

***Leistungsverhalten der
Gleisinfrasturktur beim Betrieb von
selbstorganisierenden Einzelwagen***

- Aspekte der baulichen Infrastruktur -

Dipl.-Ing. Gunnar Bosse

- **Individualisierung des Schienenverkehrs**
- **Meine Motivation**
- **Technische Annahmen**
- **Fünf Aspekte – fünf Fragen – fünf Einschätzungen**
- **Zusammenfassung**

Die fünf „J“ des Verkehrs

*j*eder Zeit

*j*edes Gut

von *j*edem Ort

an *j*eden Ort

von *j*edermann

Problem:

Der Lkw kann´s – die Bahn nicht.

[Frederich sinngemäß in ZEVrail 6/7 2002]

Idee

- Abkehr vom Fahren mit Zügen
- Kleine, häufig verkehrende Einheiten
- Abstandsgeführter Betrieb
 - < 15 km/h mit Abstandsmessgeräten
 - > 15 km/h Standortdifferenzverfahren mit ständiger (Funk)-Übertragung der aktuellen Fahrzeugstandorte (absoluter Bremswegabstand)
- Fahrzeugbasiertes Stellen von Weichen (in gr. Knoten v. Fahrstraßen)
- LST auf die Fahrzeuge → Keine nennenswerte LST-Ausstattung an der Strecke

Ziele

- Lückenlose, netzweite Bedienung im Personen- und Güterverkehr
- Häufige Bedienung
- Direktverkehre, d.h. kein Umsteigen, kein Umladen
- Erhöhung des Modalsplitanteils der Schiene

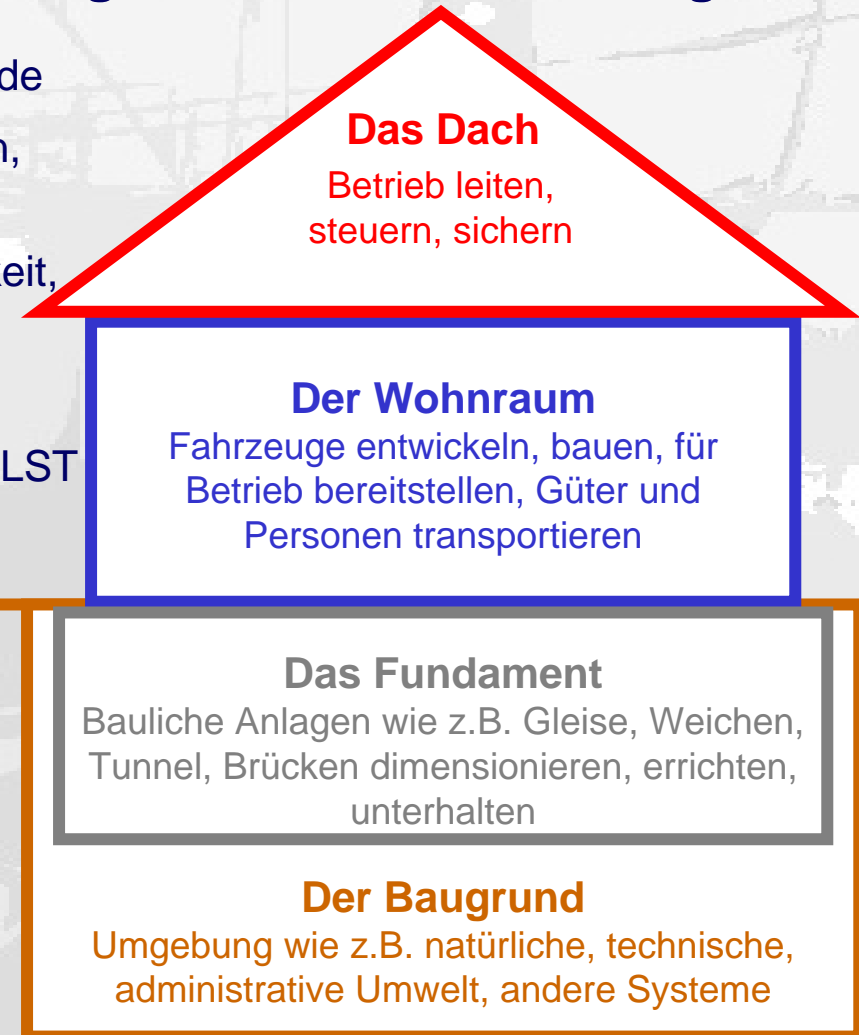
[Frederich sinngemäß in ZEVrail 6/7 2002]

Schwerpunkte der Aktivitäten zu selbstorganisierenden Einzelwagen

- Grundsätzliche Machbarkeit virtueller Zugverbände
- Schlüsseltechnologien (drahtlose Kommunikation, Sensoren)
- Transportabwicklung (Erreichenswahrscheinlichkeit, Automatisierung, Transportsicherheit)
- Betriebs- und Organisationskonzepte
- Funktionsfähigkeit von Betriebskonzepten sowie LST
- Fahrzeugtechnik

„Außerdem ist wegen der vom Fahrzeug mitgeführten Leit- und Sicherungstechnik jede Strecke sofort höchstleistungsfähig, und zwar dauernd auf ganzer Länge oder zeit- und abschnittsweise.“ [Frederich in ZEVrail 6/7 2002]

Bei ganzheitlicher Sicht gehören zu einem Haus auch der Baugrund und ein Fundament.



„Ist durch den Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen prinzipiell eine Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit zu erwarten?“

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“

„Welche Bedeutung haben Weichen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen?“

„Welche Wechselwirkungen bestehen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen zwischen Straße und Schiene?“

„Welche Bedeutung hat die Schiene in der Raum-, Flächennutzungs- und Bauleitplanung für die Erschließung von Gewerbe- und Industriegebieten?“

Technische Annahmen für die nachfolgenden Betrachtungen

- **Leit- und Sicherungstechnik**

permanente Selbstortung der Fahrzeuge (z.B. GPS/Galileo, Balisen, Abstandssensoren)

funkbasierte Informationsübertragung zwischen Fahrzeug – Fahrzeug und/oder Fahrzeug – Zentrale (Standleitung – keine Aufbauzeit)

Weichen und Bahnübergänge werden vom Fahrzeug per Funk angesteuert

tolerierbarer Übertragungsausfall 5 Sekunden, danach automatische Bremsung

- **Fahrzeuge**

Länge 20 m

Beschleunigung $0,7 \text{ m/s}^2$

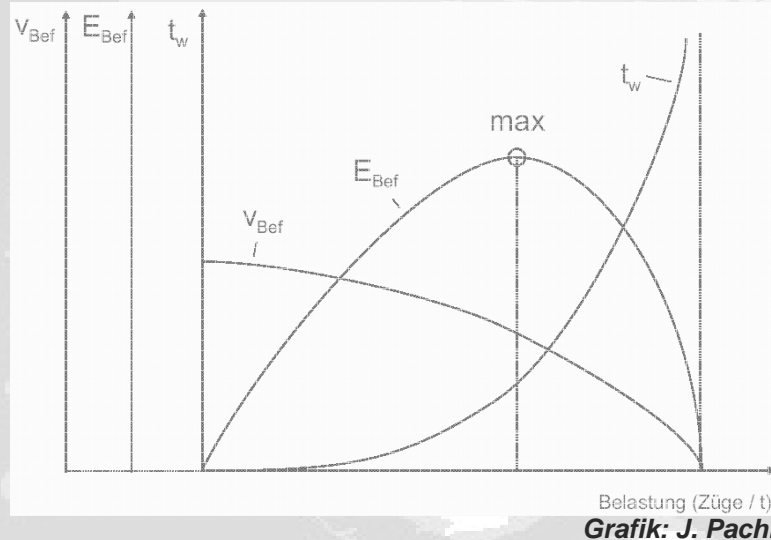
Bremsverzögerung $1,0 \text{ m/s}^2$

Leit- und Sicherungstechnik auf den Fahrzeugen

- **Betrieb**

kein Mischbetrieb mit konventionellen Zügen

„Ist durch den Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen prinzipiell eine Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit zu erwarten?“



Vorgehen:

1. Definition einer geeigneten Einheit für die Leistungsfähigkeit
2. Überschlägige Ermittlung der Belegungszeiten
3. Bestimmen von Betriebscharakteristika

Definition

Bisherige Einheit:

Streckenleistungsfähigkeit in [Züge/Zeit]

ABER:

unterschiedliche Transportkapazitäten von Zügen und Einzelwagen

Deshalb:

Transportleistungsfähigkeit einer Strecke in [Wagen/Zeit] (Wagen á 20 m)

Frage Nr. 1

„Ist durch den Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen prinzipiell eine Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit zu erwarten?“

H/V-System

V = 80 km/h

	Längen [m]	Zeitbedarf [s]
Blocklänge	2000	90,0
Vorsignalabstand	1000	45,0
Signalsichtzeit		4,0
Fahrstraßenauflösezeit		4,0
Wagen	20	
Anzahl Wagen	25	
Lok	20	
Zuglänge	520	23,4
Mindestzugfolgezeit [s]		166,4

Pufferzeit/h [s] (20%)	720
Fahrten/h	17,3
Zugfolgezeit [s]	208
Wagen/h	432

Absoluter Bremswegabstand

V = 80 km/h

	Längen [m]	Zeitbedarf [s]
Blocklänge		0,0
abs. Bremsweg	247	11,1
Sicherheitszuschlag 10%	24,7	1,1
tolerierbarer Übertragungsausfall		5,0
Wagen	20	
Anzahl Wagen	3 (1) 25	
Lok	0 (0) 20	
"Zuglänge"	60 (20) 520	2,7 (0,9) 23,4
Mindestzugfolgezeit [s]		19,9 (18,1) 40,6

Pufferzeit/h [s] (20%)	720
Fahrten/h	144 (158) 70
Zugfolgezeit	25 (23) 51
Wagen/h	432 (158) 1750

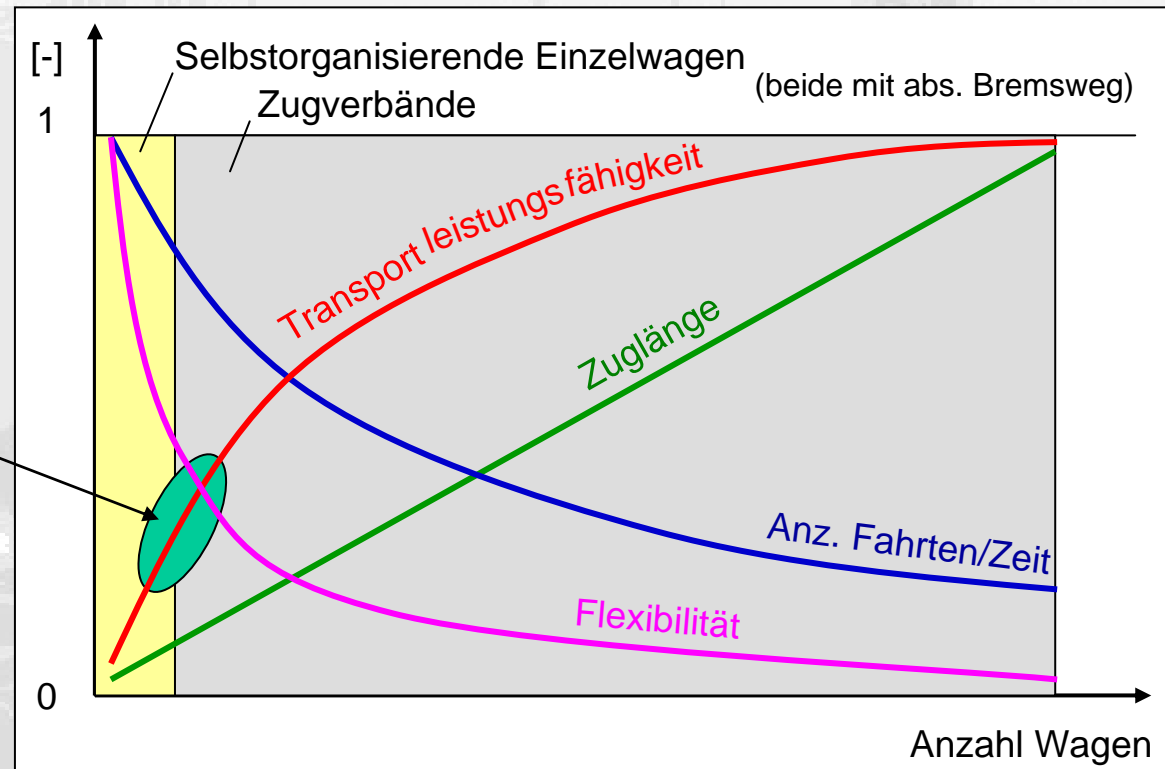
Bei völlig freiem Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen ist trotz des leistungsfähigeren Abstandshaltesystems mit einer Abnahme der Transportleistungsfähigkeit zu rechnen. Durch eine leichte Bündelung kann die Leistungsfähigkeit des konventionellen Betriebes erreicht werden. Eine deutliche Steigerung der Transportleistungsfähigkeit ist nicht zu erwarten.

Frage Nr. 1

„Ist durch den Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen prinzipiell eine Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit zu erwarten?“

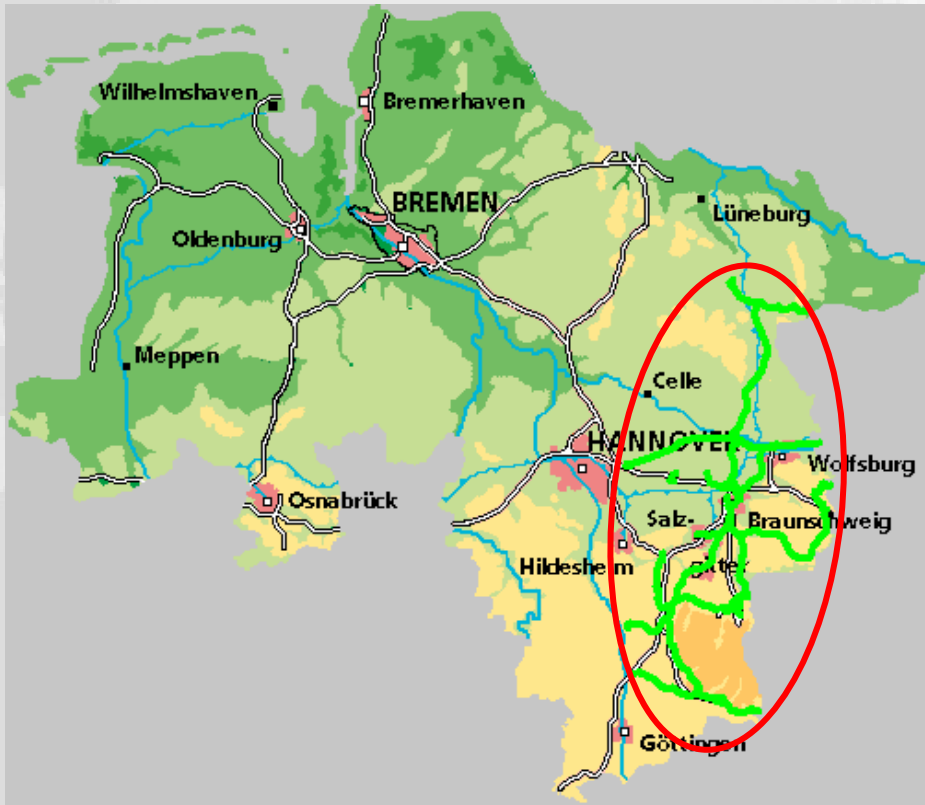
Leistungsfähigkeit und Flexibilität in Abhängigkeit von der Betriebsweise
(qualitative Zusammenhänge)

Leistungsfähigkeit bei konv. Betrieb mit Zügen im H/V-System



Auf Hauptabfuhrstrecken könnte durch den Übergang zur Betriebsweise mit (virtuellen) Zugverbänden die Transportleistung deutlich erhöht werden. Allerdings setzt die erforderliche Sortierung nach Fahrtzielen die Flexibilität in zeitlicher Sicht herab.

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“



Vorgehen:

1. Ableiten einer ein- und einer zweigleisigen Musterstrecke „Süd-Ost-Niedersachsen“
2. Betriebsstudien
3. Vergleich mit konventionellem Betrieb

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastuktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“

Eingleisige Strecken

- Länge 386 km
- Abstände der Betriebsstellen
 - 53 Bahnhöfe → 7,3 km/Bahnhof
 - 18 Haltepunkte → 21,3 km/Haltepunkt
 - 20 Anschlussstellen → 19,3 km/Anschlussstelle
 - 1 Abzweigstelle → 386 km/Abzweigstelle

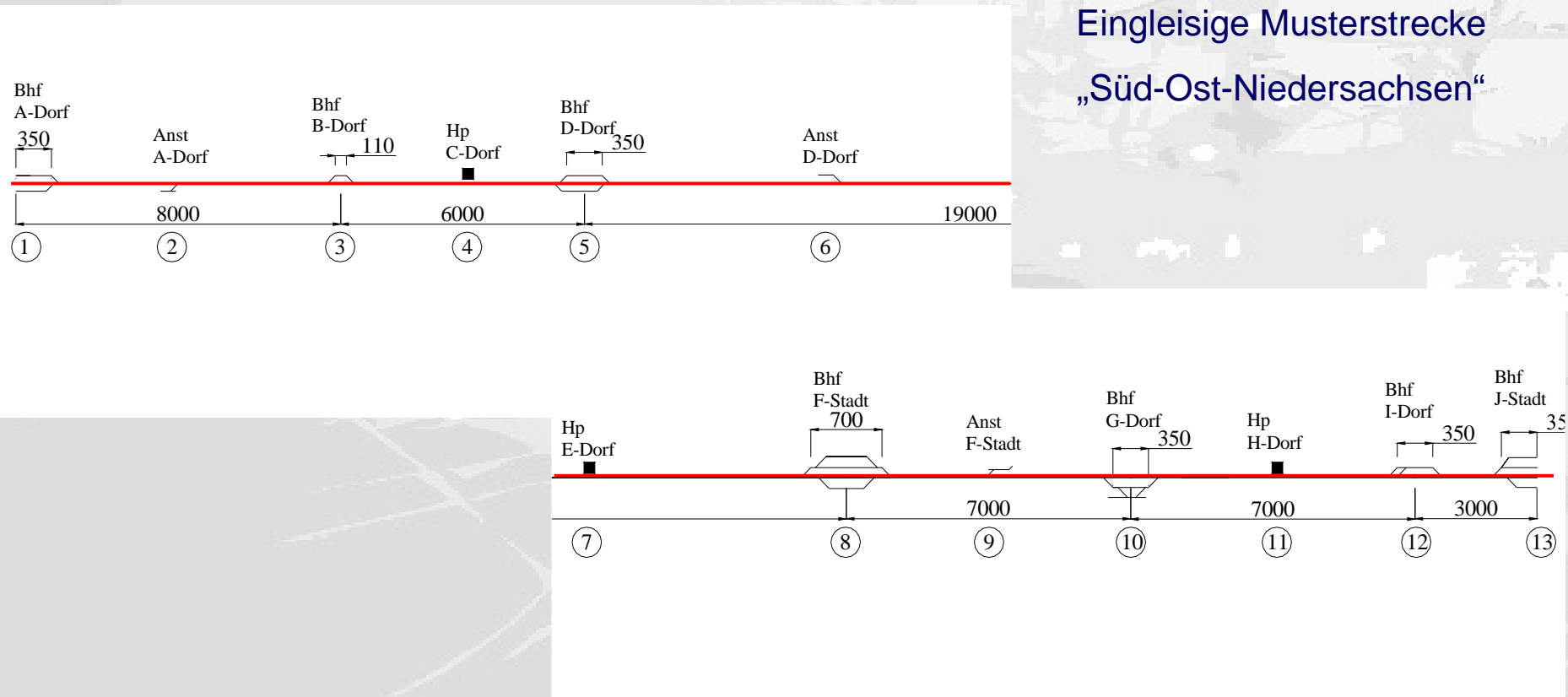
Zweingleisige Strecken

- Länge 218 km
- Abstände der Betriebsstellen
 - 27 Bahnhöfe → 8,1 km/Bahnhof
 - 8 Haltepunkte → 27,4 km/Haltepunkt
 - 6 Anschlussstellen → 36,5 km/Anschlussstelle
 - 4 Abzweigstelle → 54,7 km/Abzweigstelle
 - 6 Überleitstellen → 36,5 km/Überleitstelle

Frage Nr. 2

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“

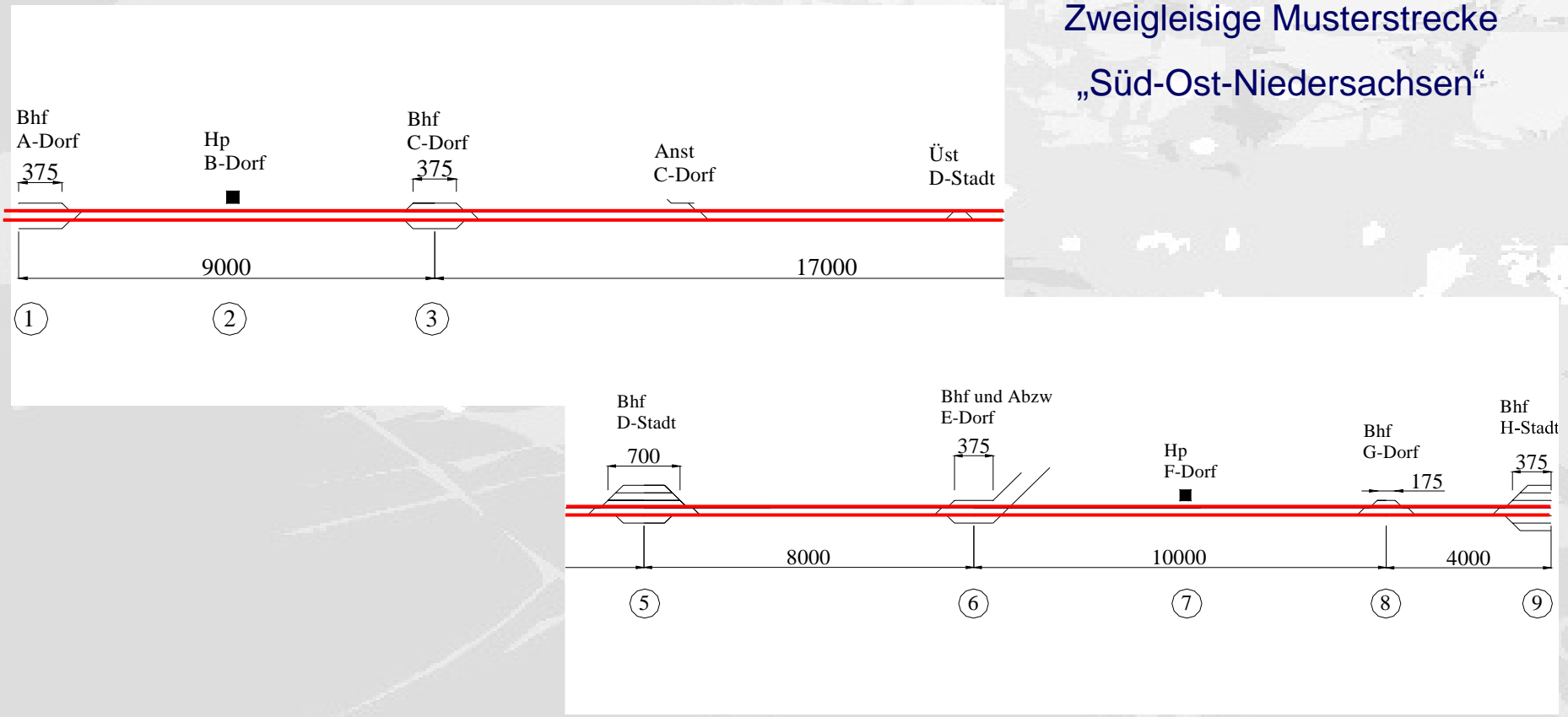
Eingleisige Musterstrecke
„Süd-Ost-Niedersachsen“



Frage Nr. 2

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“

Zweigleisige Musterstrecke
„Süd-Ost-Niedersachsen“

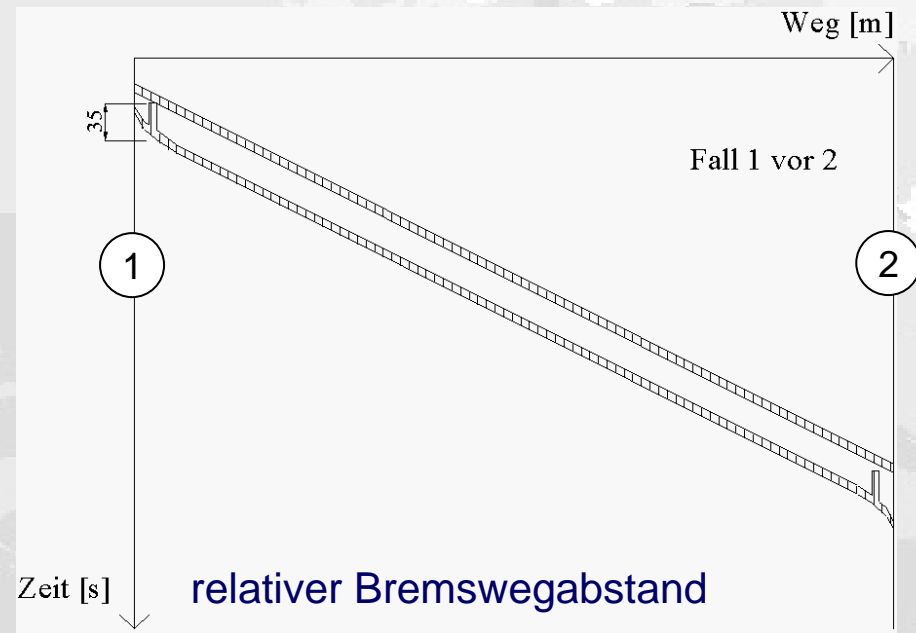
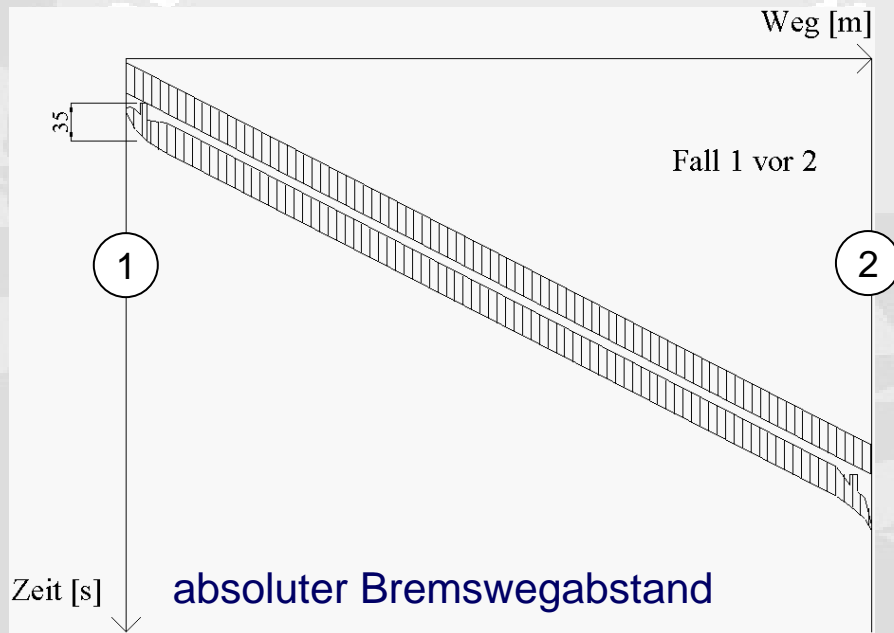


Frage Nr. 2

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“

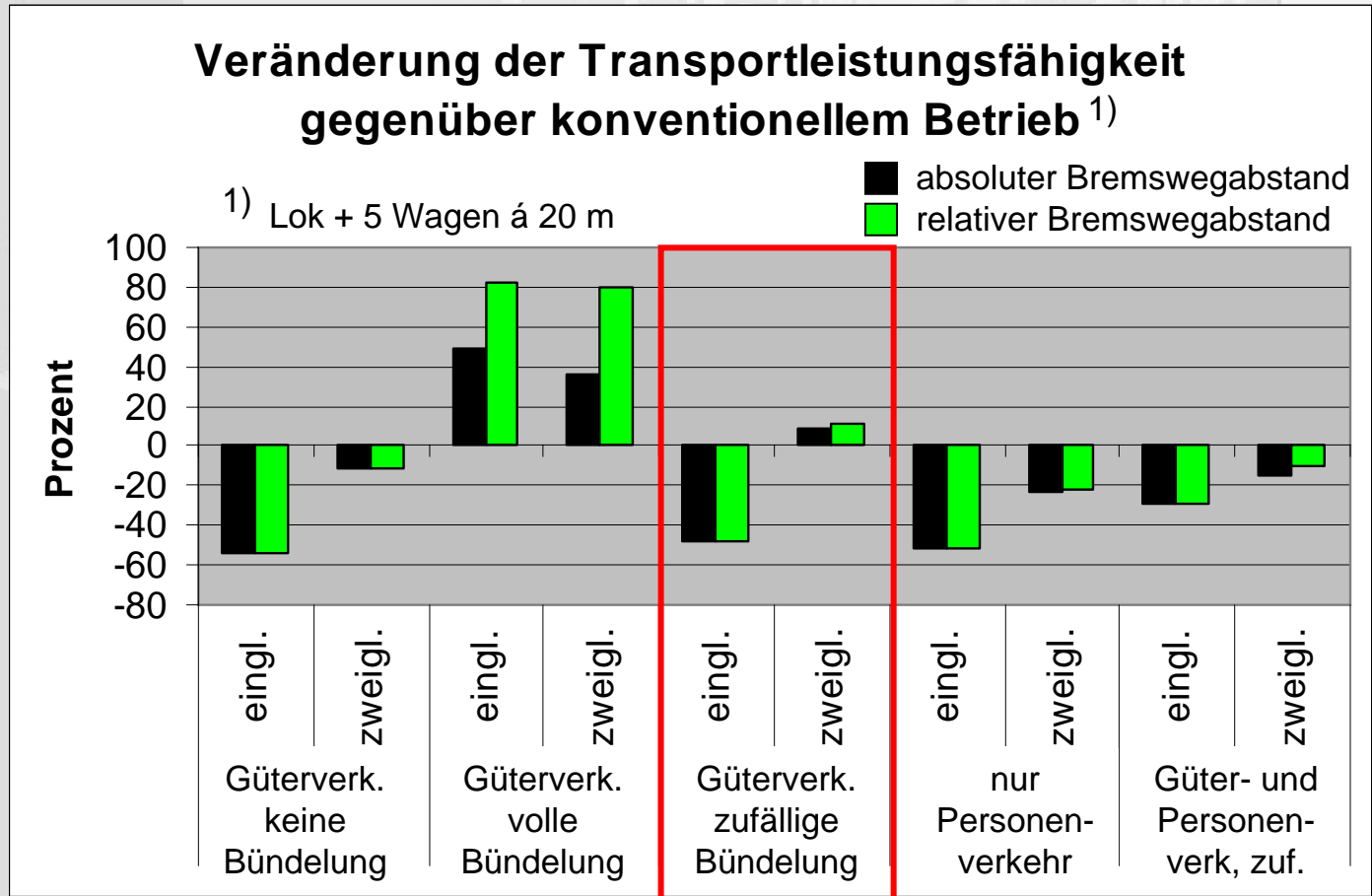
Zugfolgefälle, Beispiel 1

- 1. Fahrt: Durchfahrt in 1, Durchfahrt in 2
- 2. Fahrt: Einfädeln in 1, Ausfädeln in 2



Weichen sind wegen beweglicher Bauteile Gefahrpunkte
→ Freigabe erst nach Erreichen der Endlage → absoluter Bremsweg während Umstellung

„Wie leistungsfähig ist die heutige Gleisinfrastruktur in den typischen Einsatzbereichen der selbstorganisierenden Einzelwagen?“



Bei der gewünschten flexiblen Betriebsweise (rot umrandet) wird die Transportleistungsfähigkeit der Strecken bei unveränderter Gleisinfrastruktur tendenziell abnehmen.

„Welche Bedeutung haben Weichen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen?“



Foto: J. Pachtl

Aus Frage Nr. 2 bekannt:

Die Streckenleistungsfähigkeit wird beim Betrieb selbstorganisierender Schienenfahrzeuge maßgeblich durch die Anzahl erforderlicher Weichenumstellungen beeinflusst werden.

Vorgehen:

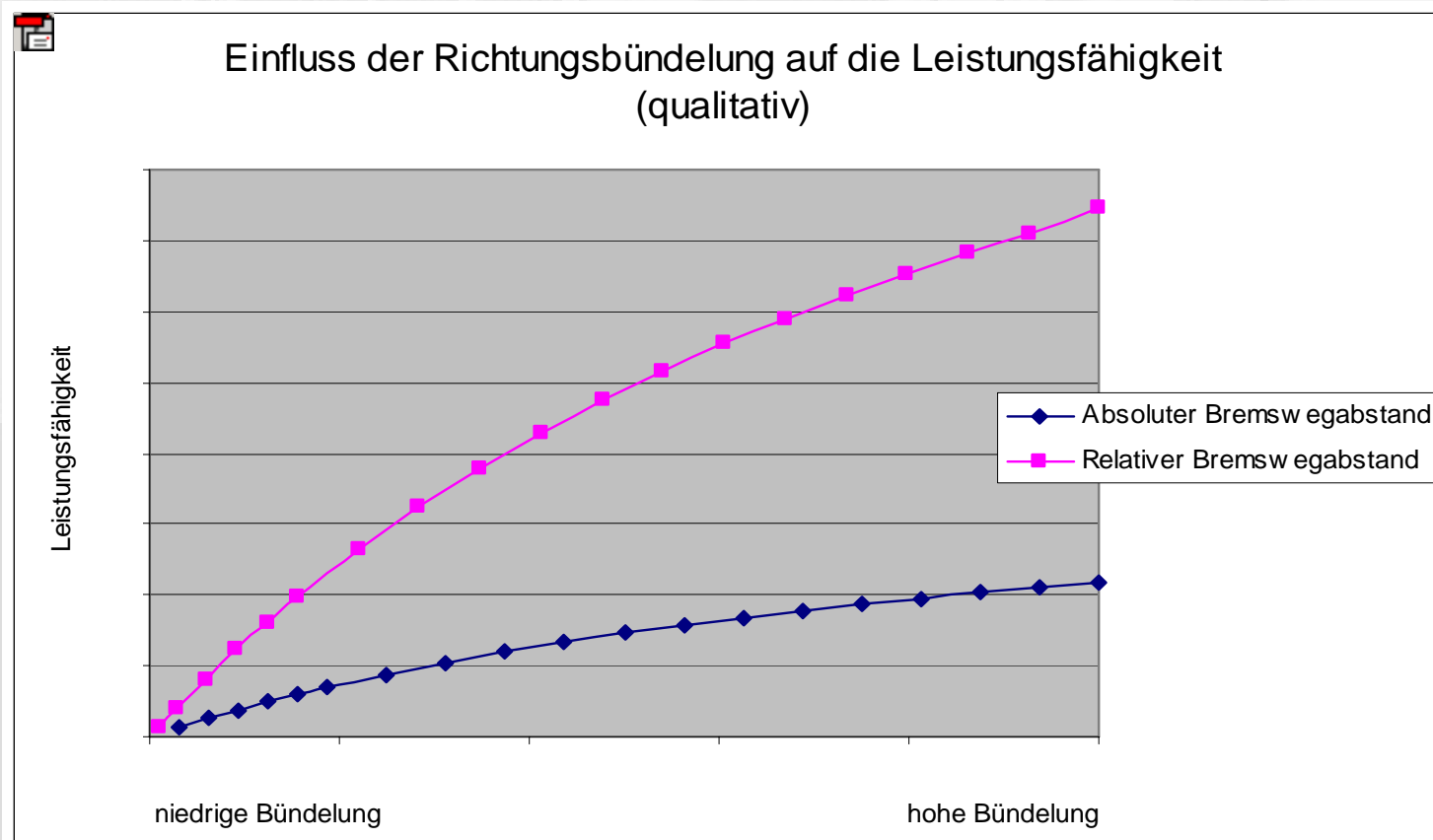
1. Einfluss der Weichen beschreiben
2. Alternativen durchdenken
3. Betriebsstudien zur Optimierung von Betriebsvorgängen mit Weichenumstellung
4. Weichengrundformen bestimmen
5. Bedarf an neuen Weichen ermitteln
6. Lastspiele, Instandhaltung

„Welche Bedeutung haben Weichen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen?“

Alternativen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit

- Weichen nicht mehr als Gefahrenpunkte betrachten
Sicherheitsproblem: bei Nichterreichen der Endlage erfolgt zwangsläufig Entgleisung, bei Nichtumstellung folgt Fehlleitung bzw. Kollision
- Passive Weichen ohne bewegliche Elemente im Fahrweg einführen
Migrationsproblem: kein paralleler Betrieb zwischen konventionellen Zügen und selbstorganisierenden Fahrzeugen möglich, keine schnelle Netzwirkung
- Anzahl der Weichenumstellungen verringern durch Richtungsbündelung der Fahrzeuge
Flexibilitätsproblem: Richtungsbündelung schränkt die gewünschte Flexibilität ein, Betrieb gleicht mehr der konventionellen Betriebsabwicklung mit Zügen als dem LKW

„Welche Bedeutung haben Weichen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen?“



„Welche Bedeutung haben Weichen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen?“

Charakteristische Kennzahlen für Weichen

Grundform	V abzw [km]	Länge [m]	Kosten ohne LST 1)
EW 190	40	27	45.000,00 € bis 90.000,00 €
EW 300	50	36	50.000,00 € bis 100.000,00 €
EW 500	65	43	60.000,00 € bis 120.000,00 €
EW 760	80	53	80.000,00 € bis 160.000,00 €
EW 1200	100	64	120.000,00 € bis 240.000,00 €

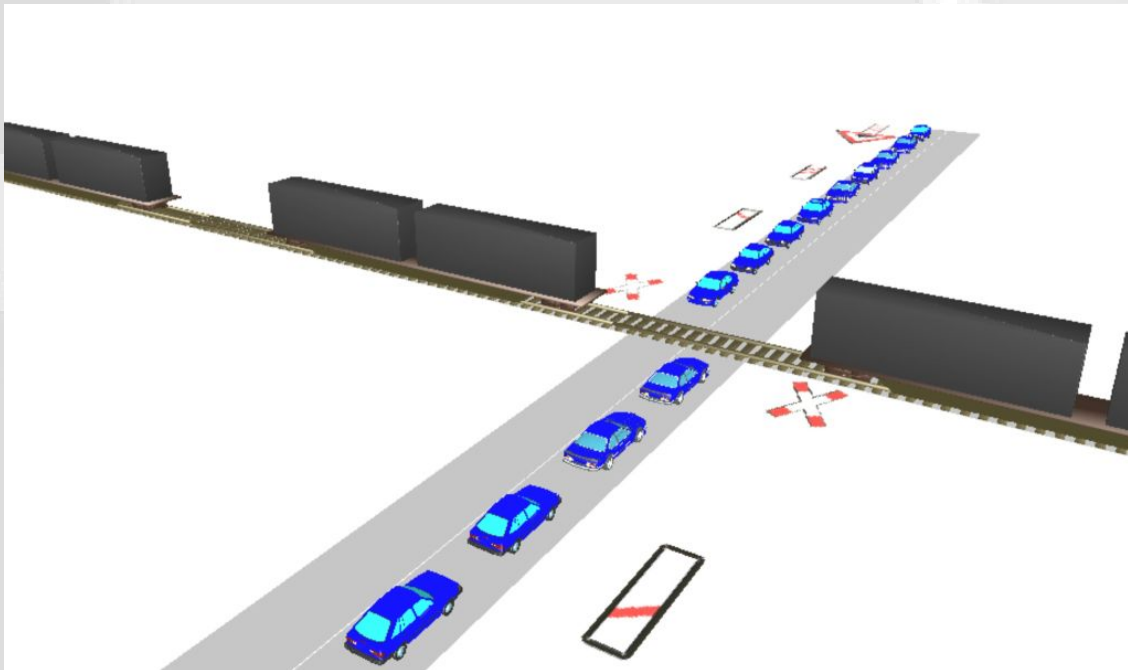
heute typisch in den zukünftigen Einsatzbereichen selbstorganisierender Einzelwagen

für Rendezvousmanöver selbstorganisierender Einzelwagen erforderl. Grundformen?

1) je nach betrieblichen Verhältnissen beim Einbau

- Weichen sind Systemmerkmal selbstorganisierender Einzelwagen (möglw. steigende Anzahl?)
- Weichen (= Gefahrpunkte) mindern die Leistungsfähigkeit oder sie reduzieren die Flexibilität
- Kosten + Platz für Weichenneu- und umbauten sind abhängig von der Systemgeschwindigkeit
- Anstieg der Umstellvorgänge werden Instandhaltungs- und Überwachungskosten erhöhen

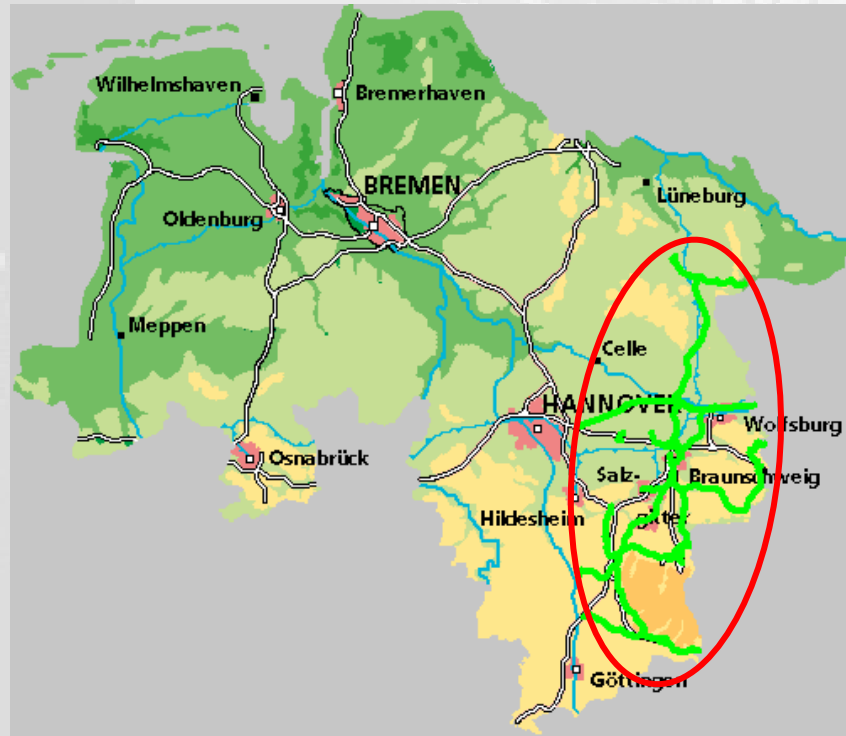
„Welche Wechselwirkungen bestehen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen zwischen Straße und Schiene?“



Vorgehen:

1. Abschätzen der für die Straße zu erwartenden Sperrzeit
2. Entwicklung eines Simulationsmodells
3. Ableiten von Qualitätskriterien

„Welche Wechselwirkungen bestehen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen zwischen Straße und Schiene?“



Eingleisige Strecken

Fernverkehrsstraßen: 11 BÜ → 35,6 km/BÜ

Landes- und Kreisstraßen: 35 BÜ → 11,0 km/BÜ

innerorts: 120 BÜ → 3,2 km/BÜ

Gesamt: 166 BÜ → 2,2 km/BÜ

Zweingleisige Strecken

Fernverkehrsstraßen: 11 BÜ → 19,9 km/BÜ

Landes- und Kreisstraßen: 16 BÜ → 13,7 km/BÜ

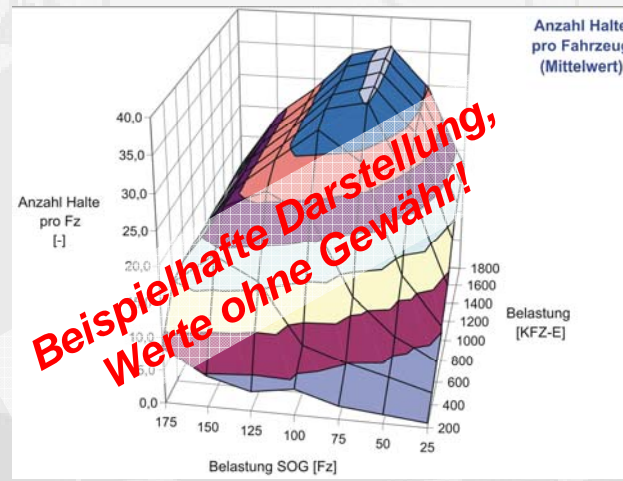
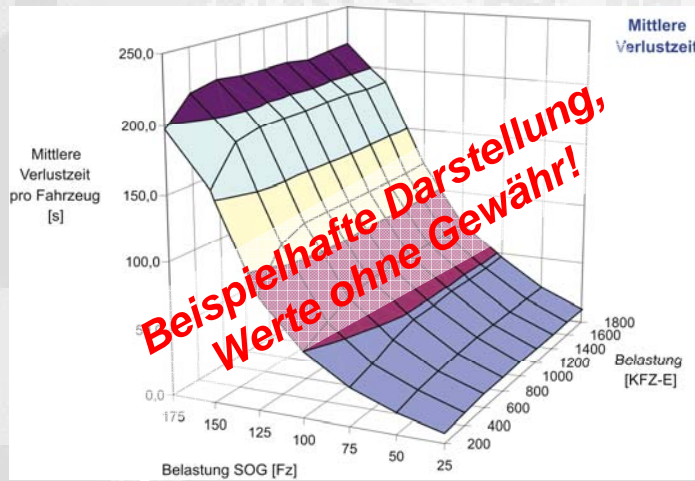
innerorts: 57 BÜ → 3,8 km/BÜ

Gesamt: 84 BÜ → 2,6 km/BÜ

Bei voller Leistungsfähigkeit im Einzelwagenmodus sind an Bahnübergängen bis zu 100% Schließzeiten für den Straßenverkehr zu erwarten. → Zumutbarkeitsgrenzen bestimmen

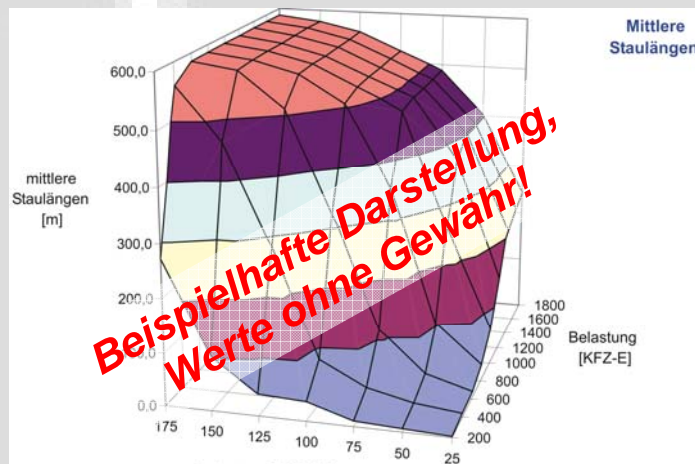
Frage Nr. 4

„Welche Wechselwirkungen bestehen beim Betrieb selbstorganisierender Einzelwagen zwischen Straße und Schiene?“



Bimodale Leistungsfähigkeitsdiagramme für Bahnübergänge

- Verlustzeiten/Straßen-Fz
- Halte/Straßen-Fz
- Rückstaulängen



Erste vorläufige Abschätzung der Obergrenzen für BÜ

- straßenseitig: 400 bis **600** Pkw/h
- schienenseitig: **50** (bis 75) Einzelfahrzeuge/h
- BÜ verbleiben nur an schwach belasteten Strecken
- Schienenseitige Erhöhung der Leistungsfähigkeit nur durch Bündelung möglich

In Zusammenarbeit mit Inst. f. Verkehr und Stadtbauwesen, TU Braunschweig

„Welche Bedeutung hat die Schiene in der Raum-, Flächennutzungs- und Bauleitplanung z.B. für die Erschließung von Gewerbe- und Industriegebieten?“

Derzeitige Entwicklung

- Rückbau von Gleisanschlüssen und Weichen (Kostenfaktoren)
- Rückbau von Gleisen entlang von Industrie- und Gewerbegebieten (werden z.B. Radwege)
- Neue Gebiete werden i.d.R. ohne Gleise erschlossen, Gleistrassen nicht vorgesehen
- Lage neuer Gebiete häufig abseits von Eisenbahnstrecken
- Bevorzugte Lagen entlang von Autobahnen

Absehbare Folgen

- Weiter rückläufige Flächenerschließung durch Schiene
- Möglichkeiten für umladefreien Gütertransport auf der Schiene nehmen ab
- Selbstorganisierende Einzelwagen werden i.d.R. von Lkw-Zu- und Ablieferung abhängig sein

Der Gedanke „Flächenerschließung durch Schiene“ hat in Deutschland in der gegenwärtigen Raum-, Flächennutzungs- und Bauleitplanung keinerlei Bedeutung.

- Abstandshaltesystem ermöglicht hohe Leistungsfähigkeiten beim Fahren in (virtuellen) Zugverbänden
- Weichen schließen hohe Leistungsfähigkeit und hohe betriebliche Flexibilität aus
- Im Einzelwagenbetrieb sehr geringe Leistungsfähigkeiten
- Selbstorganisierende Einzelwagen werden in räumlicher und zeitlicher Sicht nicht die Flexibilität von Lkw erreichen
- Gegenwärtige Gleisinfrastuktur ist nicht generell sofort „höchstleistungsfähig“
- Investitionen erforderlich insbesondere für zwei- und mehrgleisigen Ausbau, Beseitigung von Bahnübergängen, Anpassung von Weichenverbindungen an die Systemeigenschaften
- Schneller, bundesweit einheitlicher Ausbau eines leistungsfähigen Netzes erforderlich
- Derzeit jedoch stark gegenläufige Entwicklung der Raum- und Verkehrsnetzstrukturen mit abnehmender Flächenerschließung durch Schiene
- Beliebige Quelle-Senke-Beziehungen nicht ohne Umladen bedienbar
- Einsatzbereich auf längerfristig gesicherten Quelle-Senke-Beziehungen mit kleinen, aber häufigen Sendungsgrößen
- Realisierungsrisiken im „Fundament“ und vor allem im „Untergrund“ im Auge behalten

- Die **Straße** ist und bleibt der **dominierende Verkehrsträger** – in Ost und West, im Güter- und Personenverkehr
- Die Güterverkehrsentwicklung ist sektoral bzw. güterstrukturell tendenziell **Straßen-affin**, aber nach Relationen durchaus auch **Schienen-** und **Binnenschiffs-affin**
- Die Schiene hat gute Chancen, den **negativen** Marktanteils-Trend zu stoppen; bis dahin gibt es für alle Akteure allerdings noch einiges zu tun ...

[Rommerskirchen, ProgTrans AG, Basel, 26.4.2005 in Dortmund]

- Wachsendes Containeraufkommen Asien – Suezkanal – Mittelmeer – Mitteleuropa
- große, einheitliche Massen in Containern mit (über-)langen Zügen
- lange Strecken (z.B. Italien – neue Alpentunnel – Deutschland)
- Direkte Punkt-zu-Punkt-Relationen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!