

Zukunftsorientierte IT-Integration in der Logistik 2023

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

Prof. Dr.-Ing. Frank Thomas



Zwei Termine für die mündliche Prüfung



Mittwoch, den 09.08.2023 ab 10.00 Uhr

oder am

Dienstag, den 12.09.2023 ab 10.00 Uhr.

Lokation der mündlichen Prüfungen ist der TUP-Campus:

TUP GmbH & Co. KG

Fraunhoferstr. 1

in 76297 Stutensee (Ortsteil Blankenloch).

Anmeldung nicht vergessen!

Bitte tragen Sie sich für ihren gewünschten Prüfungstag ein,
die zeitliche Abfolge an dem Termin regeln wir via Mail.

Die Prüfungen dauern etwa je 30 Minuten.

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:

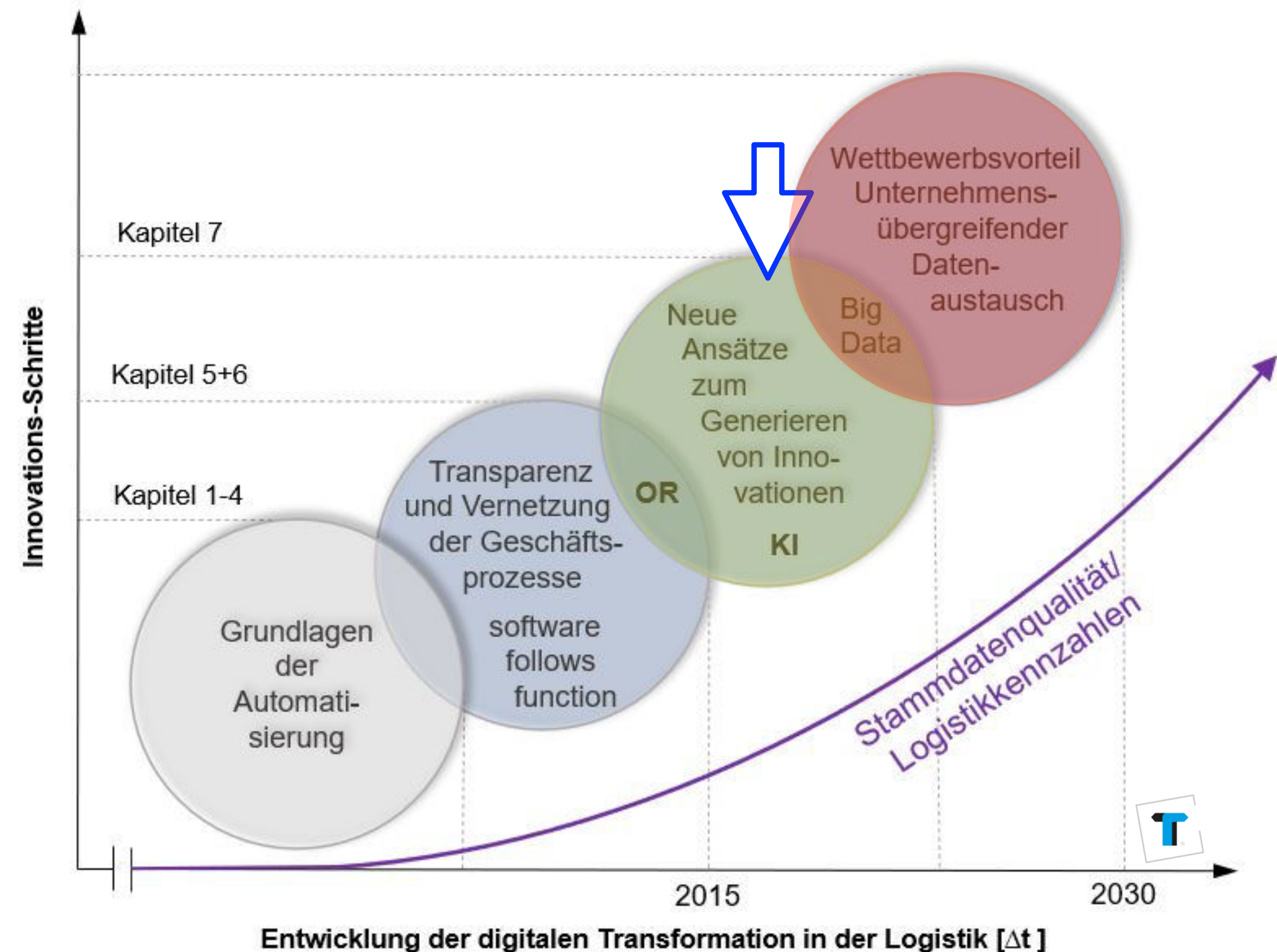
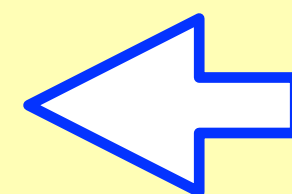
Transparenz und Vernetzung der Geschäftsprozesse

Kapitel 6:

software follows function -
Software-Entwicklung nach industriellen Maßstäben

Kapitel 7:

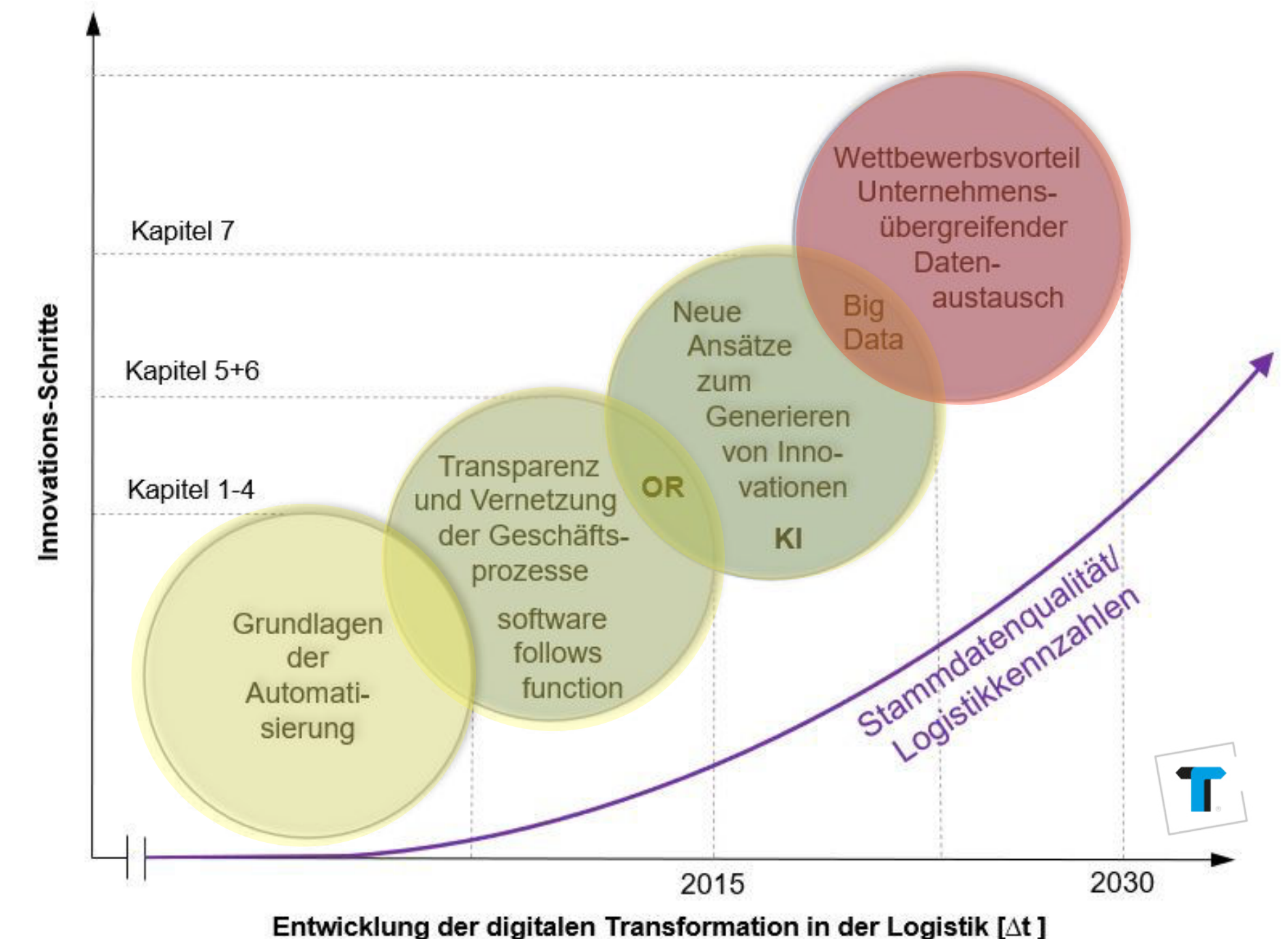
Neue Ansätze zum Generieren von Innovationen



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



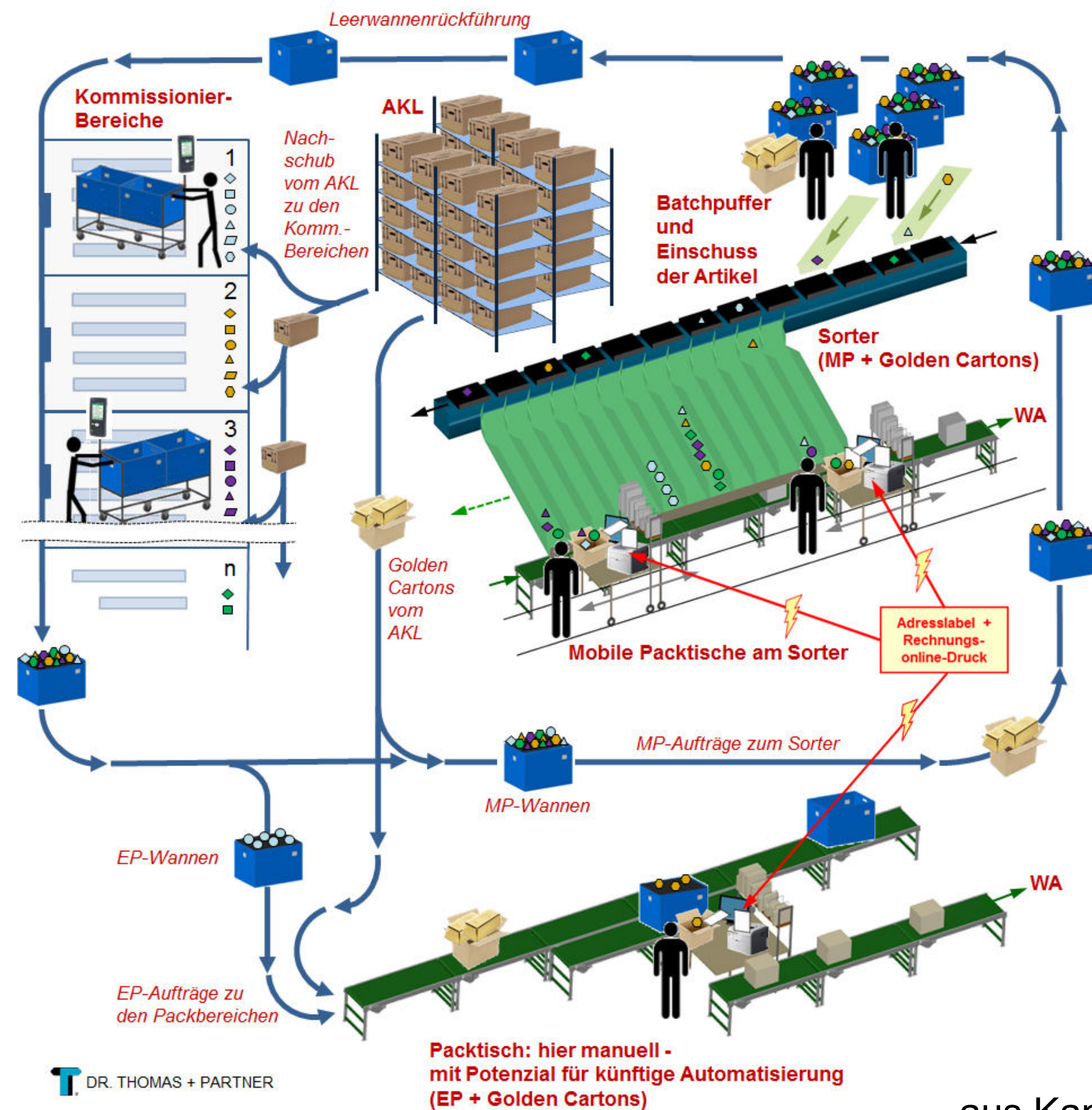
Kommissionierlager Liegeware Textilien



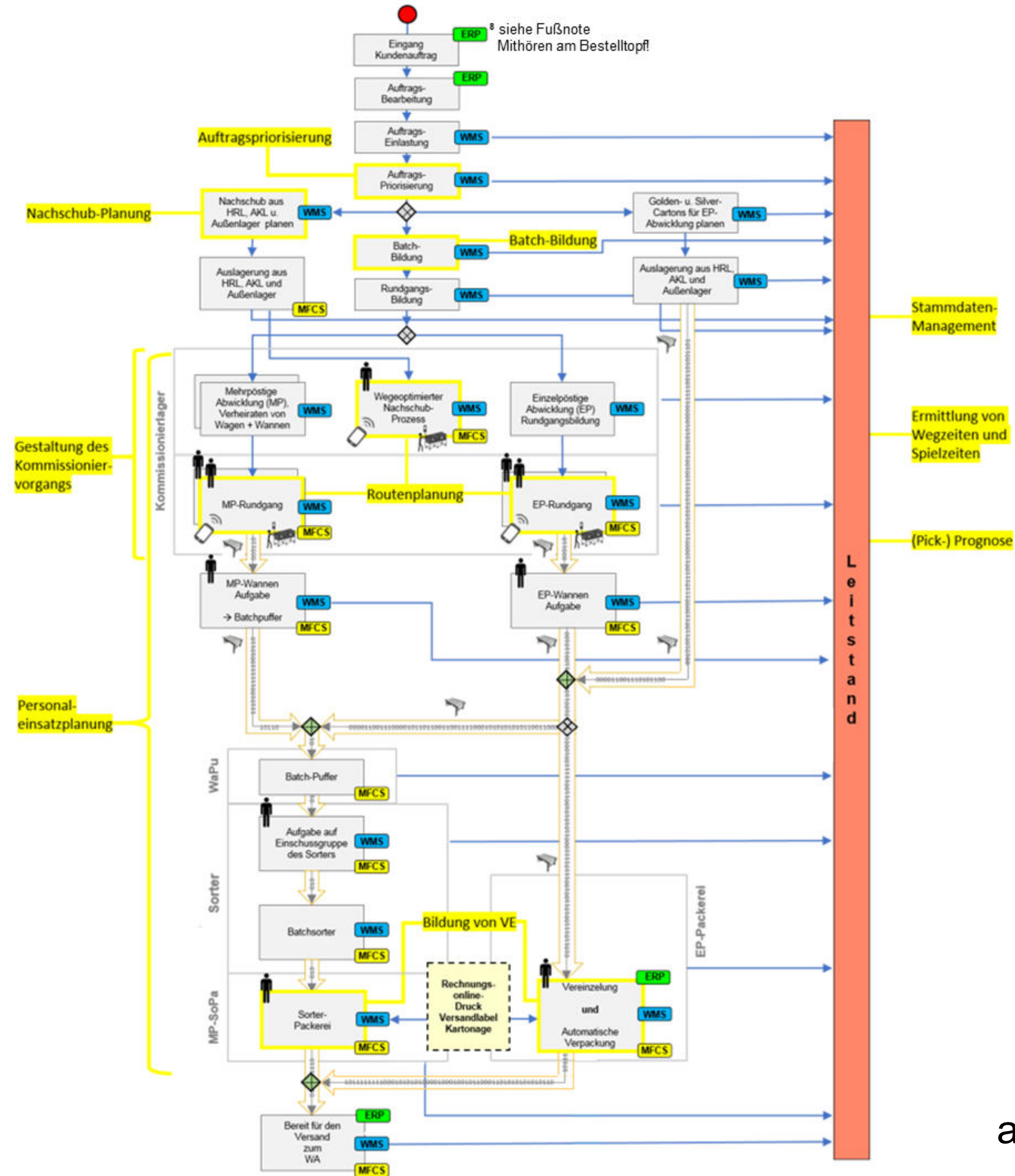
Kommissionierlager Liegeware Textilien



Prinzipskizze: Zweistufige Kommissionierung (mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei)



Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei“



aus Kapitel 5

Auftragspriorisierung



verarbeitet ...

- Auftragsdaten zum Zeitpunkt des Bestelleingangs
- fakturierte Kundenaufträge

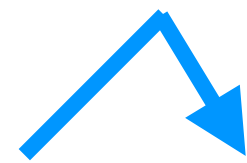
Stellschrauben:

- Einhalten von Cut-Off-Zeiten
- Nachschub auslagern
- EP und Golden-Cartons generieren und Auslagerung aus AKL anstoßen

Geschäftsprozessmodul „Zweistufige Kommissionierung mit Batchpuffer, Sorter, Rechnungsonline-Druck und Sorterpackerei“



- Geringer Automatisierungsgrad



Personalintensiv!

Zentrale Fragen lauten:

- Wie kann effizienter abgewickelt werden?
- Mit welchen Innovationsschritten wird das Ziel erreicht?

Effizienz wird verbessert durch Datenaufbereitung der Auftragspriorisierung:

- Mehrpöstige Abwicklung (MP)
- Golden- und Silver Carton-Abwicklung

Ständige online-Verfügbarkeit und Verarbeitung von Big Data führt dazu, ...



- ... dass eine deutlich höhere Anzahl von Aufträgen in die Planung miteinbezogen werden kann
- Auch die Bildung von Golden- und Silver-Cartons wird ermöglicht
- Mehrfachzugriff auf einzelne Artikel während des Kommissionier-Rundgangs (Verheiraturung von mehrpöstigen Kundenaufträgen)
- In der Literatur gehen die oben genannten Verbesserungsprozesse durch den Einsatz von **Big-Data* nicht** in die Berechnung von Wege- und Pickzeiten ein (vgl. Kapitel 5)

*es fehlt die notwendige solide Datenbasis

Solide Datenbasis - Ständige online-Verfügbarkeit und Verarbeitung von Big Data



Auftragsstruktur	<i>33.000 Aufträge/Tag bis 100.000 Aufträge/Tag</i> <i>Ø 2,3 bis Ø 4 Artikel/Kundenauftrag</i> <i>Einpöstige Aufträge (17 % - 30 %)</i>
Sortiment	<i>150.000 gültige Artikel (SKU)</i>
Ø Zugriffe je Lagerart und Tag	<i>1. Zugriff (35 %)</i> <i>2.-5. Zugriffe (40 %)</i> <i>> 5 Zugriffe (18 %)</i> <i>Golden Carton (7%)</i>

Schwankungsbreiten in den Auftragsstrukturen (aus Kapitel 5)

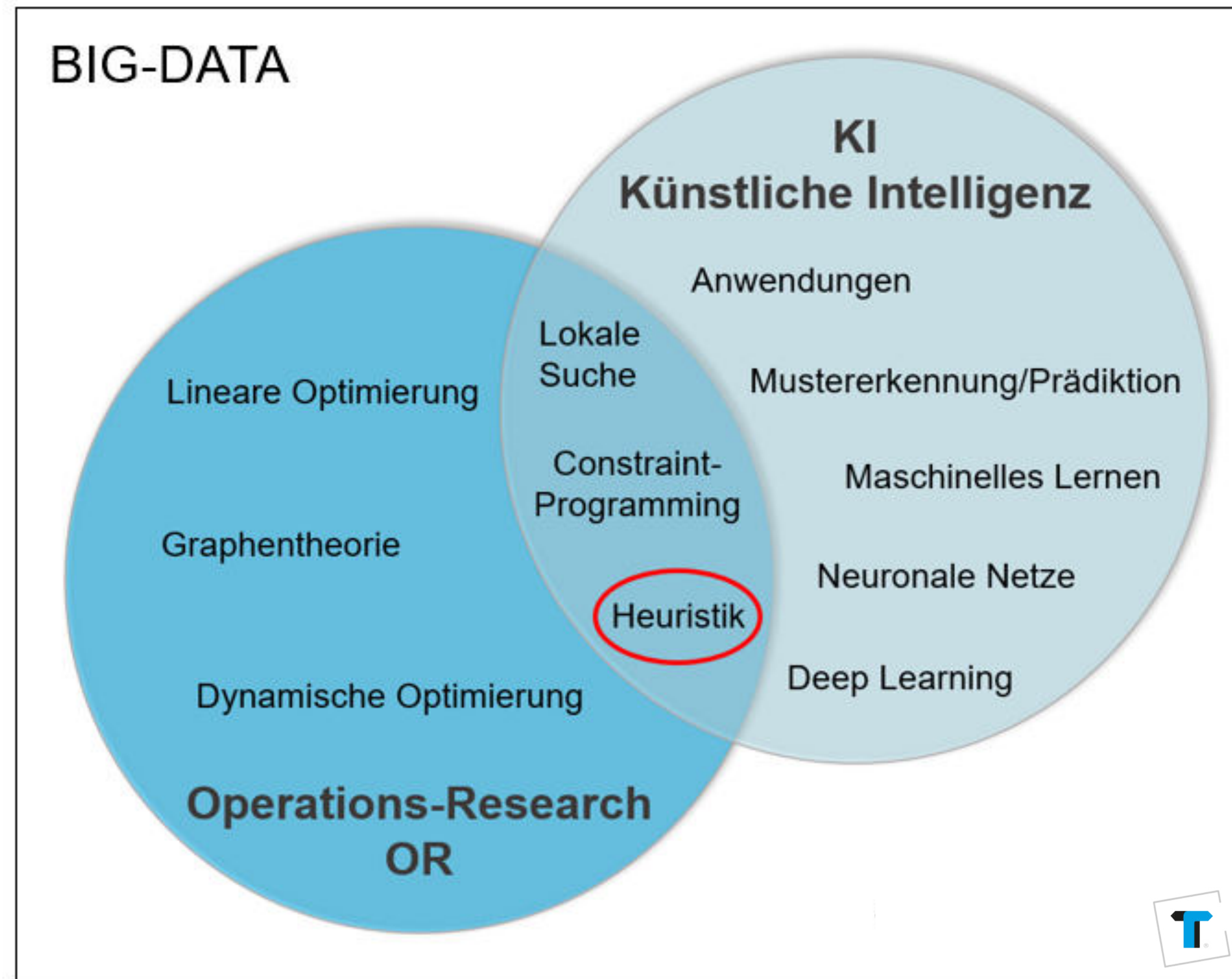


Weiteres Optimierungsziel

- Steigerung der Produktivität
- Gesucht sind Ansätze zur kombinatorischen Optimierung
- Mathematische Methoden des **OR** (Meta-Heuristiken)
- Einsatz von **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)

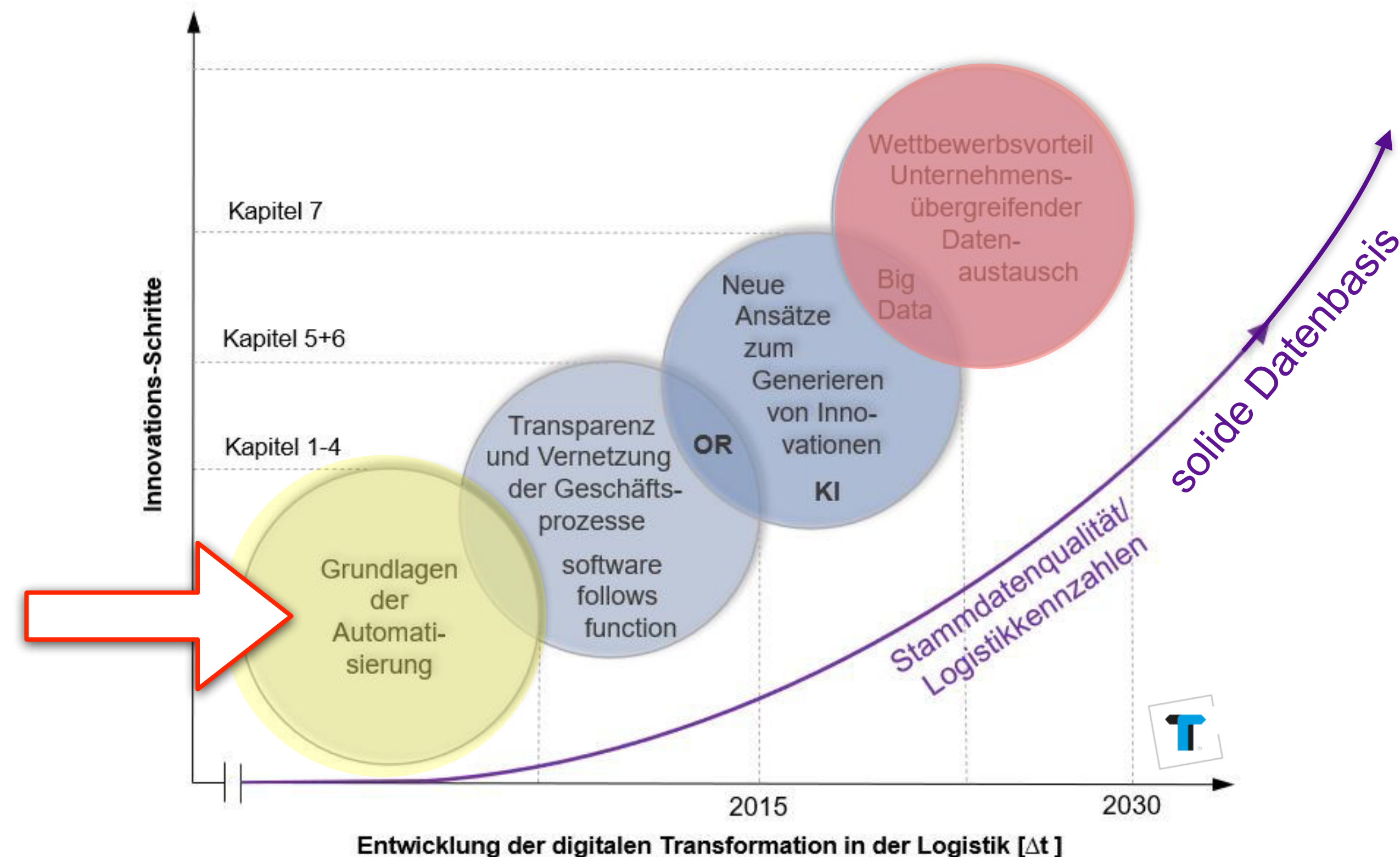


OR beschreibt die “Anwendungsbezogene Optimierung” von Situationen bei wirtschaftlichen Prozessen und Planungen

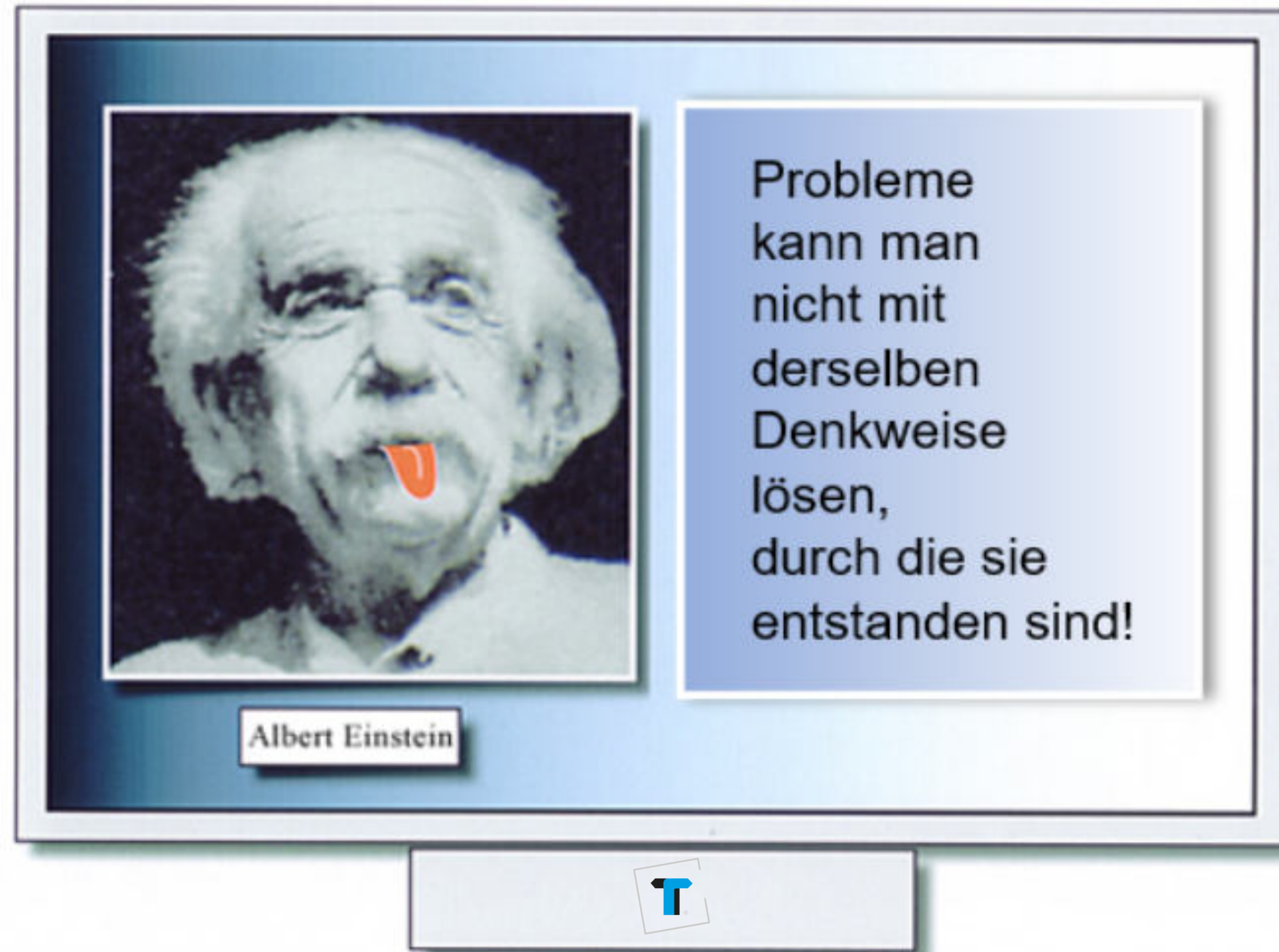
↙ besteht Handlungsbedarf,
werden werden Optimierungsprobleme mit Hilfe
von mathematischen Modellen gelöst



Auf fundierter Basisarbeit werden bessere Logistik-Lösungen generiert!



Die digitale Transformation in der Logistik





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.

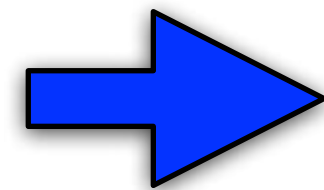
➔ Die “*Analyse-Arbeit*” kann einem Kunden zeigen:
aktuell sind die Geschäftsprozesse fragmentiert (zergliedert)

➔ **Lösung:**
Einsatz adaptiver Prozessbausteine (*Kapitel 4 und Kapitel 5*)

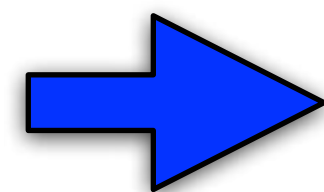
Optimierung der Geschäftsprozesse



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



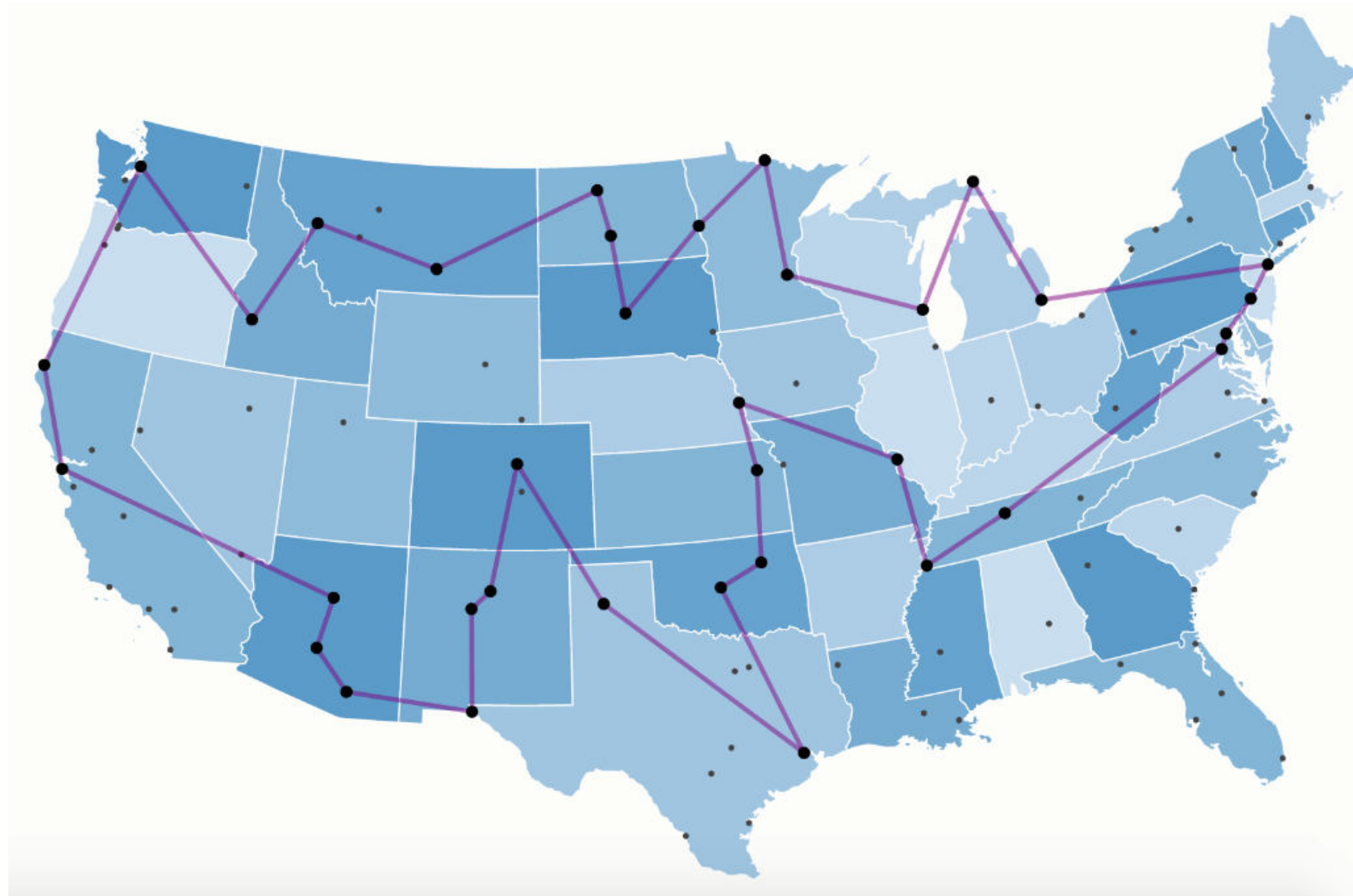
Betrachten wir das Ziel jeder Batchbildung:

- Minimierung der Wegstrecke
- Minimierung der Gangwechsel
- Tourenplanung des Nachschubs

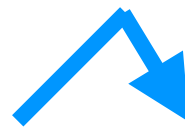
als Traveling-Salesman-Problem aufgefasst werden.

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!

Traveling Salesman Problem (TSP)



TSP kontraproduktiv für den praktischen Einsatz!

Bei zunehmender Anzahl der Pickstationen ist das exakte Verfahren sehr Rechenzeit-Intensiv!

Die Instanzen werden formal als ganzzahliges lineares Optimierungsproblem aufgestellt.

$$\begin{aligned}
 BP_{bf}^a &= PT \cdot \sum_{o \in O} X_{ob} \cdot OP_{of}^a & \forall b \in B, \forall f \in F^1 \cup F^2 \cup \dots \cup F^{|A|}, \\
 & & a \in A \\
 BA_{ba} &\geq OAV_{oa} & \forall o \\
 & \cdot X_{ob} & \forall o \\
 & \in B, \forall a & \\
 & \in A, & \\
 \left\{ \begin{aligned} 2 \cdot INT_{ba} + 1 - M \cdot (1 - BA_{ba}) &\leq \sum_{k \in \{0, \dots, a\}} BA_{bk} + a \cdot BA_{ba} \\ 2 \cdot INT_{ba} + 1 - M \cdot (1 - BA_{ba}) &\geq \sum_{k \in \{0, \dots, a\}} BA_{bk} + a \cdot BA_{ba} \end{aligned} \right. & \forall a \in A, \forall b \in B \\
 2 \cdot NB_{ba} &= \sum_{a \in A} BA_{ba} & \forall b \in B, \\
 RBA_b &\leq \sum_{k \in \{a, \dots, |A|\}} k \cdot (BA_{bk} + M(1 - BA_{bk})) & \forall b \in B, \\
 CW_{i0}^0 &= LD + ST_i & \forall i \in \{1, \dots, PK\}, l=0, a=1 \\
 CW_{i0}^0 &= LD + CT_{i-PK} & \forall i \in B \setminus \{1, \dots, PK\}, l=0, a=1 \\
 CW_{ij}^a &\leq BAC_{j,a-1} + AW - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, l=0, \forall a \in A \setminus \{1\} \\
 CW_{ij}^a &\geq BAC_{j,a-1} + AW - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, l=0, \forall a \in A \setminus \{1\} \\
 CW_{ij}^a &= AE \cdot AV_i^a + CW_{i,l-1}^a & \forall i, j \in B, l=1, \forall a \in A \setminus \{1\} \\
 CP_{b1}^a &= P_{b1}^a & \forall b \in B, \forall a \in A, \\
 CP_{bf}^a &= P_{bf}^a + CP_{b,f-1}^a & \forall b \in B, \forall f \in F^a \setminus \{1\}, \forall a \in A, \\
 CD_{i0}^a &= D_{i0}^a & \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) & \forall i \in B, \forall l \in F^a, \forall a \in A, \\
 LT_{il}^a &\geq LI_{il}^a - M \cdot (1 - AV_i^a) & \forall i \in B, \forall l \in F^a \cup \{0^a\}, \forall a \in A, \\
 \sum_{j \in B} Y_{ij}^a &= BV_i & \forall i \in B, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 \sum_{i \in B} Y_{ij}^a &= BV_j & \forall j \in B, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 P_{if}^a &= BP_{if}^a & \forall i \in B, \forall f \in F^a, \forall a \in \{1, 2\} \\
 P_{if}^a &\leq BP_{if}^a - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, \forall f \in F^a, \forall a \in A \setminus \{1, 2\} \\
 P_{if}^a &\geq BP_{if}^a - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, \forall f \in F^a, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 AV_i^a &= BA_{ia} & \forall i \in B, \forall a \in \{1, 2\}, \\
 AV_i^a &\leq BA_{ja} + M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 AV_i^a &\geq BA_{ja} - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, j \in B, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 BAC_{b0} &\leq CW_{b0}^0 + M \cdot BA_{b0} & \forall b \in B, \forall a \in \{1\}, \\
 BAC_{ba} &\geq CW_{b0}^0 - M \cdot BA_{b0} & \forall b \in B, \forall a \in \{1\}, \\
 BAC_{b0} &\leq LT_{b|F^0}^0 + AE - M \cdot (1 - BA_{b0}) & \forall b \in B, \forall a \in \{1\}, \\
 BAC_{b0} &\geq LT_{b|F^0}^0 + AE - M \cdot (1 - BA_{b0}) & \forall b \in B, \forall a \in \{1\}, \\
 BAC_{ba} &\leq BAC_{b,a-1} + AW + M \cdot BA_{ba} & \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 BAC_{ba} &\geq BAC_{b,a-1} + AW - M \cdot BA_{ba} & \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 BA_{ba} &\leq LF_b^a + WT - M \cdot (1 - BA_{ba}) & \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 BAC_{ba} &\geq LF_b^a + WT - M \cdot (1 - BA_{ba}) & \forall b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 LF_{il}^a &\leq LT_{il}^a + M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 LF_{il}^a &\geq LT_{il}^a - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) & \forall i, b \in B, \forall a \in A \setminus \{1\}, \\
 BAC_{j,a-1} + AW - M \cdot (1 - Y_{ij}^a) &\leq & \forall i, j, k \in B \text{ and } k \neq j, \forall a \in A \setminus \{1, 2\}, \\
 BAC_{k,a-1} + AW + M \cdot (1 - Y_{i+1,k}^a) + M \cdot (1 - BV_{i+1}) &\leq & \\
 \sum_{j \in B} Z_{ij} &= BV_i & \forall i \in B,
 \end{aligned}$$

Metaheuristiken versus TSP



Metaheuristiken:

Universale Einsetzbarkeit spart Programmieraufwand durch die Möglichkeit nahezu beliebige Probleme näherungsweise zu optimieren.

Ziel: Suche Globales Optimum!



Metaheuristiken wie Simulated Annealing und Tabu Search werden im Rahmen von Solver-Lösungen eingesetzt.

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)



Ablaufdiagramm: Metaheuristik Simulated Annealing bei der Anwendung der Batchbildung



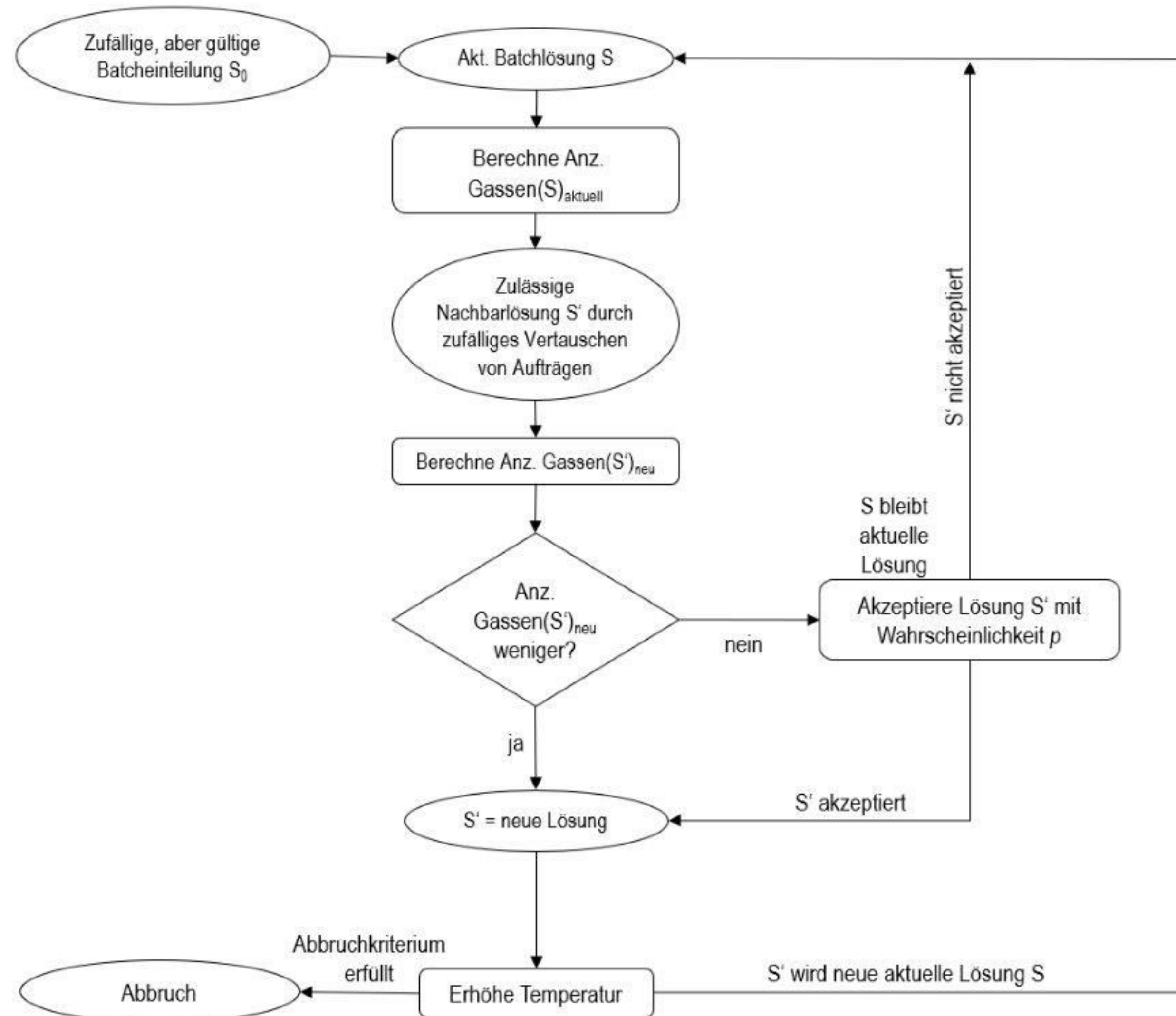
Big Data Einsatz mit Praxis-Daten
pro Batch z.B. 10.000 Teile pro Δt 20 min

Nach jedem Tauschen von Kundenaufträgen zwischen den möglichen Batches wird die Anzahl der Gassen neu berechnet mit dem Ziel zur Minimierung der Wegstrecke!

Der Lösungsraum ist zu Beginn sehr gross und verkleinert sich sukzessive!

siehe auch Kapitel 5.3.2

Ablaufdiagramm: Metaheuristik Simulated Annealing bei der Anwendung der Batchbildung

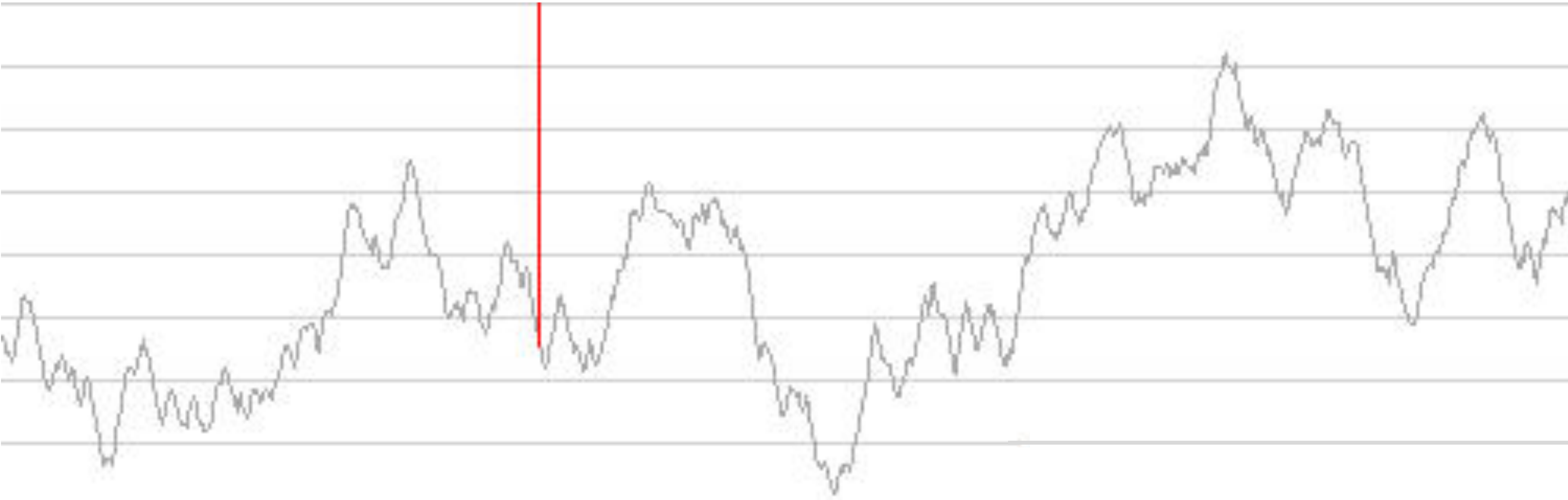
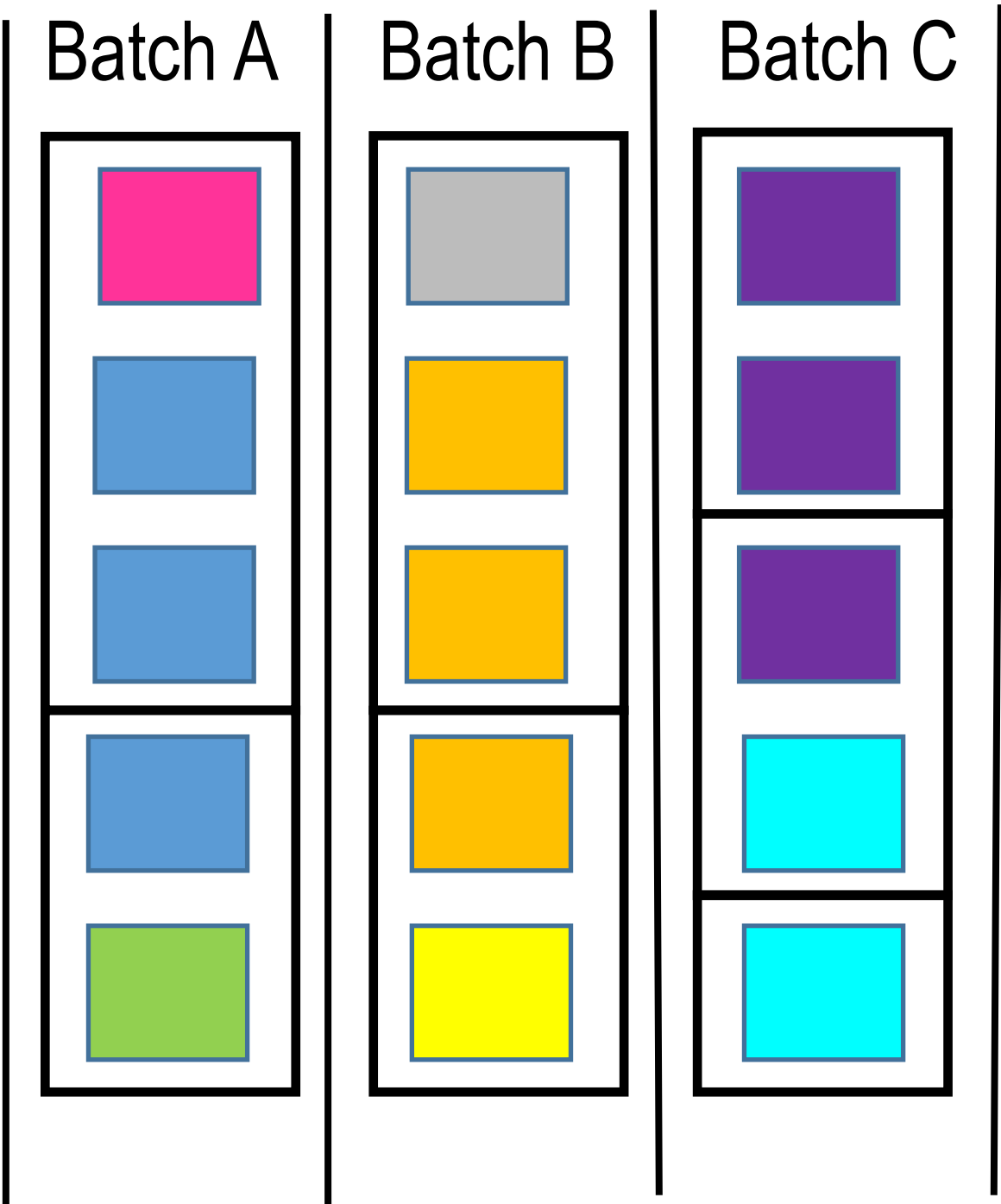


nach Osman I. H.:
*Metastrategy simulated annealing
and tabu search algorithms
for the vehicle routing problem*

Solver und Meta-/Heuristiken



Beispiel für den Einsatz von Simulated Annealing für die Batchbildung



2

+

2

+

1

=

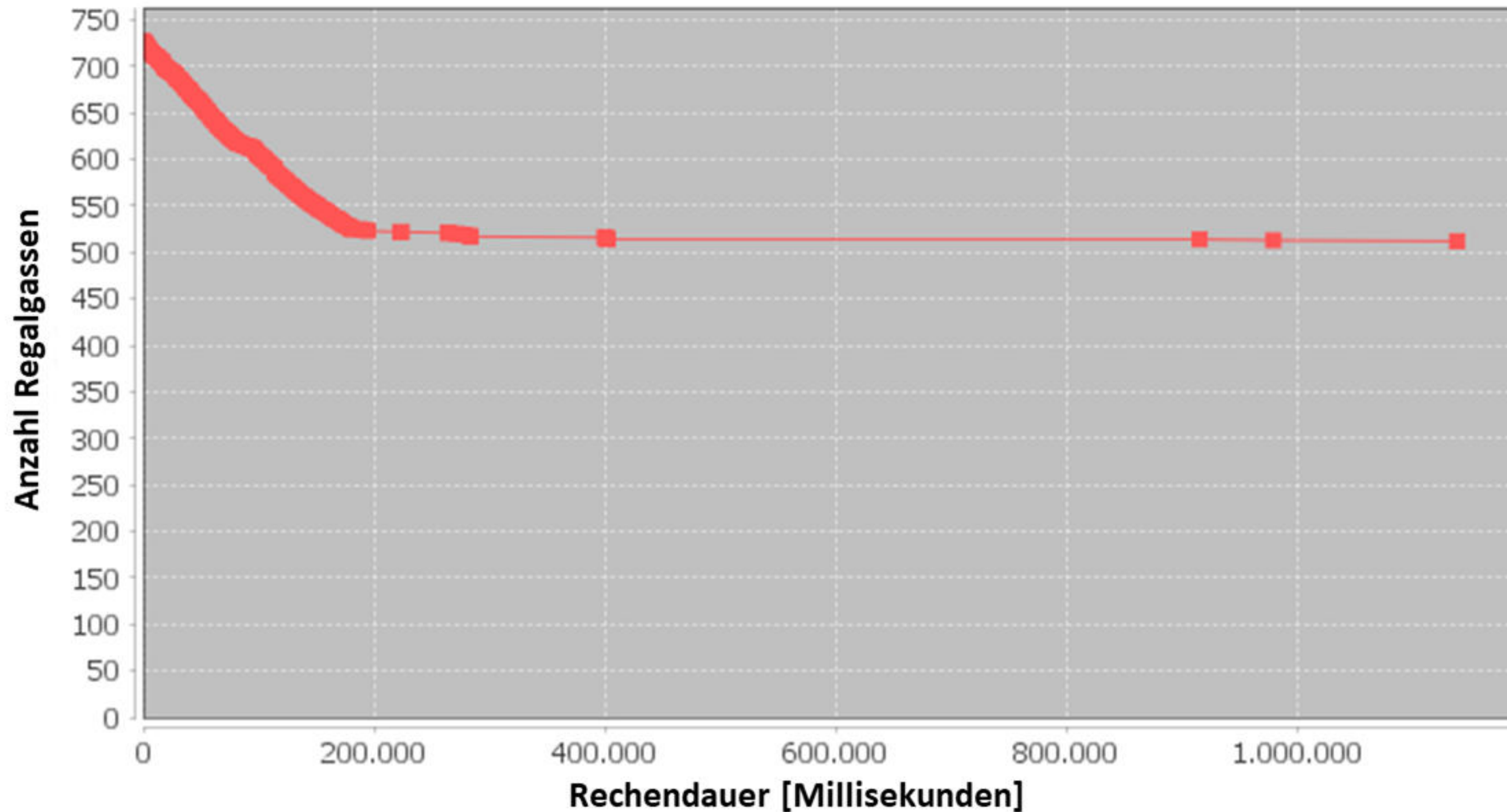
5

Gangwechsel

Optimierungstechnik am Praxisbeispiel



Verlauf Optimierung

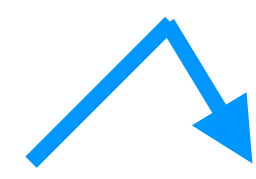


Verbesserung des Ziel-Funktionswerts über der Zeit (TUP-Solver)

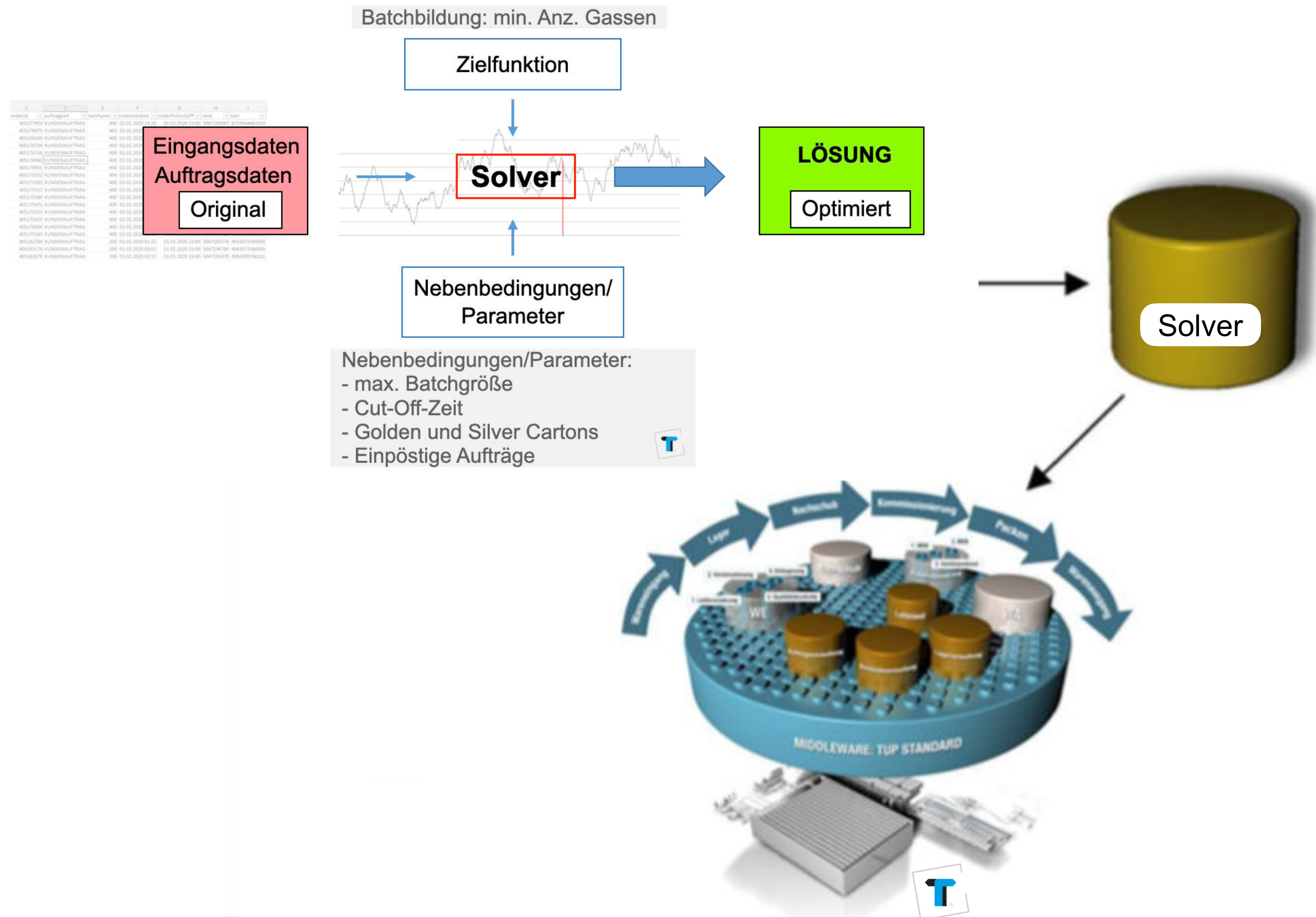
Solverlösungen



- 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

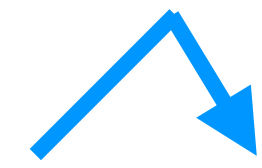


- Opta-Planer: ein auf JAVA basiertes Open-Source-Framework
- stellt JAVA-Klassen für den Einsatz von Metaheuristiken bereit
- zentraler Bestandteil des Frameworks ist der Solver

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 selbstständig gelöst

Solver-Lösung Kommissionierung / Batchbildung



- Die Nebenbedingungen “Constraints”
- Zielfindung Funktionen
 - Batchbildung: minimale Anzahl Gassen
- Alles bestimmende Nebenbedingungen
 - Maximale Batchgröße
 - Cut-Off-Zeit
 - Golden- und Silver-Cartons
 - Einpöstige Aufträge

Einordnung der Solver-Lösung in die Systemlandschaft



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

Nebenbedingungen/
Parameter

Nebenbedingungen/Parameter:

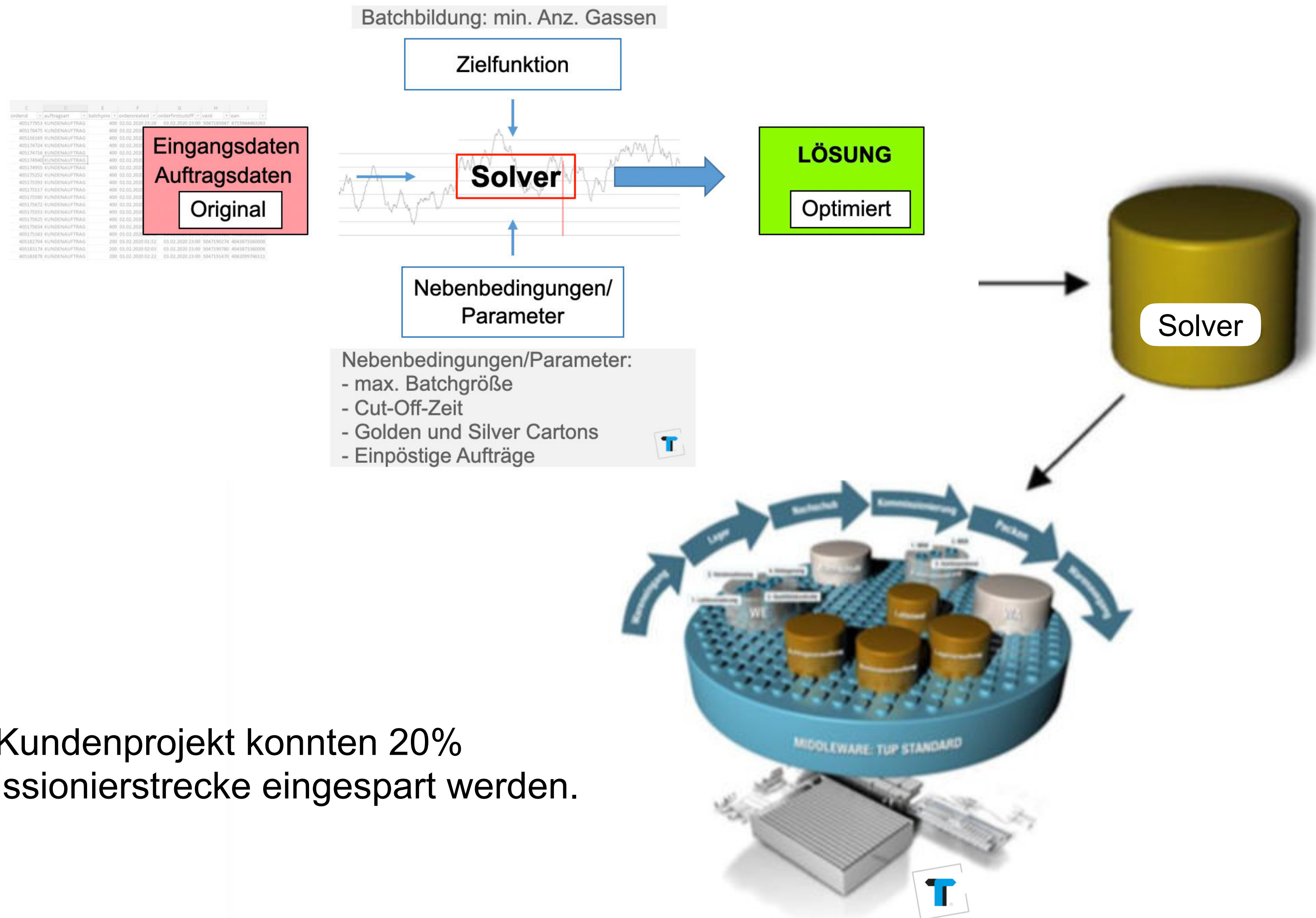
- max. Batchgröße
- Cut-Off-Zeit
- Golden und Silver Cartons
- Einpöstige Aufträge



LÖSUNG

Optimiert

Einordnung des Solver in die Systemlandschaft (Innovativer Ansatz)



Ergebnis:

bei einem Kundenprojekt konnten 20%
der Kommissionierstrecke eingespart werden.

Minimal- und Maximal-Prinzip



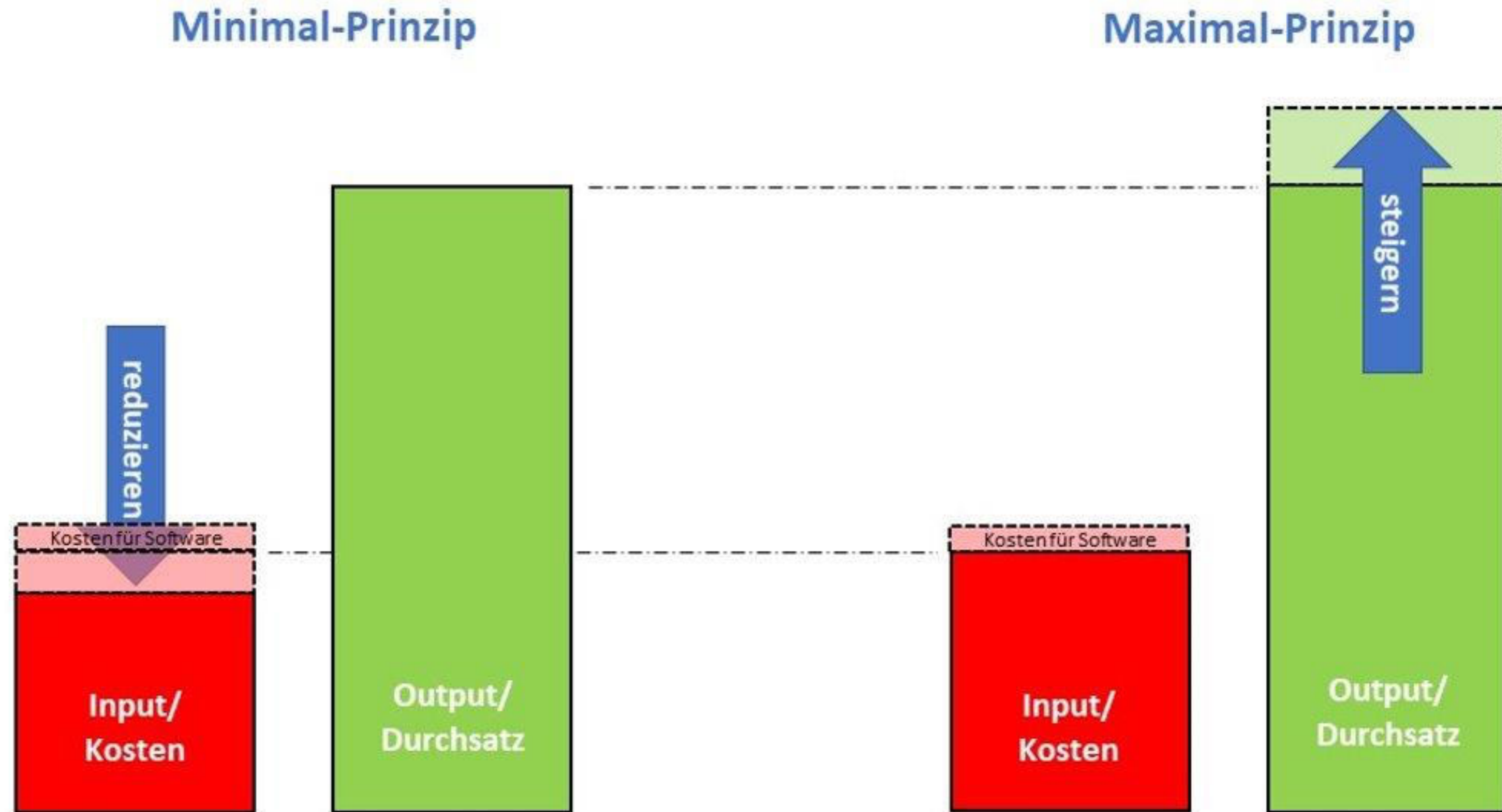
- **Minimal-Prinzip:**

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

- **Maximal-Prinzip:**

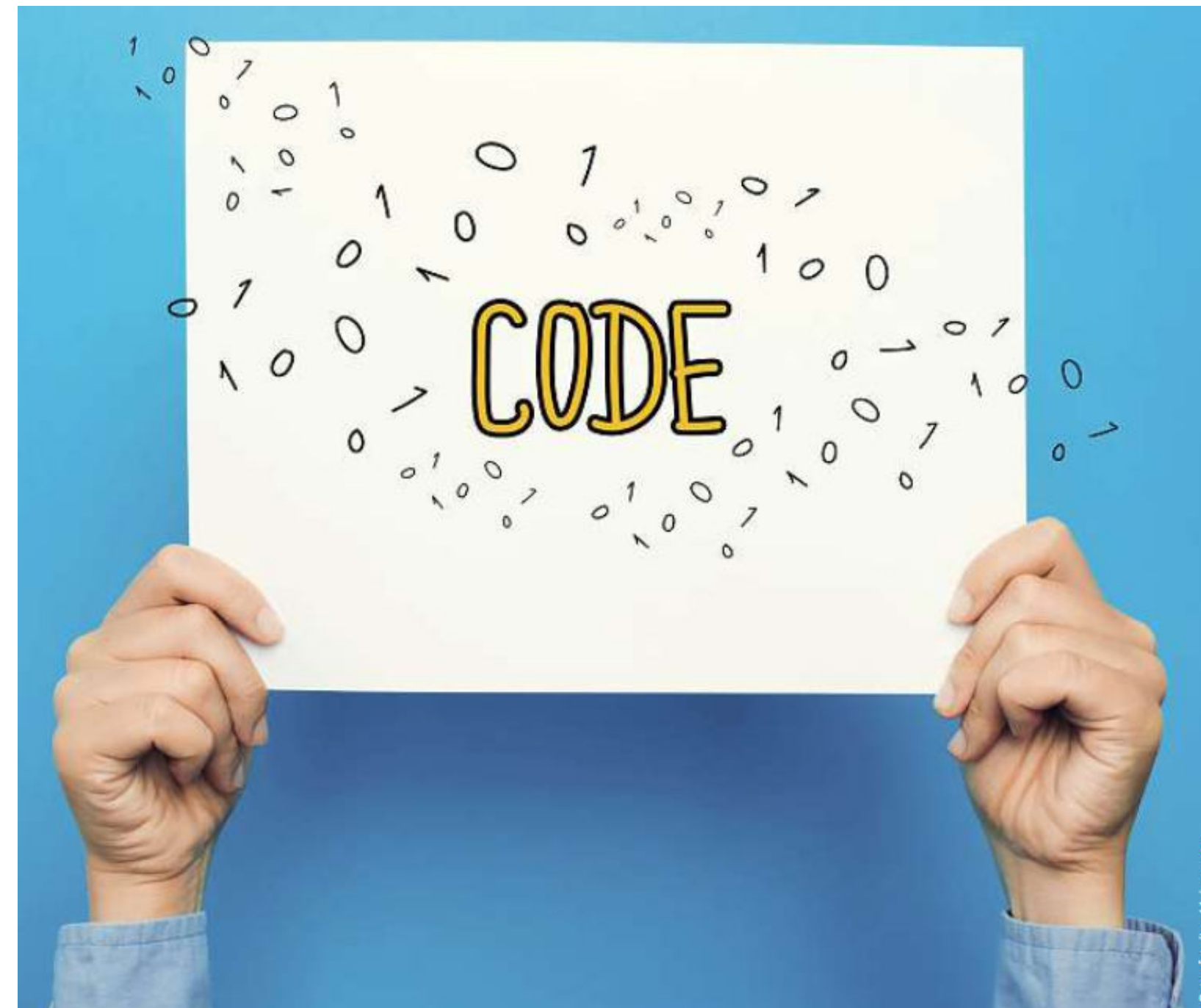
- Mit gegebenen Input soll der Output maximiert werden
- Maximierung des Durchsatzes mit gegebenem Personal

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



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).