

IT-Grundlagen der Logistik

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas

www.tup.com/hochschule_und_universitaet



3. Auflage, März 2019



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

IT-Grundlagen der Logistik

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas
Erste Auflage, Karlsruhe, im Oktober 2016
Zweite Auflage, Stutensee, im Januar 2018
Erweiterte dritte Auflage, Stutensee, im März 2019

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
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
EINLEITUNG	XI
THEMENSCHWERPUNKTE	XII
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 Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFC-System und dem TS-System	6
1.3.1 Gewerkeübergreifende Materialflusststeuerung (klassische Aufgabenzuordnung)	7
1.3.2 Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation.....	8
1.3.3 Vorteile der Systemarchitektur.....	10
2 Gestaltung und Einsatz innovativer Material-Flow-Control-Systeme (MFCS)	11
2.1 Die Materialflusststeuerung als Dienstleistung für ein Distributionszentrum.....	11
2.2 Beziehungen zwischen Transportverwaltung, Transportdurchführung und Transportsteuerungssystemen	11
2.2.1 Neue Aufgabenzuordnung zwischen MFCS und TSS.....	13
2.3 Grundlagen für eine standardisierte MFCS-Entwicklung.....	14
2.3.1 Hierarchisches Abbild der statischen und dynamischen Anlagenressourcen	15
2.3.2 Parametrierung, Anpassung, Erweiterungen	16
2.3.3 Ergebnis durch Rekursives Routing am Beispiel eines Distributionszentrums	17
2.3.4 Methoden zur Bildung von optimalen Fahraufträgen.....	19

2.4	Fehler in der Planungsphase bei MFC-Systemen.....	19
2.5	MFC-Systeme in der Praxis - Herausforderungen und Kostentreiber.....	20
2.5.1	Vermeidung von Schnittstellenvielfalt im Projekt.....	20
2.5.2	Hohe Effizienz und Transparenz bei Inbetriebnahme und Wartung	21
2.6	Auf dem Weg zur Schaltschranklosen Fabrik	21
2.6.1	Effizienzpotential bei elektrischen Antrieben.....	23
2.6.2	Auf der Zielgeraden der „Schaltschranklosen Fabrik“ Industrie 4.0.....	24
2.7	Einordnung des MFC-System in die Systemlandschaft	24
2.7.1	Modellentwicklung für eine standardisierte Lösung.....	25
2.7.2	Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme	26
3	Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik.....	27
3.1	Identifikation	27
3.1.1	Identifikationssysteme mit optischen Datenträgern	27
3.1.2	Mit 1 D-Codes zum autonomen Wareneingang (WE)	27
3.2	Global Standard One (GS1)	28
3.2.1	GS1 Complete.....	29
3.3	Lesegeräte	33
3.3.1	Strichcode-Laserscanner.....	33
3.3.2	CCD-Sensoren	35
3.4	RFID – Radio Frequency Identification Device	36
3.4.1	RFID - Die Frequenz-Problematik.....	36
3.4.1.1	EPC: Electronic Product Code.....	38
3.4.1.2	Electronic Printing von RFID-Tags.....	40
4	Datenkommunikation in der Intralogistik..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.1	Bedeutung von Information in der Intralogistik..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.1.1	ECR - Efficient Consumer Response Informationskreislauf Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.1.2	Electronic Data Interchange EDI..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.2	Industrielle lokale Netze (Industrie-LAN)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.2.1	Ethernet-LAN..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.2.2	Zuverlässigkeit der Informationsübertragung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2.3	Kommunikationssoftware TCP/IP	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2.3.1	Netzwerkschicht des Internets.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2.3.2	Funktionen des TCP (Transmission Control Protocol) Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.2.4	Reliable Application Data Transfer (TP-RADT)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4.3	Drahtlose Kommunikation in der Intralogistik	Fehler! Textmarke nicht definiert.

5 Geschäftsprozesse in der Intralogistik – Software follows Funktion Fehler! Textmarke nicht definiert.

- 5.1 Wo liegen die größten Potenziale? Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.1.1 A Warehouse is not a Warehouse Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.1.2 Faktoren, die den Projekterfolg beeinträchtigen..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.1.3 Erweiterte Prozessmodulierungs-Symbolik..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.2 Beschreibung der Geschäftsprozessmodule eines Warehouse Management Systems Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.2.1 Lieferavisierung mit automatischer Datenerfassung im Wareneingang Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.2.2 Wareneingang ohne Avis-Daten Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.2.3 Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.2.3.1 Analysemodell „Integriertes Geschäftsprozessmodul“ Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3 Kommissioniersysteme Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.1 Anforderungen an Kommissioniersysteme..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.1.1 Marktflexibilität..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.1.2 Retouren Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.1.3 Batch-Kommissionierung..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.1.4 Batchbildung..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.2 Geschäftsprozessmodul zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorter Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.2.3 IT-Prozessebene Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.2.5 Batchbildung..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.2.7 Mensch-Maschine-Kommunikation Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.2.8 Analysemodell für das Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer und Sorterpackerei“ Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.3 Manuelle Sorterkommissionierung mit Hochregal-Wannenpuffer und Sortier-Packmodul (MSK)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.3.1 Geschäftsprozessmodul MSK..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.3.2 Batchbildung Zielstellungen Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.3.3.3 Analysemodell für Geschäftsprozesse Manuelle Sorterkommissionierung „MSK“ Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 5.4 Prozesse Lagerverwaltung und Bestandsverwaltung Fehler! Textmarke nicht definiert.

6 Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben Fehler! Textmarke nicht definiert.

- 6.1 Adaptive IT – Komponenten am Praxisbeispiel Warehouse Management System (WMS) Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.2 Softwaretechnik..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.2.1 Erfahrungen aus Praxisabwicklungen..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.2.2 Entwicklungsprozess mit objektorientierten Werkzeugen Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.2.3 Vorgehensmodell: Iterative Prozesse Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.2.4 Vorgehensmodell “Prinzip der agilen Methoden“ Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.3 Objektorientierung Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.3.1 Entwurfsmuster “Die Brücke“ angewendet auf das Transportgut Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.3.2 Verbindung von Transport- und Platzverwaltung über die Klasse LTGFehler! Textmarke nicht definiert.

6.3.2.1	Anwendungsdomäne / Anwendungsbestimmte Software	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.3.2.2	TWS-Plattform	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.3.3	Die Abstrakte Fabrik angewendet auf die Lagerplatzverwaltung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.4	Framework	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.4.1	Framework versus Klassenbibliothek	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5	Softwarearchitektur	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.1	Separation-of-Concerns-Prinzip	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.2	Information-Hiding-Prinzip	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.3	Abstraktions-Prinzip	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.4	Modularitäts-Prinzip	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.5	Trennung nach Aspekten und Typisierung von Software	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.6	Middleware	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.5.7	Laufzeitumgebung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.6	Anwendungsdomäne	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.6.1	Auswahl der Programmiersprache	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.7	Zusammenfassung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
7	Literatur und Quellen	41

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: Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS	6
Abbildung 1.5: Gewerkeübergreifende Materialflusssteuerung (Klassische Aufgabenzuordnung, vergleiche Kapitel 2.2.1)	8
Abbildung 1.6: Schnittstellen-Problematik	9
Abbildung 2.1: Aufgabenzuordnung des MFCS	12
Abbildung 2.2: Neue Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS.....	14
Abbildung 2.3: Anlagenabbild (Teilansicht). Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche wird das Anlagenbild im MFCS abgelegt.....	15
Abbildung 2.4: Praxisbeispiel: Groblayout eines Distributionszentrums	18
Abbildung 2.5: Neue Funktionskonfiguration (MFCS ist über TP-RADT mit den Fördererelementen verbunden).....	22
Abbildung 2.6: Die Vorteile der Schaltschranklosen Fabrik	24
Abbildung 2.7: Adaptiver Prozessbaustein MFCS.....	25
Abbildung 2.8: Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme.....	26
Abbildung 3.1: Applizierung des OCL im Wareneingang (inbound)	28
Abbildung 3.2: Zusammensetzung des GS1-Datenträgers.....	29
Abbildung 3.3: GTIN/EAN 13	30
Abbildung 3.4: Prinzip GS1	30
Abbildung 3.5: Codeaufbau und Beschreibung eines SSCC (GS1-128).....	31
Abbildung 3.6: GLN, GTIN und SSCC im Verband GS1	32
Abbildung 3.7: Datenbezeichner-Tabelle (Ausriss)	32
Abbildung 3.8: Stationärer Scanner an Verzweigungspunkt an Fördertechnik	33
Abbildung 3.9: Mobile Datenerfassung im Ersatzteilbereich Aviation	34
Abbildung 3.10: Smart Mobile-Logistik	34
Abbildung 3.11: Prinzipskizze eines CCD-Scanners mit 8k CCD-Zeile	35
Abbildung 3.12: CCD-Kameras im Einsatz: Mehrseiten-Warenidentifikation, Wägung und Vermessung von Paketen im Wareneingang.....	36

Abbildung 3.13: Übersicht über die Frequenzbereiche.....	37
Abbildung 3.14: Smart Labels mit Barcodes auf Rolle (Quelle: www.rfid.bg/en).....	38
Abbildung 3.15: Kompatibilität GS1 und EPC	39
Abbildung 3.16: RFID-Einsatz entlang der Supply Chain	40
Abbildung 3.17: Gedruckte Tags (Bildquelle: www.polyic.de , 2015).....	40
Abbildung 4.1: Bedeutung von Information in der Logistik.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.2: ECR - Efficient Consumer Response.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.3: Liefer-Avisierung per EDI	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.4: Das ISO/OSI-Protokoll	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.5: Shake-Hand-Verfahren beim Rechnungsonline-Druck.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.6: Übertragungssystem TCP/IP und TP-RADT..	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.7: Fremdsystemkopplung über die gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.8: Smart Mobile Logistics	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4.9: Smartwatch projiziert Information auf die Handfläche (www.a-su.com.cn).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.1: Prozesskette einer WMS-Lösung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.2: Bestandteile der Softwarearchitektur einer adaptiven IT-Lösung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.3: Interdisziplinäres Team	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.4: Legende und Erweiterung der Modulierungssymbole für die folgenden Abbildungen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.5: Geschäftsprozessmodul Wareneingang	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.6: Electronic Data Interchange (EDI), LE-Avisierung im Warenfluss.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.7: LE-Avisierung und automatisierte Wareneingangs-Abwicklung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.8: Geschäftsprozessmodul Wareneingang (Best-Practice-Komponente).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.9: Geschäftsprozessmodul: Wareneingang ohne Daten-Avisierung. Sehr Kosten-, Zeit- und Ressourcenaufwendig (Erklärung siehe Folgeseite).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.10: Integriertes Geschäftsprozessmodul Wareneingang.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.11: Prinzipskizze: „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungs-Online-Druck und Sorterpackerei“.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.12: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 1)“.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.13: Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei (Teil 2)“.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.14: Arbeitsfortschritts-Überwachung im Leitstand (roter Pfeil).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.15: Ablauf der Wannenföfüllung und Rundgangsbildung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildung 5.16: Mensch-Maschine-Kommunikation während des Rundgangs	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.17: Prinzipskizze: Geschäftsprozess MSK mit dynamischen Packmodulen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5.18: Geschäftsprozessmodul MSK (Prozessinformationen 1-5 sind unter Kapitel 5.3.3.3 beschrieben)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.1: Präferierte Zielvorstellung für ein Lauffähiges Kundensystem	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.2: Iteratives Vorgehensmodell	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.3: Zusammenhang zwischen Lastenheft (Anforderungsdefinition) und Pflichtenheft (Anforderungserfüllung)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.4: Prinzip der agilen Methoden	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.5: Klassendiagramm - Anwendung des Brückenmusters in der Transportverwaltung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.6: Zentrale Klasse LTG	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.7: Verbindung von Transport- und Platzverwaltung über die Klasse LTG	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.8: Teilaspekte einer Anwendungsdomäne	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.9: Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.10: Abstraktes Fabrik-Muster angewendet auf die Lagerplatzverwaltung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.11: Komponenten des Frameworks. Struktureller Aufbau / Beziehungen (Johnson 1997)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.12: Klassenbibliothek versus Framework	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.13: Subsystem ohne und mit Facade (Gamma, 2004)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.14: Aufteilung in Anwendungsdomäne und Middleware	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.15: Middleware	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.16: TWS - Übersicht	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6.17: Hollywood-Prinzip	Fehler! Textmarke nicht definiert.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4.1: TP-RADT (Reliable Application Data Transfer - Header und Datenblock)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 5.1: Schwankungsbreiten in den Auftragsstrukturen (Praxisbezogene Werte der Firma Dr. Thomas + Partner)	Fehler! Textmarke nicht definiert.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

In alphabetischer Reihenfolge:

A:FB	=	Anlagenkomponente: Förderbereich
A:FE	=	Anlagenkomponente: Förderelement
A:FG	=	Anlagenkomponente: Fördergruppe
A:FS	=	Anlagenkomponente: Fördersegment
AKL	=	Automatisches Kleinteilelager
AV	=	Anlagenverwaltung
BV	=	Bestandsverwaltung
C:CA	=	Component: Conveying Area
C:CE	=	Component: Conveying Element
C:CG	=	Component: Conveying Group
C:CS	=	Component: Conveying Segment
CCD	=	charge-coupled device (ladungsgekoppeltes Bauteil)
DC	=	Data Confirmation
DENA	=	Deutsche Energie-Agentur
DT	=	Data Transfer
EAN-UCC	=	European Article Numbering - Uniform Code Council
ECR	=	Efficient Consumer Response
EDI	=	Electronic Data Interchange
EPC	=	Electronic Product Code
ERP	=	Enterprise Resource Planning
F:AS	=	Funktion: Anlagensteuerung
F:DC	=	Function: Direction Control
F:FA	=	Funktion: Fahrauftragsverwaltung
F:FC	=	Function: Facility Control
F:MM	=	Function: Mission Management
F:RE	=	Funktion: Richtungsentscheidung
F:RN	=	Funktion: Ressourcennutzung
F:RU	=	Funktion: Ressource Utilisation
F:TA	=	Funktion: Transportauftrag
F:TC	=	Function: Transport Coordination
F:TK	=	Funktion: Transportkoordination
F:TV	=	Funktion: Transportverwaltung
FIFO	=	First-in-first-out
FNC1	=	Function Code One
GLN	=	Global Location Number
GS	=	Global Standard
GS1	=	Global Standards One
GTIN	=	Global Trade Item Number
GV	=	Geräteverwaltung
HRL	=	Hochregallager
I/O	=	Ein-/Ausgabe (input/output)
IE1 - IE4	=	Neue Energieeffizienzklassen (1 bis 4)
IEC	=	International Electrotechnical Commission
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IL	=	Implementierungsleiter

IP	=	Internet Protocol
ISO	=	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
IT	=	Informationstechnologie
JJMMTT	=	“Datumsformat”
KEP	=	Kurier-, Express- und Paketdienste
KOLA	=	Kommissionierlager
LAN	=	Local Area Network
LE	=	Lagereinheit
LHM	=	Lagerhilfsmittel
LTG	=	Lager Transport Gut
MDE	=	Mobiles Daten-Erfassungsgerät
MFCS	=	Material Flow Control System
MP	=	mehrpöstig
EP	=	einpöstig
MSK	=	Manuelle Sortercommissionierung
OCL	=	Over Corner Label
OCL	=	Over Corner Label
OOP	=	Objektorientierte Programmierung
OSI	=	Open System Interconnection (Offenes System für Kommunikationsverbindungen)
PC	=	Ping Confirmation
PRIO	=	Prioritätssteuerung
PRL	=	Palettenregal Lager
PT	=	Ping Transfer
PV	=	Platzverwaltung
QR-Code	=	Quick Response-Code
RBG	=	Regalbediengerät
RFID	=	Radio Frequency Identification Device
SAIL	=	Systemarchitektur Intralogistik
SPS	=	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	=	Structured Query Language
SSCC	=	Serial Shipping Container Code
TA	=	Transportauftrag
TCP/IP	=	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TP-RADT	=	Dr. THOMAS + PARTNER – Reliable Application Data Transfer
TSS	=	Transportsteuerungssystemen / Transportsteuerungsschicht
TV	=	Transportverwaltung
UCC	=	Uniform Code Council
VDI	=	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	=	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VE	=	Verpackungseinheit
WA	=	Warenausgang
WE	=	Wareneingang
WMS	=	Warehouse Management System
XML	=	Extensible Markup Language
ZVEI	=	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

EINLEITUNG

IT-Grundlagen der Logistik

Das Erfolgstrio Logistik der Zukunft besteht aus Mensch, Maschine und Daten. Dafür bedarf es intelligente Software mit standardisierten Schnittstellen, die ein zielgerichtetes Zusammenspiel zwischen den Akteuren ermöglicht. „Industrie 4.0“ ist ohne Software undenkbar.

Die Erfahrungen aus den Praxisabwicklungen machen aber deutlich: bevor die IT zielgerichtet ihre Software-Entwicklung beginnen kann, müssen die spezifischen Projektanforderungen ausgearbeitet vorliegen.

Hier gilt immer die Aussage:

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 Logistiksystems einer Lösung zuzuführen.

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 MFCS-Systeme 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 Implementierungsleiter (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

Homogene Anlage mit passgenauen Komponenten:

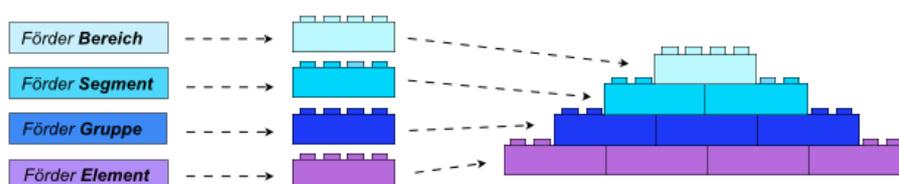


Abbildung 1.1: Die Anlagenkomponenten nach SAIL

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

Inspiziert 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 (Resource 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.

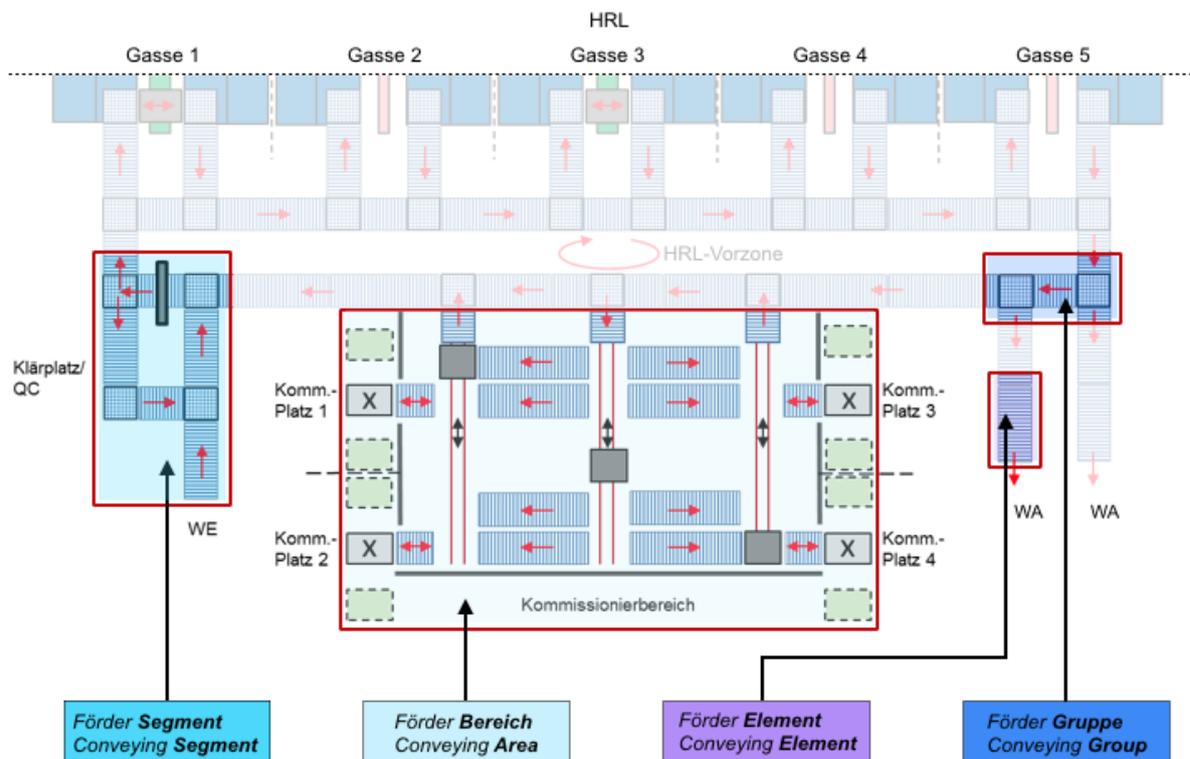


Abbildung 1.2: Anlagenkomponenten einer Förderanlage

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 Anlagegebilde 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.

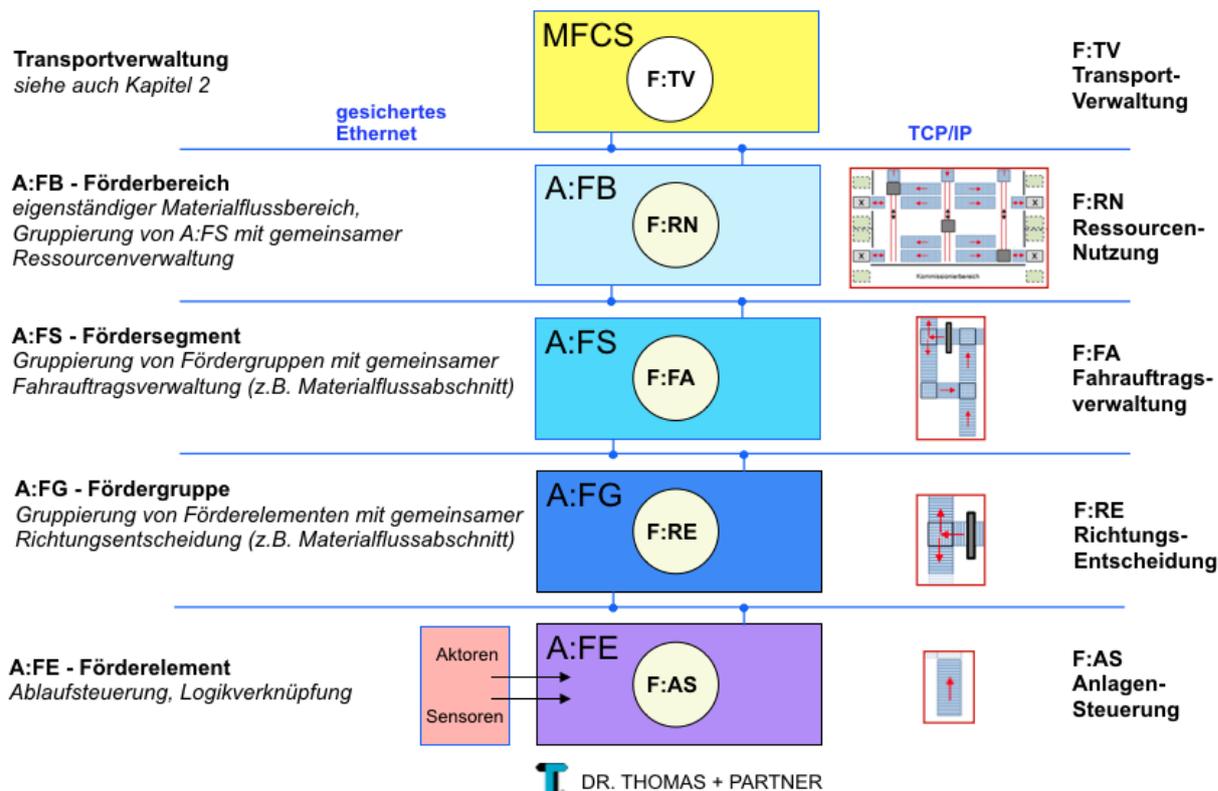


Abbildung 1.3: Förderkomponenten, die Anlagefunktionen in wiederverwendbare Einheiten kapseln

1.3 Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFC-System und dem TS-System

Mit der Modularisierung von Förderanlagen nach SAIL sind schrittweise neue Perspektiven bei der System-Modulierung möglich, d.h. die Aufgabenzuordnung können angepasst werden an die rasante Hardwareentwicklung und den damit erreichbaren Prozessreaktionszeiten.

Eine mögliche System-Modulierung ist die klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem TSS und dem MFCS. Die anlagennahen Förderkomponenten, welche die beschriebene Anlagensteuerung F:AS und die Richtungsentscheidung F:RE in wiederverwendbare Einheiten kapseln bilden die Grundlage für die Modulierung des klassischen TS-System (z.B. einer **SPS**).

Passend zu dieser Aufgabenzuordnung, werden Funktionsebenen F:FA, F:RN, F:TV, die keinen Bezug mehr zu den fördertechnischen Komponenten haben, auf dem MFC-System abgebildet (Abbildung 1.4).

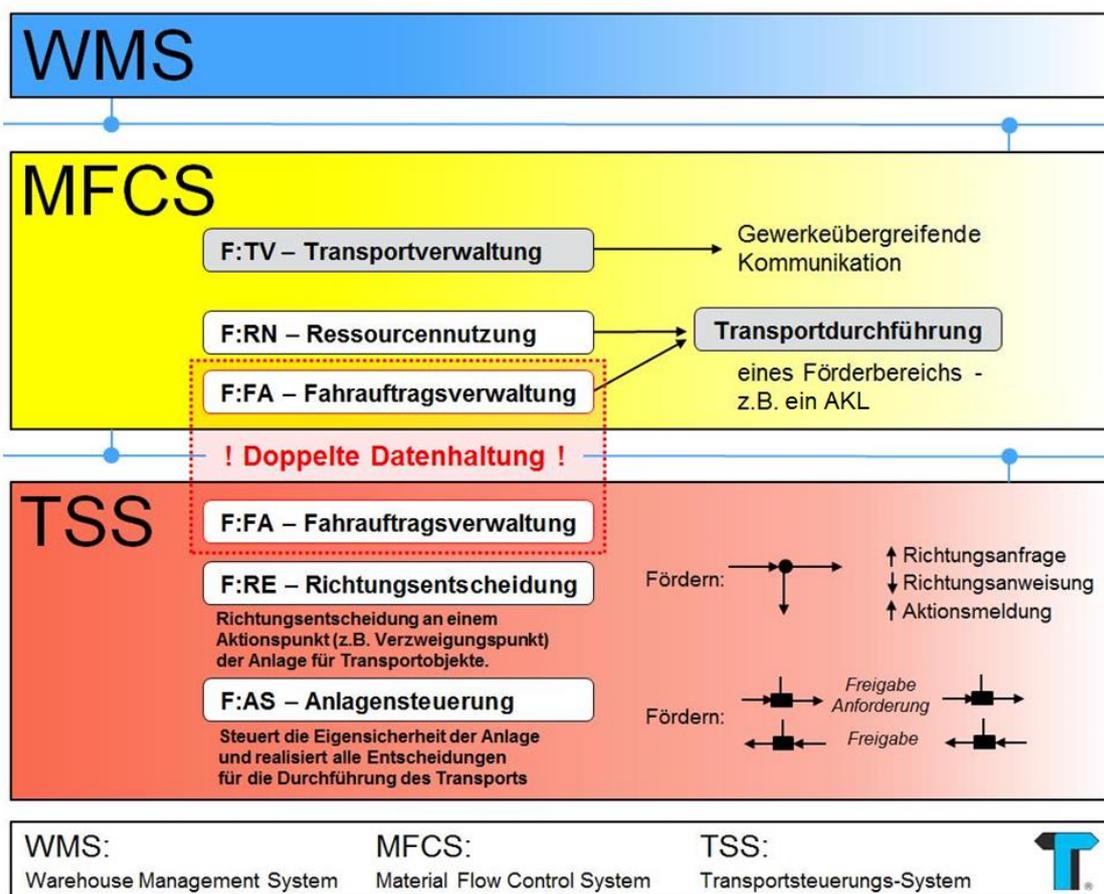


Abbildung 1.4: Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS

Anmerkung: Eine **SPS** ist ein speicherprogrammierbares Steuerungsgerät und ein elektrisches Betriebsmittel, welches mit einer anwenderorientierten Programmiersprache, gemäß seiner jeweiligen Steuerungsaufgabe programmierbar ist.

1.3.1 Gewerkeübergreifende Materialflusssteuerung (klassische Aufgabenzuordnung)

Zur Verdeutlichung betrachten wir innerhalb eines Distributionszentrum die Fahrauftragsverwaltung F:FA am Beispiel des Transportauftrags (F:TA) eines Nachschubkartons von einem automatischen Kartonlager AKL zum Zielbereich Kommissionierung. Der Transportauftrag (F:TA) des Nachschubkartons wird in einzelne Fahraufträge (F:FA) untergliedert. Der Fahrauftrag (F:FA) gilt immer nur bis zum Erreichen der Fördergrenze. Der Nachschubkarton im AKL ist eine BestandsEinheit, und als Lagereinheit LE 4711 in der Bestandsverwaltung gebucht.

Über eine industrietaugliche Protokollübertragung erfolgt der Nachrichtenaustausch:

- I) MFCS überträgt als Nachrichtendatenblock den ersten Fahrauftrag F:FA_x an das TSS (vereinfachte Darstellung)
 - Auslagerauftrag F:FA_x Lagereinheit 4711
 - F:TA Quelle AKL x,y,z (Gasse, Tiefe, Höhe)
Ziel AKL // Vorzone (nächster Förderbereich)
 - DT: Data Transfer

- II) Nachrichtenaustausch TSS → MFCS
Ankunftsmeldung.
 - F:TA AKL // Vorzone
 - F: FA_x LE 4711
 - DC: Data Confirmation

- III) MFCS überträgt Folgeauftrag an TSS
 - F: FA_{x+1} LE 4711
 - F: TA Weitertransport von Vorzonenfördertechnik zum
nächsten Förderbereich Kommissionierung

Anmerkung: Die Parallelität von Förderfluss (Prozessfluss) und Datenfluss muss immer gewährleistet sein. Der Grund dafür ist die Vermeidung von Datenverlust. Damit wird die **fördertechnische Schnittstelle (//)** zwischen dem Gewerk AKL und den Gewerk Vorzonenfördertechnik auch eine **Steuerungs-, und Datenschnittstelle**.

Anhand diesem Szenario wird klar:

Das TSS verwaltet und steuert den Nachschubkarton LE4711 gemäß der vom MFCS übertragenen Fahrauftrag F:FA_{x+n} bis zur jeweiligen Fördergrenze. Die LE4711 ist als Bestandseinheit gebucht und wird bei dieser Systemmodulierung parallel auf dem MFCS und dem TSS verwaltet (Abbildung 1.5).

Als Ergebnis erkennt man eine **doppelte Datenhaltung** mit allen Nachteilen dieser Ausprägung:

- Wiederanlauf bei einer Störung
- Kostentreiber sind Implementierungs-Aufwände
- Nachteile im Remotezugriff bei dem Einsatz von Werkzeugen

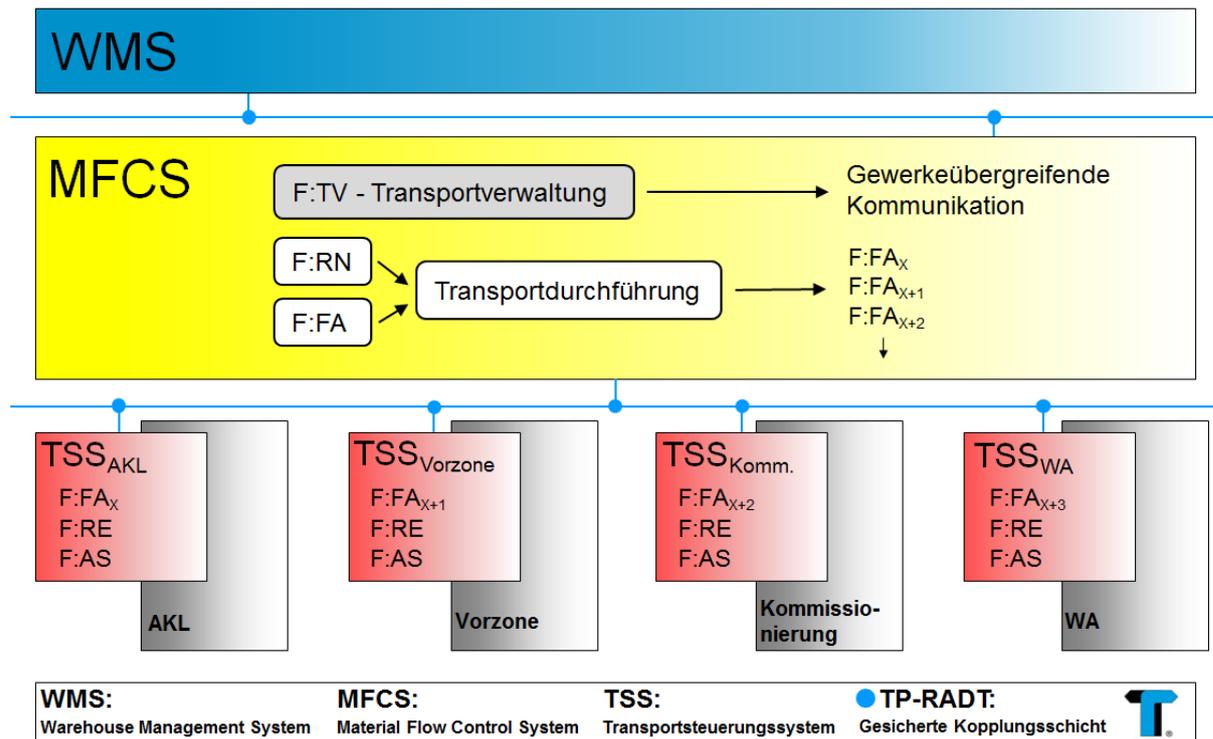


Abbildung 1.5: Gewerkeübergreifende Materialflusssteuerung (Klassische Aufgabenzuordnung, vergleiche Kapitel 2.2.1)

1.3.2 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 bringen 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.

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 (Abbildung 1.6).

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** (= **Reliable Application Data Transfer by Dr. Thomas + Partner**) realisiert, die einen geblockten Telegrammaustausch über Streamsocket auf TCP/IP (siehe Kapitel 4.2.4) ermöglicht.

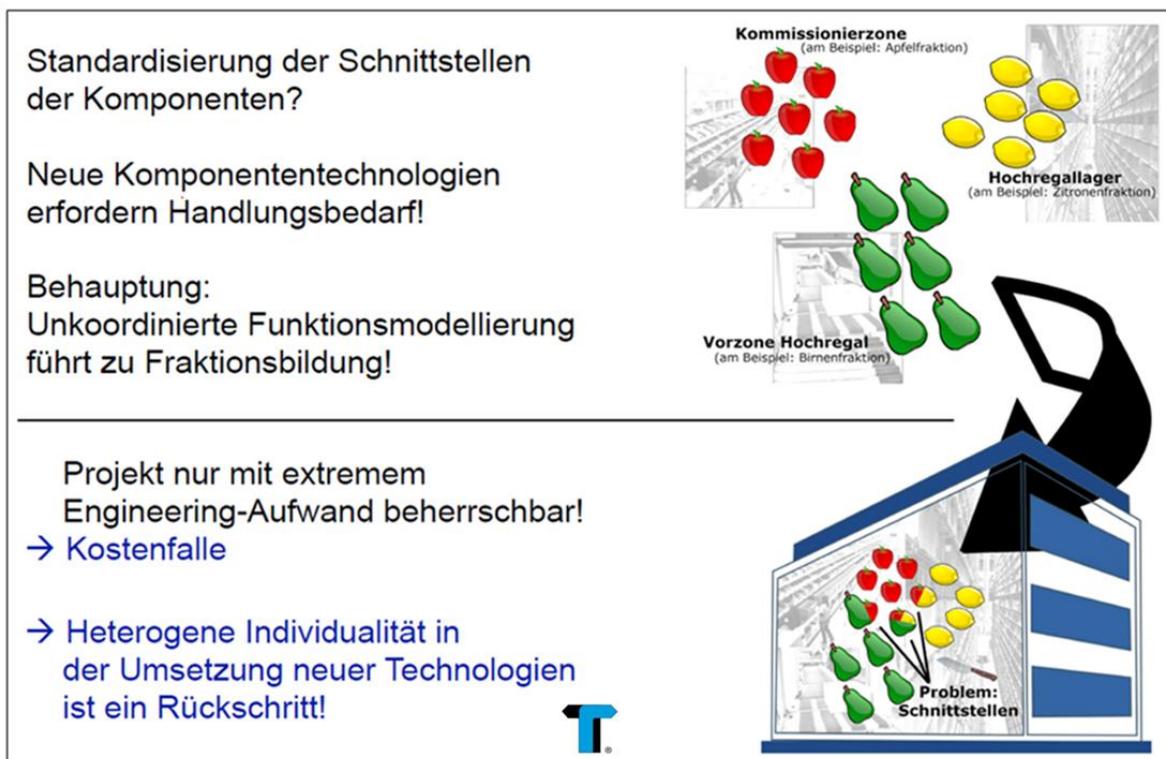


Abbildung 1.6: Schnittstellen-Problematik

1.3.3 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 1.4 und 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).

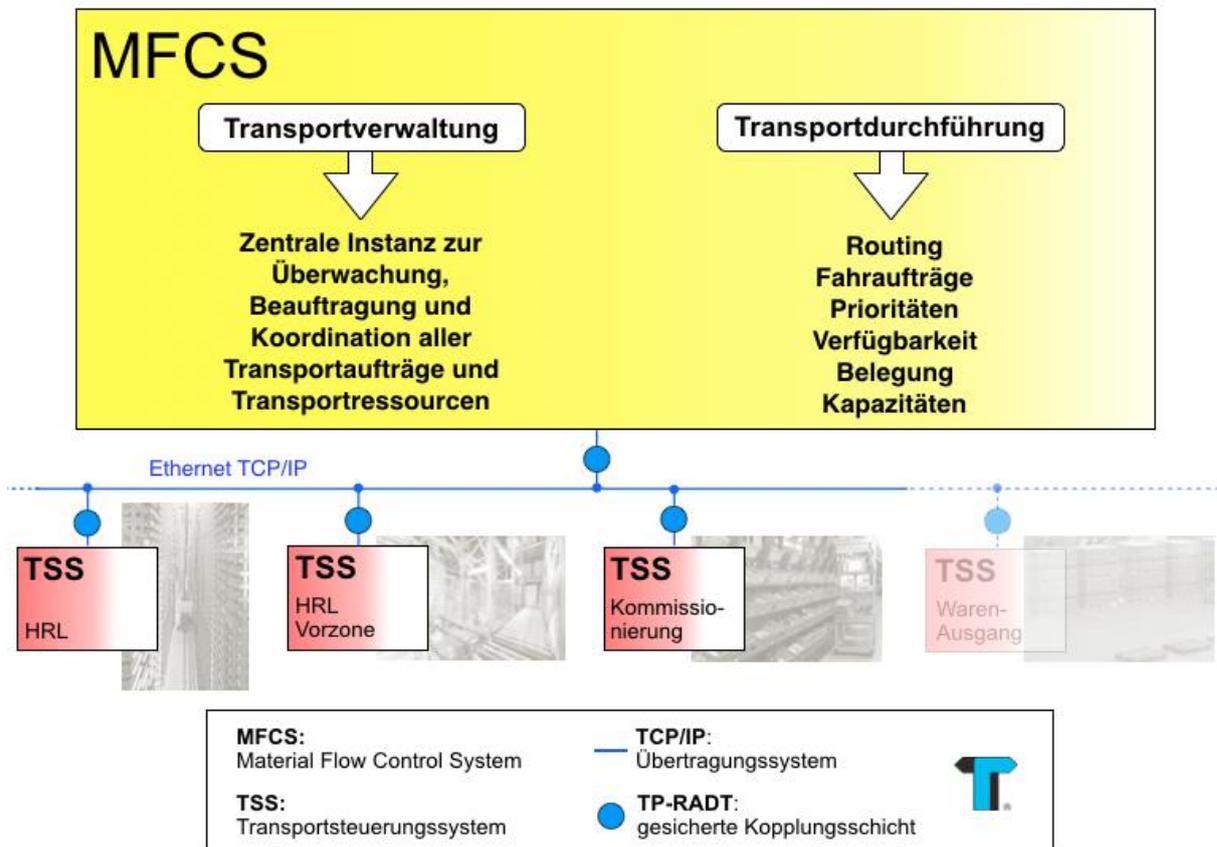


Abbildung 2.1: Aufgabenzuordnung des MFCS

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 die Aufgabe des MFCS, sondern der unterlagerten Steuerung TSS (Kapitel 1.3.1 „Klassische Aufgabenzuordnung“).

Um einen tieferen Einblick in die zentralen Funktionen des MFC-System zu gewinnen, sehen wir uns die **neue Aufgabenzuordnung** zwischen MFC-System und TS-Steuerung an.

2.2.1 Neue Aufgabenzuordnung zwischen MFCS und TSS

Die rasante Hardwareentwicklung und die damit erreichbaren Prozessreaktionszeiten führen zu einer verbesserten Systemmodulierung, ohne den Nachteil der doppelten Datenhaltung (vergleiche auch Kapitel 1.3). Die Funktionen Richtungsentscheidung F:RE und die Funktion Fahrauftragsverwaltung F:FA werden voll im MFCS abgebildet.

Hier gilt die Aufgabenzuordnung das MFCS rechnet und verwaltet und das TSS steuert (siehe Abbildung 2.2).

Das MFC-System überträgt an das TS-System „**online**“ die erforderliche Richtungsentscheidung F.RE für das Transportgut vor jedem Aktionspunkt (z.B. Verzweigungspunkt) mit nur **drei Telegrammen** (Data Transfer-DT: Richtungsanweisung für das Transportgut vor einem Aktionspunkt):

DT:TSS → MFCS: Richtungsanfrage für das Transportgut

DT:MFCS → TSS: **Richtungsanweisung für das Transportgut**

1) DT:MFCS → TSS: **bleibt stehen** (Staumeldung bzw. Zuflusssteuerung)

oder

2) DT:MFCS → TSS: **links ab**

oder

3) DT:MFCS → TSS: **rechts ab**

DT:TSS → MFCS: Auftrag ist durchgeführt.

Wir wollen unsere Diskussion über die Aufgabenzuordnung mit der Bemerkung abschließen, dass nicht nur für den beschriebenen Transportvorgang, eine Prozessreaktionszeit im niedrigen, zweistelligen Millisekundenbereich erreicht werden muss, sondern auch im gesamten Förderbereich eines Distributionszentrums.

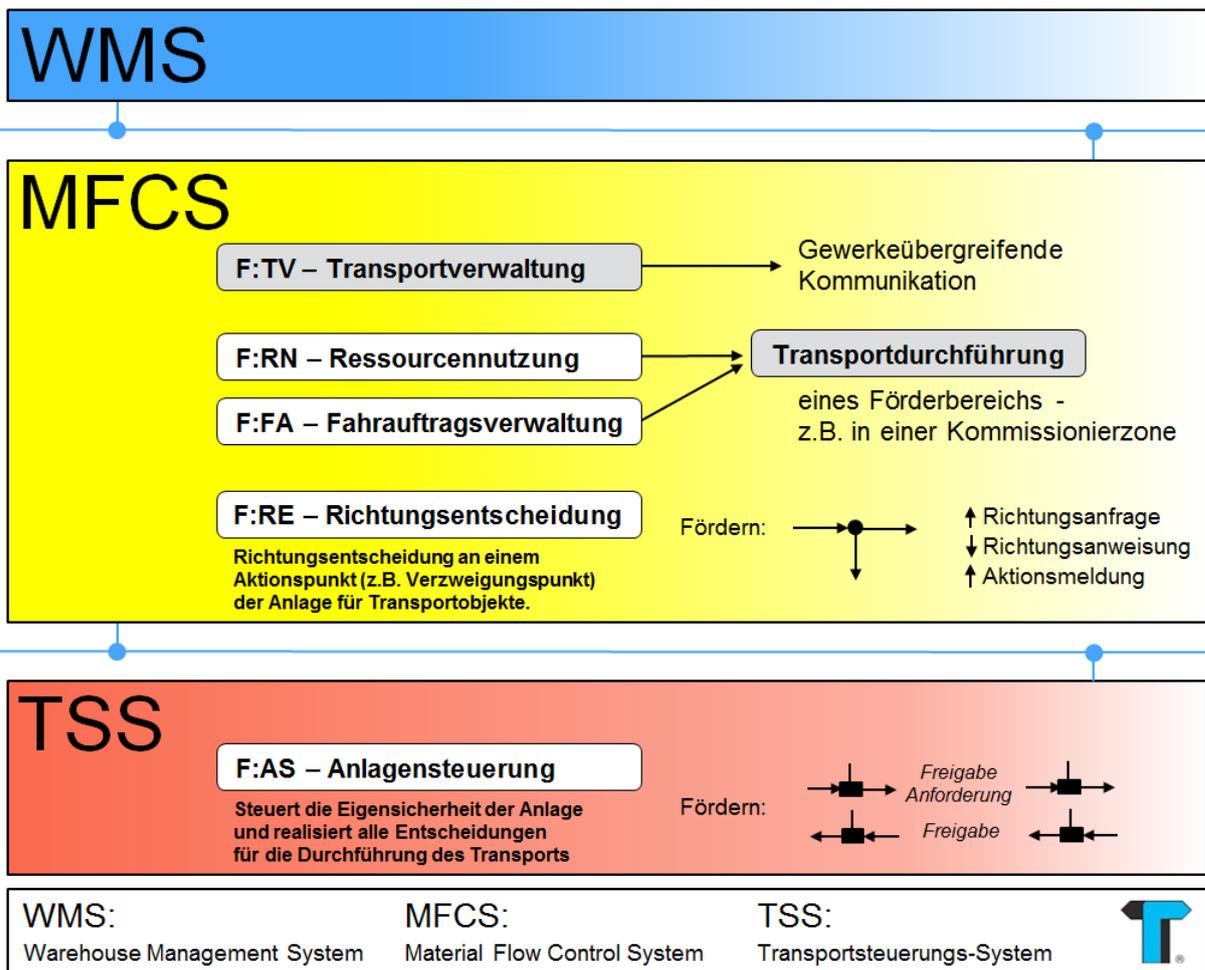


Abbildung 2.2: Neue Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS

2.3 Grundlagen für eine standardisierte MFCS-Entwicklung

Mit der neuen Aufgabenzuordnung zwischen MFC-System und TS-Systemen in Kapitel 2.2.1 sind die Voraussetzungen für eine standardisierte Lösung erarbeitet.

Wir erinnern uns nochmals:

das MFC-System steuert an jedem Aktionspunkt innerhalb der Gesamtanlage **online** den Transportfluss, und entscheidet immer unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Anlagenressourcen über die effektivsten Transportrouten. Diese logistischen Vorgaben bilden die Grundlagen der MFC-System-Weiterentwicklung. Eine standardisierte Lösung gelingt durch die Abbildung der statischen und dynamischen Anlagenressourcen in einer hierarchischen Abbildung.

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:

Die statischen Anlagenressourcen sind durch das Anlagen-Layout vorgegeben und werden in der Ebene Anlagenmatrix abgebildet. Damit liegt dem MFCS ein statisches Abbild der Förderanlagen zugrunde, welches auf einem Konfigurationssystem erstellt bzw. gepflegt wird (Abbildung 2.3). Die Förderanlagen werden als Netz von Wege- und Aktionspunkten abgebildet. Mit diesem Ansatz wird die Anlagenmatrix aus folgenden Daten erzeugt:

- Aktionspunkten
- Wege als gerichtete Verbindungen zwischen zwei Punkten
- Fahrplan-Einträge, welche definieren, auf welchem 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.

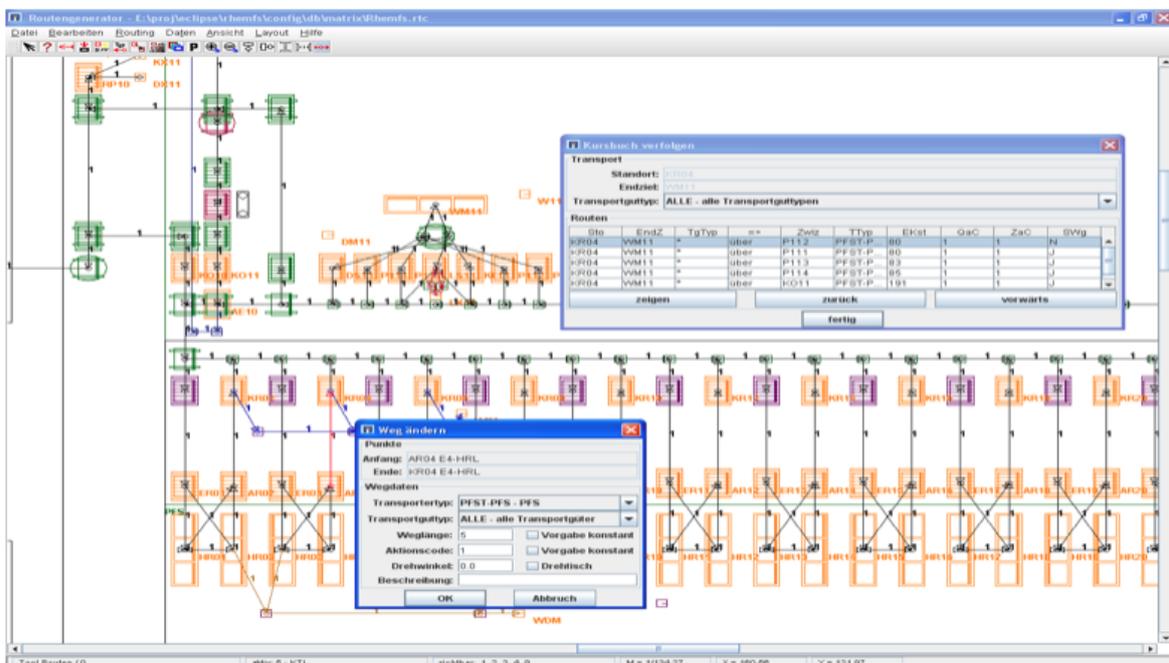


Abbildung 2.3: Anlagenabbild (Teilansicht). Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche wird das Anlagenbild im MFCS abgelegt

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 (Kursbuch) der Quelle/Zielbeziehungen.

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 Anlagenressourcen 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.
- Stauvermeidung: Zeigt das dynamische Abbild einer Anlagenressource. Entsteht hier ein Förderstau, greift **online** die Zuflusssteuerung (siehe Kapitel 2.2.1).

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)
- 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 2.4 ist das Groblayout abgebildet. Zur Abbildung der logistischen Prozesse sind folgende Fördermittel im Einsatz:

- 102 Stapler
- 18 Regalbediengeräte (RBGs)
- 4 Palettenfördersysteme
- 1 Leichtförderanlage
- 1 Sortieranlage

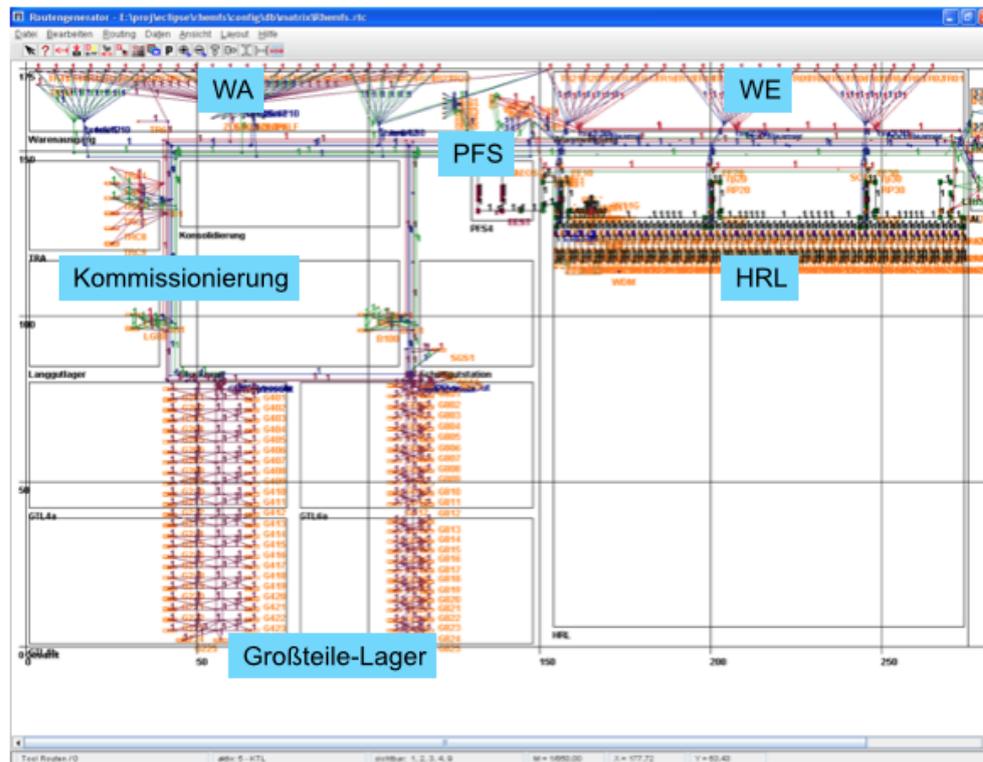


Abbildung 2.4: Praxisbeispiel: Groblayout eines Distributionszentrums

Die auf der Basis erzeugte Routingtabelle, das Kursbuch arbeitet mit:

510 Punkten:

Jeder Punkt kann als Quelle oder Ziel fungieren.

26.000 Punkten Wegebeziehungen:

Transportwege von einem zum nächsten Aktionspunkt.

88.000 Quelle-Senke-Beziehungen:

Das Kursbuch zeigt z.B. folgende Quelle-Senken-Beziehungen auf: Eine Palette soll aus dem HRL (Gasse 8, Ebene 4, Stellplatz 42) über eine Palettenförderertechnik und nachfolgenden Staplertransport zu einem vorgegebenen Warenausgangspunkt gefördert werden.

Zusammenfassend wird als Ergebnis gezeigt, dass in diesem Distributionszentrum, mit der Implementierung des hierarchischen Konzepts, **ein innovatives MFC-System** jederzeit den optimalen Durchsatz gewährleistet.

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 1.3.2 „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 (vergleiche Kapitel 1.3.2 „Anforderungen an die gewerkeübergreifende Kommunikation“).

2.6 Auf dem Weg zur Schaltschranklosen Fabrik

Der Trend zur Schaltschranklosen Fabrik entwickelte sich langsam in den 90er Jahren 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 Steuerungslogik und die Einspeisung

Der Stand der Technik heute – klassische Aufgabenzuordnung MFCS und TSS

- Die Richtungsentscheidung F: RE und die Anlagensteuerung F: AS sind Teil des Transportsteuerungssystem (TSS) und damit integrierter Bestandteil der SPS bzw. 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 1.4 in Kapitel 1).
Neuer Ansatz durch stetige Software-Optimierung und immer potenterer Hardware werden heute in der Praxis bei MFC-System Prozessreaktionszeiten <15 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 Fördererelement hat seine eigene Steuerungslogik
- Das MFC-System ist jetzt direkt über eine Fremdsystemkopplung (gesicherter TP-RADT) mit den Fördererelementen im Lager verbunden, wenn jedes Fördererelement

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

Wie in Abbildung 2.5 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 Fördererlemente 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

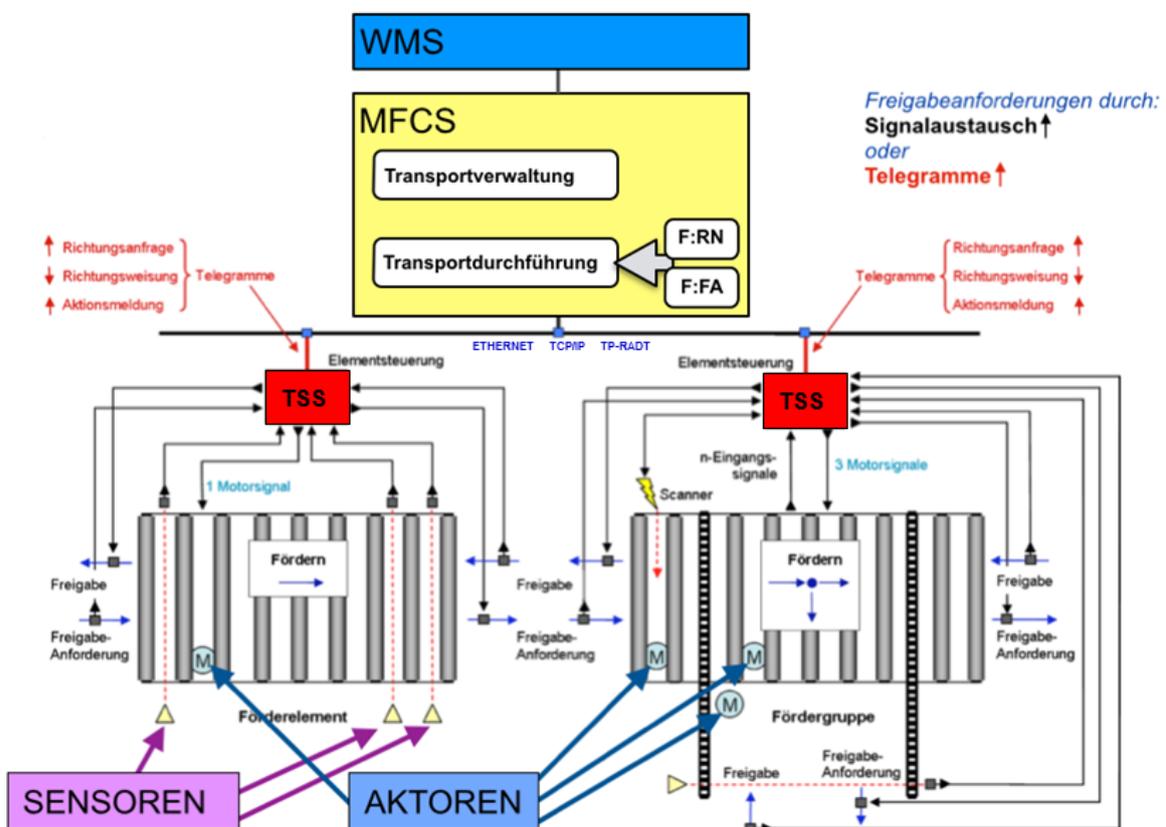


Abbildung 2.5: Neue Funktionskonfiguration (MFC-System über TP-RADT mit den Fördererlementen verbunden)

Die Fördererlemente 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 Fördererlemente 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 Erstinbetriebnahme können so Fördererlemente 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 2.5).

2.6.1 Effizienzpotential bei elektrischen Antrieben

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

- IE2 - für gehobenen Wirkungsgrad
- IE3 - für Premiumwirkungsgrad
- 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 CO₂-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 2.6 sind die Vorteile der beschriebenen Technologie einer Schaltschranklosen Fabrik graphisch aufbereitet.

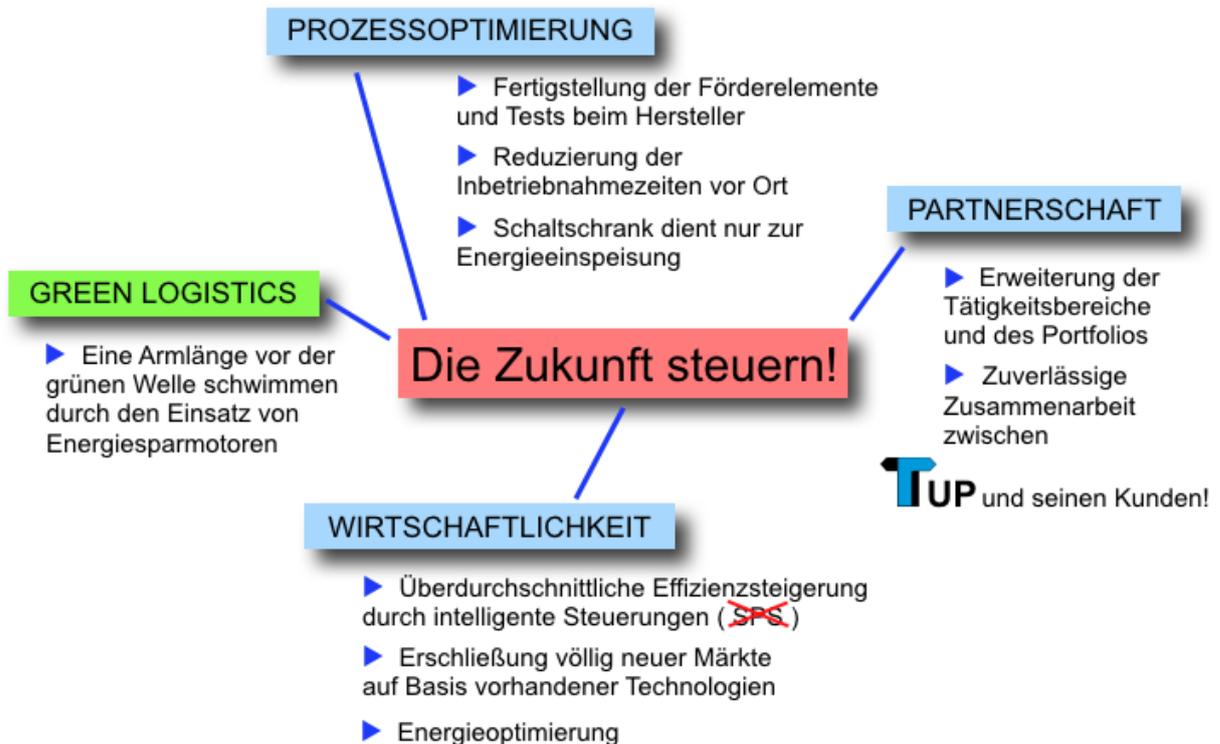


Abbildung 2.6: Die Vorteile der Schaltschranklosen Fabrik

2.7 Einordnung des MFC-System in die Systemlandschaft

Die Abbildung 2.2 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 2.5).

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 Fördererlemente 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 2.7).

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 zusammengestellt 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“).

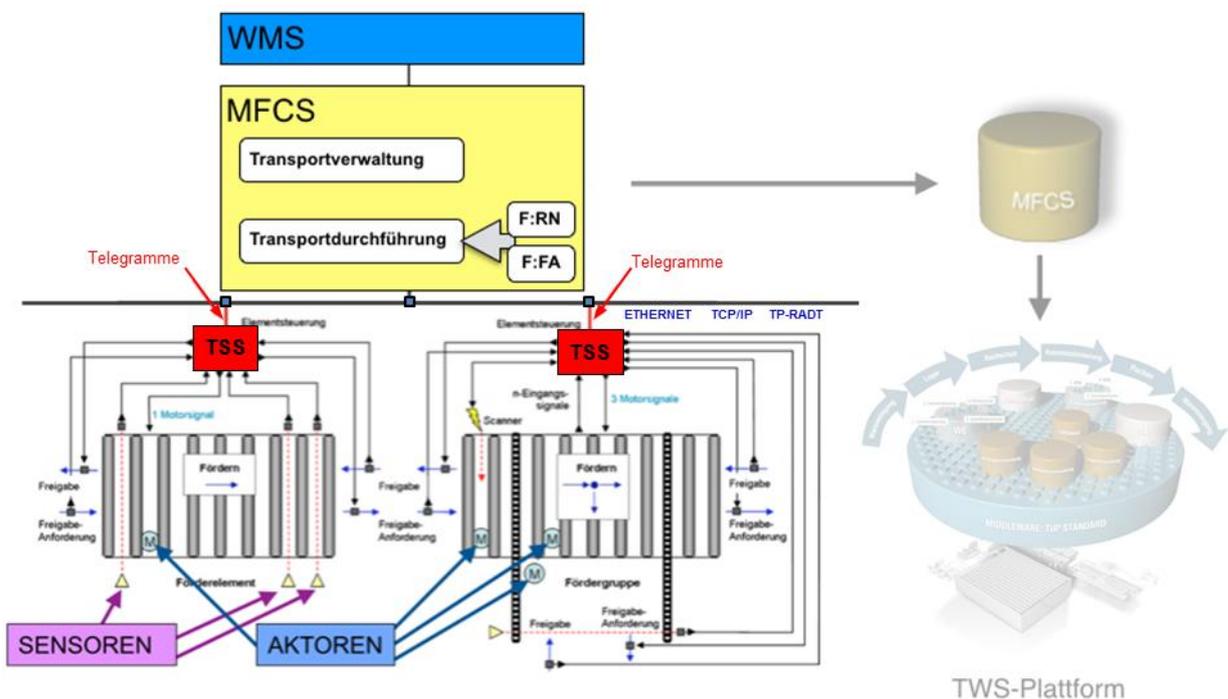


Abbildung 2.7: Adaptiver Prozessbaustein MFCS

2.7.2 Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme

Für ein lauffähiges Kundensystem spielt die in Abbildung 2.8 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

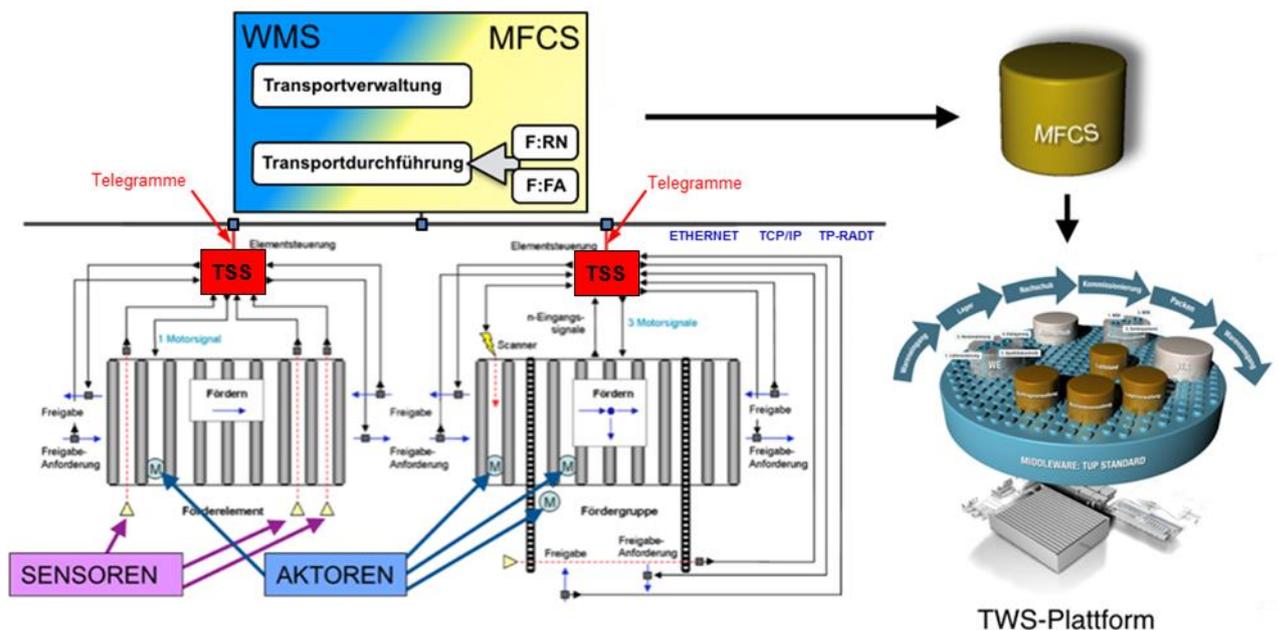


Abbildung 2.8: Komponenten-Architektur adaptiver MFC-Systeme

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 (siehe Kapitel 3.1.2)
- 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 Mit 1 D-Codes zum autonomen Wareneingang (WE)

Entlang der Geschäftsprozesse - vom Hersteller (Versender) zum Warenverteilzentrum (Empfänger) - ist die codierte Information (GS-Standard) das Bindeglied zwischen dem Informationsfluss und dem Materialfluss (siehe auch Kapitel 5.2.1).

Mit dem Praxisbeispiel soll verdeutlicht werden, auf welchen Grundlagen Digitalisierung und Automatisierung bei einem autonomen Wareneingang (WE) beruhen.

Sollen im WE eines Distributionszentrum Lagereinheiten (LEs) mit SSCC-Labels unterschiedlicher Hersteller ausgeliefert, und 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) Um Kostentreiber zu vermeiden, kann die omnidirektionale Lesung im laufenden Förderfluss mittels CCD-Kameras durch Applizieren eines vorgefertigten Over-Corner-Label (OCL) preisgünstiger gestaltet werden (siehe Abbildung 3.1).

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)

3.2 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.

3.2.1 GS1 Complete

Alle Beteiligten entlang der Supply Chain sollten der Organisation GS1 angehören, welche weltweit einheitliche Voraussetzungen 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. Der GS1 setzt sich aus fest definierten Datenträgern zusammen (Abbildung 3.2):

Fest definierte Zusammensetzung des GS1:

- **GLN: Global Location Number**
(früher: ILN: Internationale Lokationsnummer)
- **GTIN: Global Trade Item Number**
(früher: EAN: Internationale Artikelnummer)
- **SSCC: Serial Shipping Container Code**
(früher: NVE: Nummer der Versandeinheit)
- **EAN 128-Datenbezeichnerstandard**
- **Datenbezeichner (Application Identifier)**

Abbildung 3.2: Zusammensetzung des GS1-Datenträgers

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 3.3: GTIN/EAN 13):



Abbildung 3.3: 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 Abbildung 3.4: Prinzip GS1).

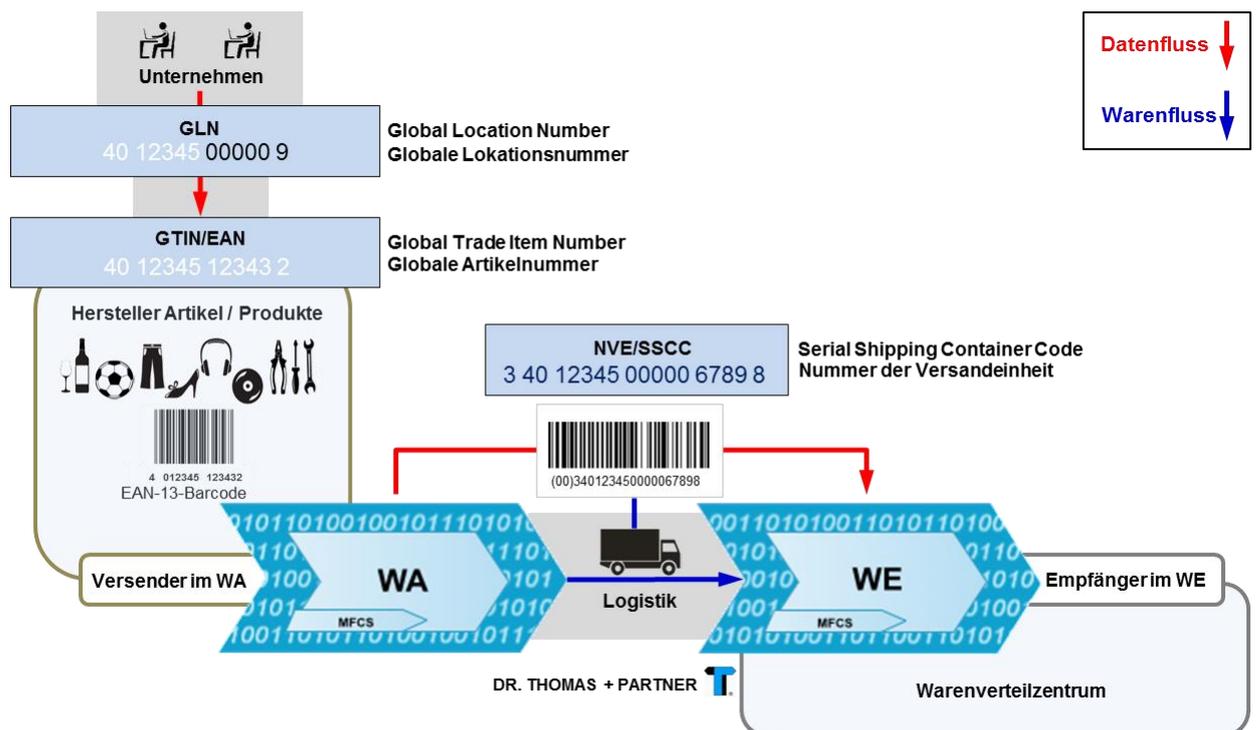


Abbildung 3.4: Prinzip GS1

Dieser Vorgang ist heute leider noch nicht selbstverständlich. Häufig entstehen bei der Analyse dieser Geschäftsprozesse (siehe Kapitel 5) vermeidbare und immense Kostentreiber, wenn die Parallelität von Datenfluss und Warenfluss nicht gewährleistet ist.

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 3.4 und 3.5).

Jeder Artikel erhält so ein unverwechselbares Etikett, das ihn innerhalb einer bestimmten Verpackungshierarchie identifiziert.

Beispiel eines Code nach GS1-128: SSCC (Serial Container Shipping Code)



Abbildung 3.5: 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 3.4 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 3.6).

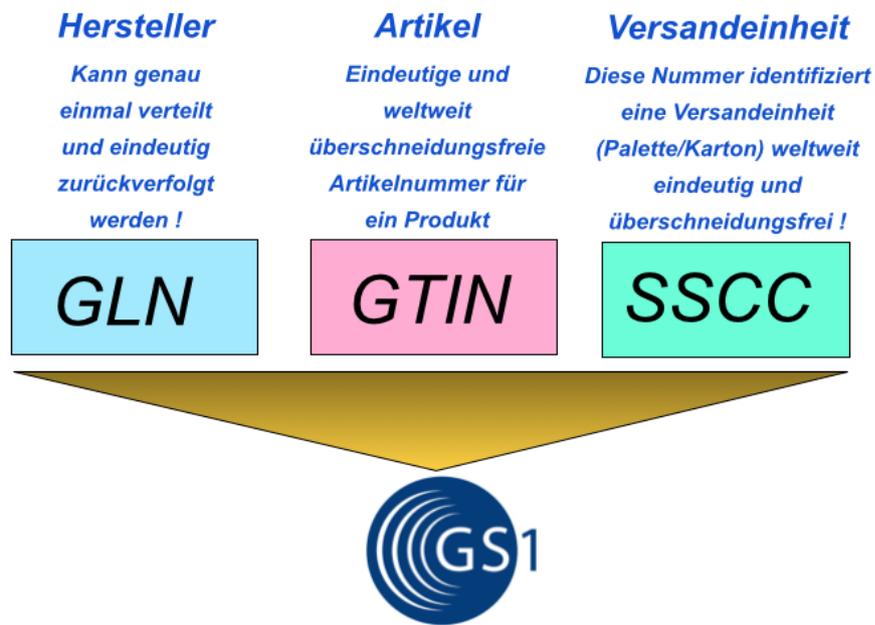


Abbildung 3.6: GLN, GTIN und SSCC im Verband GS1

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 die eindeutige Identifizierung 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 3.7).

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 3.7: Datenbezeichner-Tabelle (Ausriss)

3.3 Lesegeräte

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

3.3.1 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 Schwingungsspiegel, 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 (Foto-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 in Kapitel 5.2: die Abbildungen 5.6 und 5.7)

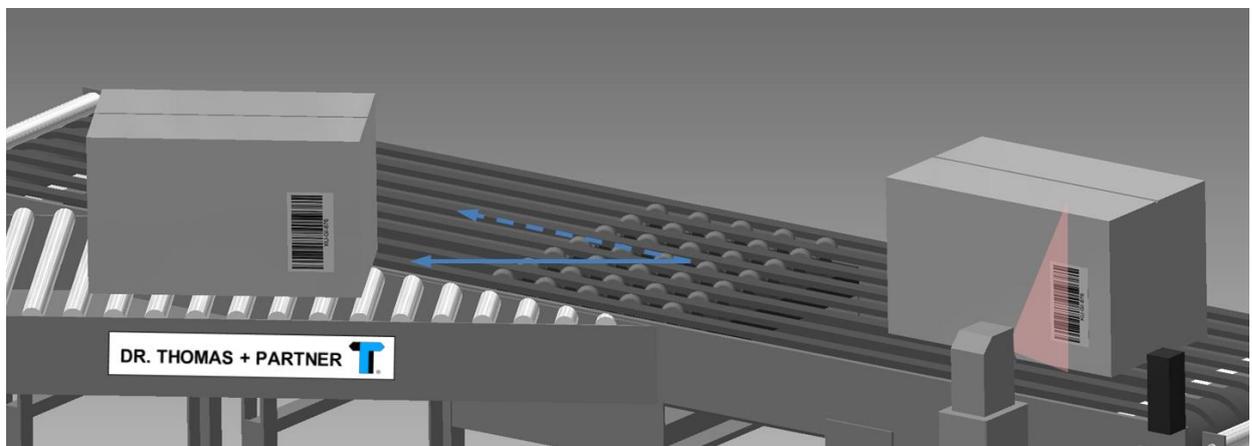


Abbildung 3.8: Stationärer Scanner an Verzweige-Punkt an Fördertechnik

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



Abbildung 3.9: Mobile Datenerfassung im Ersatzteilbereich Aviation

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



DR. THOMAS + PARTNER

Abbildung 3.10: Smart Mobile-Logistik

3.3.2 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 Beispiel 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 3.11).

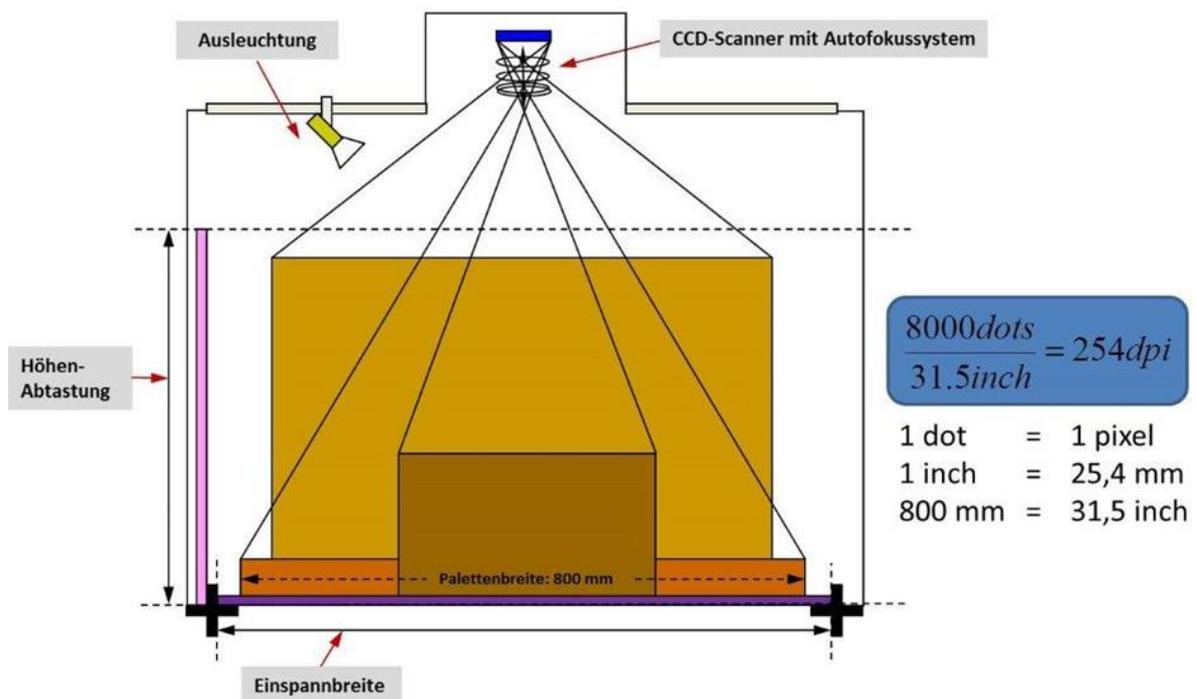


Abbildung 3.11: Prinzipskizze eines CCD-Scanners mit 8k CCD-Zeile

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

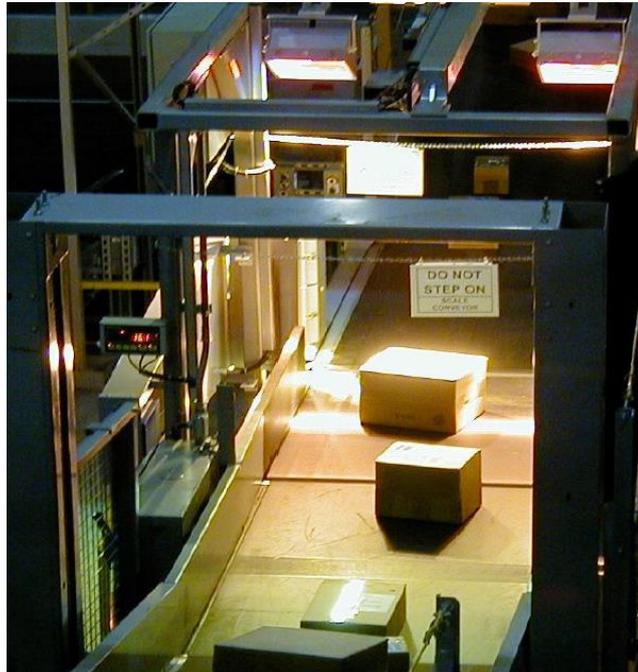


Abbildung 3.12: CCD-Kameras im Einsatz: Mehrseiten-Warenidentifikation, Wägung und Vermessung von Paketen im Wareneingang

3.4 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 - Responder: Sende-Antwortgerät (Kunstwort)
- Lesegerät- Auswerte-Einheit
(das trotz seines Namens bei Einsatz aktiver Tags sowohl die Information auslesen und den Tag beschreiben kann)

3.4.1 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 3.13 „Übersicht über die Frequenzbereiche“).

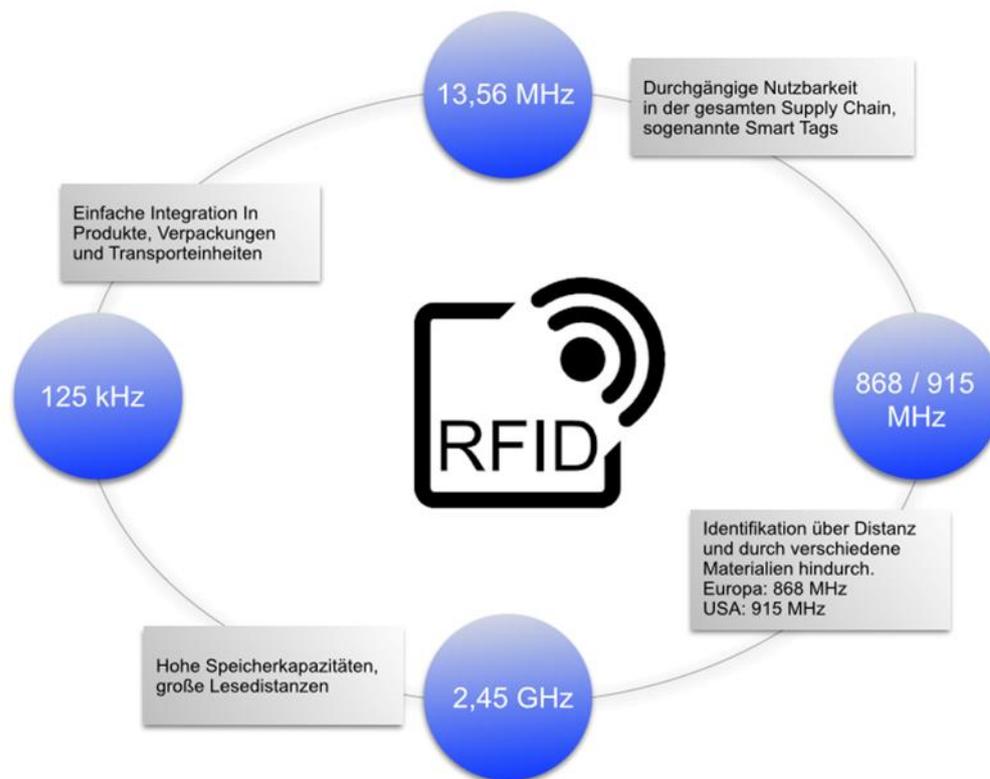


Abbildung 3.13: Übersicht über die Frequenzbereiche

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 (Vicinity 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.



Abbildung 3.14: Smart Labels mit Barcodes auf Rolle (Quelle: www.rfid.bg/en)

Vorteile:

- Weitgehende Lageunabhängigkeit beim Lesevorgang der Smart-Labels
- Identifizierung von Fördermitteln bei denen das Smart-Label in das Material eingearbeitet ist. 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 just-in-time-Erstellung von Tags
- Tag nicht kombinierbar mit Klarschrift (Praxisbeispiel: Transportbehälter mit eingearbeiteten Tag musste nachgerüstet werden)

3.4.1.1 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 Standard One (GS1) gegeben. Damit ist eine durchgängige Nutzbarkeit in der gesamten Supply Chain gegeben (Abbildung 3.15 „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).

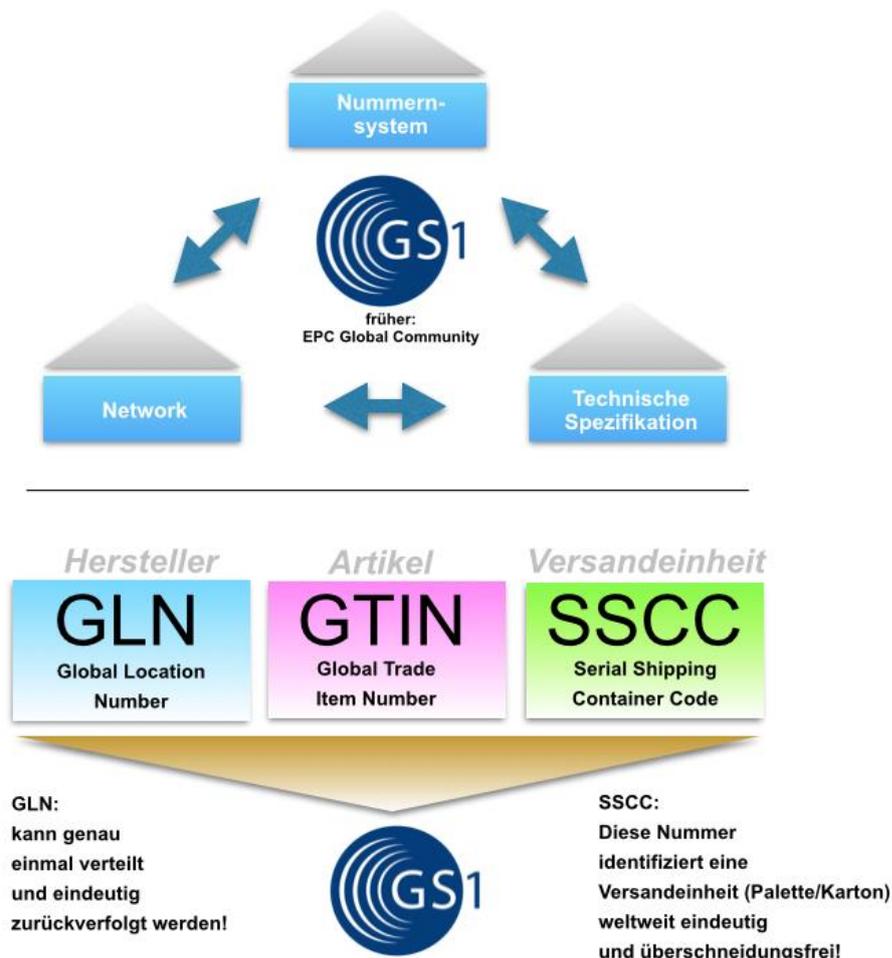


Abbildung 3.15: Kompatibilität GS1 und EPC

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-Ident-Fähigkeit).

Mit Hilfe der Multi-Ident-Fähigkeit sollen sich manuelle Zähl-, Scann-, Erfassungs-, und Kontrollvorgänge entlang der Supply Chain-Abwicklung vereinfachen lassen (Abbildung 3.16). Im Fokus der Intralogistik stehen die Geschäftsprozesse Wareneingangs- und Warenausgangs-Abwicklung.

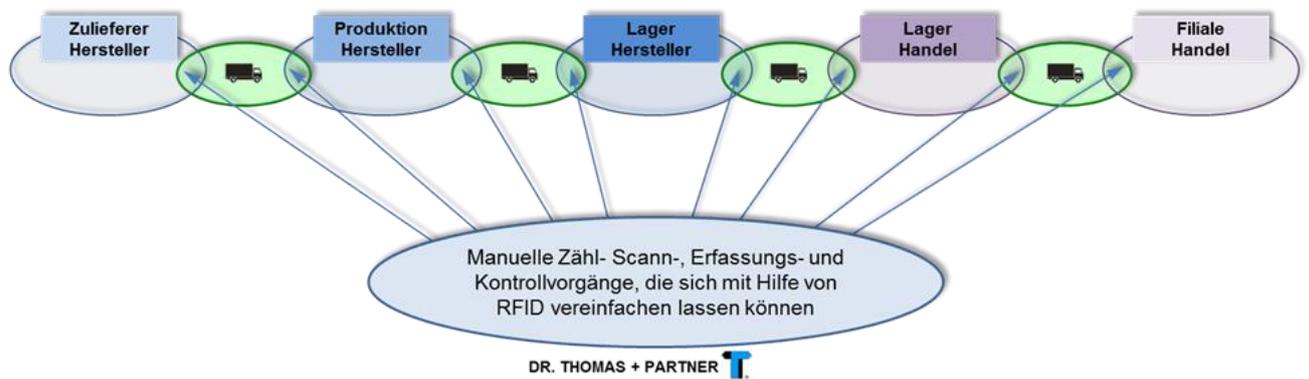


Abbildung 3.16: RFID-Einsatz entlang der Supply Chain

3.4.1.2 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.

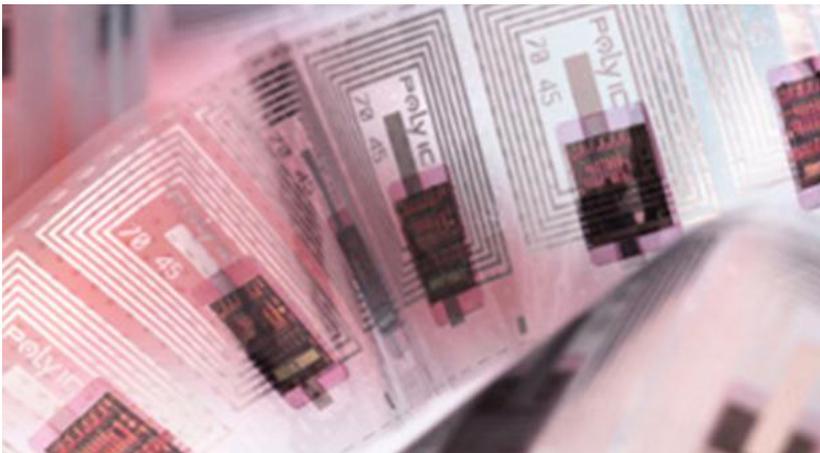


Abbildung 3.17: Gedruckte Tags (Bildquelle: www.polyic.de, 2015)

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.

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 8.

SEW Eurodrive - Auszug aus einem Firmenprospekt der Firma SEW vom 2012 - Seite 23.

Smart Label (Vicinty Standard der ISO 15693) - Seite 37.

“Computernetzwerke: Der Top-Down-Ansatz“ [James F. Kurose](#), [Keith W. Ross](#), [Pearson](#), 6. aktualisierte Auflage, 2014 - Seite 44.

“OSI-Schichtenmodell“ (Standard IEEE 802.2) - Seite 44.

“Ethernet“ (Standard IEEE 802.3) - Seite 48.

“Netzwerkzugangstechnik über WLAN“ (Standard IEEE 802.11) - Seite 55.

“Bluetooth-Netzwerkszugangstechnik“ (Standard IEEE 802.1.5.1) - Seite 55.

“Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker“ [Andreas Gadatsch](#), 7. Auflage, 2012 - Seite 60.

“Architektur, Methode, Prozess: Ein Business Analysis Framework“ [Jürgen Pitschke](#), 2012 - Seite 60.

“Dynamische Disposition: Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands- und Fertigungsdisposition“ [Timm Gudehus](#), 2012 - Seite 72.

“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 73.

“Erweiterung des Warenverteilzentrums der MCM Klosterfrau“
in: Logistik für Unternehmen 6/2009 [Dietmar Hoffbauer](#) - Seite 73.

“Feed Algorithmen“ [Ho et al.](#), 2008, [Ho & Tseng](#), 2006 - Seite 74.

“Lehrbuch der Softwaretechnik. Basiskonzepte und Requirements Engineering“ [Helmut Balzert et al.](#), 2009 - Seite 95.

“The Scrum Guide“ [Ken Schwaber](#), [Jeff Sutherland](#), 2015 - Seite 96.

“Entwurfsmuster der Brücke“ nach [Erich Gamma et al.](#), 2004 - Seite 95 und Seite 104.

“Framework“ nach [Ralph E. Johnson](#) and [Brian Foote](#), 1998 - Seite 106.

“Frameworks = Components + Pattern“ nach [Ralph E. Johnson](#), 1997 - Seite 107.

„Facade-Entwurfsmuster“ nach [Erich Gamma et al.](#), 2004 - Seite 110.

“Fünf Kriterien der Modularität“ nach [Bertrand Meyer](#), 1997 - Seite 111.

Abbildungsnachweise:

Abbildung 3.14: „Smart Labels mit Barcodes auf Rolle“ (Bildquelle: www.rfid.bg/en, 2019) - Seite 38.

Abbildung 3.17: “Gedruckte Tags“ (Bildquelle: www.polyic.de, 2015) - Seite 40.

Abbildung 4.9: „Smartwatch projiziert Information auf die Handfläche“ (www.a-su.com.cn, 2016) - Seite 56.

Abbildung 6.11: Komponenten des Frameworks. Struktureller Aufbau / Beziehungen ([Ralph E. Johnson](#), 1997) - Seite 107.

Abbildung 6.13: Subsystem ohne und mit Facade (Facade-Entwurfsmuster, [Erich Gamma](#), 2004) - Seite 109.