



Schottergleis mit 400 km/h

Dr. Marc ANTONI

Ing.CNAM Ing ESE FIRSE

GRAZ 12 - 14 September 2011



Plan

- ***Problem***
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- *Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer*
- *Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer*
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- *Alternativen für die 400 km/h of Schottergleis*
- *Schlussfolgerung*

Problem (1)

Die Unterhaltungskosten (W. und E.) von Gleis und Weichen überschreiten 2/3 der Gesamtkosten der Eisenbahn-Infrastruktur.

Die durch Japan und Frankreich eingeführten, Hochgeschwindigkeits-Strecken werden für den Eisenbahnverkehr immer wichtiger.

⇒ *Heute stellen sich einige Fragen an den Infrastrukturverwalter:*

- *Muss man „der Mode“ nach Fester Fahrbahn folgen?*
- *Ist eine Feste Fahrbahn für eine Geschwindigkeit von 400 km/h zwingend erforderlich? Ist sie die leistungsfähigere Lösung?*
- *Kann man 400 km/h auf einem Schottergleis mit heutigen Wartungskosten fahren? Mit welchen Fahrzeugen ?...*

⇒ *Was muss berücksichtigt werden, um eine objektive Systementscheidung für den Oberbau sicher zu stellen?*

→ *Es geht darum, die relevanten Auswirkungen der Auswahl über die ganze Lebensdauer der Infrastruktur (LCC) zu berücksichtigen, um von Heute mit $V = 300$ km/h auf Morgen mit $V = 400$ km/h zu kommen.*

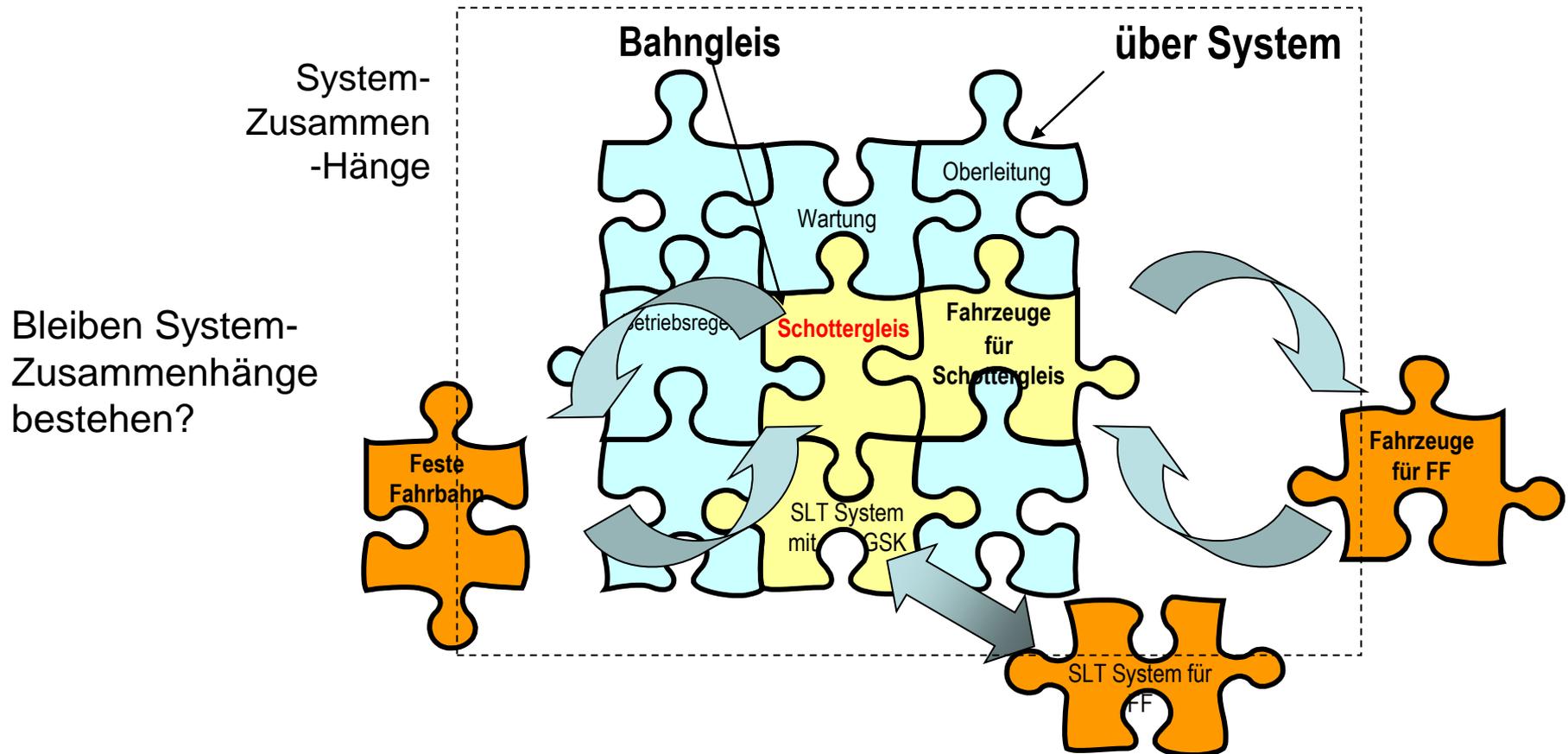


Plan

- *Problem*
- **Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“**
- *Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer*
- *Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer*
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- *Alternativen für die 400 km/h of Schottergleis*
- *Schlussfolgerung*

Eine Systemvorstellung (2)

Bahngleis muss im globalen Eisenbahnsystem erwogen werden in seinen Wechselwirkungsaspekten mit den Fahrzeugen, Wartung, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit usw.:

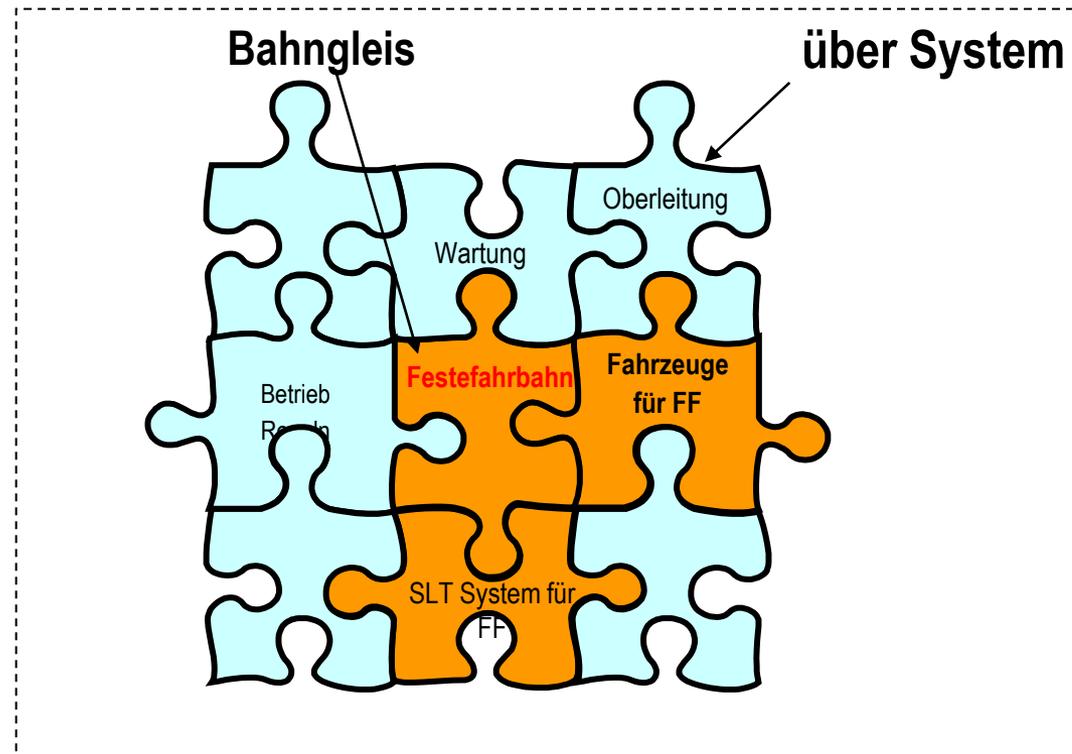


Eine Systemvorstellung (2)

Bahngleis muss im globalen Eisenbahnsystem erwogen werden in seinen Wechselwirkungsaspekten mit den Fahrzeugen, Wartung, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit usw.:

Ein anderer
System-
zusammen-
hang?

⇒ LCC zur Abbildung
der Kostenfunktion





Plan

- *Problem*
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- **Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer**
- *Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer*
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- *Alternativen für die 400 km/h of Schottergleis*
- *Schlußfolgerung*

Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (1)

- **Schottergleis:** Schiene, Schwelle und Schotter
- Die Lebensdauer hängt stark von Gebrauchs- und Rahmenbedingungen ab:
 - Fahrzeuge, Geschwindigkeit, Radien, Unterbau...
 - Verschlechterungsfunktionen und Versagensgesetze sind nur für einen spezifischen Parameter mix gültig
- Das Schottergleis, für HGV wurde in Frankreich von Herrn Prudhomme (1976) für 270 km/h geplant:
 - **Ziel : Unterhaltungskosten ident mit einer konventionellen V200 Linie WENN die Fahrzeuge angepasst sind**
 - Fahrzeuge & Gleis ⇒ ein System**

Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (2)

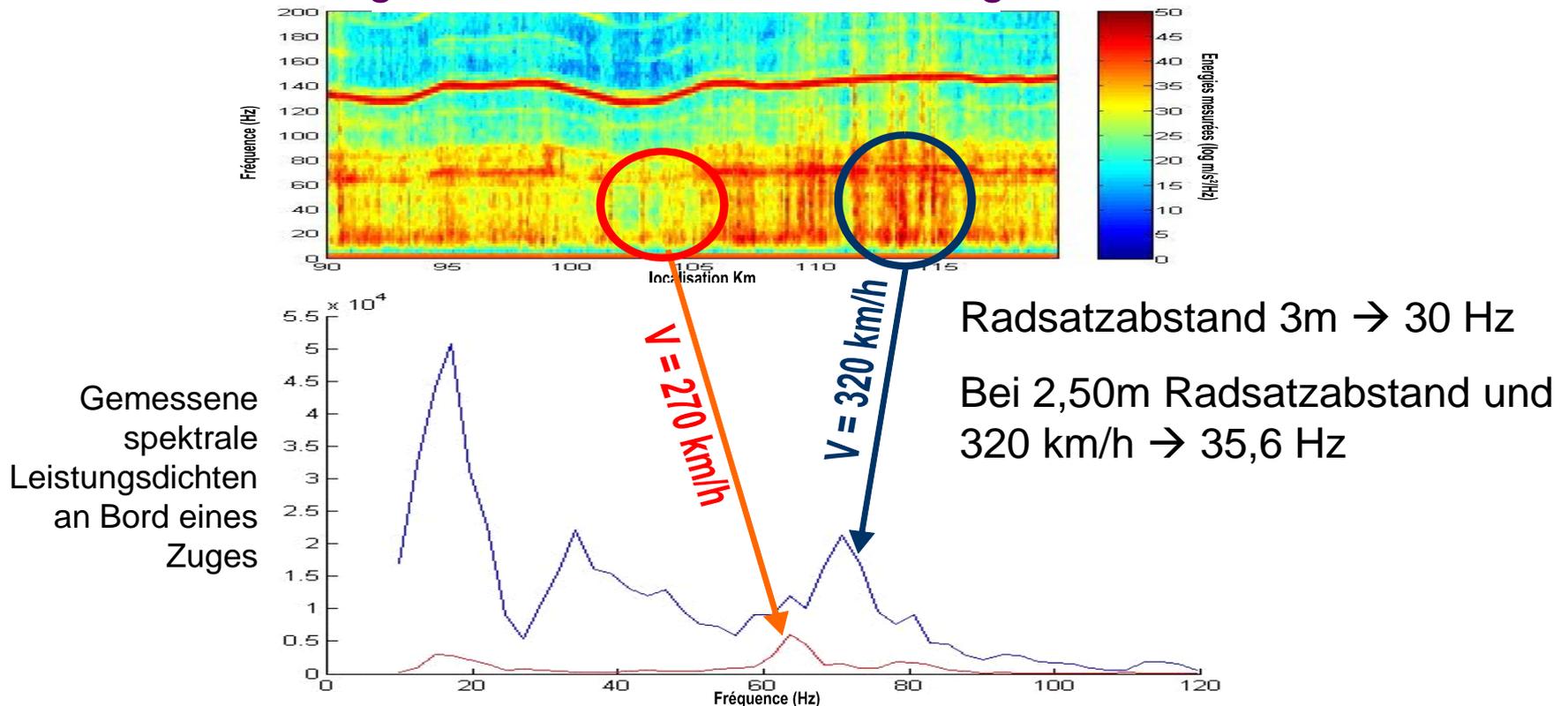
- **Fahrzeuge angepasst** heißt:
 - maximale Achslast von 17 Tonnen
 - minimale nicht abgefederte Massen
 - Achsstand im Drehgestell von 3m
 - Drehgestellabstand von mehr als dem 5-fachen Achsstand im Drehgestell
 - Stromlinienförmiger Unterboden (keine Venturi Wirkung)
- **Die zulässige Geschwindigkeit** dieses Gleises beträgt 320 km/h um Schotterfließen zu verhindern ($\sim 30\text{Hz}$) und so die Wartungskosten nicht zu steigern
- **Für die konventionellen Wagen mit einem Achsabstand von 2,50 m beträgt dieser Grenzwert 250 km/h**



Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (3)

- Die Paarung „Fahrzeug und Geschwindigkeit“ hat eine wesentliche Auswirkung auf die Energie über 30 Hz die auf das Gleis wirkt:

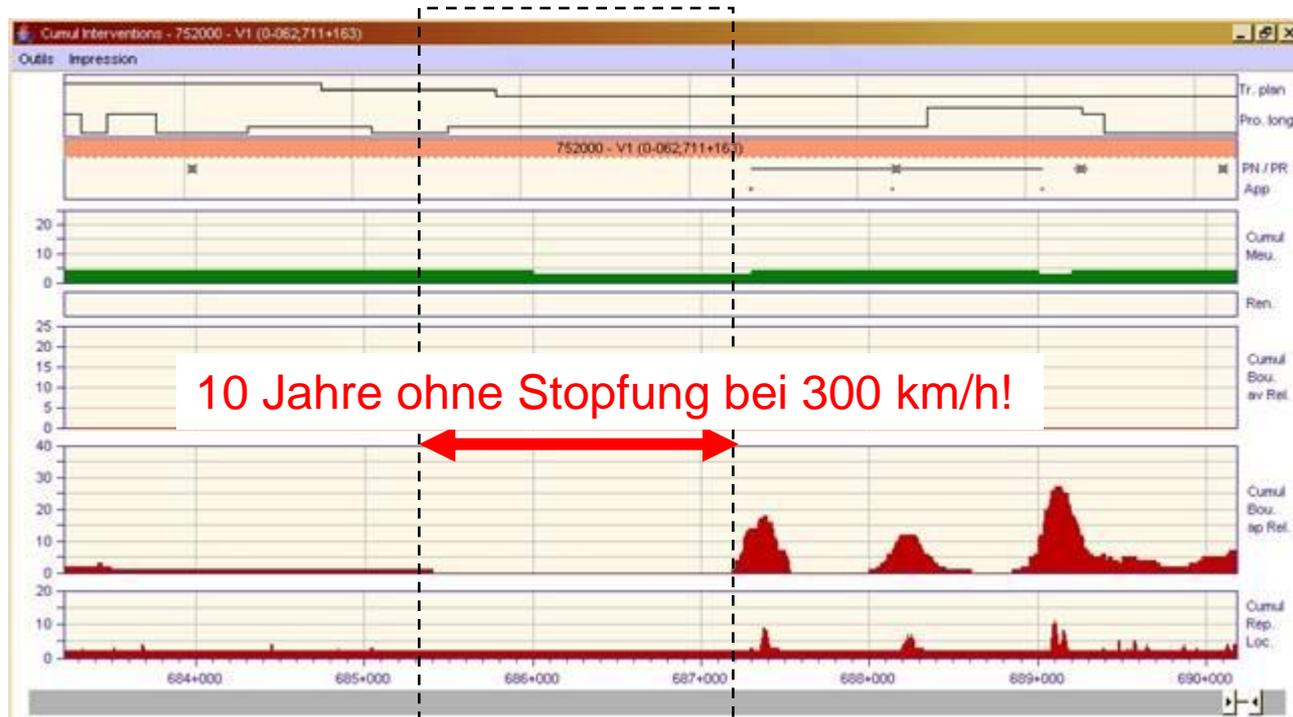
→ Auswirkung auf das Verhalten der Gleisgeometrie



- Der **Untergrund** hat auch einen wesentlichen Einfluß auf die Gleislebensdauer und die Stabilität der Gleisgeometrie

Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (4)

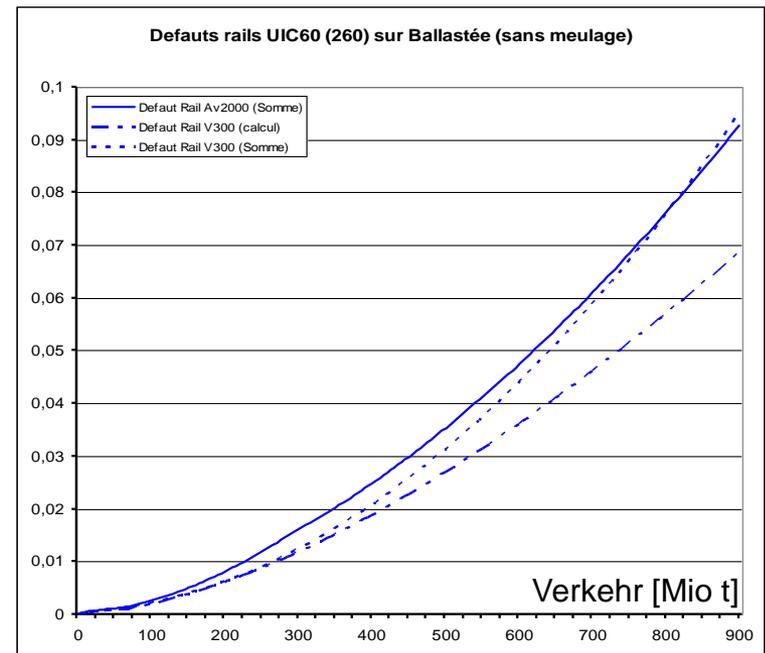
- **Schwellenbesohlung** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensdauer des Gleises und die Stabilität der Geometrie bei Hochgeschwindigkeits-Linien:



Kumulierung der Interventionen

Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (5)

- **Die Analyse des Schienenversagens (UIC60 260)** (Defekt S, X1, X2), zeigt, dass:
 - die Lebensdauer der Schienen im HGV Schottergleis beträgt 30 bis 35 Jahre (~700 Mio.t), sogar ohne präventives Schleifen
 - die Lebensdauer von Thermitschweißungen kompatibel mit jener der Schienen ist
 - **diese Regeln sind sehr sensibel auf die Aggressivität der Fahrzeuge**

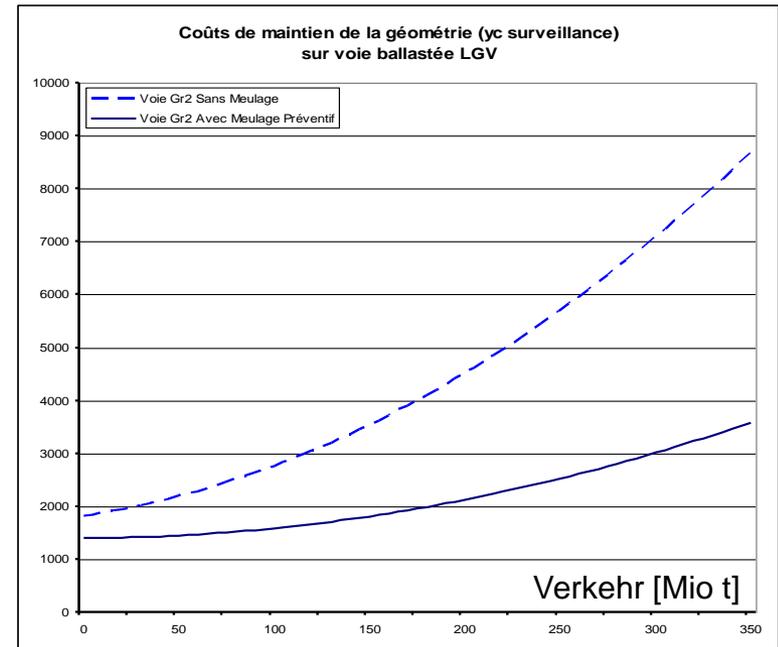


Die Ausfallrate kann sich schneller erhöhen, wenn das Fahrzeug ein hohen „Schlupf Faktor“ hat (20% für einige Materialien)

Schottergleis - Lebensdauer der Bestandteile (6)

- **Die Analyse des Geometrieverhaltens** zeigt, dass:
 - die Lebensdauer des Schotters ohne bituminöse Tragschicht und ohne Schwellenbesohlung bei HGV Strecken 25 bis 30 Jahre beträgt ($V > 300$)
 - diese wird bei bituminöser Tragschicht und Schwellenbesohlung höher sein
 - der **Wartungsbedarf (5,5€/m)** folgt eine Maumy Regel

$$\text{Im}(N) = k \times 0,8 \times \delta \times \left(a + b \times \left(2^{\frac{N}{5}} - 1 \right) \right)$$



Die Parameter dieser Regel hängen von Fahrzeugtyp und Trassierung ab !



Plan

- *Problem*
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- *Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer*
- ***Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer***
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- *Alternativen für die 400 km/h of Schottergleis*
- *Schlußfolgerung*

Festefahrbahn - Lebensdauer der Bestandteile (1)

Durch die Feste Fahrbahn sollen die Unterhaltungskosten zufolge erhöhter Lagestabilität reduziert werden.

- Gleichzeitig erhöhen sich aber Schienen- und Weichenkosten, auch wegen einer Reduzierung ihrer Lebensdauern
- im Vergleich zum Schottergleis wäre **geringere Anforderungen an die Fahrzeuge** möglich aber nicht wünschenswert

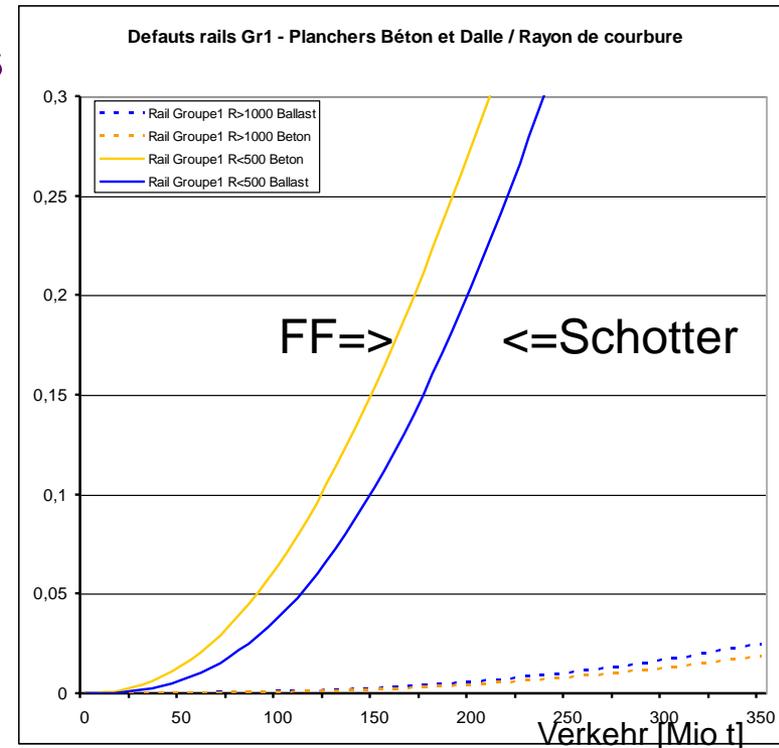
Die zulässige Geschwindigkeit von 400 km/h wird als möglich angesehen, selbst wenn eine Reduzierung auf 300 km/h in China zur Reduktion der Wartungskosten von Fahrzeugen und Gleisen (Risse...) überlegt wurde



- Man beachte, dass ungefederte Massen der Fahrzeuge bei Fester Fahrbahn sich massiv auswirken
- Die Feste Fahrbahn erlaubt komplexere Trassierungen (Neigung und Radius) als das Schottergleis

Festefahrbahn - Lebensdauer der Bestandteile (2)

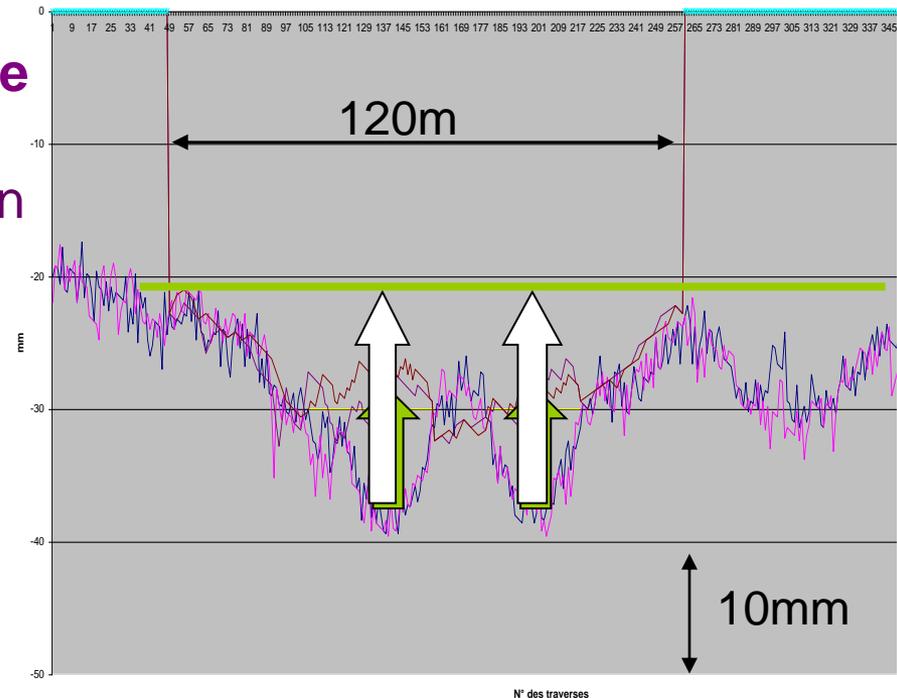
- **Die Analyse des Schienenversagens** (Defekt S, X1, X2) zeigt, dass:
 - die Lebensdauer der Schienen auf Fester Fahrbahn um bis zu 30% **kürzer** ist als auf Schotter-Gleis (R < 5000 m)
⇒ 350HT Schienen in Kurven
 - die Lebensdauer der Thermitschweißungen nicht die Lebensdauer der Schienen erreicht
⇒ Abbrennstumpfschweißen mit den 350HT Schienen



Festefahrbahn - Lebensdauer der Bestandteile (3)

- **Die Analyse der Verschlechterung der Geometrie** zeigt, dass:
 - die Geometrie stabil ist, nur wenn der Unterbau sehr stabil bleibt
 - Geometriekorrekturen sind kostspielig (100€/m, wenn Nachjustage durch den Träger möglich, mehr, wenn Beton-Injektionen erforderlich sind)
 - die Folgen nach Entgleisungen oder Bodenbewegungen sind hoch...

Laser Aufnahme der Längsnivellierung



Verbesserungen durchgeführt mittels Betoninjektion, um die Langsamfahrstellen zu beheben

Festefahrbahn - Lebensdauer der Bestandteile (4)

Zusammenfassung Liegedauer

Der FF hat Vorteile hinsichtlich der Lagestabilität, aber man muss berücksichtigen, dass:

FF ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen

- => keine Gleisstromkreise erlaubt (SLT Kosten ↓)
- => Schienenbrüche kaum prognostiziert werden können (Risiko ↑)
- => elektrisches Schweißen erfordert (Kosten ↑)
 - => höhere Schleif- oder Fräsfrequenz erfordert (Kosten ↑)
 - => Schienenlebensdauern von nur ~15 Jahre erlaubt (Kosten ↑)

FF in Kurve

- => 350HT oder 370LHT Schienen (Kosten ↑)
- => elektrisches Schweißen (Kosten ↑)
 - => spezifisches jährliches Schleifen (Kosten ↑)
 - => Schienenlebensdauer ~15 Jahre (Kosten ↑)



Plan

- *Problem*
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- *Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer*
- *Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer*
- ***LCC - Anwendung auf das Bahngleis***
- *Alternativen für die 400 km/h of Schottergleis*
- *Schlussfolgerung*

LCC - Vergleich Schottergleis und Feste Fahrbahn (1)

Ein Infrastrukturverwalter muss komparativ abschätzen können ob für sie spezifischen Anlageverhältnisse **Feste Fahrbahn oder Schottergleis** vorteilhaft ist. Folgende Ergebnisse liegen vor:

| | Schotter | FF |
|------------------------|--|---|
| Lebensdauer | <i>~ 50 Jahre</i> | <i>~ 60 Jahre</i> |
| Technologie | <i>VAX, B70</i> | <i>Bögl, Rheda...</i> |
| Wartung | <i>Schleifen, Stopfen, RB und RR</i> | <i>Schleifen, Dränage, Geometrie Verbesserungen RR (Schienen Erneuerung)</i> |
| Invest. „Gleis“ | <i>0,5 Mio €/km</i> | <i>1 bis 2 Mio €/km</i> <i>(ohne Berücksichtigung von die Verkehrsunterbrechung)</i> |
| Invest. „SLT“ | <i>GSK und SB</i> | <i>Axel Zähler ohne SB</i> |
| Geschwindigkeit | <i>250, wenn d=2,5m 320, wenn d=3,0m</i> | <i>300 (350?)</i> |

LCC - Vergleich Schottergleis und Feste Fahrbahn (2)

LCC-Konzept für ein **Schottergleis mit V300** mit dazupassenden Fahrzeugen:

Schottergleis

Fahrzeug

Unterbau

Keine Untersohlung

SNCF-Schotterprofil

Bibloc Schwellen

Schiene UIC60 260

Thermitschweißen

Gleisstromkreise



Stromlinienform Unterboden auf einem Niveau

seitliche Luftführung

Boogies Radsatzabstand 3m

$D > 15\text{m}$ zwischen Boogies

$< 17\text{t}$ pro Achsen

Minimale nicht gefederte Massen

Minimaler Schlupf der Räder

Jahreskosten für 1 km Gleis ~ 60.000 € (Basis: Nutzungsdauer 55 Jahre)

LCC - Vergleich Schottergleis und Feste Fahrbahn (3)

LCC-Konzept für eine **Feste Fahrbahn V300** mit dazupassenden Fahrzeugen:

Feste Fahrbahn

Fahrzeug

Unterbau
Monoblockplatte
Regulierbare Träger
vertikal und schräg
Schiene UIC60 260 / 350
in Kurve von $R < 5000\text{m}$
Abbrennstumpfschweißen
Keine Gleisstromkreise



Keine Stromlinienform
Wagenunterboden (mehrere Niveaus)
Luftführung unter Wagenkasten
Boogies Radsatzabstand 2,5m
 $D < 15\text{m}$ zwischen Boogies
17t durch Achsen im Durchschnitt
Schlupf über 15%

Jahreskosten für 1 km Gleis ~ 60.000 € (Basis: Nutzungsdauer 60 Jahre)



Plan

- *Problem*
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- *Schotter Gleis - Bestandteile Lebensdauer*
- *Feste Fahrbahn - Bestandteile Lebensdauer*
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- ***Alternativen für die 400 km/h auf Schottergleis***
- *Schlussfolgerung*

Vorschlag für V400 ⁽¹⁾

Um dieselbe Wartungskosten für V400 wie bei V300 zu erhalten, wird folgendes Konzept für **V400 auf Schottergleis** vorgeschlagen:

Schottergleis

Asphaltschutzschicht
Schwellenbesohlung
Schotterprofil -5cm
evt. Rahmenschwellen
Schiene UIC60 260
Neulage: Abbrennstumpfschweißen, danach Thermitschweißen
Gleisstromkreise

Fahrzeuge

Stromlinienförmiger
Wagenunterboden auf einem Niveau
(auch zwischen den Wagen)
Seitenluftführung
Boogies Radsatzabstand 3 bis 3,5m
D > 15m zwischen Boogies
17t pro Achsen
Minimale nicht gefederte Massen
TSI für Fahrzeuge



Vorschlag für V400 ⁽²⁾

Falls:

- das Netz stark verknüpft ist (mit Transferpunkten zum Netz)
- die Linie mehrere Tage außer Betrieb genommen werden können
- die Finanzierung der Infrastruktur von dritter Seite gewährleistet, sobald sie mehr als 13 Jahre gedient hat
- verschiedene Fahrzeuge verkehren (d.h. die Fahrzeugtypen vom Infrastrukturbetreiber nicht beeinflusst werden können)
- die Trassierung besonders geradlinig und eben ist
- das Zuständigkeitsniveau in der Wartung des Gleises schwach ist...

Dann:

ist eine Feste Fahrbahn zweifellos die beste technisch-ökonomische Lösung und kann, mit einer Verbesserung in der Beherrschung seiner Steifigkeiten, eine Reisegeschwindigkeit von 400 km/h erlauben

Vorschlag für V400 ⁽³⁾

Falls:

- das Netz nicht verknüpft ist (z.B. sternförmig), mit wenigen Verknüpfungen zum konventionellen Netz
- die Linie nicht mehr als eine Nacht außer Betrieb genommen werden kann
- die Finanzierung von den neuen Infrastrukturen und ihre Wartung vom Infrastrukturverwalter gewährleistet werden muss
- der Zwang zur Nutzung spezieller Fahrzeuge stark ist (keine konventionellen Fahrzeugen, falls doch nur zu erhöhten Trassengebühren)

Dann:

ist das Schottergleis ist die beste technisch-ökonomische Lösung und kann, mit vorgesehenen Verbesserungen (Asphaltschutzschicht, Schwellenbesohlung, spezifische Rahmenswellen...) die Reisegeschwindigkeit von 400km/h erlauben



Plan

- *Problem*
- *Eine Systemvorstellung „Gleis & Fahrzeuge“*
- *Schotter Gleis - Lebensdauer der Bestandteile*
- *Feste Fahrbahn - Lebensdauer der Bestandteile*
- *LCC - Anwendung auf das Bahngleis*
- *Vorschläge von Alternativen für die 400 km/h*
- ***Schlussfolgerung***

Schlussfolgerung (1)

Die Ergebnisse der LCC-Analyse können je nach Analyseumfang unterschiedliche Ergebnisse liefern:

- Betriebsmehraufwendungen verbunden mit der Unterbrechung von Verkehr und der Topologie des Netzes;
- von der Natur der Fahrzeuge, Geschwindigkeit, Drehgestelle, Radsatzabstand, Schlupf, stromlinienförmiger Unterboden...
- Untergrund und Unterbau;
- Auswirkungen auf die Signalisierung und die Zielsetzungen von Sicherheiten (gebrochene Schiene...)...

Eine LCC-Analyse, die auf die Instandhaltungs- und Erneuerungskosten des Gleises begrenzt ist, zeigt dass Schottergleis und Feste Fahrbahn Lösungen objektiv entsprechen können.

Nach der Topologie der Netze und die Natur der Fahrzeuge (Geschwindigkeit, Radsatzabstand, Schlupf, Aerodynamik...), zeigen die wirtschaftlichen Ergebnisse Vorteile für das Schottergleis:

- bei konventionellen Netzen und der Erneuerung der Linien mit hoher Geschwindigkeit;
- bei Hochgeschwindigkeitslinien bis zu V400+

Schlussfolgerung (3)

Das moderne Schottergleis mit dazupassenden Fahrzeugen erlaubt:

- eine Geschwindigkeit von 400 km/h mit den heutigen Kosten eines Gleises mit V300
- Wartungskosten und Erneuerungspolitik kompatibel mit der derzeitige Linien

Das Problem ist ein „System“ Problem. Es ist illusorisch nur den „Gleis“ Aspekt in Betracht zu ziehen, ohne Fahrzeugaspekte, Topologie des Netzes und eine Annahme eines gewissen Risikoniveaus zu erwägen

Es ist Aufgabe der Gleisunternehmer, neue Gleis-„moden“ aufzudrängen, die nicht immer und überall das Optimum für die Infrastrukturverwalter sind.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Haben sie Fragen?



574,8 km/h auf Schottergleis

Dr.-Ing. Marc ANTONI

Ing.CNAM Ing ESE FIRSE

marc.antoni@sncf.fr

+33 6 29 91 77 43