 2004) - Seite 105.