



# Gestaltungsmöglichkeiten und Einflussfaktoren bei der Planung und Optimierung von Routenzugsystemen

---



---

**M.Sc. Andreas Martini**

Logistik für Produktionsunternehmen  
Department Maschinenbau  
Universität Siegen

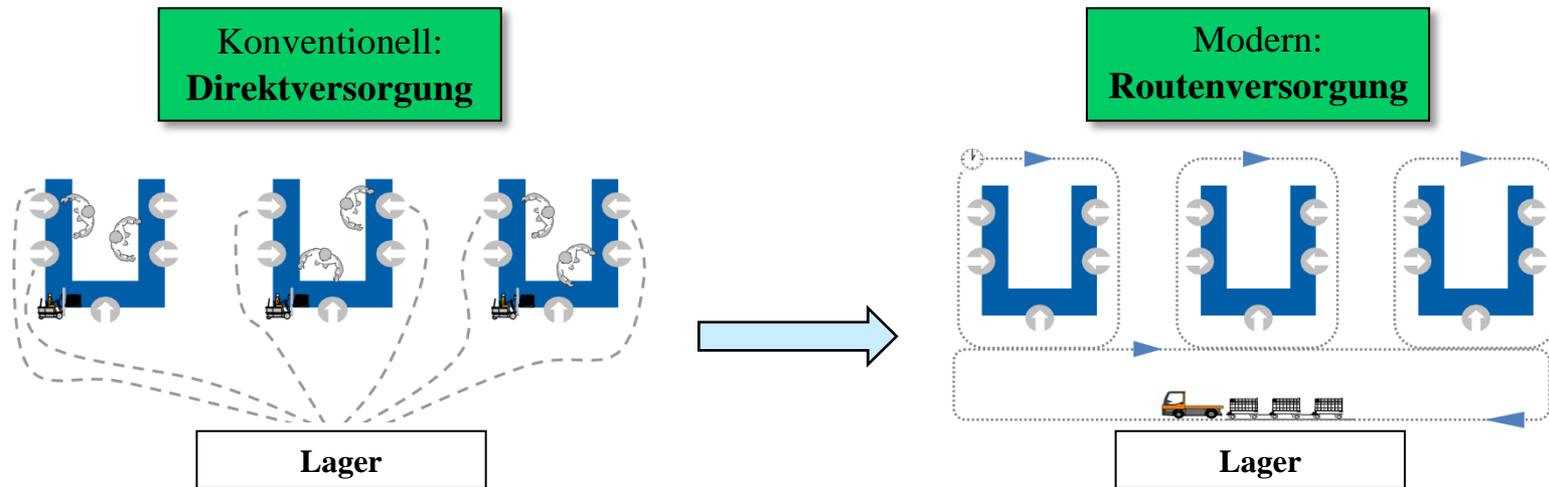
Siegen, den 11. November 2014



- 1. Einführung in die Thematik**
- 2. Gestaltungsmöglichkeiten**
- 3. Automatisierung**
- 4. Planung**
- 5. Einflussfaktorenanalyse**
- 6. Fazit & Ausblick**
- 7. Literaturhinweise**

# 1. Einführung in die Thematik

## Wandel in der Intralogistik



- **Grundidee:** Bündelung von Transporten und hochfrequente Versorgung mit kleinen Ladungsträgern zwecks Reduzierung von Bereitstellmengen an Montagelinien
- **Motivation:**
  - Hohe Variantenvielfalt → kleine Bestellmengen → Produktion kleiner Losgrößen
  - Vermeidung von Verschwendung (Transport, Lagerung, Umschlag, etc.) nach Vorbild von Toyota (Toyota Production System) und Lean Production
  - Reduzierung der Unfallgefahr (Vision der „staplerfreien“ Produktion)



# 1. Einführung in die Thematik

## Charakteristik Routenzugsysteme

- **Aufgabe:** Innerbetrieblicher Materialtransport zur Produktionsver- und/oder -entsorgung
- **Ziele:**
  - wirtschaftlich (z. B. Reduzierung von Personalkosten)
  - logistisch (z. B. Reduzierung der Anzahl der Transporte)
  - qualitativ (z. B. Reduzierung des Unfallrisikos)

Vorteile	Nachteile
+ Bündelung von Transporten	- geringe Flexibilität hinsichtlich der Fahrtstrecke
+ regelmäßige, kurzzyklische Belieferung	- Abhängigkeit mehrerer Empfänger von einem Transport
+ Reduzierung des Verkehrsaufkommens	- keine Vertikalbewegung/Rückwärtsfahrt möglich
+ Reduzierung des innerbetrieblichen Staplerverkehrs	- möglicherweise Umpackvorgänge notwendig
+ ...	- ...



# 1. Einführung in die Thematik

## Einsatzfelder

### Anwendungsvoraussetzungen (Notwendigkeit)

- Ausreichende Pufferreichweite je Bedarfsort
- Kein Vertikaltransport erforderlich (bei Schleppzügen)
- Keine Sackgassen vorhanden (bei Schleppzügen)
- Akzeptanz und Unterstützung der Mitarbeiter
- ...

### Eignungen (Sinnhaftigkeit)

- Große Entfernungen (in der Regel > 200 m)
- Feste Bedarfsorte und regelmäßige Transporte
- Hoher und konstanter Verbrauch
- Hohes Transportvolumen pro Fahrt
- ...

### Typische Einsatzfelder

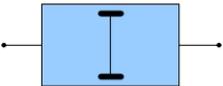
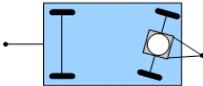
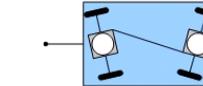
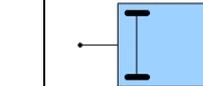
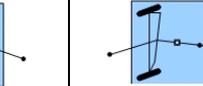
- Materialversorgung von Montage- und Fertigungslinien
- Materialversorgung mit KLT aus Supermarkt
- Materialentsorgung von Fertigware
- Leergutrückführung

**Hinweis:** Die Entscheidung hinsichtlich eines Routenzugeneinsatzes ist stets einzelfallabhängig!



# 2. Gestaltungsmöglichkeiten

## Technik

Merkmal		Gestaltungsalternativen				
Technik	<b>Transportmittel</b>					
	<b>Art des Fahrzeugs</b> (siehe VDI 2198 - Typenblätter für Flurförderzeuge)	Gabelstapler/ Pritschenwagen (ohne Anhänger)	Gabelstapler/Schlepper (mit Anhänger)	Niederhubkommissionierer	FTS	Handwagen
	<b>Bei Schleppzug: Anhängertyp</b>	Trailer-Konzept			Taxi-Konzept	Einschub-Konzept
		Plattformwagen	Regalwagen	Rollenverschiebesystem (ggf. + Rahmen)	Taxiwagen (+ Trolley/Gestell)	C-/E-/H-/U-Frame (+ Trolley/Gestell)
	<b>Bei Schleppzug: Lenksystem Anhänger</b> (siehe VDI 2406 - Anhänger für Flurförderzeuge)	ungelenkt (einachsrig) 	Drehschemellenkung (1 Achse) 	Drehschemellenkung (2 Achsen) 	Achsschenkellenkung (1 Achse) 	Achsschenkellenkung (2 Achsen) 
<b>Bei Schleppzug: Medienversorgung Anhänger</b>	keine	Hydraulik	Pneumatik	Strom		
<b>Ladungsträger</b>	kein Ladungsträger	Standard-Kleinladungsträger (z. B. nach VDA)	Standard-Großladungsträger (z. B. Palette, Gitterbox)	Spezial-Kleinladungsträger (z. B. Karton, Set-Behälter)	Spezial-Großladungsträger (z. B. individuelle Transportgestelle)	
<b>Be- und Entladung</b>	<b>Beladung Trolley/Gestell</b>	keine	manuell	mechanisiert (z. B. Gabelstapler)	automatisch	
	<b>Beladung Transportmittel</b>	manuell	mechanisiert (z. B. Rollenbahn)	automatisch		
	<b>Entladung Transportmittel</b>	manuell	mechanisiert (z. B. Rollenbahn)	automatisch		
	<b>Be-/Entladeseite</b>	einseitig	zweiseitig (Beladeseite)			
<b>Bereitstellung</b>	<b>Bereitstelltechnik (Quelle)<sup>1</sup></b>	Regallager (z. B. Durchlaufregal, AKL, HRL)	Bodenlager (z. B. Pufferfläche)			
	<b>Bereitstelltechnik (Senke)<sup>2</sup></b>	Regallager (z. B. Durchlaufregal)	Bodenlager (z. B. Pufferfläche)			
<b>Art des Bedarfssignals</b>		physisch (Karte)	physisch (Behälter)	optisch (Signal-Kanban)	elektronisch (e-Kanban)	elektronisch (Produktionsprogramm)

in Arbeit:  
 VDI-Richtlinie „Routenzugsysteme“



# 2. Gestaltungsmöglichkeiten

## Organisation

<b>Zuordnung (Fahrer:Route)</b>		1:1	1:n	m:1	m:n		
<b>Zuordnung (Routenzug:Route)</b>		1:1	1:n	m:1	m:n		
<b>Festlegung Route (in Bezug auf bestimmten Betrachtungszeitraum)</b>		fix (gleichbleibende Route)	variabel (Anpassung der Route)				
<b>Art der Routenplanung</b>		Routenplanung unabhängig von konkreten Transportbedarfen (statisch)	Routenplanung in Abhängigkeit von konkreten Transportbedarfen (dynamisch)				
<b>Zuordnung (Quelle:Senke)</b>		1:n	m:1	m:n			
<b>Art der Quelle</b>		Lager	Supermarkt	Pufferfläche/Bahnhof	Arbeitsstation		
<b>Art der Senke</b>		Lager	Supermarkt	Pufferfläche/Bahnhof	Arbeitsstation		
<b>Bereitstellart (Senke)</b>		sortenrein (z. B. KLT)	gemischt (chaotisch) (z. B. Set-Wagen)	gemischt (sequenziert) (z. B. JIS-Modul)			
<b>Zuordnung (Bereitstellorte:Haltestelle)<sup>3</sup></b>		1:1	m:1				
<b>Steuerung Tourenstart</b>		fester Fahrplan	auslastungsorientiert	ereignisabhängig	permanent		
<b>Nachschubauslösung</b>		bedarfsorientiert	verbrauchsorientiert				
<b>Auslösung des Bedarfssignals</b>		Fahrer	zusätzlicher Logistiker	Mitarbeiter Produktion	EDV		
<b>Organisation</b>	<b>Materialversorgung</b>	<b>Aufgaben des Fahrers bei der Beladung</b>	keine Materialversorgung	Fahrer kommissioniert Material und belädt Routenzug	Fahrer belädt Routenzug mit vorkommissionierten Materialien (z. B. durch zusätzlichen Logistiker oder AKL)	Fahrer übernimmt beladenen Routenzug (z. B. durch zusätzlichen Logistiker oder EDV)	
		<b>Aufgaben des Fahrers am Leergutabgabeort</b>		keine Leergutabwicklung	Fahrer sortiert und belädt Leergut	Fahrer überlässt Leergut an EDV (zusätzlicher Logistiker sortiert und belädt Routenzug)	
	<b>Materialentsorgung</b>	<b>Aufgaben des Fahrers bei der Entladung</b>	keine Materialentsorgung	Fahrer sortiert Routenzug	Fahrer überlässt Leergut an EDV (zusätzlicher Logistiker sortiert)	Fahrer übergibt Zug (zusätzlicher Logistiker sortiert und belädt Leergut)	
		<b>Aufgaben des Fahrers am Leergutaufnahmeort</b>		keine Leergutabwicklung	Fahrer kommissioniert Leergut und belädt Leergut	Fahrer belädt Routenzug mit vorkommissioniertem Leergut (z. B. durch zusätzlichen Logistiker)	Fahrer übernimmt beladenen Routenzug (z. B. durch zusätzlichen Logistiker)

**in Arbeit:  
 VDI-Richtlinie „Routenzugsysteme“**



# 2. Gestaltungsmöglichkeiten

## Ladungsträger

Ladungsträgertyp	kein zusätzlicher Ladungsträger (z. B. Material auf Anhänger)	Standard-KLT (z. B. nach VDA)	Standard-GLT (z. B. Palette, Gitterbox)	Spezial-KLT (z. B. Karton, Set-Behälter)	Spezial-GLT (z. B. individuelle Transportgestelle)
------------------	---	-------------------------------	---	--	--

- **Entscheidungskriterien:** Teileabmessungen, Teilgewichte, Verbrauchsraten, Wiederbeschaffungszeiten, Ergonomie, Bereitstellungsanforderungen, ...
- In der Regel Einsatz möglichst kleiner Ladungsträger
- Gegenläufige Anforderungen von Materialbereitstellung und Transport



Set-Behälter, Fromm Fördertechnik



KLT nach VDA, [www.klt-online.de](http://www.klt-online.de)



Trolleys für KLT und GLT, STILL



Spezial-Transportgestell für Fahrzeugsitze, FEIL



# 2. Gestaltungsmöglichkeiten

## Transportmittel

<b>Bei Schleppzug: Anhängertyp</b>	<b>Trailer-Konzept</b>			<b>Taxi-Konzept</b>	<b>Einschub-Konzept</b>
	Plattformwagen	Regalwagen	Rollen- verschiebesystem	Taxiwagen (+ Trolley/Gestell)	C-/E-/H-/U-Frame (+Trolley/Gestelle)

- **Entscheidungskriterien:** Ladungsträger, Handhabung, Ergonomie, Spurtreue, Be- und Entladeseite, ...
- Für KLT-Transport oftmals Einsatz von Regalwagen
- Bei GLT-Transport oftmals Einsatz zusätzlicher Trolleys/Gestelle



Plattformwagen für GLT-Transport, LKE



Regalwagen für KLT-Transport, LKE



Taxiwagen für KLT-Transport, LKE



C-, E- und U-Frame für KLT- und GLT-Transport, Linde



# 2. Gestaltungsmöglichkeiten

## Route

**Aufgabe:** Zuordnung von Quellen und Senken zu Routen und Festlegung des Fahrweges!

- **Entscheidungskriterien:** Lage von Quellen/Senken, Gangbreiten, Teilespektrum je Quelle/Senke, Verbrauchsraten je Quelle/Senke, Transparenz, ...
- Einsatz von Tourenplanungsverfahren (in der Praxis oftmals ohne optimierende Verfahren, z. B. bereichsweise Festlegung)



Routenplan, VW in Kassel

**Fazit:** Routenplanung ist komplex und hat großen Einfluss auf die Leistung des Gesamtsystems!



## 2. Gestaltungsmöglichkeiten

### Steuerung Tourenstart

<b>Steuerung Tourenstart</b>	fester Fahrplan (z. B. im 30- Minuten-Takt	auslastungsorientiert (z. B. wenn Routenzug zu 90% ausgelastet)	ereignisorientiert (z. B. wenn Meldebestand an Bedarfsort erreicht)	permanent (keine Wartezeit zwischen zwei Touren)
----------------------------------	--	--	--	---

- **Entscheidungskriterien:** Verbrauchsraten, Transparenz, Standardisierung, Steuerungsaufwand, kapazitive und zeitliche Auslastungen, Wiederbeschaffungszeiten, ...
- Feste Fahrpläne aufgrund guter Planbarkeit und Transparenz am weitesten verbreitet



# 3. Automatisierung

## Trend

- Trend zur Automatisierung erkennbar
- Personalkosten sind Kostentreiber in manuellen Routenzugsystemen (beispielsweise über 90 % der Betriebskosten im Dreischicht-Betrieb)
- Automatisierungsmöglichkeiten:
  - Kommissionierung
  - Beladung
  - Transportmittel
  - Entladung



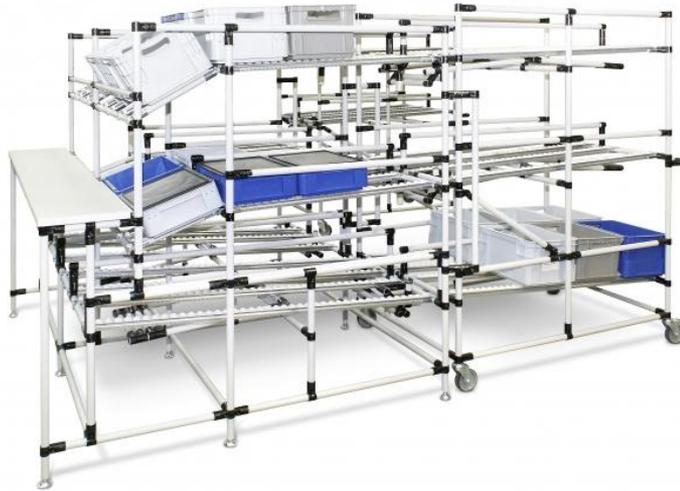
„Drive-Thru“-Konzept zur automatischen Beladung von Routenzügen aus AKL, FML, TU München



Automatischer Schlepplzug zum GLT-Transport mit optischer Spurführung, Beewatec



# 3. Automatisierung Konzepte



**Shooter-Technik zur automatischen Entladung von Routenzügen mit KLT, Beewatec**



**Teilautomatische Be- und Entladung von E-Rahmen mit Trolleys, Still und LR Intralogistik**



**Trolley Hub zur automatischen Be- und Entladung von Trolleys, M.W.B.**



**Vollautomatisches System zur Be- und Entladung von Trolleys und Schlepplzügen, M.W.B.**



# 4. Planung von Routenzugsystemen

## Gestaltung und Dimensionierung

### Gestaltung

Entwicklung der Prozesse und Elemente eines Routenzugsystems durch Auswahl möglicher Gestaltungsalternativen

### Dimensionierung

Berechnung des gestalteten Routenzugsystems hinsichtlich der benötigten Ressourcen (Fördermittel, Personal, ...)

- **Komplexität durch**
  - viele unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten
  - viele Einflussfaktoren
  - Wechselwirkungen
  
- **Vereinfachungen durch**
  - Orientierung an bereits bestehenden Systemen
  - Verwendung fester Fahrpläne
  - Vernachlässigung von Bedarfsschwankungen
  - großzügige Pufferdimensionierung
  - ...



# 4. Planung von Routenzugsystemen

## Gestaltung - Beispiel

### ▪ Zuordnung von Planungsaufgaben zu Planungsfeldern

<b>Planungsaufgaben</b>	- Zuordnung von Quellen und Senken zu Routen
	- Bestimmung des Fahrwegs
	- Bestimmung der Haltestellen
	- Bestimmung der Anzahl der Routen
	- Zuordnung von Fahrern zu Transportmitteln
	- Zuordnung von Transportmitteln zu Routen
	- Festlegung der Route in Betrachtungszeitraum (fix/variabel)
	- Art der Routenplanung (statisch/dynamisch)
	- ...

<b>Planungsfelder</b>
Ladungsträger
Layout
Materialbereitstellung (Quelle)
Materialbereitstellung (Senke)
<b>Route</b>
Transportmittel (Technikauswahl)
Transportmittel (Anzahl)
Personal
Informationstechnik
Kommissionierung
Beladung
Entladung
Steuerung
Gesamtablauf



# 4. Planung von Routenzugsystemen

## Planungsansätze in der Literatur

Quelle \ Planungsinhalt	Emde (2011)	Meinhard; Schmidt (2012)	Wanner et al. (2012)	Brungs (2012)	Wiegel et al. (2013)	Günthner et al. (2013)	Droste (2013)
Ladungsträger							1
Layout	1						
Materialbereitstellung (Quelle)	1						1
Materialbereitstellung (Senke)		4		1	1 / 2	5	1
Route	2		1	2		1 / 4	1
Transportmittel (Technikauswahl)			1	3	1	1	1
Transportmittel (Anzahl)	2	3		4	2	4	1
Personal				4	2	4	1 / 3
Informationstechnik				6			1
Kommissionierung				5		1	1
Beladung	4	4				2	1
Entladung						2	1
Steuerung	3	1		6	1	1 / 4	1 / 2 / 3
Gesamtablauf		2	2	4	1	1 / 2 / 3	1

Hinweis: Die Nummerierung entspricht der Reihenfolge, in der die Planungsinhalte je Quelle behandelt werden!

**Problem:** Es gibt kein umfassendes Planungsverfahren!

**Lösung:** Akzeptieren von Suboptima zugunsten von Transparenz und Einfachheit (z. B. „Line-back“-Ansatz)



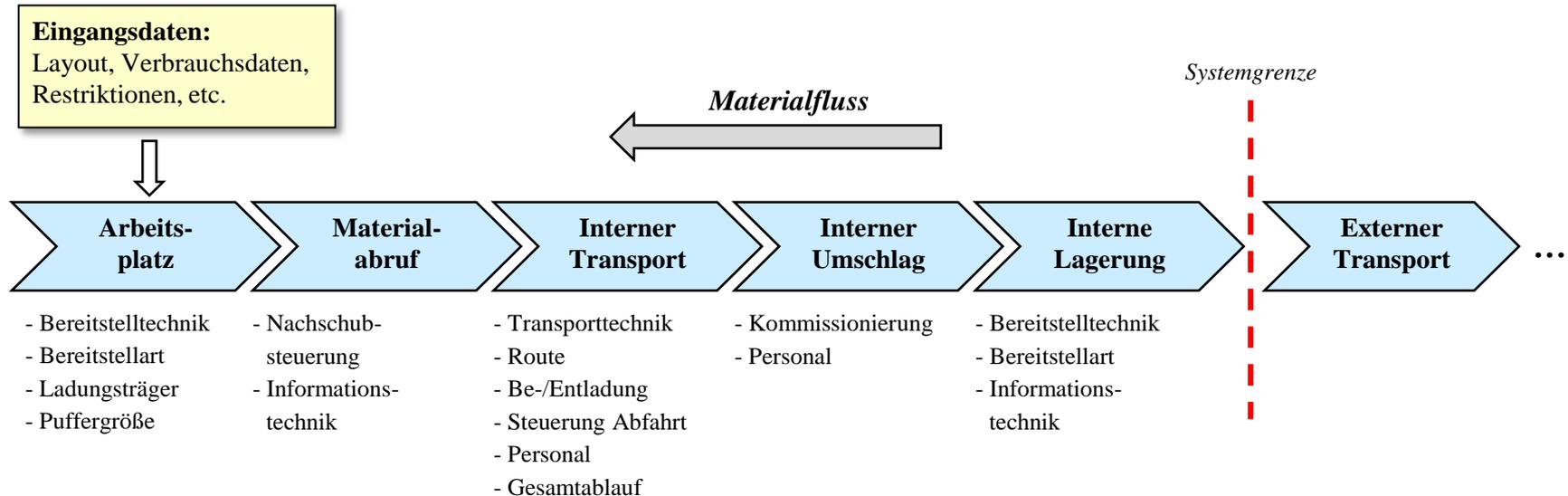
# 4. Planung von Routenzugsystemen

## Vorgehensweise

### Grundsätzlich:



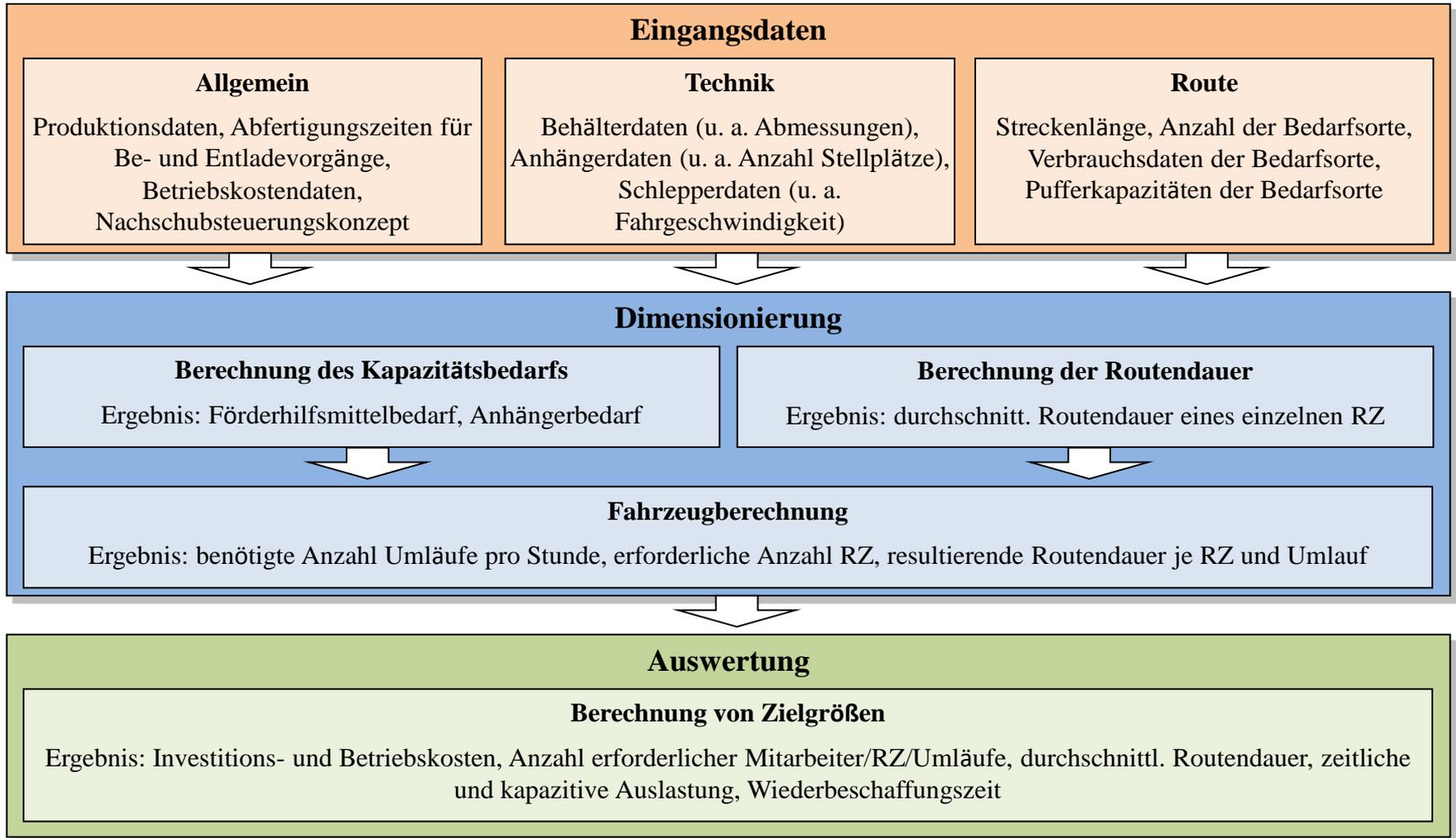
### „Line-Back“-Prinzip:





# 4. Planung von Routenzugsystemen

## Dimensionierung (Excel-Tool)





# 5. Einflussfaktorenanalyse

## Verfahrensweise

### 1. Definition von Systemkonfigurationen (KLT- und GLT-Prozess)

### 2. Auswahl der Einfluss- und Zielgrößen

Nr.	Variable	Einheit	KLT-Prozess				GLT-Prozess			
			Ausprägung			Schrittweite	Ausprägung			Schrittweite
			min	Standard	max		min	Standard	max	
1	Verbrauch je Bedarfsort	[KLT] [GLT]	1	5	10	1	1	2	4	1
2	Anzahl der Bedarfsorte je Route	[Stück]	2	15	30	1	2	10	20	1
3	Transportkapazität je Routenzug (Anzahl Anhänger)	[Stück]	1	4	8	1	1	4	8	1
4	Abfertigungszeit im Supermarkt/Bahnhof je Umlauf	[s]	60	600	1200	30	60	600	1200	30
5	Abfertigungszeit je Bedarfsort und Behälter	[s]	10	15	30	5	20	45	90	5
6	Streckenlänge je Umlauf	[m]	100	1000	2000	100	100	1000	2000	100
7	Fahrgeschwindigkeit des Routenzugs	[m/s]	0,5	1	2	0,1	0,5	1	2	0,1
8	Puffergröße je Bedarfsort	[KLT] [GLT]	1	5	10	1	1	2	4	1

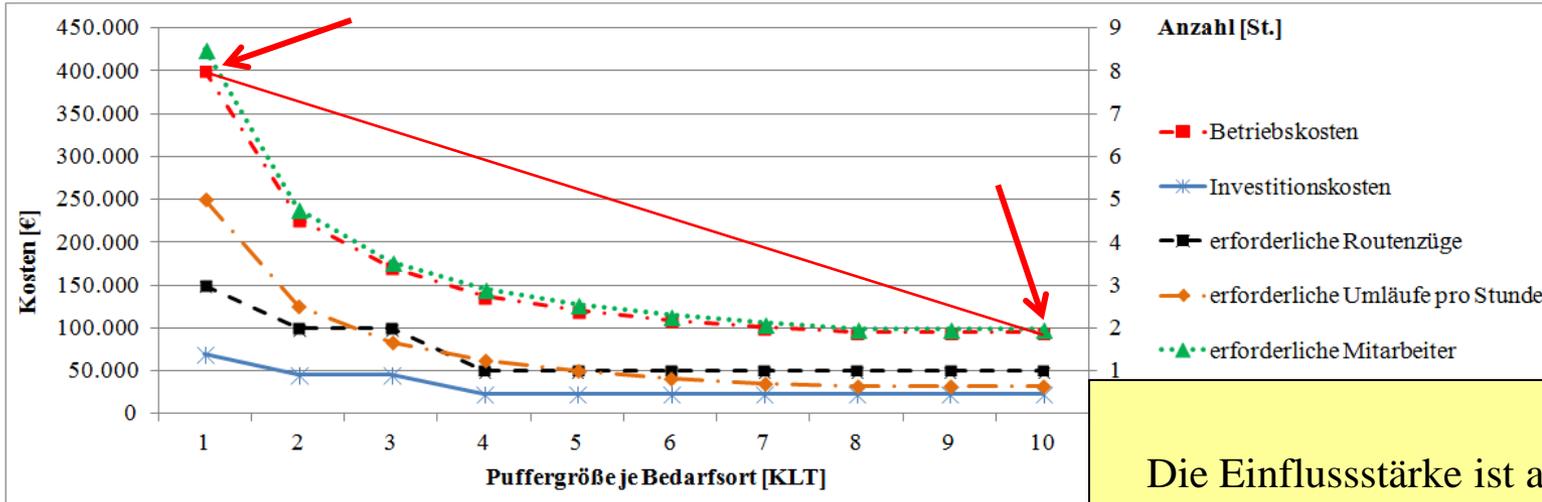
### 3. Statische, deterministische Simulationen



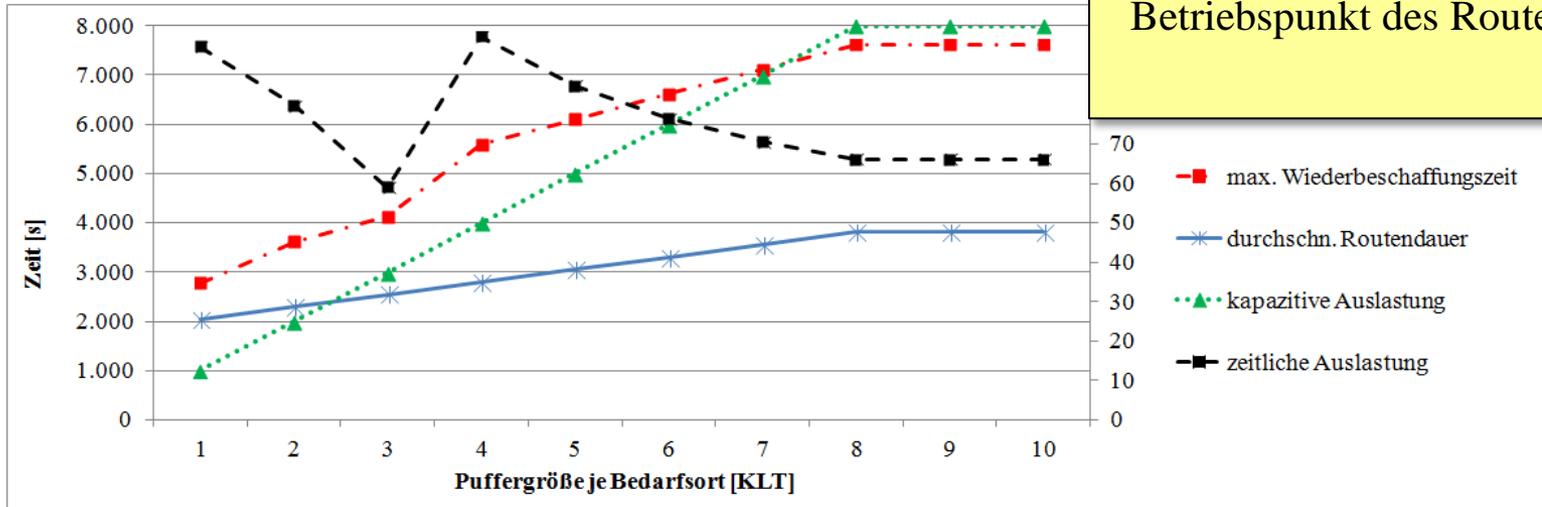
# 5. Einflussfaktorenanalyse

## Simulationsergebnisse - Beispiel

**KLT-Prozess (Puffergröße)**



Die Einflussstärke ist abhängig vom Betriebspunkt des Routenzugsystems!





# 5. Einflussfaktorenanalyse

## Betriebskostenänderungen

		absolute Änderung [€/...]
KLT-Prozess	Puffergröße je Bedarfsort	305.730
	Verbrauch je Bedarfsort	166.515
	Anzahl der Bedarfsorte je Route	110.865
	Transportkapazität je Routenzug (Anzahl Anhänger)	104.753
	Streckenlänge je Umlauf	85.665
	Abfertigungszeit je Bedarfsort und Behälter	68.865
	Fahrgeschwindigkeit des Routenzuges	68.865
	Abfertigungszeit im Supermarkt/Bahnhof je Umlauf	53.745
GLT-Prozess	Transportkapazität je Routenzug (Anzahl Anhänger)	1.221.326
	Anzahl der Bedarfsorte je Route	700.635
	Verbrauch je Bedarfsort	582.936
	Streckenlänge je Umlauf	415.677
	Fahrgeschwindigkeit des Routenzuges	331.677
	Abfertigungszeit im Supermarkt/Bahnhof je Umlauf	250.518
	Abfertigungszeit je Bedarfsort und Behälter	64.359
	Puffergröße je Bedarfsort	0

starker Einflussfaktor
normaler Einflussfaktor
schwacher Einflussfaktor

Es gibt bedeutende und unbedeutende Einflussfaktoren in Routenzugsystemen!

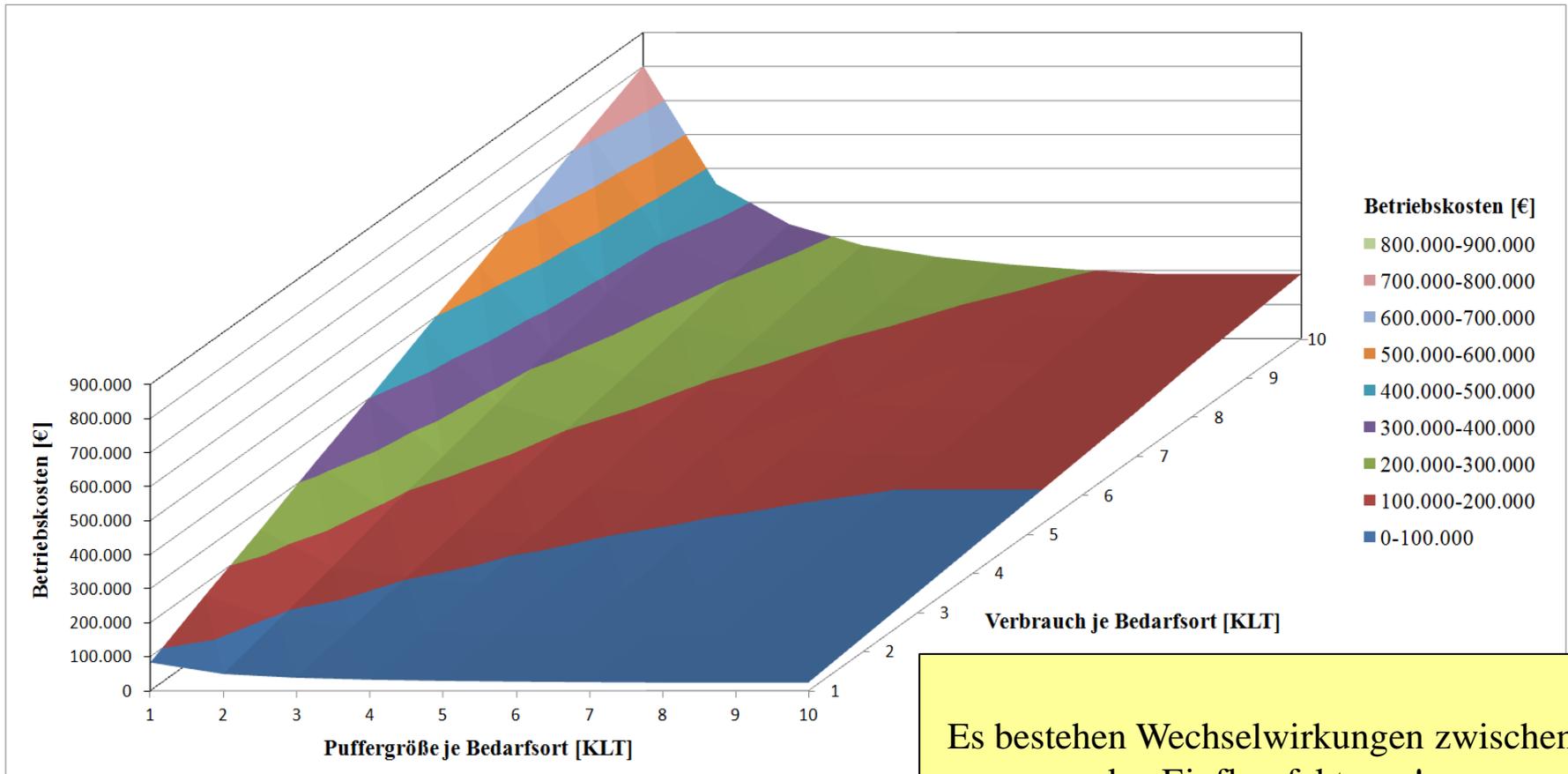
Die Pufferreichweite und die Transportkapazität des Routenzuges sind maßgebliche Größen bei der Routenzugdimensionierung!

Bei der Planung und Optimierung von Routenzugsystemen ist eine Unterscheidung von KLT- und GLT-Prozessen notwendig!



# 5. Einflussfaktorenanalyse

## Wechselwirkungen



Es bestehen Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren!

- **Die Komplexität bei der Planung von Routenzugsystemen resultiert aus der Vielzahl unterschiedlicher Gestaltungsmöglichkeiten und Einflussfaktoren**
  - Analyse und Kategorisierung von Routenzugsystemen sowie Strukturierung des Themenfeldes (u. a. in VDI-Richtlinie „Routenzugsysteme“)
- **Die Kenntnis von Einflussfaktoren und deren Wirkungen ist maßgeblich für die Planung und Optimierung von Routenzugsystemen**
  - Weiterführende Untersuchungen und Validierung der formulierten Hypothesen
- **Die Vorgehensweise bei der Planung und Optimierung von Routenzugsystemen ist von den individuellen Randbedingungen und Zielen abhängig**
  - Entwicklung einer Methode zur zielorientierten Planung und Optimierung von Routenzugsystemen



- [1] Droste, M.: *Parameterbasierte Modellierung innerbetrieblicher Milkrun-Systeme zur Planung der Materialbereitstellung in der Montage*. Dissertation TU Dortmund. Aachen: Shaker 2013
- [2] Brungs, F.: *Der Milkrun in der Produktionslogistik*. Dissertation TU Darmstadt. Aachen: Shaker 2012
- [3] Günthner, W. A.; Galka, S.; Klenk, E.; Knössl, T.; Dewitz, M.: *Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport*. München: FML 2012
- [4] Günthner, W. A.; Durchholz, J. et al.: *Schlanke Logistikprozesse: Handbuch für den Planer*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2012
- [5] Martini, A.; Stache, U.; Trenker, F.: *Planung von Routenzugsystemen*. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 109 (2014) Nr. 1-2, S. 50-55
- [6] Martini, A.; Stache, U.; Trenker, F.: *Automatisierung von Routenzugsystemen (Teil I-III)*. In: f+h 64 (2014) Nr. 9-11
- [7] Martini, A.; Rohe, A.; Stache, U.; Trenker, F.: *Einflussfaktoren in Routenzugsystemen*. In: wt Werkstattstechnik online 105 (2015) (in Vorbereitung)

(Quelle Titelbild: LOGSOWA GmbH)



## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

