



Technische  
Universität  
Braunschweig



## Probleme, Lösungsmöglichkeiten und Grenzen des analytischen Kompressionsverfahrens der UIC-Richtlinie 406 zur Leistungsuntersuchung

Dipl.-Ing. Tobias Lindner, 14.06.2010

# Ablauf

- Zusammenfassung der Inhalte der UIC-Richtlinie 406
- Probleme bei der Anwendung der Richtlinie
- Prinzipielle Nachteile der Anwendung des Kompressionsverfahrens
- Fazit / Empfehlungen zur Überarbeitung der UIC-Richtlinie 406

## UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- 1. Ausgabe 2004 erschienen
- Weiterentwicklung der UIC-Richtlinie 405 (erschieden 1996)
- 22 Seiten
- Beschreibung einer Methode zur Bemessung der Kapazität von Infrastrukturen



# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Ziele des Merkblatts
  - Schaffung eines harmonisierten Verständnisses verfügbarer Kapazitäten auf Eisenbahninfrastrukturen
    - Gründe: - Anstieg der grenzüberschreitenden Verkehre
    - Steigende Anforderungen an Qualität und Quantität
    - Fehlende Vereinheitlichung von Definitionen bzw. Berechnungsverfahren ermöglicht keine Vergleichbarkeit von Kapazitätswerten
- Richtlinie 406 beschreibt eine Methode zur Durchführung von „Kapazitätsberechnungen von Strecken/Knotenpunkten oder Korridoren“
- Wird das Verfahren der Richtlinie angewendet, lassen sich vergleichbare Untersuchungsergebnisse erzielen

# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Definitionen von Begriffen zur Leistungsuntersuchung
- Ermittlung von Belegungszeiten für Blockabschnitte
- Verfahren zur Bemessung der Kapazität von Infrastrukturen:  
**Kompressionsmethode**
  - fahrplanabhängig
  - Kapazitätsverbrauch einfach bestimmbar durch graphisches „Zusammenschieben“ der Sperrzeitentreppen
  - Während der Kompression keine Änderungen in der Zugreihenfolge
  - Verfahren **graphisch** oder **rechnerisch** durchführbar



## UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Formeln zur Vorgehensweise bei der Ermittlung des Kapazitätsverbrauchs

$$k = A + B + C + D$$

A = Infrastrukturbelegung (min)

[B = Pufferzeit (min)]

[C = Reserve für eingleisige Strecken (min)]

[D = Reserven für Instandhaltung (min)]

$$K = k * (100/U)$$

K = Kapazitätsverbrauch (%)

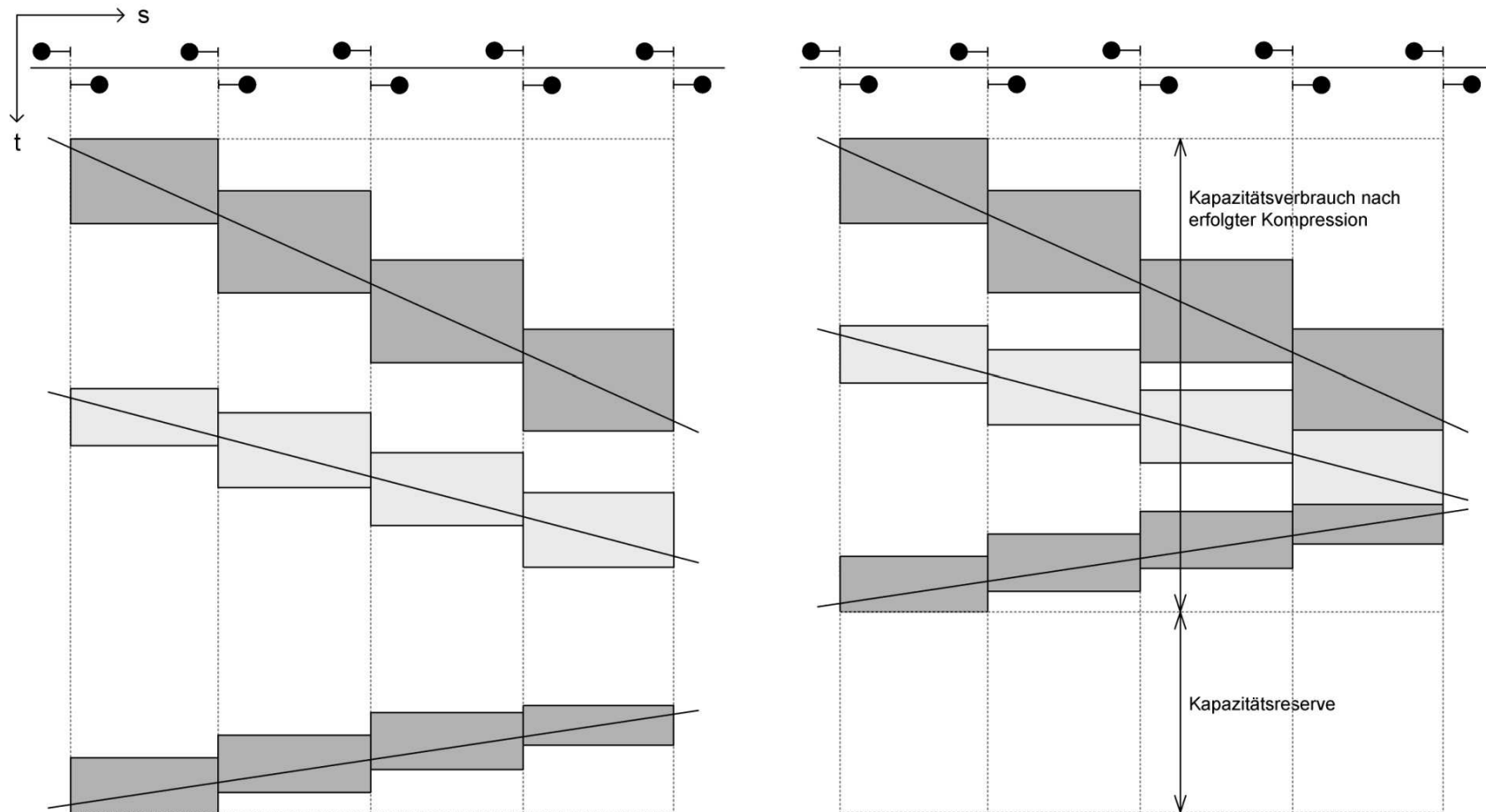
U = gewähltes Zeitfenster (min)

→ Verketteter Belegungsgrad als Bewertungsgröße



# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Kompressionsmethode

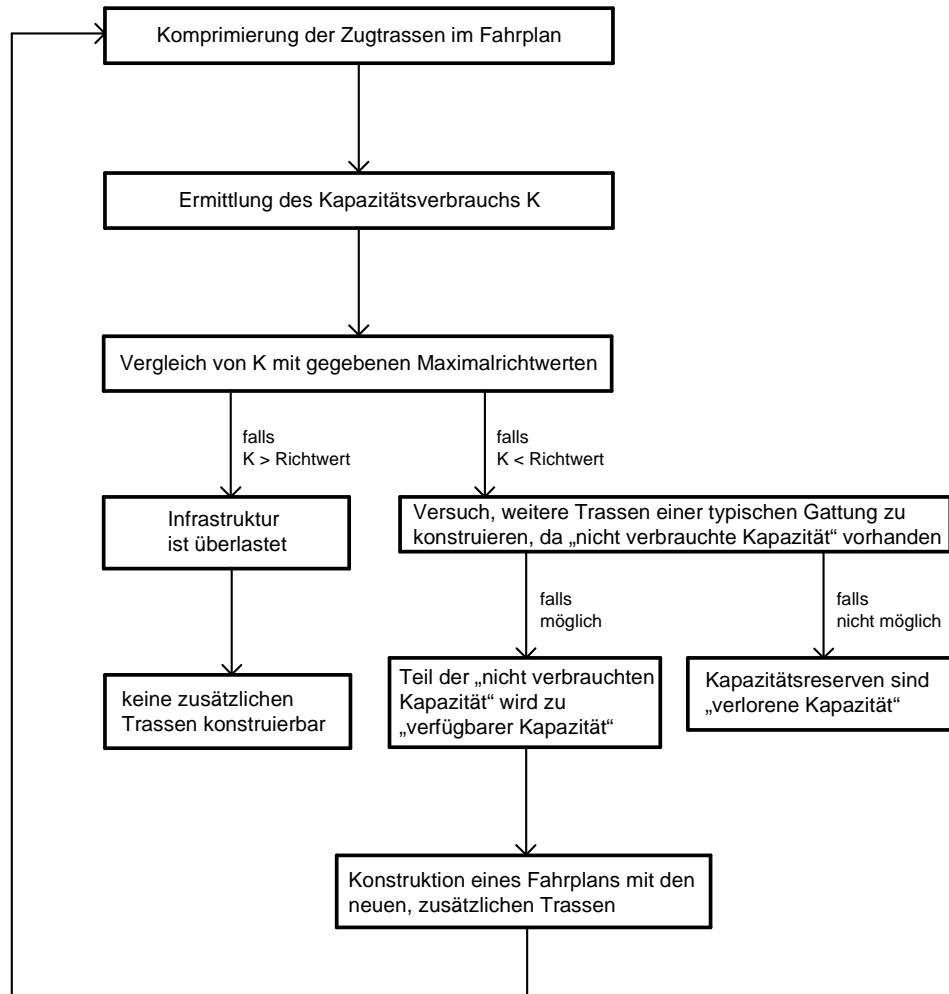


# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Untersuchungsverfahren besteht aus zwei Komponenten:
  - **Kompressionsprozess**
  - **Anreicherungsprozess**

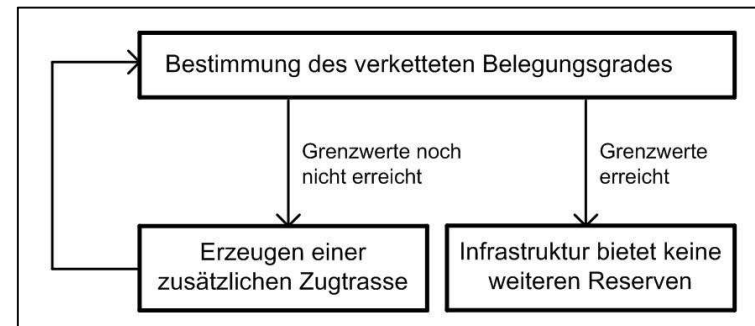


# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte



Sofern der Belegungsgrad kleiner als der entsprechende Grenzwert ist, ist der Ausgangsfahrplan um eine typische Zugtrasse zu ergänzen.

→ Anreicherungsprozess



# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Verketteter Belegungsgrad – Grenzwerte

Streckentyp	Hauptverkehrszeit	Tageszeitraum	Bemerkung
Spezieller Vorortpersonenverkehr	85%	70%	Die Möglichkeit, bei einem unpünktlichen Fahrplan einige Verkehre zu annullieren, ermöglicht einen Nutzungsgrad mit hoher Kapazität.
Spezielle Hochgeschwindigkeitsstrecke	75%	60%	
Strecken mit gemischtem Verkehr	75%	60%	Kann höher liegen, wenn die Anzahl der Züge gering ist (weniger als 5 pro Stunde) mit starker Heterogenität.



# UIC-Richtlinie 406 – Zusammenfassung der Inhalte

- Ergebnisse
  - Ausnutzung der Infrastrukturkapazitäten durch einen konkreten Fahrplan
  - Mögliche Anzahl der bis zu den gegebenen Grenzwerten in den Fahrplan zusätzlich einlegbaren Zugtrassen
  - **Problem:** Beschreibung der Durchführung der Kompressionsmethode enthält viele offene Fragen
    - großer Interpretationsspielraum
    - geringe Aussagekraft der Ergebnisse



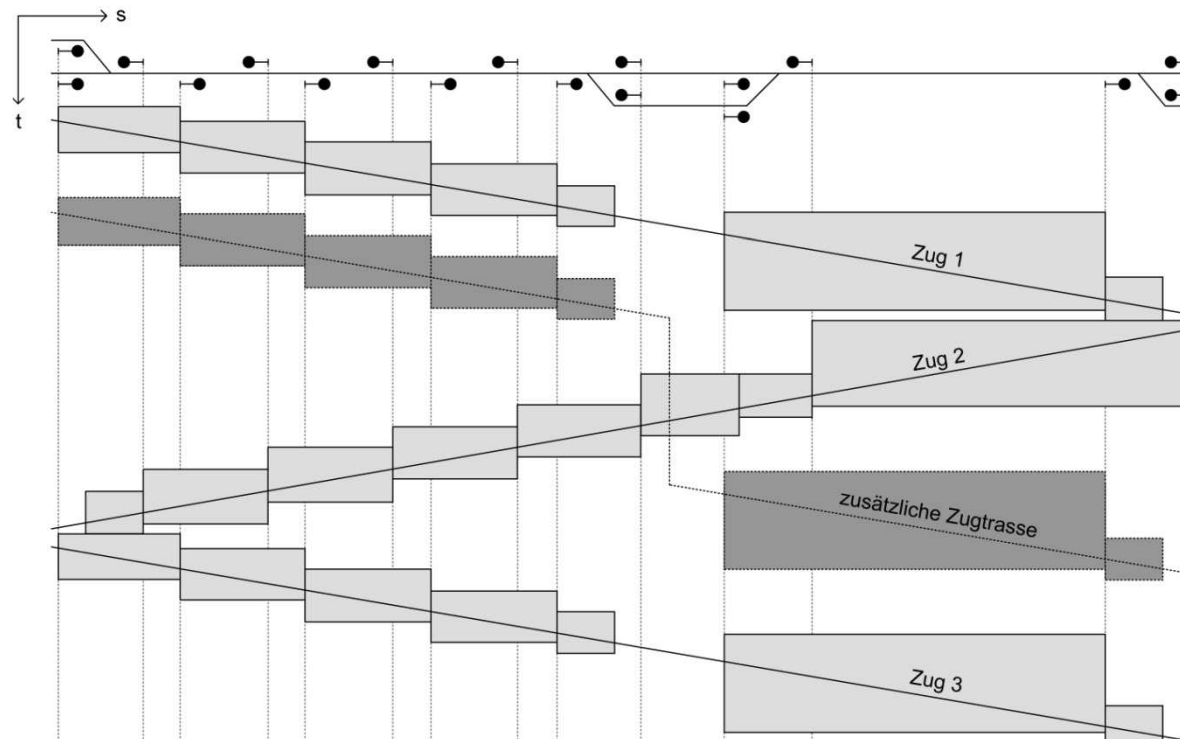
# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

## Übersicht

- Unterteilung der Infrastruktur in Kompressionsabschnitte
- Unterteilung der Infrastruktur in Anreicherungsabschnitte
- Belegungskonflikte in den Betriebsstellen
  - Kompressionsmethode auch für Knotenuntersuchungen anwendbar?
- Indirekte Belegungen – Berücksichtigung von Sperrelementen aus angrenzenden Bereichen
- Indirekte Belegungen – Niveaugleiche Überwege
- Berücksichtigung von Nachfrage bzw. Marktbedarf im Anreicherungsprozess
  - Fahrzeiten in Praxis übertragbar?
  - Geschwindigkeits- / Richtungsbündelung von Zugtrassen
  - Umlaufpläne

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

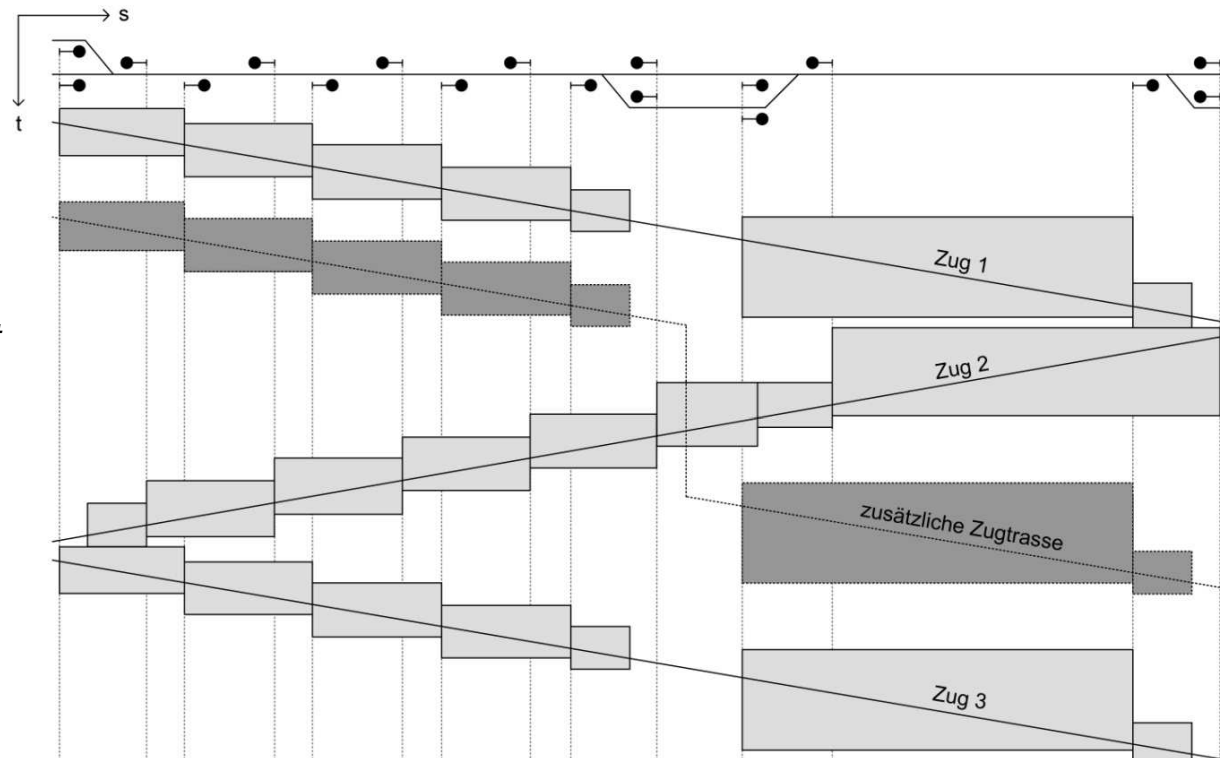
- Unterteilung der Infrastruktur in Kompressionsabschnitte
  - 406: - Abschnitt kann aus einem oder mehreren kohärenten Teilen bestehen
  - Abschnitt sollte „idealerweise“ auf den Bereich zwischen zwei Nachbarbahnhöfen oder Knotenpunkten reduziert werden



# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Unterteilung der Infrastruktur in Kompressionsabschnitte

- Erzeugung einer zusätzlichen Trasse trotz Belegungsgrad von 100 % im Kompressionsabschnitt



→ Zur Untersuchung ist es absolut notwendig, eine Abschnittstrennung in jeder Begegnungsmöglichkeit vorzunehmen



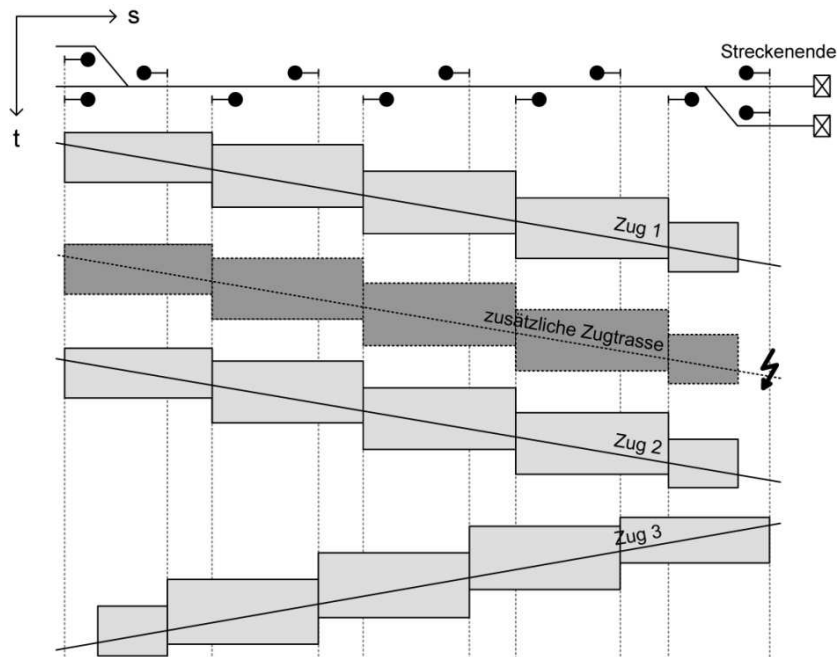
## Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Unterteilung der Infrastruktur in Anreicherungsabschnitte
  - 406: - Güterverkehr: Streckenabschnitt zwischen zwei Knoten
  - Personenverkehr: Gesamter Zuglauf
  
- beim Güterverkehr: Außerhalb des Betrachtungsraums kann die Kapazität bereits stärker bzw. voll ausgenutzt sein
  - Konflikte außerhalb des Betrachtungsraums bleiben unbemerkt
  
- *Im Anreicherungsprozess immer den gesamten Zuglauf betrachten!*



# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Belegungskonflikte in den Betriebsstellen
  - UIC-Richtlinie 406 enthält dazu keine näheren Informationen

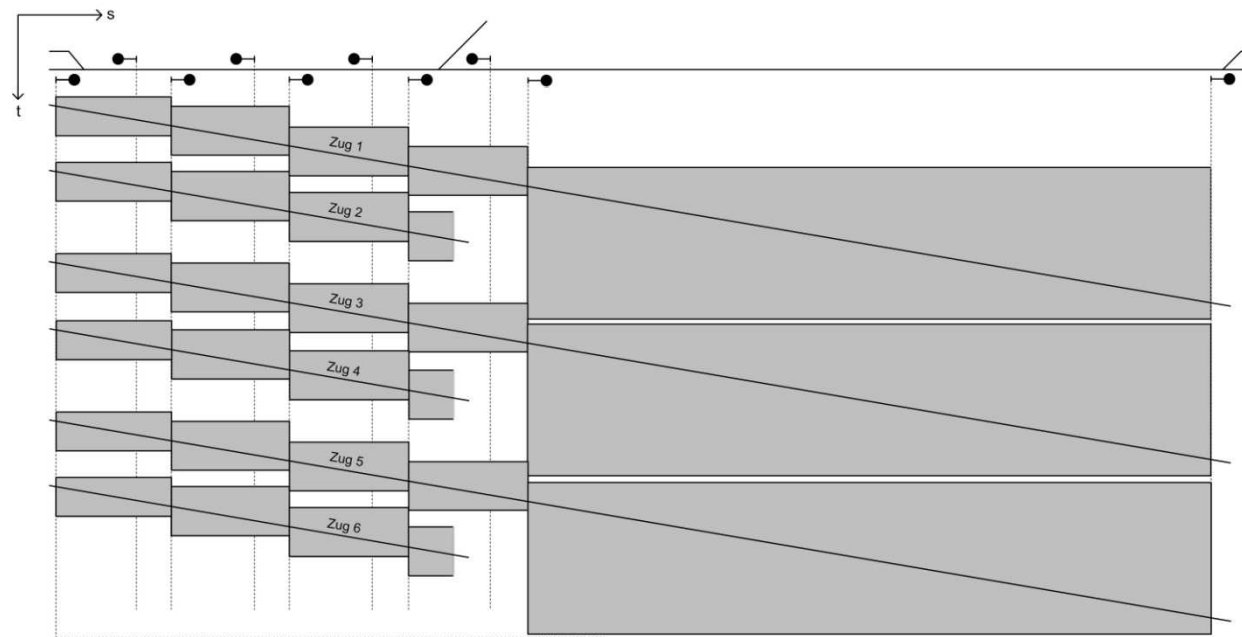


- UIC-Verfahren beschränkt sich auf die Untersuchung der freien Strecke
  - *Eine bei starker Anreicherung mögliche Überbelegung von Bahnhöfen bleibt unbemerkt!*



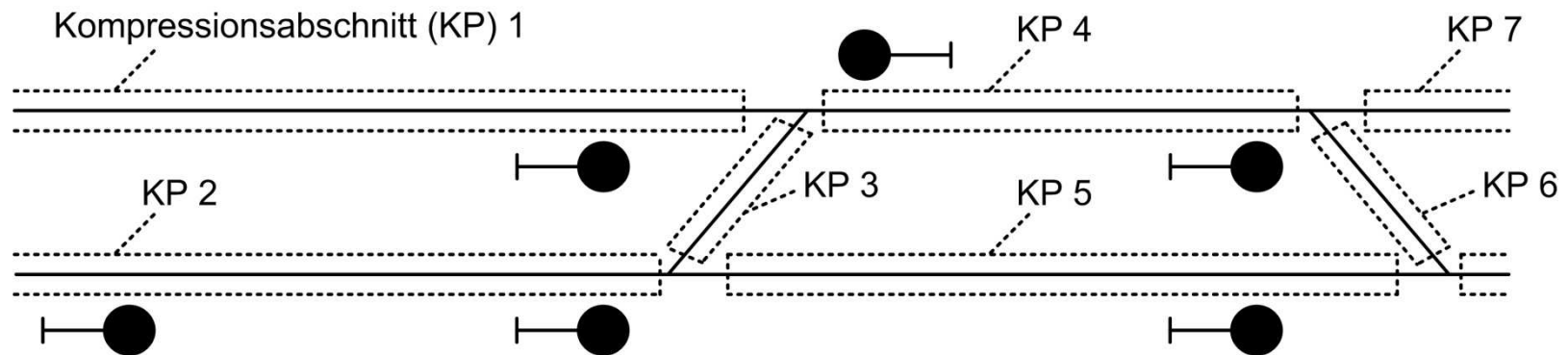
## Exkurs: Kompressionsmethode auch innerhalb von Betriebsstellen anwendbar?

- Vorgaben zur Kompression laut UIC-Richtlinie 406
  - Zugzahl darf sich innerhalb eines Kompressionsabschnitts nicht verändern
    - nicht zwangsläufig ist die Infrastruktur mit der höheren Zugzahl auch tatsächlich stärker ausgenutzt
    - Belegungsgrad muss für jeden Abschnitt konstanter Zugzahl berechnet werden
    - sinnvolles Kriterium



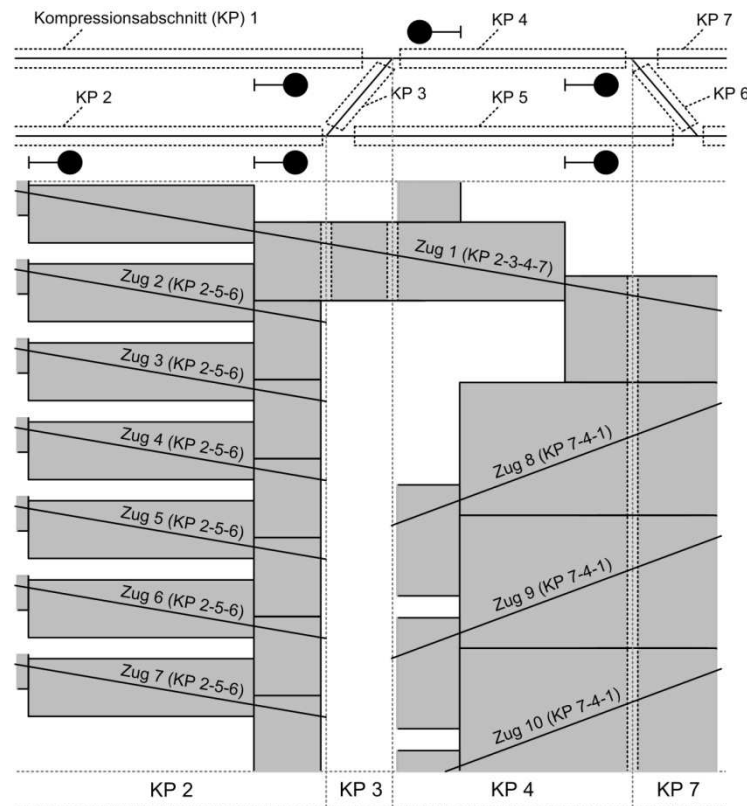
## Exkurs: Kompressionsmethode auch innerhalb von Betriebsstellen anwendbar?

- Beispiel für eine Betriebsstelle
  - Kompressionsabschnitte umfassen jeweils den Bereich zwischen zwei benachbarten Weichen



# Exkurs: Kompressionsmethode auch innerhalb von Betriebsstellen anwendbar?

- Beispiel für eine Betriebsstelle
- Graphischer Fahrplan für die Fahrkombination über die Kompressionsabschnitte 2 – 3 – 4 – 7



- Ausnutzung des Kompressionsabschnitts 3 ist sehr gering
- In der Theorie kann dieser Abschnitt um weitere Trassen angereichert werden.
- In der Praxis ist der Kompressionsabschnitt 3 nicht durch weitere Trassen belegbar, da sämtliche Fahrten auch KP 2 passieren, der schon zu 100 % ausgelastet ist.
- KP 3 bietet somit trotz geringer Belegung keine Reserven. Der Belegungsgrad stellt somit kein aussagekräftiges Bewertungskriterium dar.

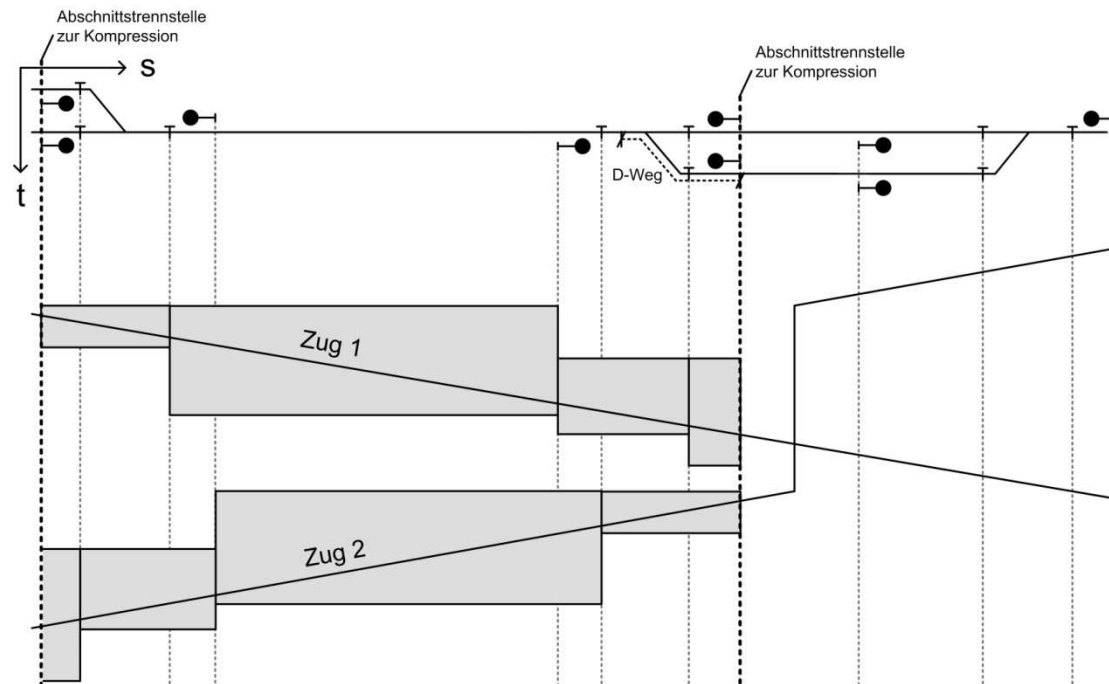
## Exkurs: Kompressionsmethode auch innerhalb von Betriebsstellen anwendbar?

- *Die Kompressionsmethode eignet sich nicht zur Untersuchung von Knoten*
- *Das im Vorwort der Richtlinie genannte Ziel, „Kapazitätsberechnungen von Strecken/Knotenpunkten oder Korridoren“ durchführen zu können, lässt sich somit nicht erfüllen.*



# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

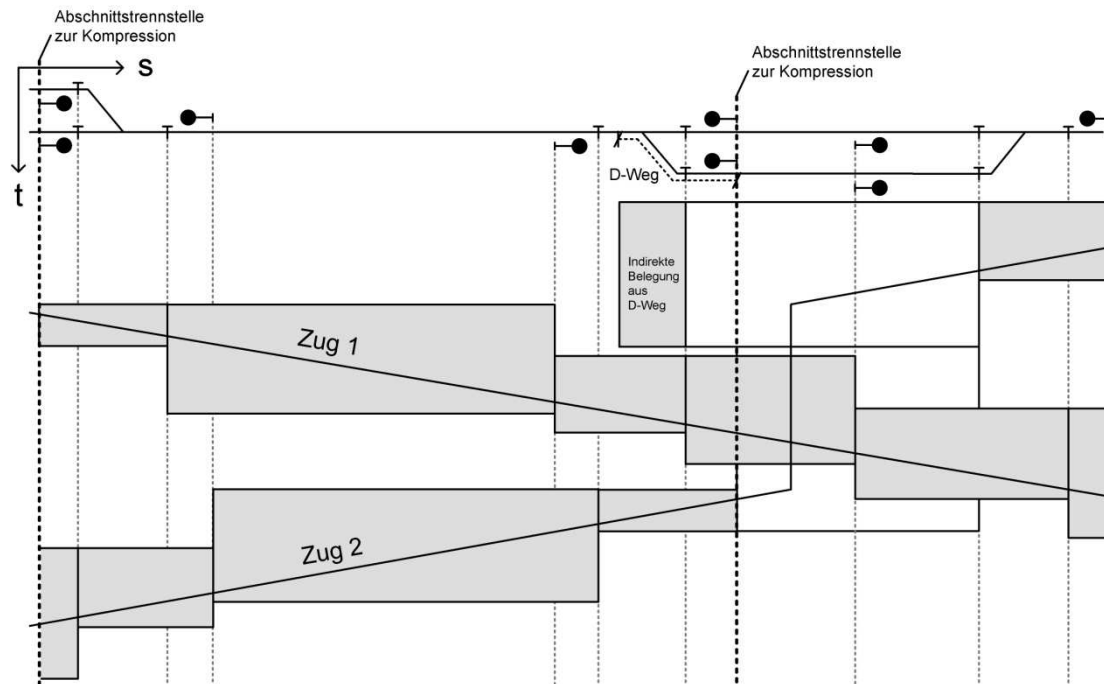
- Berücksichtigung indirekter Belegungen
  - UIC-Richtlinie 406 enthält dazu keine näheren Informationen



- Ausschließliche Konzentration auf den Kompressionsabschnitt  
→ *Nichtberücksichtigung eines D-Weges führt zu fehlerhaften Ergebnissen*

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

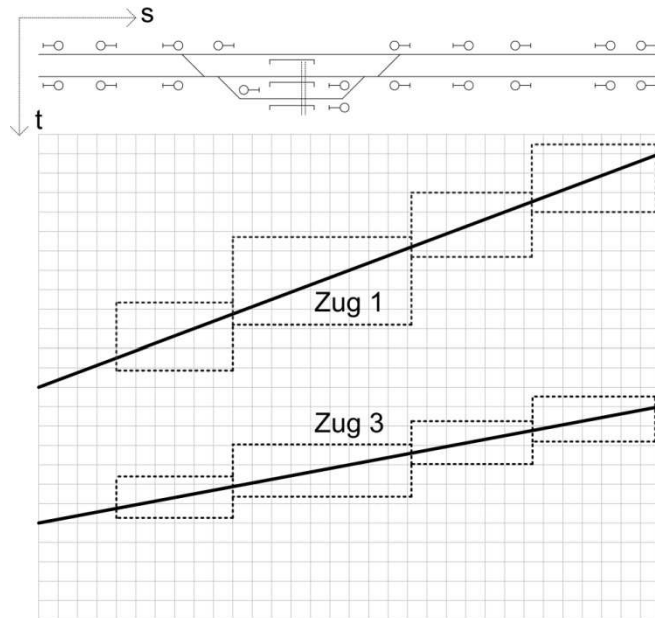
- Berücksichtigung indirekter Belegungen
  - UIC-Richtlinie 406 enthält dazu keine näheren Informationen



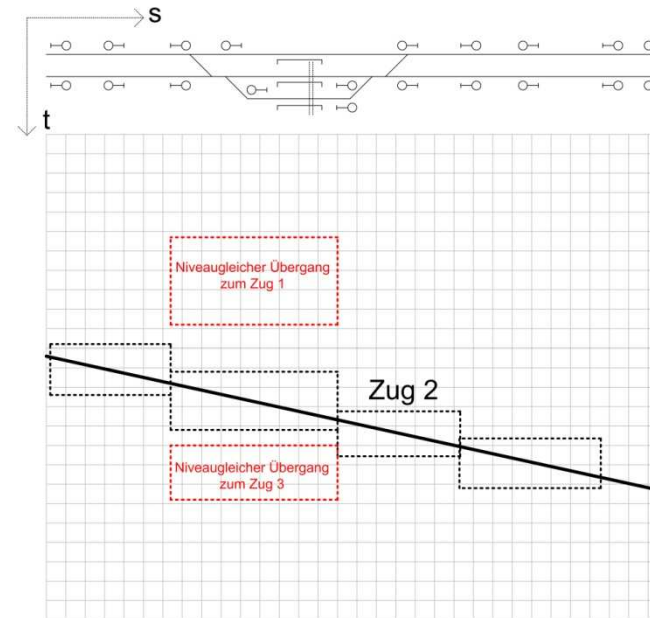
- Korrekte Berücksichtigung des D-Weges  
→ Höhere Belegung des untersuchten Abschnitts

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Berücksichtigung indirekter Belegungen
  - UIC-Richtlinie 406 enthält dazu keine näheren Informationen



Belegung des Hauptgleises, in Fahrtrichtung links

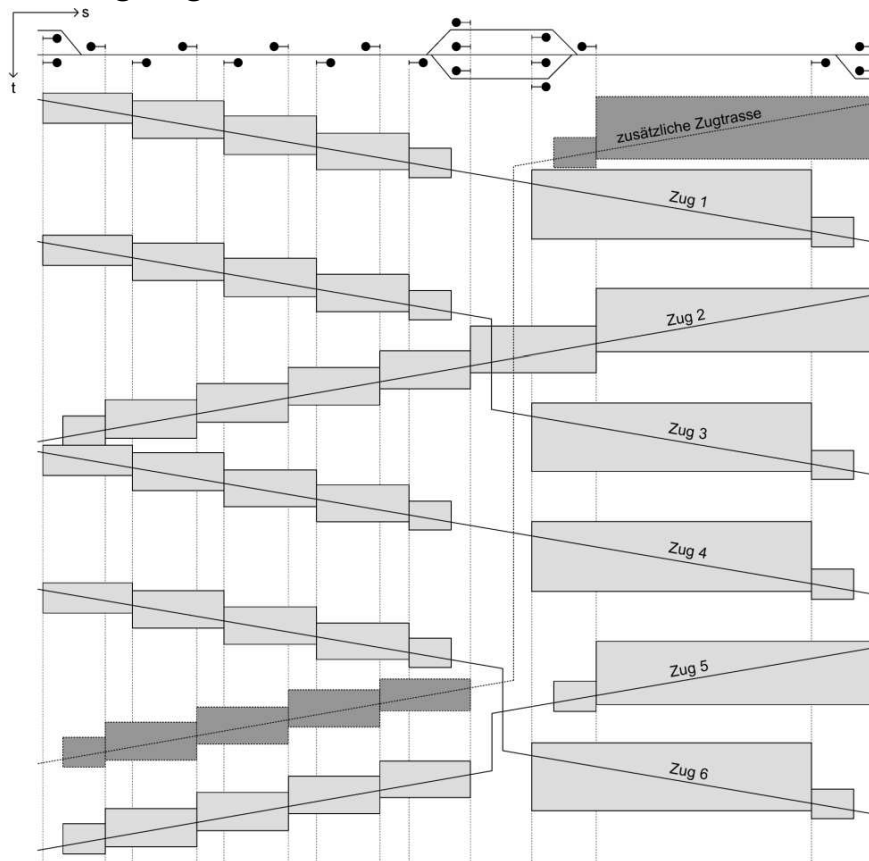


Belegung des Hauptgleises, in Fahrtrichtung rechts

- Beispiel der Sperrung eines Gleises zur Gewährleistung eines niveaugleichen Übergangs zwischen Bahnsteigen
  - *Nichtberücksichtigung führt zu fehlerhaften Ergebnissen*

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

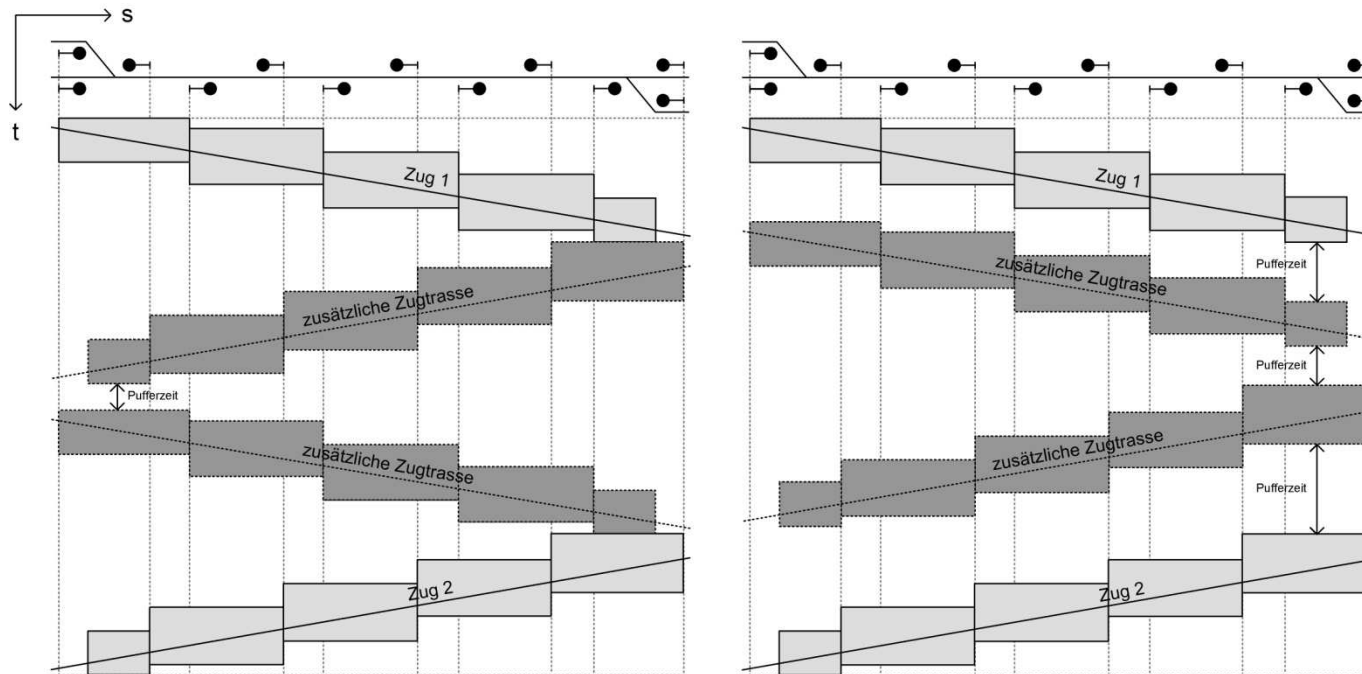
- Nachfrage als Aspekt der Marktgerechtigkeit
  - Erzeugung von zusätzlichen Trassen auf einer bereits stark ausgenutzten Infrastruktur



- Wären zusätzliche Trassen in die Praxis übertragbar?  
Falls nein: *Bietet der Belegungsgrad ein ausreichendes Beurteilungskriterium?*
- Anderes Beispiel:  
Was nützt es, wenn eine Strecke nachts Kapazitäten für Güterzug-Bedienfahrten bietet, die zugehörigen Anschlussgleise jedoch aufgrund von Betriebsruhe nicht zu erreichen sind?

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Geschwindigkeits- / Richtungsbündelung von Zugtrassen
- UIC-Richtlinie 406 enthält dazu keine näheren Informationen



- *Um den Kapazitätsverlust bei Erzeugung zusätzlicher Trassen zu verringern, können diese Trassen mit den Trassen des Ausgangsfahrplans gebündelt werden*

# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Weitere Aspekte der Marktgerechtigkeit
  - Umlaufpläne: - Berücksichtigung einer möglichen Zuordnung der im Anreicherungsprozess erzeugten Trassen zu bestehenden Umläufen
  - Nachfrage: - Wären zusätzliche Trassen in die Praxis übertragbar?



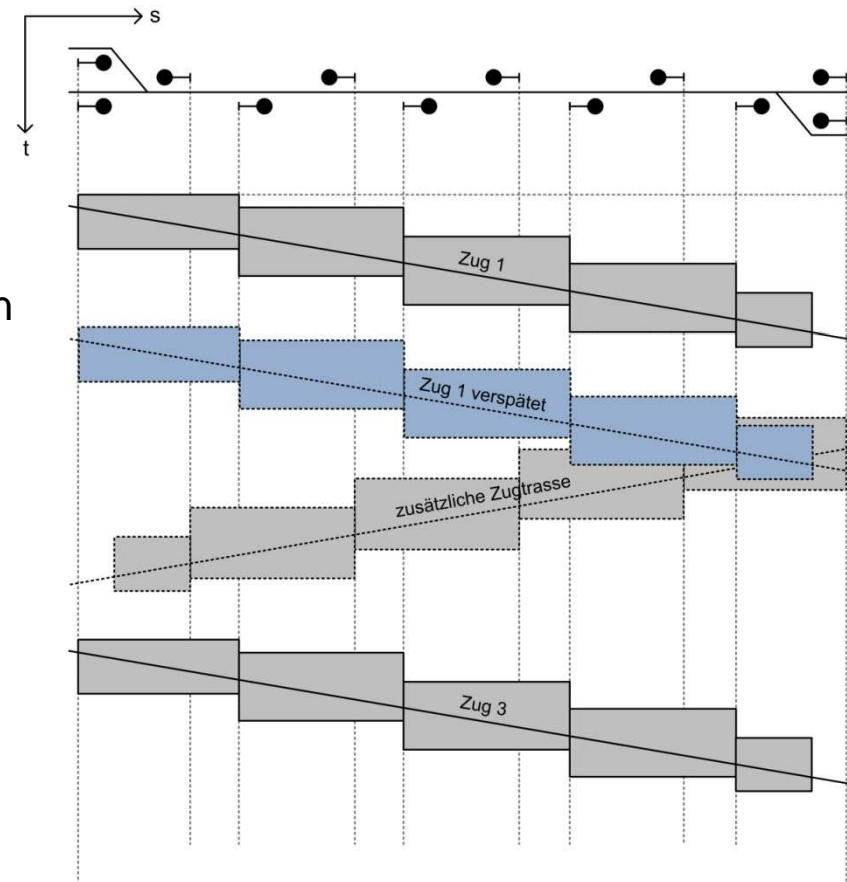
# Probleme bei der Anwendung der Richtlinie

- Geschwindigkeits- / Richtungsbündelung von Zugtrassen
  - Ermöglichung einer großen Anzahl Zugtrassen bis die maximale Belegung erreicht ist
  - Problem: Bündelungen von Trassen behindern die Konstruktion von vertakteten Fahrplänen → **Marktgerechtheit**
- *Fazit: Ein Kompromiss zwischen Minimierung des Kapazitätsverlusts und Verringerung der Marktgerechtheit ist erforderlich*



# Prinzipielle Nachteile der Anwendung des Kompressionsverfahrens

- Auftrittswahrscheinlichkeit und Umfang von Störungen
  - Auftreten von Störungen → Restleistung der Strecke sinkt
  - Bei einem in der Praxis angewendeten Fahrplan ist der Umfang von Störungen direkt aus dem Betrieb ableitbar
  - Kompressionsmethode berücksichtigt weder Auftrittswahrscheinlichkeit noch Abbaumöglichkeit von Verspätungen
- *Ergebnisse repräsentativ?*



# Prinzipielle Nachteile der Anwendung des Kompressionsverfahrens

- Anwendung nur auf der freien Strecke möglich
- Marktbedarf müsste im Anreicherungsprozess berücksichtigt werden, dabei kann es jedoch passieren, dass freie Kapazitäten nicht in vollem Umfang ausgenutzt werden können
- *Ergebnisse basieren auf einem konkreten Fahrplan und geben somit nicht die Infrastruktureigenschaften wieder*



# Empfehlungen zur Überarbeitung der UIC-Richtlinie 406

- Die Aussagekraft der Ergebnisse bleibt begrenzt ...
  - ... solange man sich auf das analytische Kompressionsverfahren beschränkt
  - ... solange man eine Untersuchung der Knotenpunkte / Bahnhöfe vernachlässigt
  
- *Eine Verbesserung der Beschreibung zur Durchführung der Kompressionsmethode wäre somit kein endgültiger, aber leicht durchzuführender Schritt*



# Empfehlungen zur Überarbeitung der UIC-Richtlinie 406

- Beschreibung der Durchführung der Kompressionsmethode verbessern
  - Trennung in Kompressionsabschnitte in jeder Begegnungsmöglichkeit vornehmen
  - Im Anreicherungsprozess stets den gesamten Zuglauf betrachten
  - Verdeutlichen, dass Kapazitätsbeurteilungen Strecken- und Knotenuntersuchungen erfordern aber mit dem Kompressionsverfahren nur ersteres möglich ist
  - Hinweis auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung indirekter Belegungen
    - D-Wege aus benachbarten Untersuchungsabschnitten
    - Niveaugleiche Übergänge



# Empfehlungen zur Überarbeitung der UIC-Richtlinie 406

- Was bleibt trotz Verbesserung der Inhalte?
    - Ergebnisse basieren auf einem konkreten Fahrplan und geben somit nicht die Infrastruktureigenschaften wieder
    - Knotenpunkte bleiben unberücksichtigt
- Was sagen die Untersuchungsergebnissen denn nun aus ?



# Empfehlungen zur Überarbeitung der UIC-Richtlinie 406

- Was bleibt trotz Verbesserung der Inhalte?
  - Ergebnisse basieren auf einem konkreten Fahrplan und geben somit nicht die Infrastruktureigenschaften wieder
  - Knotenpunkte bleiben unberücksichtigt

→ Was sagen die Untersuchungsergebnissen denn nun aus ?

Einzig, tatsächlich treffbare Aussage:

Ergänzungspotential eines konkreten Fahrplans auf der freien Strecke einer konkreten Infrastruktur



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

