



TUP.COM

IT-GRUNDLAGEN DER LOGISTIK 2020

Chancen der digitalen Transformation

**Kapitel 7: Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen -
Anwendung und Technologien der Bereiche OR und KI**
Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas



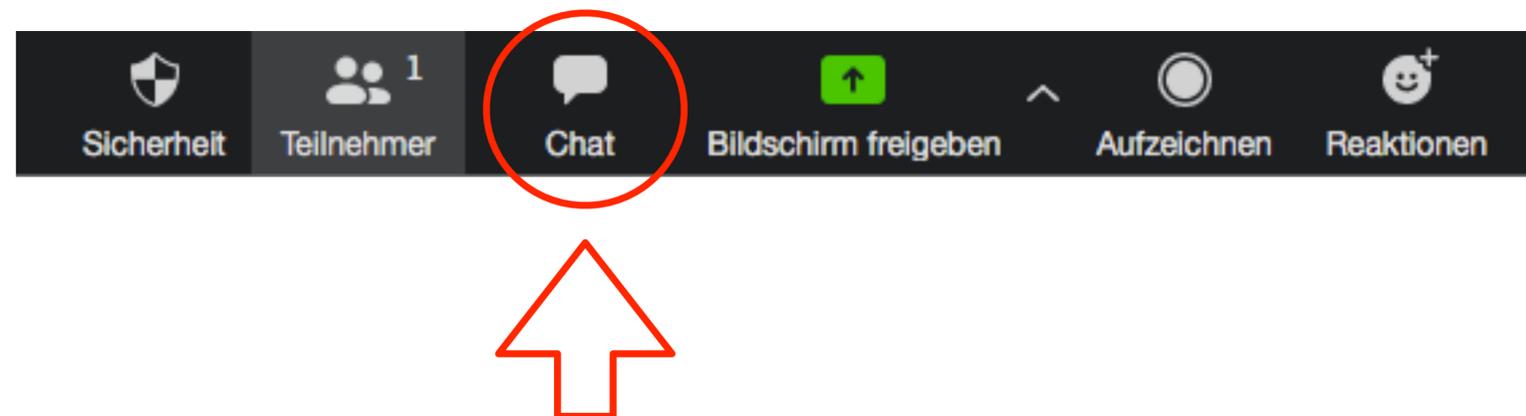
Juli 2020

Fragen?

Fragen können Sie am besten während und am Ende der online-Vorlesung in den **Zoom-Chat** schreiben.

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

Danke.





Mündliche / Schriftliche Prüfung (I)

Das Dekanat für Maschinenbau erwünscht ausdrücklich, das aufgrund der Corona-Situation, die schriftlichen Prüfungen für Wirtschaftsingenieure **einzelnd** und in **mündlicher Form** abgelegt werden sollen.

Diesbezüglich werden wir zwei Tage für die Mündlichen Prüfungen (in der Kalenderwoche 37) einplanen:

Donnerstag, den 10.09.2020 zwischen 13.00 - 18.00 Uhr, und
Freitag, den 11.09.2020 zwischen 13.00 - 18.00 Uhr.

Lokation aller mündlichen Prüfungen ist der Sellmayr-Hörsaal im IFL.



TUP.COM

Mündliche / Schriftliche Prüfung (II)

Studenten (Maschinenbauer) die den Vorlesungsstoff als Prüfung ablegen, werden sowieso mündlich geprüft.

Bitte melden Sie sich für die Prüfung wie gehabt über die Uni-Plattform an!

Terminabsprache und Vergabe für alle mündlichen Prüfungen (Hauptfach oder Nebenfach) bitte über infoka@tup.com.

Danke.

infoka@tup.com

Einleitung

IT-Grundlagen der Logistik - Chancen der digitalen Transformation

THEMENSCHWERPUNKTE

Kapitel 1:
Systemarchitektur für Intralogistiklösungen / Modularisierung von Förderanlagen

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

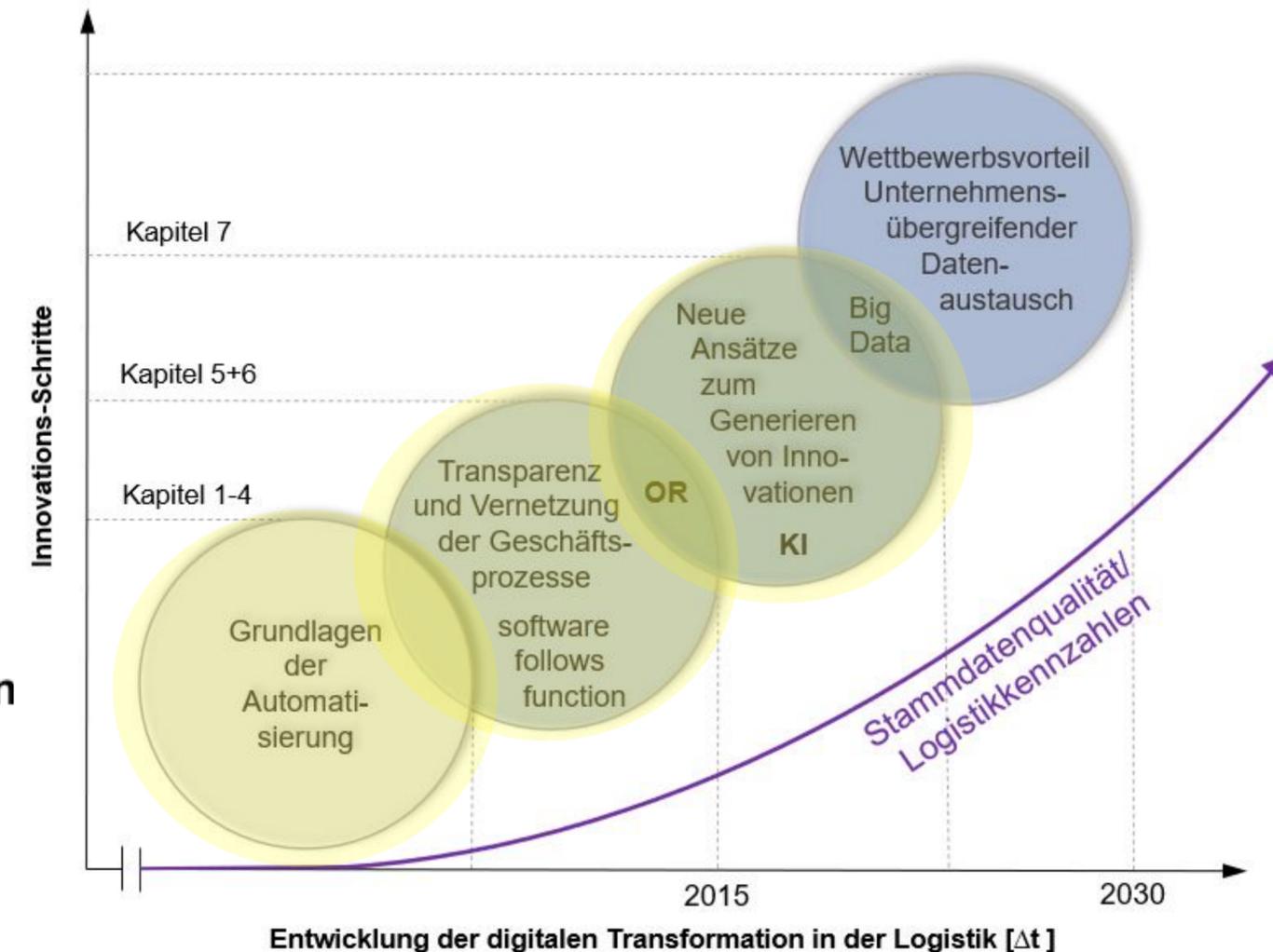
Kapitel 3:
Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik

Kapitel 4:
Datenkommunikation in der Intralogistik

Kapitel 5:
Transparenz und Vernetzung der Geschäftsprozesse

Kapitel 6:
software follows function - Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben

Kapitel 7:
Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen

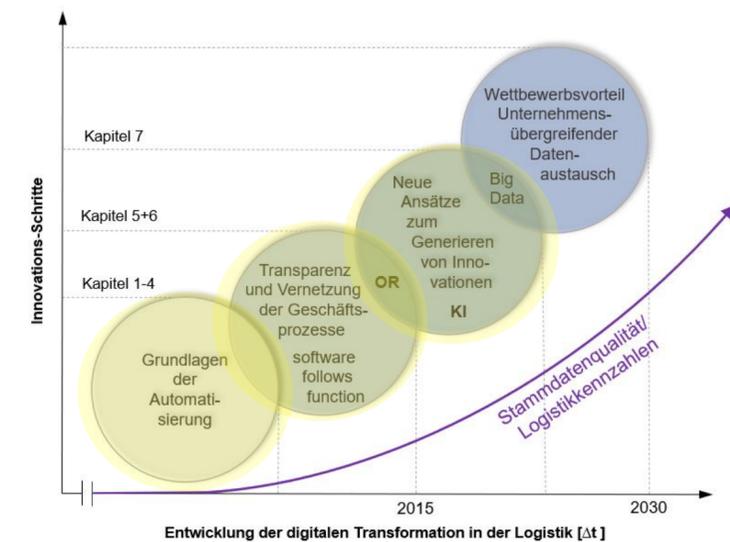




TUP.COM

Digitaler Wandel ist ein fortlaufender Prozess

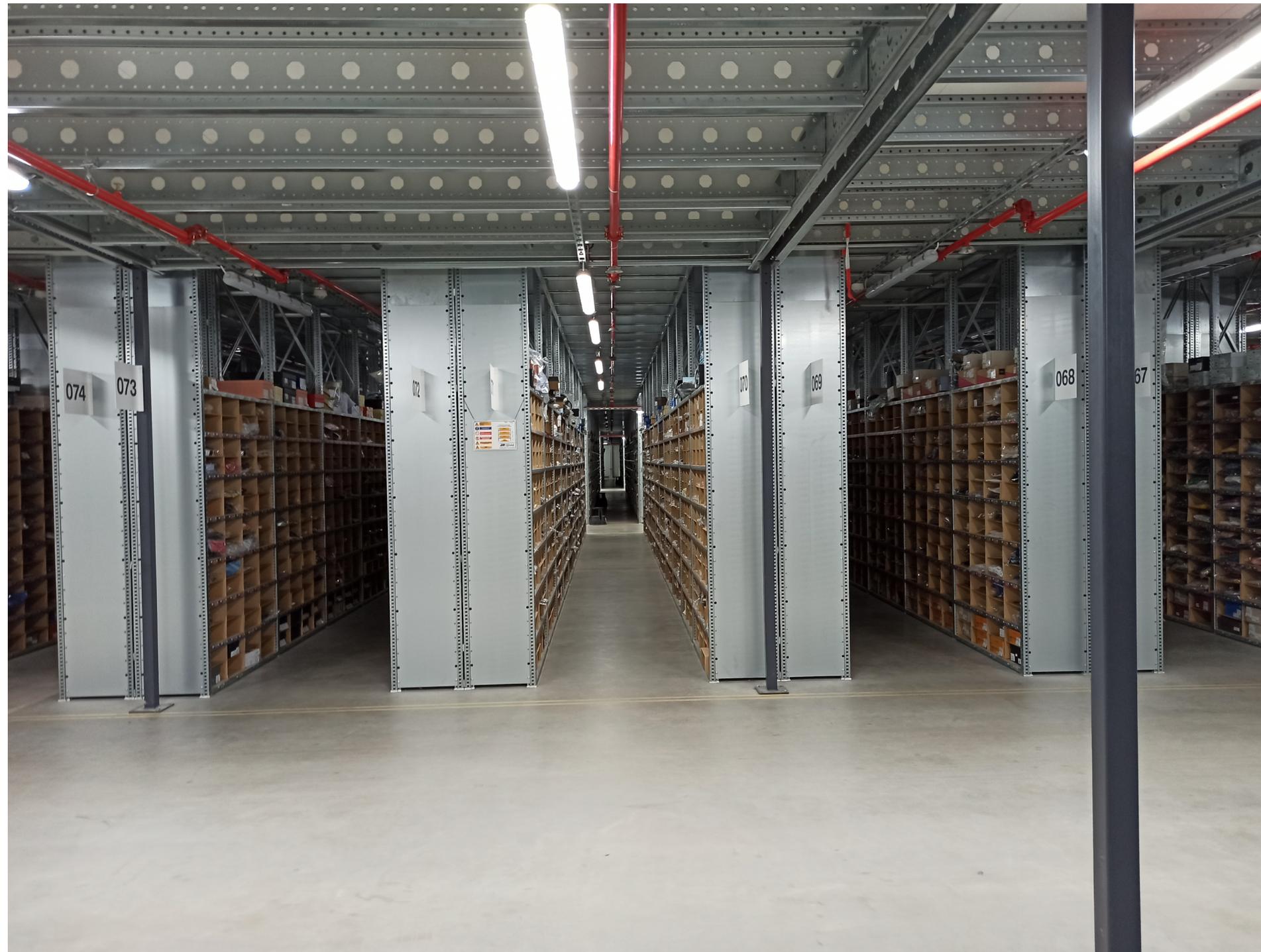
Wenn wir uns keine nützlichen Anwendungen und begründete Veränderungsprozesse in wirtschaftlicher Hinsicht vorstellen könnten, gäbe es keinen Grund für die Anwendung und Technologie der Bereiche OR und KI



Kommissionierlager Liegeware Textilien



TUP.COM



Kommissionierlager Liegeware Textilien



TUP.COM



Didaktischer Ansatz für den Einsatz von OR und KI



TUP.COM

Diskussion:

- Theoretische Möglichkeiten
- Anwendungen im Bereich Logistik, die zum Erfolg führen

Aussage VDI-Nachrichten



TUP.COM

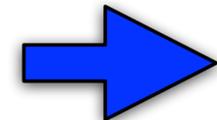
Logistik ist für den Einsatz **Künstlicher
Intelligenz** “KI” prädestiniert.

(Rolf Müller-Wondorf, Verein Deutscher Ingenieure, 10.05.2019)

Was verbirgt sich hinter dem Begriff “KI” bzw. “AI” (Artificial Intelligence) ?



TUP.COM

 Für den Begriff existiert keine offizielle Definition!

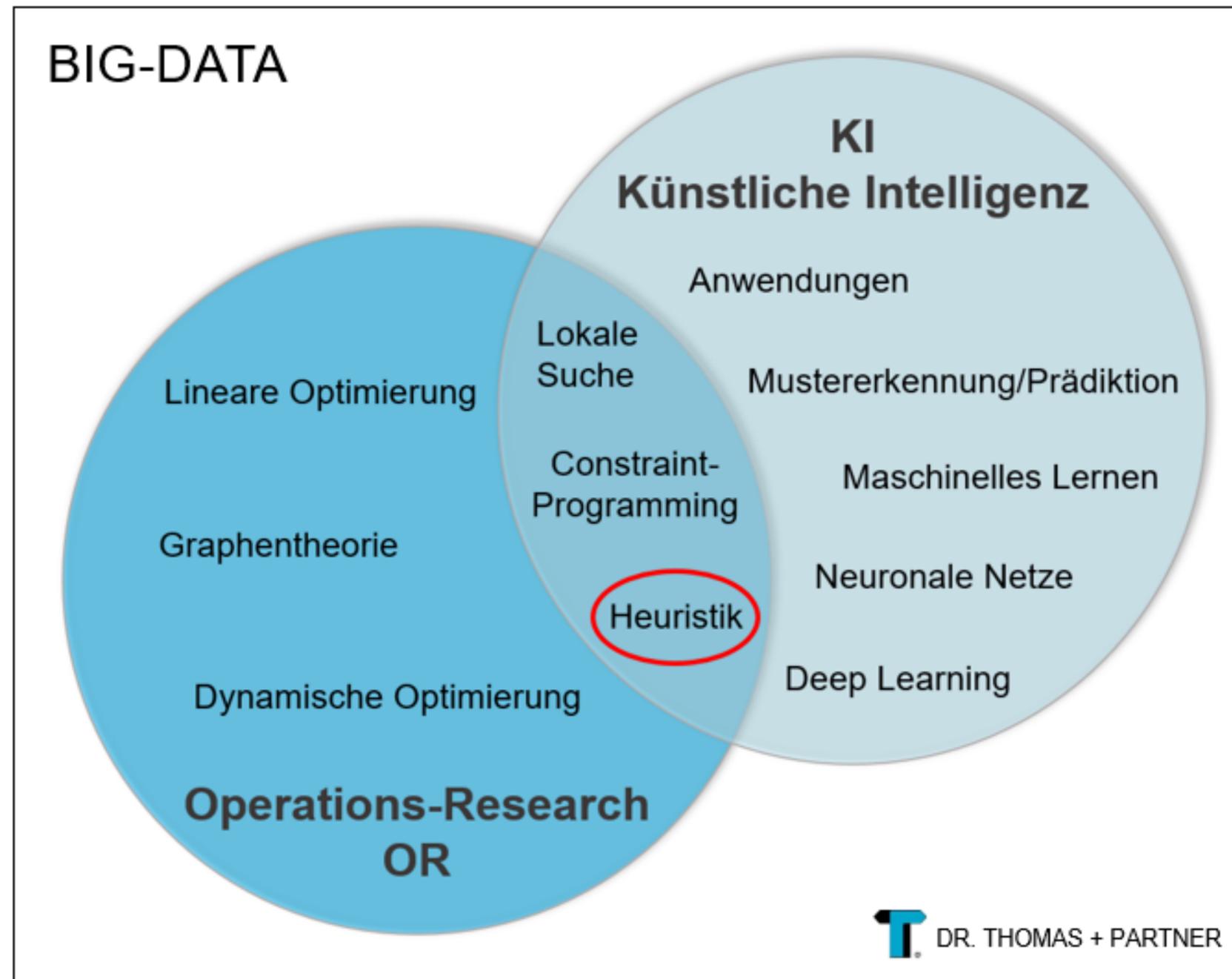
Damit ist die Grenze zwischen OR und KI

nicht klar zu definieren!

Anwendung und Technologie der Bereiche KI und OR. Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen.



TUP.COM



Diskussion: Die Logistik sei für den Einsatz KI prädestiniert?

Entscheidend für die digitale Transformation in der Logistik ist, die Unterscheidung zwischen ...



... den mathematischen Methoden
(Meta-Heuristiken) des “OR”

... und des Begriffs “KI”

Anmerkung:

In der Literatur: keine klare Abgrenzung KI zum Bereich OR



Operations Research (OR)

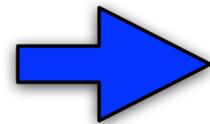
OR beschreibt die “Anwendungsbezogene Optimierung” von Situationen bei wirtschaftlichen Prozessen und Planungen

- ↙ besteht Handlungsbedarf, werden werden Optimierungsprobleme mit Hilfe von mathematischen Modellen gelöst

Was man so alles liest? Zukunftsvisionen schon 1990!

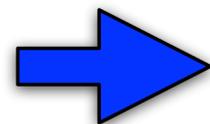


In 10 bis 15 Jahren ...



intelligente Roboter und Transportsysteme
und KI-unterstützte Lagersysteme

Heute: Veröffentlichungen (Walmart Inc. 2018)



über den Einsatz von genetischen Algorithmen und
Maschinen-Learning in der Kommissionierung...

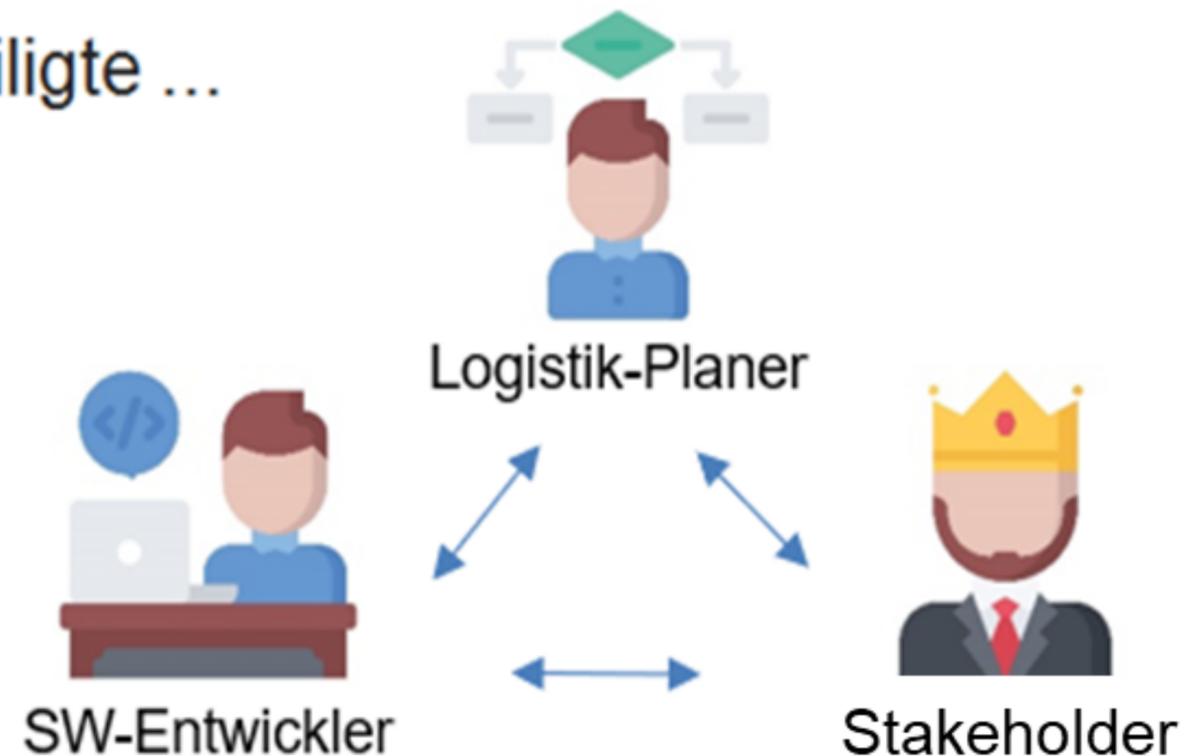
Es gibt keine konkrete Umsetzung!

Interdisziplinäres Team

Es ist wichtig, schon früh alle beteiligte ...

- ▶ ... Stakeholder
- ▶ ... Logistik-Planer
- ▶ ... und Softwareentwickler

als Team mit einzubeziehen.



Die Implementierung der Warehouse Management Solutions erfolgt immer in interdisziplinären Teams aus Logistik-Experten, Software-Spezialisten und Stakeholdern.

Stakeholder (engl. Teilhaber): Personengruppen / Kunde / Anwender / Nutzer, die ein besonderes Interesse am Innovationsprozess und am wirtschaftlichen Erfolg haben.

Modulierung von Planungsproblemen



Interdisziplinäres Team

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

Aus IT-Sicht gilt dabei natürlich, dass in der Planungsphase alle Projektanforderungen dokumentiert und gemeinsam im interdisziplinären Team mit dem Implementierungsleiter (IL) unterschrieben wird.

Modulierung von Planungsproblemen



TUP.COM

A warehouse is not a warehouse

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



Modulierung von Planungsproblemen

Die anwendungsbezogenen Optimierungen in der digitalen Transformation sind von einem stark interdisziplinären Charakter geprägt.

- ↙ In der Praxis herrscht Einheit:
In Zukunft werden die Stakeholder an Bedeutung gewinnen!

Modulierung von Planungsproblemen



TUP.COM

A warehouse is not a warehouse

Jedes Unternehmen verfügt über eigene Strukturen und Prozesse, die dessen Charakter beschreiben, und somit die Grundlagen

des unternehmerischen Erfolgs

zementieren!

Modulierung von Planungsproblemen



Bevor wir über Lösungen reden, müssen die Stakeholder die Herausforderungen verstanden haben

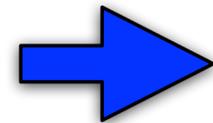
- ➔ Die *“Analyse-Arbeit”* kann einem Kunden zeigen: aktuell sind die Geschäftsprozesse fragmentiert (zergliedert)
- ➔ **Lösung:** Einsatz adaptiver Prozessbausteine (*Kapitel 2 und Kapitel 5*)

Optimierung der Geschäftsprozesse

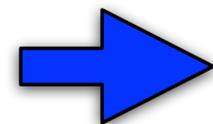


TUP.COM

Unterschiede zwischen Theorie und Praxis:



In der Literatur fällt eine zu statische Betrachtung auf. Einzelne Geschäftsprozesse werden gekapselt und unabhängig voneinander untersucht.



Aus der Sicht der Praxis wird die Auftragsabwicklung so kostengünstig wie möglich gestaltet. Den obersten Zielen *“Effizienz und Kostenminimierung”* sind sämtliche Geschäftsprozesse untergeordnet.



Ansätze zur kombinatorischen Optimierung

Betrachten wir das Ziel jeder Batchbildung:

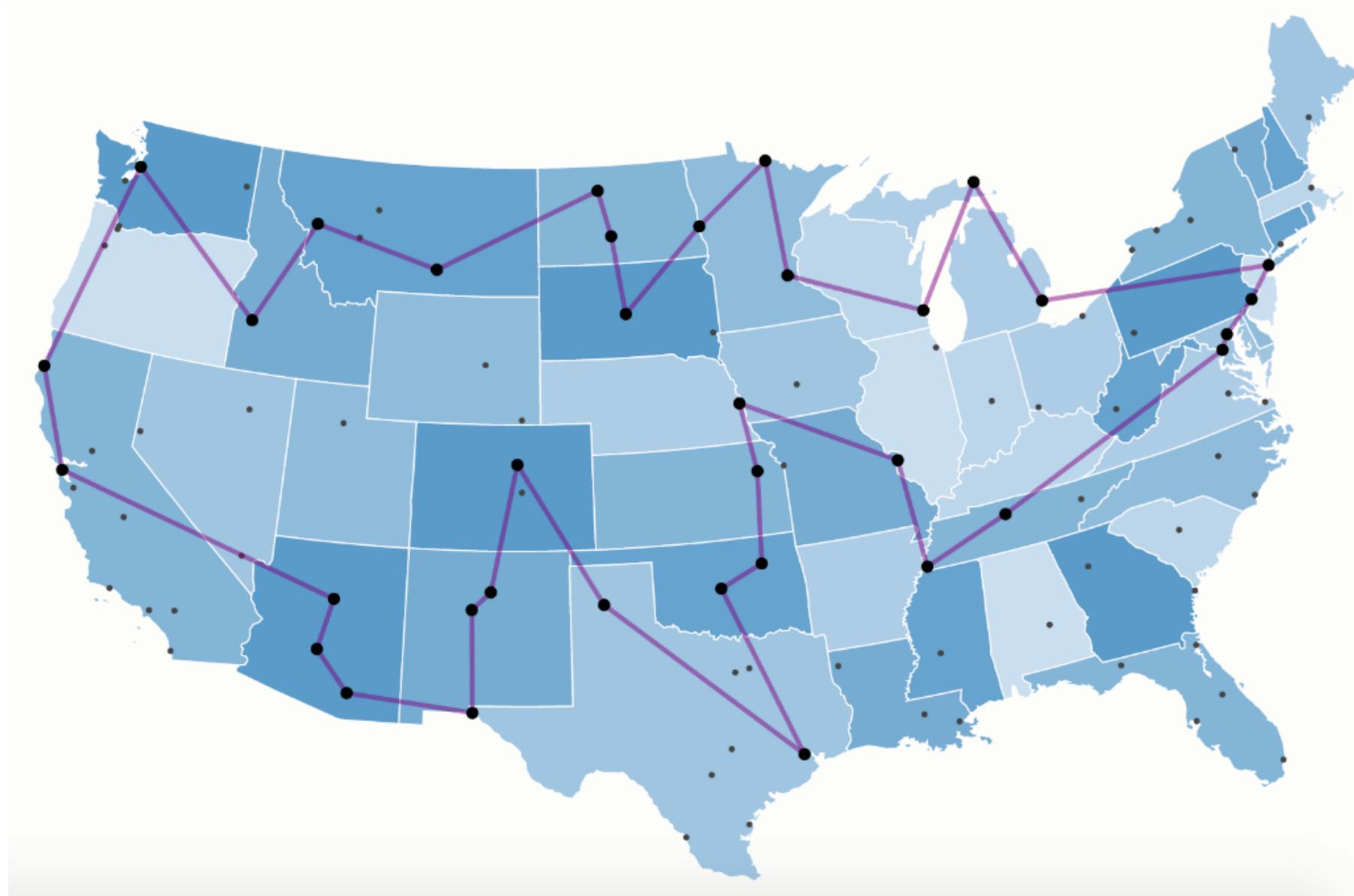
- Minimierung der Wegstrecke
- Minimierung der Gangwechsel

Rückblick Kapitel 5

Traveling Salesman Problem (TSP)



TUP.COM



Exakte Lösung durch vollständige Enumeration von n-Städten -

Symmetrische Verbindung $\frac{(n-1)!}{2}$  35 Städte = $1,48 \times 10^{38}$ mögliche Routen!

Mathematisches Modell

$$BP_{bf}^a = PT \cdot \sum_{o \in O} X_{ob} \cdot OP_{of}^a \quad \forall b \in B, \forall f \in F^1 \cup F^2, \forall a \in A$$

$$BA_{ba} \geq OAV_{oa} \cdot X_{ob} \quad \forall o \in O, \forall b \in B, \forall a \in A$$

$$\begin{cases} 2 \cdot INT_{ba} + 1 - M \cdot (1 - BA_{ba}) \leq A_{bk} + a \cdot BA_{ba} \\ 2 \cdot INT_{ba} + 1 + M \cdot (1 - BA_{ba}) \geq A_{bk} + a \cdot BA_{ba} \end{cases} \quad \forall a \in A$$

$$2 \cdot NBA_b = \sum_{a \in A} BA_{ba}$$

$$RBA_b \geq a \cdot BA_{ba} \quad \forall b \in B$$

$$RBA_b \leq \sum_{k \in \{a, \dots, |A|\}} k \cdot (BA_{bk}) \quad \forall b \in B$$

$$CW_{i0}^0 = LD + ST_i \quad \forall i \in B, l=0, a=1$$

$$CW_{i0}^0 = LD + CT_{i-PK} \quad \forall i \in B, l=0, a=1$$

$$CW_{il}^a \leq BAC_{j,a-1} + AW + M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall i \in B, l=0, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$CW_{il}^a \geq BAC_{j,a-1} + AW - M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall i \in B, l=0, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$CW_{il}^a = AE \cdot AV_i^a + CW_{i,l-1}^a \quad \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$CW_{il}^a = PF \cdot AV_i^a + CW_{i,l-1}^a \quad \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$CP_{b1}^a = P_{b1}^a \quad \forall b \in B, \forall a \in A$$

$$CP_{bf}^a = P_{bf}^a + CP_{b,f-1}^a \quad \forall b \in B, \forall f \in F^a \setminus \{1\}, \forall a \in A$$

$$CD_{i0}^a = D_{i0}^a \quad \forall i \in B, \forall a \in A$$

$$CD_{il}^a = D_{il}^a + CD_{i,l-1}^a, (CD_{i0}^a = D_{i0}^a) \quad \forall i \in B, \forall l \in F^a, \forall a \in A$$

$$\sum_{i \in B} Y_{ij}^a = BV_j \quad \forall i \in B, \forall j \in B, \forall a \in A \setminus \{1,2\}$$

$$P_{if}^a = BP_{if}^a \quad \forall i \in B, \forall j \in B, \forall a \in A \setminus \{1,2\}$$

$$P_{if}^a \leq BP_{if}^a + M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1,2\}$$

$$P_{if}^a \geq BP_{if}^a - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1,2\}$$

$$AV_i^a = BA_{ia} \quad \forall i \in B, \forall a \in \{1,2\}$$

$$AV_i^a \leq BA_{ja} + M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall i, j \in B, \forall a \in \{1,2\}$$

$$AV_i^a \geq BA_{ja} - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall i, j \in B, \forall a \in \{1,2\}$$

$$CW_{b0}^0 \leq CW_{b0}^0 + M \cdot BA_{b0} \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

$$CW_{b0}^0 \geq CW_{b0}^0 - M \cdot BA_{b0} \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

$$BAC_{ba} \leq BAC_{ba} + AE + M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

$$BAC_{ba} \geq BAC_{ba} - M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

$$BAC_{ba} \leq M \cdot BA_{ba} \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$BAC_{ba} \geq BAC_{ba} - M \cdot BA_{ba} \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$BAC_{ba} \leq LF_b^a + WT - M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

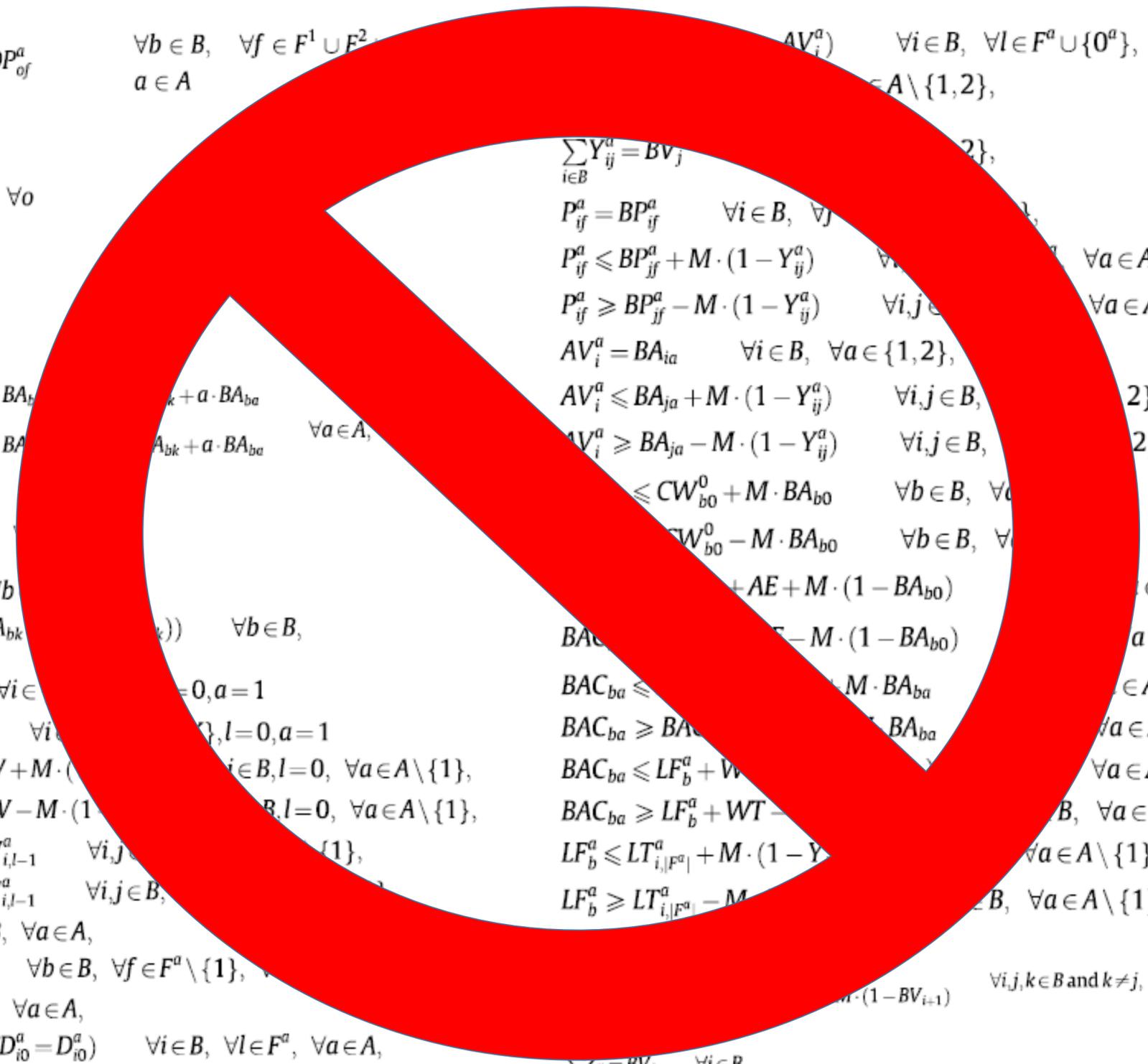
$$BAC_{ba} \geq LF_b^a + WT - M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$LF_b^a \leq LT_{i,|F^a|}^a + M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$LF_b^a \geq LT_{i,|F^a|}^a - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

$$\sum_{j \in B} Z_{ij} = BV_i \quad \forall i \in B$$

$$\sum_{i,j,k \in B \text{ and } k \neq j} Z_{ij} \cdot (1 - BV_{i+1}) \quad \forall i, j, k \in B \text{ and } k \neq j, \forall a \in A \setminus \{1,2\}$$





Metaheuristiken

Heuristik für spezielle Systeme

Metaheuristiken vermeiden lokale Minima und Zyklen

- Ein Bergsteiger versucht im dichten Nebel den höchsten Gipfel zu erreichen:
 - globales Maximum
 - Nebengipfel (lokales Maximum)





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

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

- weniger Technik
- Flexibilität der Versandabwicklung E-Commerce-Handel beeinflusst die Ganglinie des Bestelleingangs



Batchbildung - Zielstellungen

Batchbildung - Zielstellungen:

- Mehrfachzugriff auf Artikel entlang des Pick-Rundgangs
- Hohe Pickdichte, geringe Kommissionier-Wegzeiten

Voraussetzungen Organisationsform:

- Poolbildung mit ausreichenden Aufträgen in Abhängigkeit des Personaleinsatzes
- Es werden Lösungsverfahren mit der Zielfunktion eingesetzt:

Wie findet man das globale Minimum?*

***Globales Minimum:** Auftragseinlastung und Arbeitszeit entlang einer Sägezahnkurve

- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

1) Annahme: Bestellvolumen resultiert aus heterogener Sortimentsbreite ...
(z.B. Stiefel bis Textilien, Kaffee-Automat bis Bobby-Car)

... groß dimensionierte Kommissionier-Wanne (800mm x 600mm x 500mm)

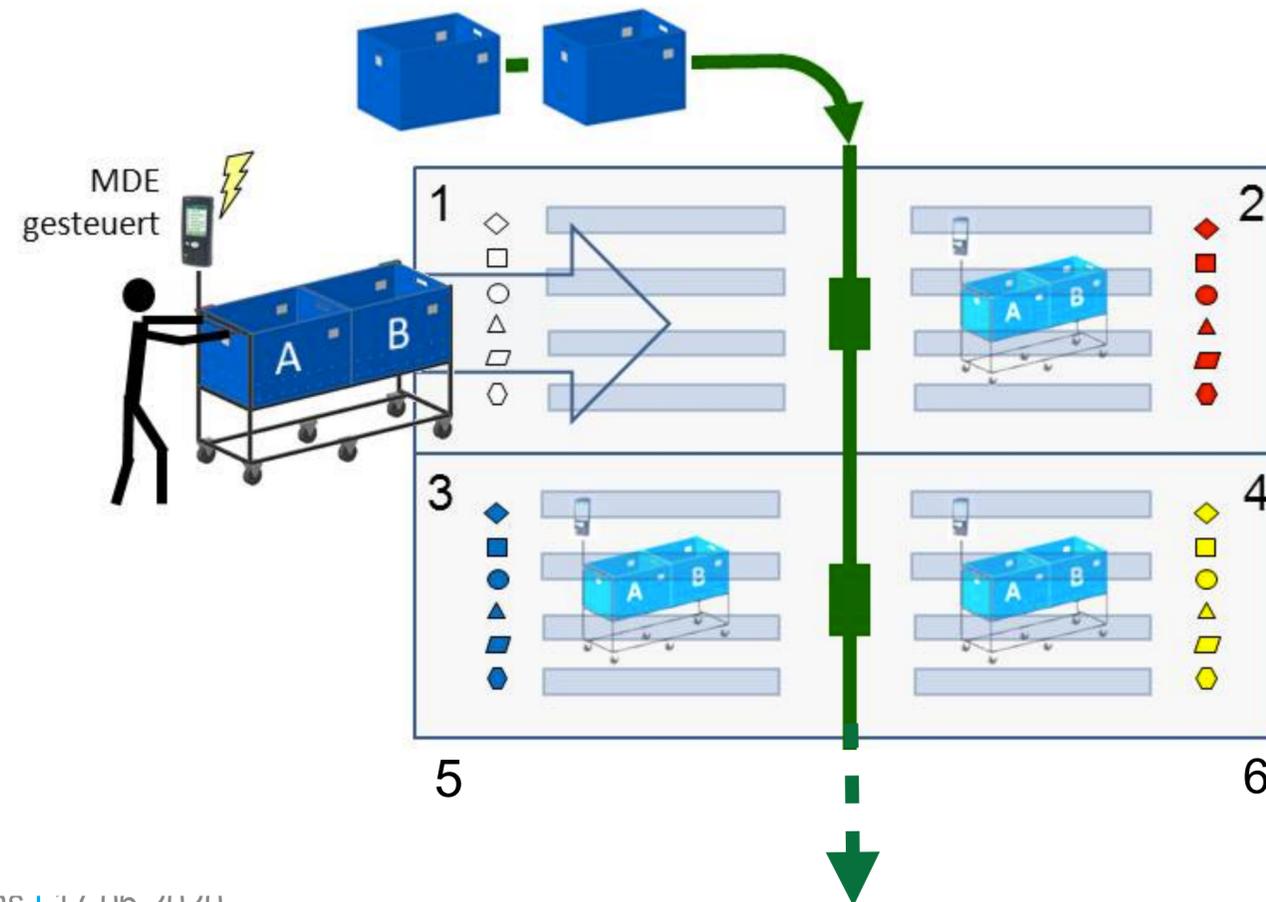


- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

2) Annahme: Durchschnittlich 30 Teile pro Kommissionierwanne ...

... 2 Wannen pro Kommissionier-Rundgang

... Optimierungsansatz:
Gleichzeitige Befüllung
der Wannen A und B in nur
einem Kommissionier-Bereich!

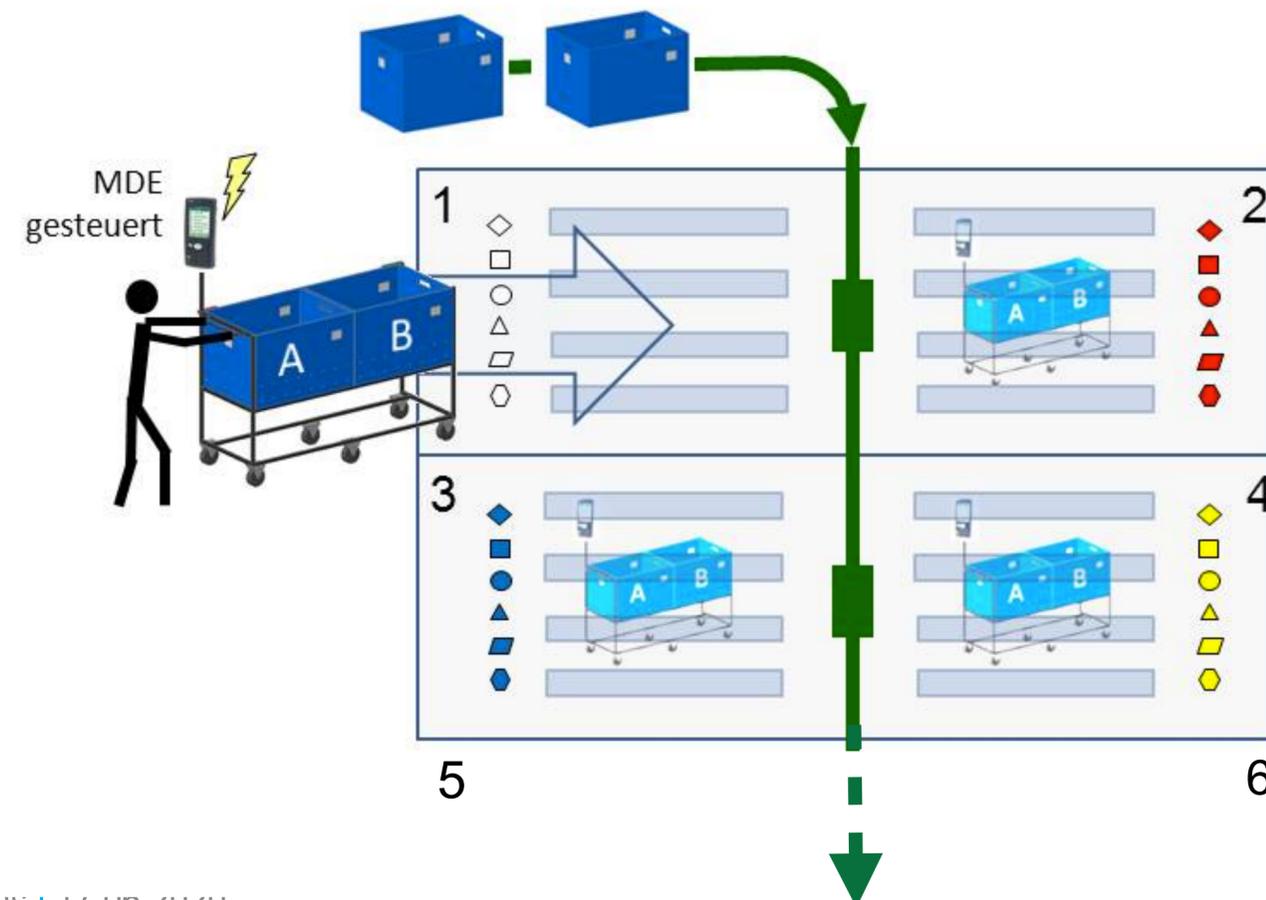


- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

3) Annahme: Rundgangsoptimierung, Wegeanteil, Trefferquote (Pickdichte) ...

... welche Wanne bedient
welches Sortiermodul?

... verbunden mit dem Ziel
die Kundenaufträge pro Zelle
zu synchronisieren,
um somit sogenannte
"cut-off"-Zeiten einhalten zu können.



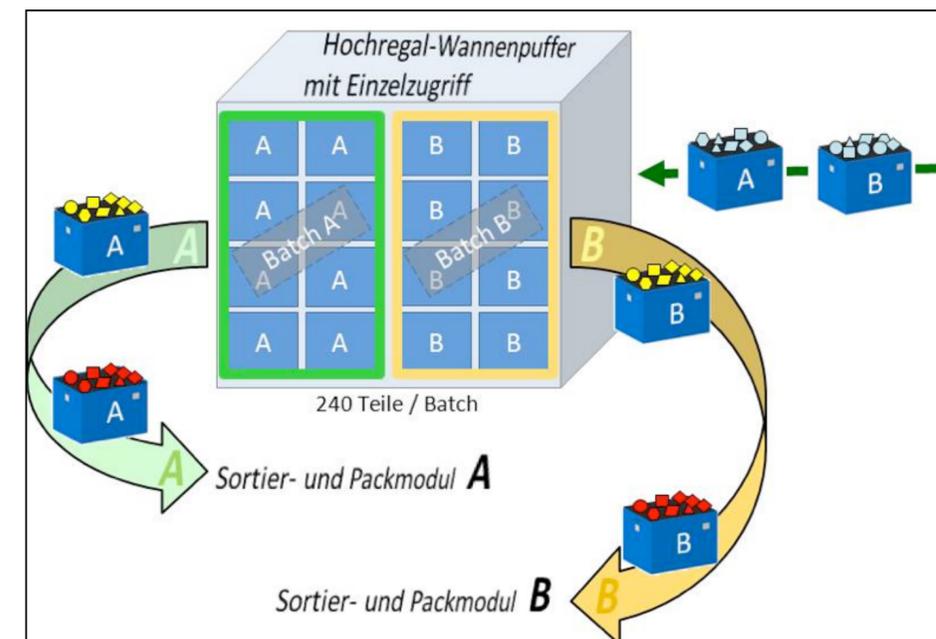
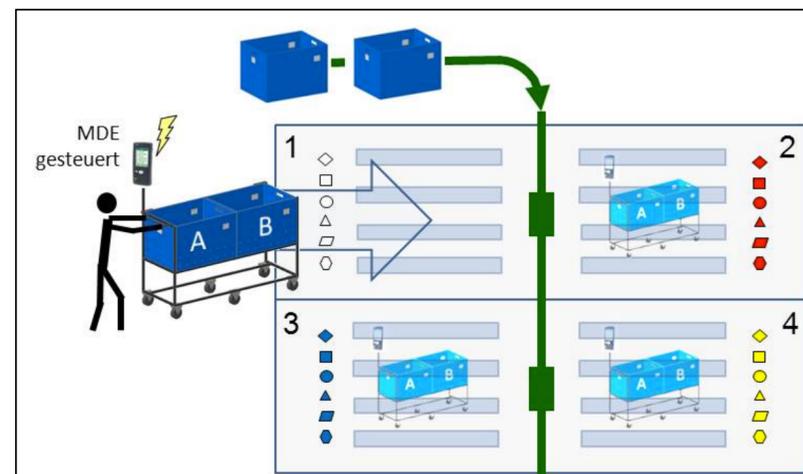
Kommissionier-Rundgang Start:

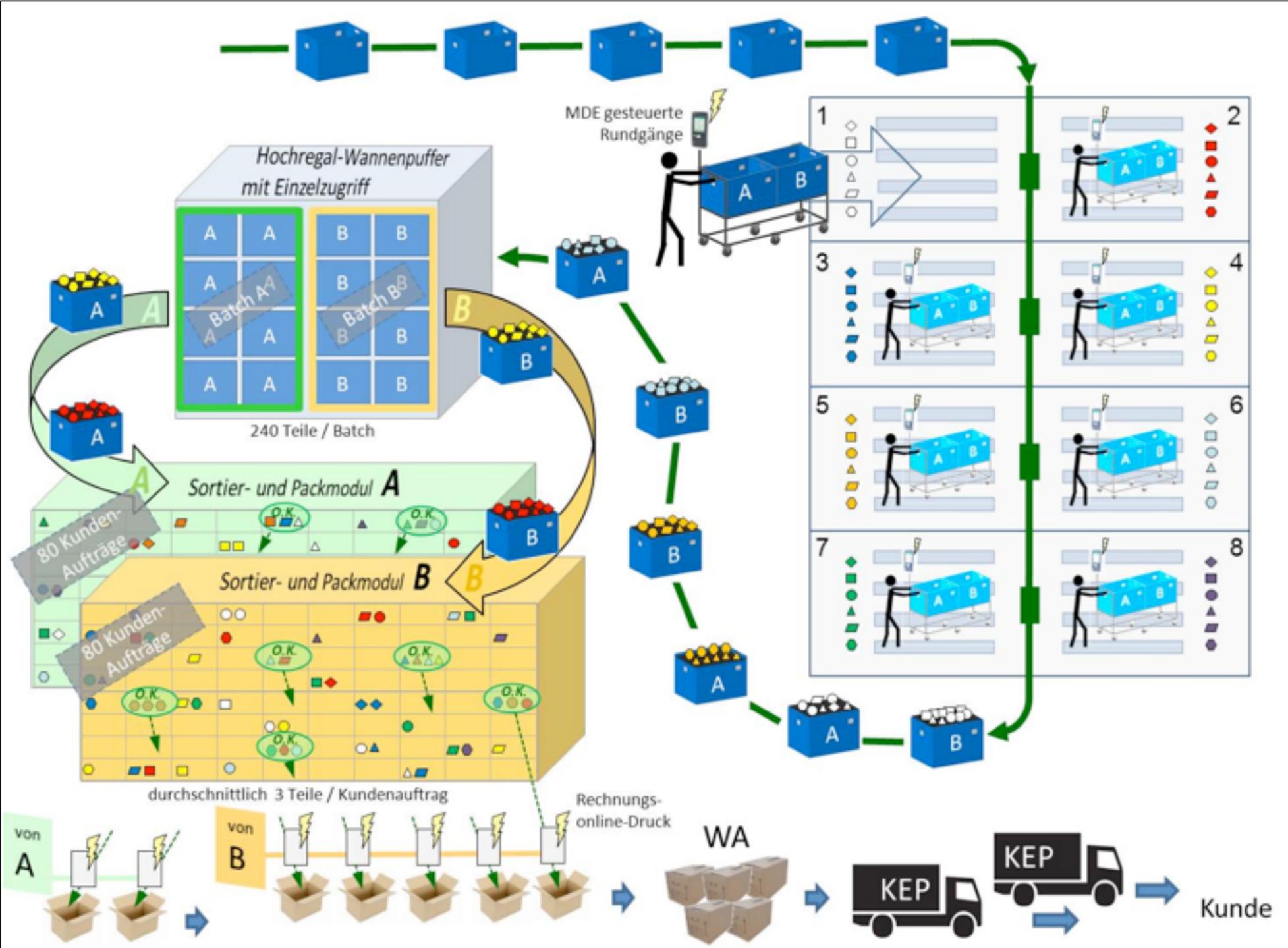
- *Mitarbeiter in der Kommissionierung schiebt 2 Wannen auf den Kommissionierwagen*
- *MDE führt den Mitarbeiter auf einen wegeoptimierten Rundgang innerhalb **eines** Kommissionierbereichs*
- *Ziel: hohe Pickdichte (kurze Wege) und Einhaltung der “cut-off“-Zeiten, da die Wannen nicht die anderen Kommissionier-Bereiche durchlaufen, sondern **direkt** den Wannepuffer ansteuern.*

... siehe Gesamtprozess auf Folie 30!

Kommissionier-Rundgang Ende:

- *Übergabe auf Fördertechnik (gleiches Niveau)*
- *Transport zum Wannepuffer mit Einzelzugriff pro Wanne (Konsolidierung)*
- *Abruf der Wannen zum freien Batch-Sortiermodul (Vorgaberichtlinie ist immer die “cut-off“-Zeit)*





Ausgangssituation



Alle Aufträge sind nach der Cut-Off-Zeit eingereicht
Batchbildung durch Tauschen der Aufträge

Ziel: Anzahl der Gangwechsel optimieren

↙ ↘ Minimierung der Wegstrecke, Pickdichte erhöhen!

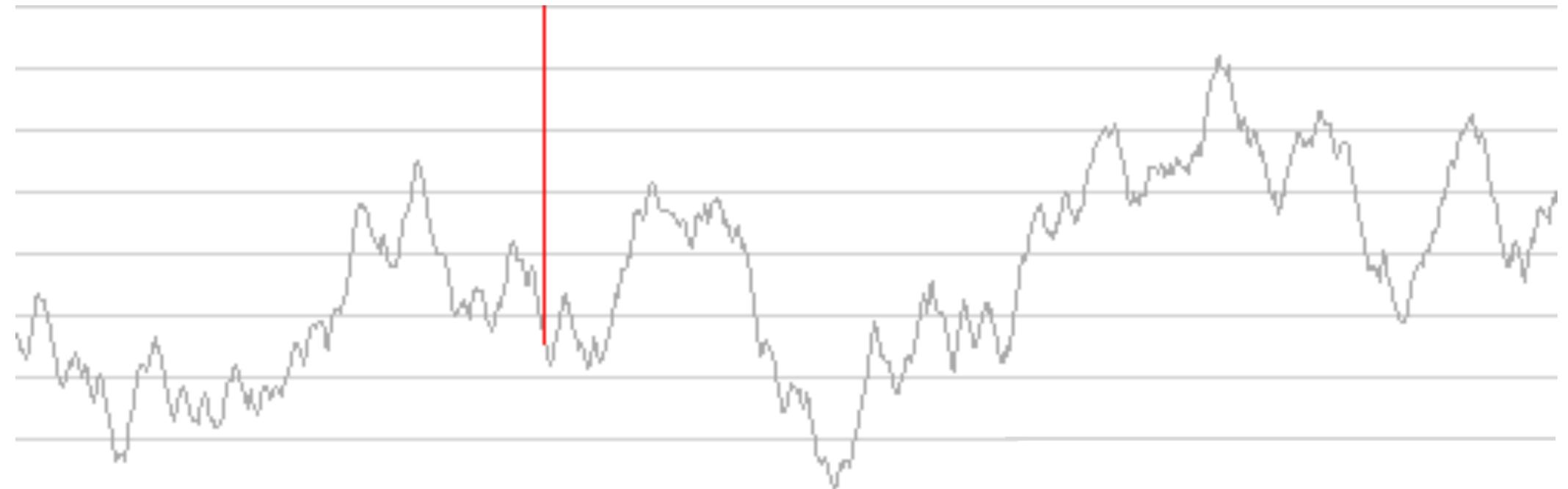
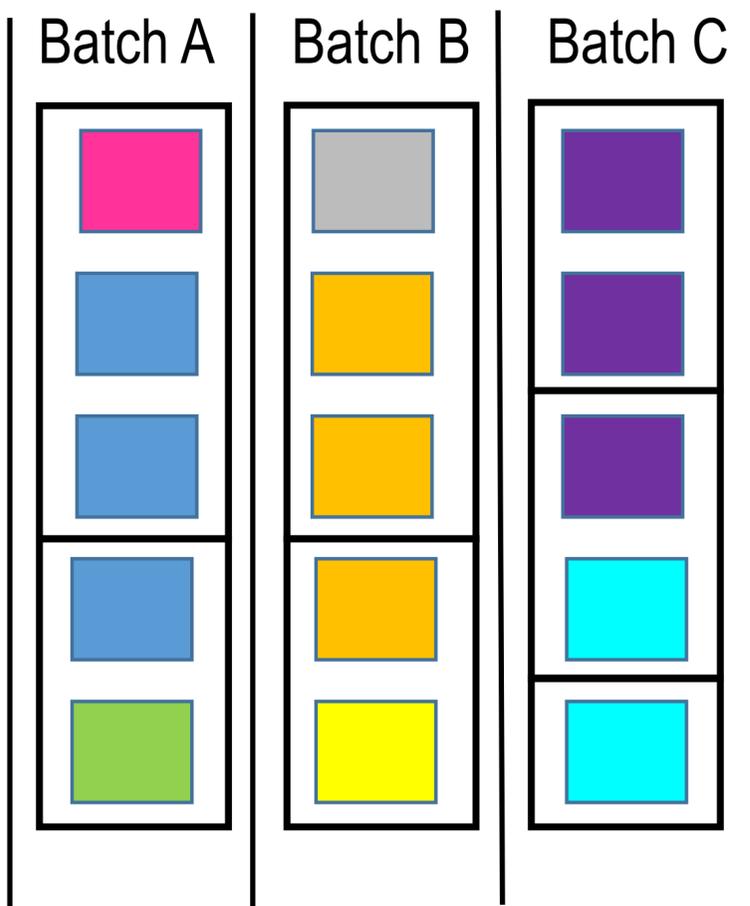
Praxis-Beispiel pro Batch: 5.000 Teile = ca. 1.700 Aufträge

Solver und Meta-/Heuristiken



TUP.COM

Beispiel für den Einsatz von Simulated Annealing für die Batchbildung



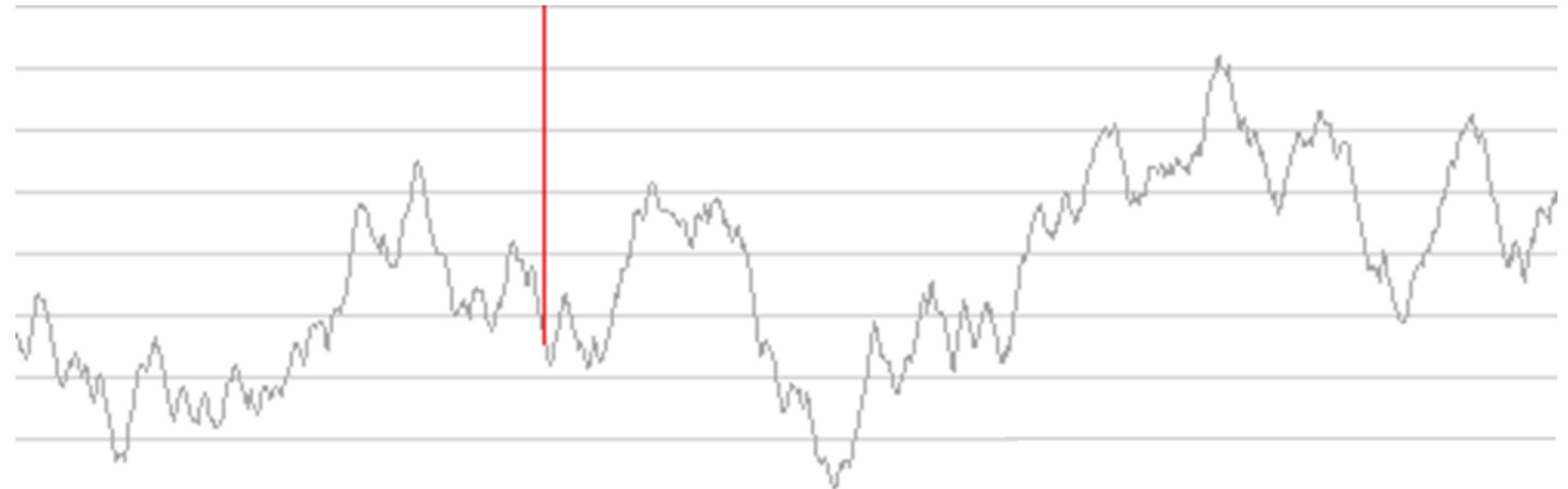
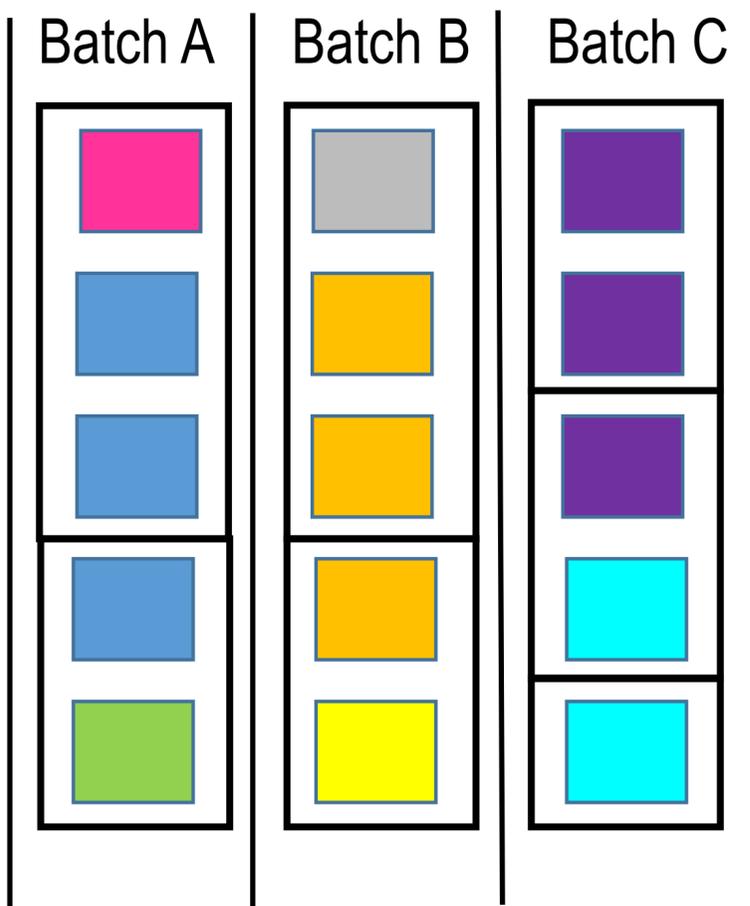
$$2 + 2 + 1 = 5 \text{ Gangwechsel}$$

Solver und Meta-/Heuristiken



TUP.COM

Beispiel für den Einsatz von Simulated Annealing für die Batchbildung



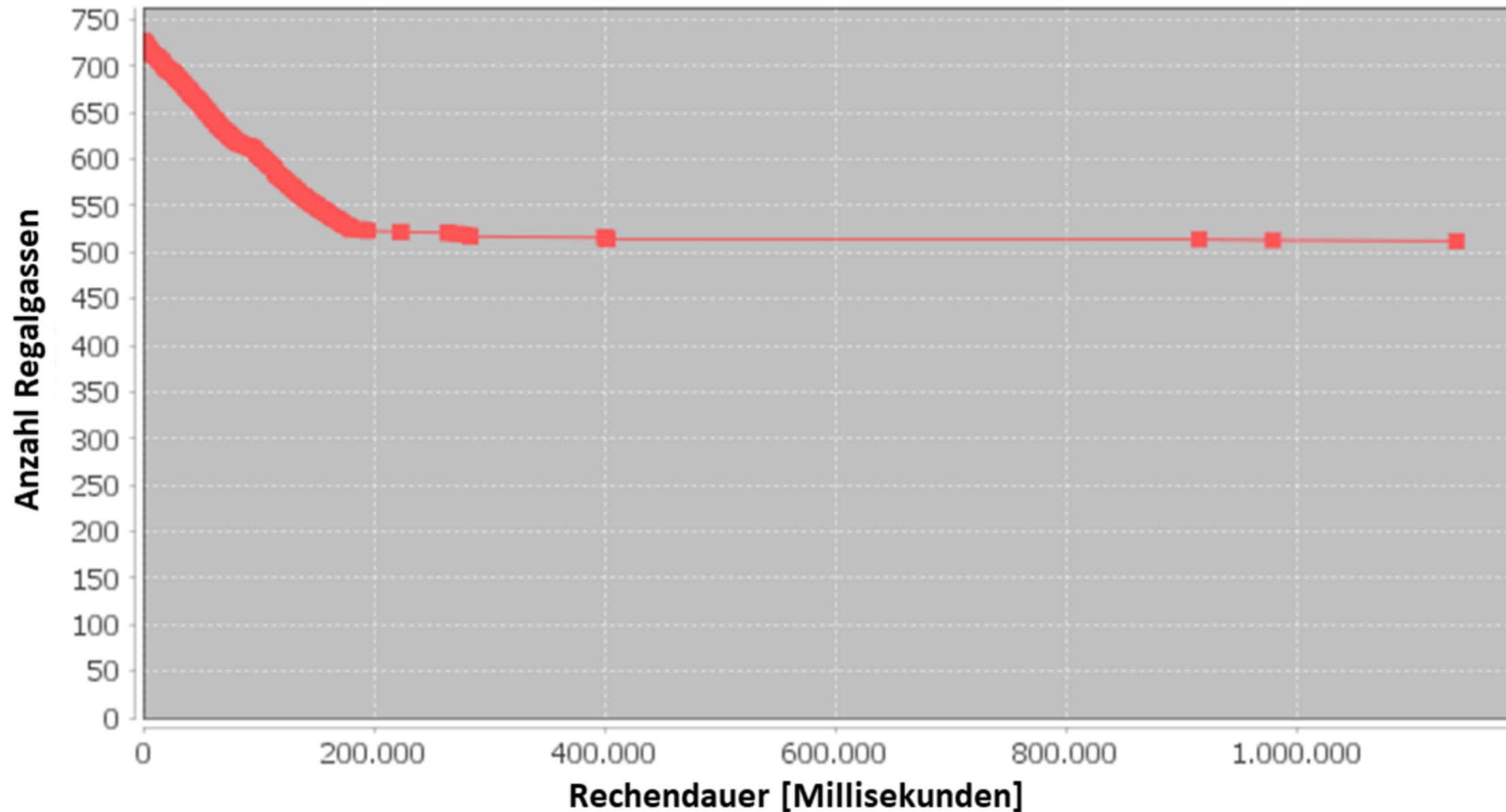
$$2 + 2 + 1 = 5 \text{ Gangwechsel}$$

Optimierungstechnik am Praxisbeispiel MSK



TUP.COM

Verlauf Optimierung



Verbesserung des Ziel-Funktionswerts über der Zeit (TUP-Solver)

Solverlösungen

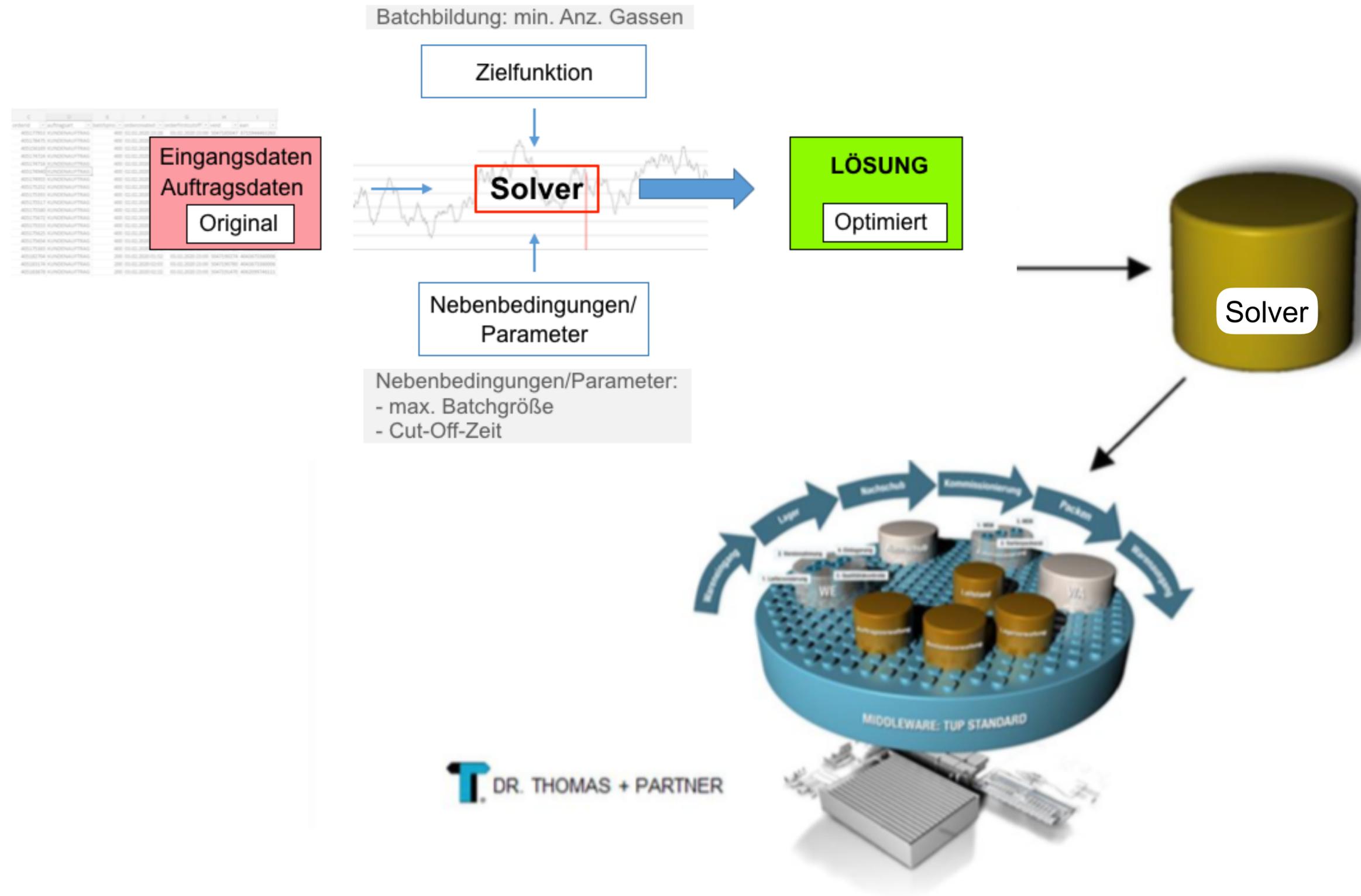


- Durch universalen Einsatz von Metaheuristiken kann Programmieraufwand gespart werden
 - Software-Komponenten (z.B. Opta-Planer) unterstützen die Möglichkeit entstandene Optimierungsschritte zu automatisieren
-  Solverlösungen innerhalb WMS integriert als weiterer Baustein!

Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)



TUP.COM



Solver-Framework



- Opta-Planer: ein auf JAVA basiertes Open-Source-Framework
- stellt JAVA-Klassen für den Einsatz von Metaheuristiken bereit
- zentraler Bestandteil des Frameworks ist der Solver

Solver-Lösungen und Constraint-Programmierung



TUP.COM

- Solver basieren auf dem Konzept der Constraint-Programmierung
 - ↙ im Vordergrund steht die Modellierung von Bedingungen und Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten

Solver-Lösungen und Constraint-Programmierung



TUP.COM

- Nebenbedingungen eines allgemeinen Optimierungsproblems werden als Constraint aufgefasst

 Integration von Methoden des Operations-Research in die Constraint-Programmierung

Solver-Lösungen und Constraint-Programmierung



TUP.COM

- Ziel besteht darin, eine automatische Problemlösung zu generieren
- Vom Anwender wird lediglich das vorliegende Problem spezifiziert
- Das Problem wird dann vom Programm selbständig gelöst

Solver-Lösung Kommissionierung / Batchbildung



- Die Nebenbedingungen “Constraints”
- Zielfindung Funktionen
 - Batchbildung: minimale Anzahl Gassen
- Alles bestimmende Nebenbedingungen
 - Maximale Bauchgröße
 - Cut-Off-Zeit

Einordnung der Solver-Lösung in die Systemlandschaft



TUP.COM

| C | D | E | F | G | H | I |
|-----------|---------------|-----------|------------------|-------------------|------------|---------------|
| orderid | auftragsart | batchprio | ordercreated | orderfirstcuttoff | veid | ean |
| 405177953 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 23:28 | 03.02.2020 23:00 | 5047185047 | 8715944463263 |
| 405178475 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 03.02.2020 | | | |
| 405156169 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405174724 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405174716 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405174940 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405174955 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175252 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175393 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175517 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175580 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175672 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175553 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175625 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 02.02.2020 | | | |
| 405175654 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 03.02.2020 | | | |
| 405175383 | KUNDENAUFTRAG | 400 | 03.02.2020 | | | |
| 405182704 | KUNDENAUFTRAG | 200 | 03.02.2020 01:52 | 03.02.2020 23:00 | 5047190274 | 4043873360006 |
| 405183174 | KUNDENAUFTRAG | 200 | 03.02.2020 02:03 | 03.02.2020 23:00 | 5047190780 | 4043873360006 |
| 405183878 | KUNDENAUFTRAG | 200 | 03.02.2020 02:22 | 03.02.2020 23:00 | 5047191470 | 4062099746111 |

Eingangsdaten
Auftragsdaten

Original

Batchbildung: min. Anz. Gassen

Zielfunktion



Solver

LÖSUNG

Optimiert

Nebenbedingungen/
Parameter

Nebenbedingungen/Parameter:
- max. Batchgröße
- Cut-Off-Zeit