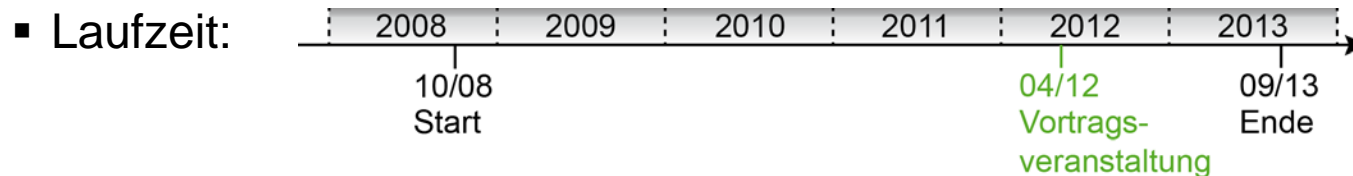


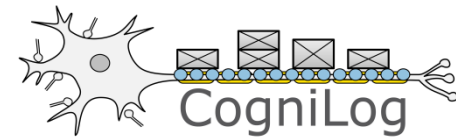
- Hochschulübergreifender Innovationsverbund des Landes Niedersachsen
- Förderung aus Mitteln des europäischen Strukturfonds für regionale Entwicklung (EFRE)



- Projektpartner:
  - Leibniz Universität Hannover  
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik
  - OFFIS Institut für Informatik e. V.
  - Hochschule Osnabrück  
Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften



# Industriepartner (Auszug)



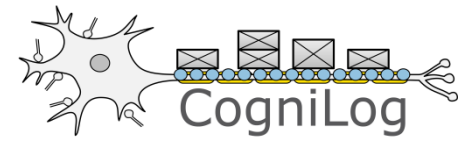
transnorm  
*your best move*



SIEMENS



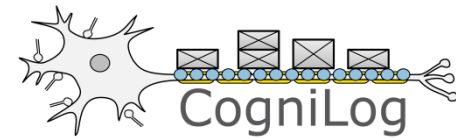
# Fördertechnik heute



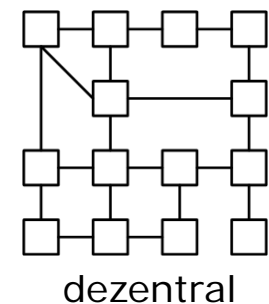
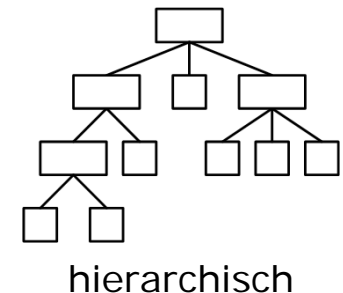
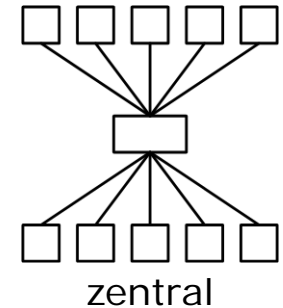
Quelle: WGT-Bilddatenbank



# Transportmittel als Teil des Logistiknetzwerks



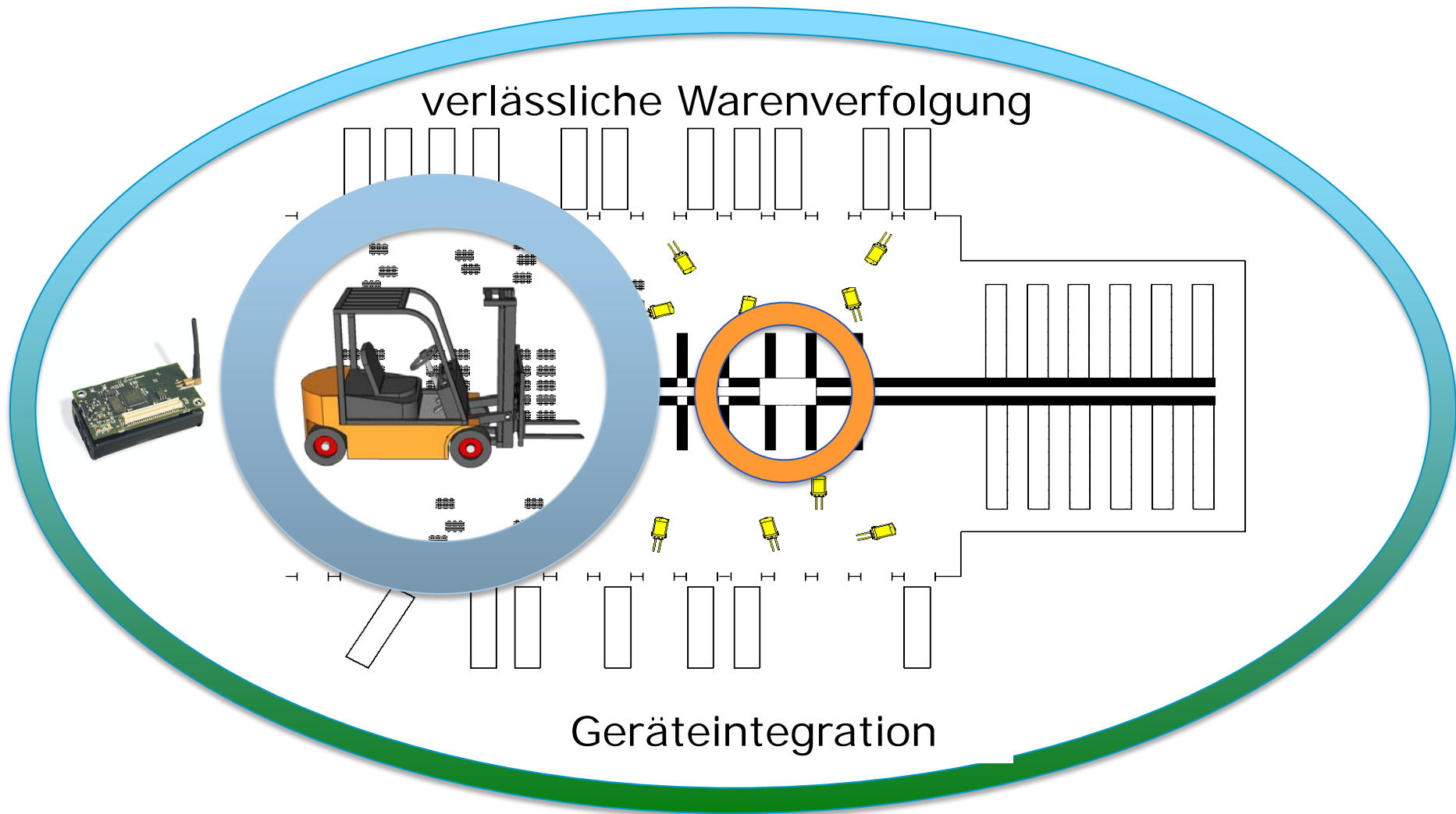
- Zukünftige Transportmittel nehmen ihre Umgebung wahr und interagieren mit ihr
- Entscheidungen über den Transportvorgang werden ausschließlich auf Ebene des durch die Transportmittel realisierten Kommunikationsnetzwerkes getroffen. Eine zentrale Steuerung entfällt.
- Eingangsgröße in das Netzwerk sind das Transportgut und seine Zielgrößen: Zielort, Zeitpunkt
- Flexibilität gegenüber Anforderungsänderungen im Fokus
  - Vermeidung von Anlagenumbau durch bessere Einsatzstrategien
  - Erheblich Senkung der Kosten im Falle eines Umbaus



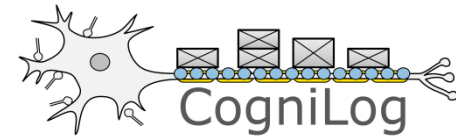


# Kooperierende kognitive Förderer

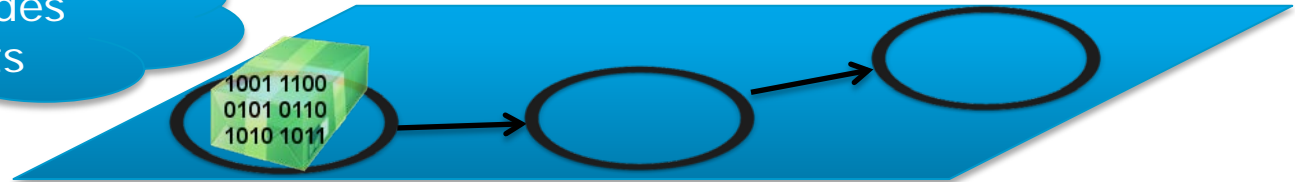
## Bisher adressierte Themen



# Stand der Forschung



Virtuelles Abbild des  
Warenverkehrs



Internet der Dinge

+ Intelligente Pakete

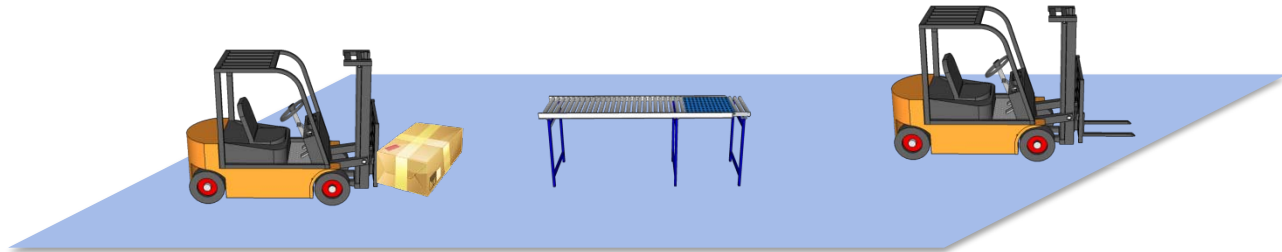
+ Intelligente Umgebung

CogniLog

+ Zuverlässige Warenverfolgung durch Sensorik

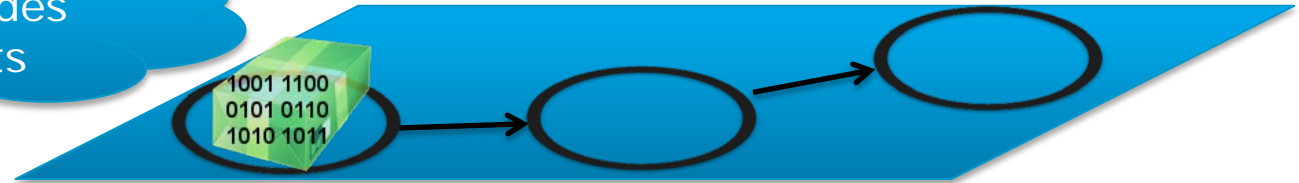
+ Flexible Geräteintegration

physischer  
Warentransport



# Geräteintegration

Virtuelles Abbild des  
Warentransports

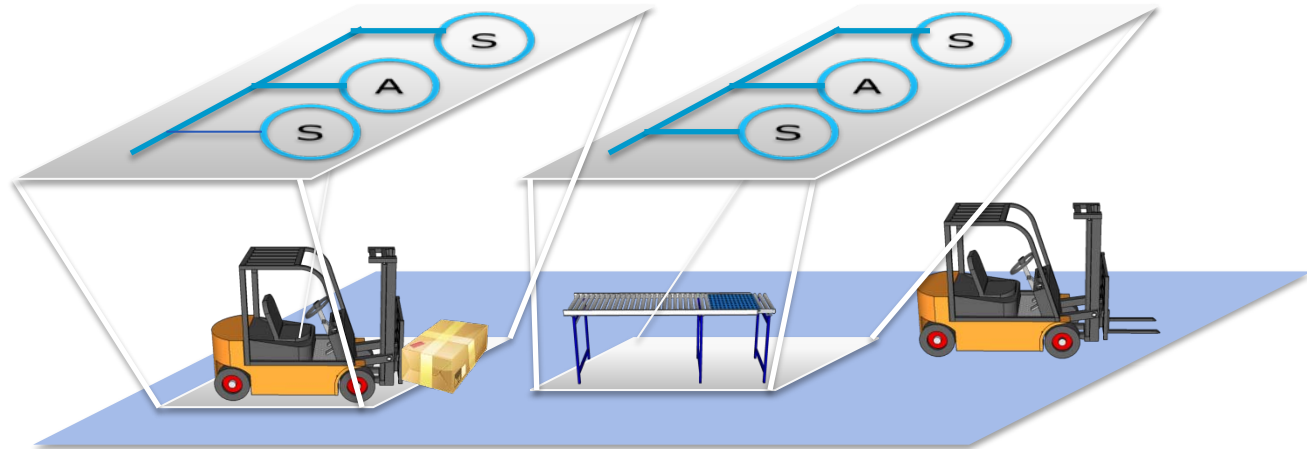


CAN

ProfiBus, RS485

Sensoren  
und Aktoren

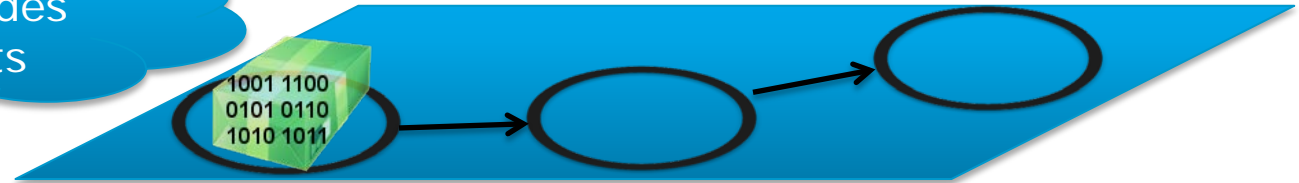
physischer  
Warentransport





# Warenverfolgung

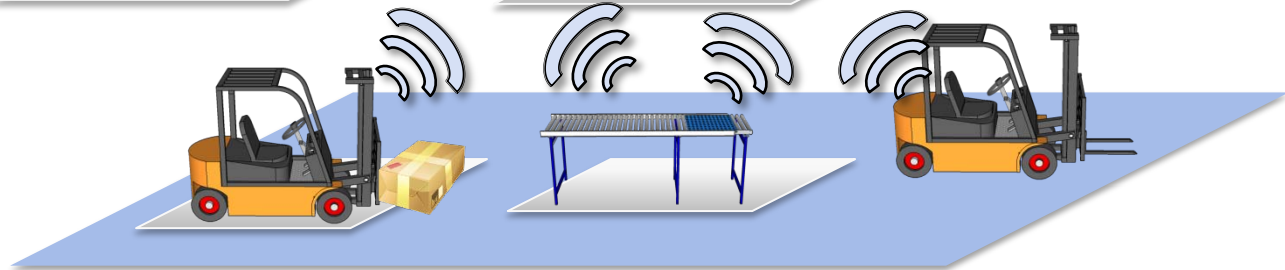
Virtuelles Abbild des  
Warentransports



Sensoren  
und Aktoren

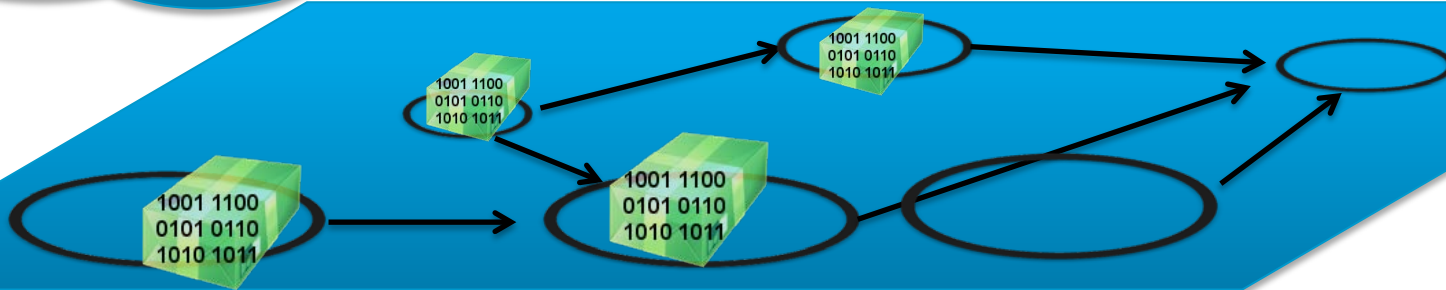


physischer  
Warentransport

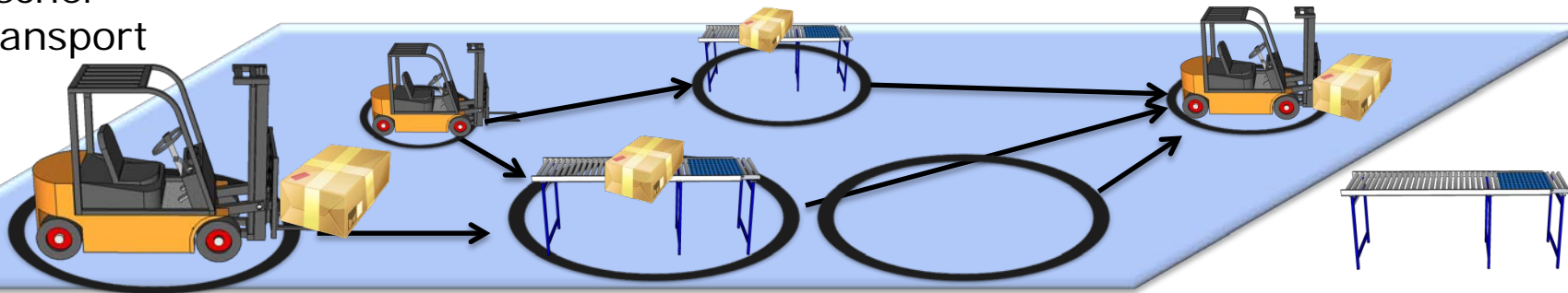


# Rekonfiguration

Virtuelles Abbild des  
Warentransports



physischer  
Warentransport



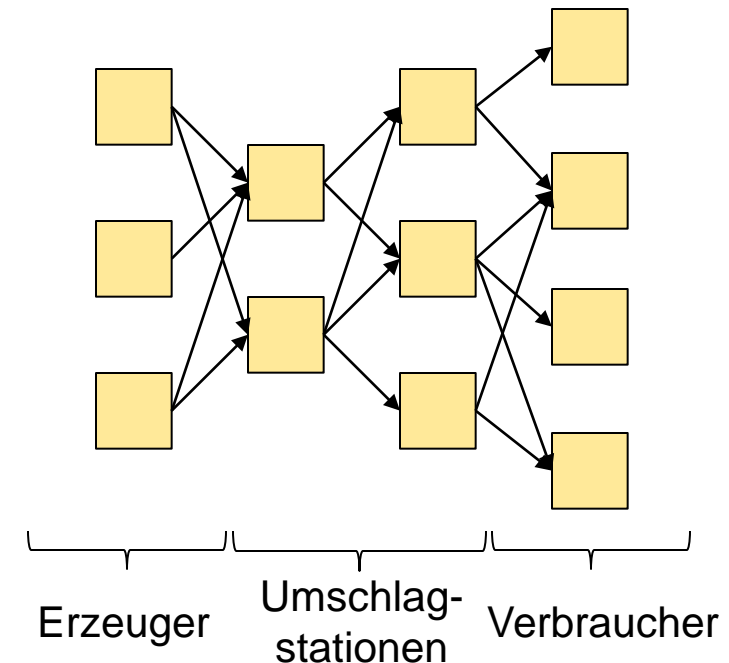
Änderungen am physikalischen Warenfluss  
wirken sich direkt auf die virtuelle Abbildung aus

Kooperative adaptive Ablaufsteuerung für innerbetriebliche Materialflusssysteme  
(Dr.-Ing. Gerd Heiserich)

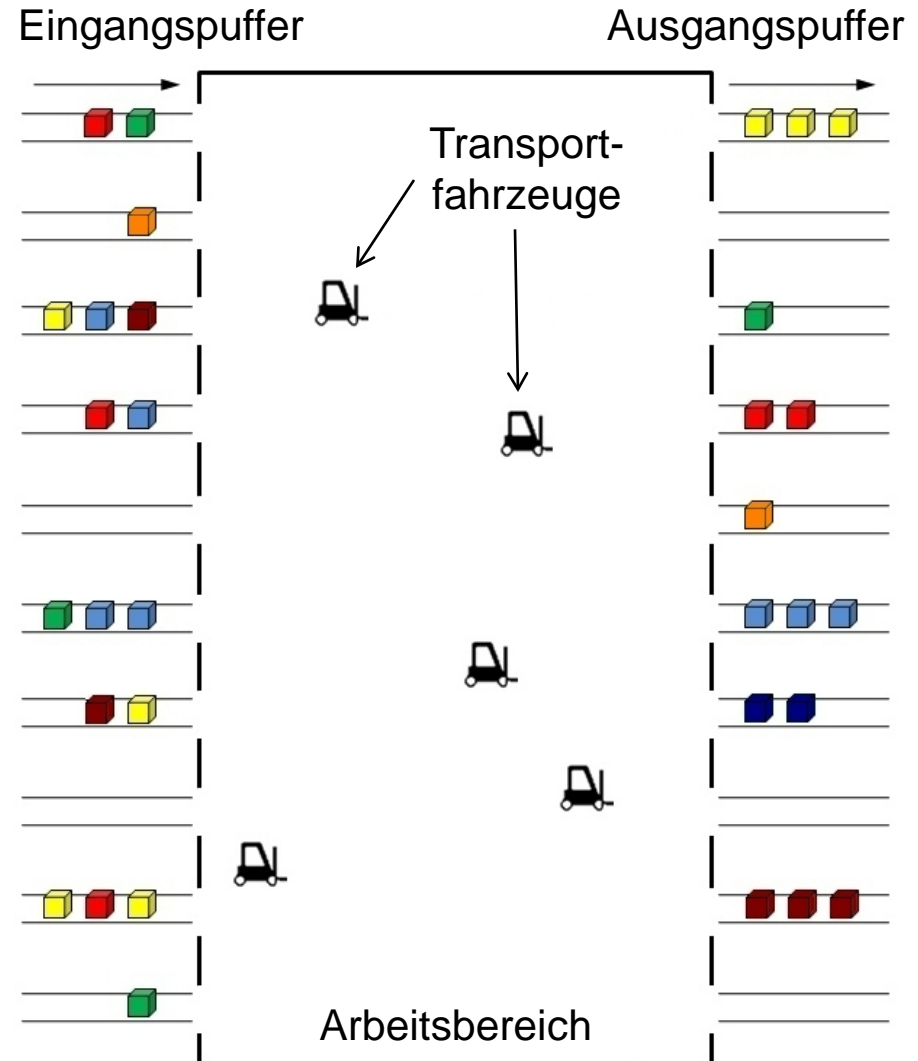
- **Inhalt:** Entwicklung eines Verfahrens unter Verwendung ausgewählter Methoden des maschinellen Lernens zur systematischen Ermittlung einer Einsatzstrategie für ein Crossdocking-Szenario aus der Intralogistik
- **Ergebnisse:** Erfolgreiche Anwendung ausgewählter Methoden, wodurch eine signifikante Verbesserung des Verhaltens gegenüber einfachen heuristischen Einsatzstrategien erreicht wurde.



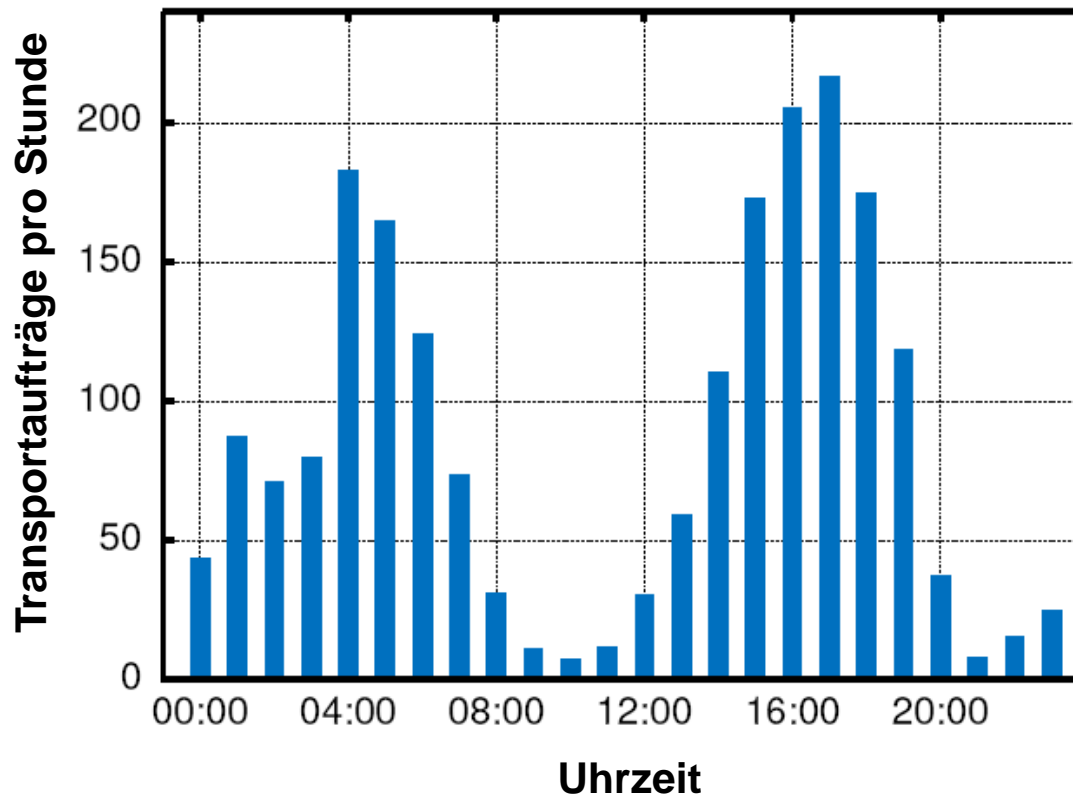
- Ausgangssituation:
  - Trend zu immer kürzeren Innovations- und Produktlebenszyklen
  - Steigende Anzahl an Produktvarianten
  - Kundenindividuelle Massenfertigung
- Herausforderung im Hinblick auf die Organisation von Versorgungsnetzwerken
- Häufige Änderungen von:
  - Netzwerkstruktur
  - Gütermengen
  - zeitlichen Anforderungen
- Zusätzlich muss auf lokale Störungen reagiert werden



- Betrachtetes Anwendungsszenario: **Crossdocking**
- Warenumschlagknoten ohne Zwischenlagerung
- Transport im Arbeitsbereich mit Hilfe einer Anzahl von unabhängigen Transportfahrzeugen, z. B. Gabelstaplern
- Verwandt mit Pickup-and-Delivery-Problemen (Taxidienste)
- Besondere Eigenschaften:
  - Kurze Transportzeiten
  - Schnell wechselnde Umgebungsbedingungen



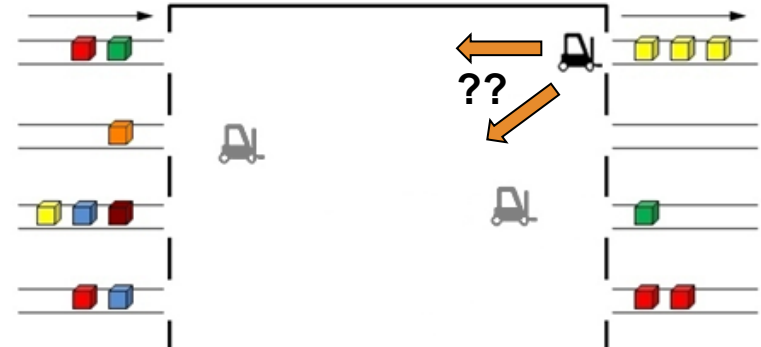
- Typischer Auftragsverlauf über den Tag: starke Schwankungen, schlechte Vorhersagbarkeit auf der Ebene der Einzelaufträge



Quelle: Auftragsdaten einer realen Umschlaghalle; Mittelwerte über ein Jahr



- Entscheidungssituation:  
Nach Auslieferung eines Auftrags muss das Ziel der anschließenden Leerfahrt gewählt werden
- Einfache Heuristiken:
  - **Kürzester Weg:** maximiert den Durchsatz, erfordert aber, dass Transporteinheiten in jedem Eingangspuffer vorgehalten werden und verlängert somit wiederum die mittlere Auftragswartezeit
  - **Höchster Bedarf:** minimiert die Belegung der Eingangspuffer, führt aber zu längeren Leerfahrwegen und vermindert die Auslastung
  - **Restbearbeitungszeit:** minimiert individuelle Wartezeiten; Entscheidung ist ggf. zum Ausführungszeitpunkt nicht mehr günstig



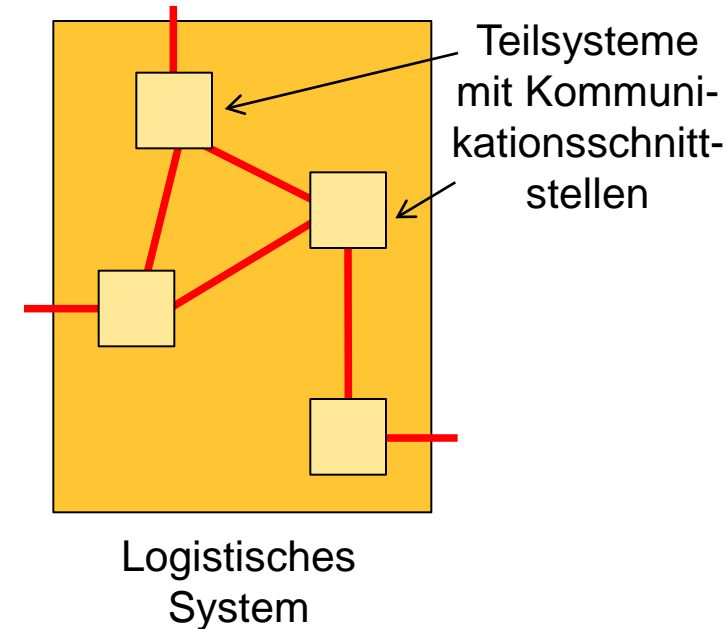
Einfache heuristische Einsatzstrategien sind hinsichtlich nur eines Kriteriums oder für einen Sonderfall optimal

- Ziel: Entwicklung von Einsatzstrategien mit **adaptiven Eigenschaften**  
→ Verhalten wird je nach vorliegender Betriebssituation gewählt
- Beispiel: Nutzung von Phasen geringen Aufkommens zum Abbau langer Warteschlangen, auch wenn hierfür längere Leerfahrwege erforderlich sind
- Im Prinzip: Kontinuierliche Überblendung zwischen Einsatzstrategien
- Vorteile:
  - **Erhöhung der Reaktionsfähigkeit** des Logistiksystems auf sich schnell verändernde Randbedingungen
  - **Erhöhung der Wirtschaftlichkeit** durch Verbesserung des Verhaltens hinsichtlich bestimmter Optimierungskriterien



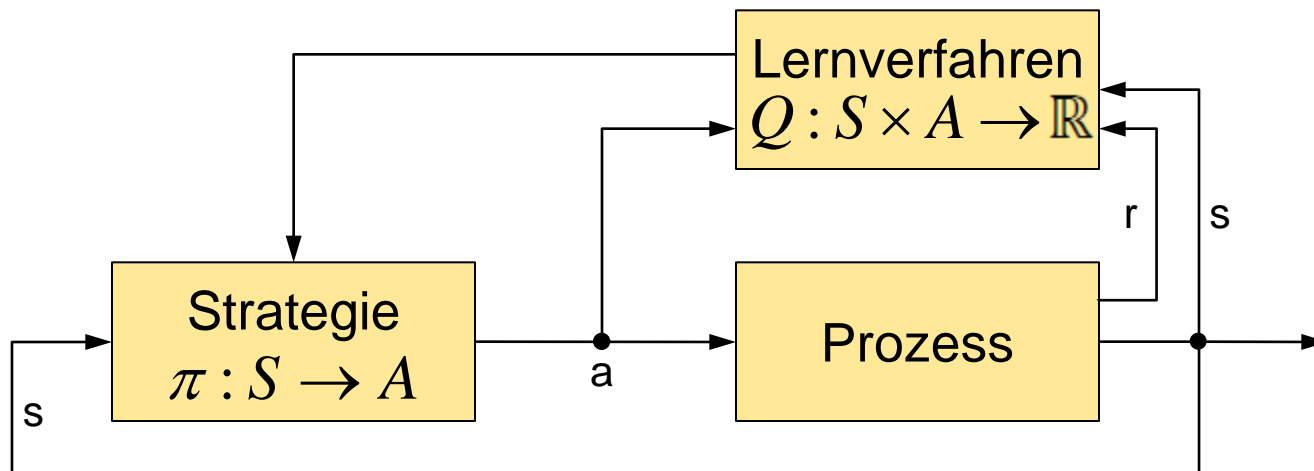
Wie können geeignete Verhaltensregeln für den Einsatz auf den realen Transportfahrzeuge in einer gegebenen Anordnung automatisch ermittelt werden?

- Grundidee: Aufbau logistischer Systeme aus **vernetzten kooperierenden Teilsystemen** mit lokaler Entscheidungsfähigkeit
- Ermittlung der lokalen Entscheidungsfunktionen: **Maschinelles Lernen**
- Möglichkeit der automatischen Ermittlung von Verhaltensregeln nur durch Vorgabe eines Ziels
- Modellierung der Transportsysteme in einem agentenbasierten Simulationsmodell
- Herstellung von Zusammenhängen zwischen dem individuellen Verhalten der Teilsysteme (mikroskopisch) und bestimmten Leistungskenngrößen des Gesamtsystems (makroskopisch)
- Sinnvolles Gesamtverhalten ergibt sich aus den **verteilten Entscheidungen der Einzelakteure**





- Grundprinzip: Sammeln der erhaltenen Belohnungen für jedes Zustands-Aktions-Paar  $(s, a)$  in einer Tabelle
- Prozess läuft zyklisch ab: abwechselnde Last- und Leerfahrten
- Wert einer getroffenen Entscheidung (= Wahl des Ziels einer Leerfahrt) zeigt sich jeweils am Ende der Leerfahrt
- Komponente zur Beeinflussung des Systemzustands → **Verhalten**
- Komponente zur Beobachtung von Wirkungen und zielgerichteter **Anpassung des Verhaltens**



- Zustandsmenge:

$$S = S_{FZ} \times S_{FZ} \times \dots \times S_{FZ} \times S_Q \times S_Q \times \dots \times S_Q \quad \Rightarrow |S| = |S_{FZ}|^{N_{FZ}} \cdot |S_Q|^{N_Q}$$

- Abschätzung für ein kleines Fallbeispiel:

$$|S_{FZ}| = 200, \quad N_{FZ} = 6 \quad K_Q = 10 \Rightarrow |S_Q| = 11, \quad N_Q = 10$$

$$\Rightarrow |S| = 200^6 \cdot 11^{10} \approx 1,7 \cdot 10^{24}$$

- Lösungsweg: **Skalierbare Zustandsbeschreibung** durch Nutzung von Symmetrieeigenschaften des Problems

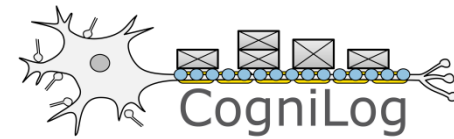
$$Q(s, a) = Q(b(a), d(f_i, a), f_{rem}(s), q_{rem}(s)) \quad \leftarrow \text{„Kontext“}$$

$$k_s = k(f_{rem}(s), q_{rem}(s)) \in \mathbb{R}$$

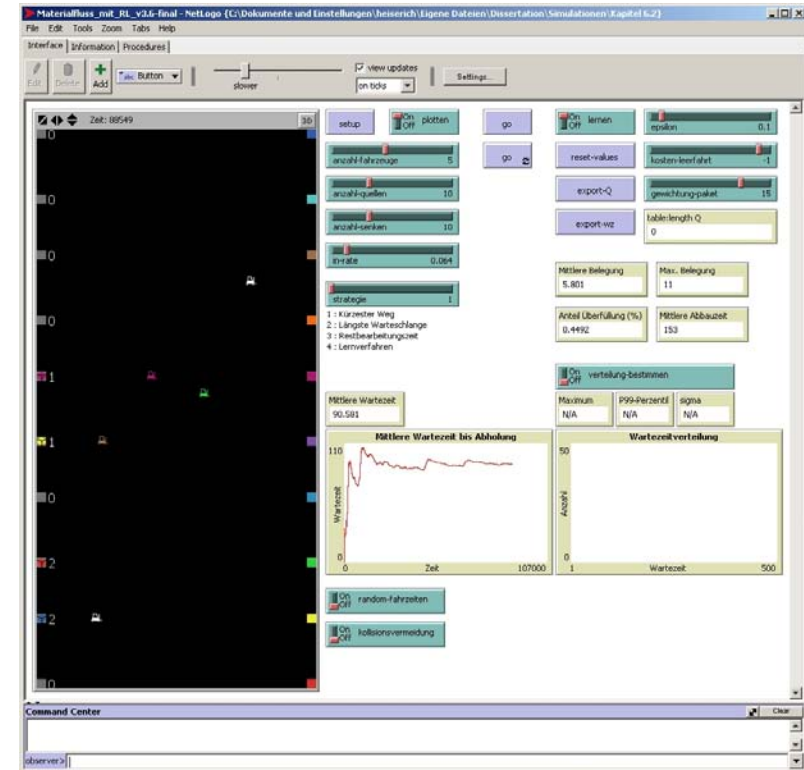
➡ Abbildung des Kontext-Vektors auf einen Unterraum

- Ergebnis: Anzahl der belegten Fahrzeuge eignet sich als Kontext-Funktion

# Simulationsmodell



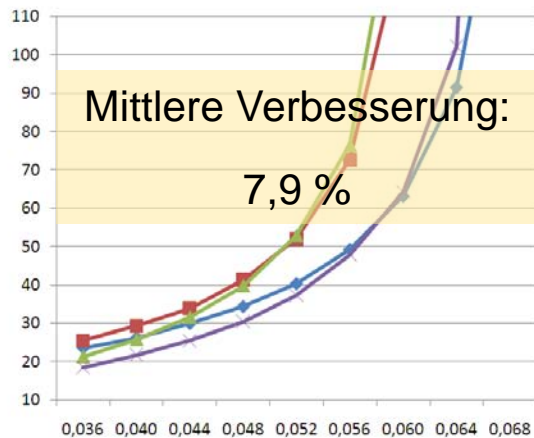
- Layout des Arbeitsbereichs vom Benutzer parametrierbar
- Zeitdiskretes Voranschreiten („ticks“)
- Fahrzeuggeschwindigkeit: 1 LE / tick
- Test-Beispiel:
  - je 10 Eingangs- / Ausgangspuffer
  - 5 Transportfahrzeuge
- Aufträge werden zufällig erzeugt (Poisson-Prozess)
- Optimierungskriterien:
  - Mittlere Wartezeit
  - Maximale Pufferbelegung
  - Vermeidung von Überfüllungs-Zuständen mit Belegung > Grenze



NetLogo-Simulationsumgebung

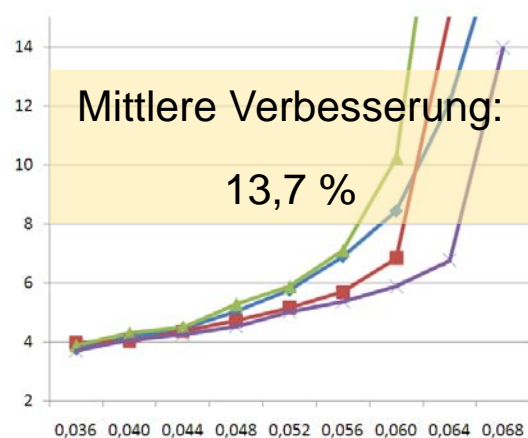
- Evaluation des resultierenden Verhaltens der betrachteten Einsatzstrategien bezüglich verschiedener Optimierungskriterien unter Variation des Auftragsaufkommens

Mittlere  
Auftragswartezeit  
in Simulationsschritten



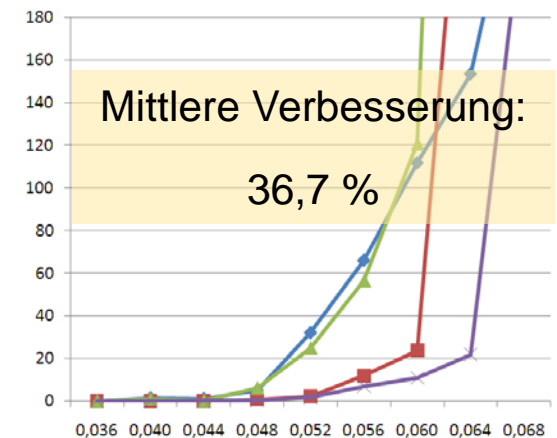
Auftragsaufkommen  
(Aufträge pro Sim.-Schritt)

Maximale  
Pufferbelegung  
(Anzahl TE)



Auftragsaufkommen  
(Aufträge pro Sim.-Schritt)

Mittlere Zeit zum Abbau von  
Überfüllungs-Zuständen  
in Simulationsschritten



Auftragsaufkommen  
(Aufträge pro Sim.-Schritt)

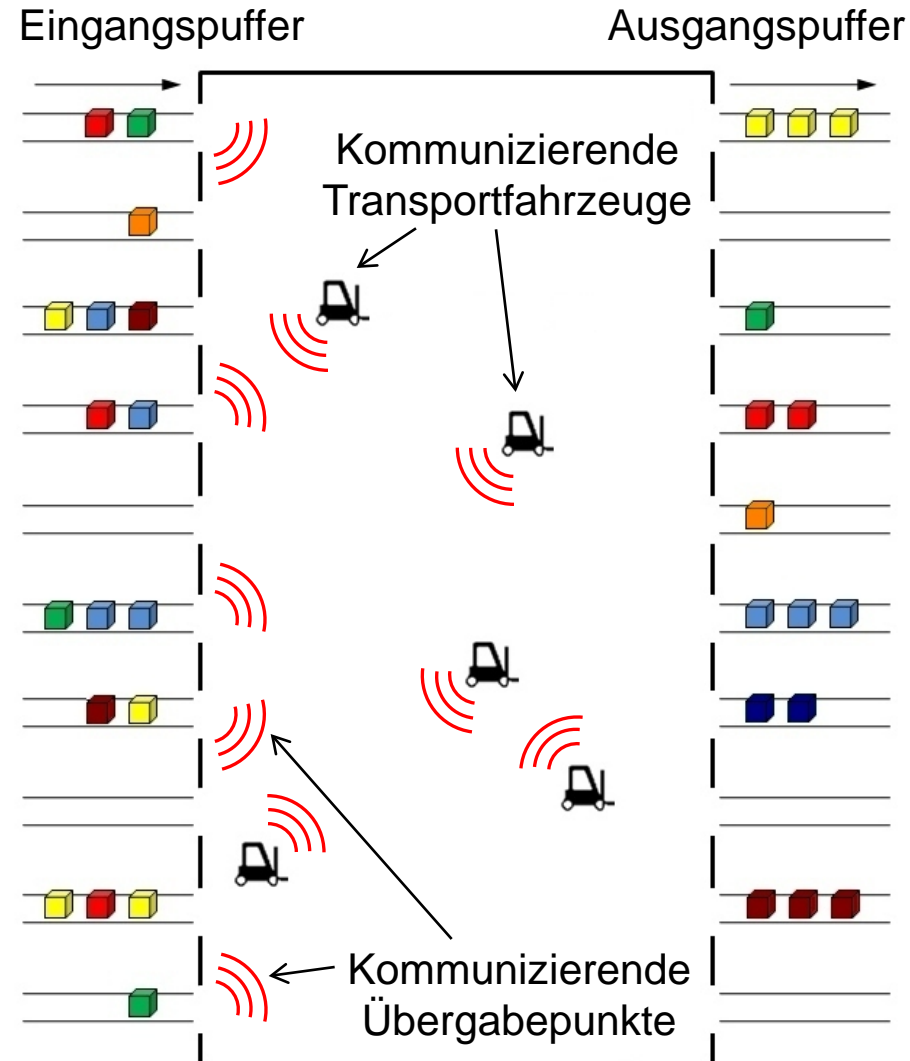


# Umgebung mit kooperierenden Akteuren

- Fahrzeuge erhalten über die Funkschnittstelle Informationen über den Zustand der anderen Fahrzeuge und der Übergabepunkte
- Für jede Einzelentscheidung:
  - Abfragen von Zustandsinformationen der anderen teilnehmenden Akteure
  - Durchsuchen der erzeugten Entscheidungstabelle



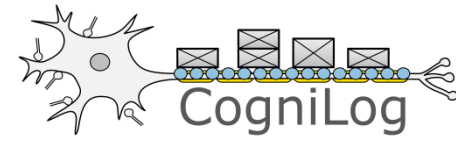
Prototypische Implementierung ist gegenwärtiger Fokus der Forschungsarbeiten



- Verwendung eines Verfahrens aus dem Bereich des maschinellen Lernens zur automatischen Ermittlung von **Verhaltensstrategien mit adaptiven Eigenschaften**
- Erfolgreiche Anwendung des Verfahrens auf **Transportsysteme** in einem Anwendungsbeispiel aus der Logistik
- Ergebnisse:
  - Methode findet **selbstständig** eine Einsatzstrategie für das Szenario, die verschiedene Optimierungskriterien berücksichtigt
  - **Verbesserung des Systemverhaltens** gegenüber heuristischen Einsatzstrategien: Verkürzung der Auftragswartezeiten (7,9 %), Reduzierung der Pufferbelegung (13,7 %), Verkürzung der Zeit zum Abbau von Überfüllungs-Zuständen (36,7 %)
  - Einsatz der gelernten Strategie ist besonders vorteilhaft hinsichtlich der Fairness der Auftragsbearbeitung
- Aufzeigen der **technischen Umsetzung** an den Transportsystemen



# CogniLog Demonstrationsvideo



- Weitergehende Analyse des Ist-Zustands in speditionellen Umschlaghallen, inkl. Wirtschaftlichkeitsanalyse für
  - Cognitive Conveyor (CoCo)
  - Kognitives Staplerleitsystem (CoSL)
  - In einem gemeinsamen Szenario (Szenario 1)
- Definition von Soll-Konzepten für weitere Applikationen, z.B.
  - Container Aus- und Umladung (Szenario 2)
  - Reine Paket-Umschlaghallen (Szenario 3)
- Vergleich von Ist und Soll
  - Quantitativ: Leistung und Wirtschaftlichkeit
  - Qualitativ: Nutzwertanalyse

# Einführung in das Gesamtszenario

- Materialfluss verteilt auf zwei Ebenen, Ausnutzung der Hallenhöhe
- Einsatz intelligenter Verteilknoten als Kreuzungspunkte im oberen Bereich (Stetigfördereranlage), üblicher Staplerverkehr auf dem Hallenboden



Pakettransport im Hub Augsburg der DHL

## **Oben: Paketebene (CoCo)**

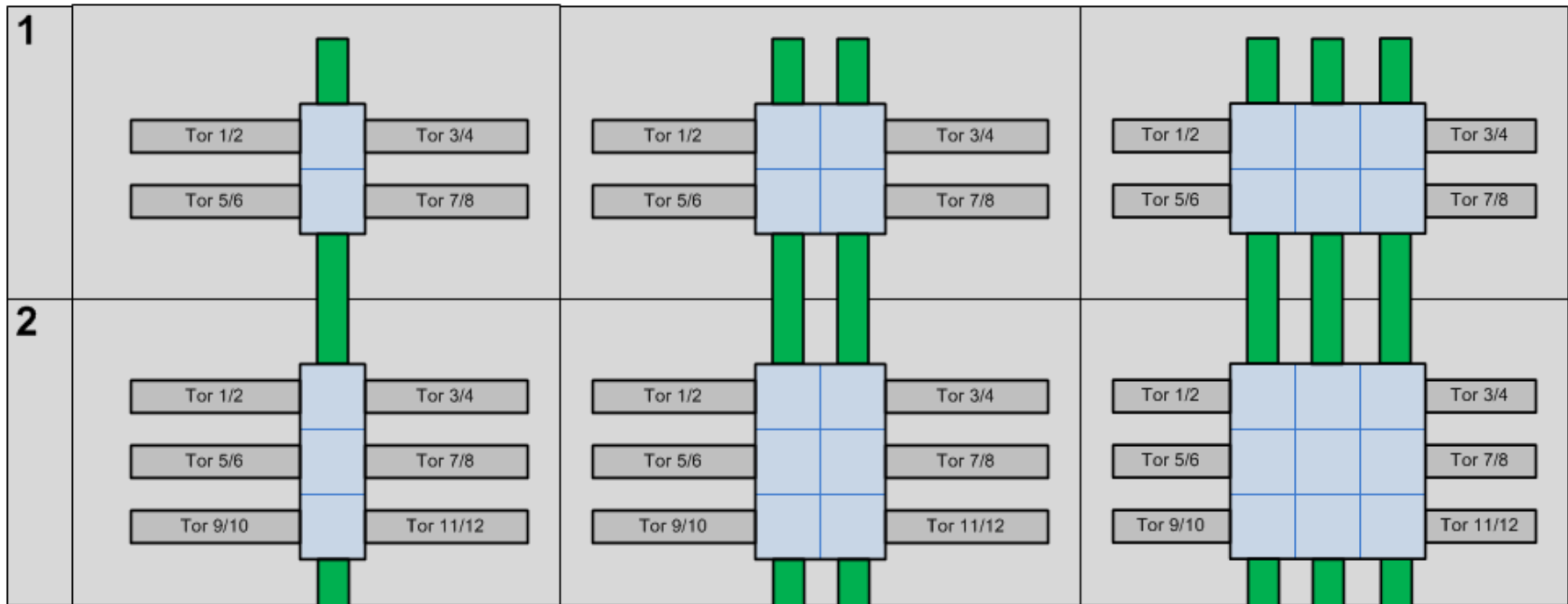


## **Unten: Staplerebene (CoSL)**

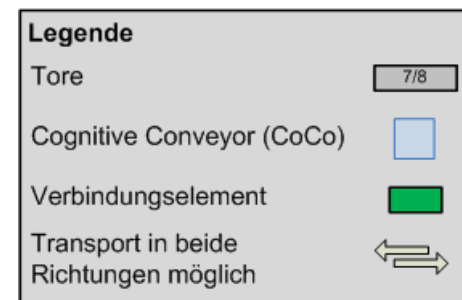


# Variantenvergleich Modulanschlüsse

- Gegenüberstellung von möglichen Verknüpfungsbeispielen (Ausschnitt)

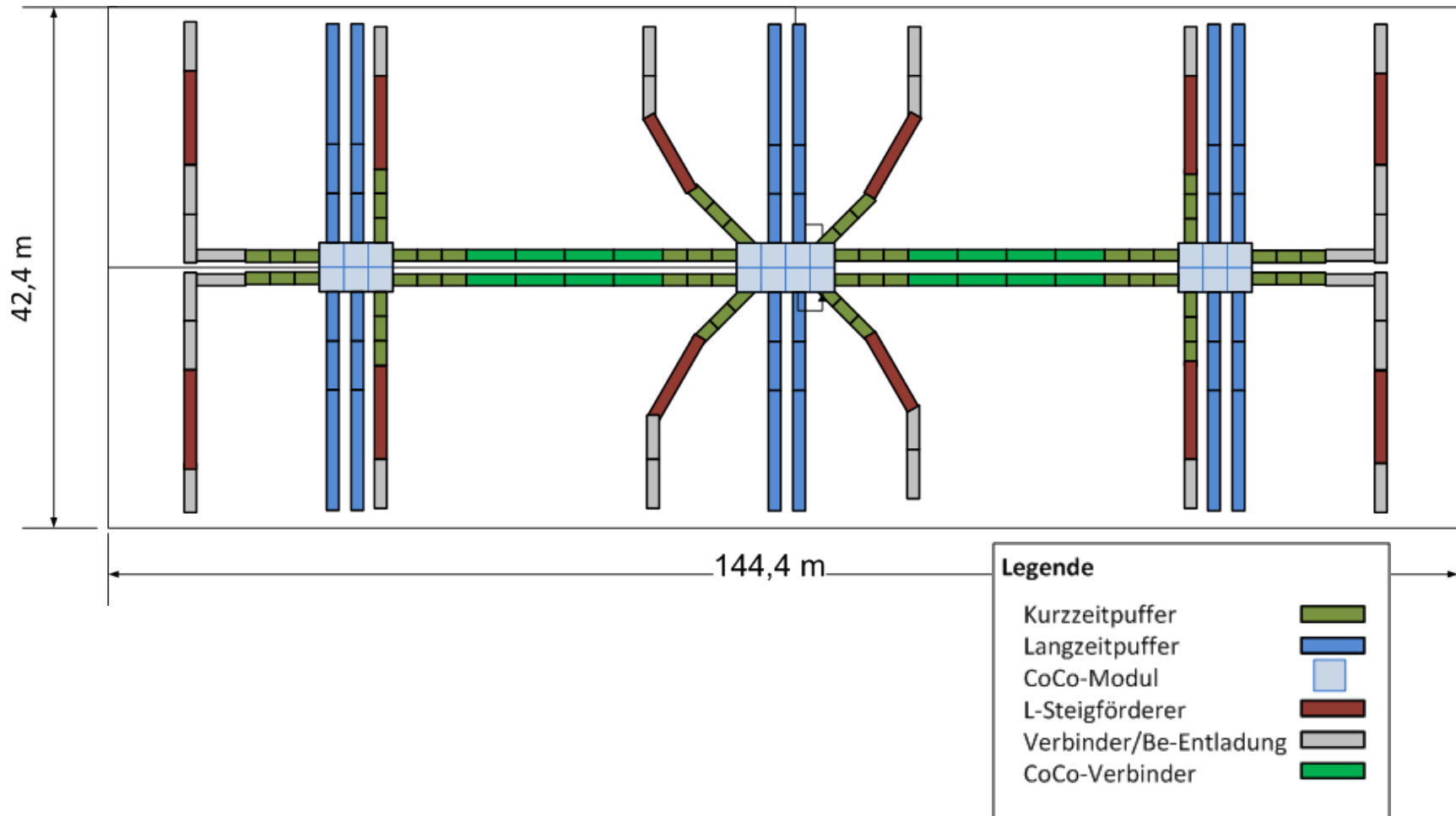


Wesentliche Vorteile zeigt die zweistrangige Verbindung zwischen den Verteilknoten



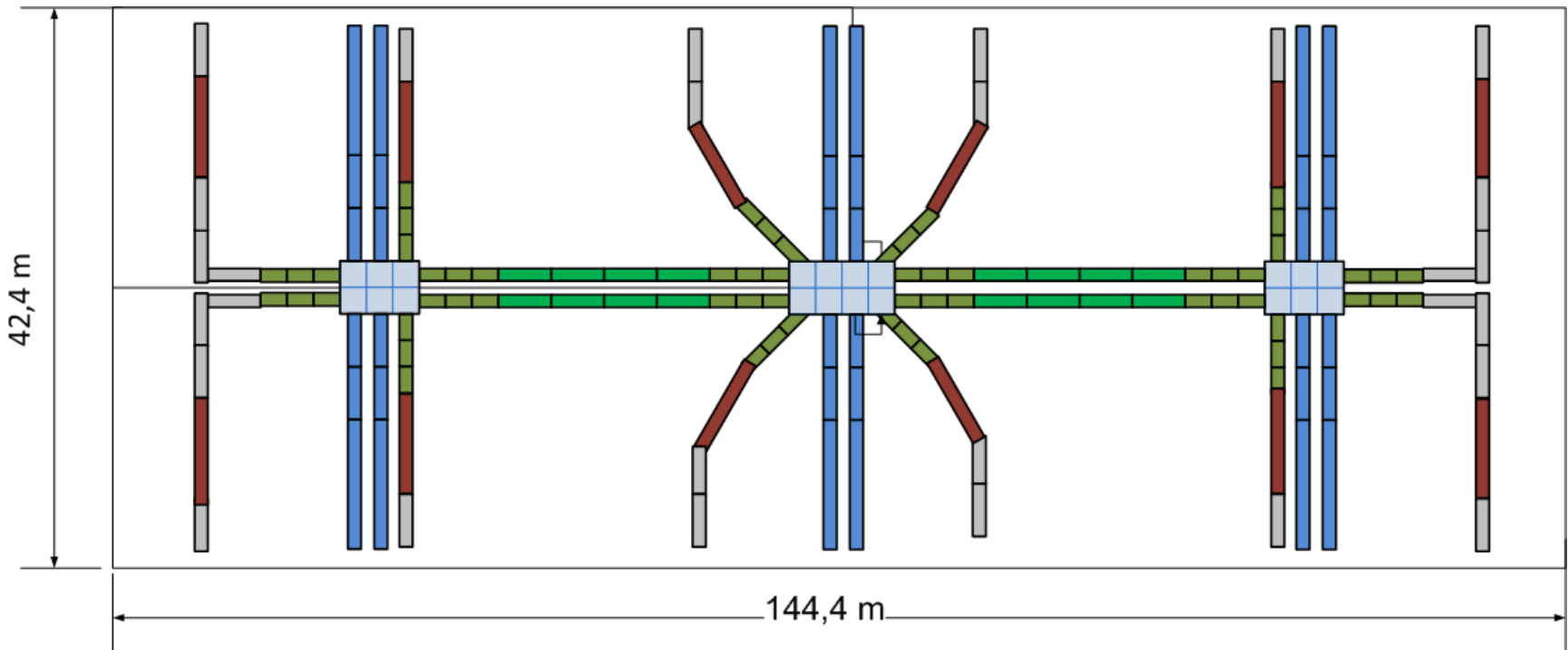
# CoCo im praxisnahen Beispiel (1)

- CoCo für eine speditionelle Umschlaghalle: aktueller Stand der Planung des optimalen Transportnetzes



# CoCo im praxisnahen Beispiel (2)

- Prozesse identifizieren
- Prozesszeiten ermitteln
- Gesamt- und Einzelsysteme zusammenführen und bewerten





- Zu den weiteren geplanten Schritten gehören u.a. die wirtschaftliche Betrachtung der
  - **Inbetriebnahme** und der
  - **Rekonfiguration** (flexibles Hinzufügen und Herausnehmen von Elementen) von
    - Förderanlagen, sowie des
    - Staplerleitsystems
- Zudem steht die **Materialfluss-Simulation** des Gesamtsystems (Engpass- und Grenzlastanalyse) an