



TUP.COM

# IT-GRUNDLAGEN DER LOGISTIK 2022

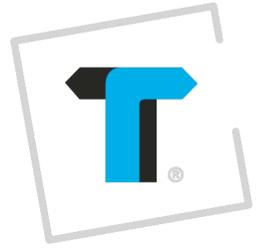
## Chancen der digitalen Transformation

Kapitel 7: Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen -  
Anwendung und Technologien der Bereiche OR und KI

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas



# 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)

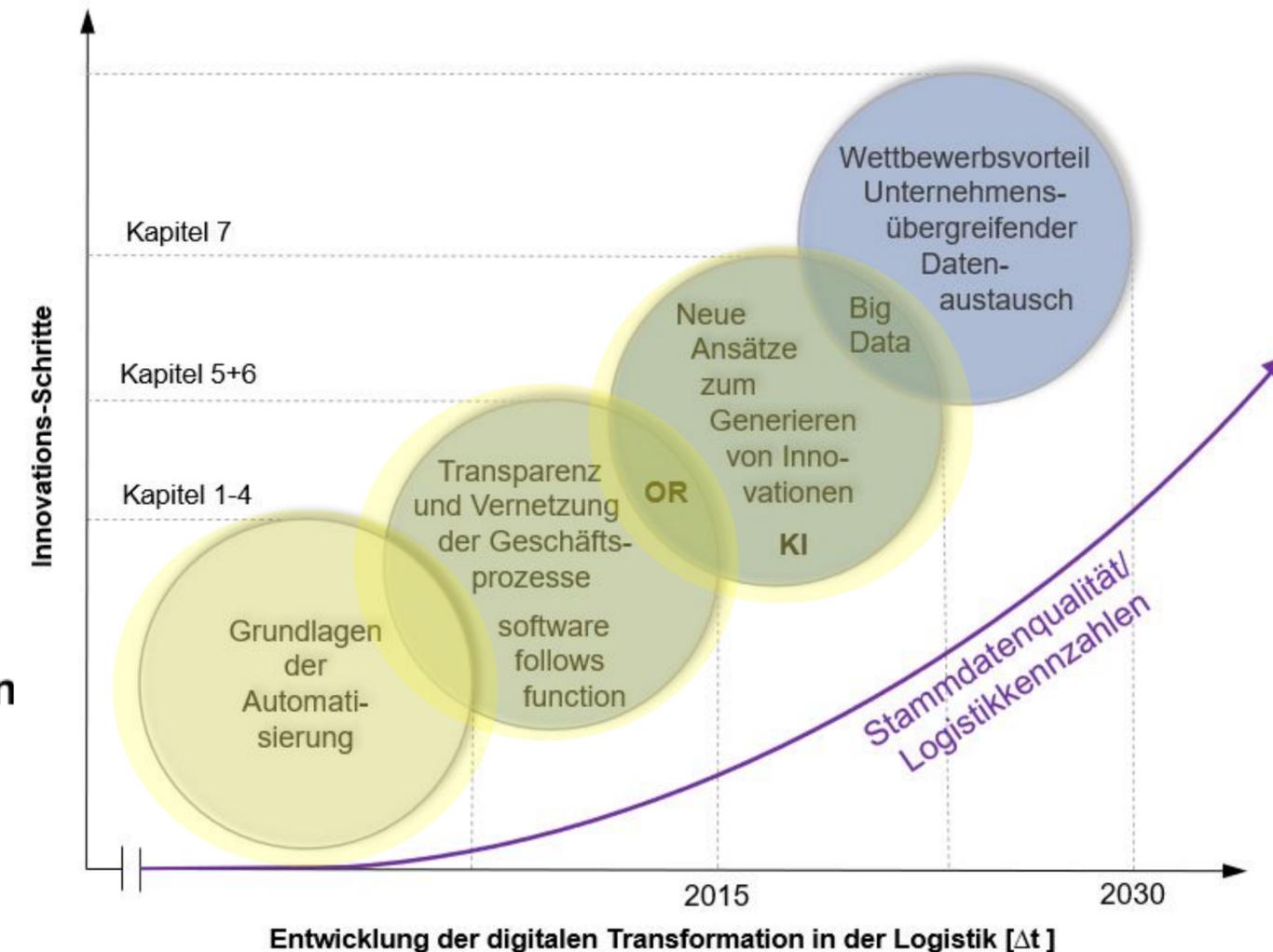
**Kapitel 3:**  
Warenidentifikation – Anwendung in der Logistik

**Kapitel 4:**  
Datenkommunikation in der Intralogistik

**Kapitel 5:**  
Transparenz und Vernetzung der Geschäftsprozesse

**Kapitel 6:**  
software follows function - Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben

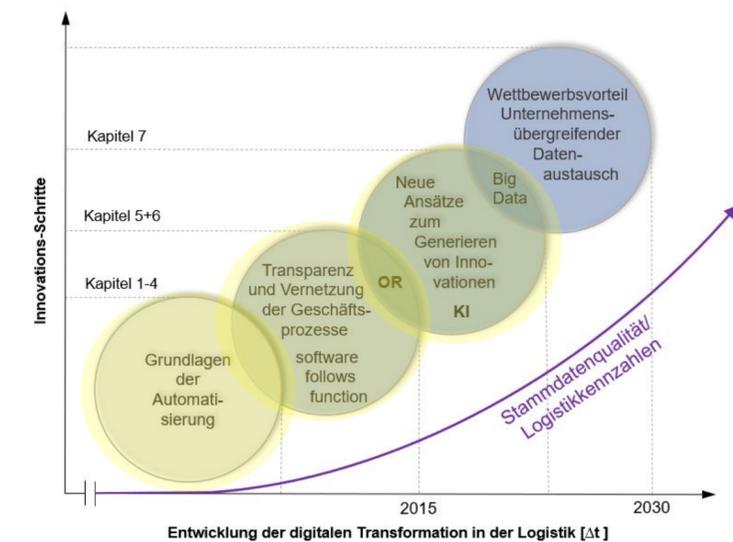
**Kapitel 7:**  
Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen



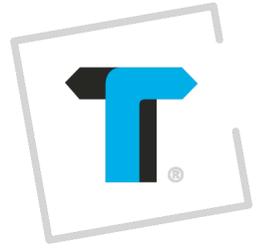
# Digitaler Wandel ist ein fortlaufender Prozess



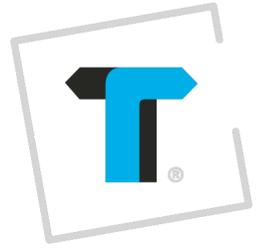
Wenn wir uns keine nützlichen Anwendungen und begründete Veränderungsprozesse in wirtschaftlicher Hinsicht vorstellen könnten, gäbe es keinen Grund für die Anwendung und Technologie der Bereiche OR und KI



# Kommissionierlager Liegeware Textilien



# Kommissionierlager Liegeware Textilien



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



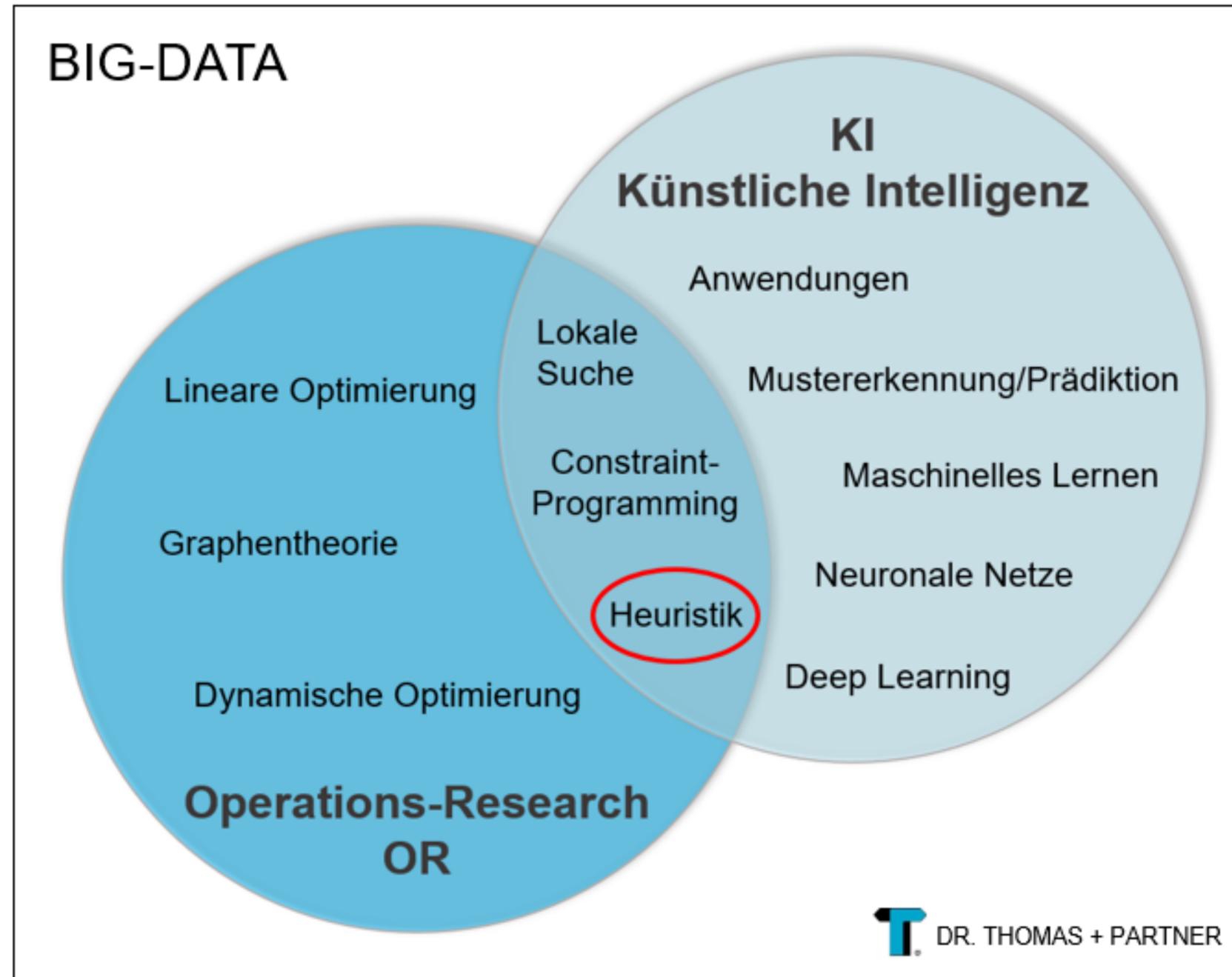
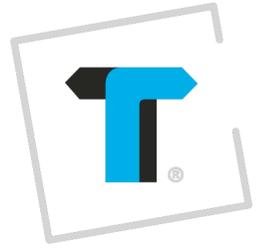
... den mathematischen Methoden  
(Meta-Heuristiken) des “OR”

... und des Begriffs “KI”

*Anmerkung:*

*In der Literatur: keine klare Abgrenzung KI zum Bereich OR*

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



**Diskussion:** Die Logistik sei für den Einsatz KI prädestiniert?

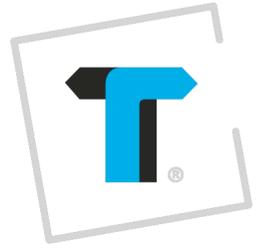


# Operations Research (OR)

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

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

# Modulierung von Planungsproblemen

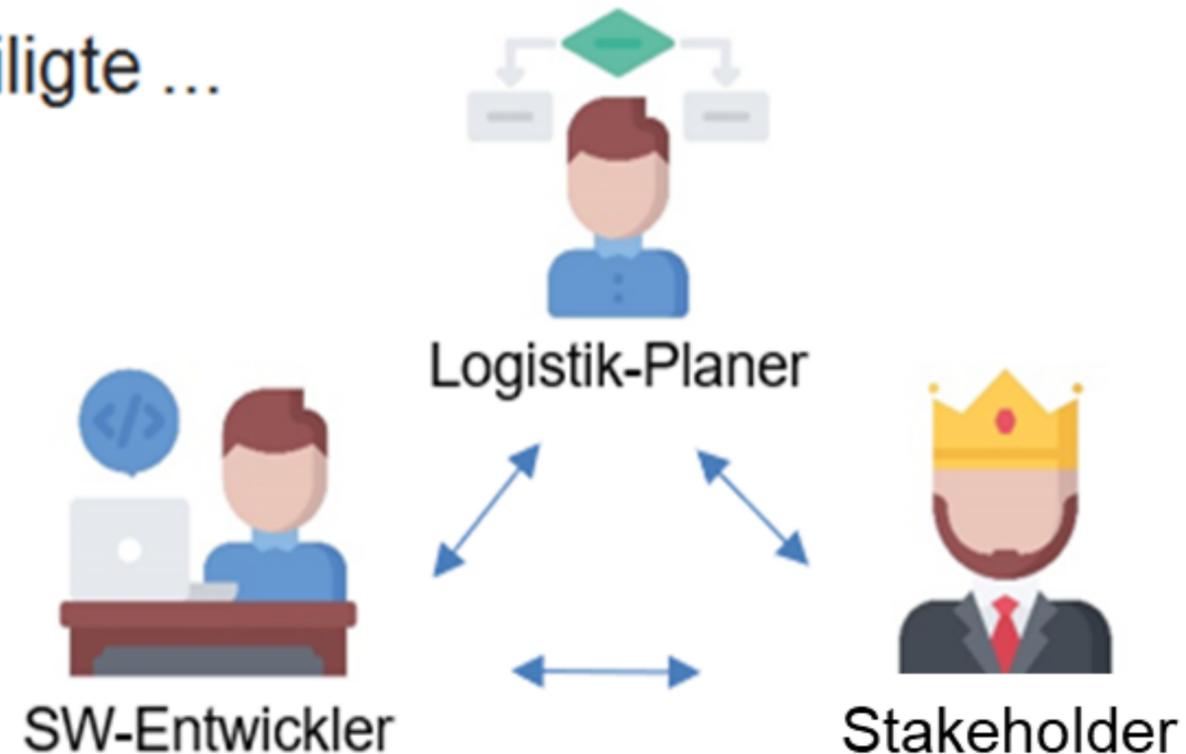


## Innovations-Gemeinschaften

Es ist wichtig, schon früh alle beteiligte ...

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

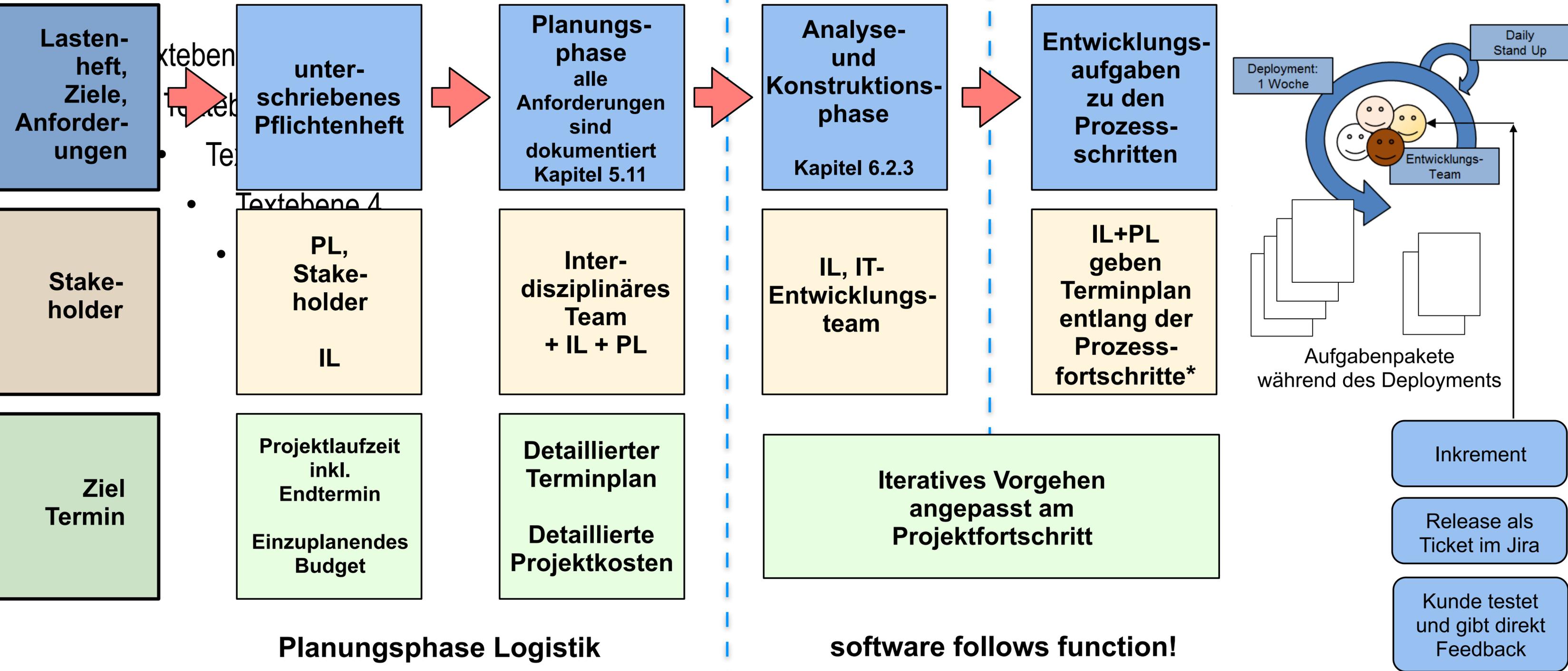
als Team mit einzubeziehen.



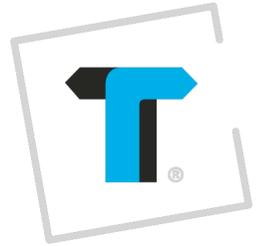
Die Implementierung der Warehouse Management Solutions erfolgt immer in Innov.-Gemeinschaften aus Logistik-Experten, Software-Spezialisten und Stakeholdern.

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

# Softwareentwicklung nach industriellen Maßstäben



# Modulierung von Planungsproblemen

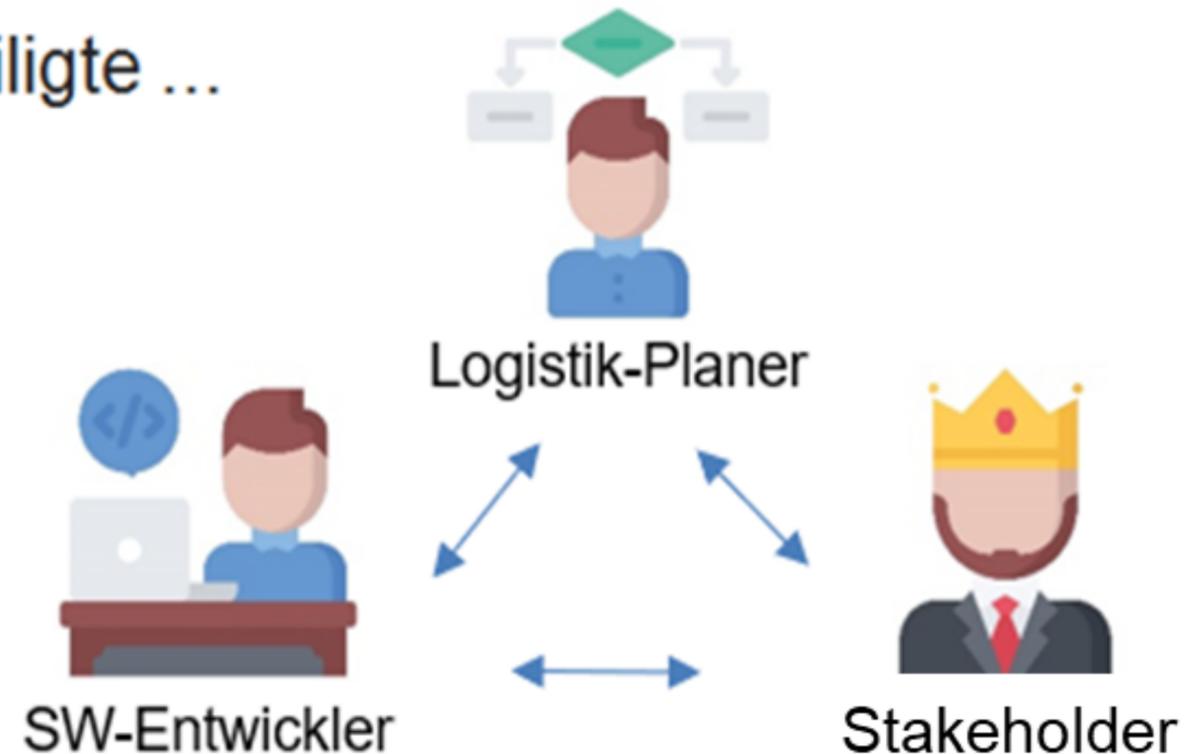


## Innovations-Gemeinschaften

Es ist wichtig, schon früh alle beteiligte ...

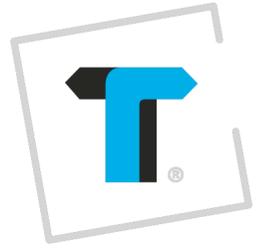
- ▶ ... Stakeholder
- ▶ ... Logistik-Planer
- ▶ ... und Softwareentwickler

als Team mit einzubeziehen.



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

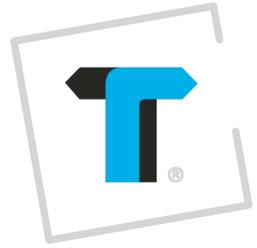
Stakeholder (engl. Teilhaber): Personengruppen / Kunde / Anwender / Nutzer, die ein besonderes Interesse am Innovationsprozess und am wirtschaftlichen Erfolg haben.



**Altbewährtes trifft schrittweise auf immer neue  
Werkzeuge der digitalen Transformation**

**Bewährtes Fachwissen, bekannte Organisationsformen  
verlieren ihren Wert!**

# Die digitale Transformation in der Logistik



**Die Diskussionen werden mit Workshops  
mit dem Ziel fortgesetzt:**

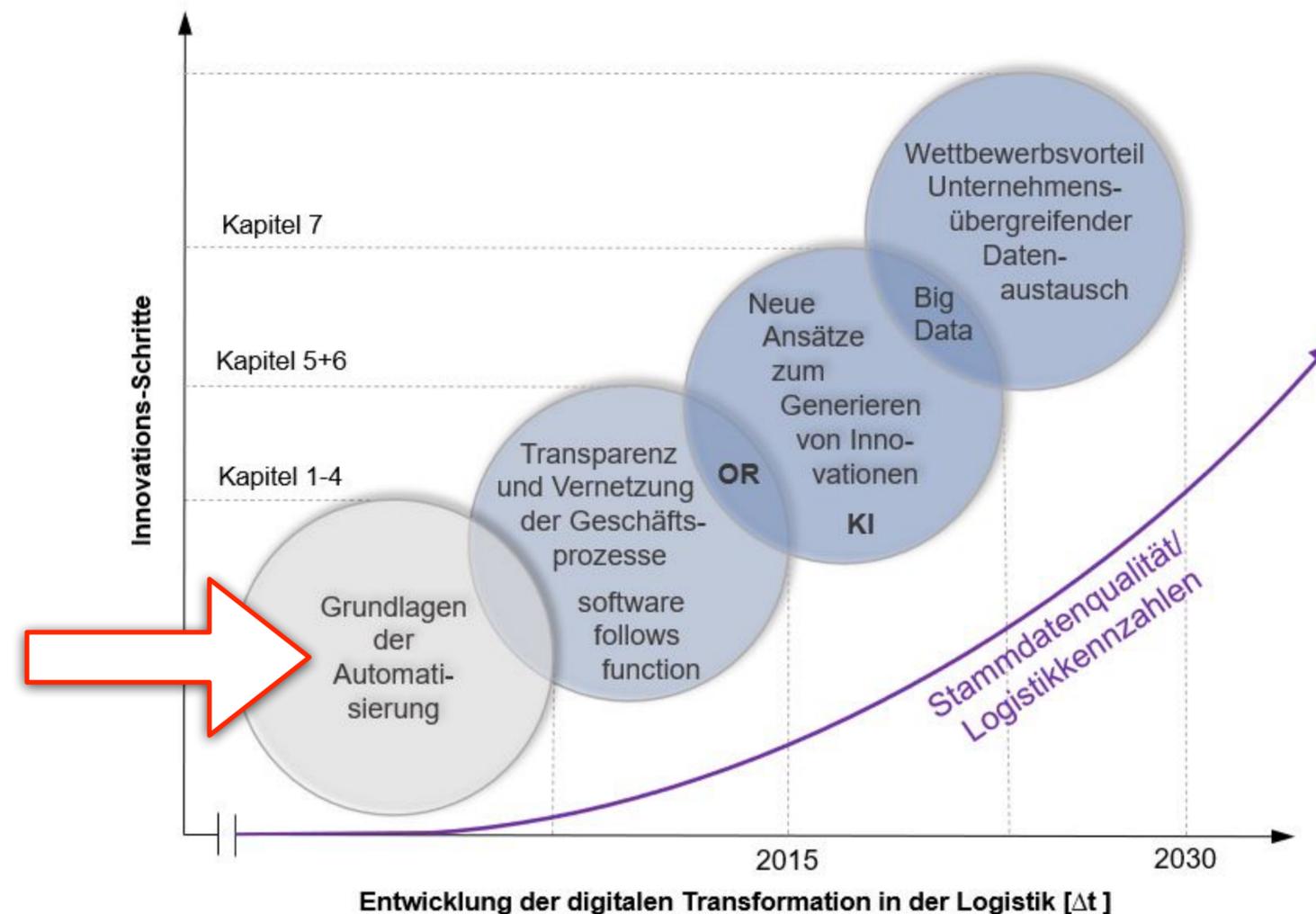
**alle Teilnehmer im Team**

erkennen die Potentiale und die daraus resultierenden  
Erfolgsfaktoren!

# Die digitale Transformation in der Logistik

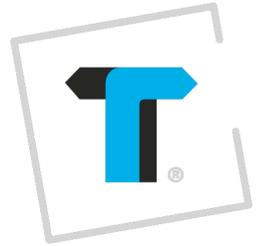


## Auf fundierter Basisarbeit werden bessere Logistik-Lösungen generiert!

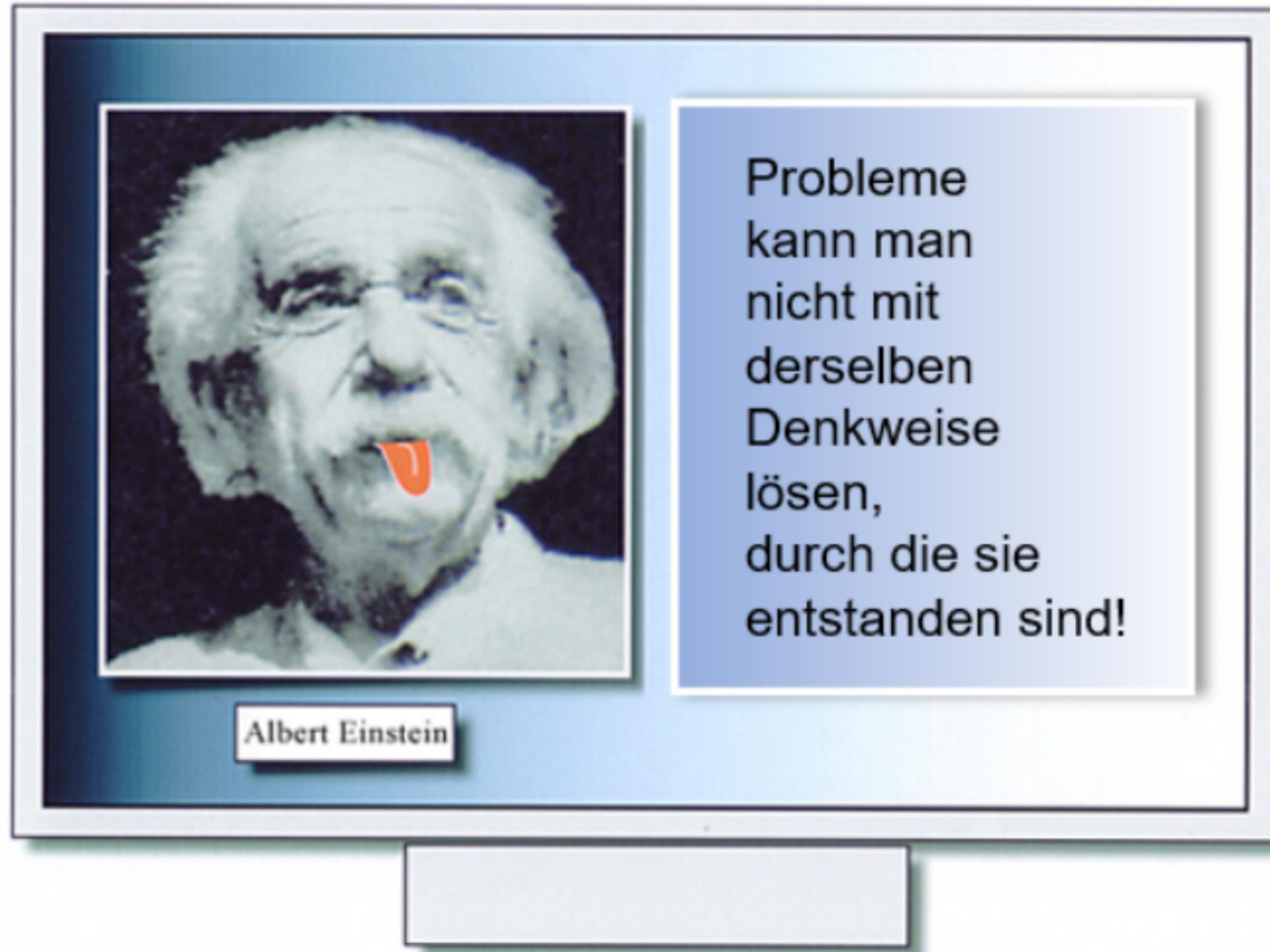


# Die digitale Transformation in der Logistik

## Literatertext



- Texte
- Te
- 





# 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

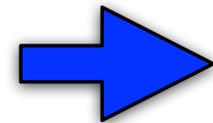
Bevor wir über Lösungen reden, müssen die Stakeholder die Herausforderungen verstanden haben

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

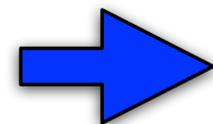
# Optimierung der Geschäftsprozesse



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.



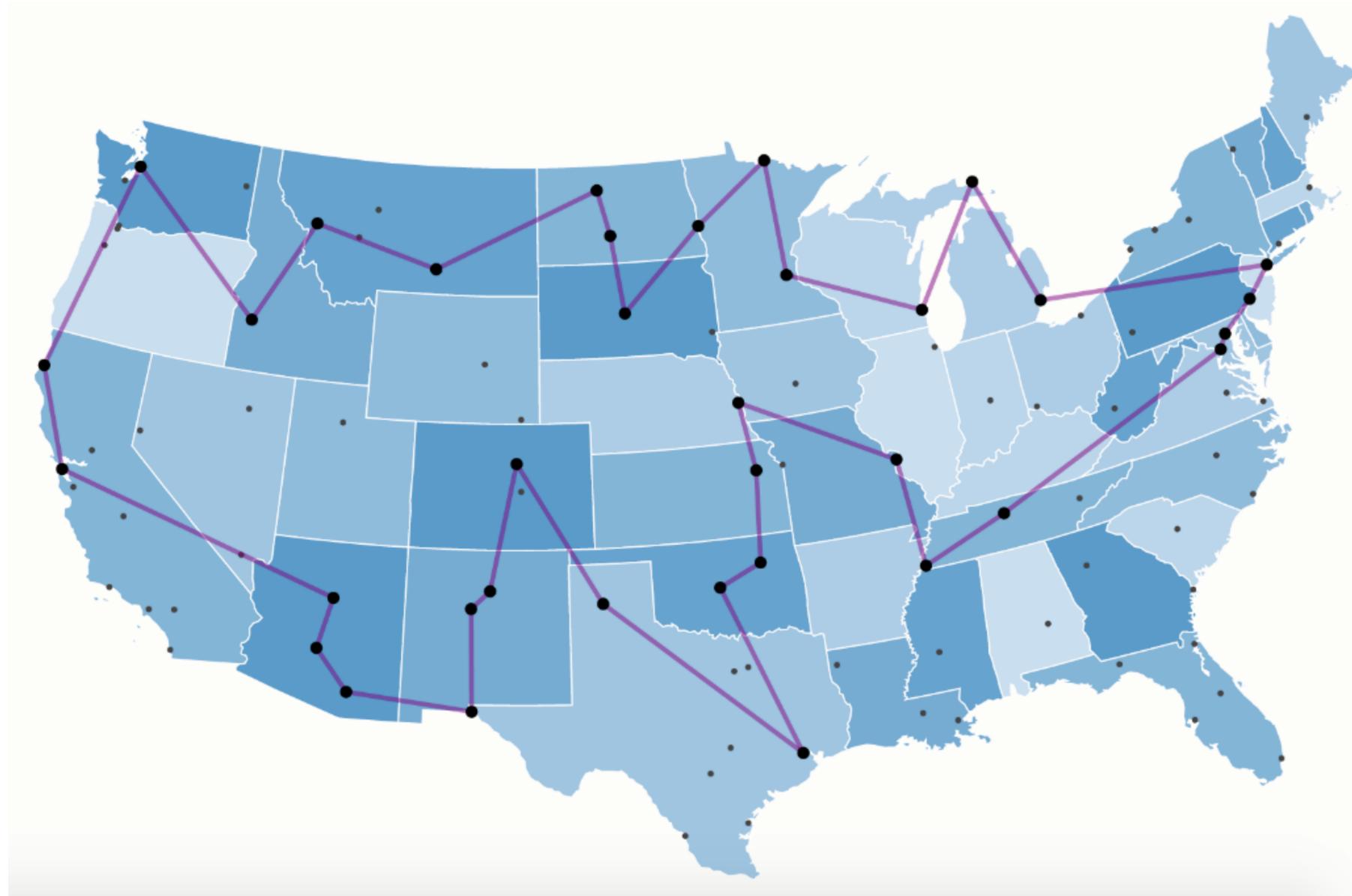
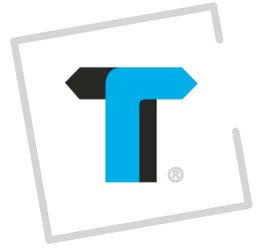
# Ansätze zur kombinatorischen Optimierung

Betrachten wir das Ziel jeder Batchbildung:

- Minimierung der Wegstrecke
- Minimierung der Gangwechsel

*Rückblick Kapitel 5*

# Traveling Salesman Problem (TSP)



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

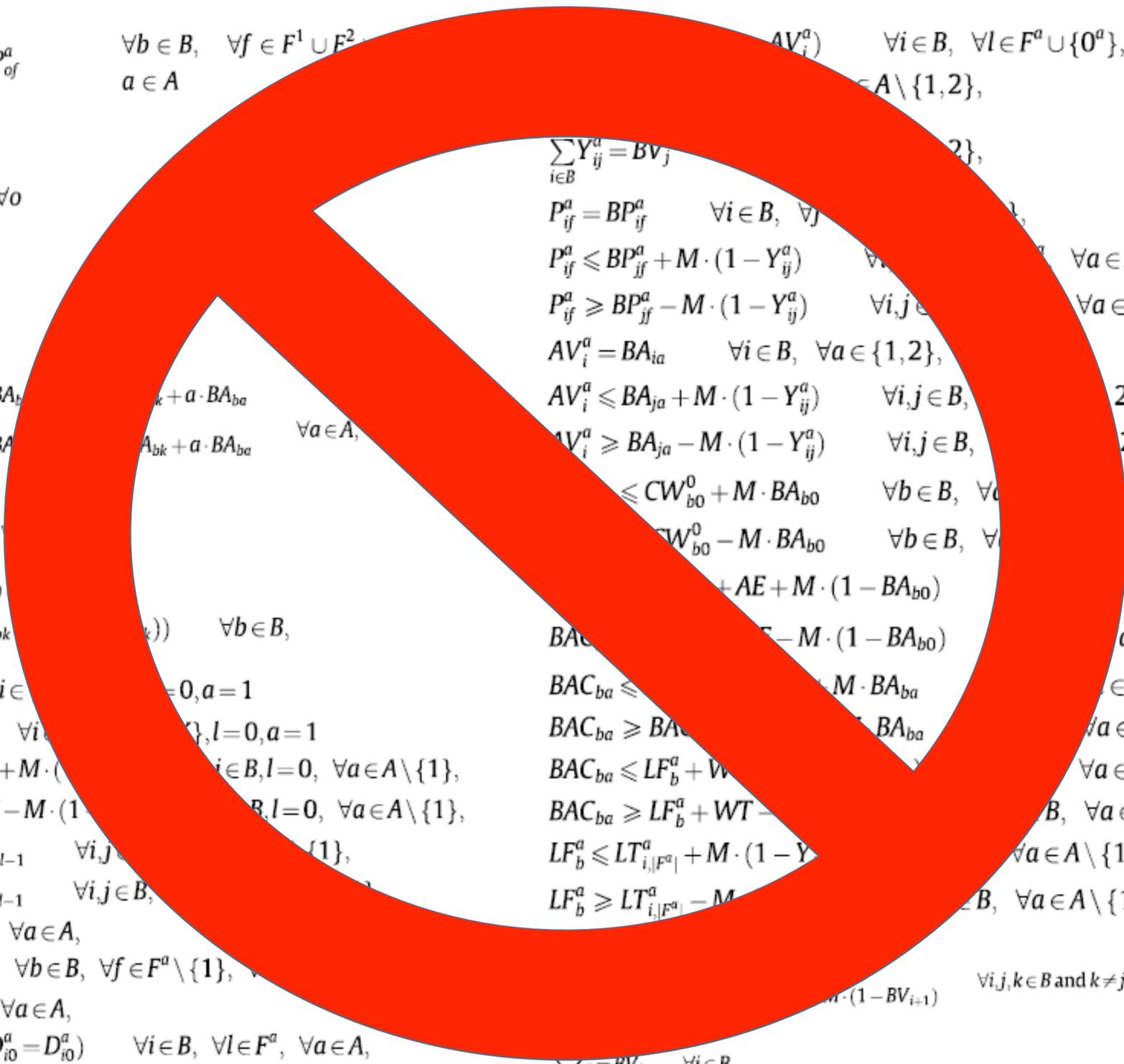
$$BAC_{ba} \geq LF_b^a + WT - M \cdot BA_{ba} \quad \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}$$

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

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

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

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





# Metaheuristiken

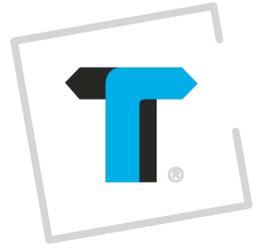
Heuristik für spezielle Systeme

Metaheuristiken vermeiden lokale Minima und Zyklen

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



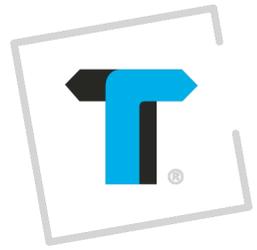
# MSK



## **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)**



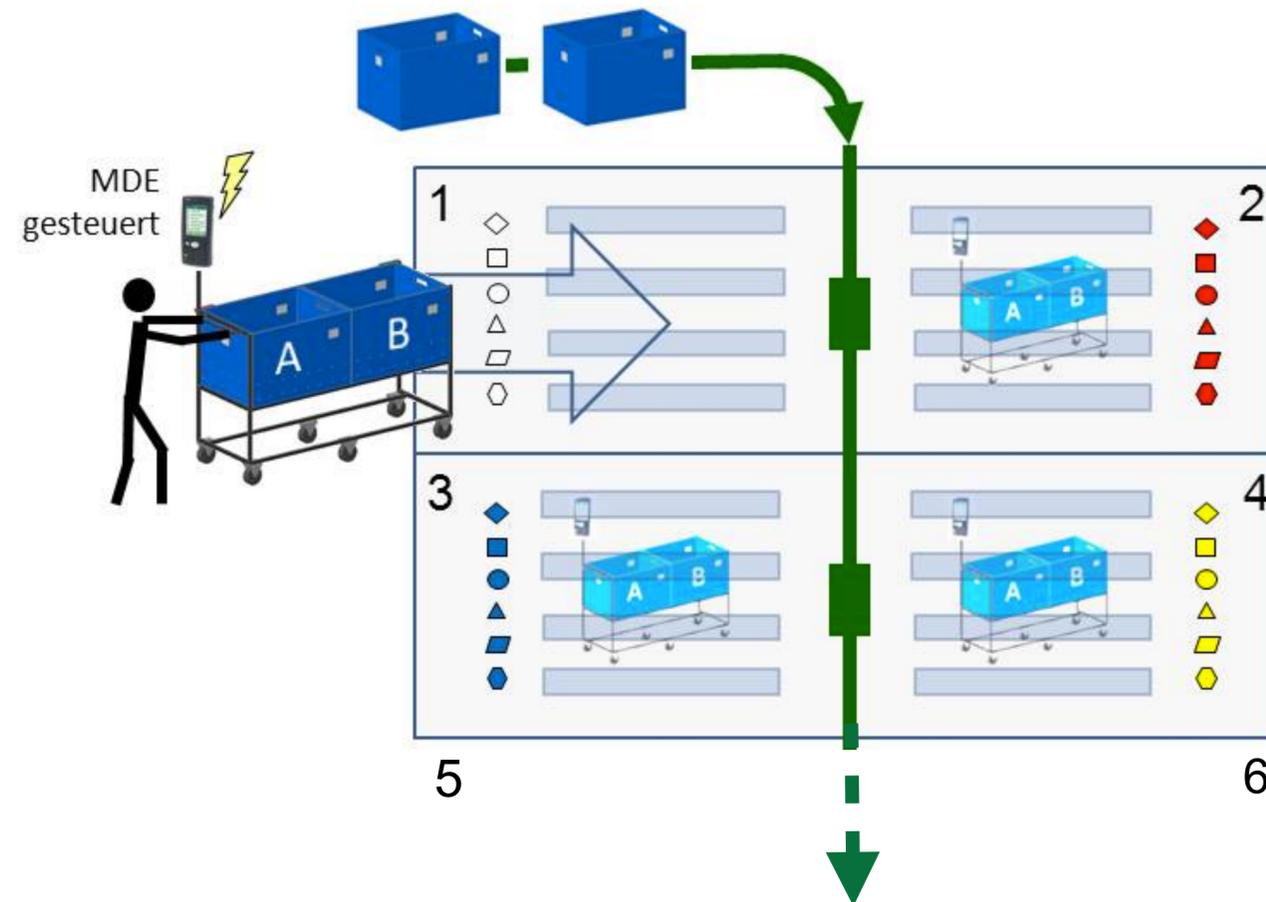
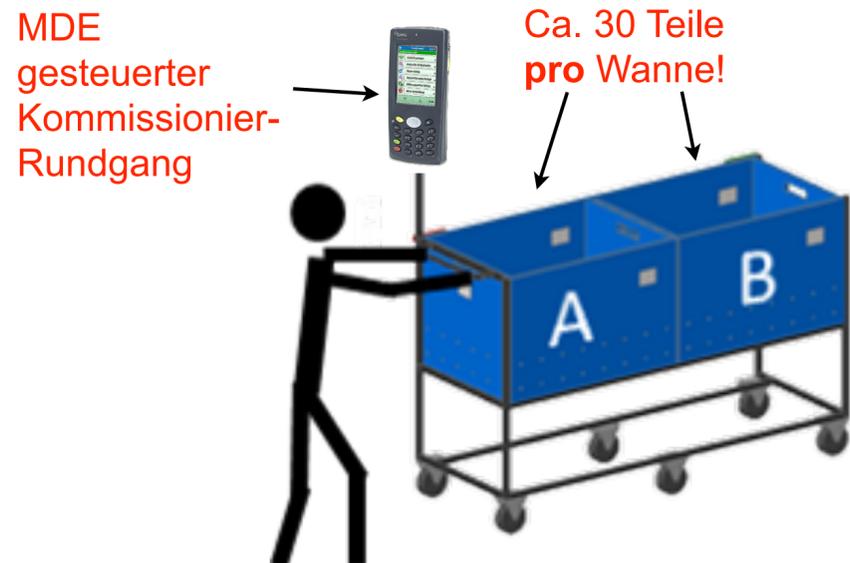


- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

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!



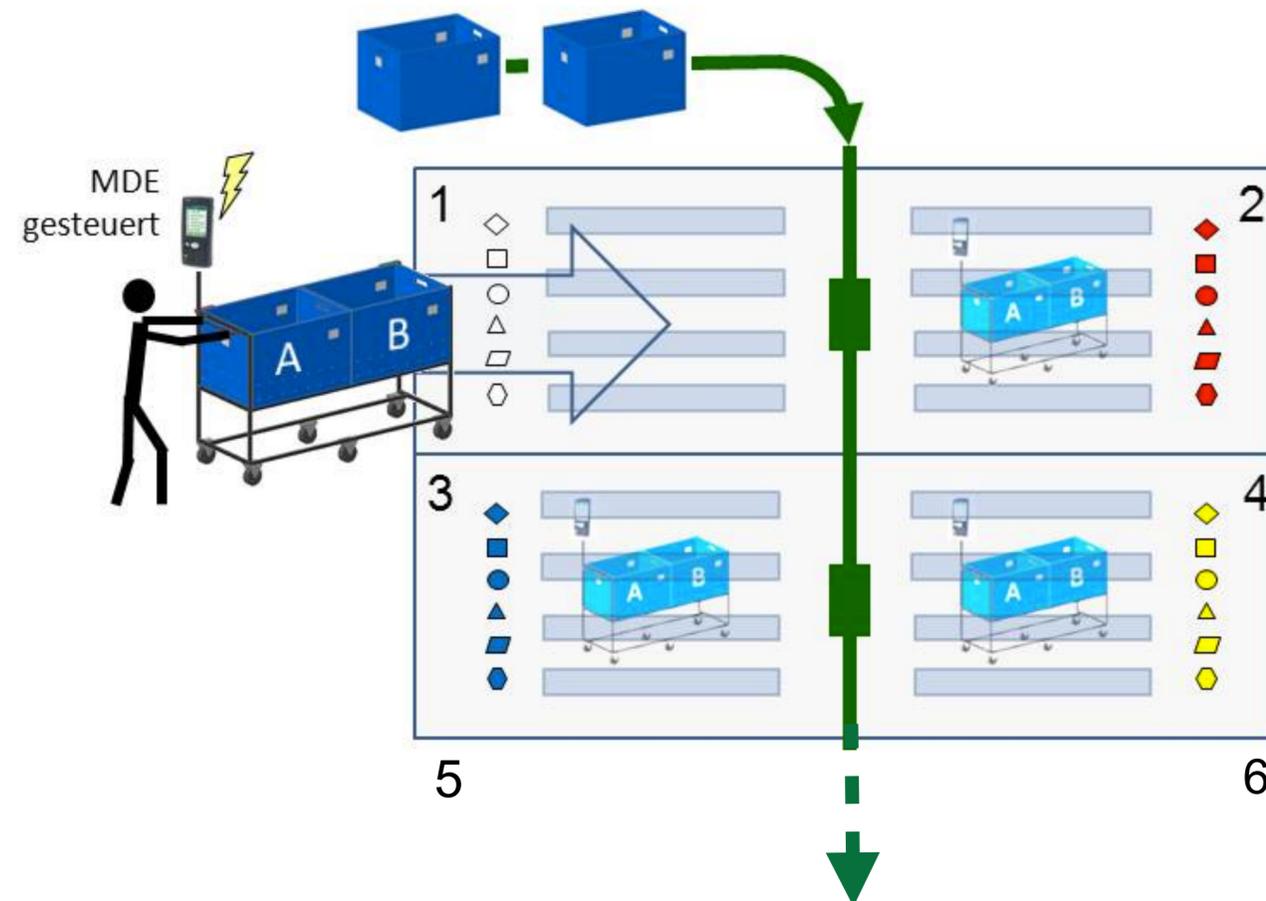


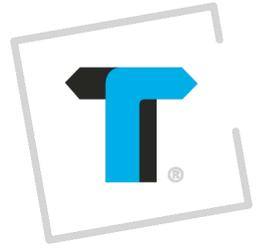
- Kundenauftrag besteht durchschnittlich aus 3 Teilen
- Batch-Sortiermodul verarbeitet 60-100 Kundenaufträge
- Annahme: 80 Kundenaufträge pro Sortiermodul/Packmodule (240 Teile pro Batch)

### 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.





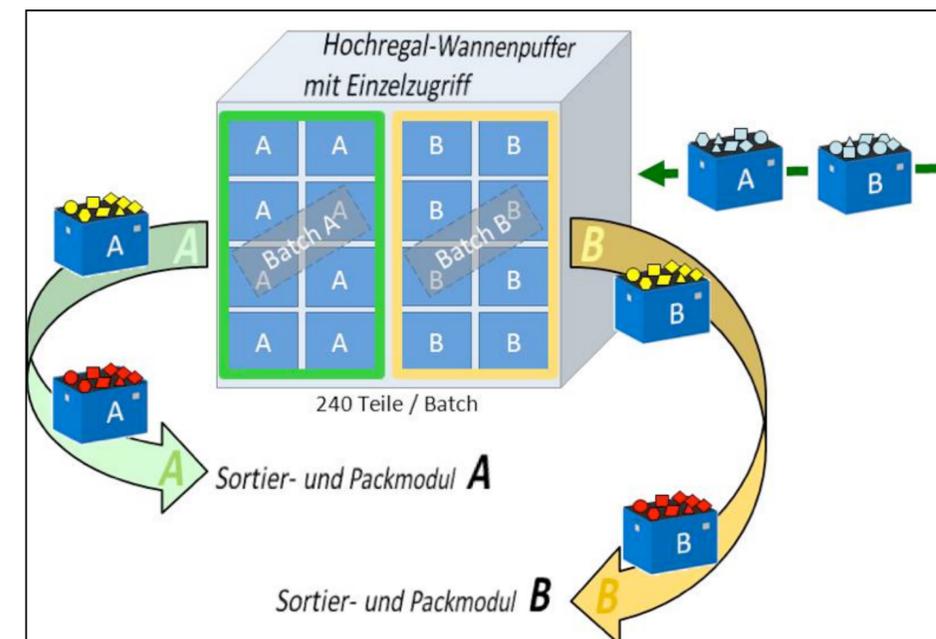
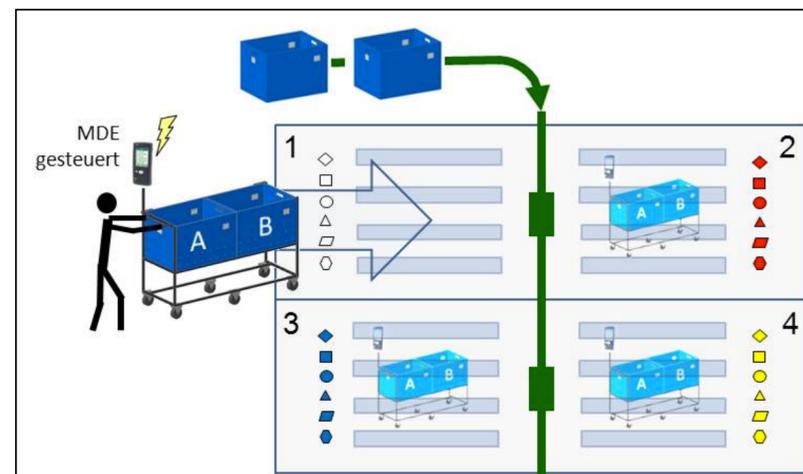
## Kommissionier-Rundgang Start:

- *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.*

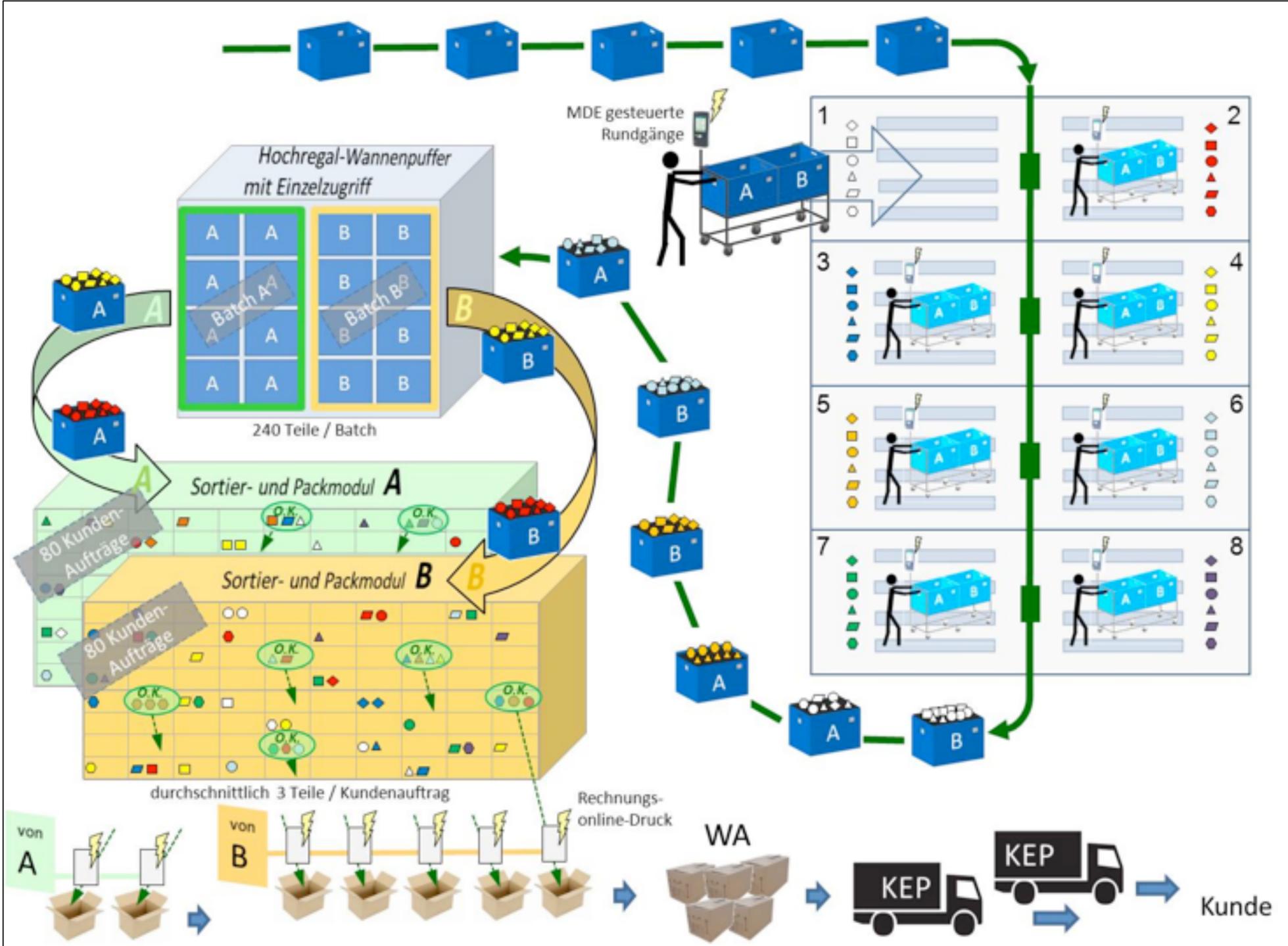
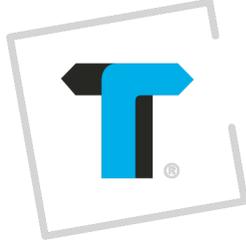
... siehe Gesamtprozess auf Folie 34!

## Kommissionier-Rundgang Ende:

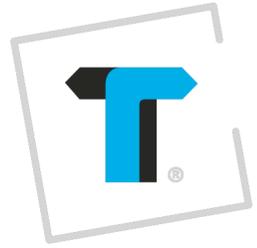
- *Übergabe auf Fördertechnik (gleiches Niveau)*
- *Transport zum Wannepuffer mit Einzelzugriff pro Wanne (Konsolidierung)*
- *Abruf der Wannen zum freien Batch-Sortiermodul (Vorgaberichtlinie ist immer die “cut-off“-Zeit)*



# Gesamt-Geschäftsprozessmodell MSK



# Ausgangssituation



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

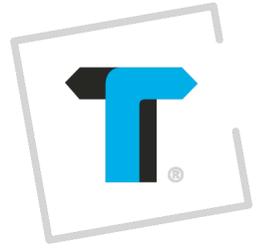
Ziel: Anzahl der Gangwechsel optimieren

↙ Minimierung der Wegstrecke, Pickdichte erhöhen!

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



# Manuelle Sorter-Kommissionierung



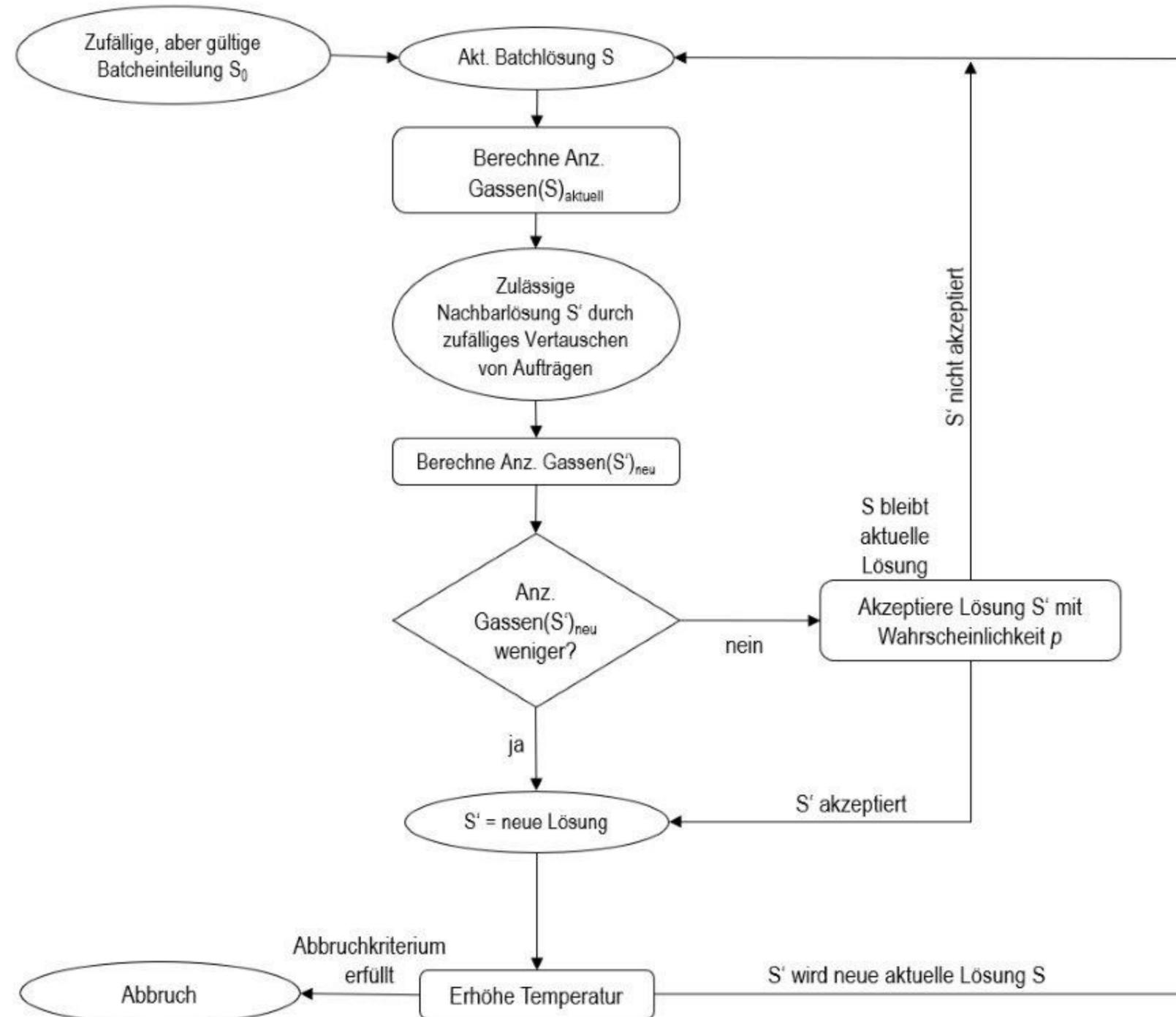
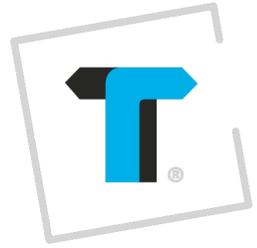
## Optimierung der Batchbildung:

- Startlösung:  
Gültige Batch-Einteilung ist nach Priorität und Berücksichtigung des maximalen Volumens pro Wanne
- Ziel:  
Aufträge (Kundenaufträge) innerhalb der Batch-Einteilung können getauscht werden
- Volumenbegrenzung einhalten
- Minimierung der Gangwechsel bei den Rundgängen, gegenüber der Startlösung

## Die Annahme lautet:

Je seltener der Kommissionierer den Gang wechseln muss, desto geringer ist sein Laufweg.

# Ablaufdiagramm: Metaheuristik Simulated Annealing bei der Anwendung MSK



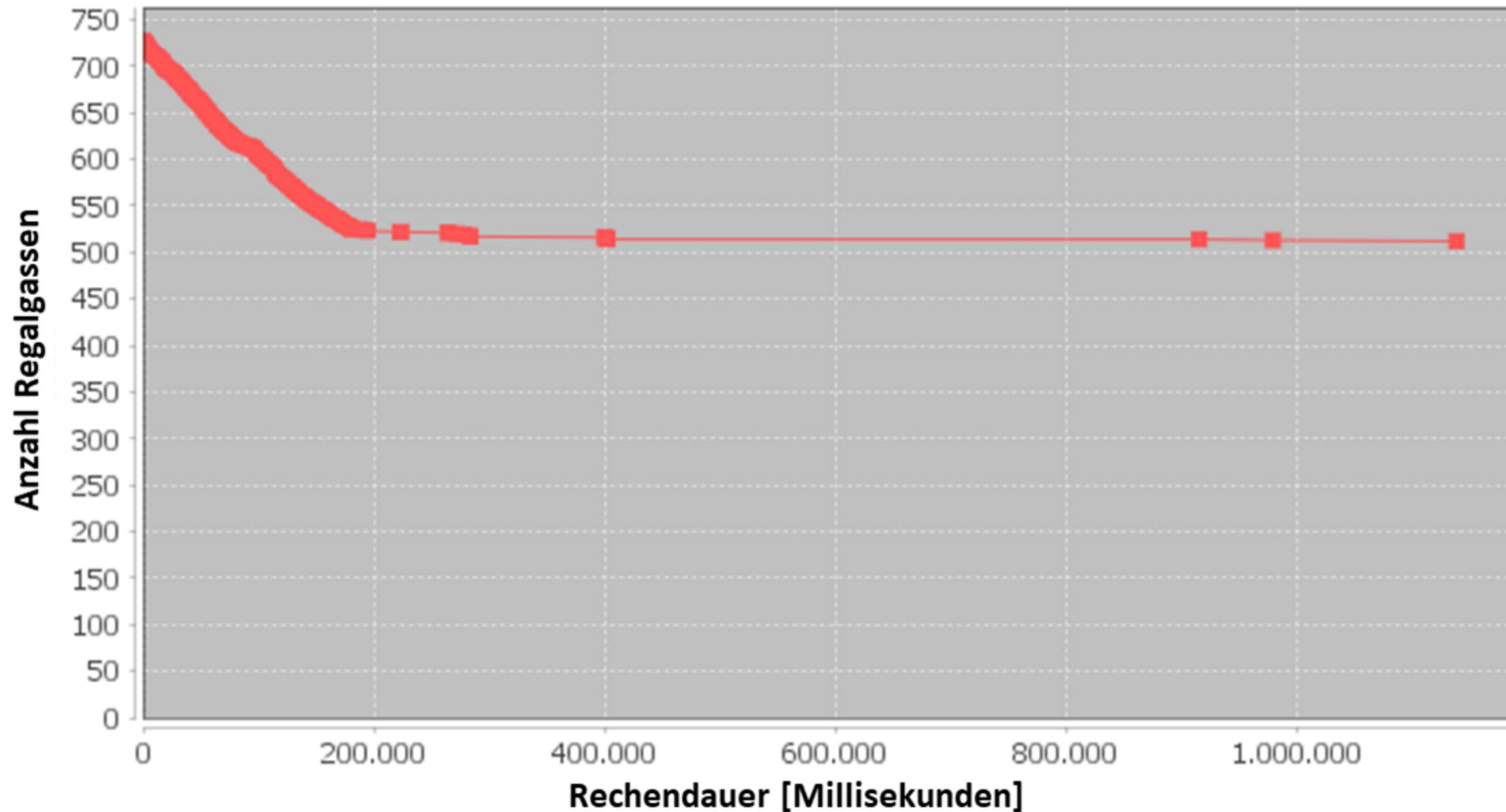
nach Osman I. H.:  
*Metastrategy simulated annealing  
 and tabu search algorithms  
 for the vehicle routing problem*



# Optimierungstechnik am Praxisbeispiel MSK

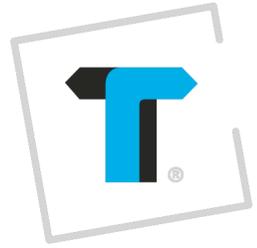


## Verlauf Optimierung



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

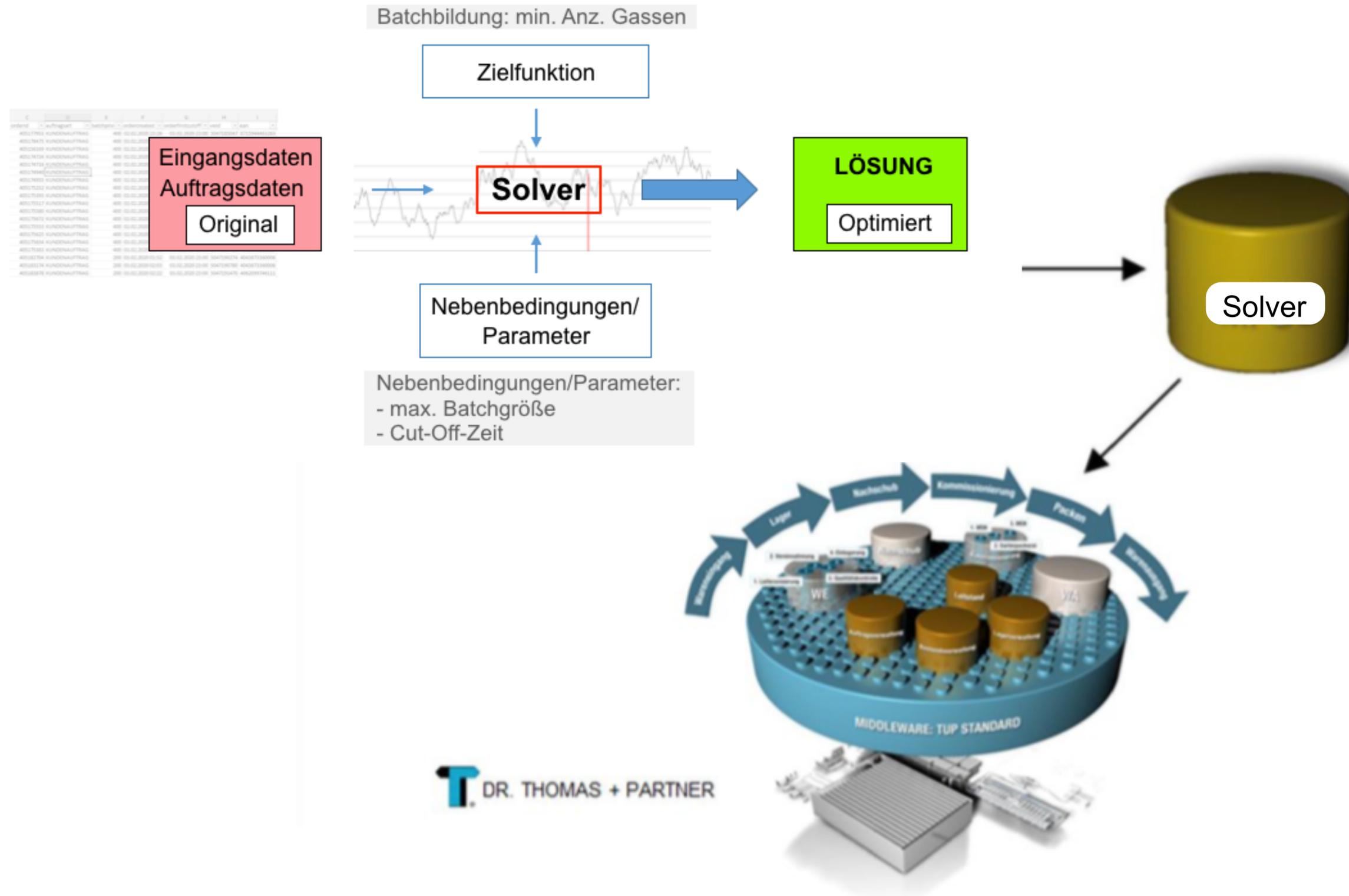
# Solverlösungen



- 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 Solver in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)



# 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



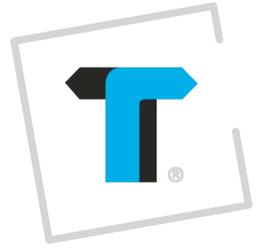
- Ziel besteht darin, eine automatische Problemlösung zu generieren
- Vom Anwender wird lediglich das vorliegende Problem spezifiziert
- Das Problem wird dann vom Programm selbständig gelöst

# Solver-Lösung Kommissionierung / Batchbildung



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

# Einordnung der Solver-Lösung in die Systemlandschaft



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



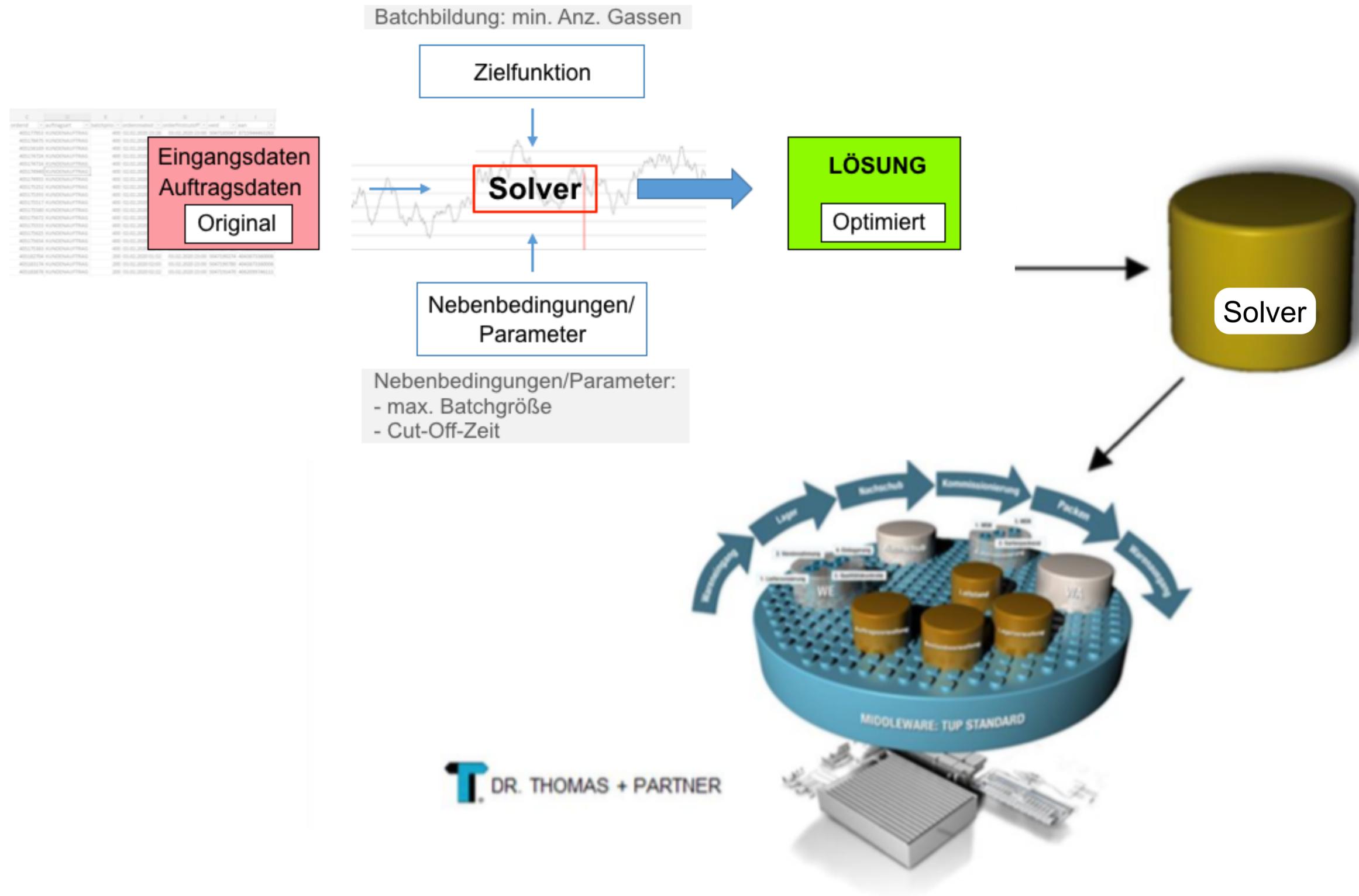
Nebenbedingungen/  
Parameter

**LÖSUNG**

Optimiert

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

# Einordnung des MFCS in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)





# Minimal- und Maximal-Prinzip

- **Minimal-Prinzip:**

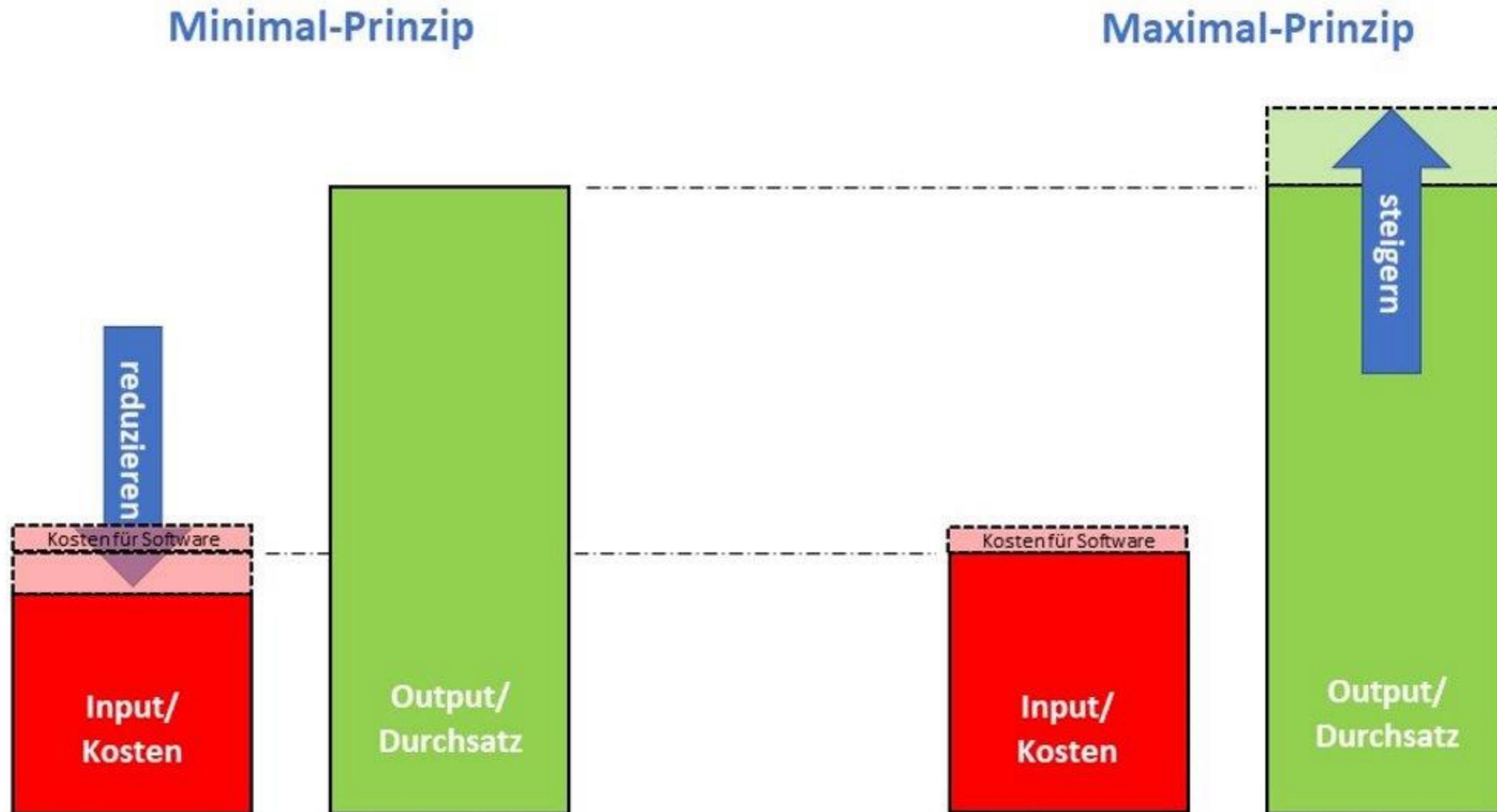
- Ein festgelegtes Output-Ziel soll mit möglichst wenig Input erreicht werden
- Erreichen einer festgelegten Durchsatzleistung mit möglichst wenig Personalaufwand

- **Maximal-Prinzip:**

- Mit gegebenen Input soll der Output maximiert werden
- Maximierung des Durchsatzes mit gegebenem Personal

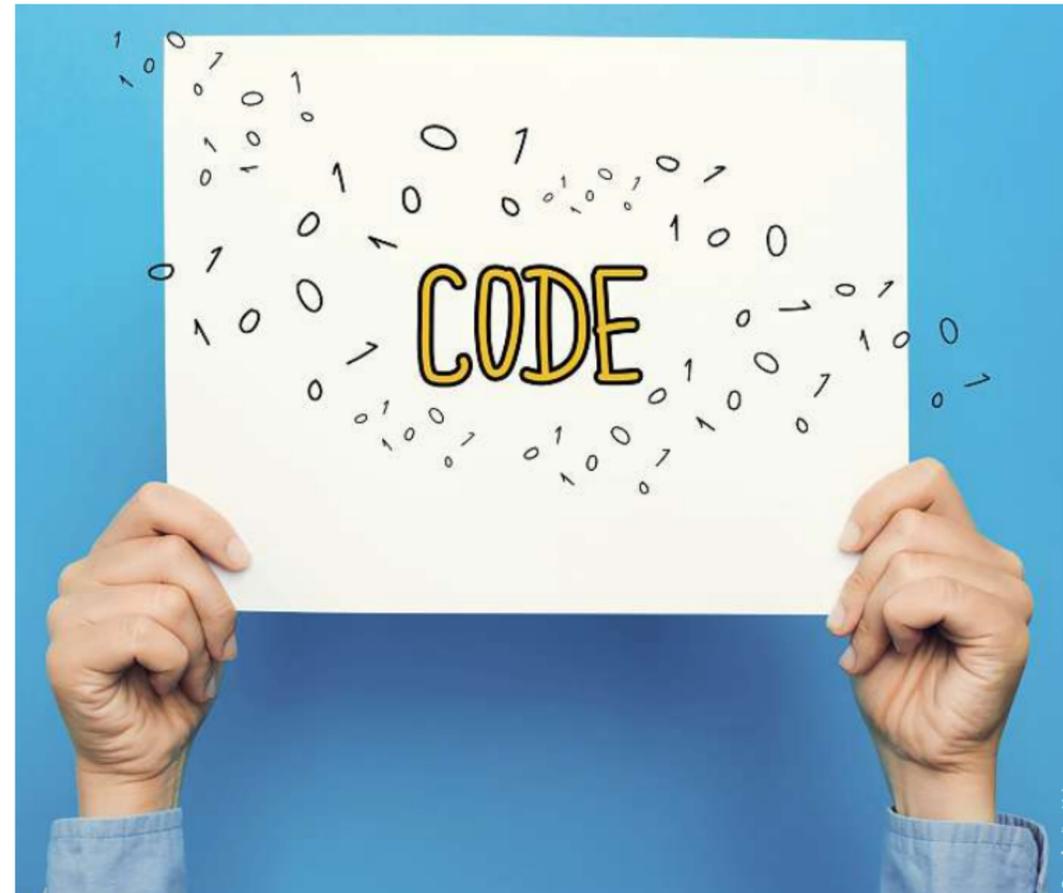


# Minimal- und Maximal-Prinzip



# Beitrag: An den richtigen Stellschrauben drehen

[https://www.tup.com/wp-content/uploads/2020/01/54\\_57\\_MFL\\_05\\_2017\\_SuI-SP-LS-TUP.pdf](https://www.tup.com/wp-content/uploads/2020/01/54_57_MFL_05_2017_SuI-SP-LS-TUP.pdf)



## An den richtigen Stellschrauben drehen

*Das Schlagwort „Softwareoptimierung“ verursacht häufig und nicht zu Unrecht negative Assoziationen: Man denkt zuerst an Betriebsunterbrechung, Logistikstopp oder Kostenfalle. Dass es auch anders geht, nämlich problembezogen, mit geringem Zeitaufwand und zu moderaten Kosten, zeigt die praxiserprobte Optimierungsmethode der Softwaremanufaktur Dr. Thomas + Partner (TUP).*

# Big Data



- Unternehmen sammeln Daten sehr häufig zum Selbstzweck
- Daten schaffen jedoch nur einen Mehrwert, wenn sie analysiert werden

# IT-Grundlagen der Logistik - Chancen der digitalen Transformation



... habe fertig!!

Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!!

...und tschüss!