



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

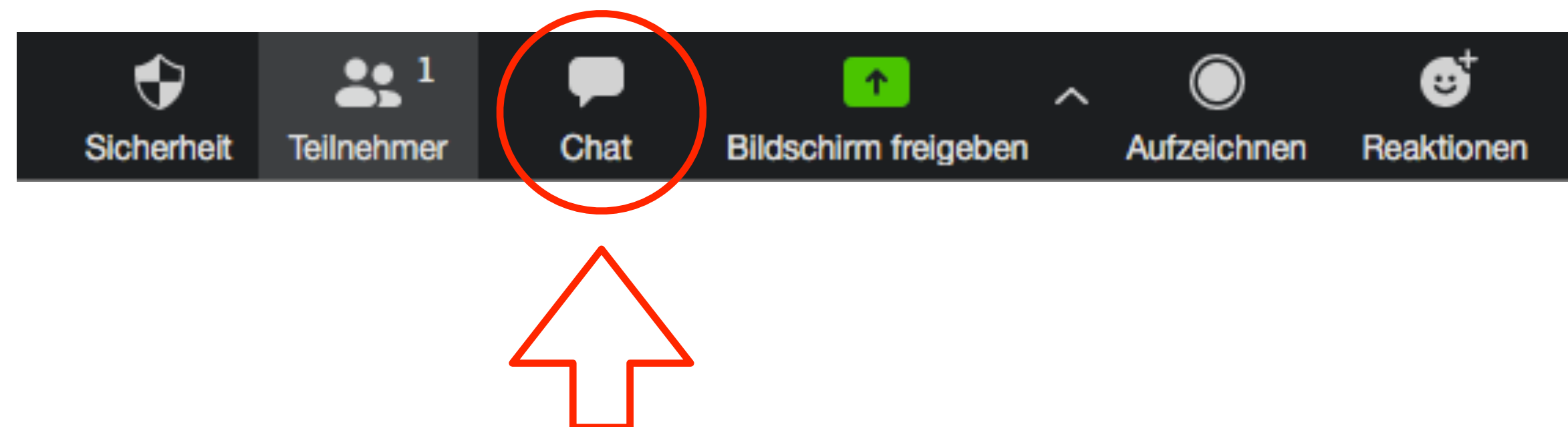


# Fragen?

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 **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 Hauptnachprüfung ablegen, werden sowieso mündlich geprüft.

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

Terminabsprache und Vergabe für die mündlichen Prüfungen (Hauptfach oder Nebenfach) bitte über [info@tup.com](mailto:info@tup.com).

Danke.



# 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)

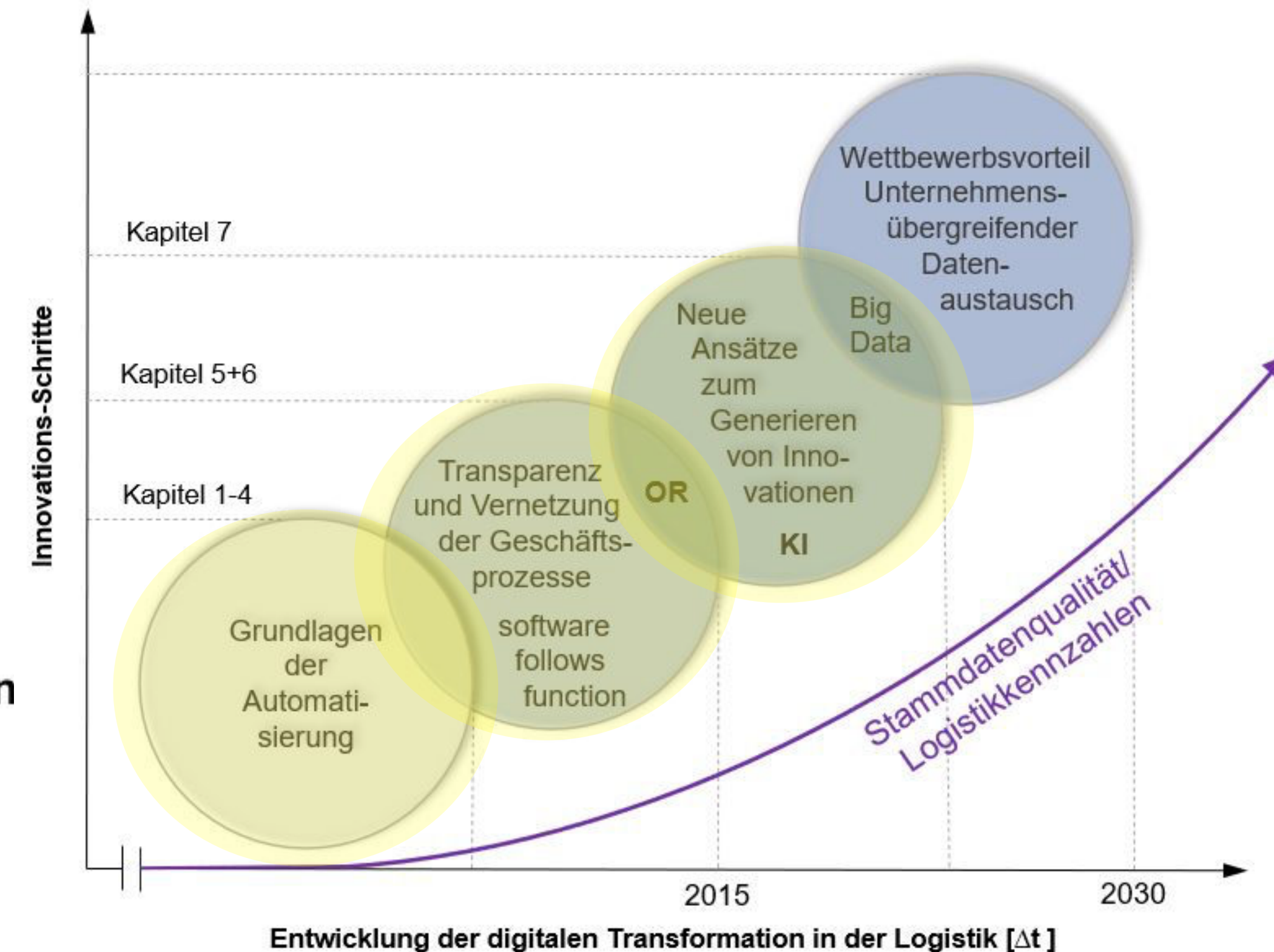
**Kapitel 3:**  
Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik

**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

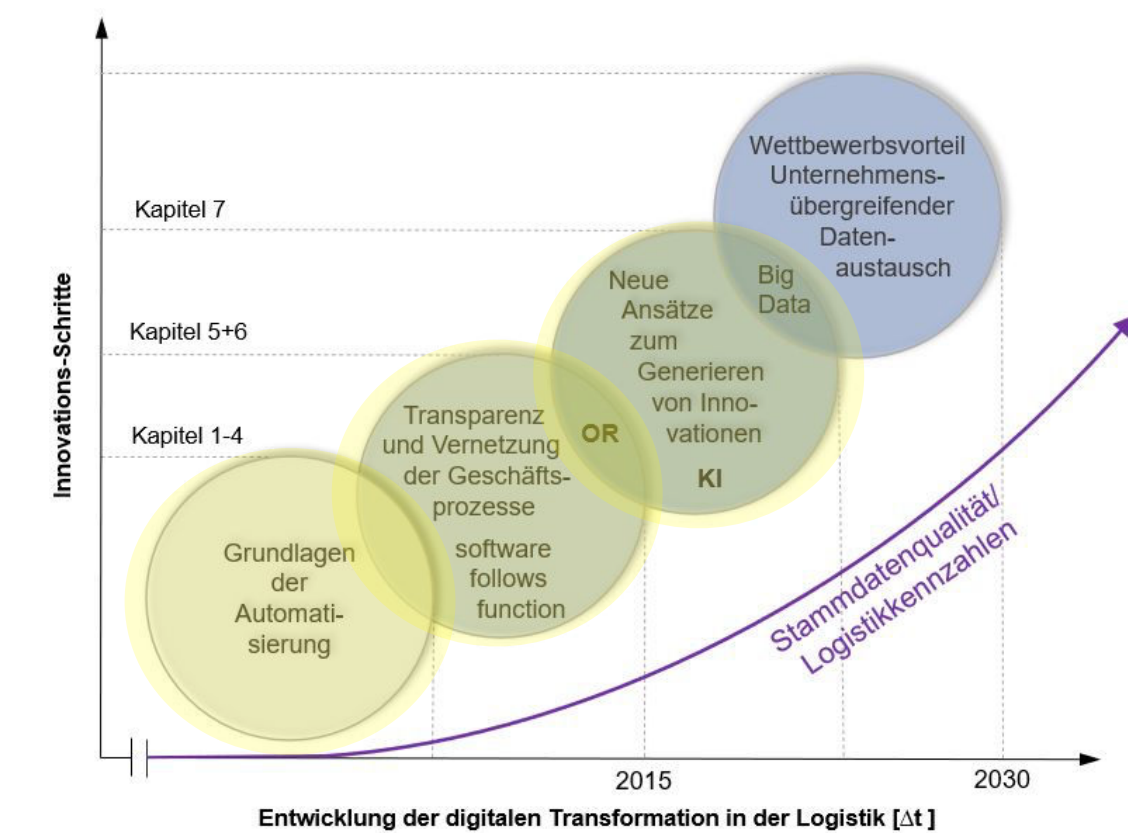




TUP.COM

# 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





# 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



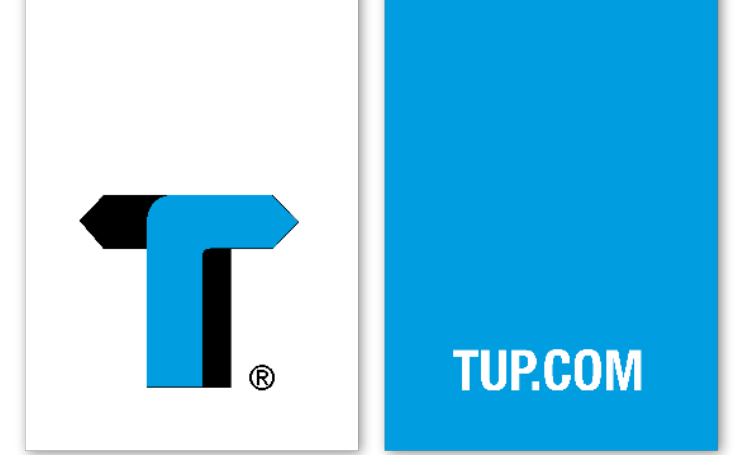
TUP.COM

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) ?



 Für den Begriff existiert keine offizielle Definition!

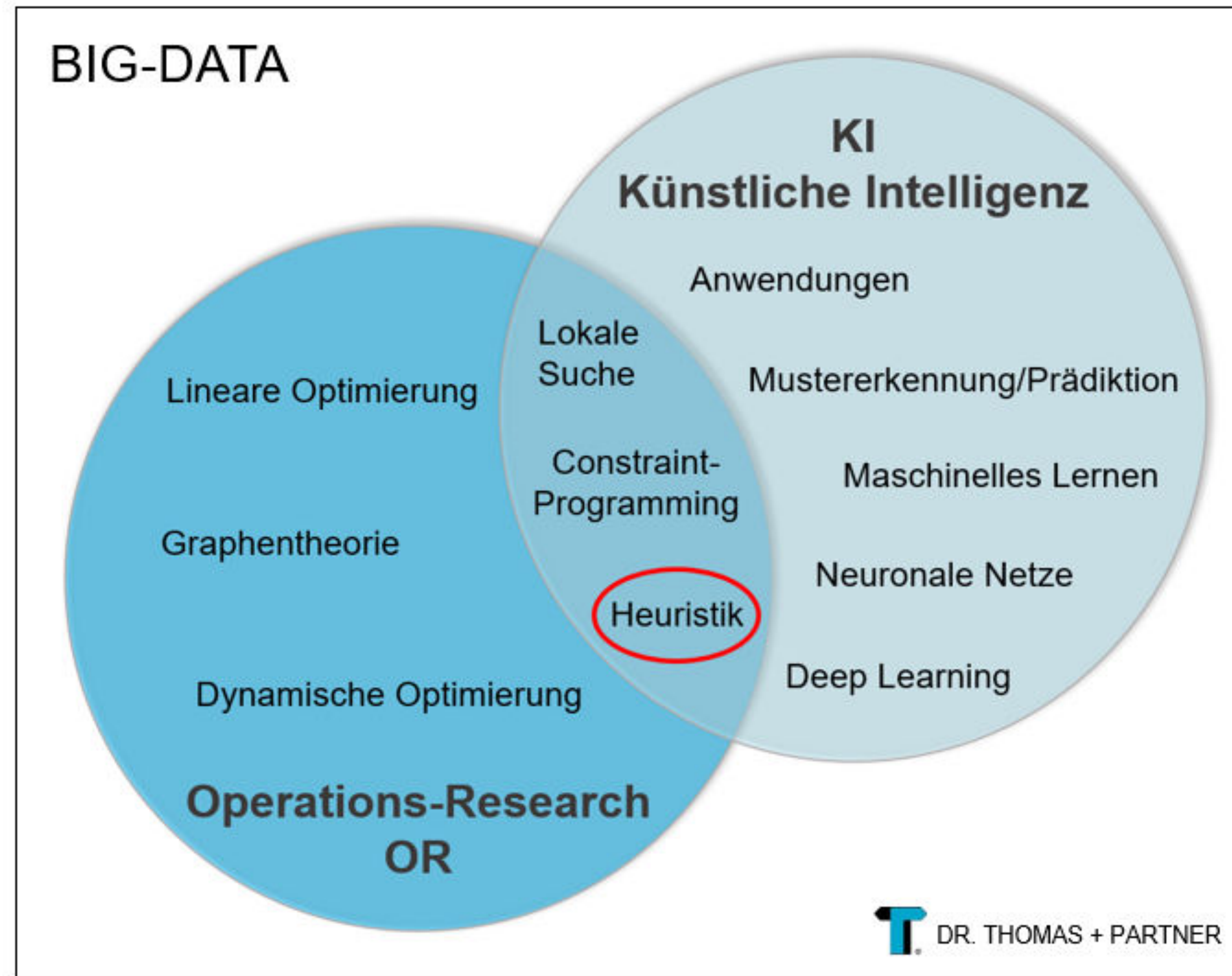
**Damit ist die Grenze zwischen OR und KI**

**nicht klar zu definieren!**

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



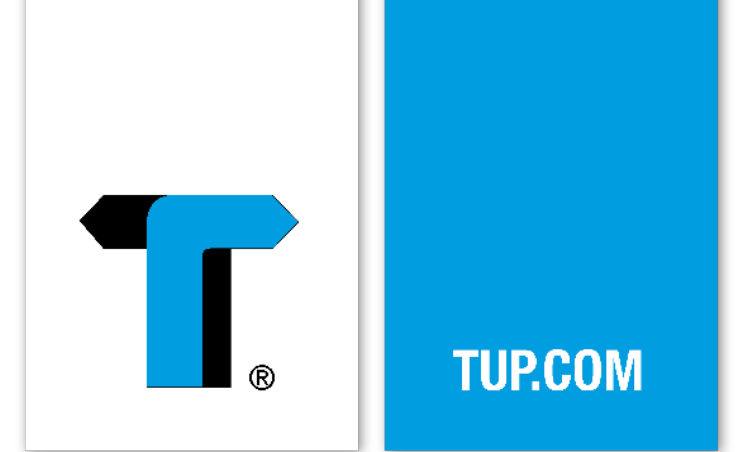
TUP.COM



**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*



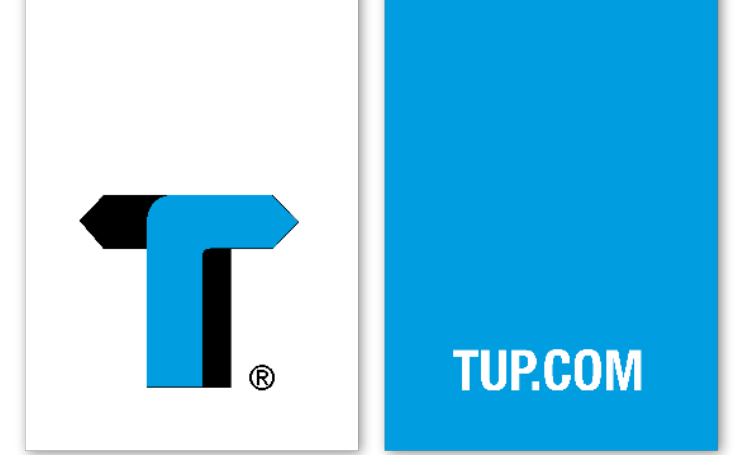
# Operations Research (OR)

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

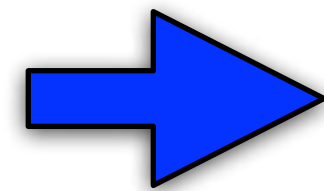
- ↙ besteht Handlungsbedarf, werden werden Optimierungsprobleme mit Hilfe von mathematischen Modellen gelöst



# Was man so alles liest? Zukunftsvisionen schon 1990!

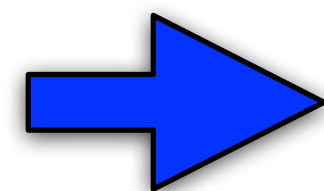


In 10 bis 15 Jahren ...



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

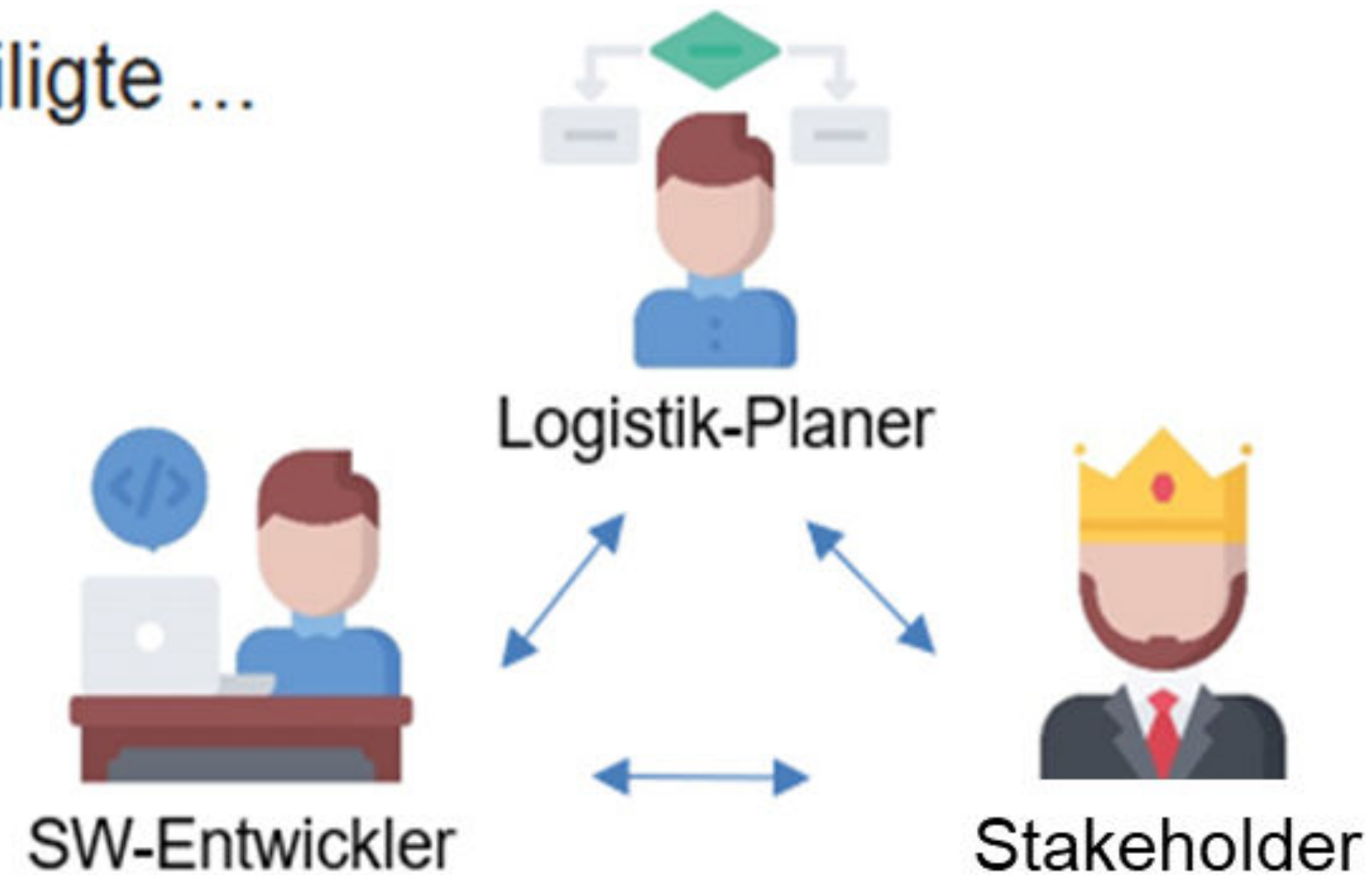
Es ist wichtig, schon früh alle beteiligte ...

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

als Team mit einzubeziehen.



DR. THOMAS + PARTNER

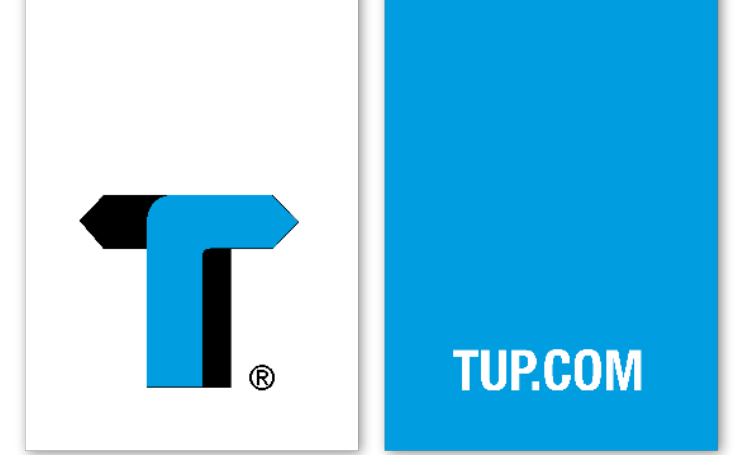


Die Implementierung der Warehouse Management Solutions erfolgt immer in interdisziplinären Teams aus Logistik-Experten, Software-Spezialisten und Stakeholdern.

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

## A warehouse is not a warehouse

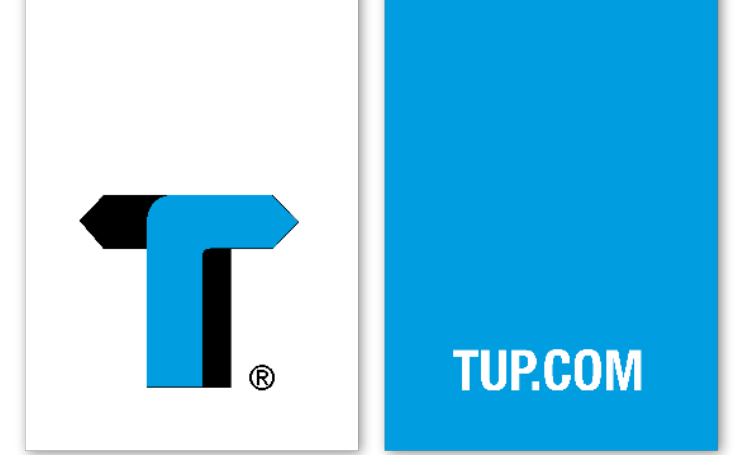
Jedes Unternehmen verfügt über eigene Strukturen und Prozesse, die dessen Charakter beschreiben, und somit die Grundlagen

**des unternehmerischen Erfolgs**

zementieren!



# Modulierung von Planungsproblemen



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

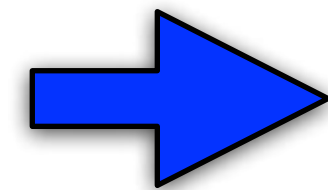
- ➔ Die *“Analyse-Arbeit”* kann einem Kunden zeigen: aktuell sind die Geschäftsprozesse fragmentiert (zergliedert)
- ➔ **Lösung:** Einsatz adaptiver Prozessbausteine (*Kapitel 2 und Kapitel 5*)

# Optimierung der Geschäftsprozesse

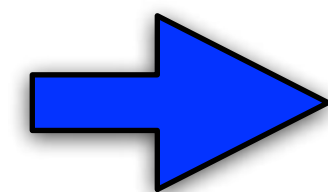


TUP.COM

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:

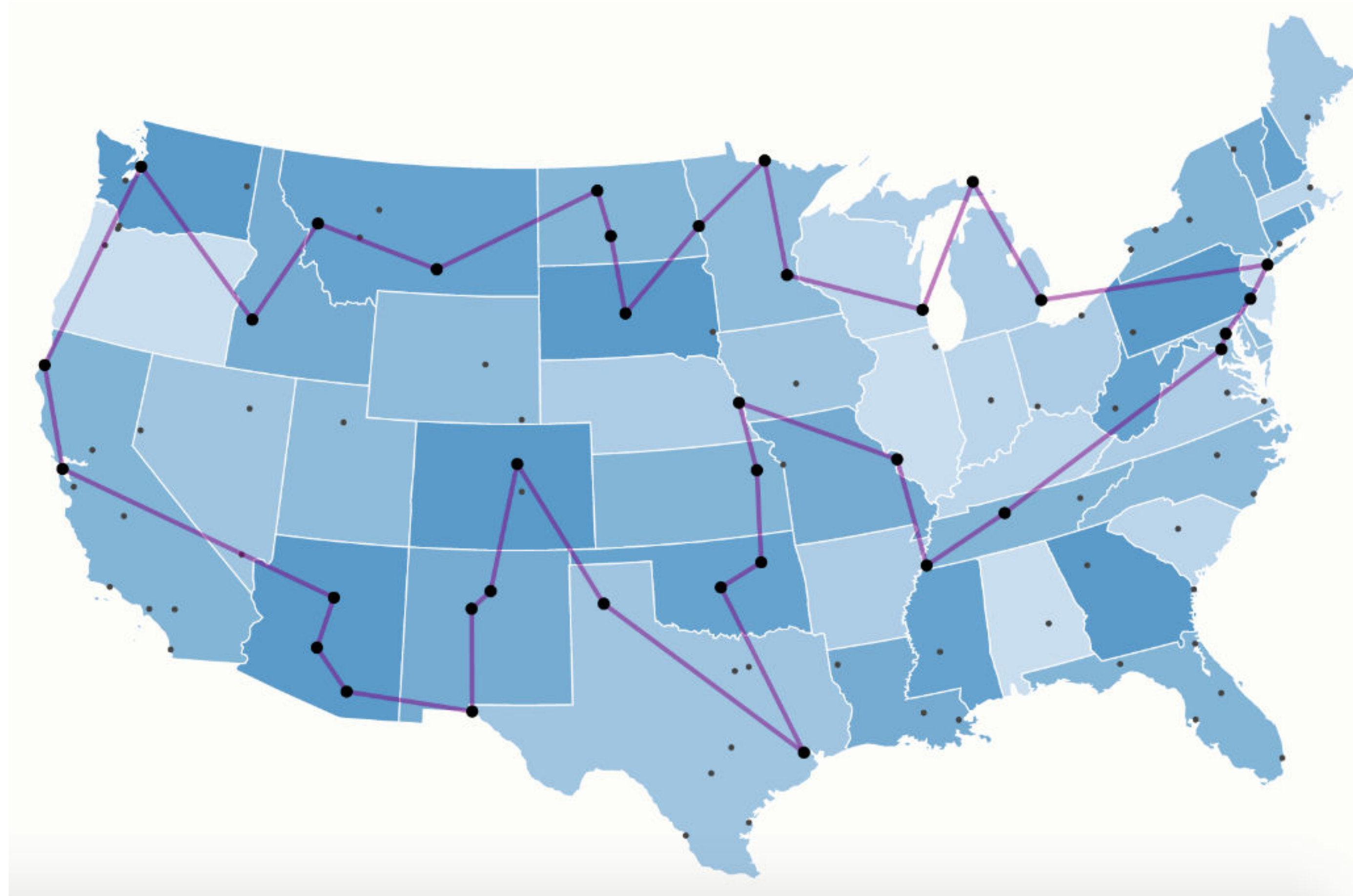
- Minimierung der Wegstrecke
- Minimierung der Gangwechsel

*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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$BAC_{ba} \leq BAC_{ba} + AE + M \cdot (1 - BA_{b0}) \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

$$BAC_{ba} \geq BAC_{ba} - M \cdot (1 - BA_{b0}) \quad \forall b \in B, \forall a \in \{1\}$$

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

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

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

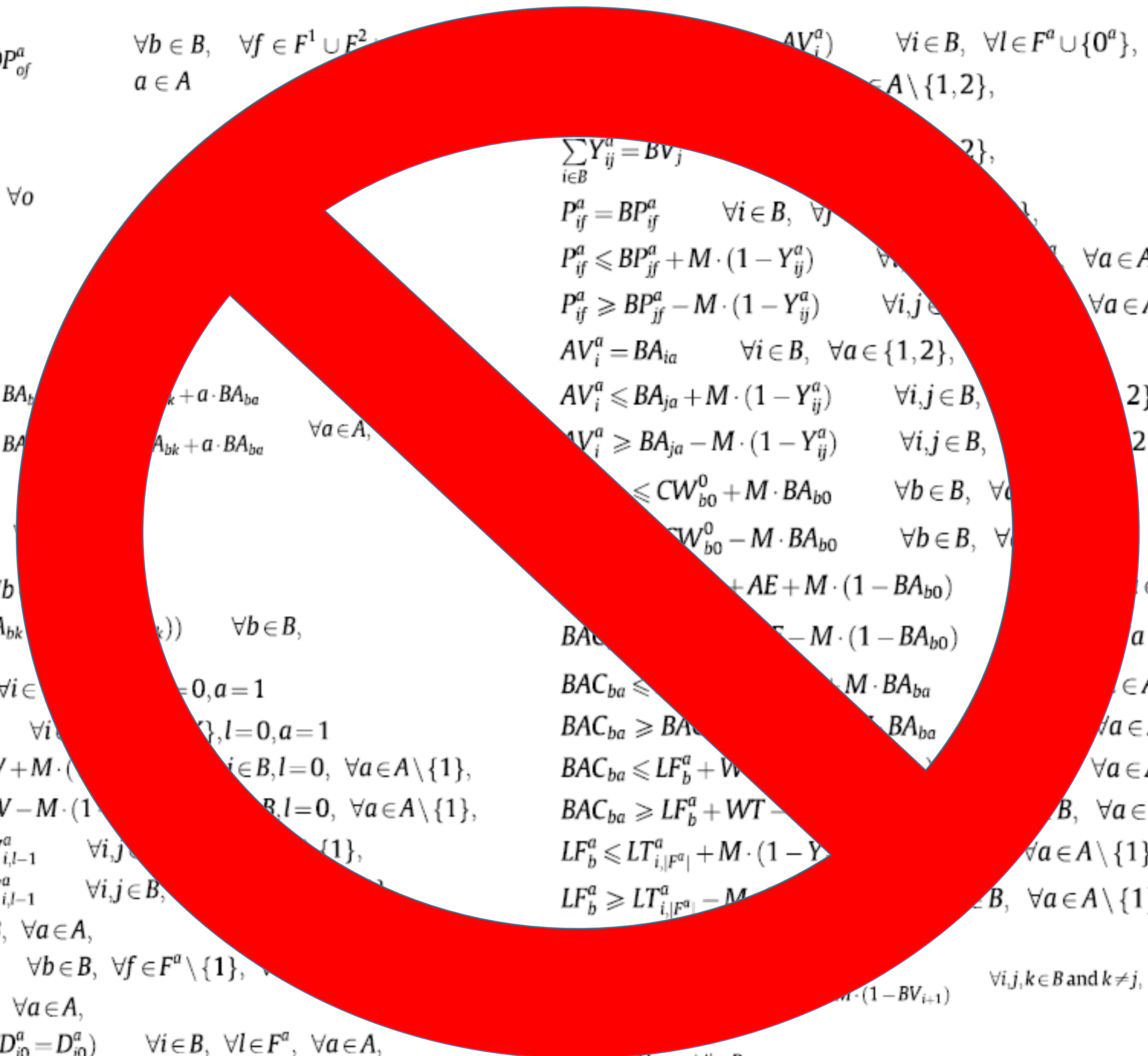
$$BAC_{ba} \geq LF_b^a + WT - M \cdot (1 - BA_{ba}) \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

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

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

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

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





## 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)**

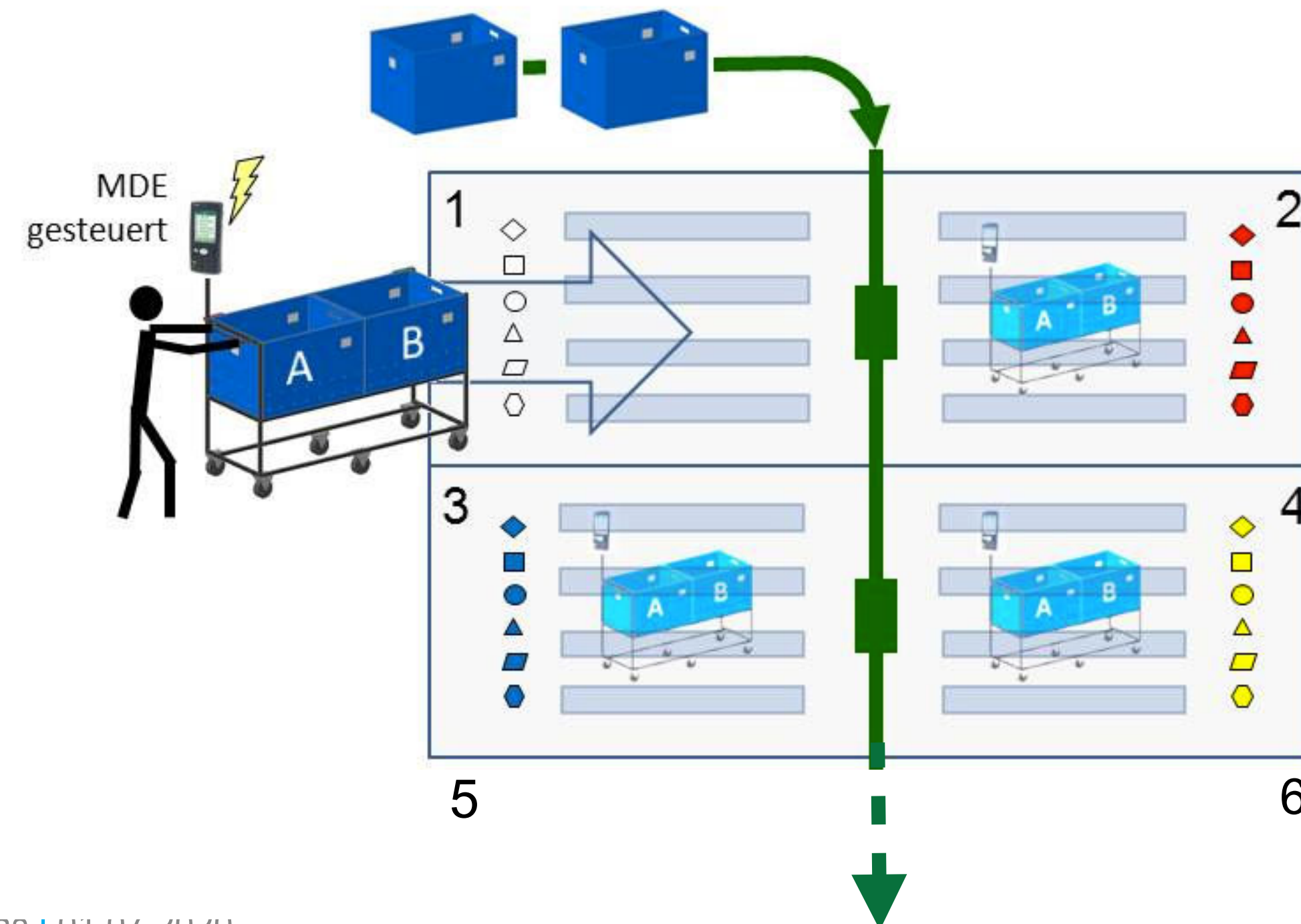
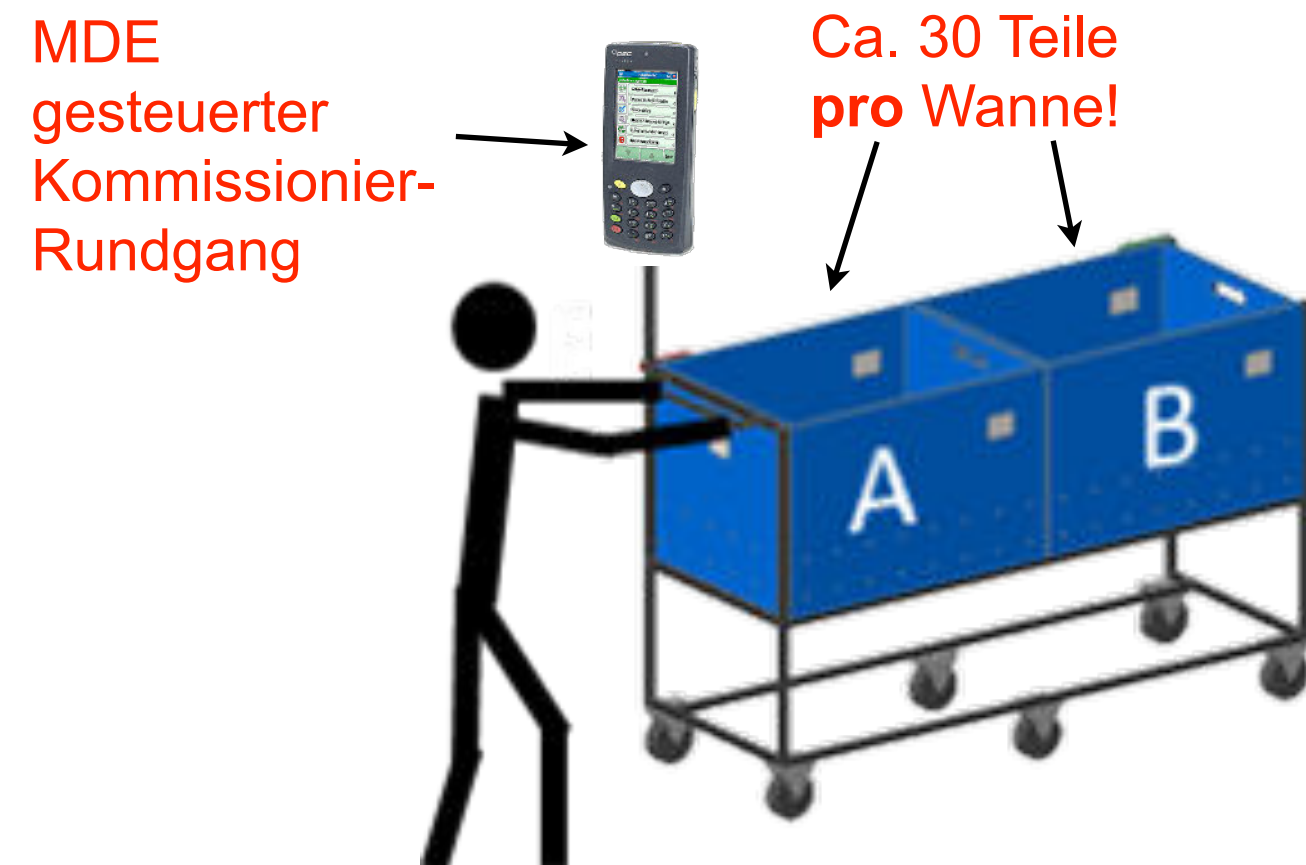


- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

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!



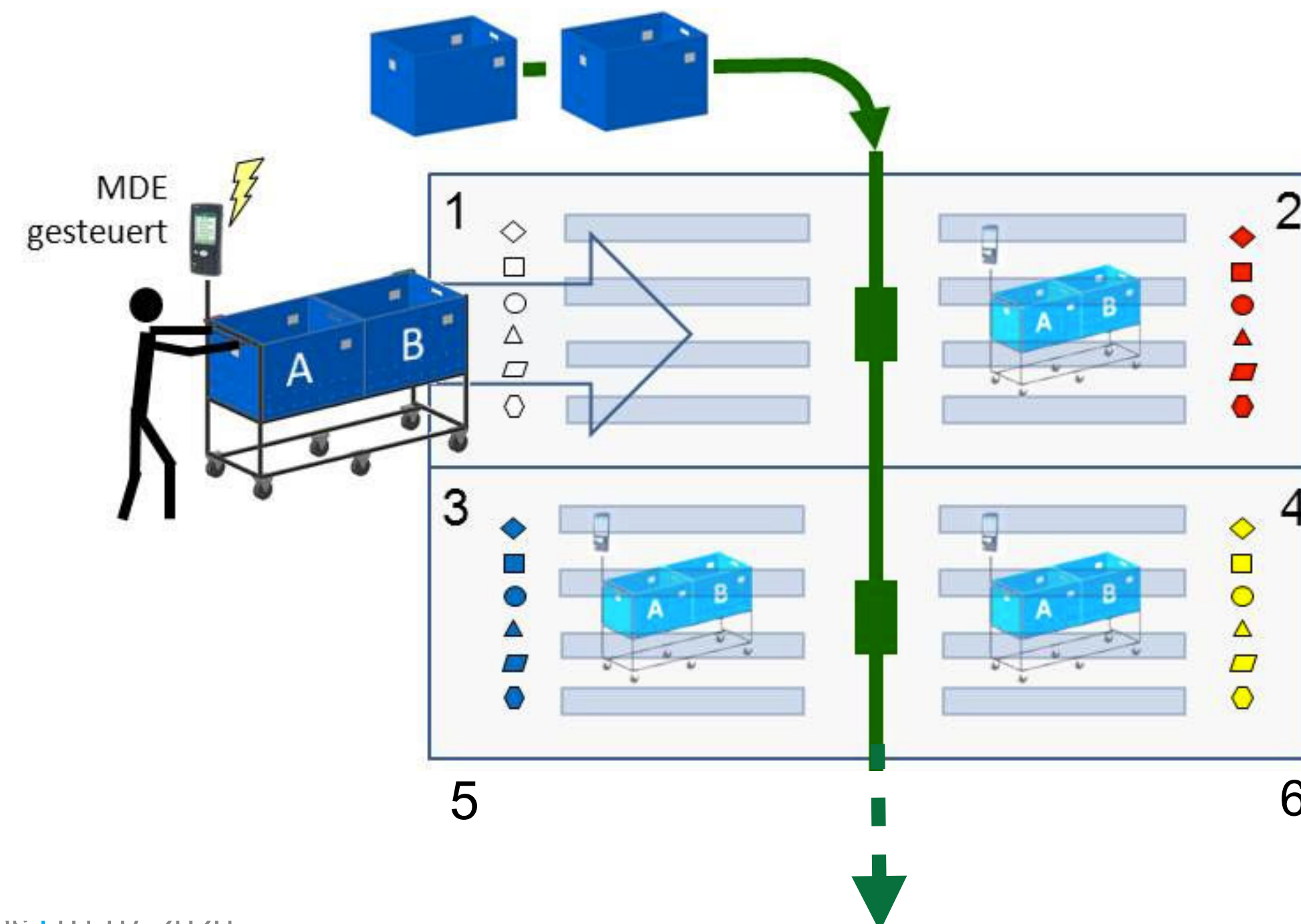


- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

### 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.



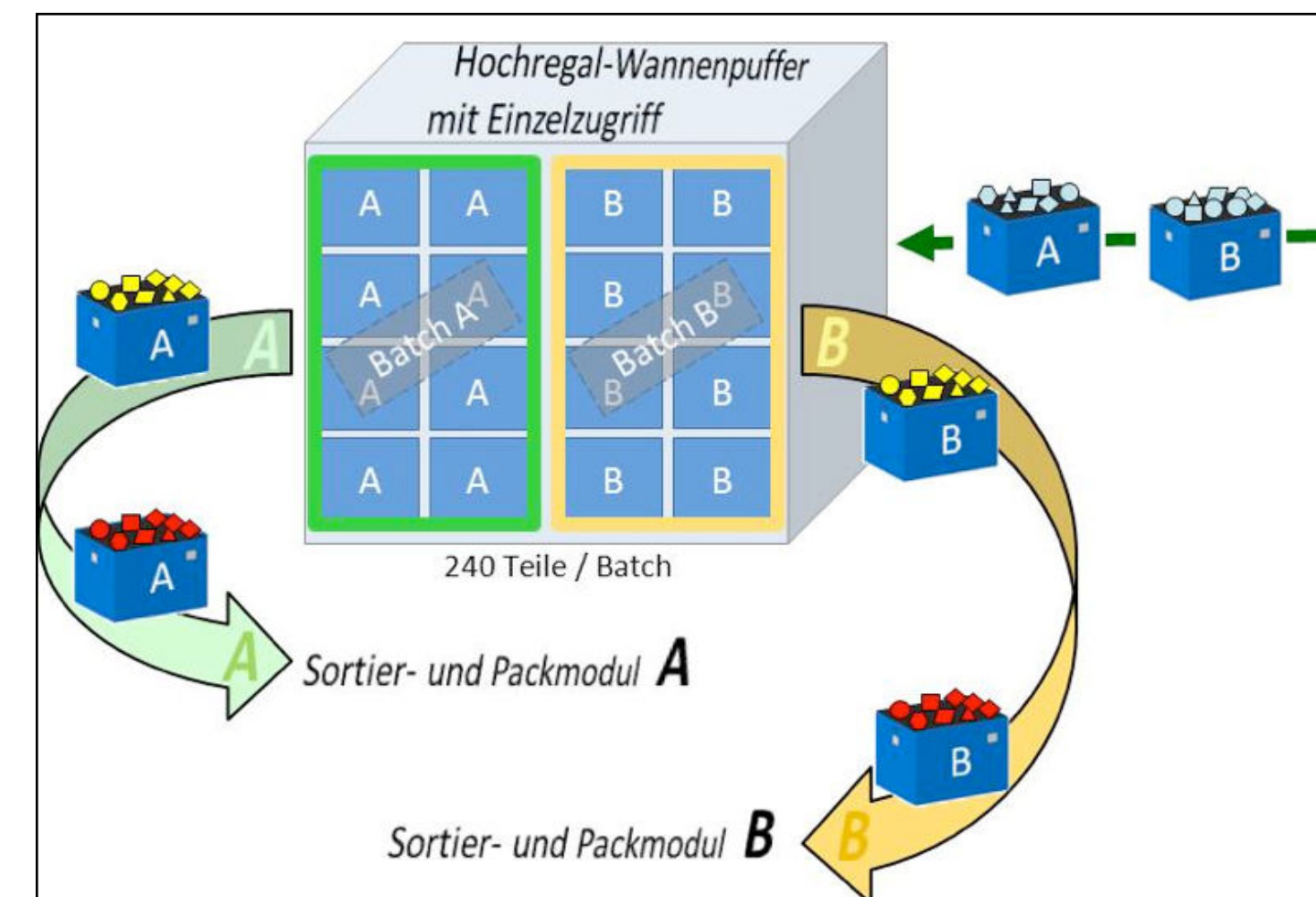
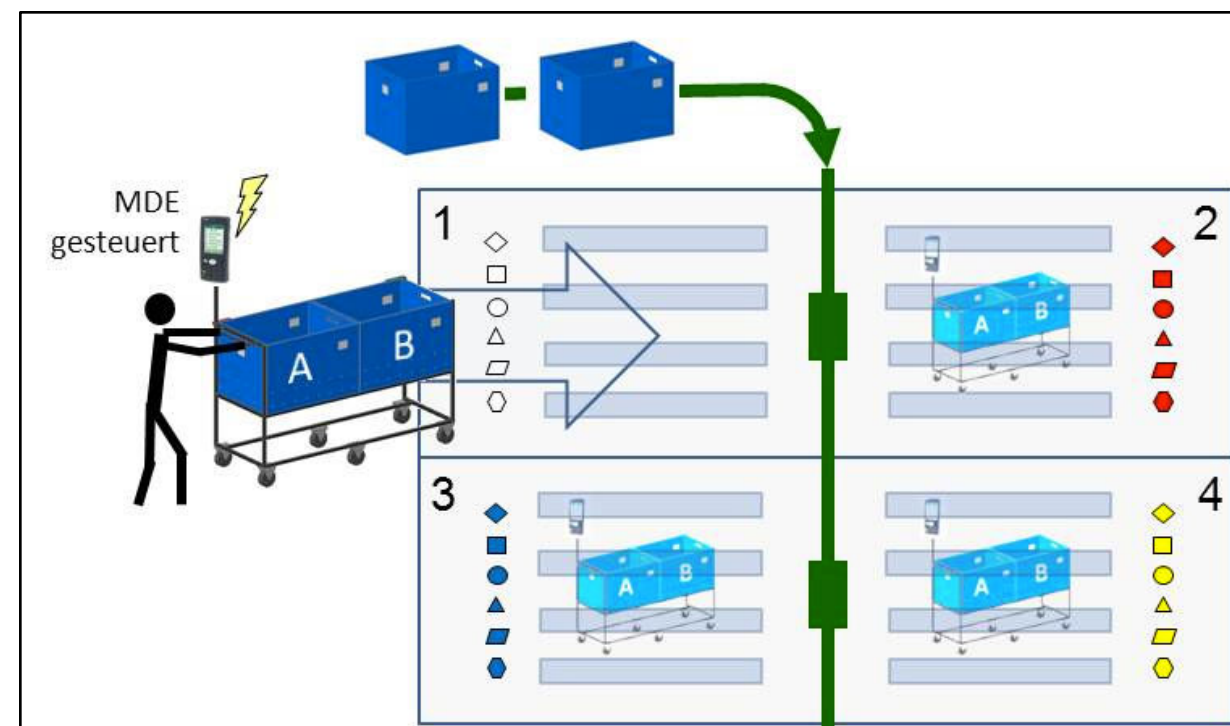
## Kommissionier-Rundgang Start:

- 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.

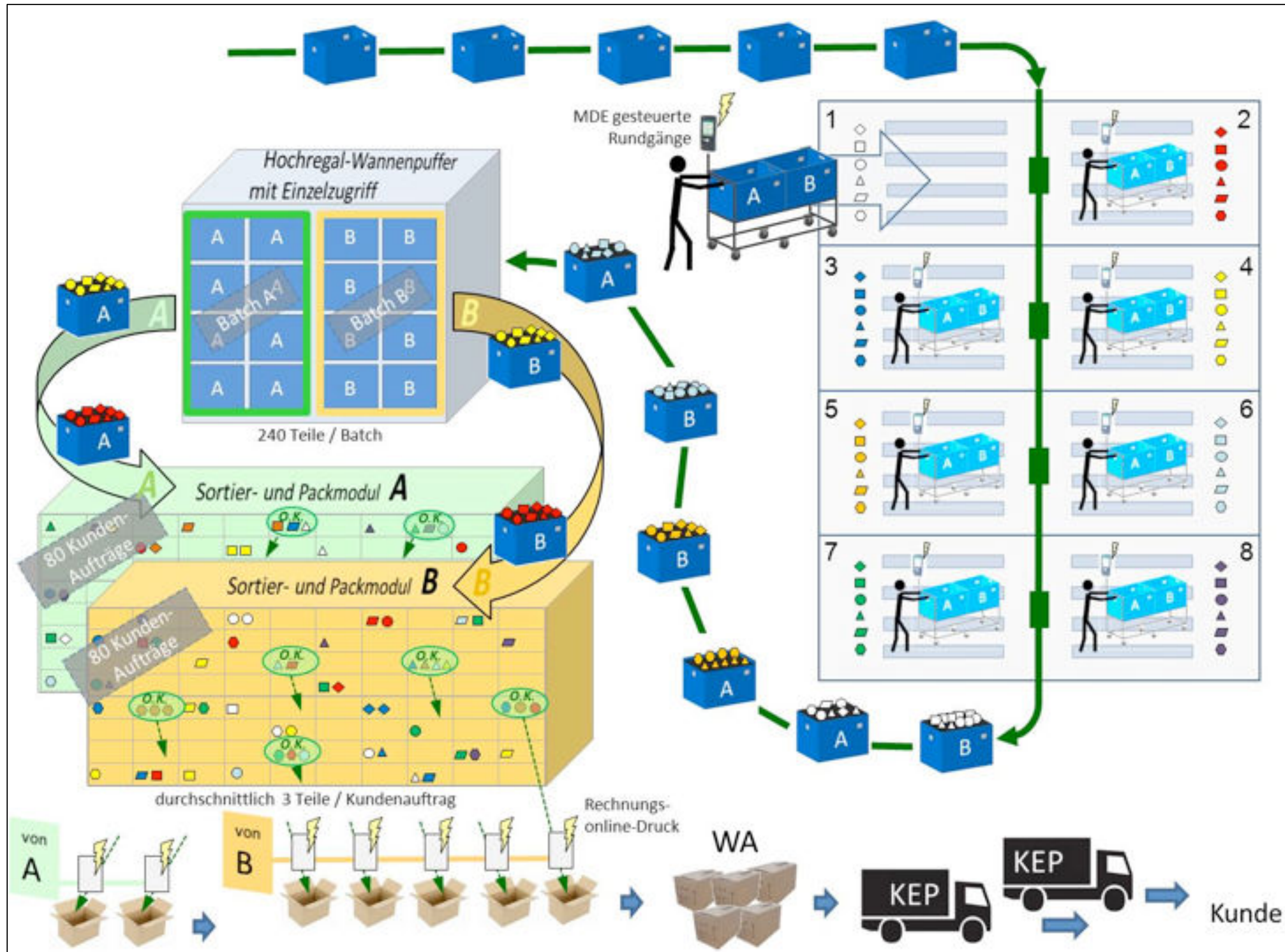
... siehe Gesamtprozess auf Folie 30!

## 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)

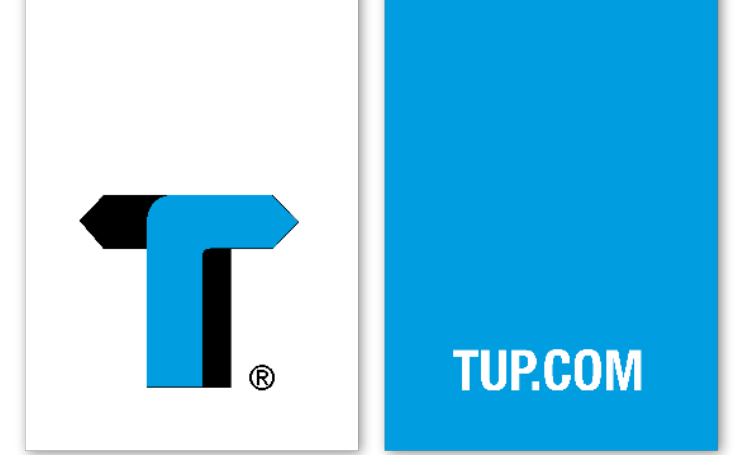








# Ausgangssituation



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

Ziel: Anzahl der Gangwechsel optimieren

↙ ↘ Minimierung der Wegstrecke, Pickdichte erhöhen!

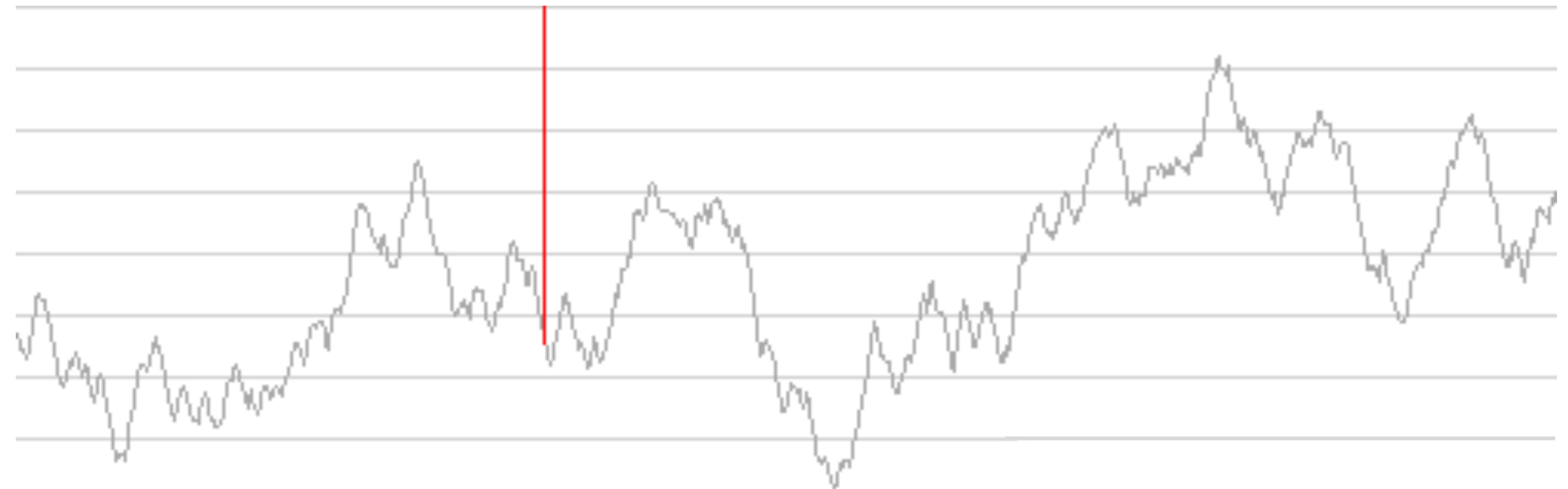
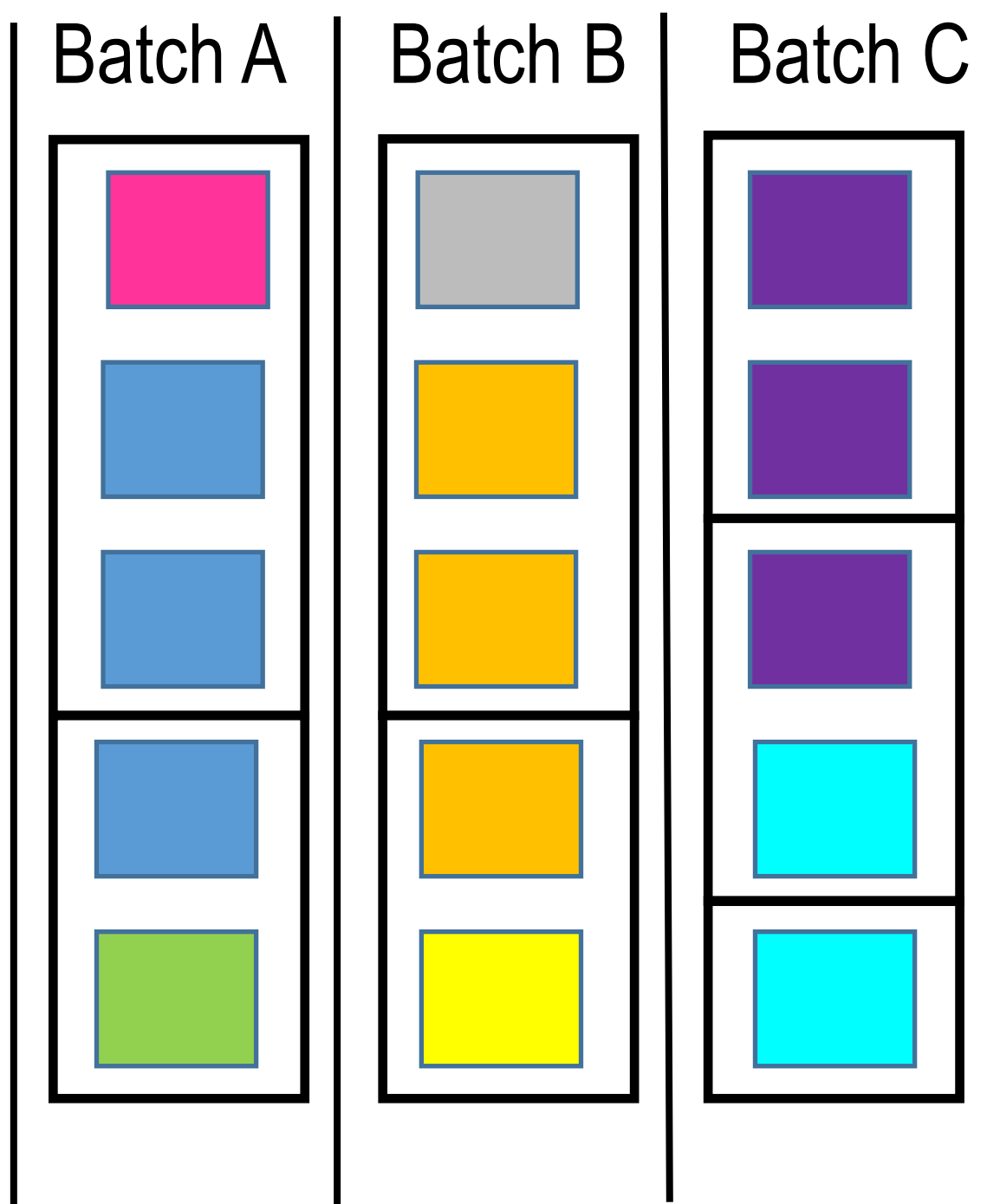
Praxis-Beispiel pro Batch: 5.000 Teile = ca. 1.700 Aufträge

# Solver und Meta-/Heuristiken



TUP.COM

## Beispiel für den Einsatz von Simulated Annealing für die Batchbildung



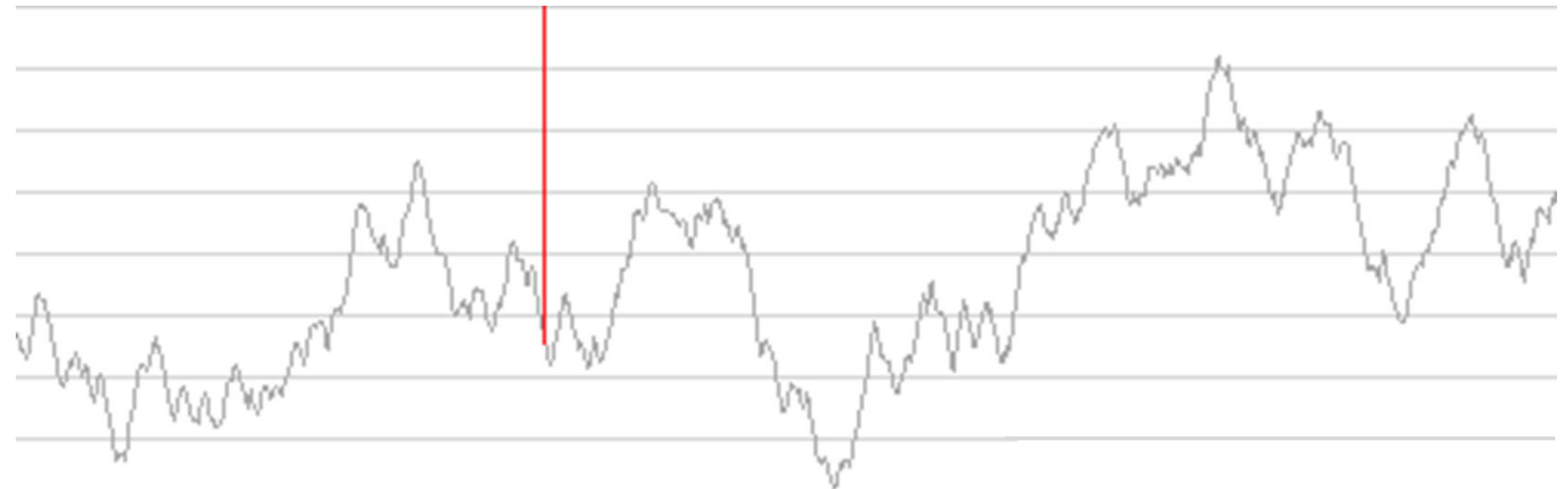
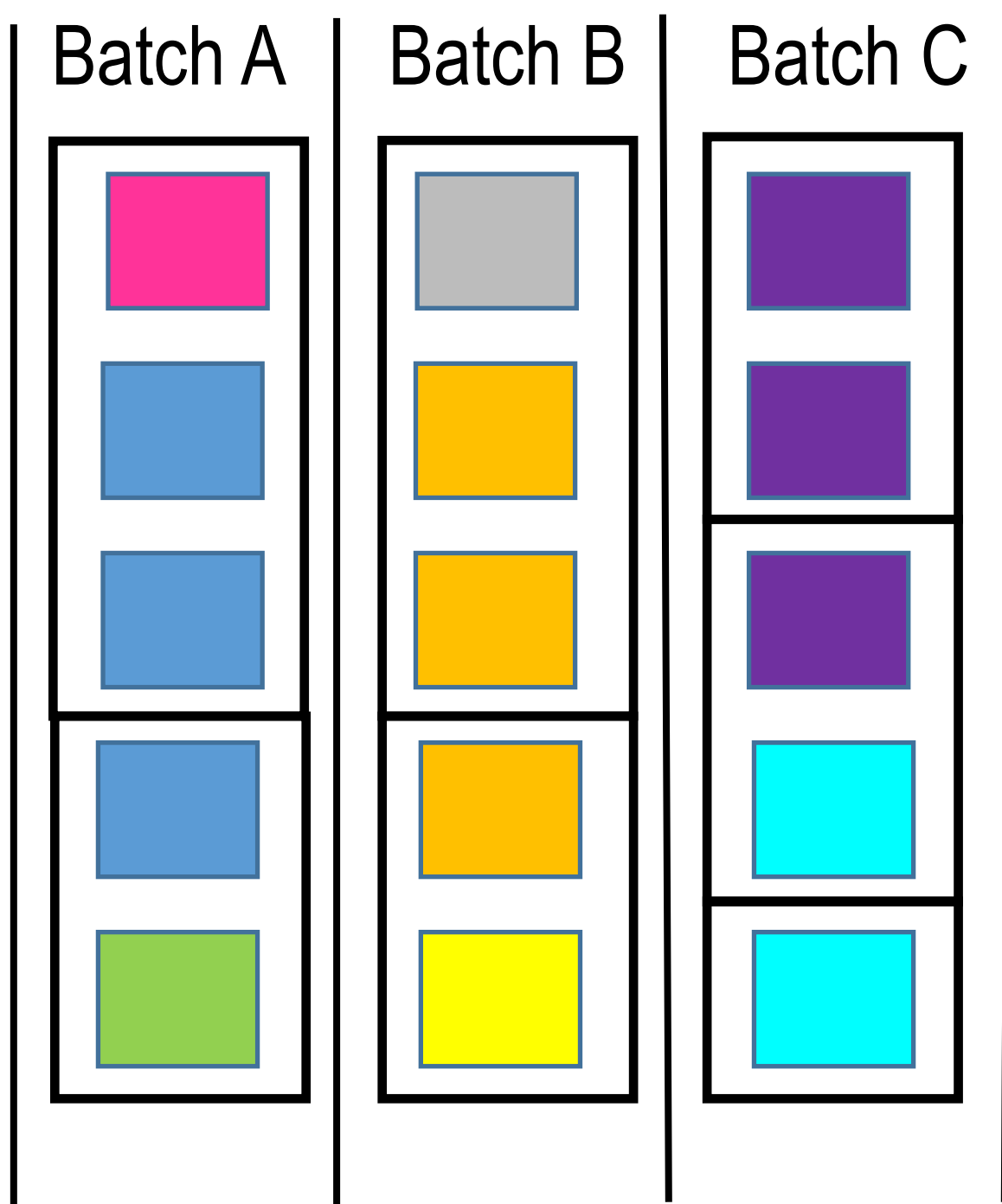
$$2 + 2 + 1 = 5 \text{ Gangwechsel}$$

# Solver und Meta-/Heuristiken



TUP.COM

## Beispiel für den Einsatz von Simulated Annealing für die Batchbildung



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

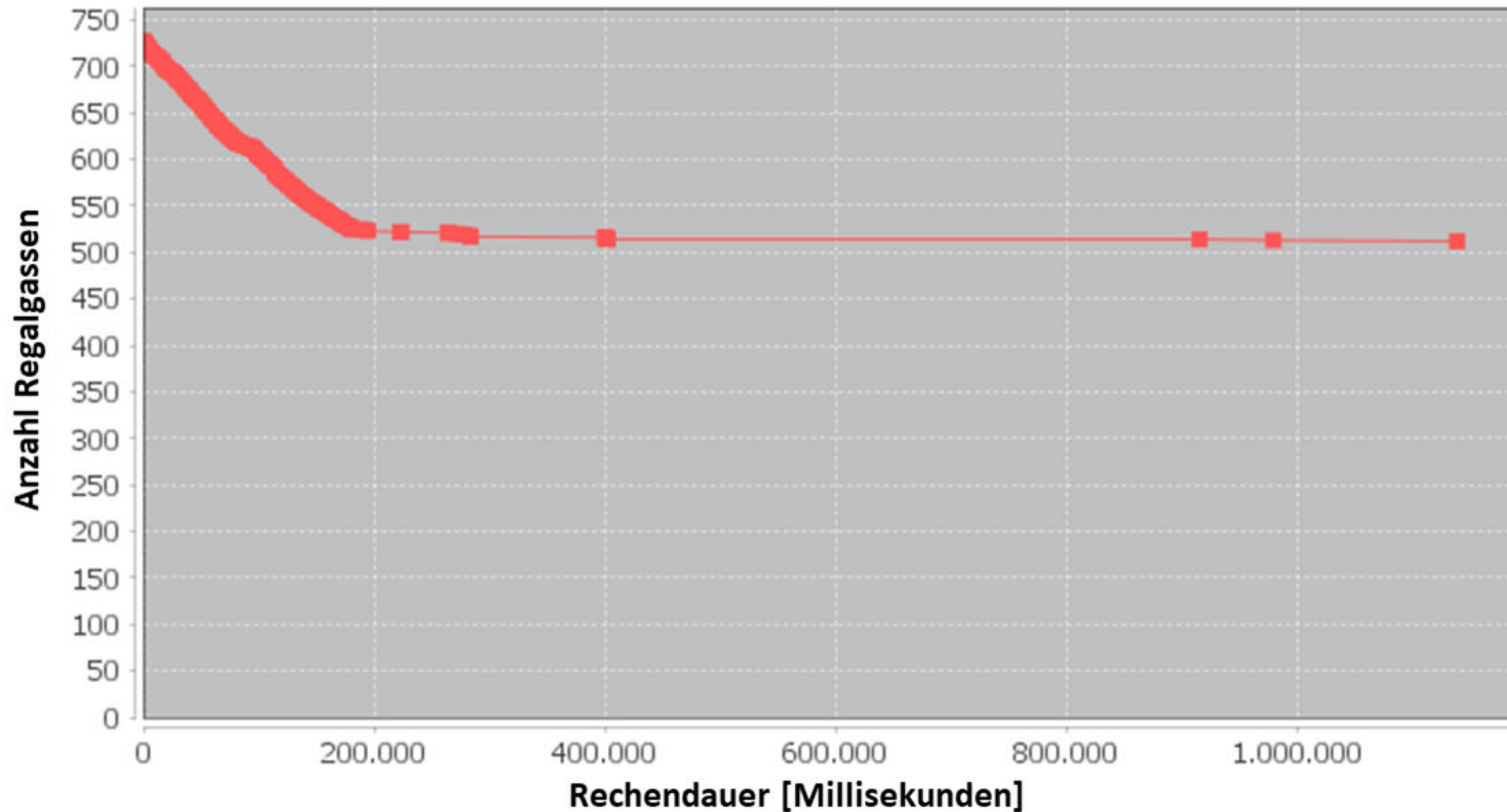


# Optimierungstechnik am Praxisbeispiel MSK



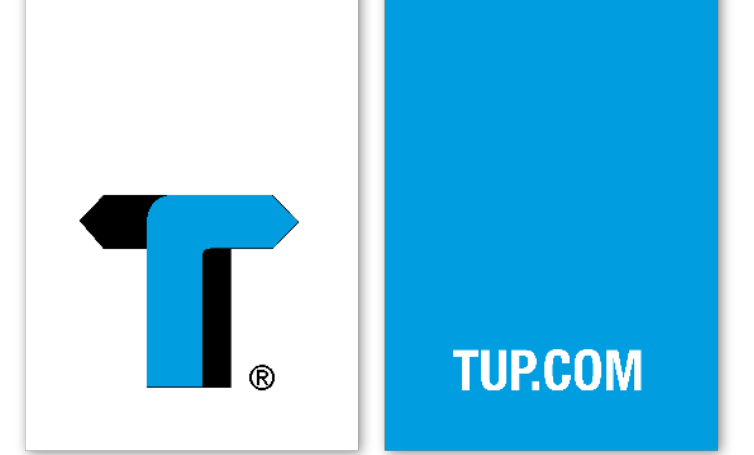
TUP.COM

## 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

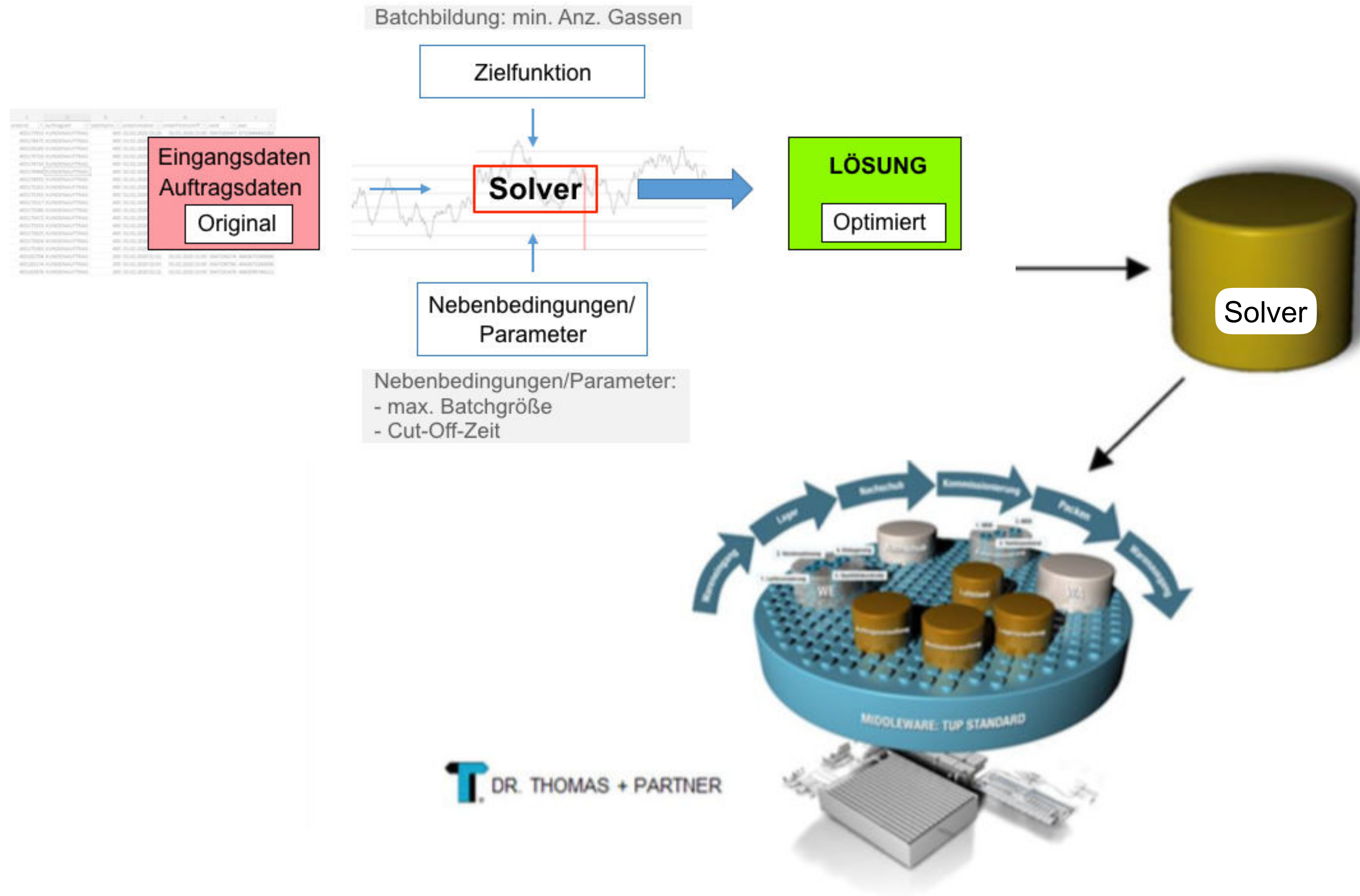
 Solverlösungen innerhalb WMS integriert als weiterer Baustein!



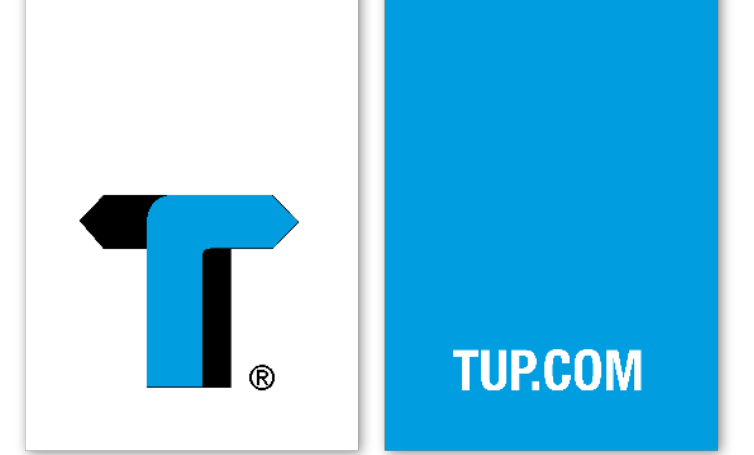
# Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)



TUP.COM



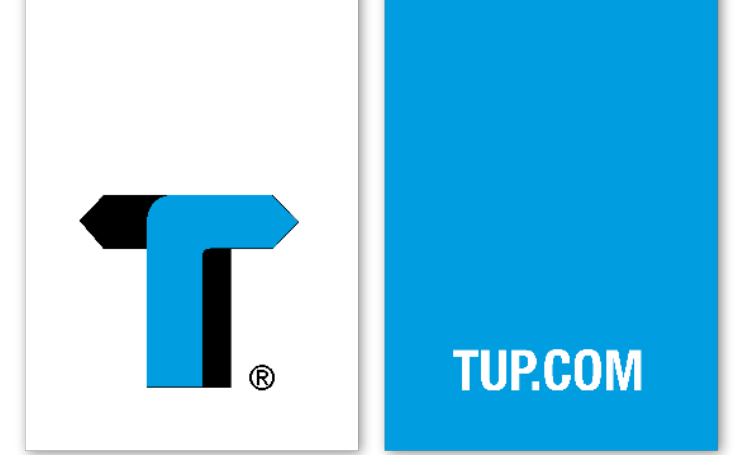
# Solver-Framework



- 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



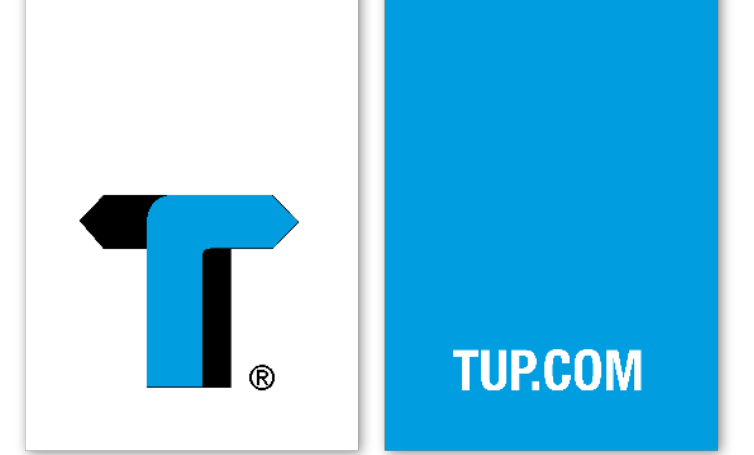
# Solver-Lösungen und Constraint-Programmierung



- 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

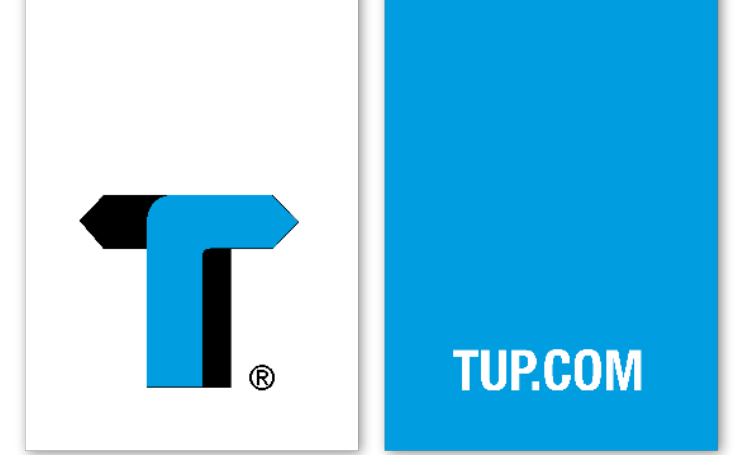


- Nebenbedingungen eines allgemeinen Optimierungsproblems werden als Constraint aufgefasst

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

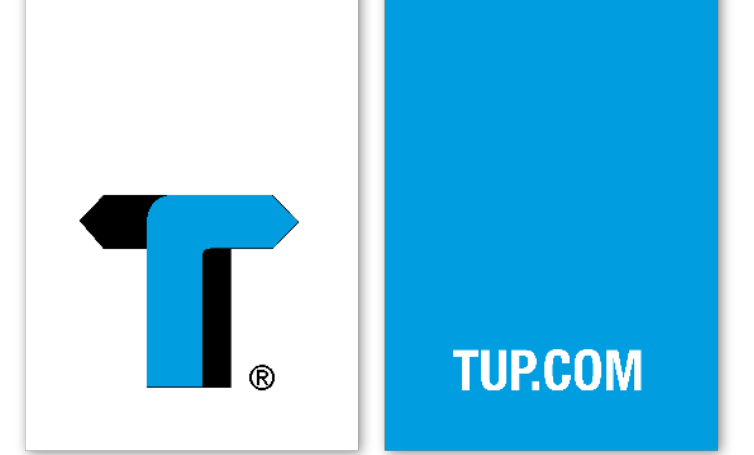


# Solver-Lösungen und Constraint-Programmierung



- 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	orderfirstcutoff	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