Zukunftsorientierte IT-Integration in der Logistik 2023

Kapitel 4: Gestaltung und Einsatz innovativer MFCS

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas

Karlsruher Institut für Technologie

IFL

www.tup.com

17. Mai 2023

Themenschwerpunkte

Zukunftsorientierte IT-Integration in der Logistik

Kapitel 1:
Warenidentifikation - Anwendung in der Logistik

Kapitel 2:
Datenkommunikation in der Intralogistik

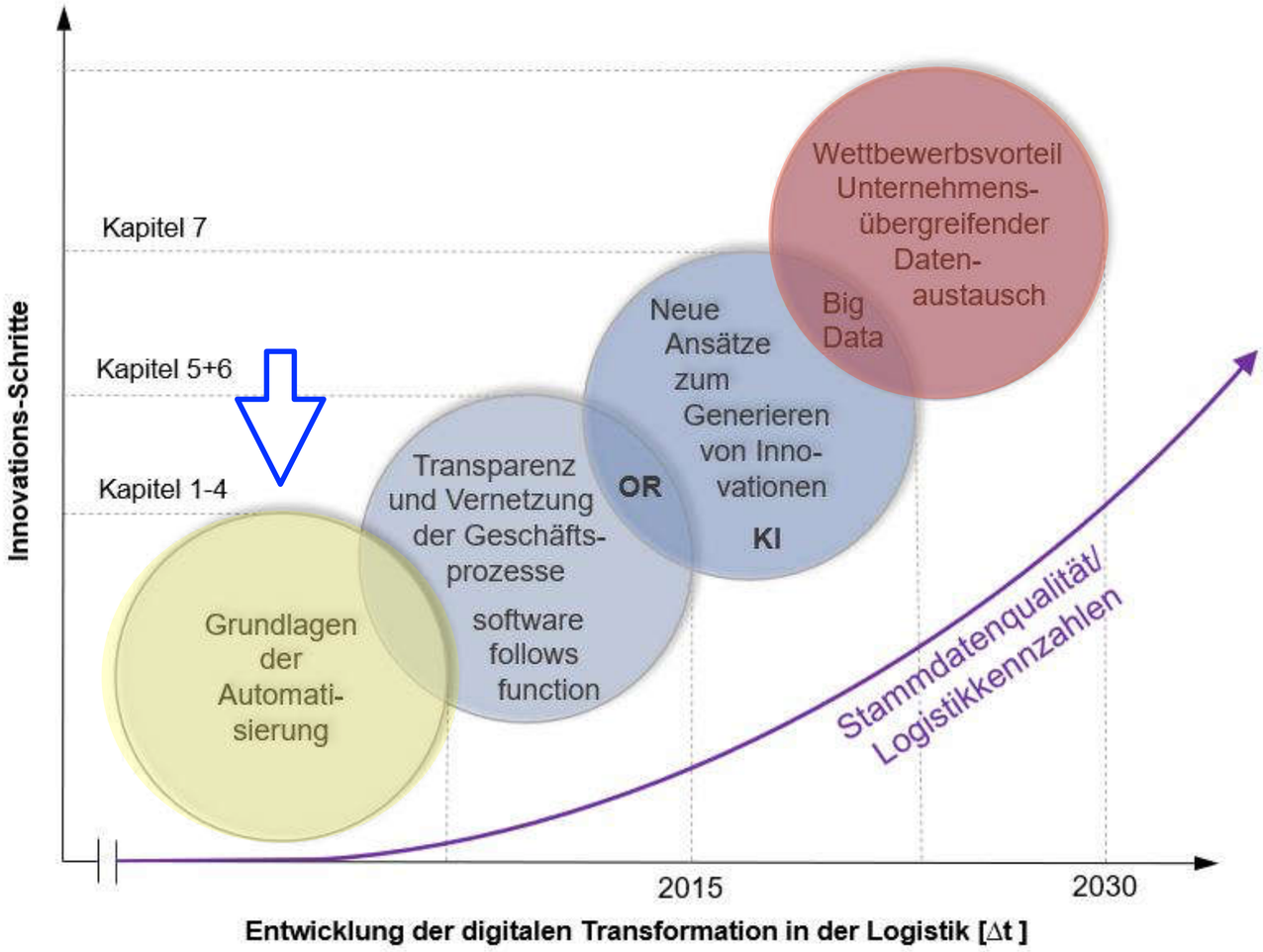
Kapitel 3:
Systemarchitektur für Intralogistiklösungen / Modularisierung von Förderanlagen

Kapitel 4 :
Gestaltung und Einsatz innovativer Material-Flow-Control-Systeme (MFCS)

Kapitel 5:
Transparenz und Vernetzung der Geschäftsprozesse

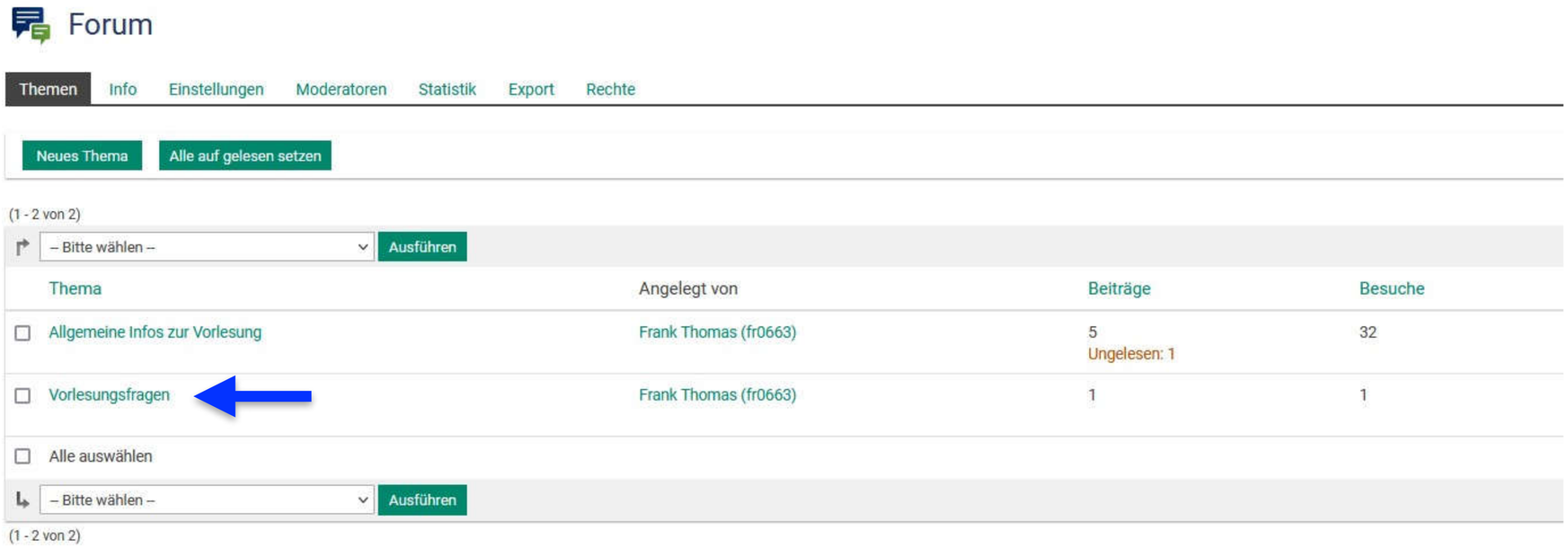
Kapitel 6:
software follows function - Software-Entwicklung nach industriellen Maßstäben

Kapitel 7:
Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen



Fragen für online-Zuhörer

Fragen können Sie am besten während und am Ende der online-Vorlesung im Forum im Ilias stellen!

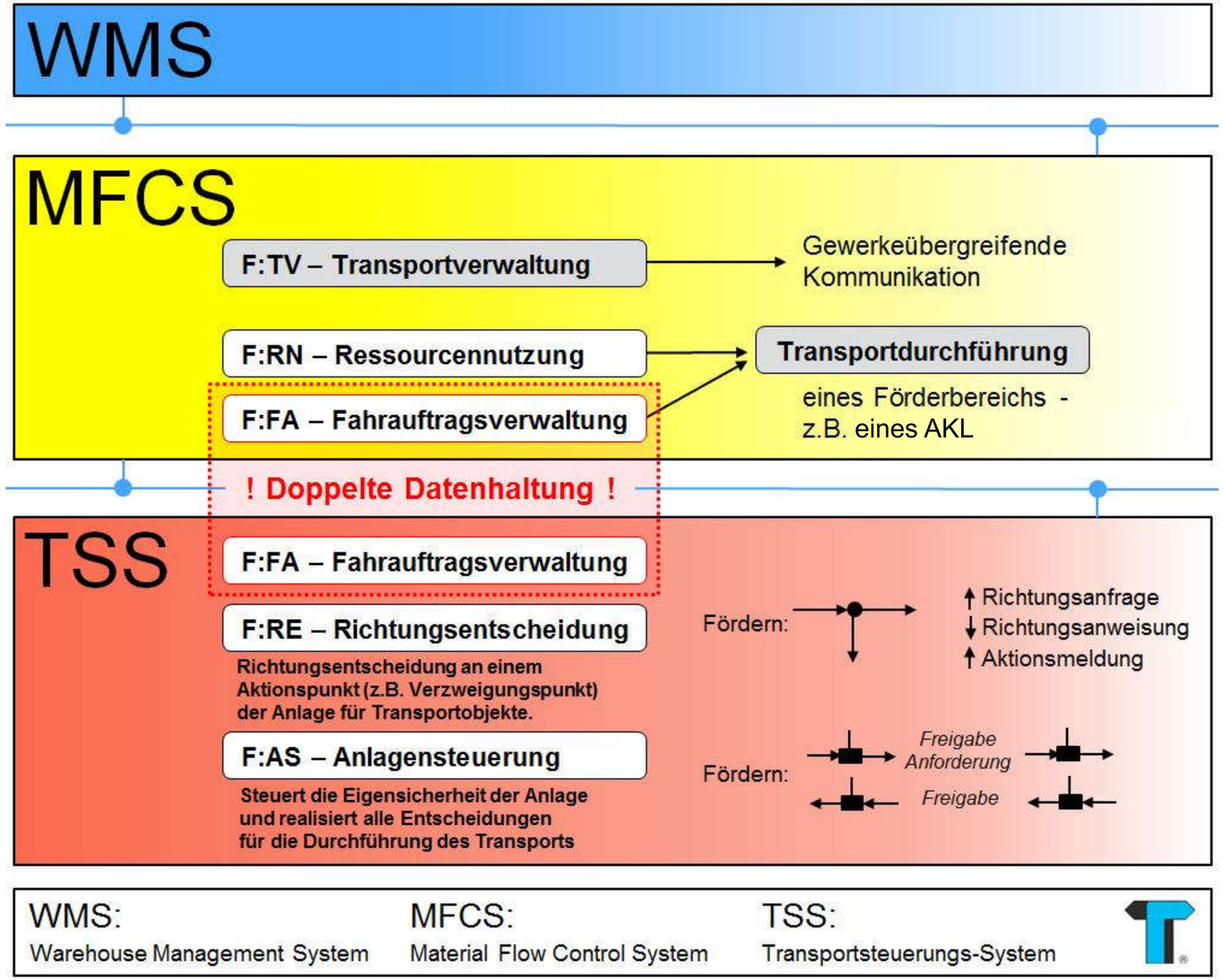


Zu Beginn der nächsten Vorlesung gehe ich auf Ihre Fragen ein.
Danke.

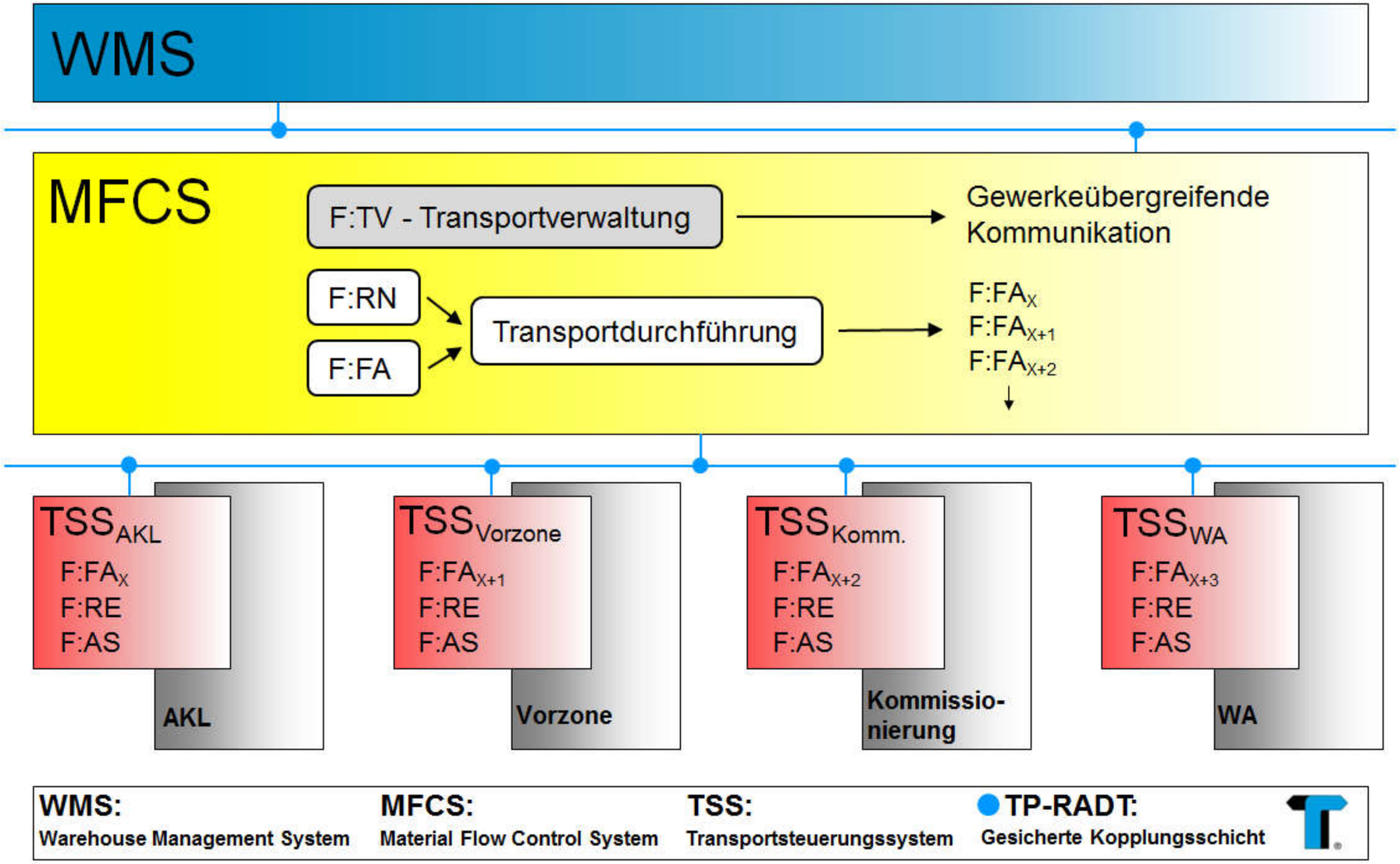
Aufgaben der Materialflusssteuerung

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

Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS



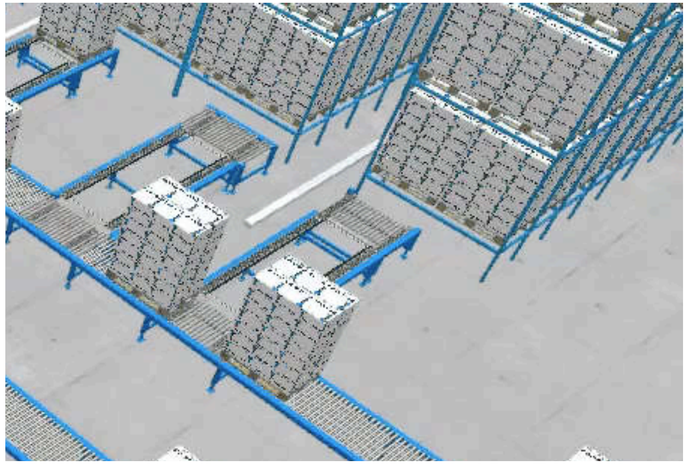
Gewerkeübergreifende Materialflusssteuerung (Klassische Aufgabenzuordnung)



Fahrauftragsverwaltung FA_X für Nachschubkarton aus AKL

Nachrichtenaustausch: **MFCS** ⟷ **TSS**

MFCS überträgt als Nachrichtenblock den Fahrauftrag FA_X an das TSS (vereinfachte Darstellung):



Übergabe AKL auf Fördertechnik (Vorzone)

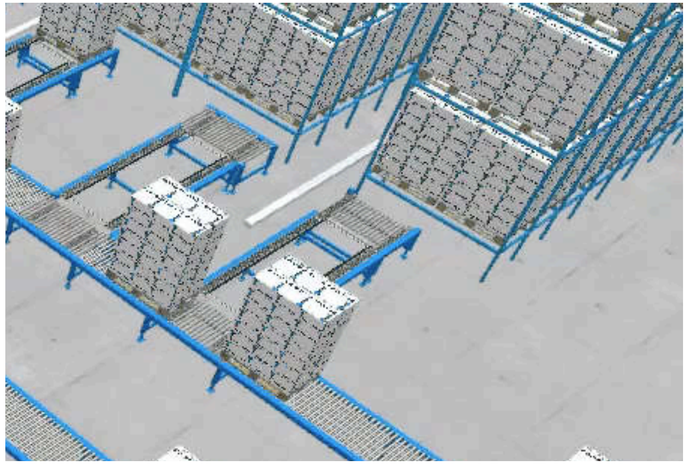
- Auslager-Auftrag F: FA_X: Lagereinheit LE 4711
- F: TA Quelle: AKL x,y,z (Gasse/TiefeHöhe)
  Ziel: AKL // Vorzone (nächster Förderbereich)
- DT: Data Transfer

Fahrauftragsverwaltung FA_X / FA_{X+1}

Nachrichtenaustausch: **TSS** ⟷ **MFCS**

TSS überträgt als Nachrichtenblock die Ankunftmeldung

- F:TA AKL // Vorzone
- F: A_X LE 4711



Übergabe AKL auf Fördertechnik (Vorzone)

Nachrichtenaustausch: **MFCS** ⟷ **TSS**

- DC: Data Confirmation

Fahrauftragsverwaltung FA_X / FA_{X+1}

Folgeauftrag

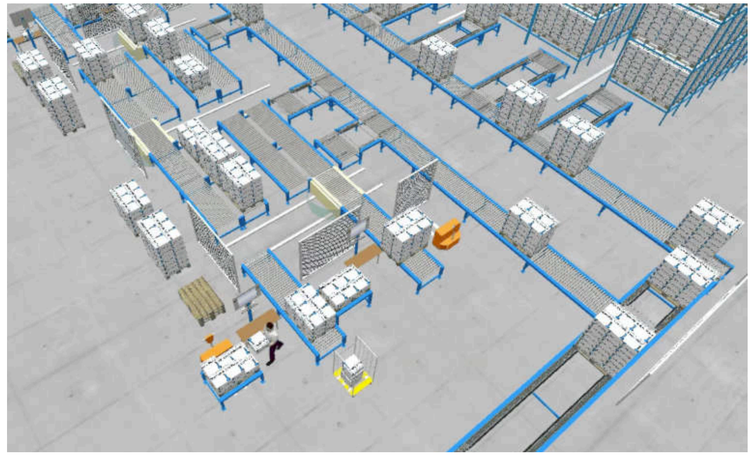
- Folgeauftrag F: A_{X+1} LE 4711
- F:TA Vorzone // Kommissionierung

↓

F: A_{X+2}

↓

F: A_{X+n}



Fördertechnik (Vorzone) zur Kommissionierung

Klassische Aufgabenzuordnung MFCS und TSS
Fazit (I)

- Gewerke-Schnittstellen sind als Steuerungs-Datenschnittstellen ausgebildet
- Doppelte Datenhaltung!

Auftrag	MFCS	F: FA_X	⟷	TSS AKL	F: FA_X
Folgeauftrag	MFCS	F: FA_{X+1}	⟷	TSS Vorzone	F: FA_{X+1}
Folgeauftrag	MFCS	F: FA_{X+2}	⟷	TSS Komm.	F: FA_X

Klassische Aufgabenzuordnung MFCS und TSS
Fazit (II)

Nachteile:

- Wiederanlauf nach Störungen!

- Nachteile im Remotezugriff beim Einsatz von Wartungstools!

- Kostentreiber sind:
  Implementierungs-Aufwände und Inbetriebnahme-Aufwände!

Anforderung an gewerkeübergreifende Kommunikation

Gewerkeübergreifendes Lösungsverständnis

versus

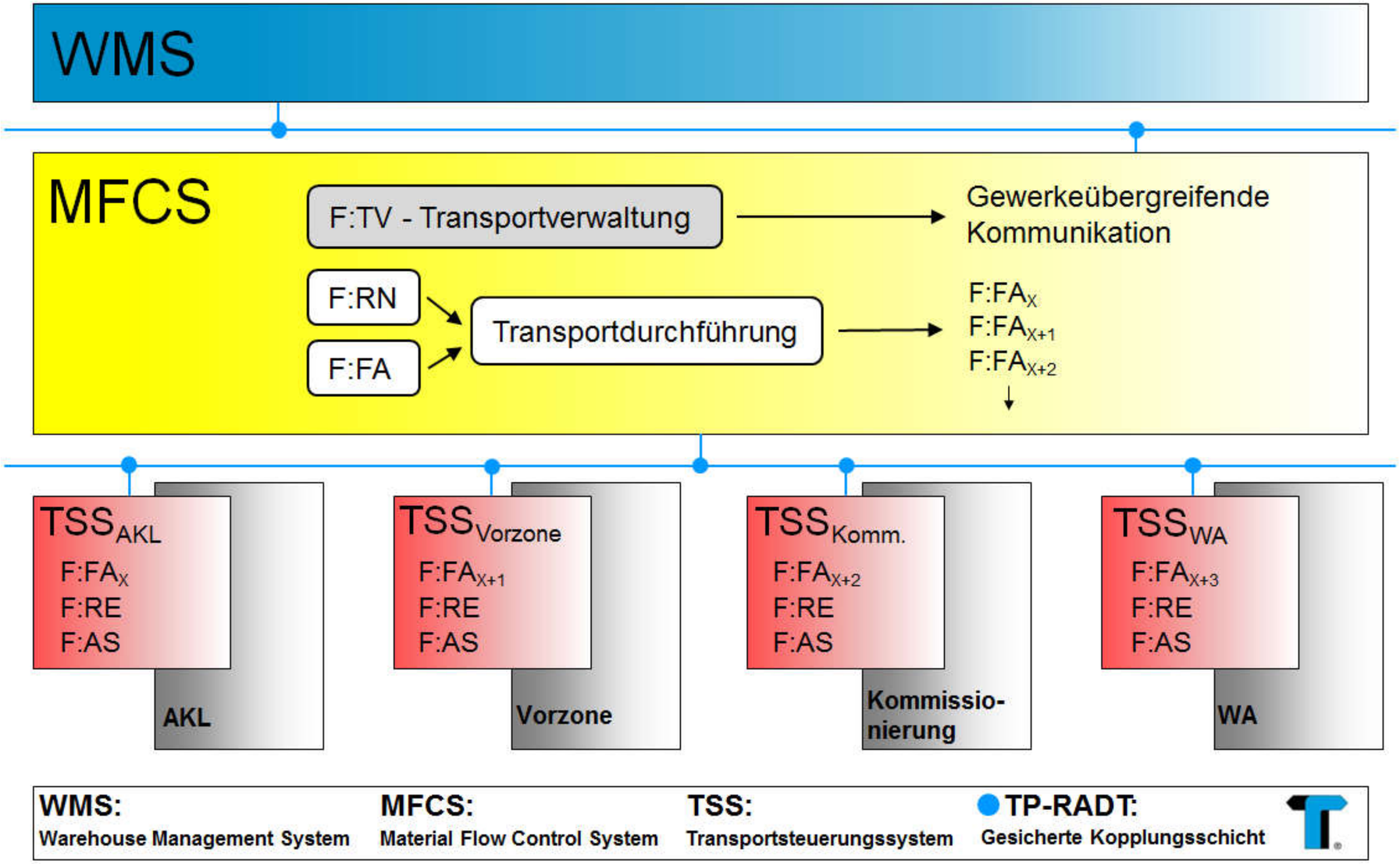
Informelle Fraktionsbildung

Der Schlüssel: Klar definierte Schnittstellen:

Gesicherte Kopplungsschicht TP-RADT*

* Reliable Application Data Transfer by TUP

Gewerkeübergreifende Materialflusssteuerung (Klassische Aufgabenzuordnung)

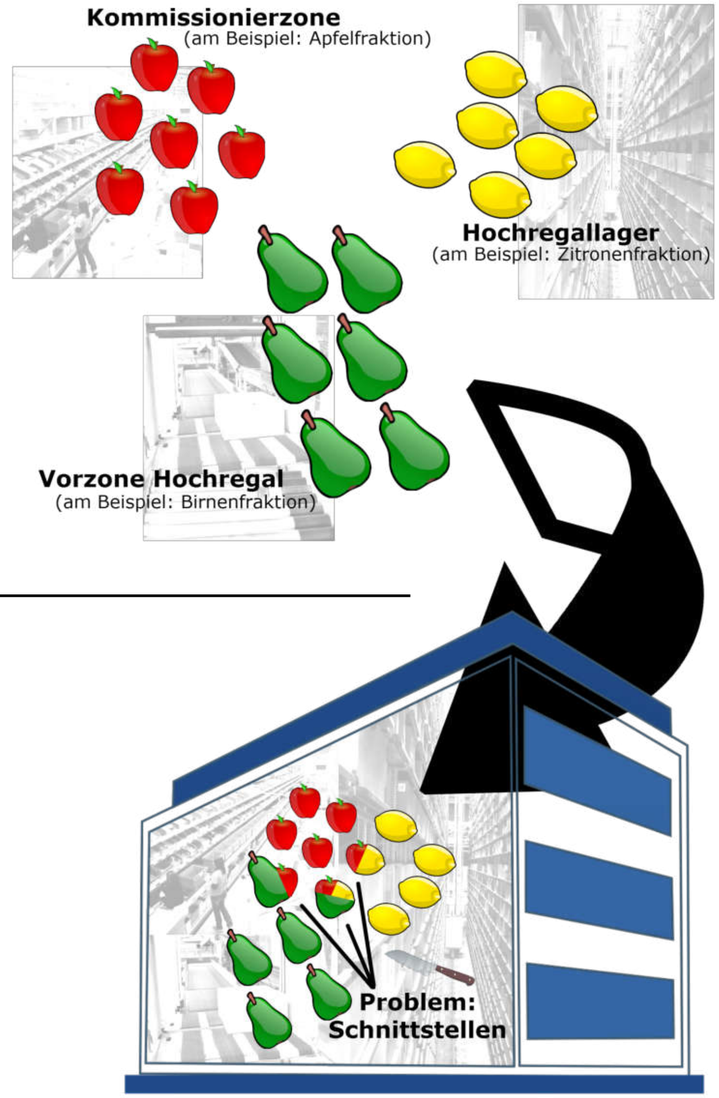


Gewerkeübergreifende Kommunikation

Standardisierung der Schnittstellen der Komponenten?

Neue Komponententechnologien erfordern Handlungsbedarf!

Behauptung:
Unkoordinierte Funktionsmodellierung führt zu Fraktionsbildung!



Projekt nur mit extremem Engineering-Aufwand beherrschbar!
→ Kostenfalle

→ Heterogene Individualität in der Umsetzung neuer Technologien ist ein Rückschritt!

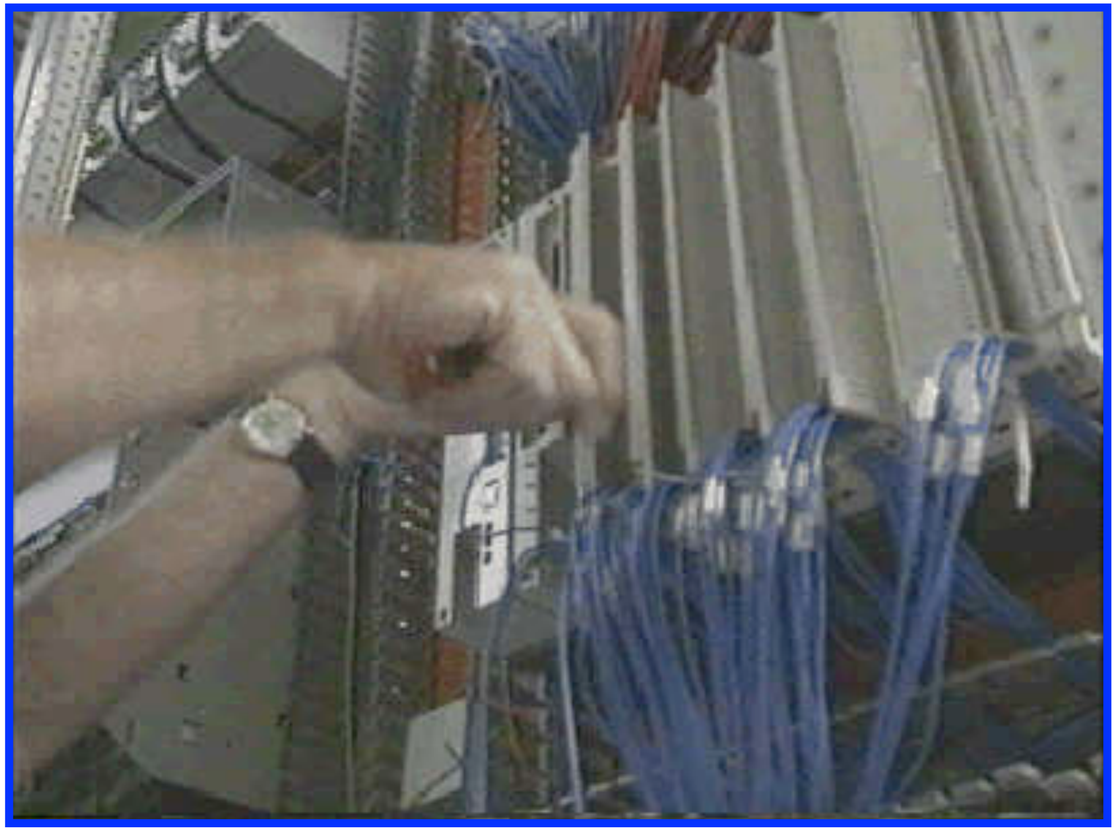
Der Stand der Technik bei klassischer Aufgabenzuordnung MFCS - TSS

- Ein Teil der Steuerungslogik ist im MFCS angelegt

- Die Direction Control (F:DC) und die Facility Control (F:FC) sind Teil des Transportsteuerungs-Systems (TSS) und damit integrierte Bestandteile der SPS im Schaltschrank

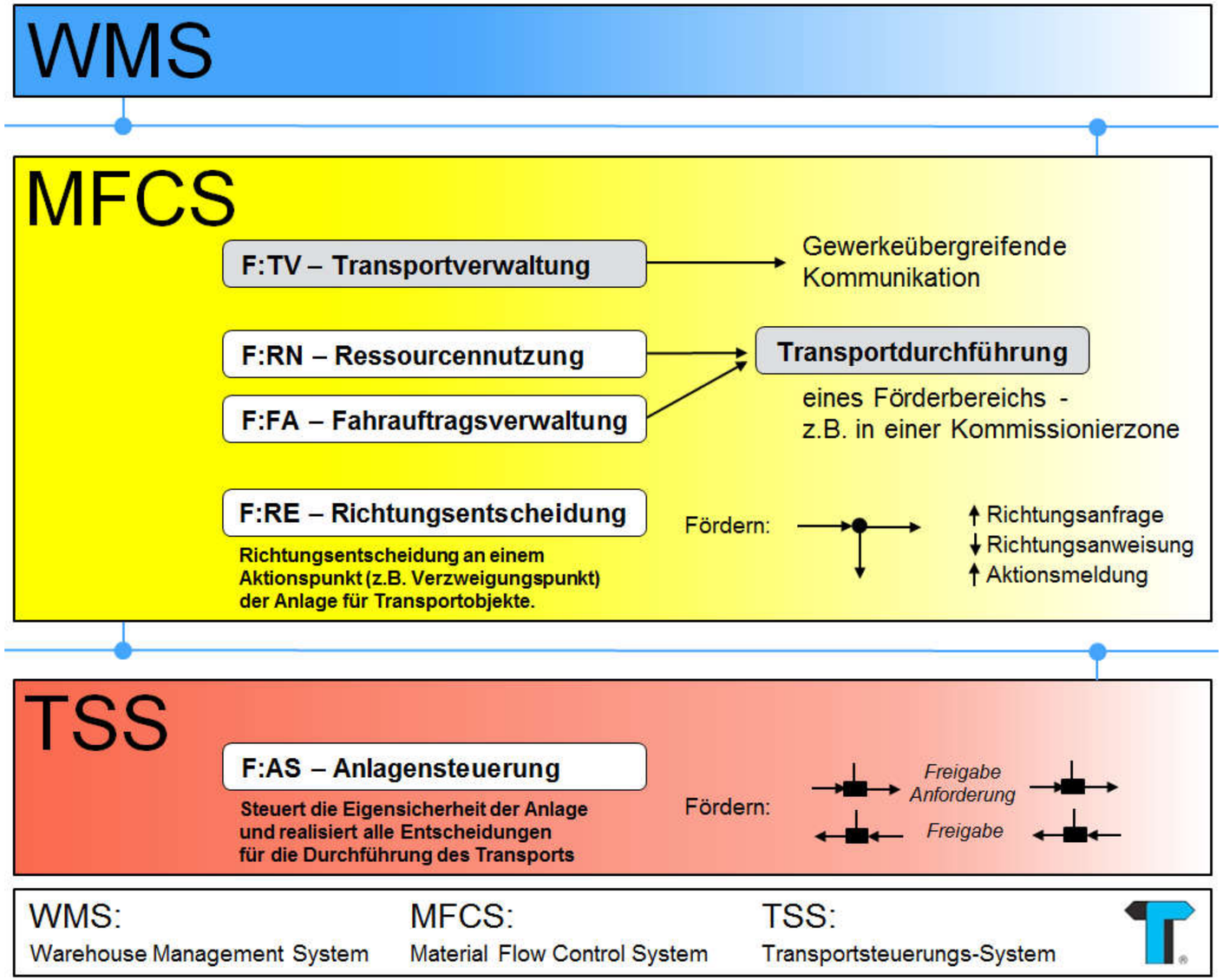
- Die unterlagerte SPS führt die Fahraufträge aus, verbunden mit dem Nachteil der doppelten Datenhaltung innerhalb MFCS und SPS

SPS - Montage im Schaltschrank



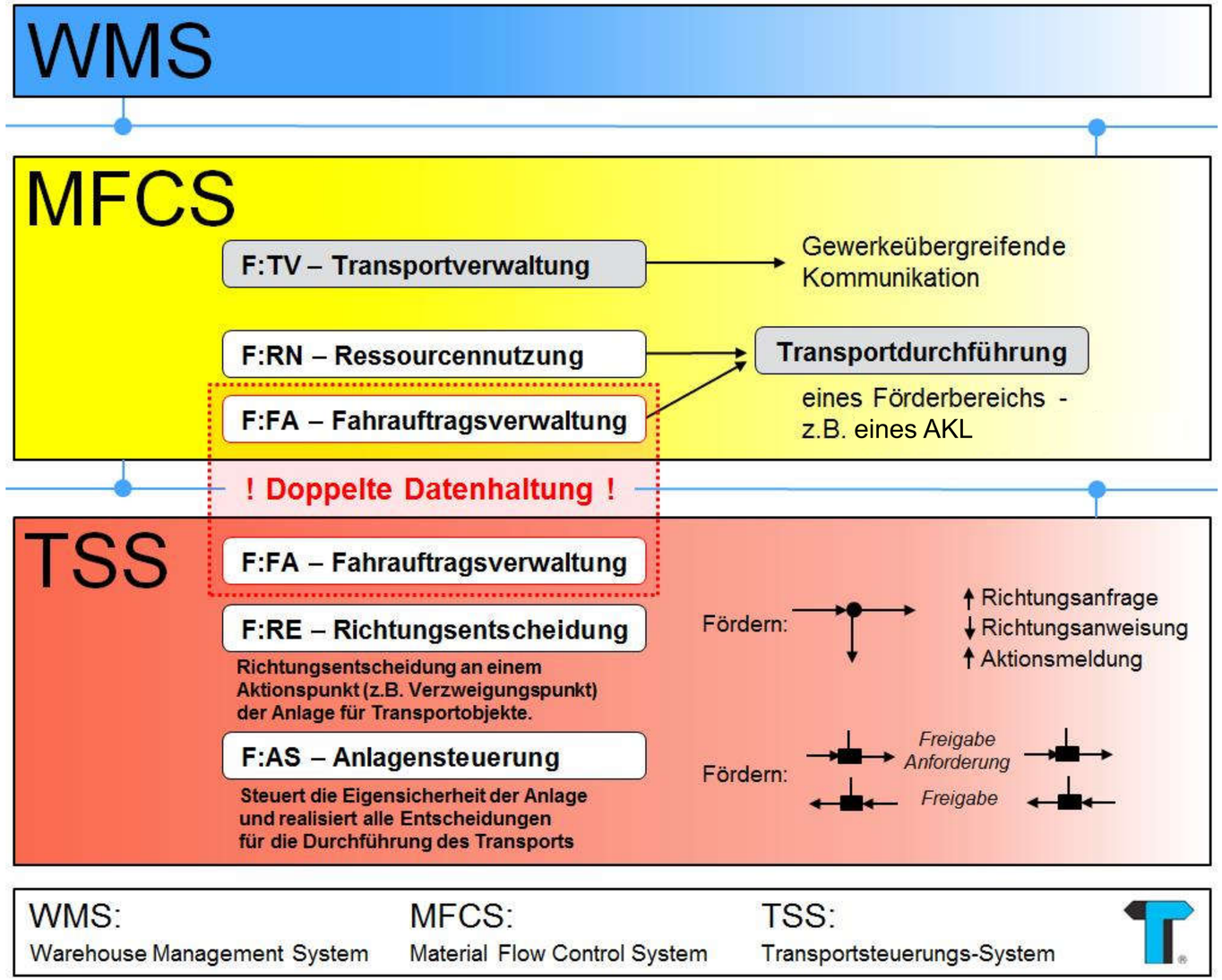
<u>Anmerkung:</u> Eine **SPS** ist ein speicherprogrammierbares Steuerungsgerät und ein elektrisches Betriebsmittel, welches mit einer anwenderorientierten Programmiersprache, gemäß seiner jeweiligen Steuerungsaufgabe programmierbar ist.

Weiterentwicklung der Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS



Ersetzt die Klassische Aufgabenzuordnung siehe Folie 6!

Klassische Aufgabenzuordnung zwischen dem MFCS und dem TSS



Beziehungen zwischen Transportverwaltung, Transportdurchführung und Transportsteuerungssystem TSS

- **Transportverwaltung:**
  Ist die zentrale Instanz zur Überwachung, Beauftragung und Koordination aller Transportaufträge und Transportressourcen

- **Transportdurchführung:**
  hat die Aufgabe, bestehende Transportaufgaben so durchzuführen, dass die Anlage nicht blockiert wird

- **Transportsteuerungssystem (TSS):**
  Die Anlagensteuerung F:AS bekommt für das Transportgut vor einen Aktionspunkt die Förderrichtung von der Funktion F:RE

Neue Aufgabenzuordnung MFCS und TSS

Online Datentransfer MFCS ⟷ TSS mit nur drei Telegrammen:

Data Transfer DT: vor einem Aktionspunkt

1) DT: TSS ⟶ MFCS: Richtungsanfrage für das Transportgut

2) DT: MFCS ⟶ TSS: Richtungsanweisung für das Transportgut

DT: MFCS ⟶ TSS: bleibt stehen (Staumeldung bzw. Zulaufsteuerung)

oder:

DT: MFCS ⟶ TSS: links ab

oder:

DT: MFCS ⟶ TSS: rechts ab

3) DT: TSS ⟶ MFCS: Auftrag ist durchgeführt

Grundlagen der MFCS-Entwicklung

Ansätze bei der Modellentwicklung für eine standardisierte Lösung.

- Abbildung der Förderanlagen in einem hierarchischen Konzept
- Wiederverwendbarkeit durch objektorientierte Strukturmuster mit dem Ziel, einen getesteten Standard-Software-Baustein zu generieren (vgl. Kapitel 6.3.1)

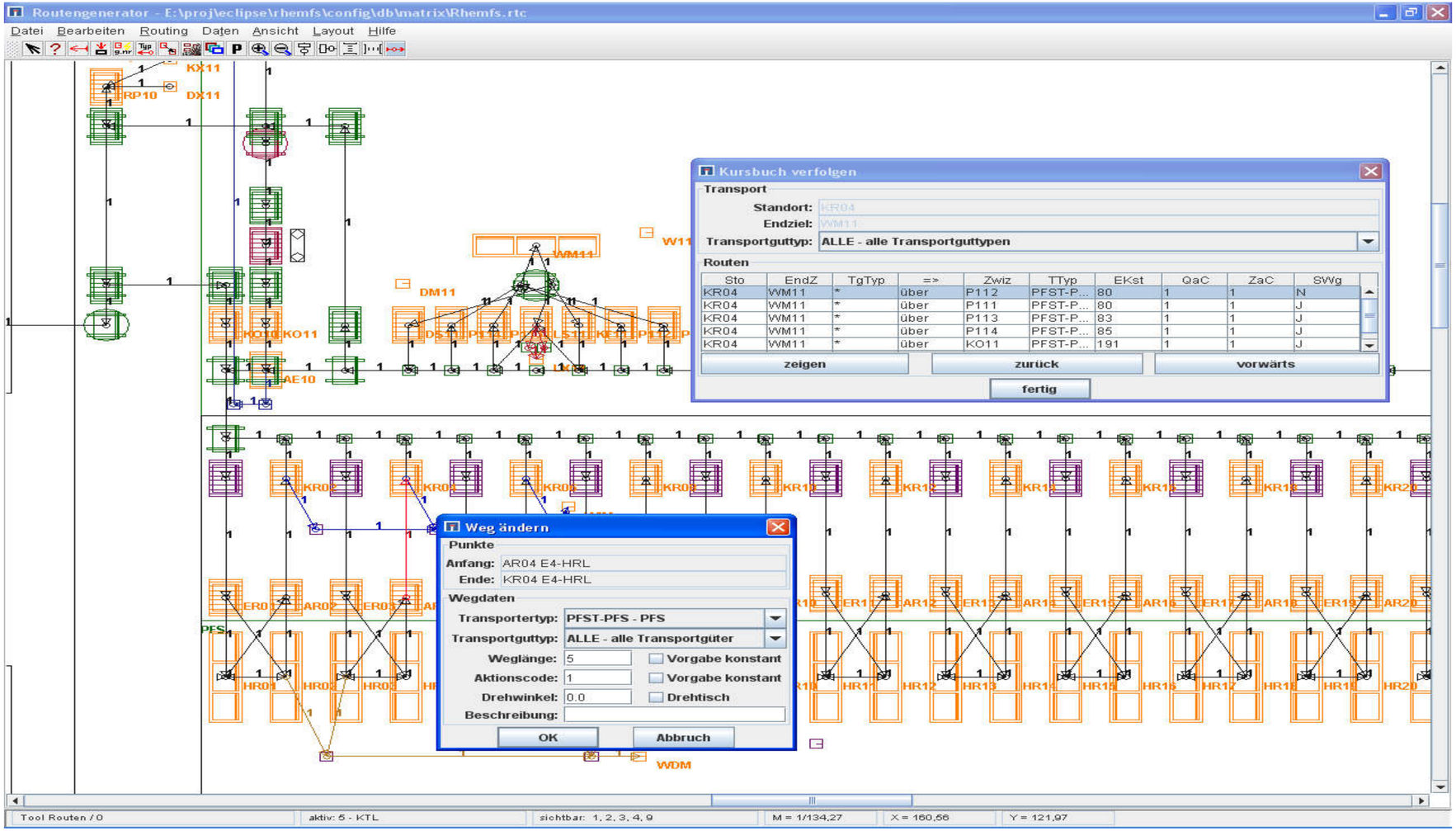
Hierarchisches Abbild von Förderanlagen

Ebene Anlagenmatrix, statisches Abbild der Förderanlagen wird durch ein Konfigurationssystem 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 ist.
- Außerdem ist hier festgelegt, welcher „Bereichsverwalter“ für die Zuteilung zu einem konkreten Transporter (standardisiertes Modul) zuständig ist.

Anlagenabbild (Teilansicht)

Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche wird das Anlagen-Abbild erzeugt:



Ebene Rekursives Routing - Routengenerator

Die Grundregel heißt:

- Ein Fahrauftrag wird vergeben, wenn auf der Strecke bis zum nächsten Zielpunkt die Kapazität ausreicht.

- Mit der Beauftragung wird der Quellplatz entlastet, der jetzt wieder neu belegt wird, indem ein wartender Transportauftrag zu diesem Punkt aktiviert wird.

Hierarchisches Abbild von Förderanlagen - Ebene Rekursives Routing - Routengenerator*

- Mit der Anlagenmatrix erzeugt ein Routengenerator eine Routing-Tabelle der Quelle/Ziel-Beziehungen
- Der Weitertransport eines Transportgutes wird online auf Basis der Anlagenmatrix dem vorliegenden Betriebszustand, der Routingtabelle und einer freien Ressource (Fördermittel) vergeben

* … Erzeugung eines Navigationssystems für LTGs (Lagertransportgüter)

Lösung von inhomogenen und komplexen Anlagen mit standardisierten Modulen

Mit dem Einsatz nachfolgender Module (Bereichsverwalter) läßt sich 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

Anpassung und Erweiterung des Standards

Neue Techniken oder spezifische Erweiterungen erfordern eine Anpassung des Standards. Dieser wird bei der Modellentwicklung des MFCSystems

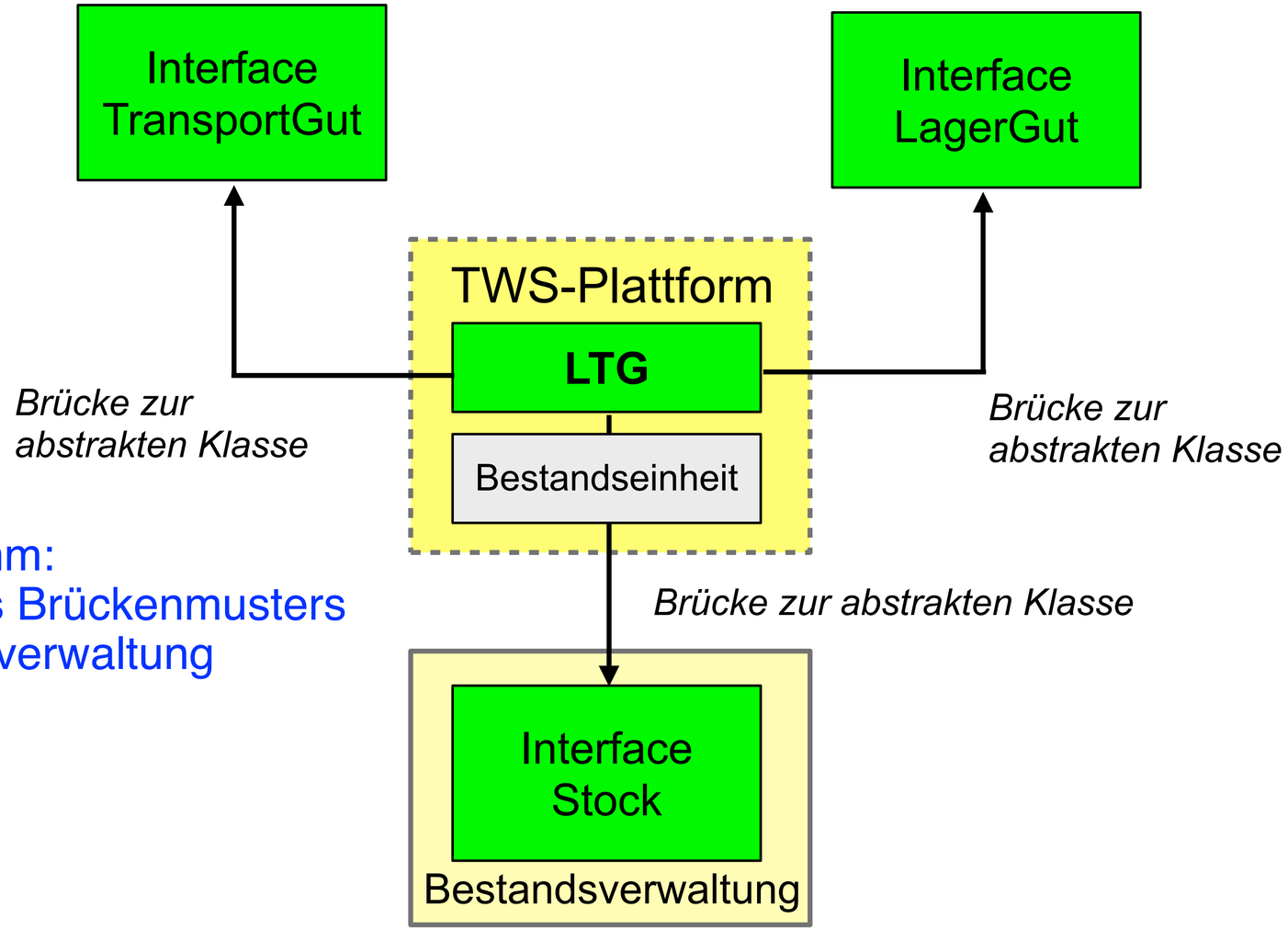
- durch standardisierte Module ***Bereichsverwalter***

  und

- durch das Entwurfsmuster ***Die Brücke*** auf das Transportgut angewendet.

  Die Brücke ist eine wiederverwendbare Komponente der Transportverwaltung im Rahmen eines Lagerplatzsystems, das eng mit Transportsystem zusammen arbeitet. Die Aufgabe des Transportsystems ist es, den Transport von Transportgütern zu verwalten.

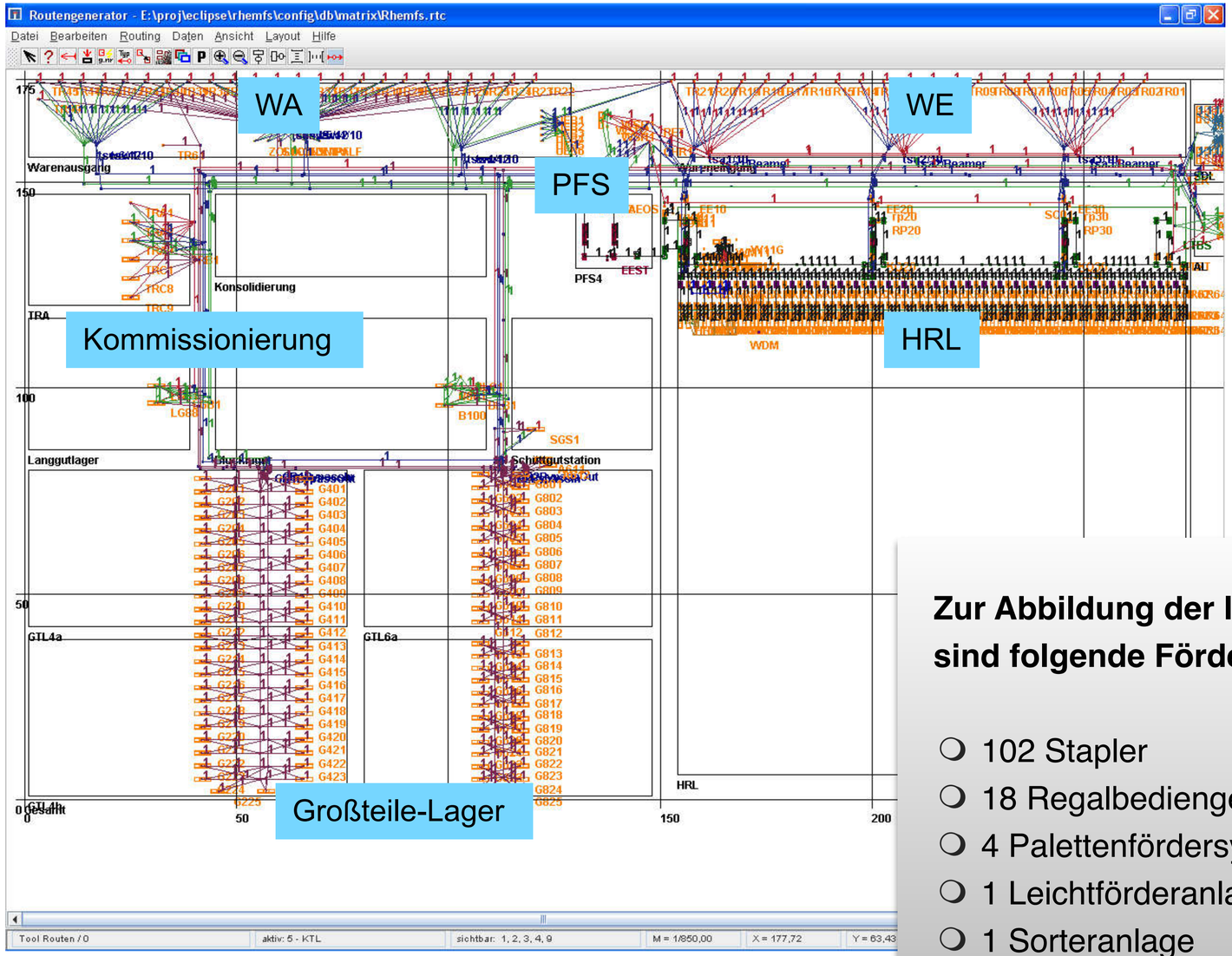
Verbindung von Transportverwaltung und Platzverwaltung über die Klasse LTG



Klassendiagramm:
Anwendung des Brückenmusters
in der Bestandsverwaltung

Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben erhöht die Planungsintelligenz bei Intralogistik-Systemen

Praxisbeispiel: Groblayout eines Distributionszentrums



Zur Abbildung der logistischen Prozesse sind folgende Fördermittel im Einsatz:

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

Praxisbeispiel - Anwendung Routengenerator

- **Ergebnis durch rekursives Routing:**

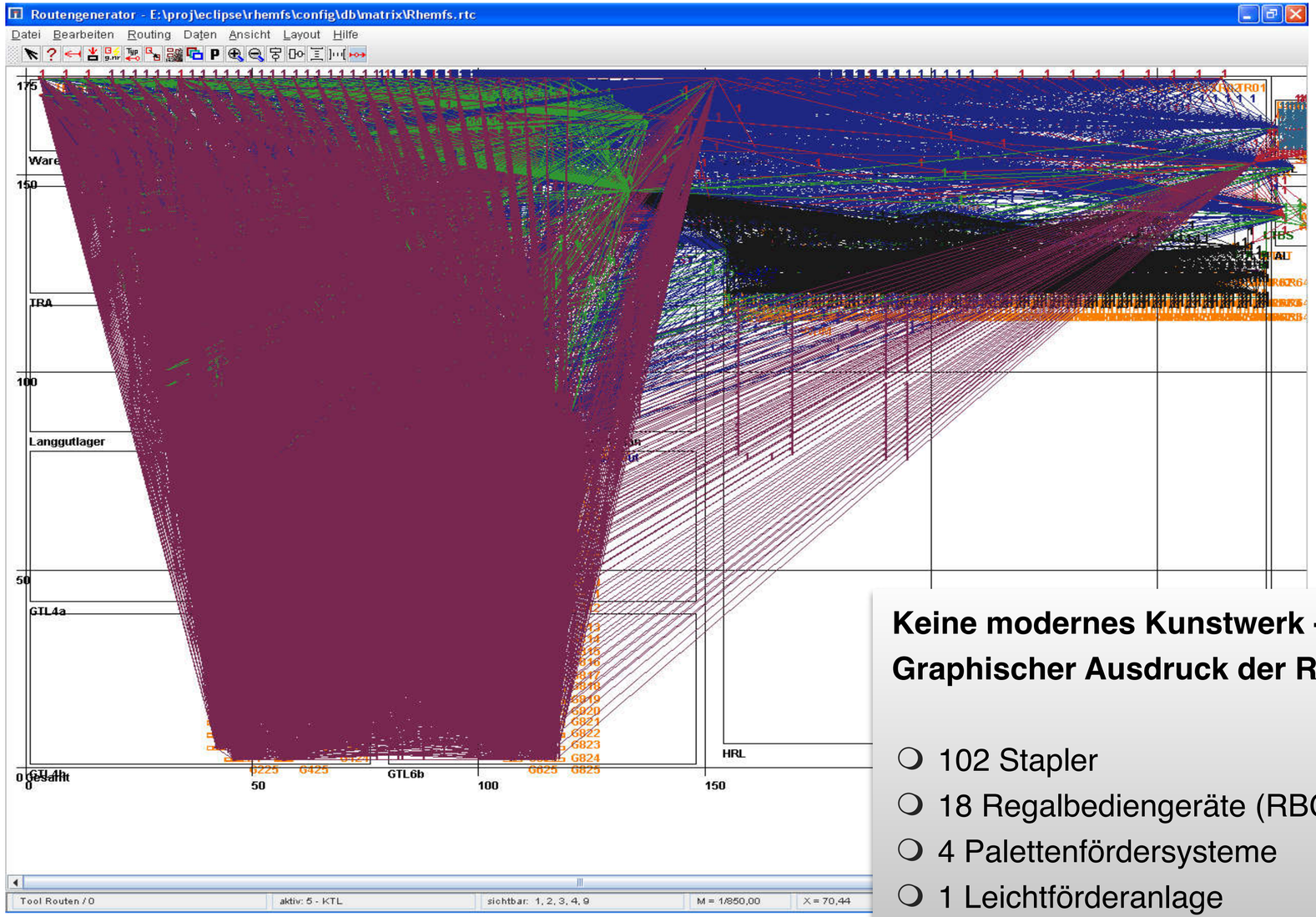
  Die Routingtabelle wird im MFCS im Hauptspeicher abgelegt:

  510 Punkte —> Quelle/Ziel berechnet
  26.000 Punkte Wegbeziehungen
  88.000 Quelle-Senke-Beziehungen

- **Durch die Routingtabelle und die stetige Weiterentwicklung werden heute Prozessreaktionszeiten von <15ms erreicht, d.h. ein MFCS bedient online:**

  102 Stapler, 18 RBGs, 4 Palettenfördersysteme, 1 Leichtförderanlage und 1 Sorter-Anlage

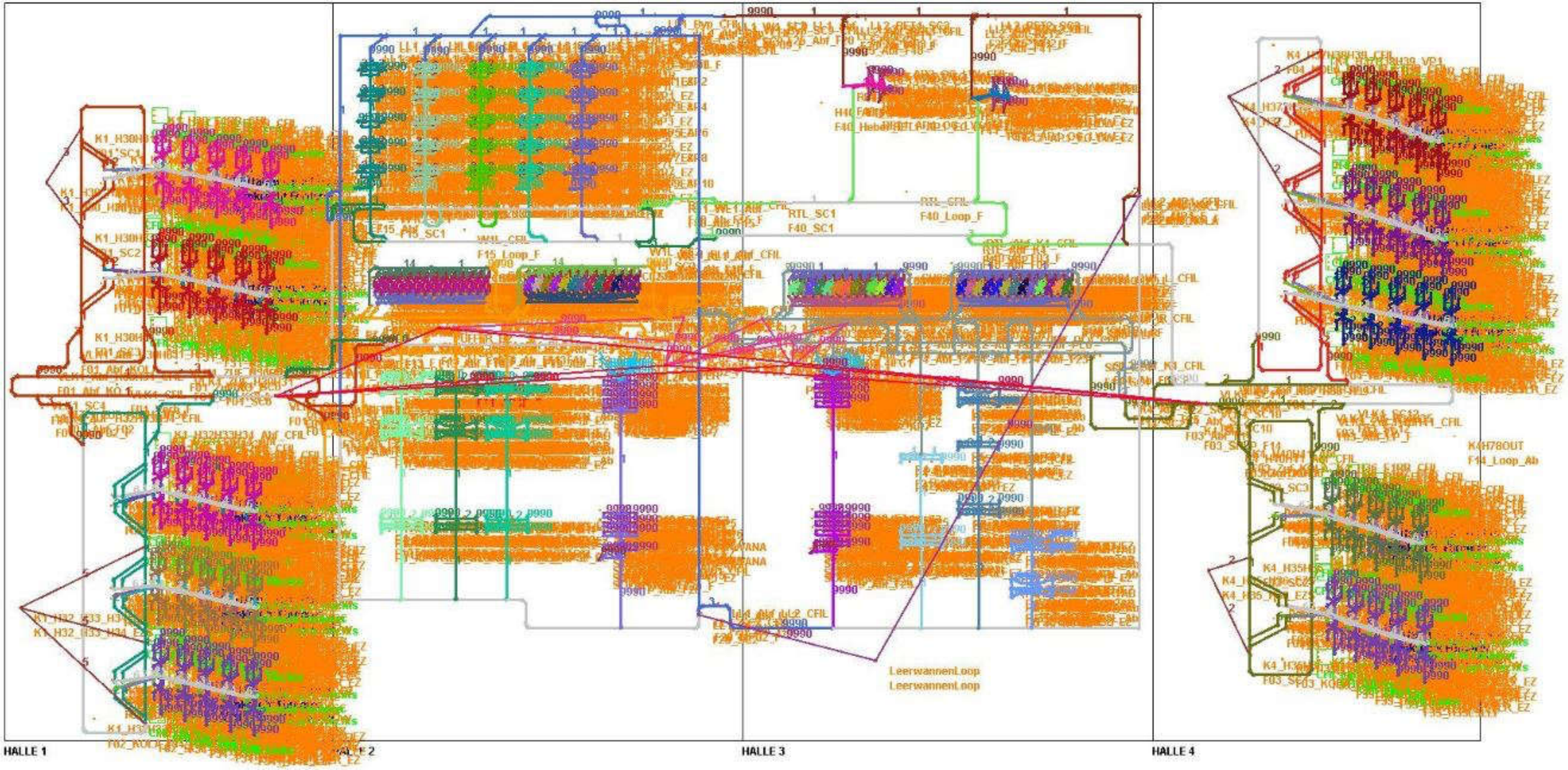
Routengenerator / Routentabelle



Keine modernes Kunstwerk -
Graphischer Ausdruck der Routing-Tabelle

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

Routentabelle zalando (Matrix)



Beziehungen zwischen Transport, Verwaltung und Transportdurchführung

Zielkonflikte im praktischen Betrieb

- Das Primärziel ist die termingetreue und vollständige Auslieferung der Ware (cut-off-time)
- Die optimale Auslastung der Anlage durch das MFCSystem ist diesem Ziel untergeordnet

Aufgaben der Materialflusssteuerung

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

Zuteilung von Fahraufträgen an die MFCS

Was hilft das beste Routing,

wenn keine planbaren Aufträge

vorhanden sind?

Methoden zur Bildung von optimalen Fahraufträgen

- **Mithören am Bestelltopf:**
  Dann Nachschub auslösen und frühzeitig an MFCS weiterleiten
- **Batchkommissionierung:**
  Zeitscheibenbildung nach zeitlicher Tourenbereitstellung im WA
- **Reservieren von Eilbatches:**
  Die zeitgesteuert in den Tagesablauf eingebaut sind
- **Raffen von Kundenaufträgen:**
  Mehrfachzugriff auf einen Artikel

... siehe Kapitel 5

Fehler in der Planungsphase bei MFC-Systemen

Die Erfahrung zeigt:

- ❑ Für einen einfachen gradlinigen Materialfluss wird zu wenig Zeit verwendet
- ❑ Hochkomplexe Sonderlocken werden hochgespielt
- ❑ Aus Planungsunsicherheit werden viele Funktionen für wenig Geld angestrebt
- ❑ Für systemverbessernde Maßnahmen nach der Hochlauf-Phase ist kein Budget vorhanden

Aus der Praxis:

Konfliktsituation:
Planer / Gewerke-Lieferant / IT-Realisierung

... siehe Kapitel 5

K I S S
(keep it simple and stupid!)

Fehler in der Planungsphase bei MFC-Systemen
Betriebszustände

Parametrierbarkeit

In welchem Betriebszustand wird welche Zuteil-Strategie für Aufträge auf freie Ressourcen verwendet?

- ❑ FIFO-Steuerung
- ❑ Prioritätssteuerung
- ❑ FIFO in der Prioritätssteuerung
- ❑ Ressourcensteuerung

Erfahrung:

Ein komplexes MES ist auch von geübten Leitstandspersonal nicht steuerbar.

Fehler in der Planungsphase

Parametrierbarkeit

In welchem Betriebszustand wird welche Zuteil-Strategie für Aufträge auf freie Ressourcen verwendet?

<u>Die Lösung:</u>

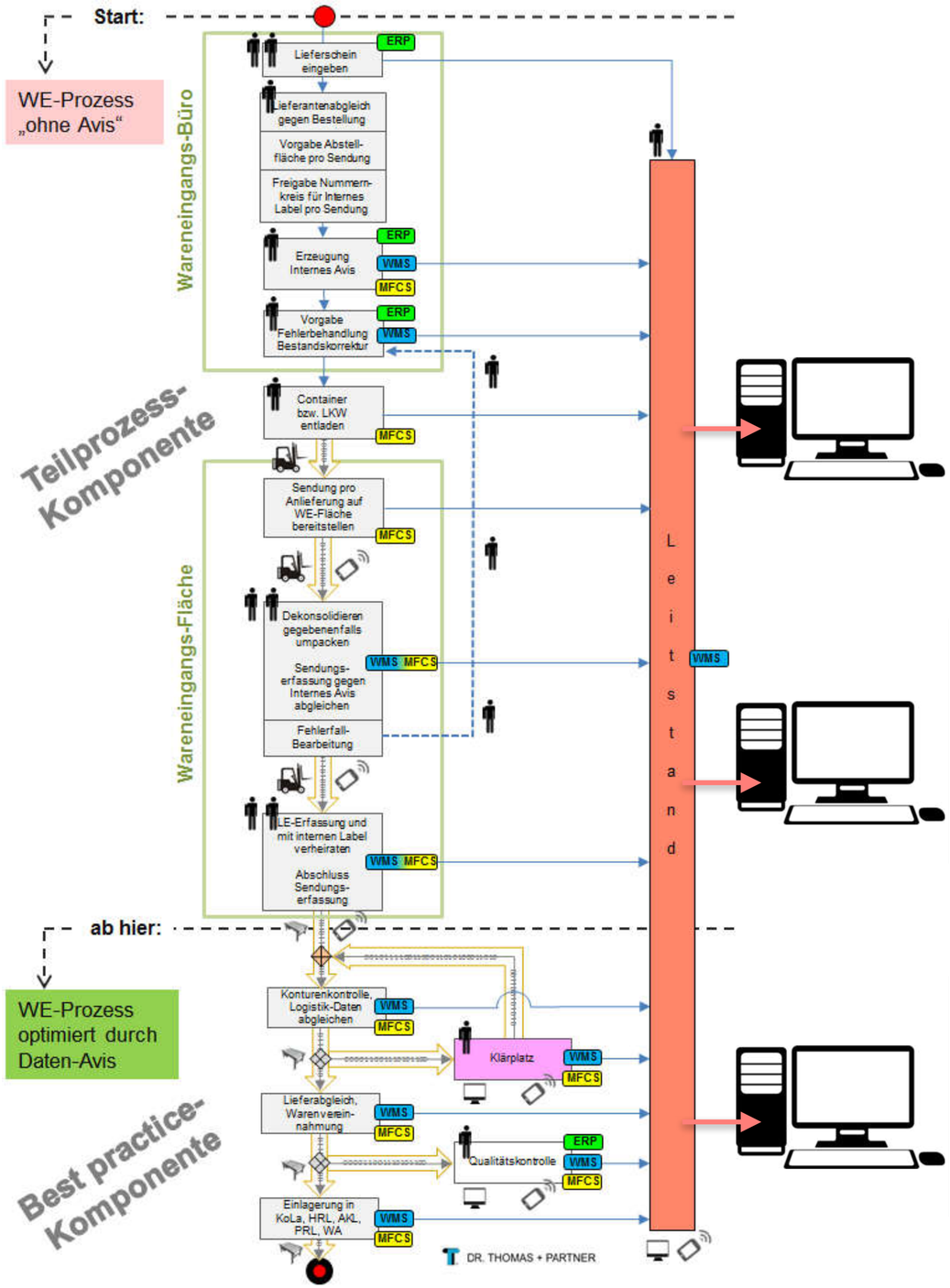
- ❑ Auf der Förderstrecke FIFO
- ❑ Auslagerung vom HRL PRIO

Fehler in der Planungsphase

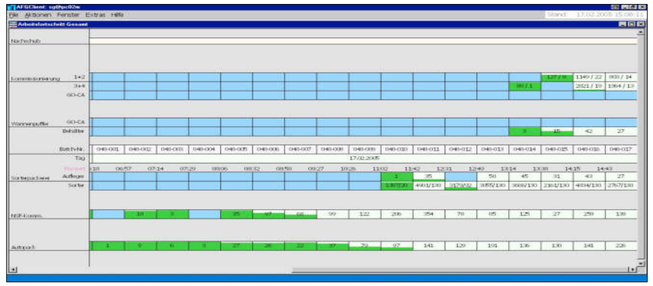
Wunsch nach unendlicher Vielfalt von Statistiken - Controller kommen zum Zug:

- langwierige Diskussionen in der Pflichtenheft-Phase
- Entwickler verbraten wertvolle Zeit
- Implementierung kostet
- Nach der Hochlauf-Phase ändern sich die Fragestellungen

PREVIEW
auf die Vorlesung/ Kapitel 5: “Geschäftsprozesse in der Intralogistik - *software follows function*”

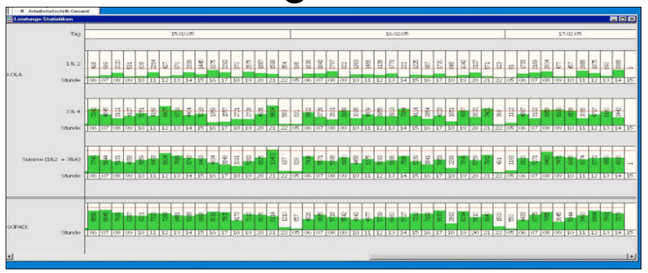


Arbeitsfortschritt



Auftragsverfolgung

Leistungsübersicht



Integriertes Geschäftsprozessmodul WE

Auswertung und Datenverdichtung

Wunsch nach unendlicher Vielfalt von Statistiken - Controller kommen zum Zug:

Abhilfe:

Loggings aller Arten von Ereignissen, die stattfinden.

Auswertung und Datenverdichtung macht der Kunde auf PC-Basis selbst bunt in 3D.

Anmerkung: Analysemodell für die Geschäftsprozesse in Kapitel 5 & 6

E-Commerce

Weltweit überdimensional ansteigendes Wachstum!

Der Materialfluss steht im Mittelpunkt

„Und schon sind wir alle Teilnehmer dieser Party.“

Ausblicke

Was hat Electronic Commerce mit Materialflusssteuerung zu tun?

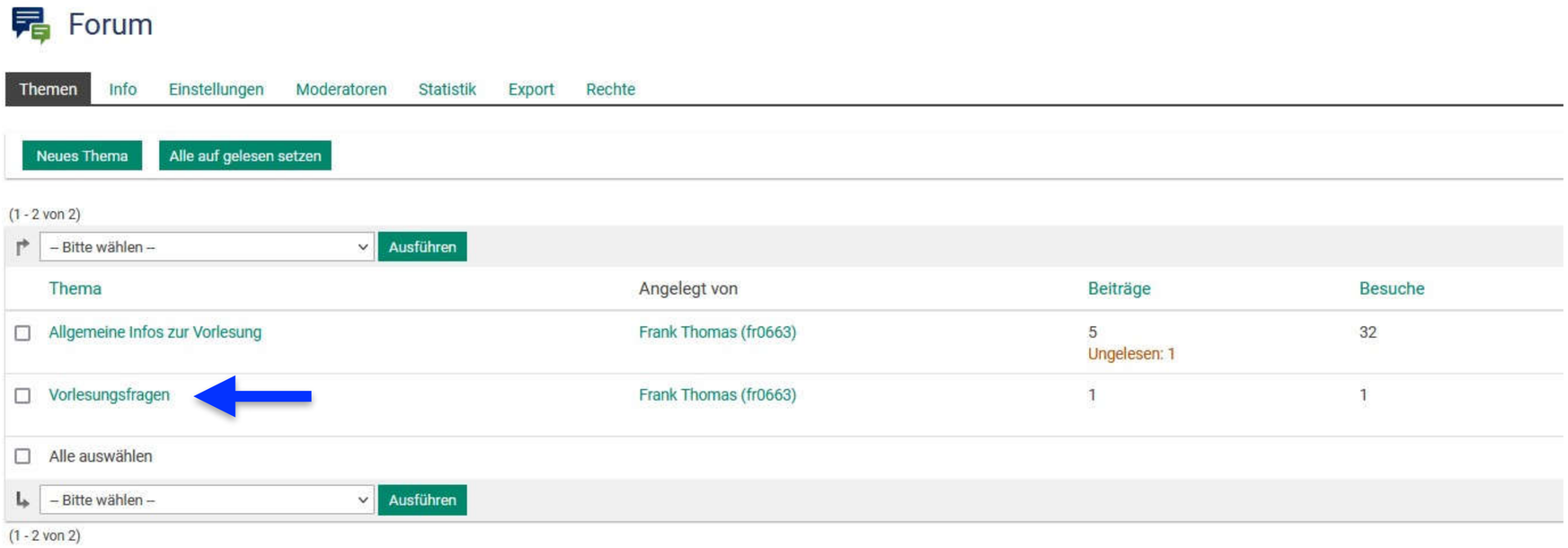
Über das Web wird der Umsatz generiert

Die bestellten Waren werden „gebeamt“

soweit Science-fiction

Fragen für online-Zuhörer

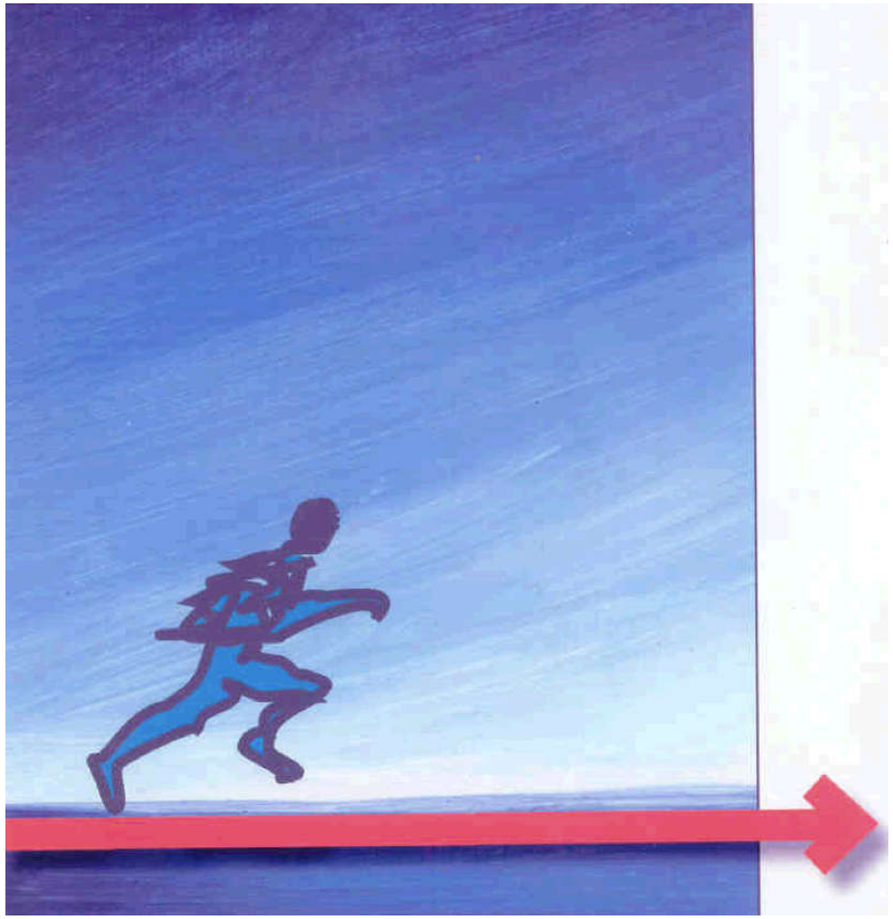
Fragen können Sie am besten während und am Ende der online-Vorlesung im Forum im Ilias stellen!



Zu Beginn der nächsten Vorlesung gehe ich auf Ihre Fragen ein.
Danke.

Auf der Zielgeraden zur „Schaltschranklosen Fabrik“ - Industrie 4.0

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas



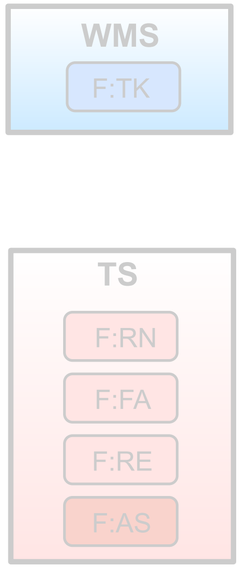
Auf dem Weg zur „Schaltschranklosen Fabrik“

- Der Trend entwickelte sich langsam in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts
- Digitale I/O wurden durch die Einführung von Bus-Systemen (z.B. Interbus, Phoenix, ...) dezentralisiert
- Power-Elektronik wanderte aus dem Schaltschrank zu den Antrieben
- Übrig blieb die Steuerungslogik und die Einspeisung

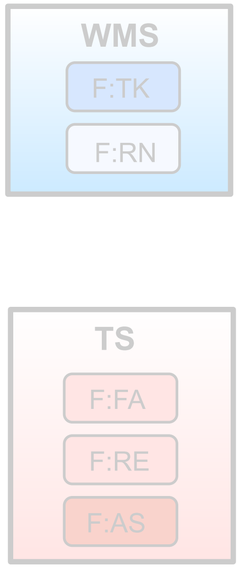
Funktionskonfigurationen (Neuer Ansatz Typ D)

Neuer Ansatz:

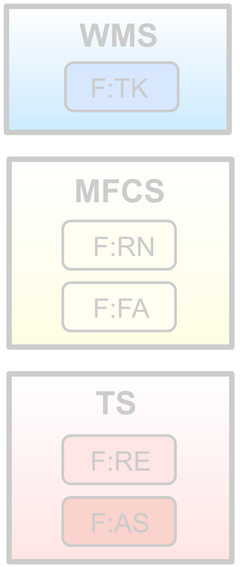
Typ A



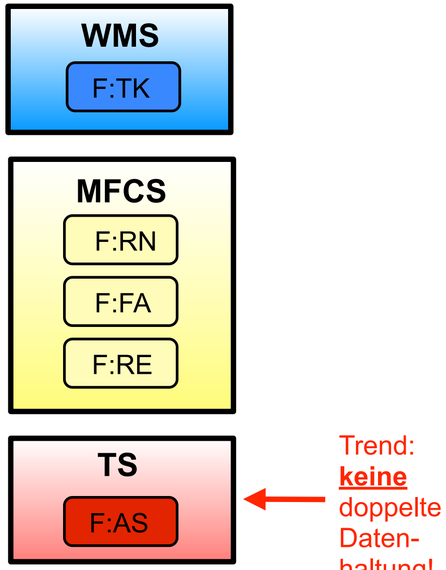
Typ B



Typ C



Typ D



Trend: **keine** doppelte Daten-haltung!

Typ A

Typisch für völlig selbstständige Transportsysteme (z.B. Fahrerloses Transportsystem - FTS).

Typ B

Sehr häufig verwendet in allen Arten von Anlagen (z.B. Staplerleitsystem - SLS, Palettenfördersystem - PFS oder Regalbediengerät - RBG).

Typ C

Klassische Anwendung eines Materialflussrechners (MFCS). Die unterlagerte SPS führt die Fahraufträge aus.

Typ D

Neuer Ansatz:
Keine doppelte Datenhaltung, mit dem Vorteil, dass die SPS überflüssig wird.

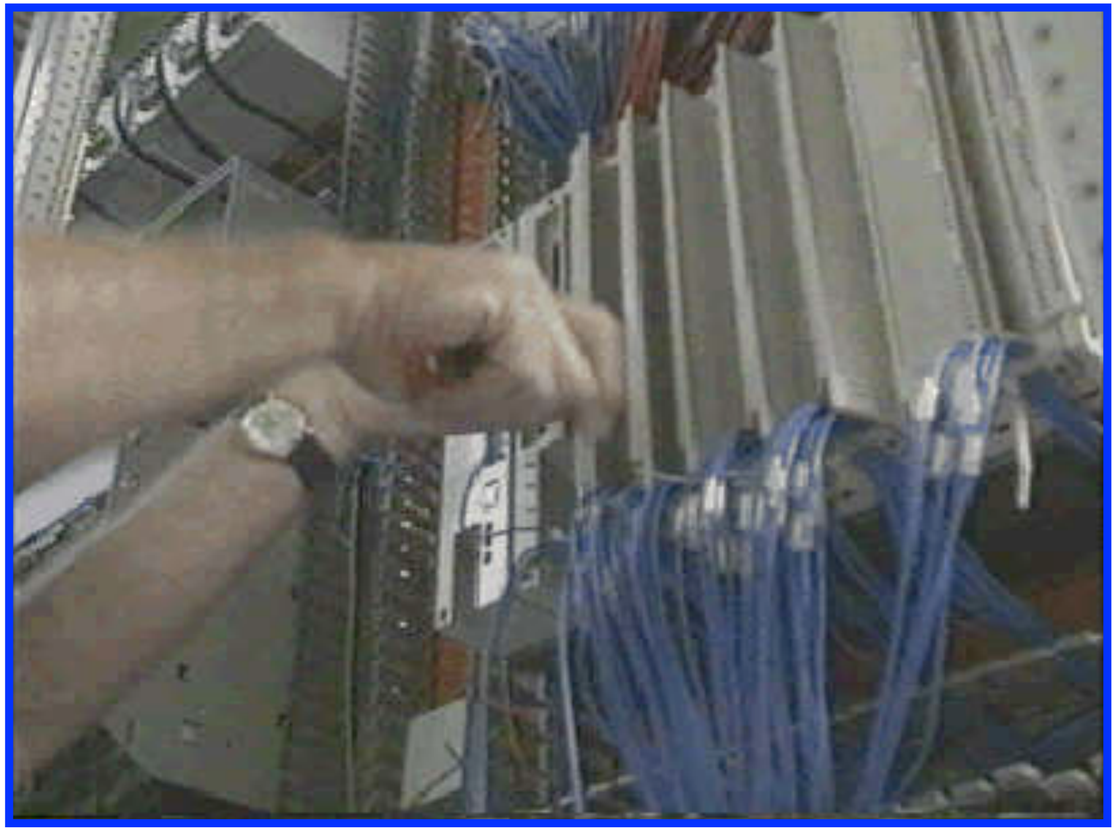
Nächster Schritt in Richtung „Schaltschrankloser Fabrik“

- Durch unsere stetige Weiterentwicklung des MFC erreichen wir heute Prozessreaktionszeiten <10 ms.

- Damit gelingt der neue Ansatz:
  - Die Steuerungslogik wandert aus dem Schaltschrank zur Physik
  - Jedes Conveyor-Element hat eine eigene Steuerungslogik

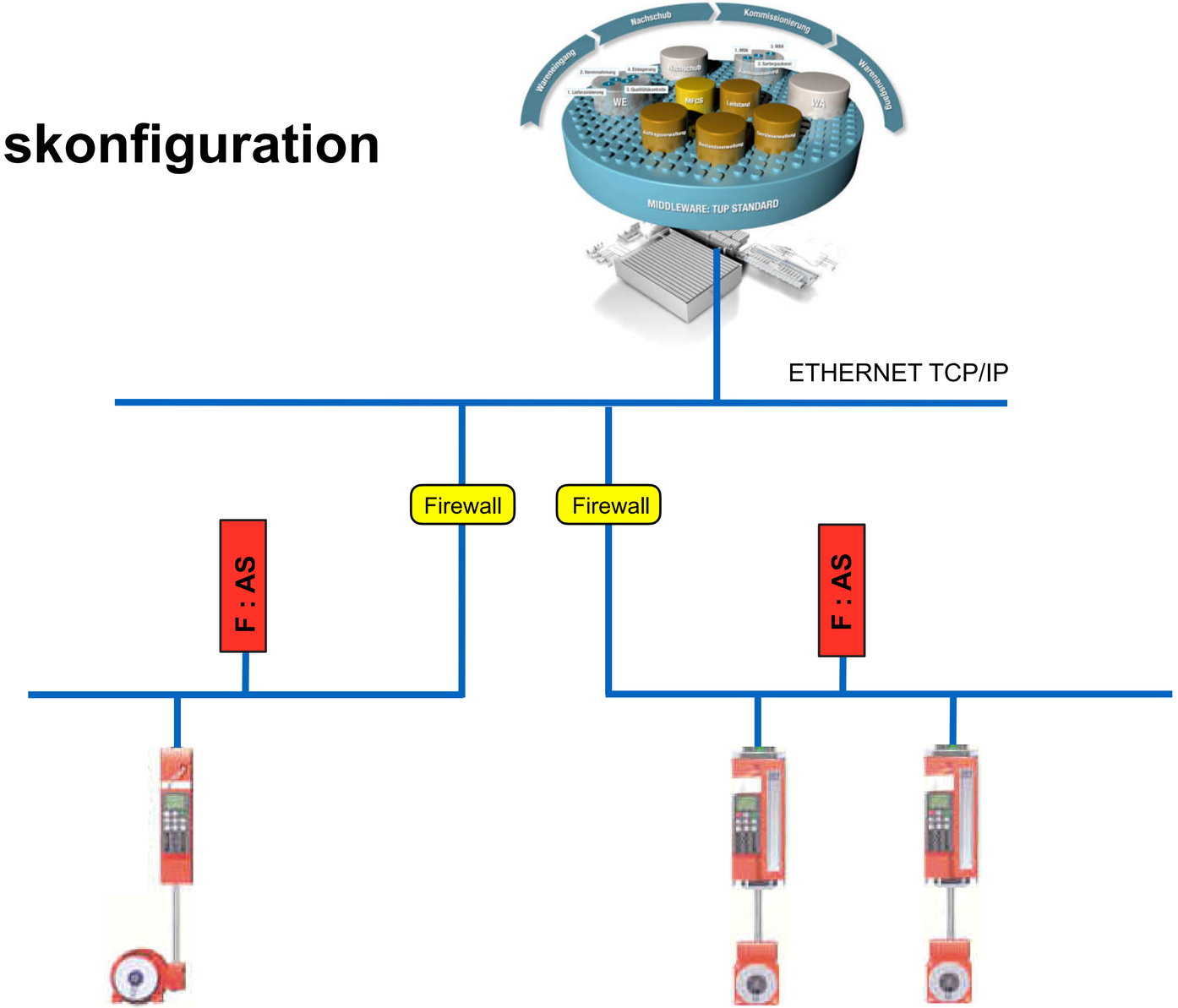
- Vorteil:
  - Im Schaltschrank bleibt nur die Einspeisung übrig
  - Keine doppelte Datenhaltung

SPS - Montage im Schaltschrank



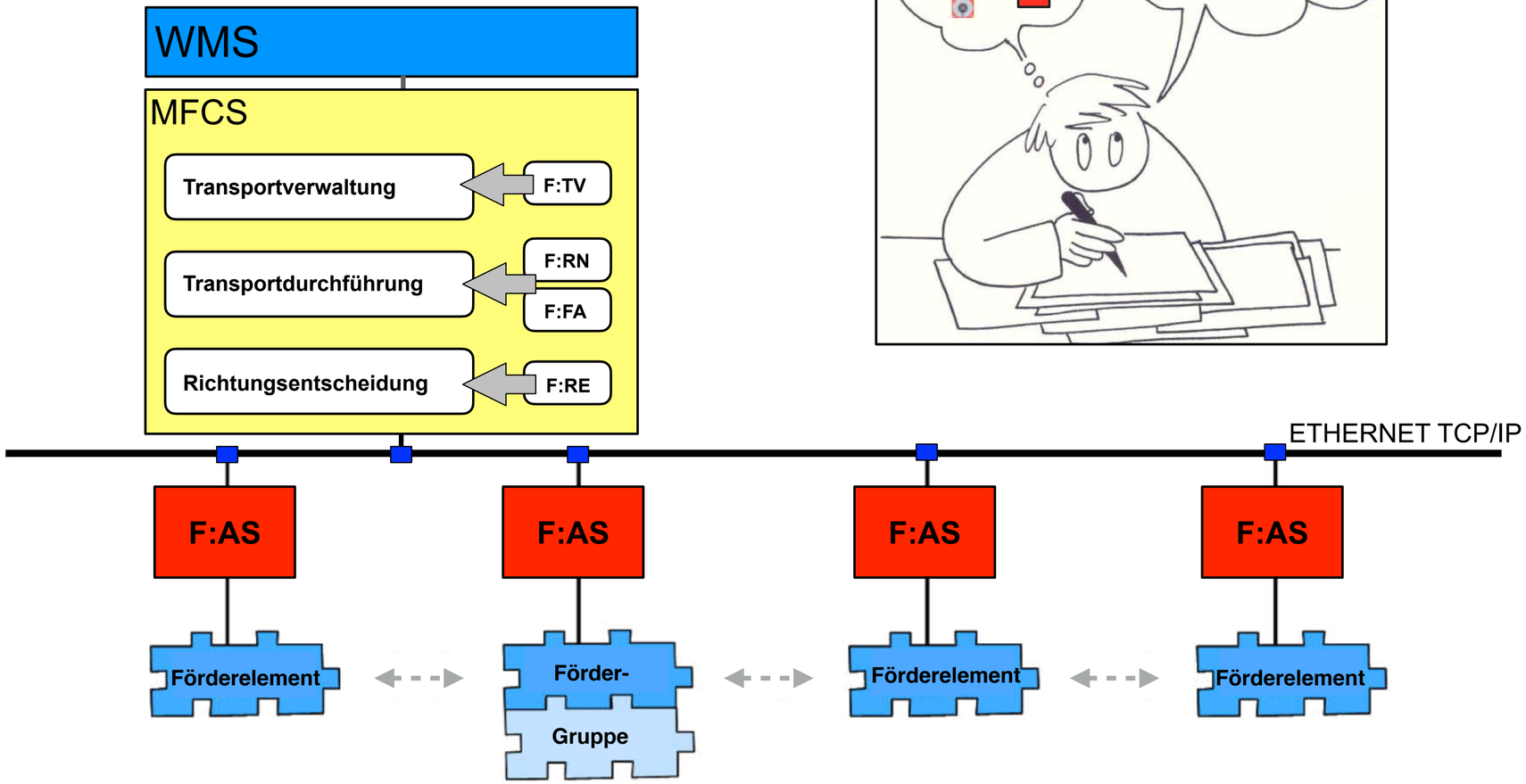
<u>Anmerkung:</u> Eine **SPS** ist ein speicherprogrammierbares Steuerungsgerät und ein elektrisches Betriebsmittel, welches mit einer anwenderorientierten Programmiersprache, gemäß seiner jeweiligen Steuerungsaufgabe programmierbar ist.

Neue Funktionskonfiguration



Kommunikation über Industrial ETHERNET

Neue Funktionskonfiguration

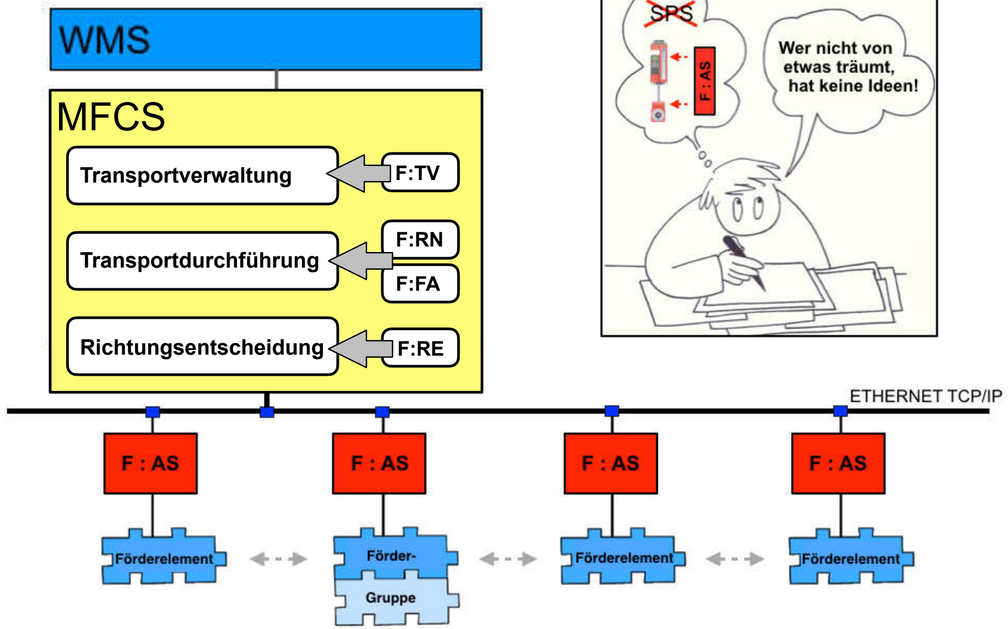


Nächster Schritt in Richtung „Schaltschrankloser Fabrik“

- Weiterentwicklung MFC:
  Reaktionszeiten < 10 ms

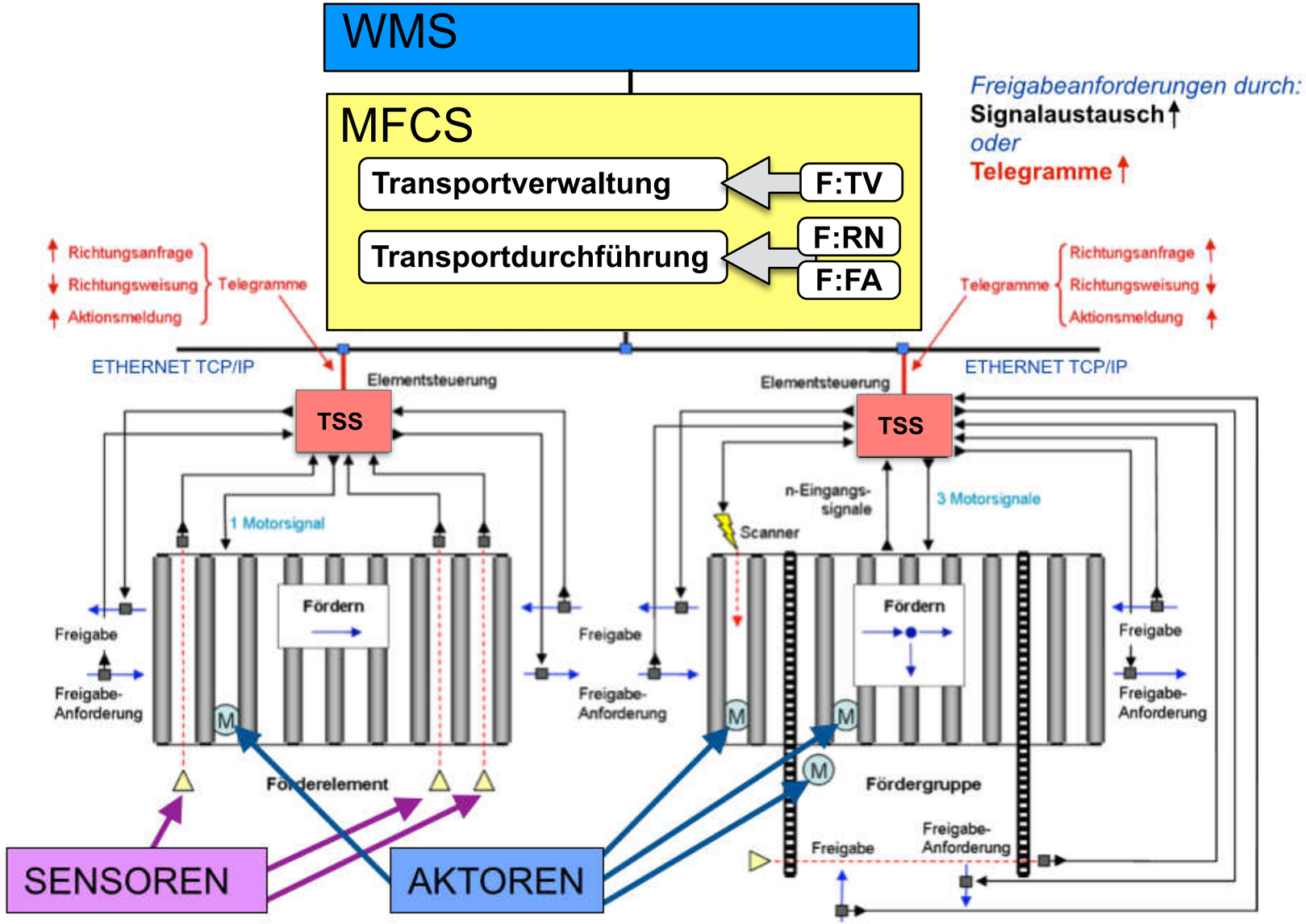
- Neuer Ansatz:
  MFC + ~~SPS~~ + F:AS

- F:AS?
  F:AS ist Bestandteil jedes Förderelements

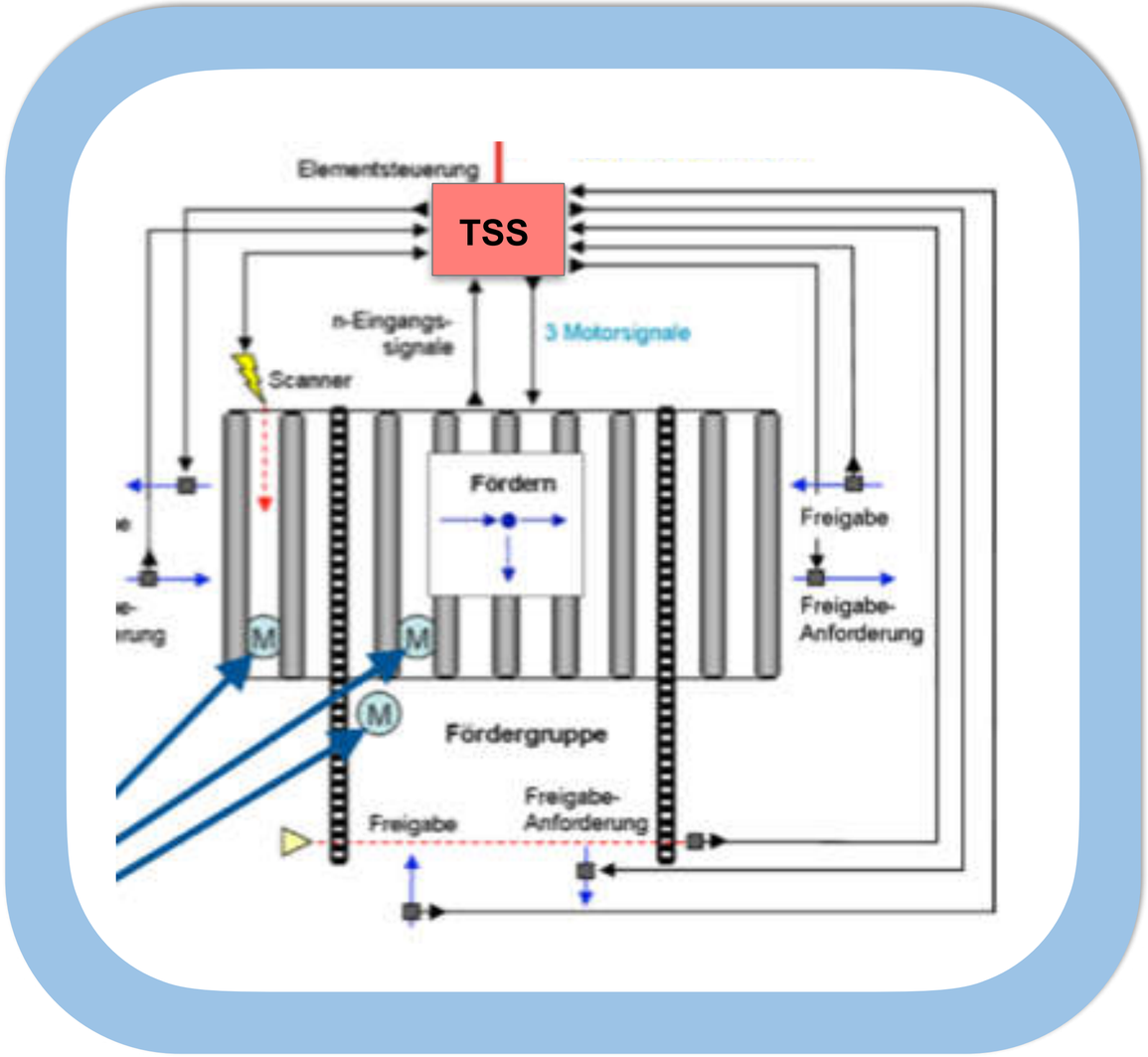


Funktionsmodularisierung - Industrie 4.0

Applikationsansatz: keine doppelte Datenhaltung



Richtungsentscheidung



Minimalistische SPS

Auf der Zielgeraden zur „Schaltschranklosen Fabrik“ - Industrie 4.0

Die Zukunft steuern!

PROZESSOPTIMIERUNG

- Fertigstellung der Förderelemente und Tests beim Hersteller
- Reduzierung der Inbetriebnahmezeiten vor Ort
- Schaltschrank dient nur zur Energieeinspeisung

GREEN LOGISTICS

- Eine Armlänge vor der grünen Welle schwimmen

PARTNERSCHAFT

- Erweiterung der Tätigkeitsbereiche und des Portfolios
- Zuverlässige Zusammenarbeit zwischen TUP und seinen Kunden!

WIRTSCHAFTLICHKEIT

- Überdurchschnittliche Effizienzsteigerung durch intelligente Steuerungen (~~SPS~~)
- Erschließung völlig neuer Märkte auf Basis vorhandener Technologien
- Energieoptimierung

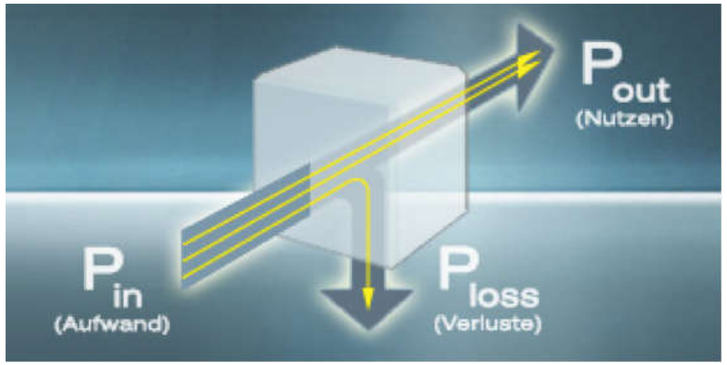
GREEN LOGISTICS

Effizienzpotential bei elektrischen Antrieben

▶ Die Drehstrommotoren werden künftig weltweit in **vier Klassen** unterteilt.

~~IE 1 für Standardwirkungsgrad~~
IE 2 für gehobenen Wirkungsgrad
IE 3 für Premiumwirkungsgrad
IE 4 für Super Premiumwirkungsgrad

IE 4 wird noch nicht von allen Herstellern erreicht



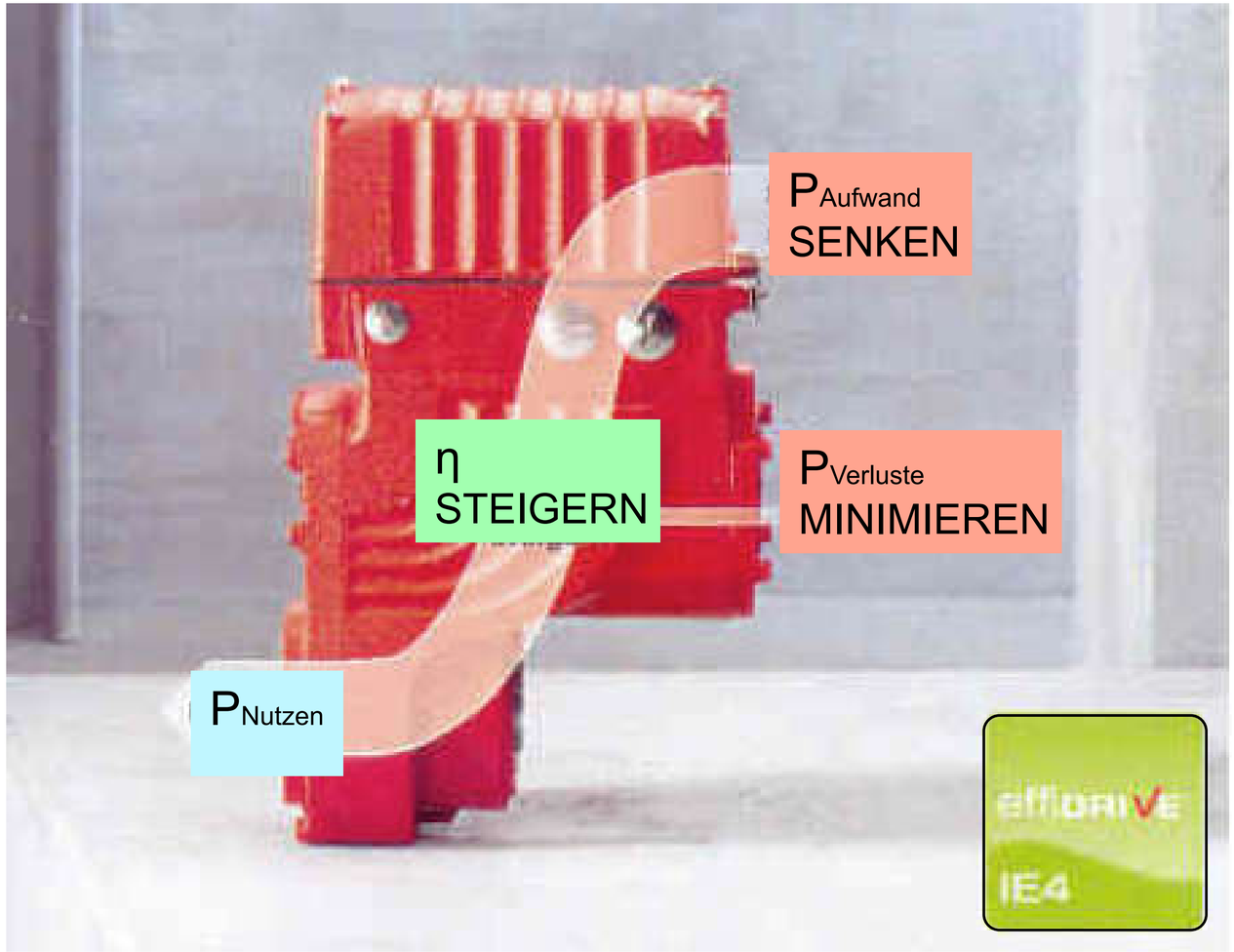
▶ Mit dem Wirkungsgrad wird die Effizienz von Elektromotoren bei der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie beschrieben.

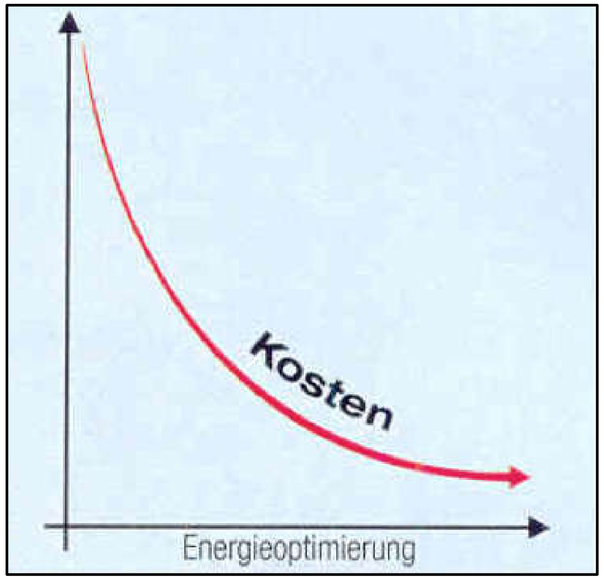
▶ Die EUP-Richtlinie (Ecodesign) verabschiedete, dass **ab Juni 2011** in Europa nur noch Energiesparmotoren der **Wirkungsgradklasse IE 2** in Verkehr gebracht werden dürfen.

Quellen: IEC, DENA, DKE, SEW, ZVEI

Gesamtwirkungsgrad - Motor, Getriebe, Regelung

$$P_{Aufwand} = P_{Nutzen} + P_{Verluste}$$





Gesamtwirkungsgrad ist abhängig vom Motor, Getriebe und Regelung.

Energiekosten reduzieren durch gesteigerten Gesamtwirkungsgrad.

Quelle: SEW

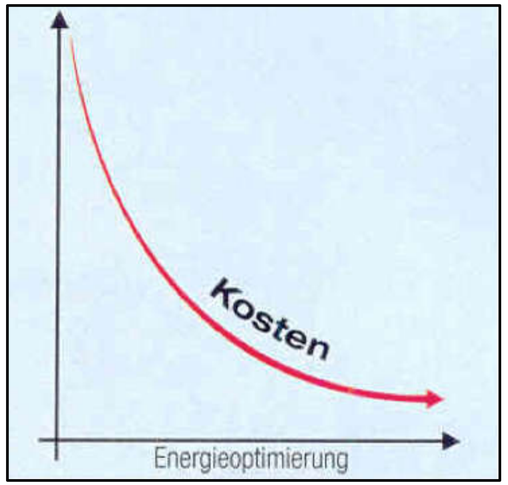
Energiekosten senken durch mehr Energieeffizienz

Beispiel:
Die Lösung für den horizontalen Transport

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 2391 Kg je Antrieb pro Jahr
- Energiekosten-Ersparnis von 536,00 € je Antrieb pro Jahr

Anmerkung: bei etwa 13.000.000 DAS-Elektromotoren bundesweit, wäre das eine jährliche CO2-Emissionsreduzierung von über 30 Millionen Tonnen und eine Energiekosten-Ersparnis von fast 7 Milliarden € pro Jahr.



Gesamtwirkungsgrad ist abhängig vom Motor, Getriebe und Regelung.

Energiekosten reduzieren durch gesteigerten Gesamtwirkungsgrad.

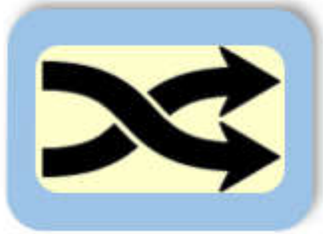
Quelle: SEW

Diskussionsforum
Vorteile innovativer MFC-Systeme

Kurze Reaktionszeiten

Testbarkeit

Hochverfügbarkeit

Transparenz

Flexibilität