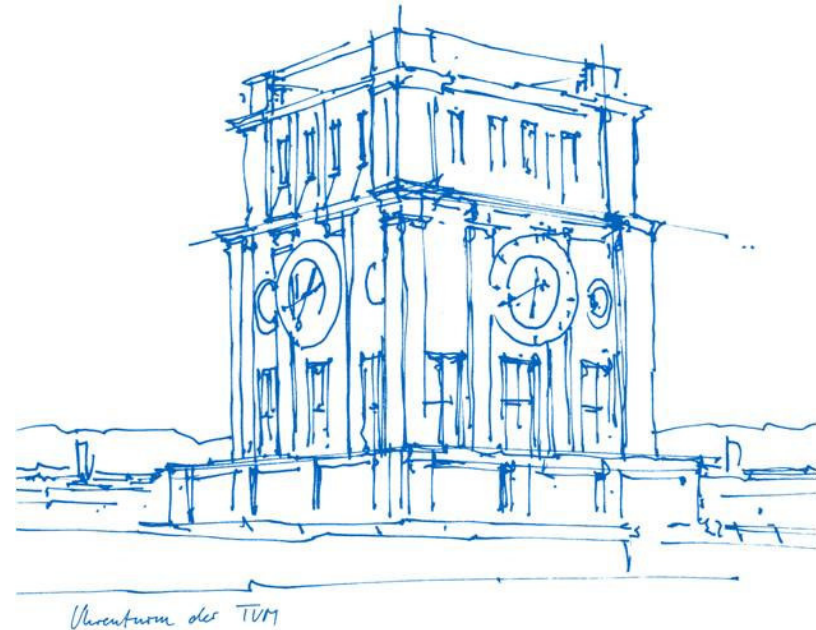


Grundlagen des Bahnbetriebs

Prof. Dr. Norman Weik

Professur für Planung und Betrieb
von Schienenverkehrssystemen (RTS)
Technische Universität München
22.10.2025



Bahnbetrieb

Definition: Gesamtheit aller Tätigkeiten und Vorgänge zur Koordination, Regelung und Sicherung von Fahrten mit Schienenfahrzeugen auf einer Eisenbahninfrastruktur

(nach Pachl)

Der Bahnbetrieb umfasst

- die Durchführung von Zug- und Rangierfahrten im Zusammenwirken von Eisenbahninfrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen
- die Regelung des Zugangs zur Eisenbahninfrastruktur und die Koordinierung unterschiedlicher Nutzungsinteressen
- Das betriebliche Management des Systems, insbes. Disposition und Störfallmanagement



Bild: N. Weik

Aufgaben

- **Betriebsplanung:** vorausschauende Festlegung des Angebots
- **Betriebsdurchführung:** Umsetzung des geplanten Angebots – Durchführung von Zug- und Rangierfahrten
- **Betriebsleitung:** Vergleich zwischen betrieblichem IST und Soll (Betriebsüberwachung) und Einleitung korrekativer Maßnahmen bei Abweichungen vom Soll-Angebot (Disposition)
- **Betriebsanalyse:** Analyse des Betriebsprozesses und Ableitung von Verbesserungen

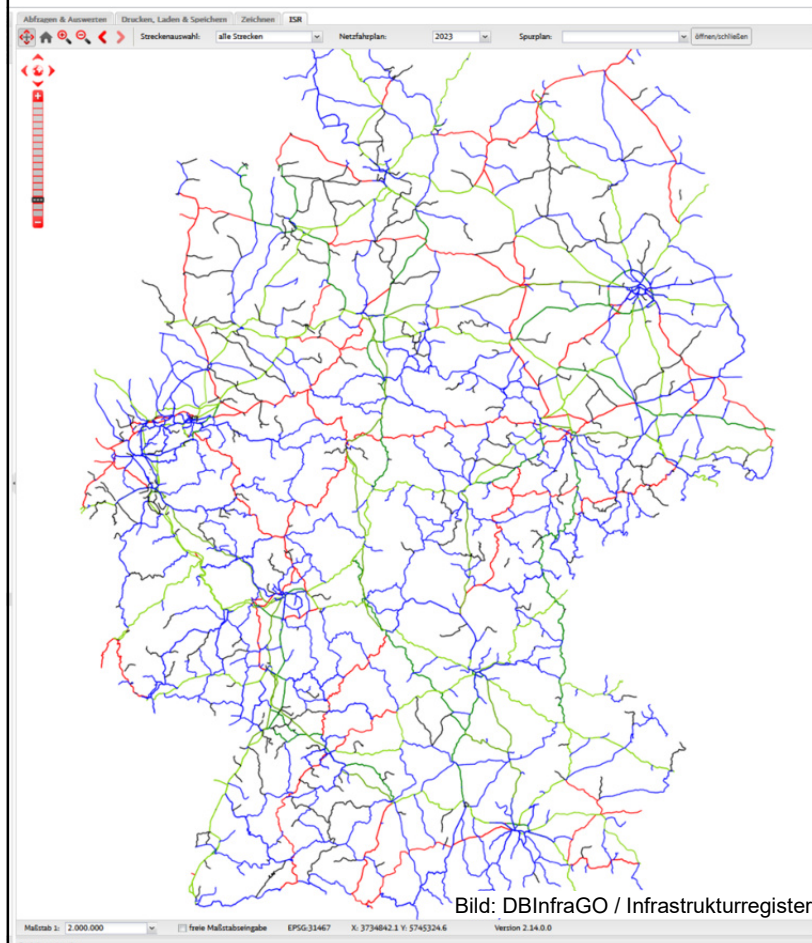


Bild: N. Weik

Agenda

- 1) Durchführung des Bahnbetriebs
- 2) Grundlagen der Fahrplanung
- 3) Störungen und betriebliche Disposition
- 4) Leistungsfähigkeit von Bahnsystemen








Systemeigenschaften der Eisenbahn

- Spurgeführtes Verkehrssystem
 - Geringer Verknüpfungsgrad
~38.000 km Streckenlänge Bahn vs. 230.000 km Straßennetz (ohne städtische Netze)
 - Geringe Flexibilität bzgl. Routenwahl
 - Bedarf einer zentralen Koordinierung des Betriebs

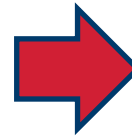
- Rad-Schiene Kontakt
 - Geringe Reibung und lange Bremswege
 - Erlaubt hohe Beförderungsleistung, energieeffizient
 - Bedarf an Regelungen und technischen Hilfssystemen zur Gewährleistung der Sicherheit im Betrieb

Bremswege

Straßenverkehr

Auto (80 km/h)	23,2m	
LKW (80 km/h)	36,2m	
PKW (120 km/h)	56,6m	




Quelle: ADAC



Bremsweg übersteigt das Sichtfeld des
Triebfahrzeugführers

- Kein Fahren „auf Sicht“
- Koordination der Zugbewegungen und technische Lösungen zur Gewährleistung des sicheren Betriebs erforderlich

Bahnverkehr

Regionalverkehrszug (80 km/h, 1m/s^2 Bremsbeschleunigung)*	ca. 250m	
Güterzug (80 km/h, 0.4 m/s^2 Bremsbeschleunigung)*	> 600m	
Hochgeschwindigkeitsverkehr (>250 km/h)*	mehrere km	

* indikative Werte – exakte Werte abhängig von konkreter Zugzusammenstellung

Bahnsysteme: Fahren im Raumabstand

Fahren im relativen Bremswegabstand

- Nachfolgendes Fahrzeug muss in der Lage sein, auf Geschwindigkeitsänderung des vorangehenden Fahrzeugs schnell zu reagieren
- Typisches Sicherungsprinzip im Straßenverkehr, schwierig zu realisieren im Schienenverkehr



Bild: RI91, CC-BY-SA 3.0

Fahren im absoluten Bremswegabstand

- Distanz zum vorangehenden Fahrzeug ausreichend, um Folgefahrzeug innerhalb dieser Distanz zum Halt zu bringen
- Grenzfall im Schienenverkehr
- Erreichbar in modernen Zugsicherungssystemen (moving block)

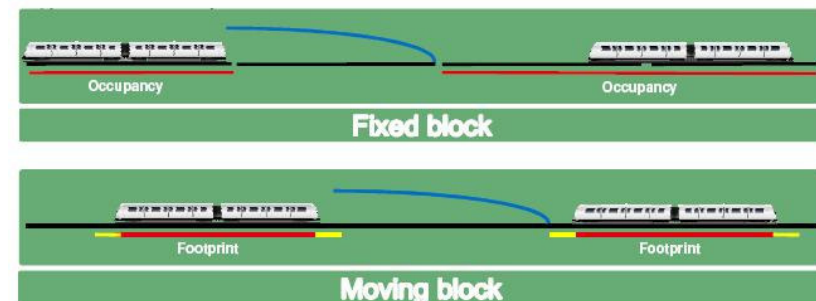


Bild: Israel.abad, CC-BY-SA 3.0

Fahren im festen Raumabstand

Blocksignalisierung

- Eisenbahninfrastruktur unterteilt in technisch gesicherte Segmente: *Strecken-/Bahnhofsblock*
- Blocksegment *geschützt* durch Signale
- Signal kann nur auf „Fahrt“ gestellt werden, wenn Blocksegment *freigeprüft/-gemeldet*

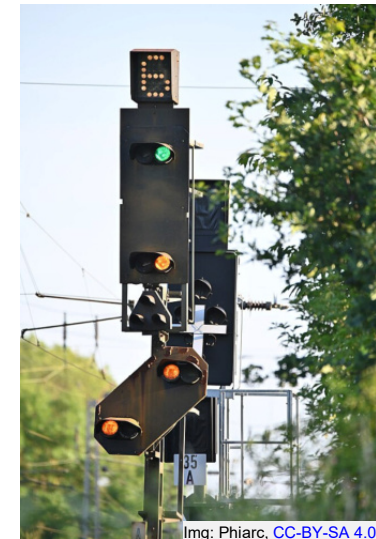
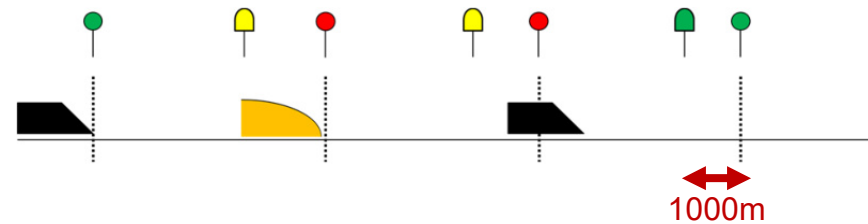


Bild: Weik

Fahren im festen Raumabstand

Blocksignalisierung

- Eisenbahninfrastruktur unterteilt in technisch gesicherte Segmente: *Strecken-/Bahnhofsblock*
- Blocksegment *geschützt* durch Signale
- Signal kann nur auf „Fahrt“ gestellt werden, wenn Blocksegment *freigeprüft/-gemeldet*
- In Deutschland: Bremsweg bis zu 1000m (bei signalgestütztem Betrieb)
 - Triebfahrzeugführer bedarf Vorwarnung bzgl. Signalbegriff am Hauptsignal
 - Vorsignal (Regelabstand 1000m)



Img: Phiarc, [CC-BY-SA 4.0](#)

Fahren im festen Raumabstand

Zugsicherung bei höheren Geschwindigkeiten

- Geschwindigkeiten >160 km/h
 - Signalgestützte Zugsicherung nicht ausreichend
 - Lange Bremswege, große Blocklängen
- Kontinuierliche Zugsicherung/-beeinflussung mit Führerstandsignalisierung
- In Deutschland: LZB, zukünftig ETCS L2 oS
- Erlaubt kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung und Zugbeeinflussung
- Voraussetzung für Betriebsgeschwindigkeiten >160km/h



Bild: N. Weik

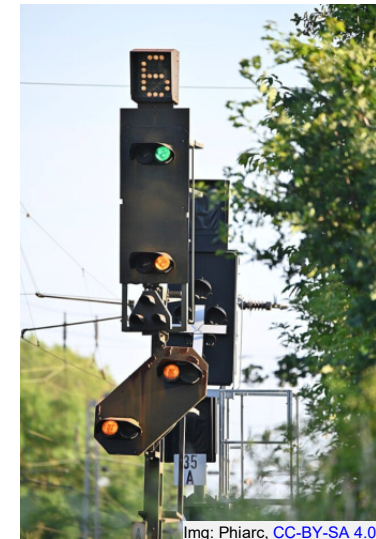
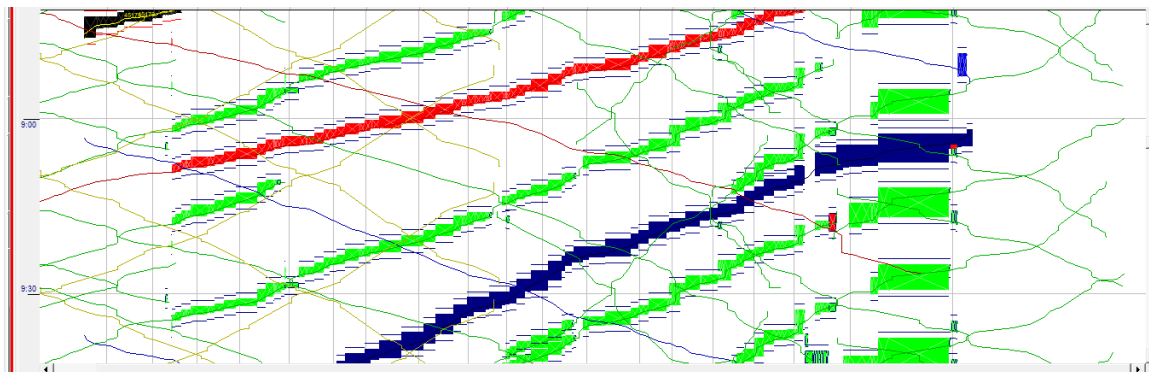
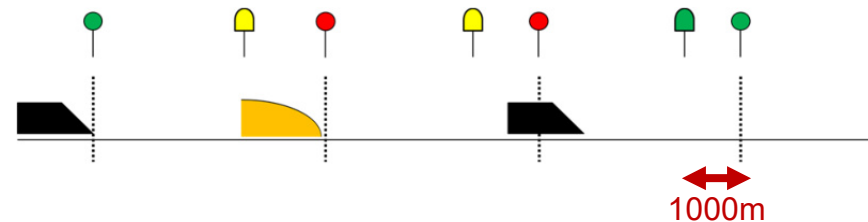


Bild: Andre_de, [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Sperrzeiten

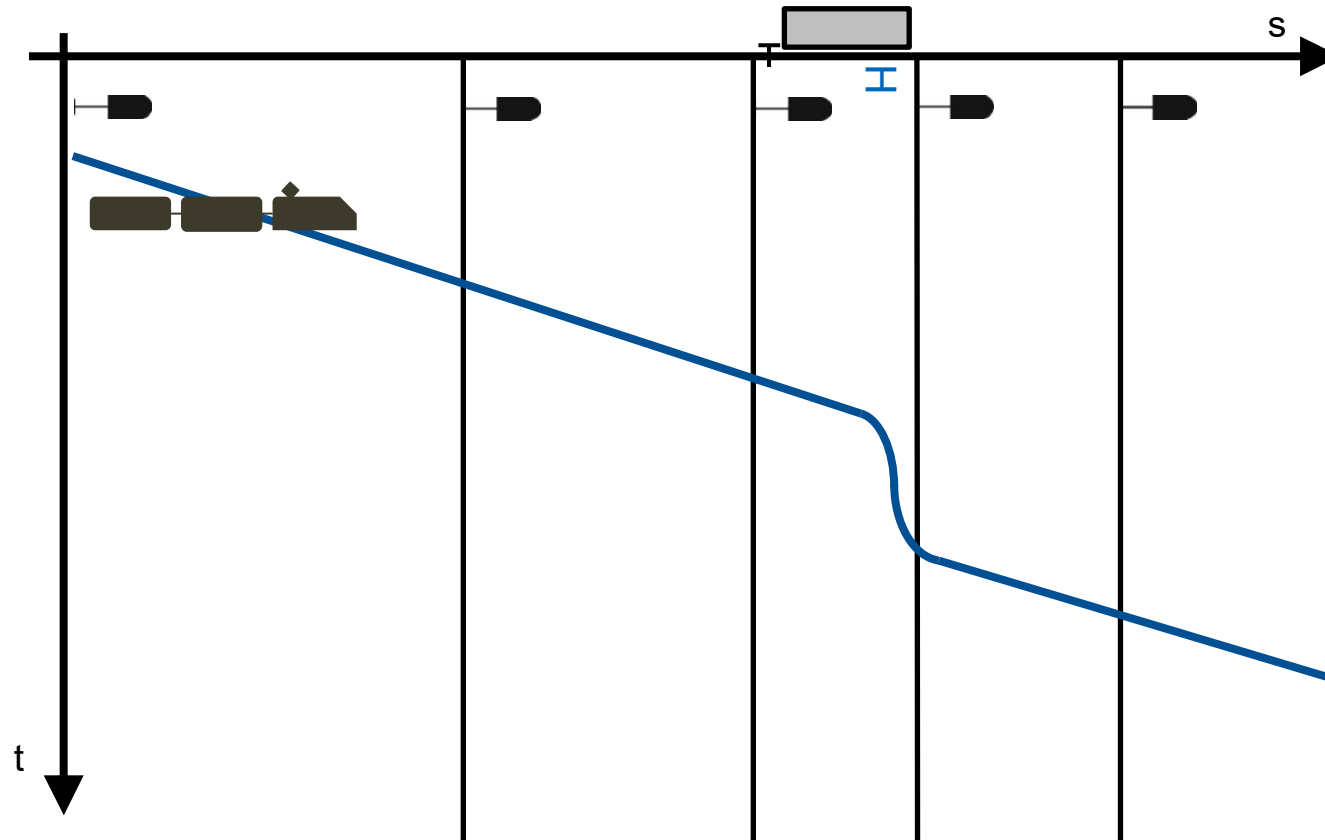
Die Infrastrukturbelegung einer Zugfahrt

- Die Infrastrukturbelegung einer Zugfahrt hängt ab von den Fahreigenschaften des Zuges sowie der sicherungstechnische Ausgestaltung der Infrastruktur
- Die Infrastrukturbelegung wird durch die sog. **Sperrzeiten**, welche den Zeitraum, in dem ein Gleisabschnitt durch eine Fahrt betrieblich beansprucht wird und somit für andere Fahrten gesperrt ist, bezeichnet
- Infrastrukturbelegung einer Zugfahrt: **Sperrzeitentreppe**

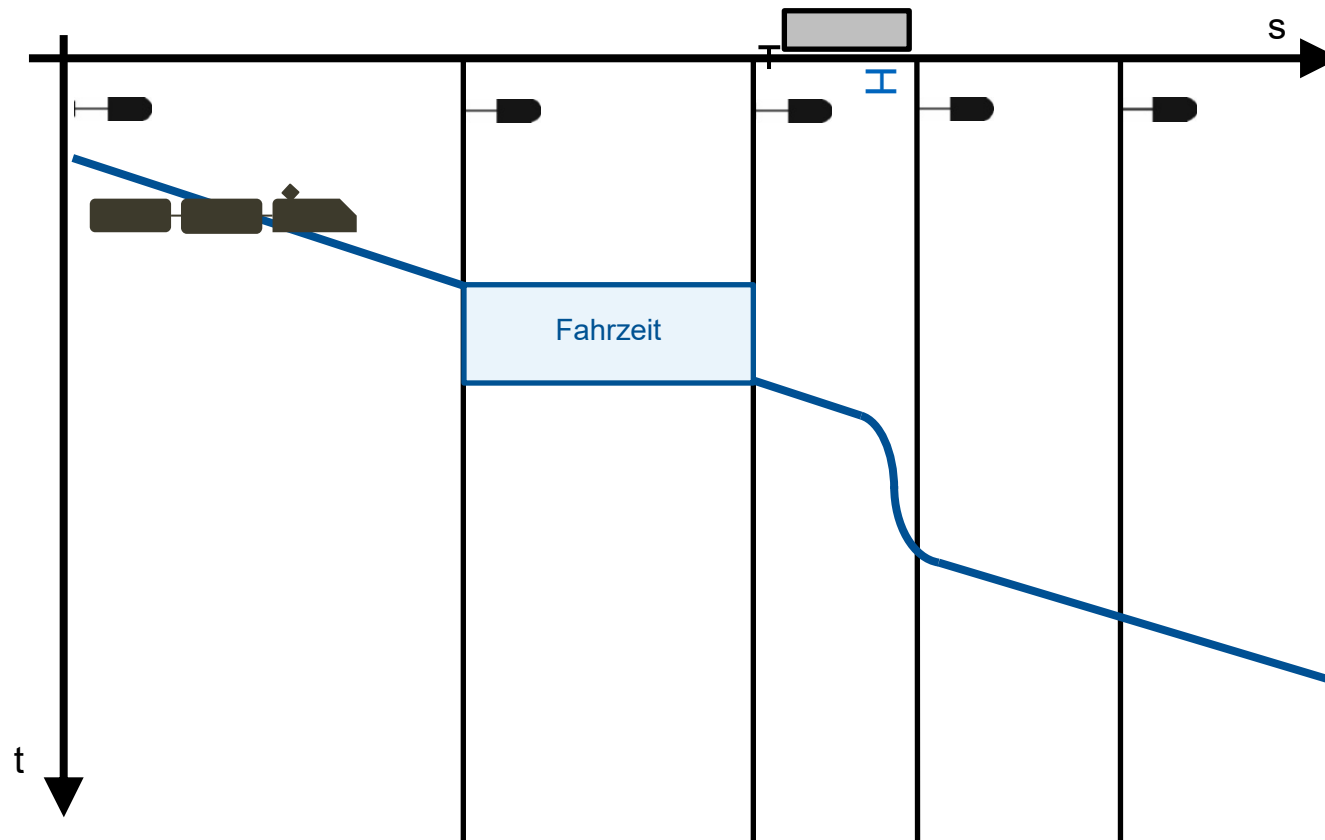


Img: Phiarc, CC-BY-SA 4.0

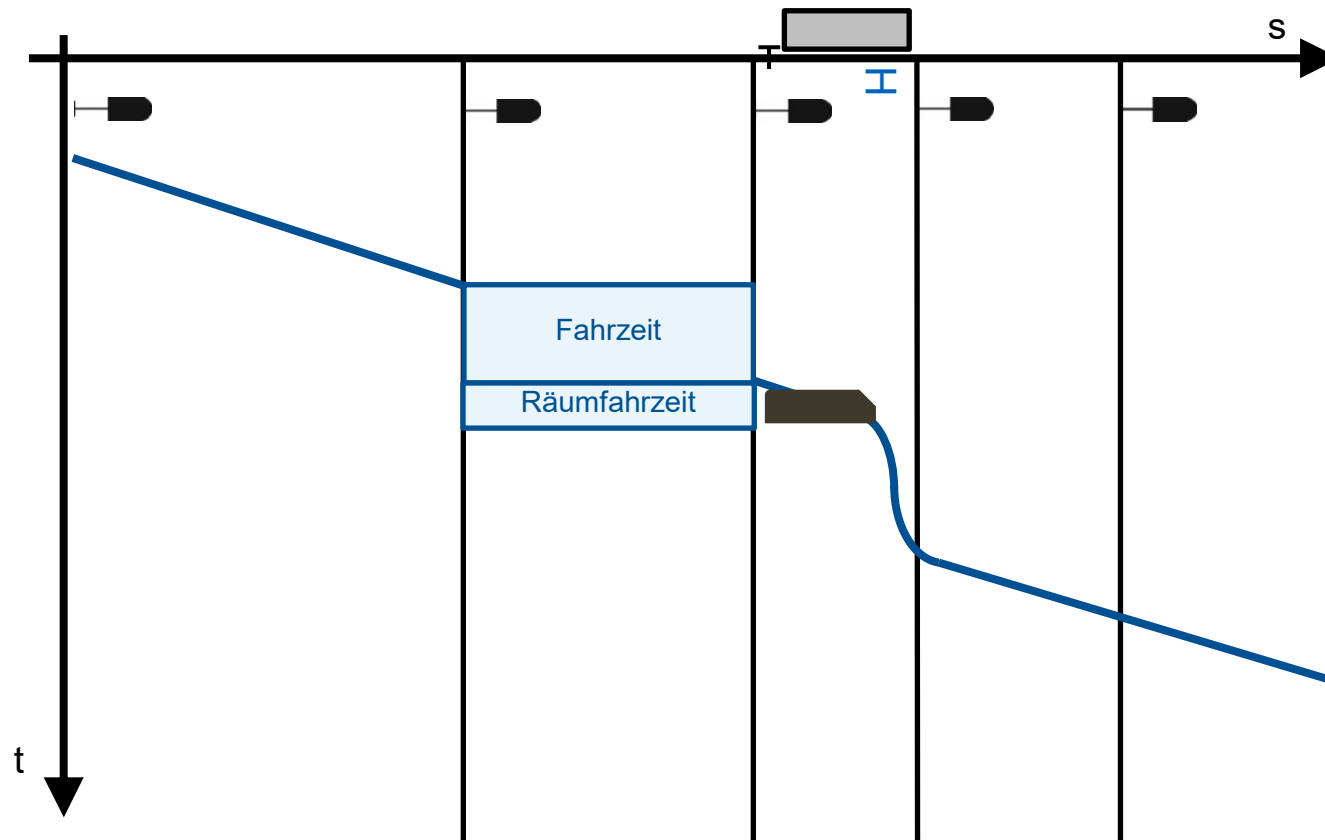
Sperrzeit



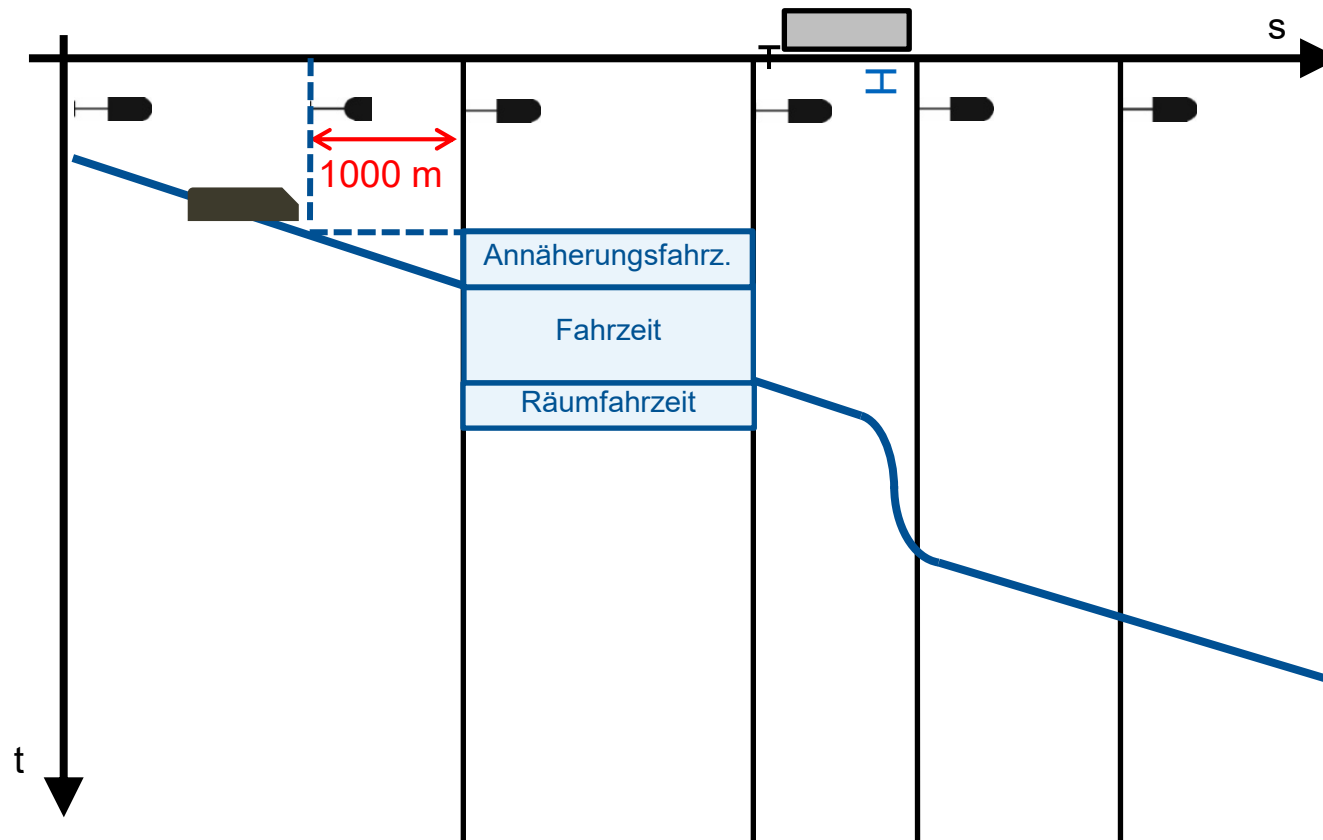
Sperrzeit



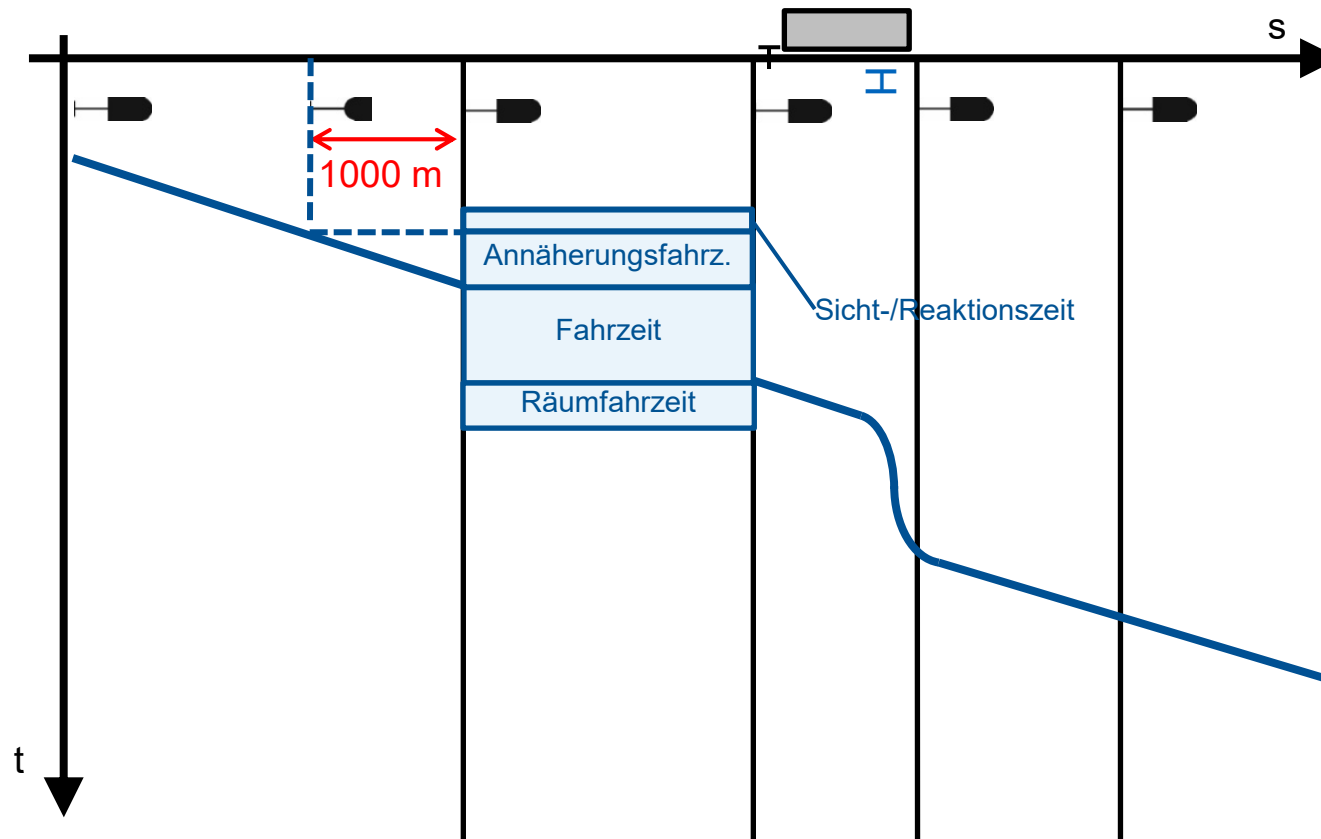
Sperrzeit



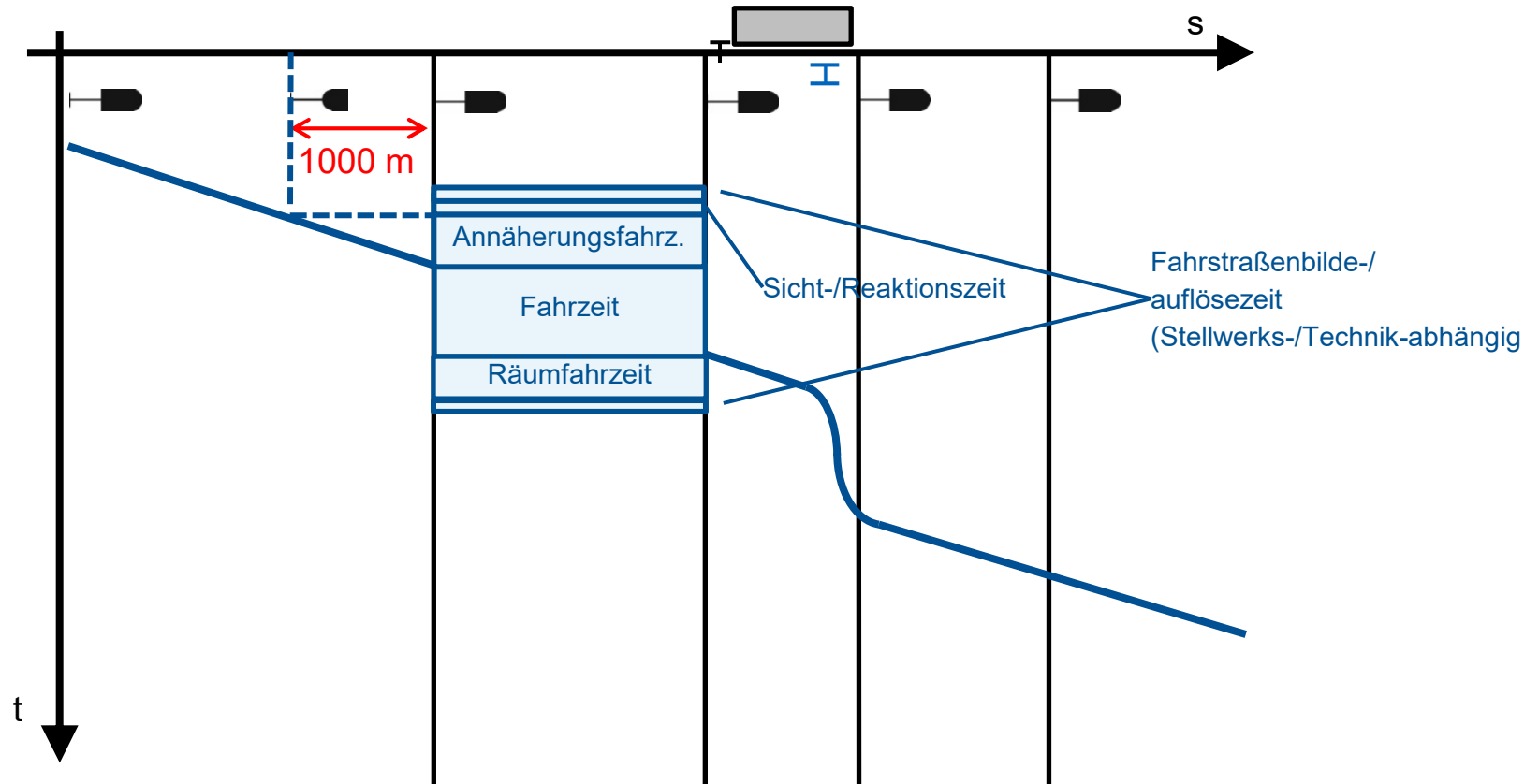
Sperrzeit



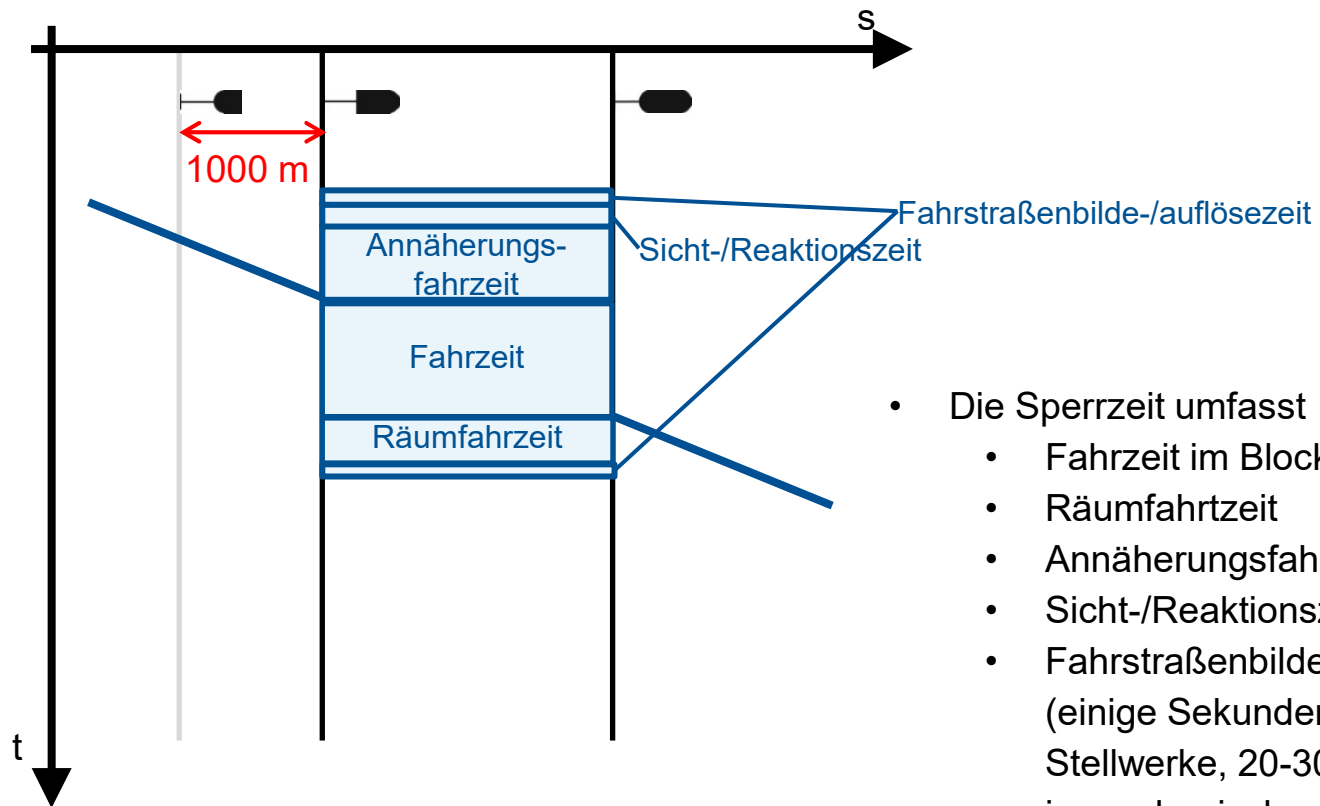
Sperrzeit



Sperrzeit



Sperrzeit

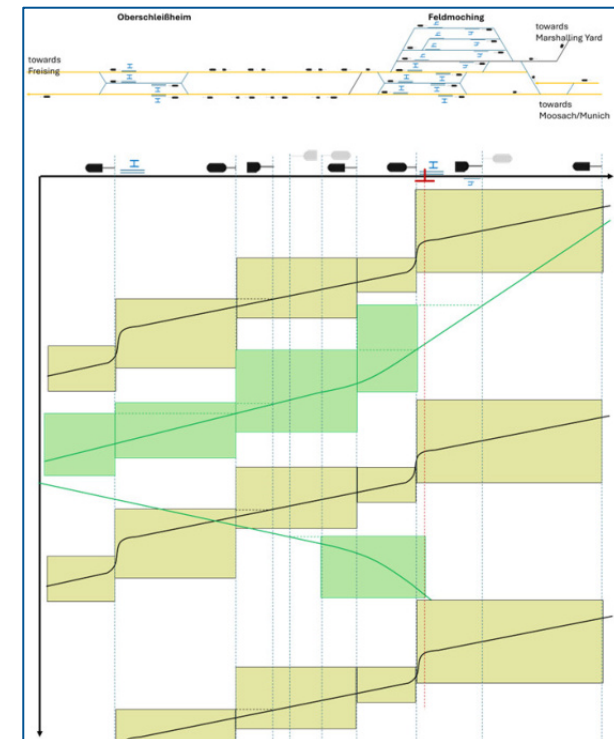


- Die Sperrzeit umfasst
 - Fahrzeit im Block
 - Räumfahrzeit
 - Annäherungsfahrzeit
 - Sicht-/Reaktionszeit
 - Fahrstraßenbilde-/auflösezeit(einige Sekunden für moderne elektronische Stellwerke, 20-30s für komplexe Fahrstraßen in mechanischer Stellwerkstechnik)

Sperrzeitentreppe

Für die Gesamtheit einer Zugfahrt ergibt sich aus den Sperrzeiten der einzelnen Blockabschnitte eine Sperrzeitentreppe

- Grundlage der Fahrplanung und Konflikterkennung
- Sperrzeiten im Fahrplan beinhalten die nominellen Belegungsansprüche von Zugfahrten
- Sperrzeiten im Betrieb beinhalten Zugwechselwirkungen und weichen vom geplanten Geschwindigkeitsprofil ab



Betriebliche Regelwerke – Durchführung von Zugfahrten



Bild: N. Weik

Durchführung des Bahnbetriebs

- **Aufgabenbereiche**
 - Zugbildung
 - Fahrwegsicherung
 - Abfertigung
- Die Ausführung von sicherheitsrelevanten Handlungen in den jeweiligen Aufgabenbereichen unterliegt strikten betrieblichen Regelwerken, welche Grundlage der Sicherheit des Betriebs sind
- Besondere Bedeutung hat hierbei die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Stellwerkspersonal (Fahrdienstleiter) und Triebfahrzeugführer bzw. Rangierpersonal



Bild: N. Weik

Zugbildung

Aufgabe des Verkehrsunternehmens

- Zugzusammenstellung, Traktionsart und –leistung müssen den Erfordernissen angepasst sein
- Einhaltung von Lichtraumprofil und max. zulässigen Zuglängen
 - Personenzug: max. 420 m
 - Güterzug: max. 750 m / 835m auf ausgewiesenen Strecken
- Streckenkunde des Personals
- Gewährleistung des betriebssicheren Zustands des Rollmaterials
 - Durchführung der Bremsprobe
 - Installation des Zugschlusssignals



Bild: N. Weik

Fahrwegsicherung

Aufgabe des Eisenbahninfrastrukturunternehmens

- Fahrdienstleiter überwacht und koordiniert Zug- und Rangierfahrten
- Prüfung des Fahrwegs, der Stellung und Endlage von Weichen
- Festlegung von Fahrstraßen und Kommunikation mit Betriebspersonal des EVU
- *Signalabhängigkeit* als Grundlage der Sicherungstechnik: „Fahrtstellung“ des Signals im Stellwerk nur möglich, wenn alle Voraussetzungen der Fahrwegsicherung erfüllt



Bild: Raimond Spekking, CC-BY-SA 4.0

Zugabfertigung

- Bei Erreichen der planmäßigen Abfahrtszeit werden nach Abschluss des Fahrgastwechsels die Türen geschlossen
- Abfahrauftrag wird erteilt, wenn alle Voraussetzungen erfüllt sind (Ausfahrtsignal auf „Fahrt“, Türen ordnungsgemäß geschlossen, Bahnsteigkontrolle)
- Abfahrauftrag durch örtlich zuständige Aufsicht (überwiegend historisch), oder durch Zugführer per Licht-/Handsignal bzw. inzwischen auch digital per App



Bild: Echtner, CC-BY SA 3.0



Img: indeedous/Wikimedia Commons

Regelwerke

AEG

Allgemeines
Eisenbahngesetz

EBO

Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Richtlinie

Bahnbetrieb

Betriebsleitstellen

Zusammenarbeit mit Eisenbahnverkehrsunternehmen

42002

Seite I

Handbuch

Bahnbetrieb

Fahrdienstvorschrift

Fahrdienstvorschrift; Richtlinien 408.0051 - 0056, 408.21 - 27 und
408.48

40820

Seite I

Sicherheitsmanagementsystem (Anforderung AEG)

- Voraussetzung für den Betrieb und die Benutzung des „übergeordneten Netzes“
- Beinhaltet
 - Sicherheitsgenehmigung für EIU
 - Sicherheitsbescheinigung / Zulassung von EVU

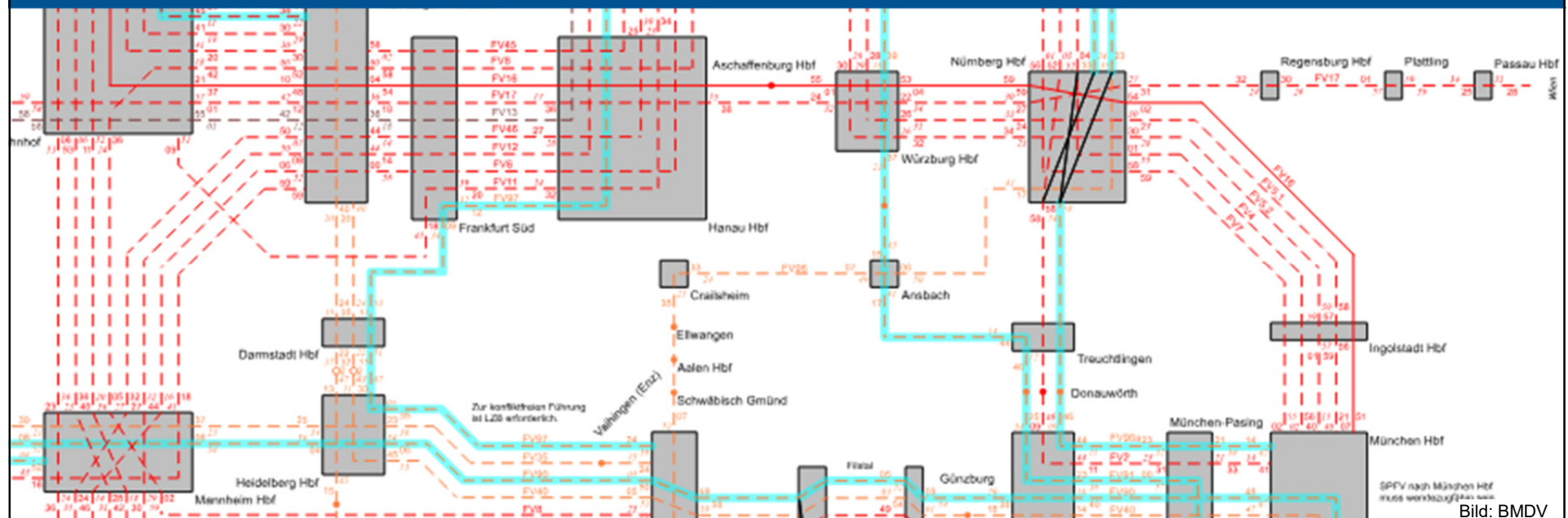
Eisenbahnbetriebsleiter

- Verantwortlich für die Sicherheit und die reibungslosen Abläufe im Eisenbahnbetrieb.
 - Überwachung / Durchsetzung der Regelwerke und Anordnungen
 - Schulung / Qualifikation von Personal

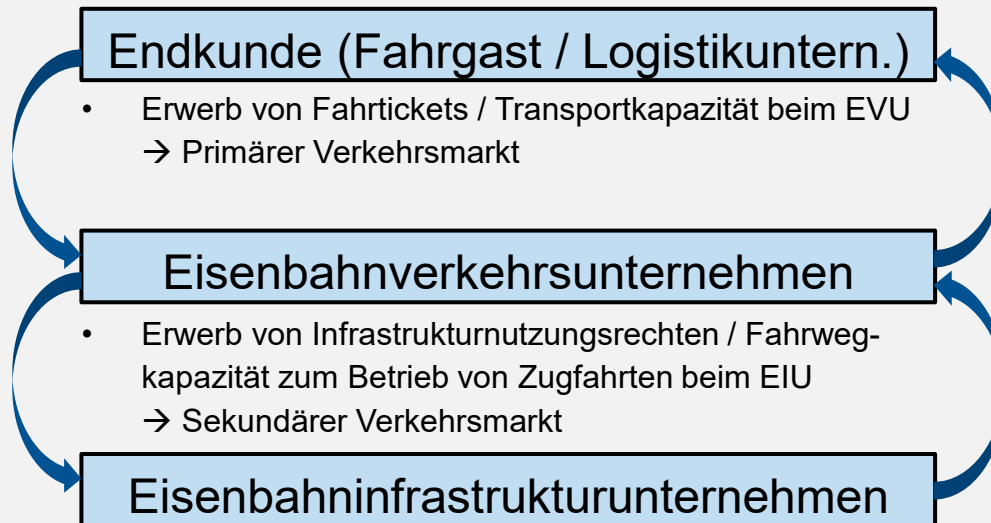
Betrieblich-technisches Regelwerke

- Detaillierte Vorgaben für betriebliche Handlungen
- Z.B. Signalebuch, Fahrdienstvorschrift, Notfallmanagement, Prozesse zur Abstimmung zwischen EIU und EVU, ...

Grundlagen der Fahrplanung



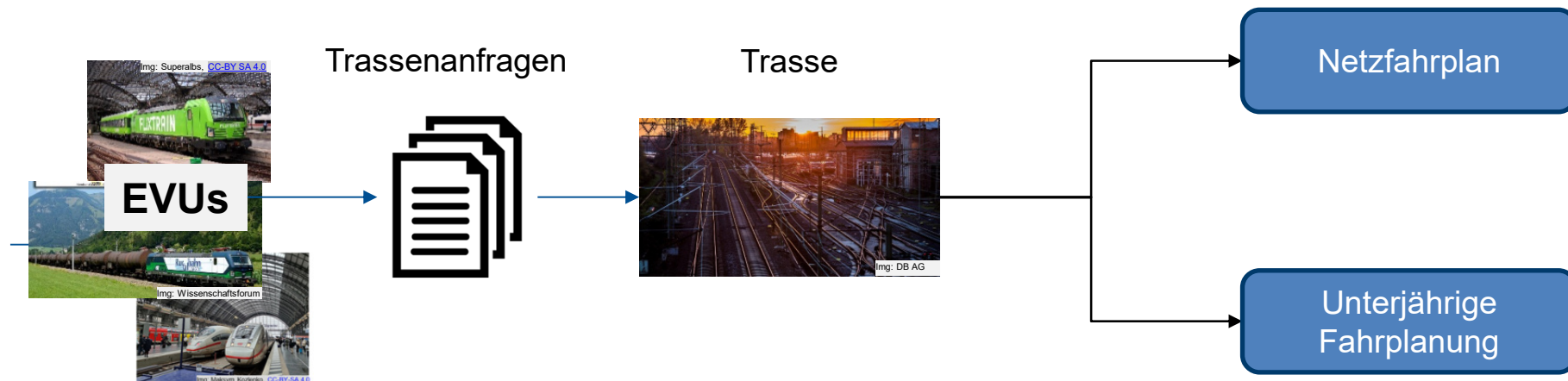
Der Schienenverkehrsmarkt



Fahrplanungsprozess

Es existieren zwei grundsätzliche Möglichkeiten für EVUs, Trassen zu erhalten:

- Im Zuge des jährlichen Netzfahrplans
- Als Ad-hoc Trassen im Rahmen der unterjährigen Fahrplanung (Gelegenheitsverkehr)

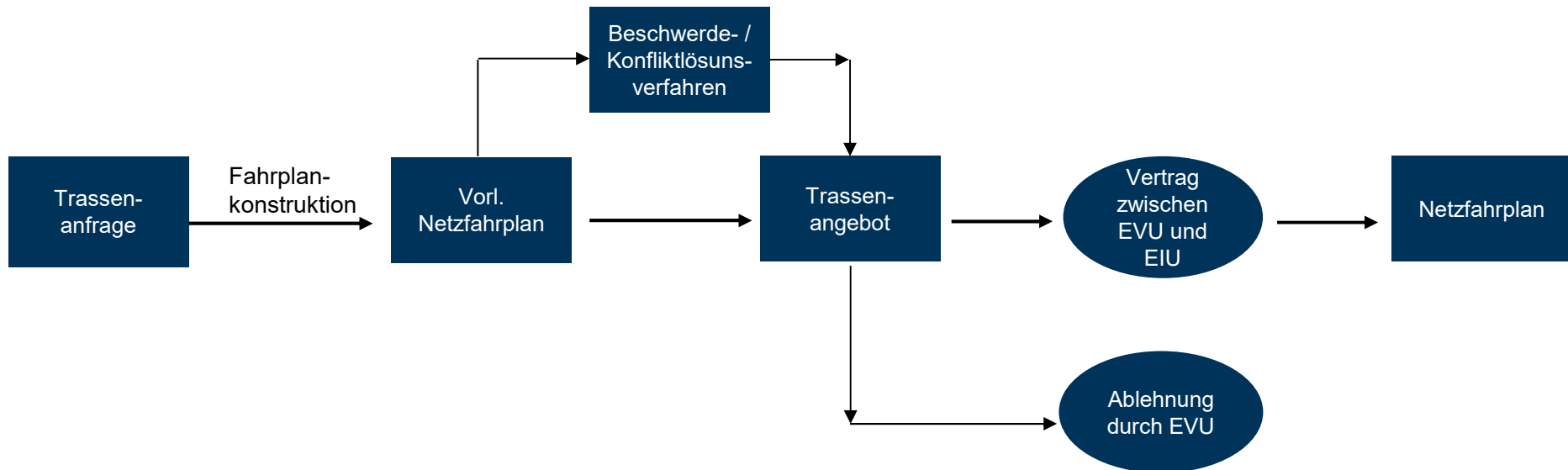


Fahrplanungsprozess



Es existieren zwei grundsätzliche Möglichkeiten für EVUs, Trassen zu erhalten:

- Im Zuge des jährlichen Netzfahrplans
- Als Ad-hoc Trassen im Rahmen der unterjährigen Fahrplanung (Gelegenheitsverkehr)

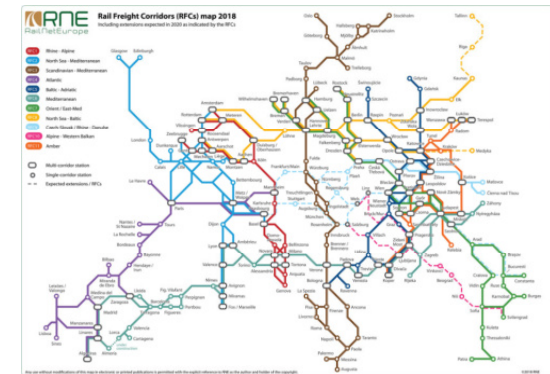


Der Fahrplan zum Netzfahrplan

Wichtige Termine zur Anmeldung für den Netzfahrplan 2025

Januar	08.01.2024	Veröffentlichung internationaler PaP-Kataloge (Pre-arranged Paths)
März	11.03.2024 – 08.04.2024	Trassenanmeldefrist erste Phase der Netzfahrplanerstellung
April	09.04.2024 – 25.09.2024	Trassenanmeldefrist zweite Phase der Netzfahrplanerstellung
	22.04.2024	Bekanntgabe Pre-allocation durch Korridor One-Stop Shop
Juli	01.07.2024 – 15.08.2024	Anmeldezeitraum Serviceeinrichtungen
	bis 01.07.2024	Vorläufiger Netzfahrplanentwurf erste Phase der Netzfahrplanerstellung
August	01.08.2024 – 30.08.2024	Bestellzeitraum für die infrastrukturbezogenen sowie zugabhängigen Fahrplanunterlagen (Fahrzeitenheft (FzTH), Buchfahrplan in geschlossener Darstellung (BfgD), Zugleitbetrieb (ZLB), Zugverzeichnis (Zv), Geschwindigkeitsheft (GeH))
	bis 02.08.2024	Stellungnahme des ZB oder des einbezogenen EVU zum vorläufigen Netzfahrplanentwurf erste Phase der Netzfahrplanerstellung
	bis 12.08.2024	Versand der Trassenangebote
	bis 19.08.2024	Annahme der Trassenangebote
	24.08.2024	Annahme der Angebote in PCS bei Kapazitätszuweisung über SGV-Korridore*
Oktober	bis 15.10.2024	Angebotsabgabe/-versand Serviceeinrichtungen durch DB Netz AG
	22.10.2024 (innerhalb von 5 Arbeitstagen)	Angebotsannahme Serviceeinrichtungen
November	bis 08.11.2024	Endgültiger Netzfahrplanentwurf zweite Phase der Netzfahrplanerstellung
Dezember	15.12.2024 um 00:00 Uhr	Beginn Netzfahrplan

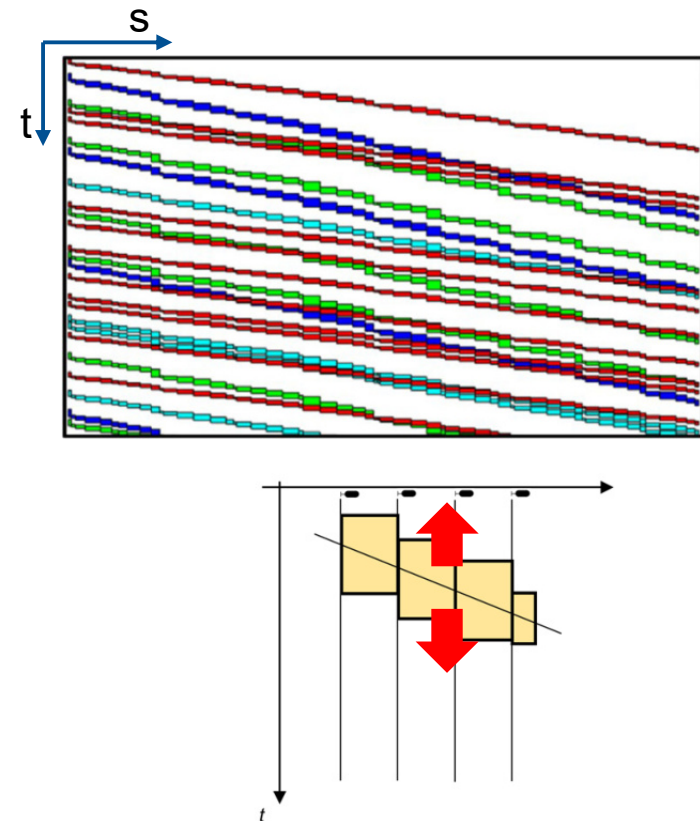
*Sollte die DB Netz AG aus der Netzfahrplanerstellung heraus Trassenablehnungen beabsichtigen, können sich die genannten Termine infolge der Unterrichtung nach § 72 Satz 1 Nr. 1 ERegG und der Vorabprüfung durch die BNetzA nach § 73 Abs. 1 Nr. 1 ERegG verschieben.



Datum harmonisiert in Europa

Vorgehen bei der Netzfahrplanung

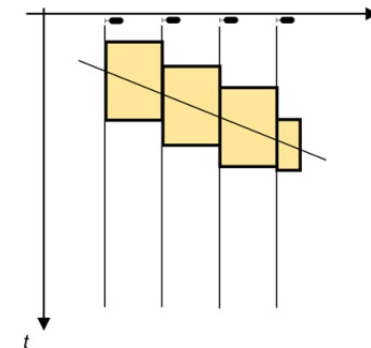
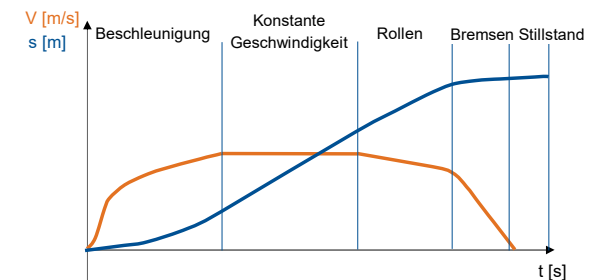
- Trassenanfragen unterschiedlicher EVU i.d.R. nicht konfliktfrei
 - Konfliktlösung erforderlich
 - Vorrangig im Einvernehmen (Koordinierungsverfahren)
 - Wenn keine einvernehmliche Lösung möglich, Priorisierung nach Vertaktungsgrad, grenzüberschreitendem Verkehr, Trassenentgelt (vgl. Ril 420)
 - Im Extremfall: per Trassenauktion
- Konstruktionsspielräume (1. Anmeldephase)
 - Personenzüge +/- 3 Minuten
 - Güterzüge +/- 30 Minuten
- Konstruktionsspielräume (2. Anmeldephase)
 - Personenzüge +/- 30 Minuten
 - Güterzüge +/- 60 Minuten
- Konstruktionsrichtlinien (z.B. in Bezug auf Fahrplanreserven und Pufferzeiten) sind einzuhalten



Fahrplanung – Vorgehen und Rahmenbedingungen



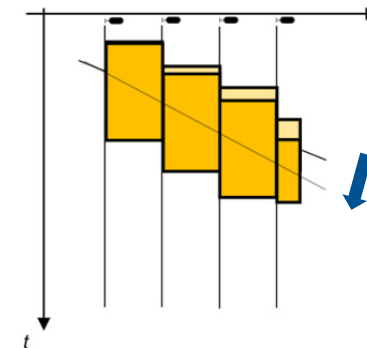
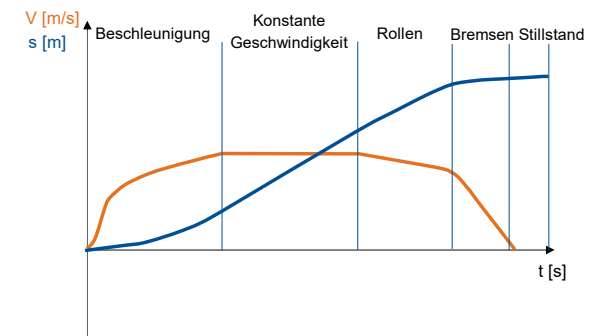
- Voraussetzung für die Fahrplanung ist die Berechnung der technisch möglichen Fahrzeiten auf Basis der vom EVU übermittelten Zugeigenschaften
- Der Bahnbetrieb überliegt systemimmanenten Varianzen durch z.B. Witterungsbedingungen
 - Trasse enthält **Fahrzeitreserven** um unterschiedliche Fahreigenschaften abzubilden
 - Verspätungen können aufgeholt werden
 - Energiesparende Fahrweise / Nutzung von Reserven bei pünktlichem Betrieb



Fahrplanung – Vorgehen und Rahmenbedingungen



- Voraussetzung für die Fahrplanung ist die Berechnung der technisch möglichen Fahrzeiten auf Basis der vom EVU übermittelten Zugeigenschaften
- Der Bahnbetrieb überliegt systemimmanenten Varianzen durch z.B. Witterungsbedingungen
 - Trasse enthält **Fahrzeitreserven** um unterschiedliche Fahreigenschaften abzubilden
 - Verspätungen können aufgeholt werden
 - Energiesparende Fahrweise / Nutzung von Reserven bei pünktlichem Betrieb
- **Regelzuschlag:** 3-7% (7% UIC-Empfehlung)
 - Zur Abbildung von Systemvarianzen
 - Prozentualer Zuschlag zur techn. minimalen Fahrzeit
- **Haltezeitreserven** werden zusätzlich zur minimalen Haltezeit/Fahrgastwechselzeit geplant
- **Knotenzuschlag:** pauschaler Zuschlag vor/nach großen Knotenbahnhöfen
 - Pauschaler Zuschlag zur Mitigation von Verspätungen in komplexen Knoten
- **Bauzuschlag:** zur Berücksichtigung von Langsamfahrstellen/Baumaßnahmen



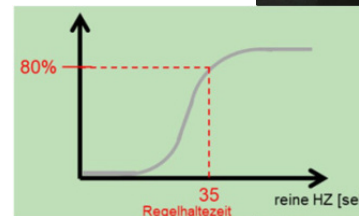
Fahrplanung – Vorgehen und Rahmenbedingungen

- Voraussetzung für die Fahrplanung ist die Berechnung der technisch möglichen Fahrzeiten auf Basis der vom EVU übermittelten Zugeigenschaften

- Haltezeiten:**

Verkehrssegment	Mindesthaltezeit
Schienenpersonennahverkehr	0.5-0.7min
Schienenpersonenfernverkehr	2 min
Halt mit Flügeln/Schwächen	3 min
Halt mit Vereinigung / Stärken, bei Wenden / Fahrtrichtungswechsel	5 min
Stärken ohne automatische Kupplung	8 min
S-Bahn / U-Bahn	20-40 s

- Die **Regelhaltezeit** wird so dimensioniert, dass sie mit einer Wahrscheinlichkeit von min. 80% im Regelbetrieb eingehalten werden kann (RiL 405)
- Zusätzliche **Haltezeitzuschläge** werden in Abhängigkeit der betrieblichen Komplexität als Fix-Zuschlag pro Zug geplant

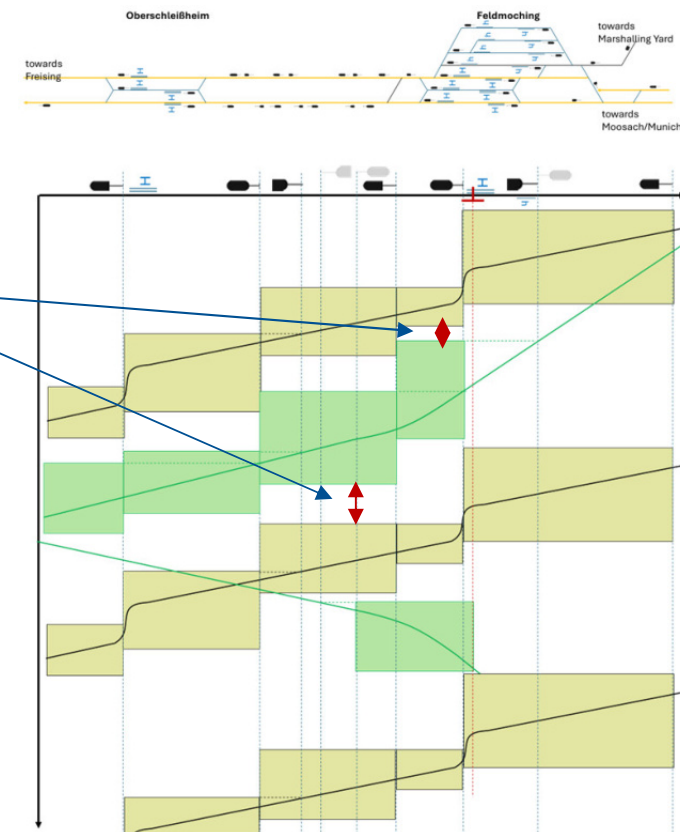


Fahrplanung – Vorgehen und Rahmenbedingungen



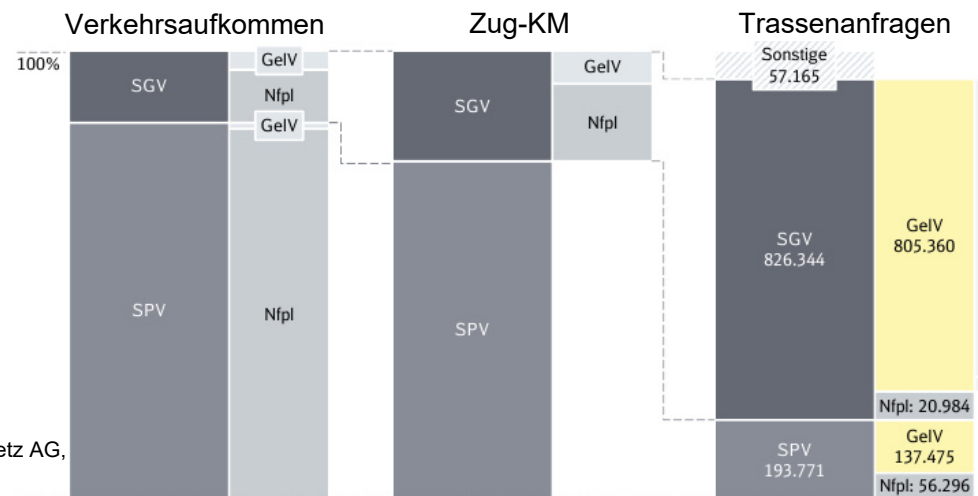
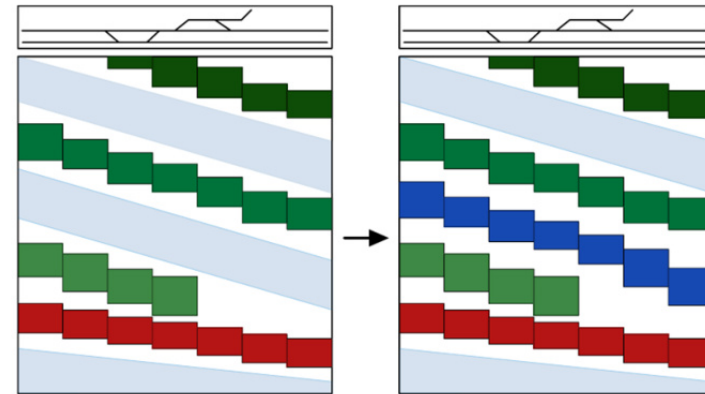
Zielkonflikte

- Voraussetzung für die Fahrplanung ist die Berechnung der technisch möglichen Fahrzeiten auf Basis der vom EVU übermittelten Zugeigenschaften
- Zur Vermeidung von Verspätungsübertrag zwischen Zügen werden **Pufferzeiten** geplant, die Standard-Mindestpufferzeit beträgt 60s
- Interessenkonflikt bei der Fahrplanung:



Unterjährige Fahrplanung

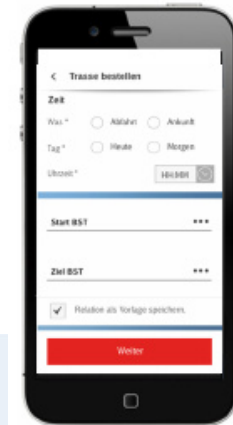
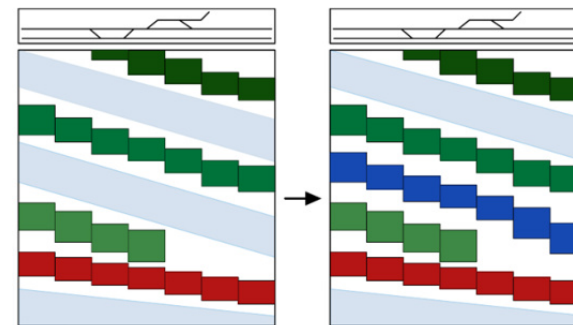
- Logistik / Schienengüterverkehr
 - Verkehrsaufkommen stark abhängig von wirtschaftlicher Lage
 - Fixierung des Angebots 1 Jahr im Voraus unrealistisch
 - Hohes Aufkommen von Einzeltrassenanfragen mit kurzer Vorlaufzeit (einige Tage bis Wochen)
- Zusätzliche Trassen können nach Maßgabe der Konstruierbarkeit unterjährig geplant werden



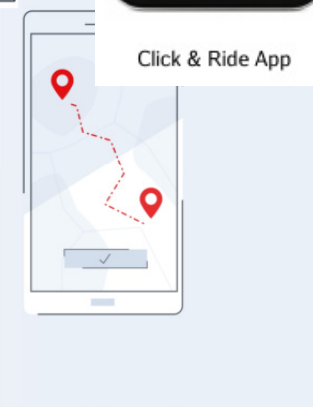
Vergabeprozess im unterjährigen Fahrplan

- Früher: Manuelle Trassenkonstruktion im Gelegenheitsverkehr
- Heute: Vorgeplante Slots (Systemtrassen) im Netzfahrplan, die zu einem späteren Zeitpunkt an EVUs im Gelegenheitsverkehr verkauft werden können
- Automatische Trassenzuweisung (Slot Allokation) mittels mathematischer Optimierung
- Transformation von make-to-order zu (standardisiertem) assemble-to-order Prozess
 - Reduktion von Reaktionszeiten und Workload
 - Click-and-Ride: Trassenangebot binnen 3 Minuten per App bis zu 45min vor Abfahrtswunsch

Click and Ride



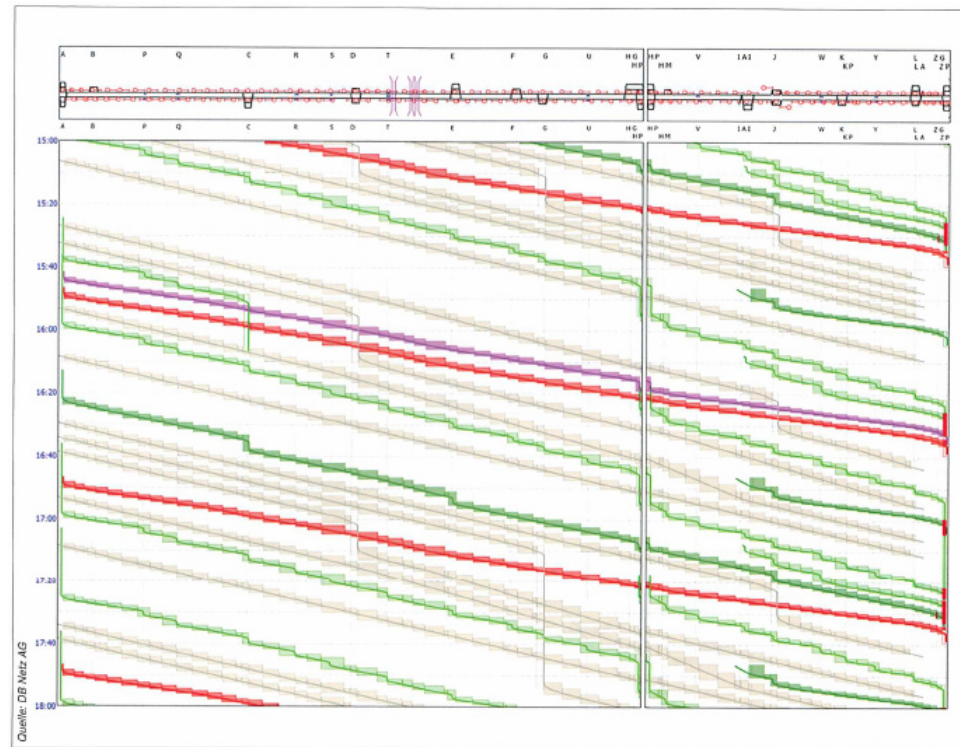
Click & Ride App



Herausforderungen

Vor-Allokation von Trassenkapazität (Slots) bedeutet Standardisierung

- Gut geplante Trassen für standardisierte Zugkategorien, aber: kein Zug (insbes. im Frachtsegment) ist wie jeder andere
- Größere Reserven nötig für die Trassen, um für verschiedene Züge passfähig zu sein
- Vorplanfahrten pünktlicher Züge
- Wie sollten Trassen geplant werden?
Wie viele Trassen sind vorzusehen / belegbar?
- Stärkere Kopplung mit Nachfragemodellen



Europäische Initiative: Rollierende Fahrplanung

Trend hin zu stärkerer Vorkonstruktion

- RailNetEurope (Verband der EIUs in der EU): Identifikation und Vorausplanung von Trassen für unterschiedliche Marktsegmente

Planning phase	Annual Timetable Planning	Rolling Planning	Short-term Planning	
Request possibilities	Annual Timetable & Late requests (\Rightarrow X-2)	Rolling Planning requests (M-120 \Rightarrow M-30 days)	Ad hoc requests (X-2 \Rightarrow M-30 days)	Short-term ad hoc requests (< 30 days)
Validity	X \Rightarrow X+12	Multi-annual up to 36 months	X \Rightarrow X+12	
Capacities used	Pre-constructed Annual Timetable capacity; Unplanned capacity	Pre-constructed Rolling Planning capacity	Unplanned capacity; Residual Annual Timetable capacity; Pre-constructed Ad hoc capacity (if applicable)	Unplanned capacity; Residual Annual Timetable capacity; Residual Rolling Planning capacity; Residual Ad hoc capacity (if applicable)
Timetable process	Annual Timetable process	Rolling Planning process	Ad hoc process	

X = Timetable change in Mid-December; M = day of operation

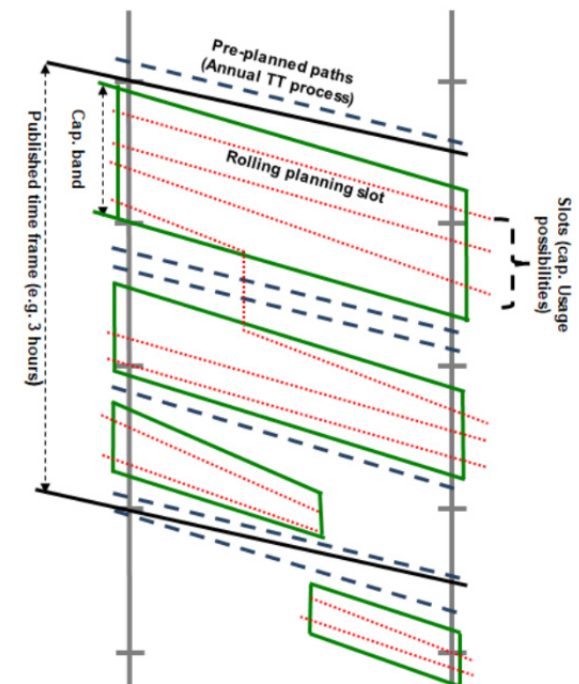


Bild: RNE

Fahrplanstrukturen

Aktuell: Paradigmenwechsel hin zu fahrplangetriebener strategischer Planung (Deutschland-Takt)

- Koordinierung von Linien in Knotenbahnhöfen
 - Optimierung von Umstiegsbeziehungen
 - „pulsierender“ Fahrplan
- Umsetzung eines Deutschland-Takts nach Schweizer Vorbild

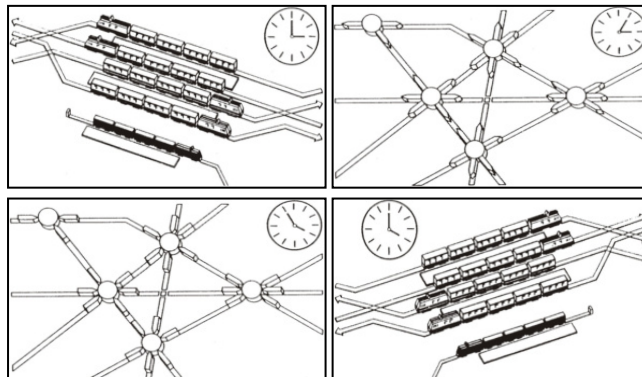


Bild: Schweizer Eisenbahn-Revue (1987)

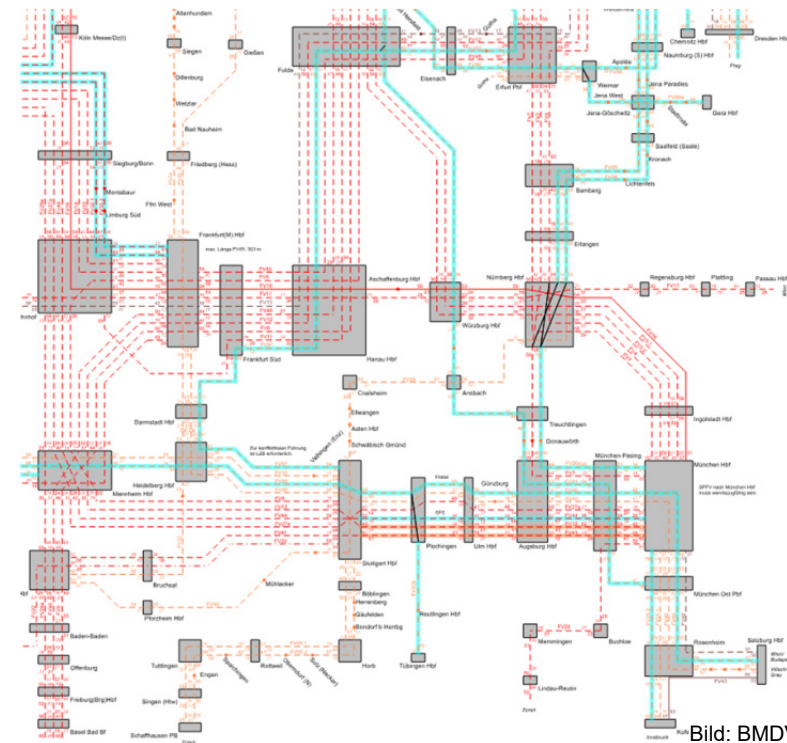


Bild: BMDV

Störungen und betriebliches Management von Verspätungen

Abfahrt *Departure / Départ*



Zeit Time/Tempo	Über via	Ziel Destination	Gleis Platform/Vue
19:22 <small>19:22</small> IC 2311	Frankfurt(M)Süd - Aschaffenburg	München Hbf	Fern 6
19:30 <small>19:30</small> ICE 713		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 4
19:57 <small>19:57</small> ICE 1222	Mainz Hbf - Koblenz Hbf - Solingen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:09 <small>20:09</small> ICE 1690	Frankfurt(M)Süd - Hanau Hbf - Fulda	Berlin Ostbahnhof	Fern 4
20:19 <small>20:19</small> ICE 129		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 5
20:23 <small>20:23</small> ICE 528	Düsseldorf Hbf - Duisburg Hbf - Essen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:28 <small>20:28</small> ICE 1128	Mainz Hbf	Wiesbaden Hbf	Fern 7
x 20:29 <small>20:29</small> ICE 829	Zug fällt aus	Passau Hbf	-
20:35 <small>20:35</small> ICE 821	Frankfurt(M)Hbf - Nürnberg Hbf	München Hbf	Fern 5
x 20:41 <small>20:41</small> ICE 1120	fliegt aus +++ LH 3498 - Lufthansa Express Rail	Düsseldorf Hbf	-
20:46 <small>20:46</small> RB 58	Frankfurt(M)Süd - Maintal Ost - Hanau Hbf	Aschaffenburg Hbf	Fern 4

beachten Sie das Gesetz zur FFP2-Maskenpflicht in Fernverkehrszügen und die Verordnung zur Maskenpflicht im ÖPNV +++

img: N. Weik

Verspätung



- **Verspätung** ist die Zeit, die ein Zug an einem spezifischen Punkt seiner Fahrt von der geplanten Zeit abweicht
- Basierend auf dieser Definition, kann eine Verspätung sowohl positiv als auch negativ sein
- Es existieren unterschiedliche Klassen von Verspätungen
 - *Primär- oder Urverspätungen*
 - Bezeichnen Verspätungen, die ein dezidierter Zug innerhalb des Untersuchungsbereichs erleidet
 - *Sekundär- oder Folgeverspätungen*
 - Sind Verspätungen, die ein durch andere Züge auf einen Zug übertragen werden
 - Würden nicht auftreten, wenn alle Züge planmäßig verkehren

Zeit	Train	Über	Ziel	Platform
19:22	ICE 2311	Frankfurt(M)Süd - Aschaffenburg	München Hbf	Fern 6
19:30	ICE 713		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 4
19:57	ICE 1222	Mainz Hbf - Koblenz Hbf - Solingen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:09	ICE 1090	Frankfurt(M)Süd - Hanau Hbf - Fulda	Berlin Ostbahnhof	Fern 4
20:19	ICE 129		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 5
20:23	ICE 528	Düsseldorf Hbf - Duisburg Hbf - Essen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:28	ICE 1128	Mainz Hbf	Wiesbaden Hbf	Fern 7
20:29	ICE 920	Frankfurt(M)Hbf - Nürnberg Hbf	Passau Hbf	-
20:35	ICE 824	Frankfurt(M)Hbf - Nürnberg Hbf	München Hbf	Fern 5
20:41	ICE 1100	Frankfurt(M)Süd - Maintal Ost - Hanau Hbf	Düsseldorf Hbf	-
20:46	RB 58	Frankfurt(M)Süd - Maintal Ost - Hanau Hbf	Aschaffenburg Hbf	Fern 4

Bild: N. Weik

Folgeverspätungen nehmen ca. 60-70% der Gesamtverspätungen ein

Verspätungskodierung



- Zuwachsverspätungen ab >90s sind von Fahrdienstleiter/Disponent bzgl. Ursache zu codieren
 - Ril 420
- Grundlage betrieblicher Steuerungsprozesse
 - Netzzustandsreport, Pönnen für öffentlich bezuschusste Leistungen im SPNV

Kodierung der Zusatzverspätungen

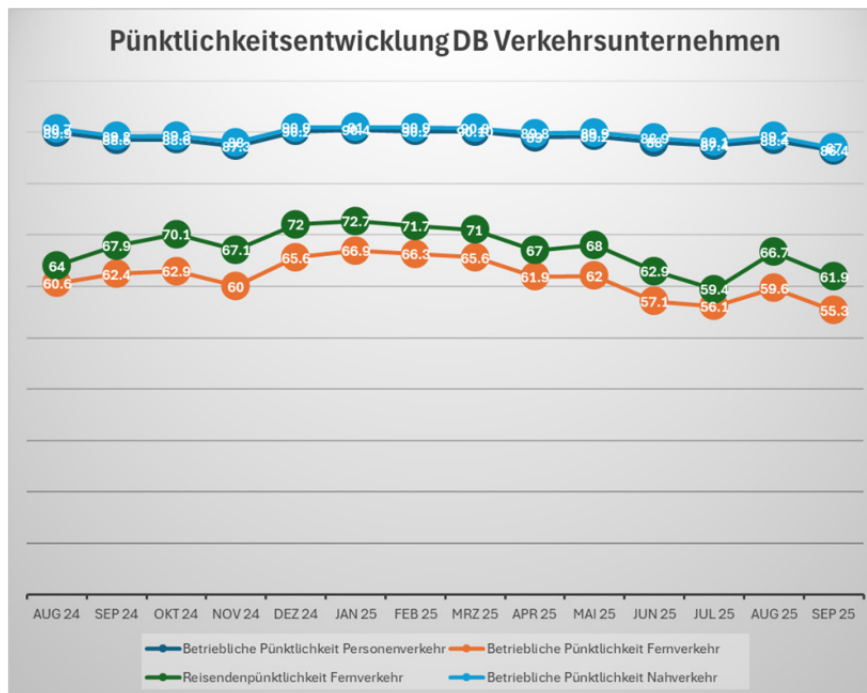
Betriebsplanung Betriebsführung	Betreiber der Schienenwege (BdS) Infrastruktur Technik	Bauliche Gründe	andere Infrastruktur (EIU)	Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) Verkehrliche Durchführung	Fahrzeuge	EVU auf Nachbarnetz	Externe Einflüsse	Sekundäre Ursachen
10 Fahrplanerstellung	20 Stromversorgungs- anlagen (Fahrstrom)	30 Mängelansam- fahrstelle	40 Nächster EIU	50 Haltezeitüber- schreitung	60 Umlauf- Einsatzplanung	70 Nächstes EVU	80 Externe Einflüsse nächstes EIU	90 Gefährliche Ereignisse
	21 Telekommunikations- anlagen	31 Bauarbeiten/Arbeiten	41 Vorheriger EIU	51 Antrag EVU	61 Zugbildung durch EVU	71 Vorheriges EVU	81 Anordnung NZL - Streik	91 Zugfolge - wegen Vorrang anderer Züge
12 Fehldisposition	22 Bauwerke	32 Unregelmäßigkeit bei Bauarbeiten/Arbeiten		52 Ladearbeiten	62 Reisezugwagen		82 Witterung	92 Zugfolge - betreffender Zug war verspätet
13 Vorbereitung	23 Fahrbahn			53 Unregelmäßigkeiten an der Ladung	63 Güterwagen		83 Schmierfilm	93 Umlauf
14 Anfangsverspätung bei Zügen des Netzes	24 Bahnübergangs- sicherungsanlagen			54 Verkehrliche Zugvorbereitung	64 Triebfahrzeuge		84 Behörden	94 Anschluss
	25 Anlagen Leit- und Sicherungstechnik						85 Fremdeinwirkung	95 Flügel
	26 Weichen		46 Anlagen DB Energie					96 Anordnung NZL - Weitere Untersuchungen erforderlich
	27 Netzfahrzeuge		47 Anlagen S&S	57 Keine Meldung durch EVU				
18 Betriebliches Personal Netz	28 Technisches Personal Netz		48 Personal S&S und DB Energie	58 Verkehrliches Personal EVU	68 Technisches Personal EVU			
19 Sonstiges Betrieb Netz	29 Sonstiges Technik Netz		49 Sonstiges S&S und DB Energie	59 Sonstige verkehrliche Gründe EVU	69 Sonstiges Fahrzeuge EVU			

Folgeverspätungen

Fachautor: LNBB 32; Herr Dennis René Sann; Tel.: 955-31469

Gültig ab 10.12.2023

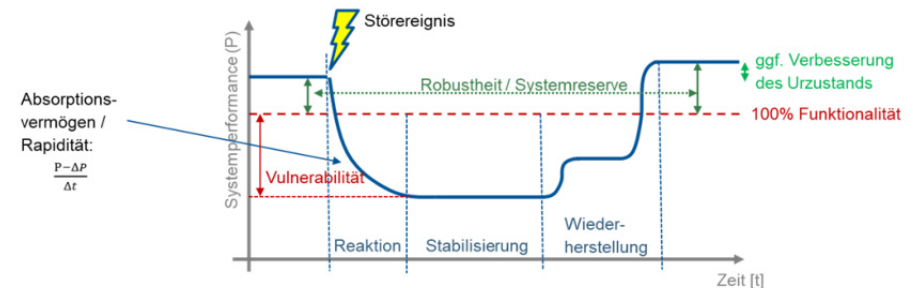
Pünktlichkeit



- Betriebliche Pünktlichkeit:
Zugverspätung < 5:59 min
 - Reisendenpünktlichkeit:
Ankunftsverspätung Reisende < 14:59 min
 - Andere Länder:
 - CH: Pünktlichkeitsschwelle: 2:59 min
 - NL: Pünktlichkeitsschwelle: 4:59 min
 - AT: Pünktlichkeitsschwelle: 5:29 min
- Ein Direktvergleich der kommunizierten Pünktlichkeitswerte ohne Diskussion der Schwellwerte ist irreführend

Begriffsklärung: Robustheit und Resilienz

- Verspätungen und Störungen im Bahnbetrieb haben mannigfaltige Ursachen
- In der Modellierung von Störungen wird unterschieden zwischen
 - kleinere, regelmäßig auftretenden Unregelmäßigkeiten (z.B. durch Witterung, erhöhtes Reisendenaufkommen, etc.
 - Größere Störungseignissen wie Infrastrukturausfällen oder Fahrzeugstörungen, die Veränderungen am Zuglauf bedingen



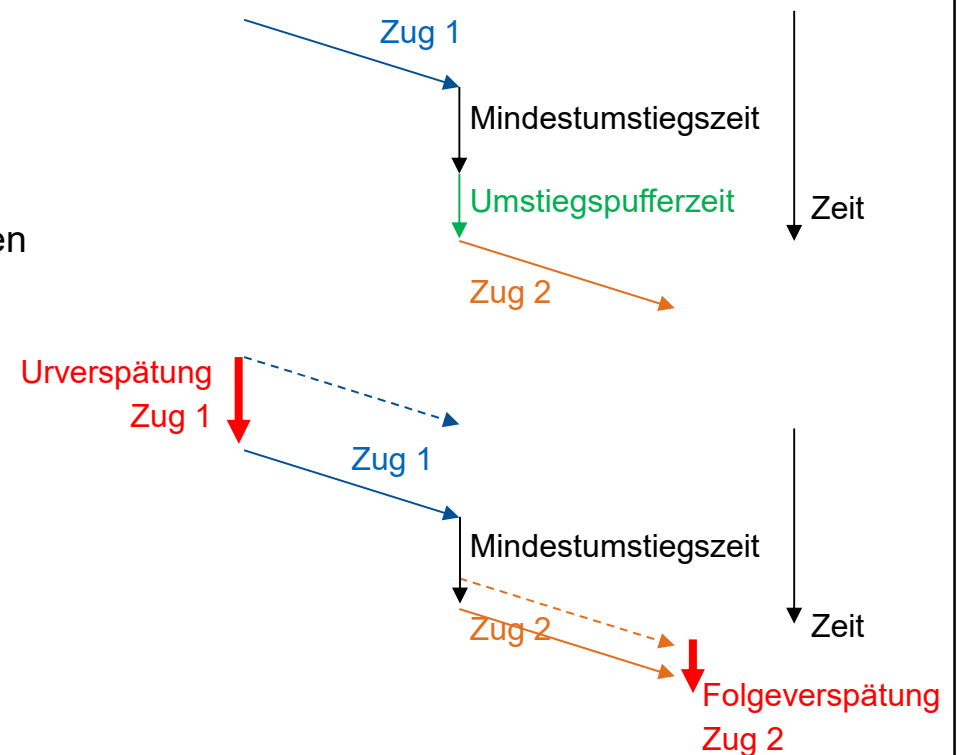
Robustheit: System ist auf entsprechende Störereignisse hin auszulegen
→ Gegenstand der Dimensionierung

Resilienz: Management-/Mitigationsstrategien zur Behebung sind zu definieren / optimieren
→ Gegenstand des Störungsmanagements

Verspätungsübertragung

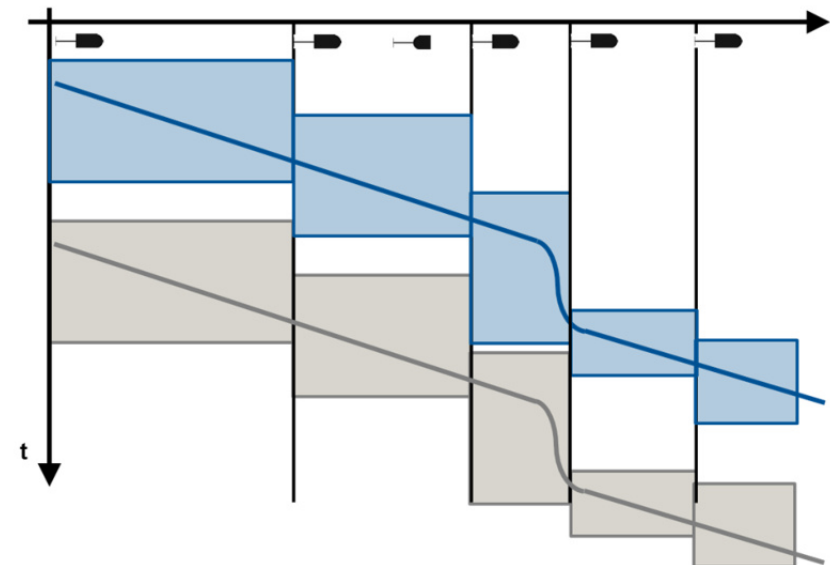


- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen



Verspätungsübertragung

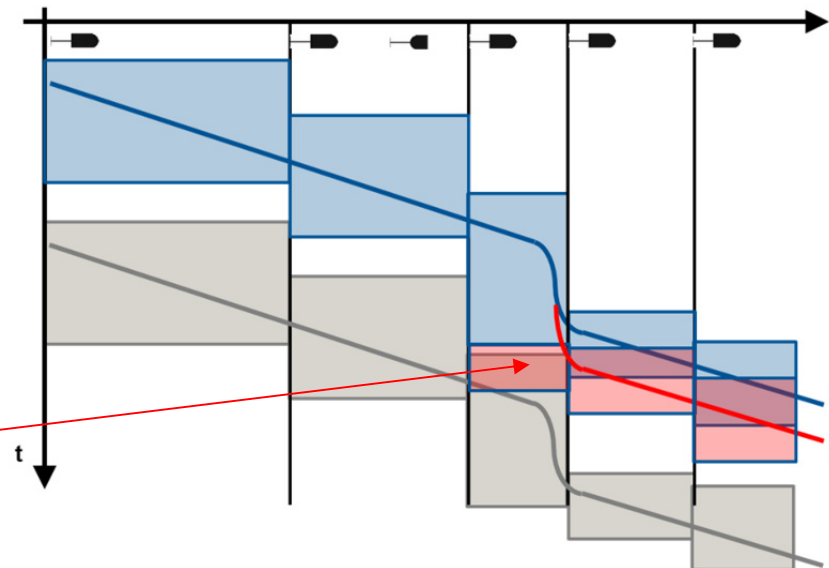
- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen



Verspätungsübertragung

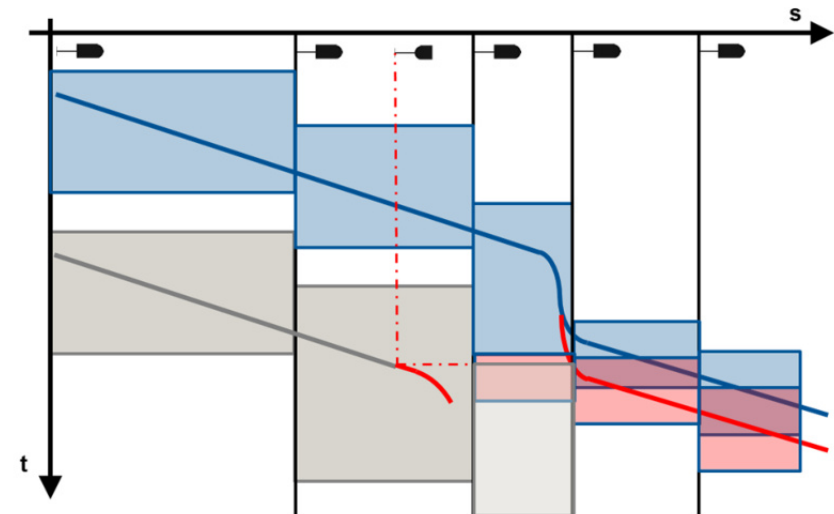
- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen

Haltezeitüberschreitung



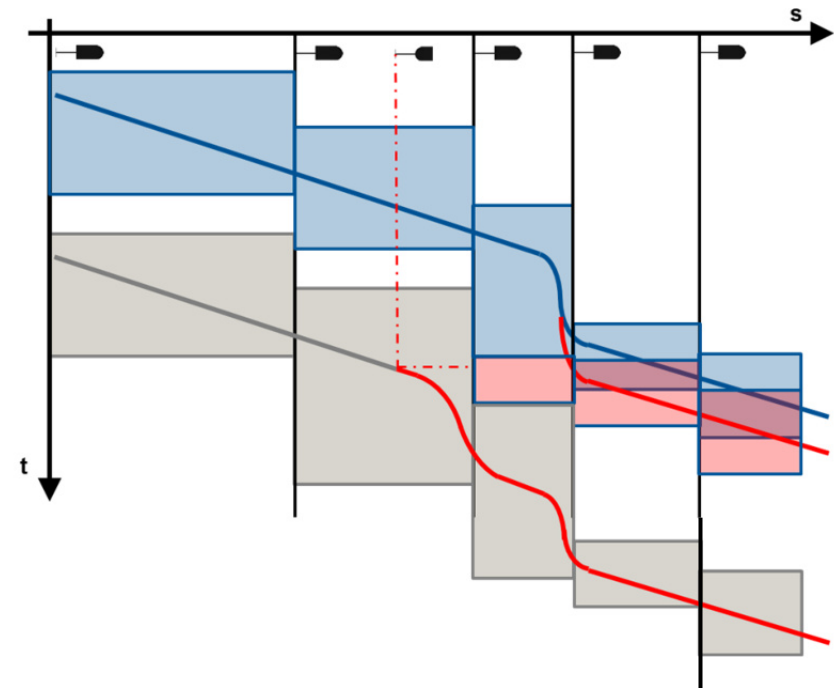
Verspätungsübertragung

- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen

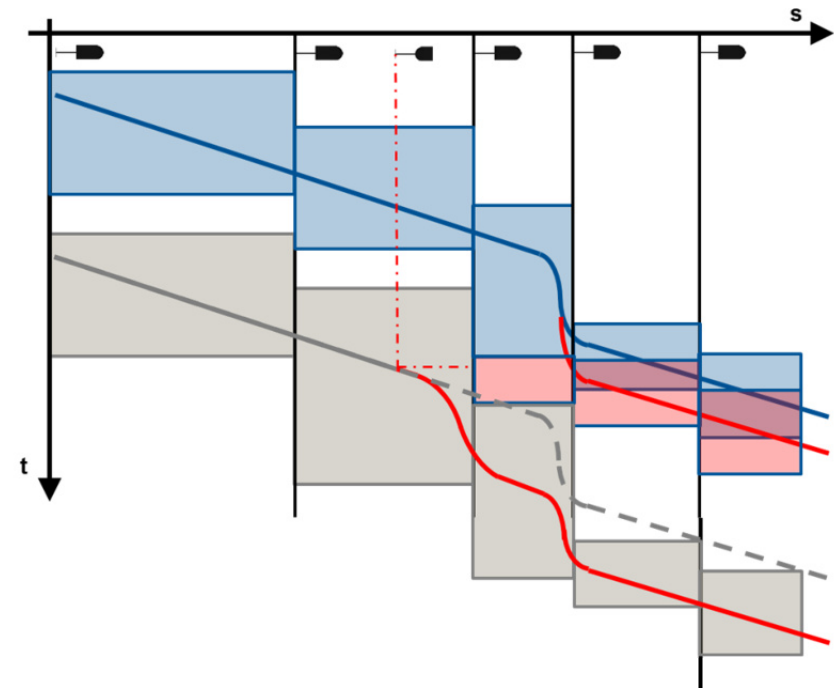


Verspätungsübertragung

- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen



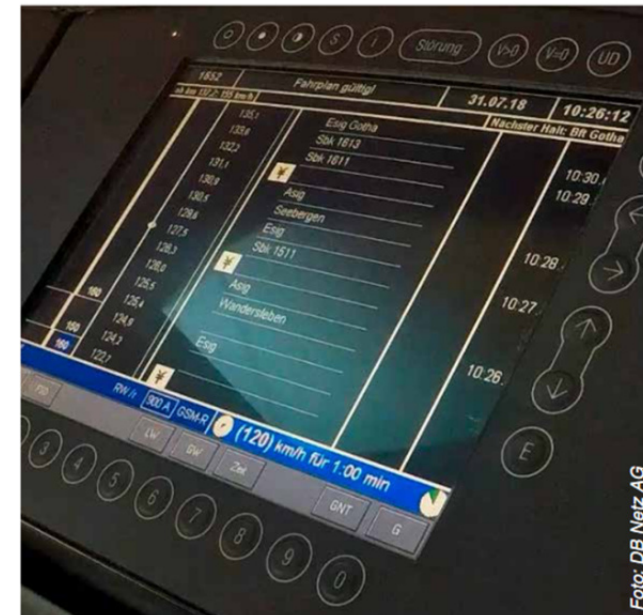
- Ein verspäteter Zug kann durch Gleisbelegungs- oder Anschlusskonflikte Verspätung auf andere Züge übertragen
 - Verspätungsübertragung / Folgeverspätungen
 - Die übertragene Folgeverspätung kann größer als die Differenz der Fahrlagen sein
 - Nichtlineare Effekte durch Veränderung des Geschwindigkeitsprofils



Verspätungsmanagement

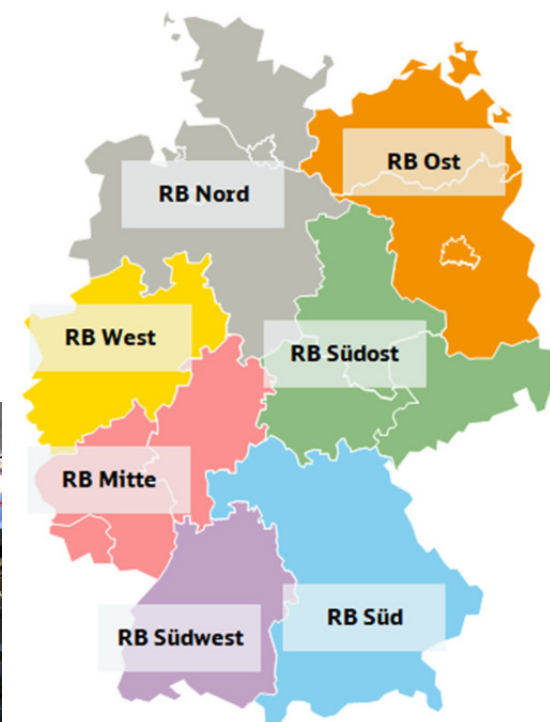
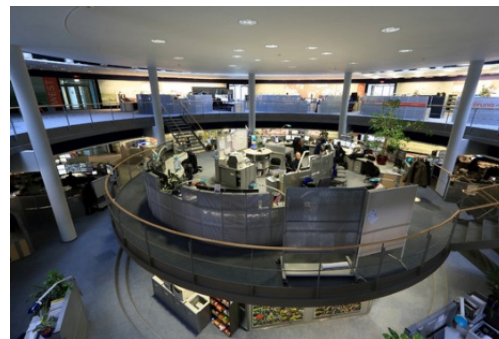


- Intelligentes Verspätungsmanagement ist eine gesamtheitliche Aufgabe
 - Planung robuster Fahrpläne mit hinreichend Reserven und Pufferzeiten
 - frühzeitige Erkennung und Lösung von Konflikten
 - Bereitstellung wertiger Informationen an den Triebfahrzeugführer
 - Präzises und vorausschauendes Fahren
- Technische Hilfssysteme / Fahrerassistenzsysteme
- Zukünftig: integriertes Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem (CTMS) als Grundlage für die betrieblich präzise Steuerung des Systems Bahn



Organisation der Disposition

- Europäische Bahnsystem: Komplexe Netzwerke mit langreichweitigen Wechselwirkungen
- Betriebliche Entscheidungen an Ort A können Auswirkung auf andere Regionen haben
 - Netzwerkeffekte
 - Belegungskonflikte
 - Anschlusskonflikte
 - Umläufe (Personal/Fahrzeuge)
 - Folgeverspätungen
- Zentrale, harmonisierte Steuerung nötig
 - Regionale Betriebsleitstellenn
 - Netzleitzentrale für Koordination auf nationaler Ebene



Aufgaben und Ziele der Disposition



Ziele der Disposition:

Die betriebliche Disposition hat die Erkennung und Lösung betrieblicher Konflikte zum Ziel, sodass die betriebliche Stabilität optimiert und Verspätungen minimiert werden. Entscheidungsgrundlage sind hierfür die gegenwärtige oder prognostizierte Netzsituation.

Aufgaben der Disposition:

- Überwachung des Betriebs
→ Vergleich geplanter und tatsächlicher Zugtrajektorien
- Konflikterkennung
→ Prognose der Zeit-Weg-Linien / betrieblichen Sperrzeiten der Züge
- Konfliktlösung → Bewertung der Effekte möglicher Konfliktlösungen und Lösen von Konflikten inklusive möglicher Folgekonflikte
- Umsetzung der Konfliktlösungsentscheidungen und Kommunikation mit den EVUs / Triebfahrzeugführer

Aufgaben und Ziele der Disposition

Dispositionsziele nach RiL 420

- Wiederherstellung der Planmäßigkeit bzw. des Regelzustands
- Gewährleistung der Flüssigkeit des Betriebes
- Verbesserung der Gesamtpünktlichkeit aller Züge
- maximale Auslastung der Kapazität von Strecken und Knoten

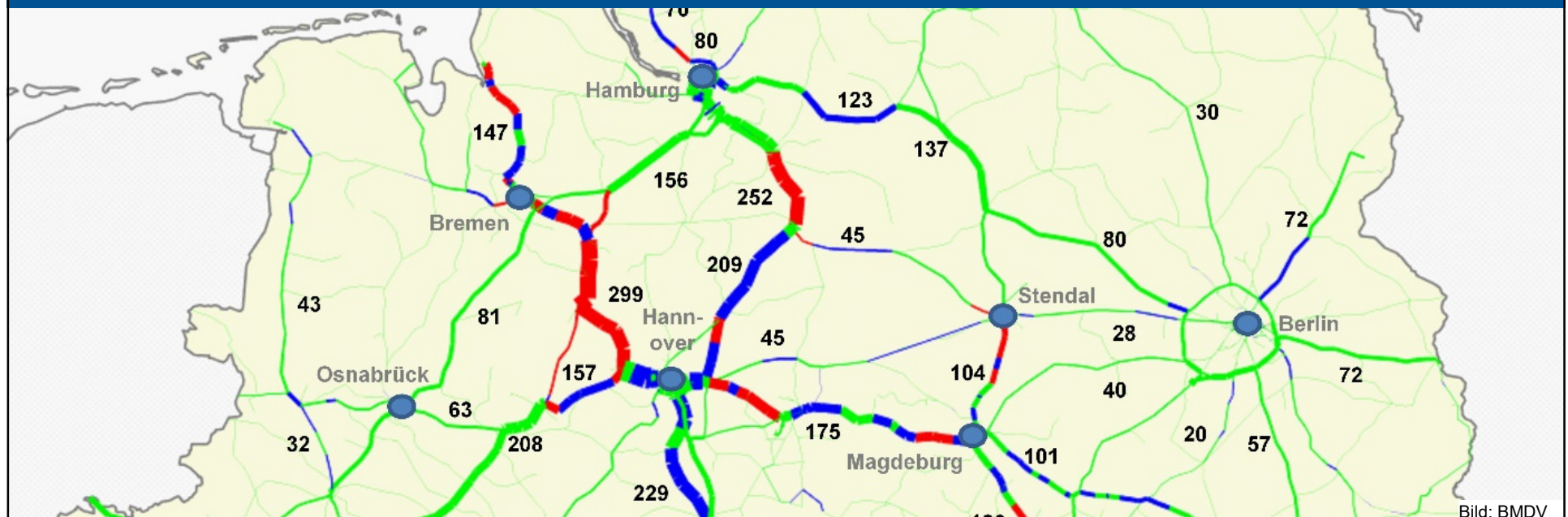
Zum Erreichen der Ziele gelten grundsätzlich folgende Präzedenzregelungen:

1. Dringende Hilfszüge
 2. Schienenpersonenfernverkehr, Marktsegment „Express“
 3. Express-Güterzüge
 4. Bei gleichwertigen Zügen haben schnellere Züge grundsätzlich Vorrang
- Dispositionsunterschätzung auf Basis mathem. Optimierung und KI



Bild: DB InfraGO

Leistungsfähigkeit von Bahnanlagen



Leistungsfähigkeit von Schienenverkehrssystemen



Kernfrage: Wie viele Züge können auf einer gegebenen Infrastruktur in einem definierten Zeitraum betrieben werden?

Theoretische Leistungsfähigkeit bezeichnet die Zahl maximal konfliktfrei planbarer Trassen

- **Problem: Keinerlei Robustheit**
- **Praktisch untauglich**

Die **praktische Leistungsfähigkeit** bewertet die Leistungsfähigkeit in Relation zu einem Qualitätsmaß (Level of Service), das eingehalten werden soll

- Bedarf dafür Modellen, die den Zusammenhang zwischen Zugzahl und Qualität modellieren



Bild: N. Weik

Die darstellbare Leistungsfähigkeit hängt ab von...

- Mindestzugfolgezeiten
 - Infrastruktur (Blocklängen, Sicherungssystem)
- Betriebsprogramm
 - Zuggeschwindigkeiten
 - Geschwindigkeitsschere (Variation)
 - Haltepolitiken
 - Zugfolge
- Betrieblicher Effizienz
 - Grundzuverlässigkeit / Stärke des Störgeschehens (Grundrauschen)

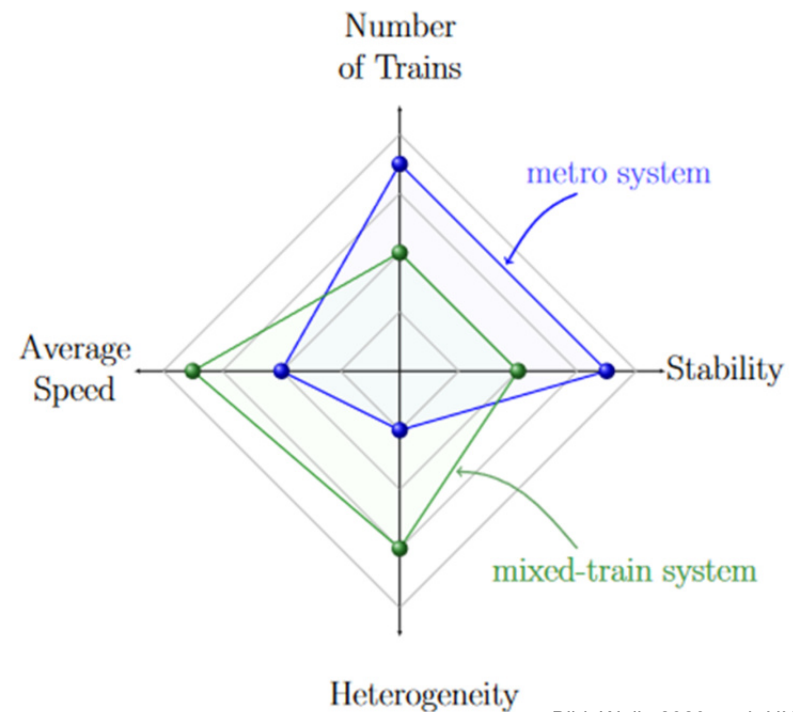
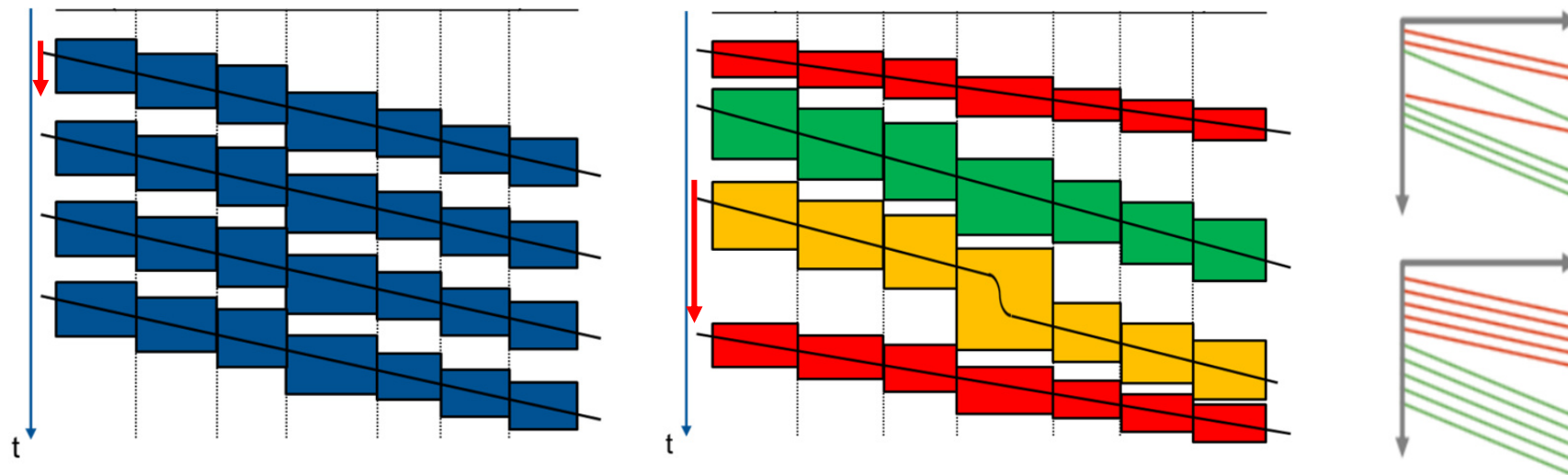


Bild: Weik, 2020 nach UIC, 2004

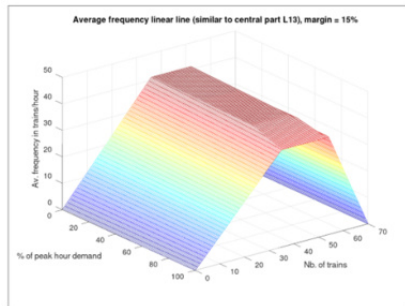
Heterogenität des Betriebsprogramms führt zu ineffizienterer Kapazitätsnutzung



- Auslastung als internationales Maß für Kapazität
- Unzureichend zur Charakterisierung der Betriebsqualität:
 - Verfahren zur Leistungsfähigkeitsbewertung

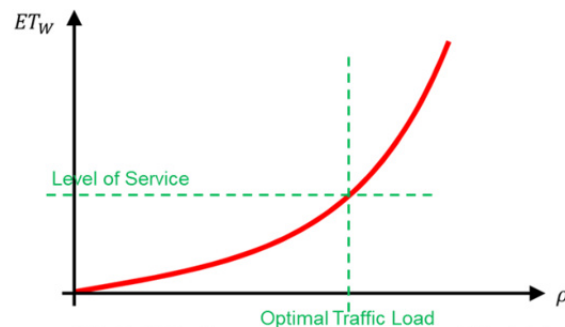
Vier Gruppen von Indikatoren, die in Kapazitätsplanungsverfahren zum Einsatz kommen

Machbarkeit / Durchsatz

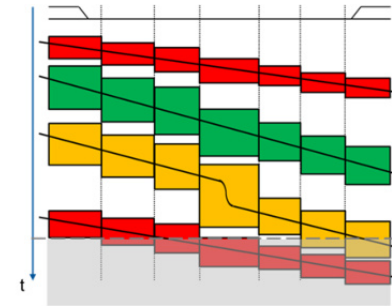


Img: Schanzenbächer, 2022

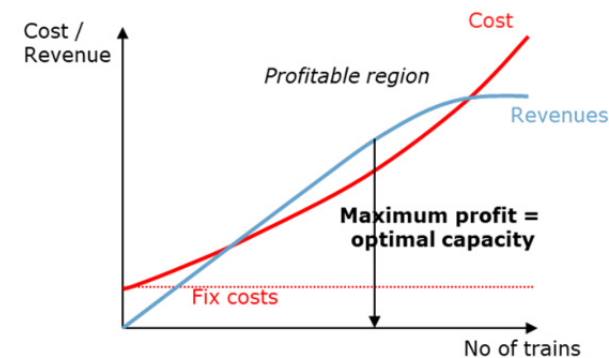
(Kunden-/Betriebsbezogene)
Qualitätsindikatoren
(Pünktlichkeit, Verspätungen, Reisezeiten, etc.):



Auslastung



(Sozio-ökonomische) Nutzenbetrachtungen



Verfahren zur Leistungsfähigkeitsbewertung

	Anwendungsgebiet	Zeithorizont	Stärken	Schwächen
Konstruktive Methode 	<ul style="list-style-type: none"> Fahrplanmachbarkeitsstudien einzelne, sehr spezifische Detailanalysen von Fahrplänen (insbes. Taktverkehre) Konstruktion von Fahrplänen für die Betriebssimulation 	<ul style="list-style-type: none"> Typischerweise ≤ 1 Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> Detaillierte Abbildung der mikroskopischen Infrastrukturnutzung der Züge 	<ul style="list-style-type: none"> Gefahr der Scheingenaugigkeit: Mikroskopisch konstruierter Fahrplan wird im Betrieb niemals gefahren Auslastung als Qualitätskennziffer nicht ausreichend
Simulative Methode 	<ul style="list-style-type: none"> Fahrplanrobustheitsprüfung Bewertung / Optimierung von Fahrplanvarianten (Nebenanwendung) Asynchrone Simulation des Fahrplanerstellungsprozesses 	<ul style="list-style-type: none"> ≤ 1 Jahr – ca. 5 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> Detaillierte Abbildung des Betriebsgeschehens auch über größere Netzwerkbereiche Direkte Entsprechung zum Eisenbahnbetrieb Zuglauf- und Fahrgastbezogene Auswertung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Ergebnisse für einen konkreten Fahrplan Gefahr unrealistischer Ergebnisse bei abweichender Abbildung der Disposition
Analytische Methode 	<ul style="list-style-type: none"> Strategische Langfristplanung / Infrastrukturplanung Verkehrsplanung / Kapazitives Routing (z.B. BVWP-Planung) 	<ul style="list-style-type: none"> 1-25 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> Erhalt lokaler Auslastungsparameter und parametrischer Lastkurven zur Verwendung in Verkehrsumlegungsmodellen Bewertung losgelöst von konkretem Fahrplan → Infrastruktur im Fokus 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Abbildung von Fahrplanzusammenhängen und Umläufen setzt Netzerlegung voraus → Kapazitätsreserven auf angrenzenden Strecken passen ggf. nicht zusammen

Bahnbetrieb als vielschichtige Aufgabe, die unterschiedliche Unternehmen, Technologien und Prozesse in einem gemeinsamen Ziel vereint



Diskussion: Status der Eisenbahnbetriebs in Deutschland



Abfahrt / Departure / Départ

Zeit / Time / Temps	Zug / Train	Über / Via	Ziel / Destination	Gleis / Platform / Voie
19:22	IC 2311	Frankfurt(M)Süd - Aschaffenburg	München Hbf	Fern 6
19:30	ICE 713		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 4
19:53	ICE 912	Düsseldorf Hbf - Duisburg Hbf - Essen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
19:57	ICE 1222	Mainz Hbf - Koblenz Hbf - Solingen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:09	ICE 1690	Frankfurt(M)Süd - Hanau Hbf - Fulda	Berlin Ostbahnhof	Fern 4
20:19	ICE 129		Frankfurt(Main)Hbf	Fern 5
20:23	ICE 528	Düsseldorf Hbf - Duisburg Hbf - Essen Hbf	Dortmund Hbf	Fern 7
20:28	ICE 1128	Mainz Hbf	Wiesbaden Hbf	Fern 7
20:29	ICE 929	Zug fällt aus	Passau Hbf	-
			München Hbf	Fern 6
			Düsseldorf Hbf	-

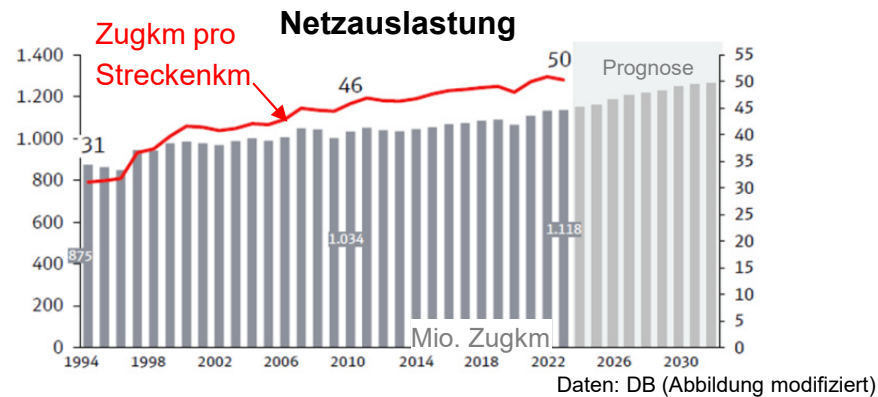
DB



Img: BR

Das deutsche Eisenbahnsystem: Status Quo

Überaltert und überlastet



- 1994-2006: Rückbau von Infrastruktur im Zuge der Bahnreform / Privatisierung
 - Reduktion der Streckenlänge um ca. 5.000 km (~15%)
 - Rückbau von Überholgleisen, Gleiswechseln, etc.
- (Falsche) Anreize in der Finanzierung, die zur Priorisierung von Ersatz (Bund finanziert) über Erhalt (Bahn finanziert) führte
 - Zustandsverschlechterung
 - **Verlust von Resilienz**



Das Eisenbahnsystem in Deutschland – Aktuelle Entwicklungen

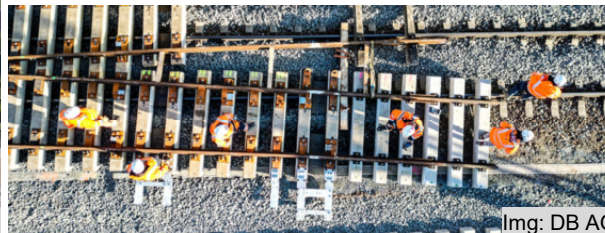


Generalsanierungsprogramm

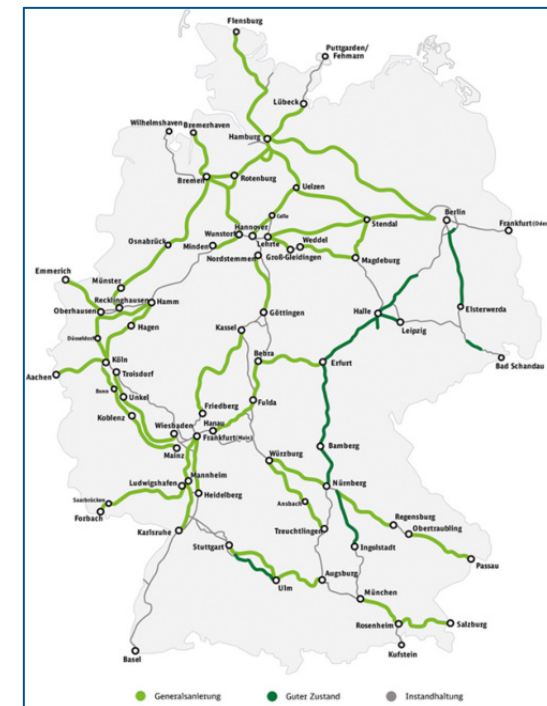
- Das deutsche „Kernnetz“ wird im Zeitraum 2024-2035 nahezu komplett generalsaniert
- Ersatz des Oberbaus, von Ingenieurbauwerken, Upgrade der Ausrüstung (Gleiswechsel, Bahnhöfe, Sicherungstechnik (ETCS), ...
- Mehrmonatige Korridorsperrungen
 - Konzentration der Instandhaltung → Auswirkungen auf Servicequalität
- 12/2024: Erstes Projekt (Riedbahn: Mannheim-Frankfurt) abgeschlossen
<https://www.deutschebahn.com/de/konzern/Aktuelles/-Bahnsinn-Riedbahn-Eine-deutsche-Baustelle-Blick-hinter-die-Kulissen-der-Generalsanierung-ab-sofort-alle-Folgen-der-Serie-verfuegbar-12910782>



Img: DB AG



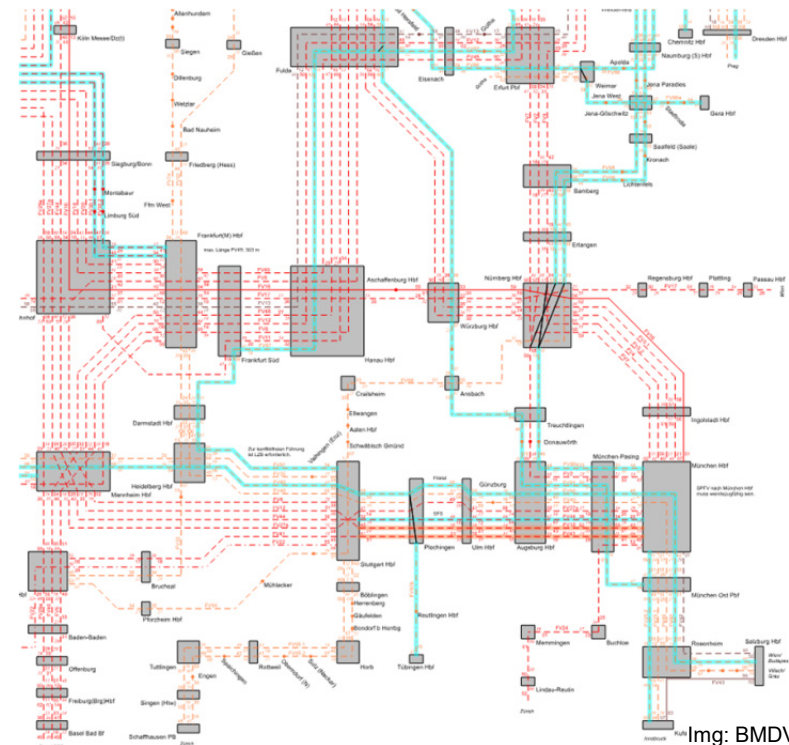
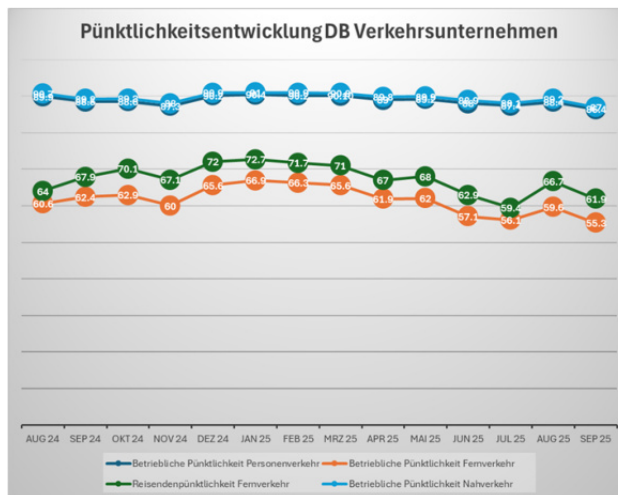
Img: DB AG



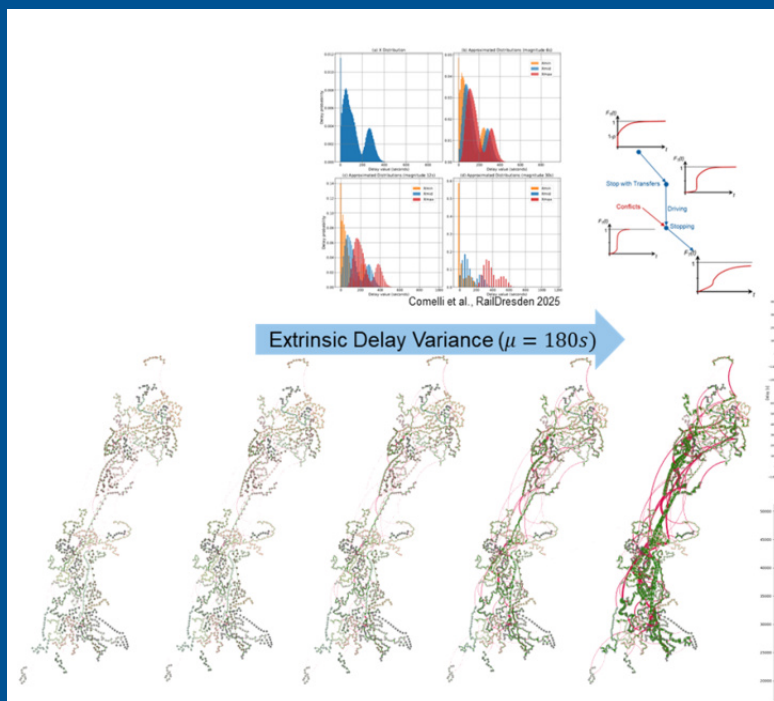
Img: DB AG

Service Offensive – Deutschland-Takt

- Nationaler *strategischer Fahrplan als Grundlage der Angebotsplanung und Netzentwicklung*
- Nach Schweizer Vorbild: Fahrplan als Grundlage der Infrastrukturentwicklung
- Problem:

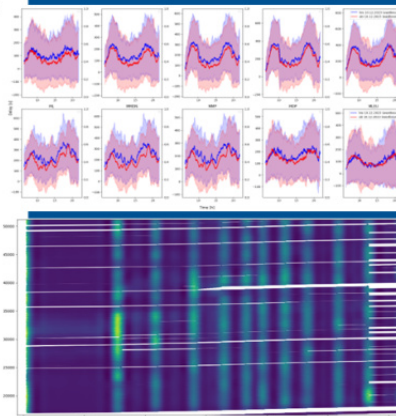


Bei weiterführendem Interesse am Thema



Professur für Planung und Betrieb von Schienenverkehrssystemen

Forschungsschwerpunkte: Systemdesign, Netz-/ Betriebsplanung, Betriebssteuerung, Analyse komplexer Netzwerke



Herzlichen Dank!



Kontakt

Prof. Dr. Norman Weik
Professur für Planung und Betrieb
von Schienenverkehrssystemen

Parkring 35
85748 Garching

norman.weik@tum.de
rts@ed.tum.de
www.mos.ed.tum.de/rts

