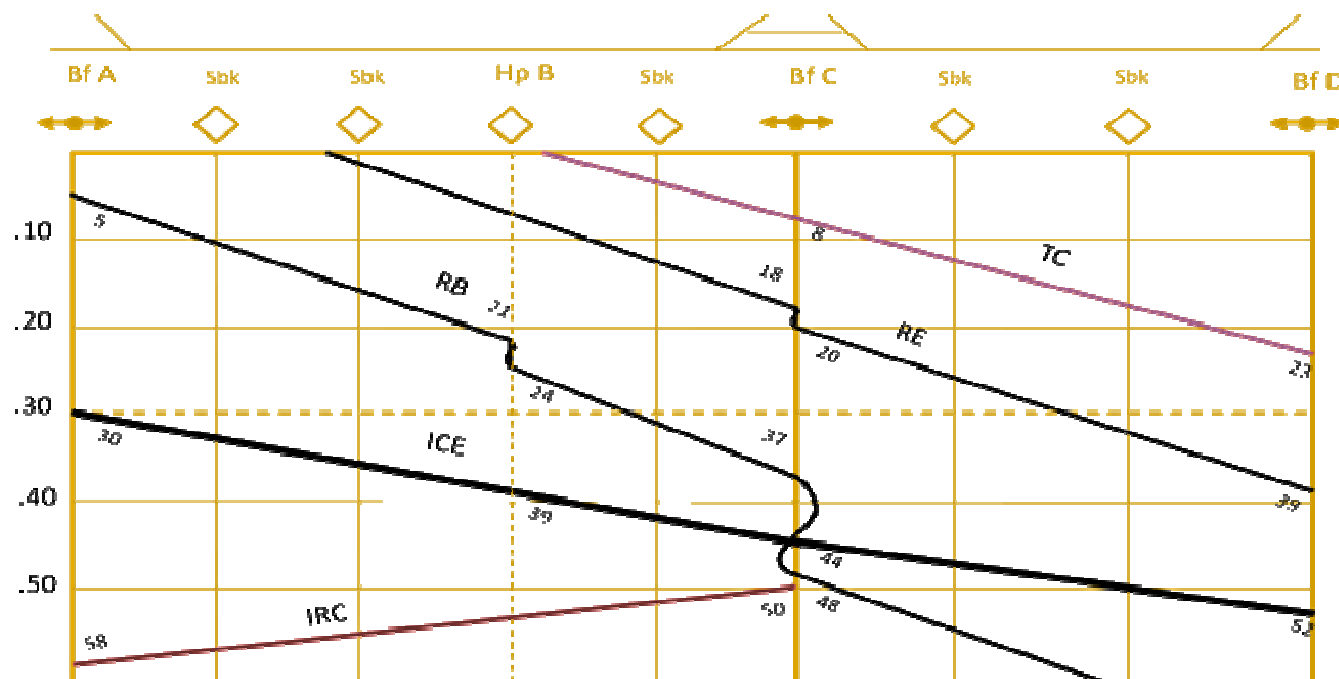


# Kapazitätseffiziente und flexible Belegung von Trassen im Güterverkehr



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

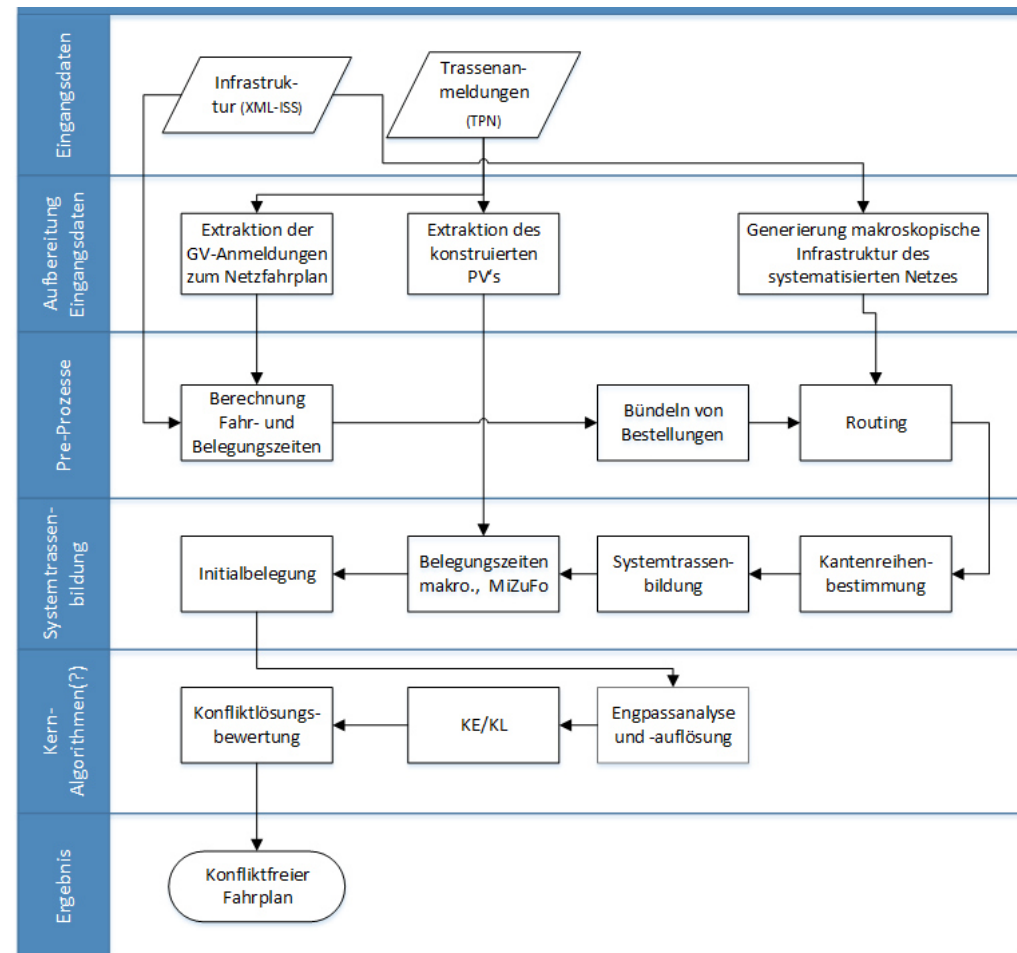
## Eisenbahntechnisches Kolloquium 2019



# Im DFG-Projekt ATRANS war eine automatische KL für den GV-Jahresfahrplan zu entwickeln

## Ziel

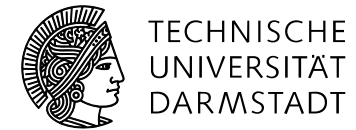
- Entwicklung und Evaluierung eines Algorithmus für eine **kapazitäts- und beförderungszeiteffiziente Belegung** von Systemtrassen
- Erstellung eines **Jahresfahrplans** für den Güterverkehr



---

# Die Anforderungen gelten auch für andere Fahrplan- und Dispo-Probleme

---



## Anforderungen

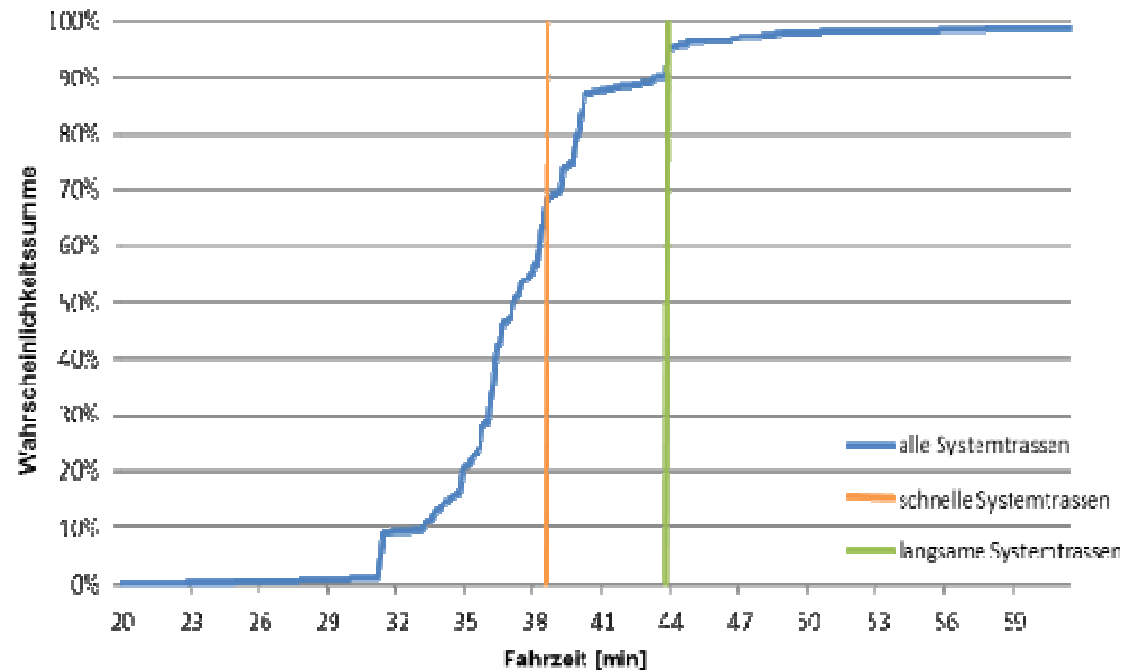
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Bestellungen
- effiziente Nutzung der Infrastruktur
- niedrige Beförderungszeiten
- niedrige Rechenzeiten
- rechenzeitoptimierte Vorausschau zur weitreichenden Konflikterkennung
- Anbieten mehrerer Systemtrassenarten
- mehrere KL-Alternativen für einen Konflikt
- Skalierung der Anzahl der in einen Konflikt einbezogenen Züge



# Als erster Schritt wurden Systemtrassen automatisch gebildet



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



$$n = 2: \sum_{\{i \mid t_{k,i} \leq t_{\text{sys},1}\}} (t_{k,\text{sys},1} - t_{k,i}) + \sum_{\{i \mid t_{\text{sys},1} < t_{k,i} \leq t_{\text{sys},2}\}} (t_{k,\text{sys},2} - t_{k,i}) \rightarrow \min$$



**Optimierung; Metaheuristik**

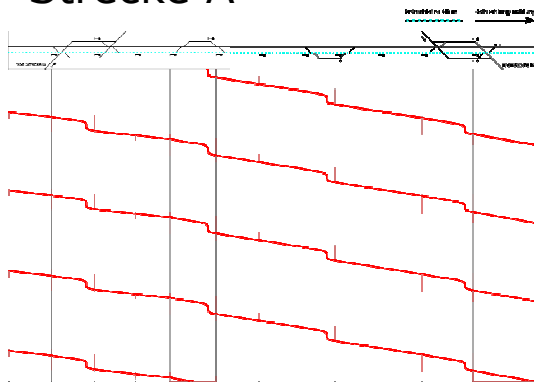


# Die Anforderungen erfordern räumliche und zeitliche KL

## Anforderungen und → Lösung

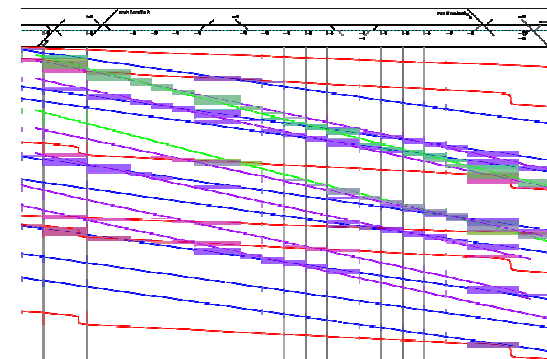
- transparent und nachvollziehbar → regelbasiert
- effiziente Infrastrukturnutzung, diskriminierungsfrei → synchrone KL
- weitreichende KL → vorgeschaltete räumliche KL

Strecke A



- Personenverkehr
- Systemtrasse der Systemtrassenart 1
- Systemtrasse der Systemtrassenart 2
- nicht systematisierte Gz-Trasse

Strecke B



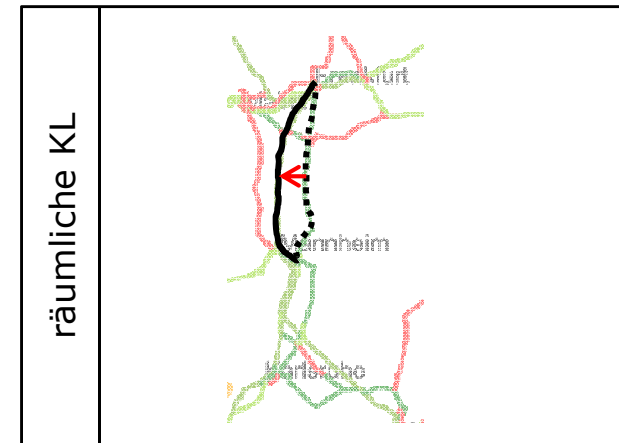
**regelbasiert, damit für jeden Konflikt die Lösung für jedes EVU nachvollziehbar ist**



# Räumliche KL: Lösungsraum und Komplexität deutlich einschränkbar

## Einschränkung Lösungsraum und Komplexität

- Problem: NP-vollständiges Problem
- Vorgehen:
  1. UueB
  2. weitere Umleitungen
- Randbedingungen: bestellte Verkehrshalte oder Laufwegpunkte, vorhandene Zugeigenschaften, Konstruktionsspielraum
- Methode „weitere Umleitungen“:
  - größter Engpass
  - Zielfunktion: Summe der Beförderungszeiten minimieren



**Methodenwahl bestimmt  
die lösbare Problemgröße**

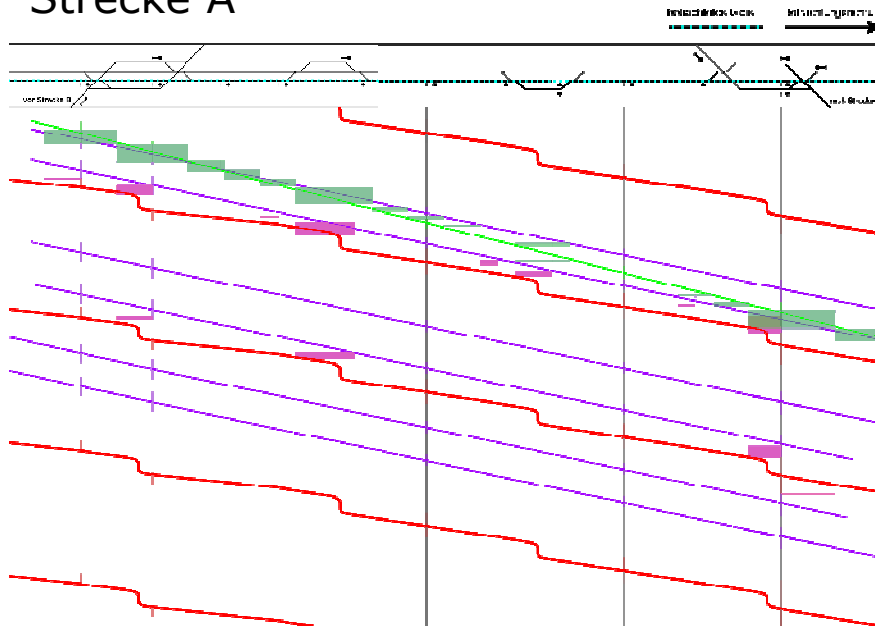


# Ergebnis räumliche KL: gleichmäßigere, entmischte Verteilung der Bestellungen

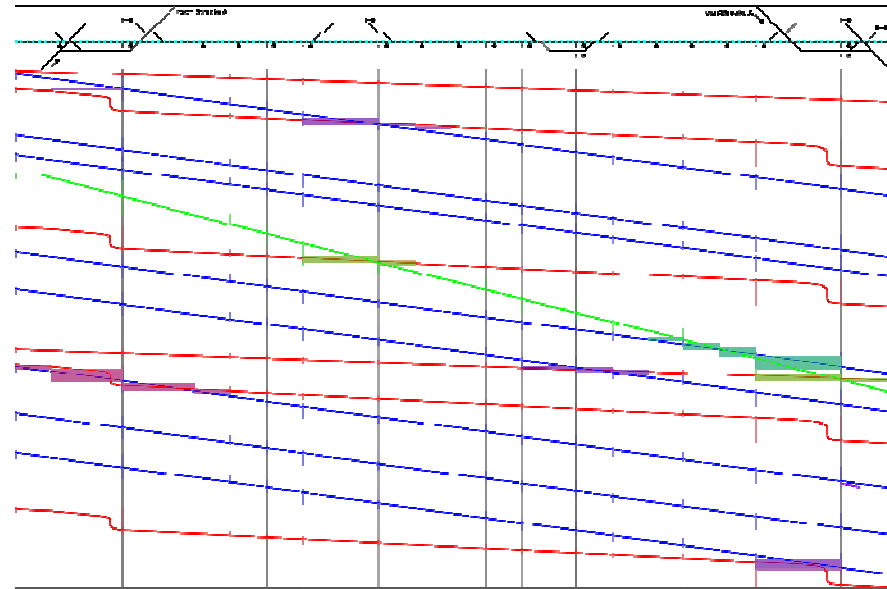


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Strecke A



Strecke B



- Personenverkehr
- Systemtrasse der Systemtrassenart 1
- Systemtrasse der Systemtrassenart 2
- nicht systematisierte Gz-Trasse

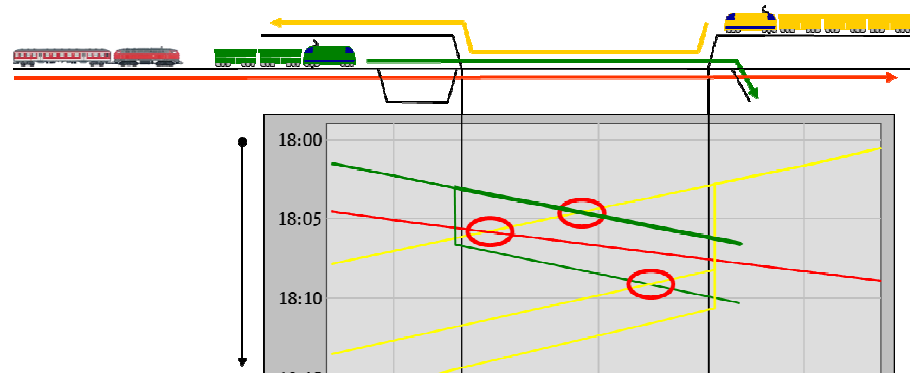


# zeitliche KL: Vorhandene Algorithmen um Bewertung Folgekonflikte erweitert

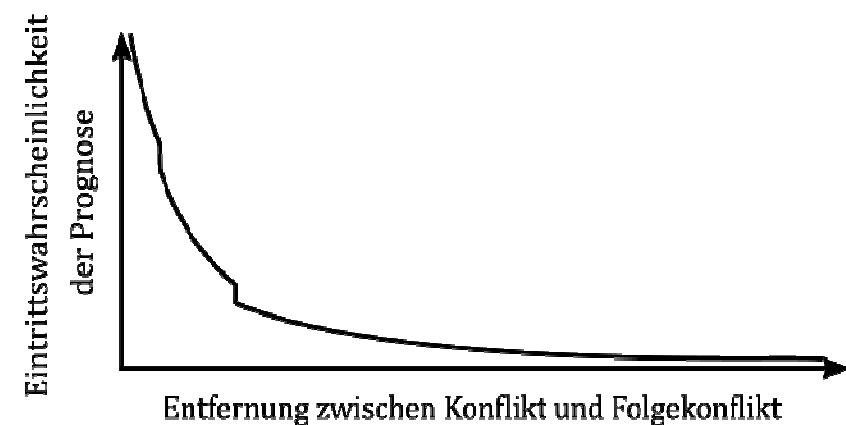
## Bewertung von Konfliktlösungsalternativen anhand

- Prioritäten aus dem TPS
- Wartezeit beider Konfliktpartner
- Anzahl der Verkehrstage
- Verbrauch Konstruktionsspielraum
- gewichtete Wartezeit aus Folgekonflikten
  - ⇒ Skalierung der Anzahl der in einen Konflikt einbezogenen Züge

 **Methodenwahl bestimmt die lösbare Problemgröße**



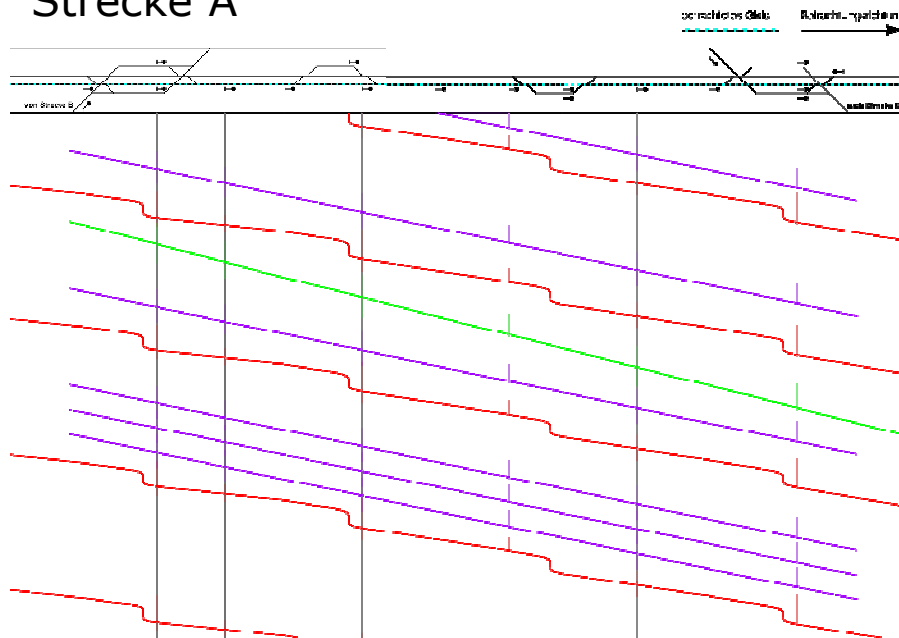
Quelle: Oetting et al.: „Automatic Rescheduling for Planning Processes“



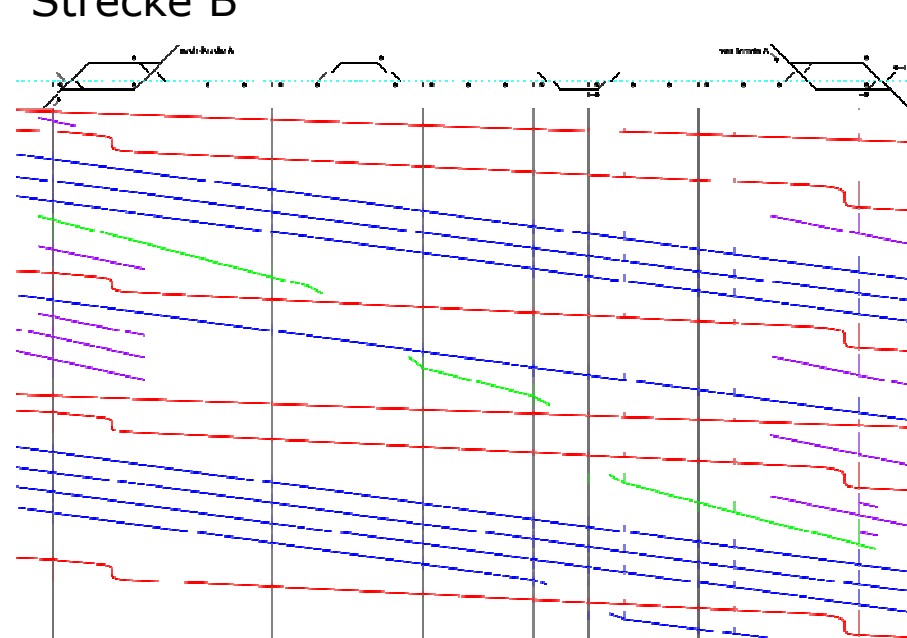


# Ergebnis zeitliche KL: konfliktfreier Fahrplan

Strecke A



Strecke B



- Personenverkehr
- Systemtrasse der Systemtrassenart 1
- Systemtrasse der Systemtrassenart 2
- nicht systematisierte Gz-Trasse



# Zusammenfassung: Die Algorithmen erfüllen die Anforderungen

## Anforderungen

- Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Bestellungen
- effiziente Nutzung der Infrastruktur
- niedrige Beförderungszeiten
- niedrige Rechenzeiten
- rechenzeitoptimierte Vorausschau zur weitreichenden Konflikterkennung
- Anbieten mehrerer Systemtrassenarten
- mehrere KL-Alternativen für einen Konflikt
- Skalierung der Anzahl der in einen Konflikt einbezogenen Züge

## Erfüllung

- ➔ regelbasiert
- ➔ synchrone KL
- ➔ synchrone KL, räumliche KL
- ➔ Methodenwahl
- ➔ räumliche KL, Bewertung Folgekonflikte
- ➔ Optimierung, Metaheuristik
- ➔ Bewertung KL-Alternativen
- ➔ Bewertung KL-Alternativen



# Fazit: Die problembasierte Methodenwahl führt zu ...

## Erkenntnisse

- **Modularisierung** des Problems und
- nicht der *einen* Methode  
sondern jeweils einer anderen, **problemadäquaten Methode**  
⇒ **Methodenvielfalt**
- Es ist schon viel entwickelt  
⇒ sehr gute **Basis** für weitere **Automatisierung**



---

# Backup

---



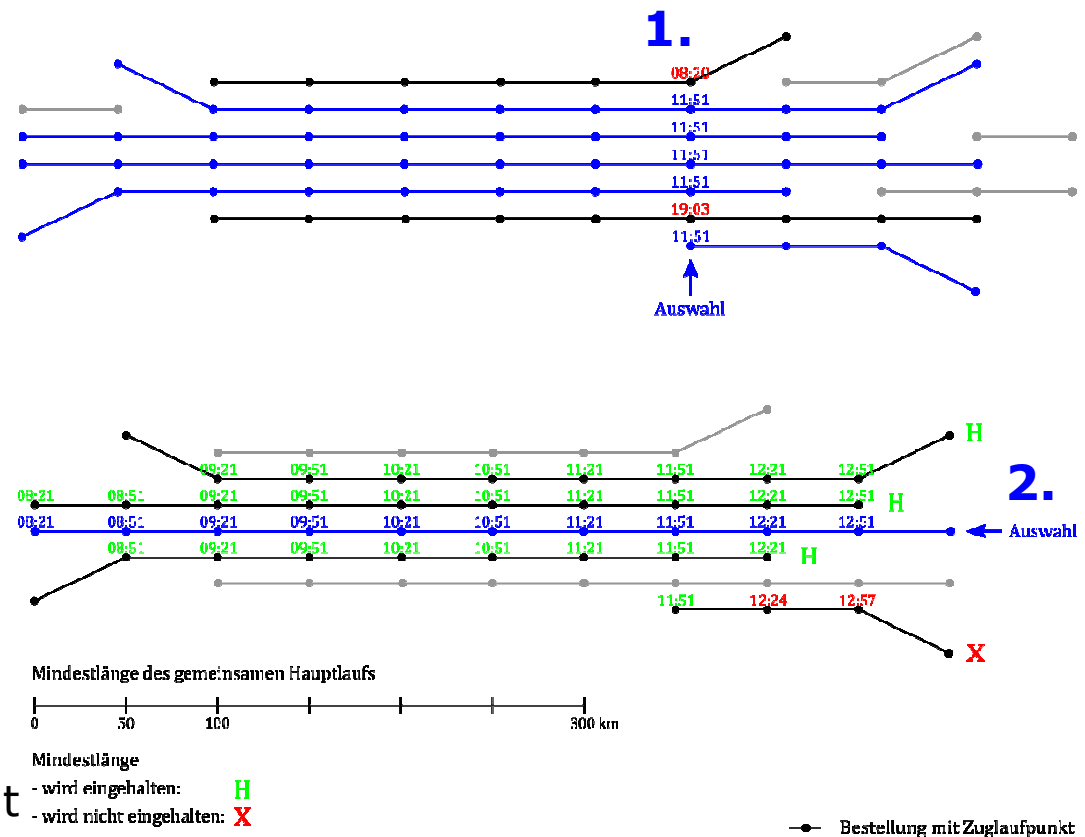
Bei der **Bündelung von Bestellungen** werden Bestellungen die hinsichtlich Fahrzeit und Laufweg gleich bzw. ähnlich sind, zu einer Bestellung zusammengefasst.



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

## Vorgehen bei der Bündelung von Bestellungen (vereinfacht)

1. Identifikation möglicher Bündelungspartner an einem ausgewählten Zuglaufpunkt
2. Vergleich der Ähnlichkeit der Laufwege der möglichen Bündelungspartner für einen definierten gemeinsamen Hauptlauf
3. Bestellungen die den Anforderungen aus 1. und 2. entsprechen werden gebündelt



# Bei der *Kantenreihenbildung* werden – ausgehend von einer **Startkante** – Kanten mit ähnlichem Betriebsprogramm zu Kantenreihen zusammengefasst.

## Bedingungen für Startkanten (vereinfacht)

Eine beliebige Kante ist eine Startkante, wenn:

- a) keine adjazente Kante entgegen der Untersuchungsrichtung existiert, (z. B. Kopfbahnhöfe, Grenzbahnhöfe),
- b) alle adjazenten Kanten entgegen der Untersuchungsrichtung bereits überprüft wurden
- c) die adjazente Kante entgegen der Untersuchungsrichtung, die zur möglichen Startkante ähnlich ist, bereits überprüft wurde oder
- d) die Startkante zu keiner adjazenten Kanten entgegen der Untersuchungsrichtung ähnliche ist.

