

LCC Optimierung Gesamtsystem Fahrzeug – Fahrweg

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Veit
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig

10. IHRUS Tagung 2021, Verkehrshaus Luzern, 18.11.2021



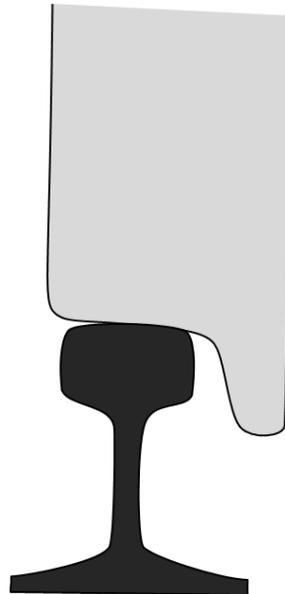
Die Bahn im Wandel



Ziel: Ermöglichung eines Wettbewerbs Bahn - Straße unter gleichen Randbedingungen

Liberalisierung der Bahn → Inkraftsetzung von Marktmechanismen → Konkurrenz → Wettbewerbsfähigkeit → Sicherstellung von Diskriminierungsfreiheit → Trennung von Infrastruktur und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)

... solange die neue
Struktur ein System
Bahn erlaubt

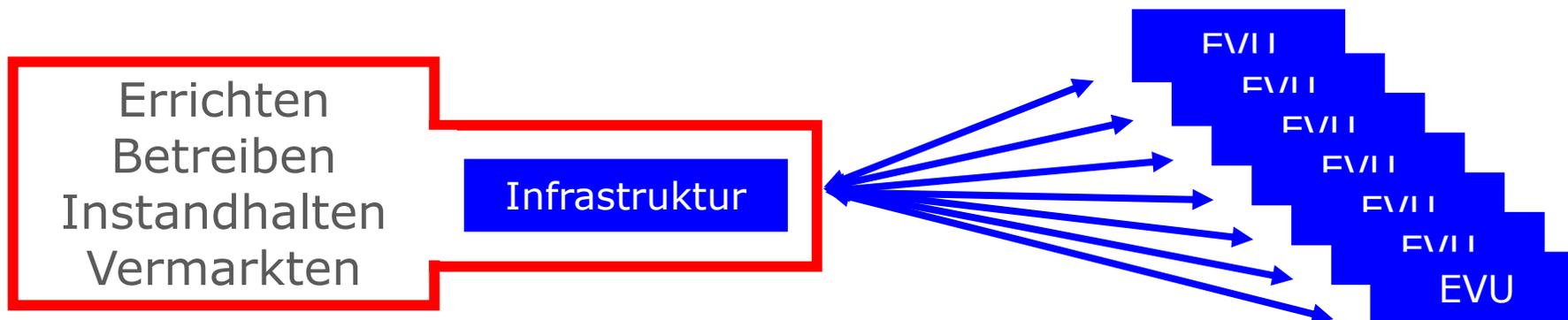


Trennt sich das Rad von der Schiene, war das früher eine Entgleisung, heute ist das das Grundprinzip der Organisation der Eisenbahnen Europas.

Als Techniker sehe ich viele Probleme – Eisenbahn findet ja genau an dieser Schnittstelle massgeblich statt, als Wirtschaftsingenieur sehe ich aber auch die Marktargumente der EU und als Praktiker sehe ich die Notwendigkeit mit der neuen Struktur leben zu lernen, auch wenn damit manche Probleme zu lösen sind, die es früher nicht gab...

Das neue System Bahn

oder: mit der liberalisierten Struktur leben lernen



zahlreiche Wechselwirkungen zwischen Infrastruktur und EVUs

- Geschwindigkeit
- Fahrplan
- Kapazitäten
- Betriebsbehinderungen
- Fahrzeug
- Verschleiss

aber nur mehr **EINE** verbliebene Schnittstelle: **Trassenmaut**

Die Bahn im Wandel



Ziel: Ermöglichung eines Wettbewerbs Bahn - Straße unter gleichen Randbedingungen

Liberalisierung der Bahn → Inkraftsetzung von Marktmechanismen → Konkurrenz → Wettbewerbsfähigkeit → Sicherstellung von Diskriminierungsfreiheit → Trennung von Infrastruktur und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)

EVU: Implementierung der Marktmechanismen → TSI, Taktfahrpläne, ...

Systemkosten müssen steigen (Umlaufpläne) aber gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit sollte das überkompensieren

Infra: Implementierung der Marktmechanismen nicht möglich → Infra bleibt Monopolist → Einnahmen des Monopolisten müssen limitiert werden → direkte Zugkosten (variable Kosten)

Markt steuert über Preise → Preise sind verursachungsgerecht auszugestalten, sonst steuert der Markt auf Grund falscher Signale der Preise falsch → damit wird das Systemoptimum konterkariert, da das **Systemoptimum nicht Summe der Einzeloptima** ist. Vielmehr verhindern Optima der Teilsysteme in der Regel das Erreichen eines Systemoptimums.

Qualität Triebfahrzeuge - Infrastrukturkosten

geradeaus fahren können
praktisch alle

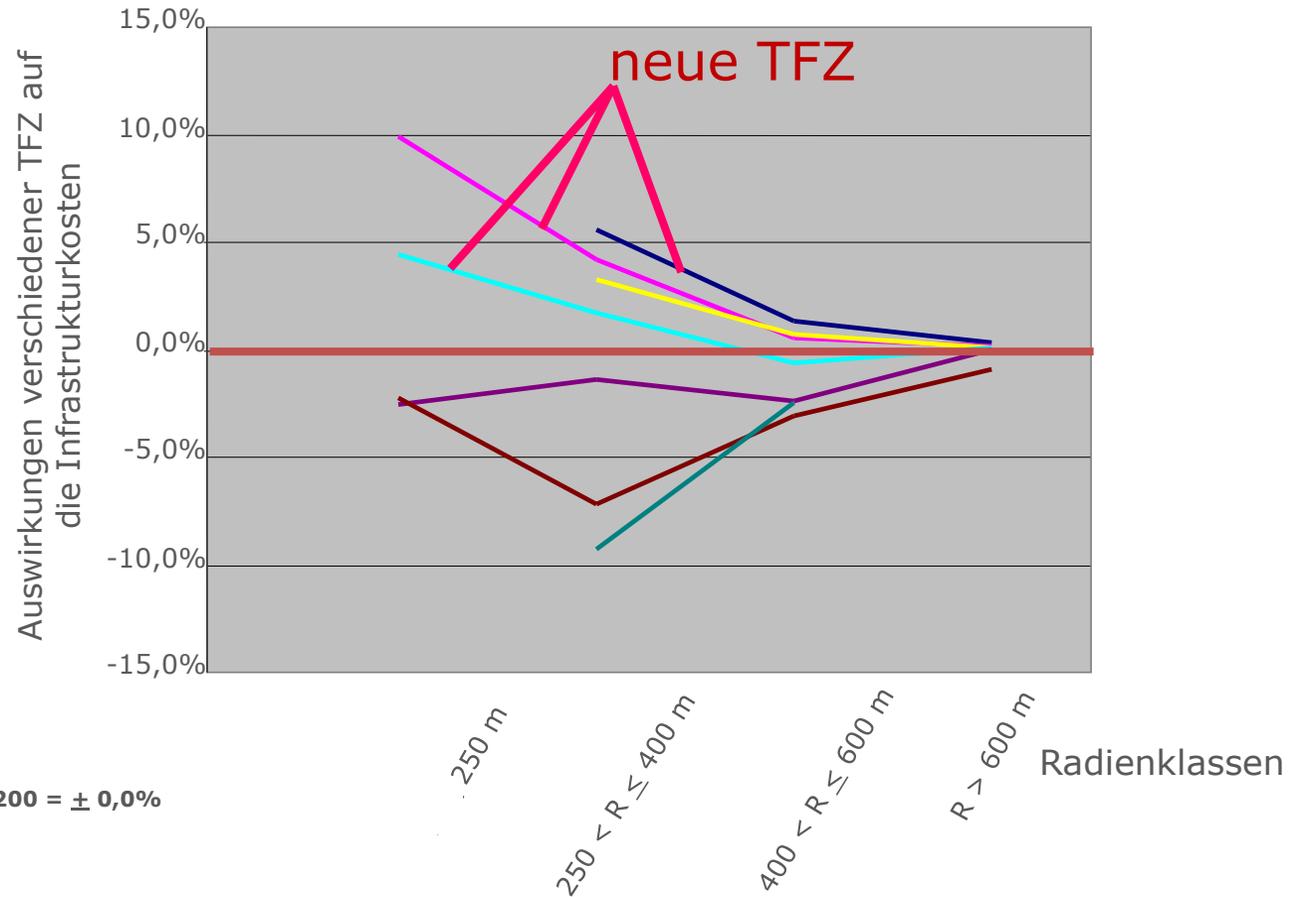
es gibt gleisschonende und
weniger gleisfreundliche TFZ

ABER

und alle gleisschonenden TFZ
wurden vor der Trennung in Infra
und EVUs beschafft

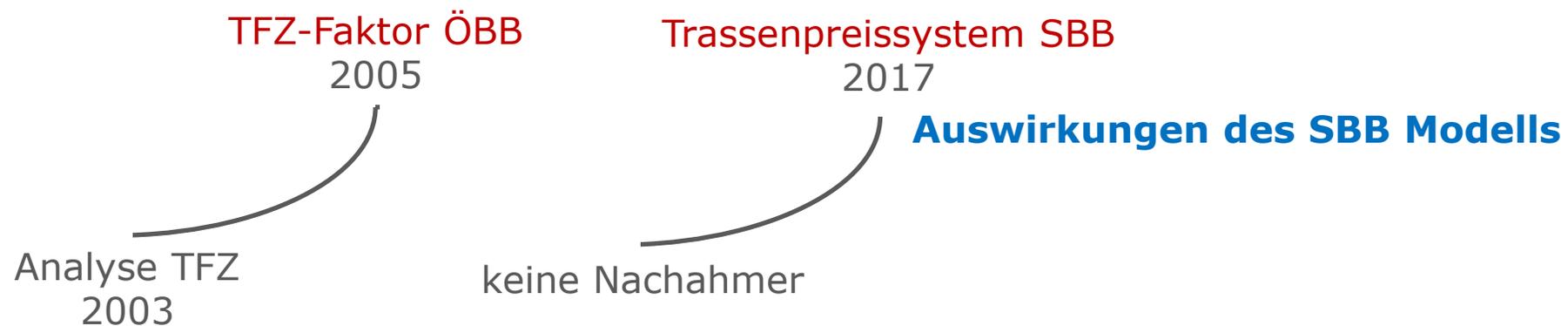
Alter ~ 40 Jahre

E 1044-200 = ± 0,0%



Grossversuch bestätigt: falsche Preise steuern falsch!

Konsequenzen



Verschleissfaktor Fahrbahn

Die Ausgangsfrage war eigentlich recht simpel: Was bringt es der Infrastruktur an Einsparungen, wenn die neuen Fahrzeuge von SBB-PV mit einem aktiven Steuerungsmechanismus (HALL) ausgerüstet werden?

Im Bereich Fahrbahn wird seit jeher die Verkehrsbelastung als Gesamttonnage abgebildet. (Ausnahme: Dimensionierung)

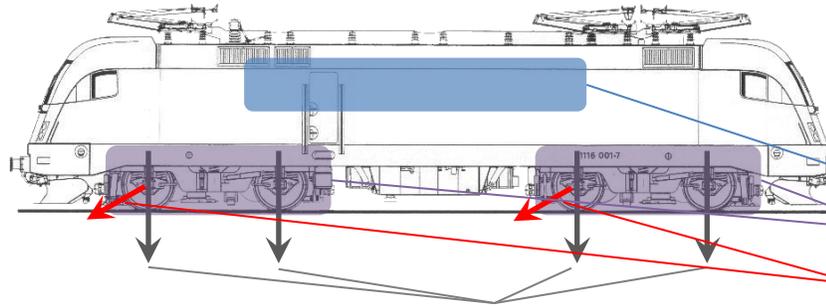
→ auch die Fahrbahnkosten können nur auf Gesamtbruttotonnen referenziert werden...

Es braucht daher eine andere Herangehensweise:

- I Welche Rad-Schiene-Beanspruchung führt zur welcher Fahrbahnschädigung?
- I Wie stellt sich der Schädigungsmechanismus ein?
- I Wie viel Schädigung kann eingebracht werden, bevor es zu einer Instandsetzung kommen muss?
- I Was kostet diese Instandsetzung?

Ergebnis: ein Kostensatz je Schädigungsinkrement

Verschleissfaktor Fahrbahn



Fahrzeuginput

T_{pV} (installierte) Leistungsdichte bezogen auf die Kontaktfläche Rad-Schiene

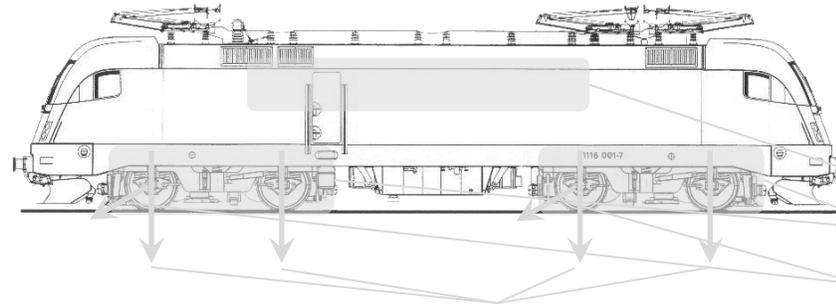
W_{bR} Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt im Bogen

$Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weichendurchfahrt)

$P_{2,V}$ dynamische Radkraft (statische Radkraft, ungefederte Massen, Geschwindigkeit)

$$C_V = k_{1R} \times P_{2,V}^3 + k_2 \times P_{2,V}^{1,2} + k_3 \times T_{pV} + k_{4R} \times W_{bR} + k_5 \times \sqrt{(0.5 \times P_{2,40\text{kmph}}^2 + 0.5 \times Y_{R=185m}^2)}$$

Verschleissfaktor Fahrbahn



Fahrzeuginput

T_{PV} (installierte) Leistungsdichte bezogen auf die Kontaktfläche Rad-Schiene

W_{bR} Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt im Bogen

$Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weichendurchfahrt)

$P_{2,V}$ dynamische Radkraft (statische Radkraft, ungefederte Massen, Geschwindigkeit)

$$C_V = k_{1R} \times P_{2,V}^3 + k_2 \times P_{2,V}^{1,2} + k_3 \times T_{pv} + k_{4R} \times W_{bR} + k_5 \times \sqrt{(0.5 \times P_{2,40\text{kmph}}^2 + 0.5 \times Y_{R=185m}^2)}$$



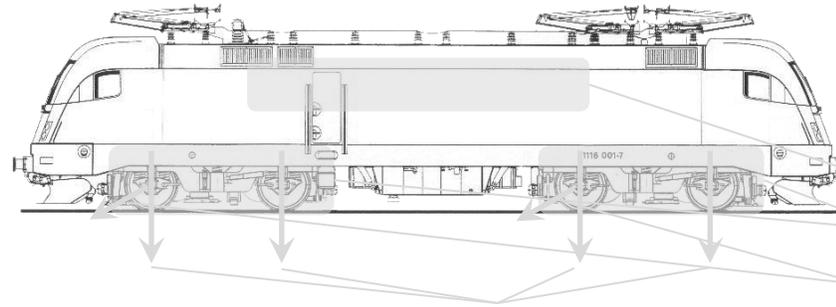
Gleislageverschlechterung
Schotterzerstörung

Schienenoberflächenschädigung Gerade
Schienenoberflächenschädigung Bogen (RCF)
Schienenverschleiss im Bogen

Verschleiss Weichenkomponenten

Fahrwegverschleiss

Verschleissfaktor Fahrbahn



Fahrzeuginput

T_{PV} (installierte) Leistungsdichte bezogen auf die Kontaktfläche Rad-Schiene

W_{bR} Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt im Bogen

$Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weichendurchfahrt)

$P_{2,V}$ dynamische Radkraft (statische Radkraft, ungefederte Massen, Geschwindigkeit)

$$C_V = k_{1R} \times P_{2,V}^3 + k_2 \times P_{2,V}^{1,2} + k_3 \times T_{pv} + k_{4R} \times W_{bR} + k_5 \times \sqrt{(0.5 \times P_{2,40kmph}^2 + 0.5 \times Y_{R=185m}^2)}$$



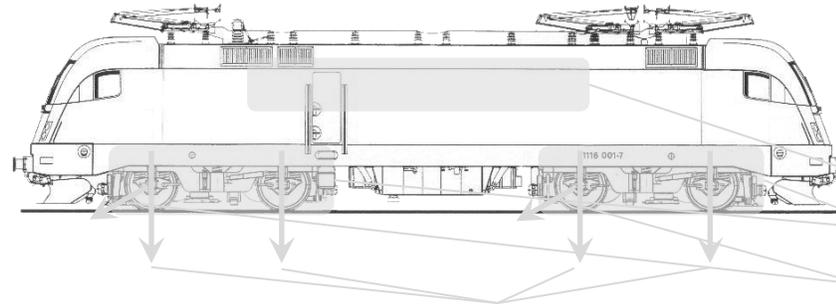
Fahrwegverschleiss



Fahrwegkosten

k_1 Gleisstopfung, Schotterbettreinigung
 $k_{2\&3}$ Schienenschleifen/-fräsen
 k_{41} Schienenschleifen/-fräsen
 k_{42} Schienenwechsel
 k_5 Tausch von Weichenkomponenten

Verschleissfaktor Fahrbahn



Fahrzeuginput

T_{PV} (installierte) Leistungsdichte bezogen auf die Kontaktfläche Rad-Schiene

W_{bR} Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt im Bogen

$Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weichendurchfahrt)

$P_{2,V}$ dynamische Radkraft (statische Radkraft, ungefederte Massen, Geschwindigkeit)

$$C_V = k_{1R} \times P_{2,V}^3 + k_2 \times P_{2,V}^{1,2} + k_3 \times T_{pv} + k_{4R} \times W_{bR} + k_5 \times \sqrt{(0.5 \times P_{2,40k} + 0.5 \times Y_{R=185m}^2)}$$

Fahrwegverschleiss



Gleislageverschlechterung

Schotterzerstörung

Schienenoberflächenschädigung Gerade

Schienenoberflächenschädigung Bogen (RCF)

Schienenverschleiss im Bogen

Verschleiss Weichenkomponenten



Gleisstopfung, Schotterbettreinigung

Schienenschleifen/-fräsen

Schienenschleifen/-fräsen

Schienenwechsel

Tausch von Weichenkomponenten

Fahrwegkosten

Verschleissfaktor Fahrbahn – was hat er bewirkt?

Bei SBB-PV



Schienenfahrzeugtagung, Graz, 2016

„Challenge accepted“

O-Ton:

Leichtbau und durchdachtes, striktes Massenmanagement
 Die «Marge» für gleisfreundliche Drehgestelle ist vorhanden aber dünn
 Der richtige Zug am richtigen Ort
 Diese Ansätze wirken auf Gleisbeanspruchung und Energieverbrauch gleichermassen

Bei anderen EVU

Bei der Angebotsbewertung werden LCC-/TCO-Anforderungen an verschiedenen Stellen betrachtet und bewertet

Kosten	Bewertungskriterium	Übliche Bandbreite
Angebotspreis	<ul style="list-style-type: none"> Angebotspreis, ggf. Bonus/Malus 	50 bis 95%
Ersatzteile	<ul style="list-style-type: none"> Ersatzteilmusterpakete Ersatzteilversorgungsverträge 	bis 5%
LCC-Angaben	<ul style="list-style-type: none"> Energieverbrauch Instandhaltung Innenreinigung 	bis 30%
Technik	<ul style="list-style-type: none"> Technische Soll-Anforderungen 	10 bis 20%
Vertrag	<ul style="list-style-type: none"> Zuverlässigkeit Verfügbarkeit Garantie für besondere technische Anforderungen 	10 bis 20%

Deutsche Bahn AG | FE.EF 2 | Jürgen Guss | 14.10.2021

kein VF, kein Fahrbahnverschleiss im Beschaffungsprozess...

Das ÖBB-TCO Modells

• Gesamtnutzungsdauer: z.B. 30 Jahre
 • Zugkilometer p.a. z.B. 150.000 km
 • Haltehäufigkeit, z.B. 0,5/km
 • Anschaffungspreis [€]
 • Instandhaltung [€/km]
 • Energieverbrauch [kWh/km]
 • Gewicht [kg]
 • Wirkungsgrad [0-1]
 • CO2 Emissionen

Hersteller A, Hersteller B, Hersteller C

• IH-Kosten Verifizierung + Pönale
 • Pönale bei Mehrgewicht
 • Nachweis Energieverbrauch auf Referenzstrecke + Pönale

ÖBB-Personenverkehr AG
 ÖVG 2021/TCO in Fahrzeugbeschaffungen
 30.10.2021

ÖVG-Tagung Fahrzeugausschreibungen und Total Cost of Ownership des Systems Bahn, Wien, 2021

Verschleissfaktor Fahrbahn – was hat er bewirkt?

Bei den Herstellern



Schienenfahrzeugtagung, Dresden, 2018

SBB-VF als „Referenz“ für fahrbahnschonende Fahrzeugkonzepte

Der Verschleissfaktor offenbart den Herstellern die „Wertigkeit“ verschiedener Fahrzeugeigenschaften und triggert daher die Überlegungen zu den Fahrzeugen/Drehgestellen von morgen

SBB-VF als „role model“ im Universal Cost Model (UCM) für Drehgestelle im S2R-Projekt Next Gear

Der „Schotterteil“ D1 1:1 umgesetzt, D4 und D5 sehr ähnlich

Ziel: wirtschaftliche Bewertung von Drehgestellinnovation

... und die beeinflussbaren Infrastrukturkosten sind als ein Teil mitgedacht

Grant Agreement Number: 881803
 Project Acronym: NEXTGEAR
 Project title: NEXT generation methods, concepts and solutions for the design of robust and sustainable running GEAR

DELIVERABLE D_XI.1
 Infrastructure module of UCM 2.0

Project acronym:	NEXTGEAR
Starting date:	01/11/2019
Duration (in months):	27
Call (part) identifier:	H2020-S2R-OC-01-2019-02
Grant agreement no.:	881803
Grant Agreement:	AMD-881803-4
Due date of deliverable:	30-06-2021
Actual submission date:	30-09-2021
Coordinator:	Jose Botella - UNIFE
Lead Beneficiary:	Stefan Marschnig, TU Graz
Version:	1.0
Type:	Report
Sensitivity:	Public
Dissemination level:	
Contribution to S2R ID's or WAs:	TD1.4
Taxonomy keywords:	Universal Cost Model, Life Cycle Cost,

Verschleissfaktor Fahrbahn – was hat er bewirkt?

Aber:

Wo bleiben die anderen Infrastrukturbetreiber?

Welche Wahl haben EVU im Korridorverkehr?

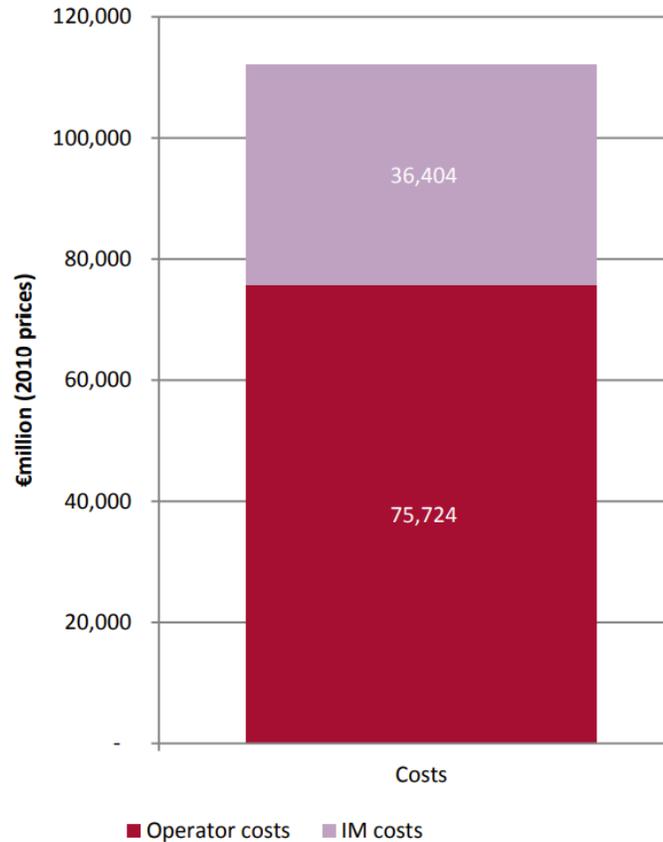


ÖVG-Tagung Fahrzeugausschreibungen und Total Cost of Ownership des Systems Bahn, Wien, 2021

Verschleissfaktor Fahrbahn – was kann er überhaupt bewirken?

Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des Bahnsystems

Figure 2.4: Cost and contribution of the EU rail sector (2012)



~ 1/3
Infrastrukturkosten



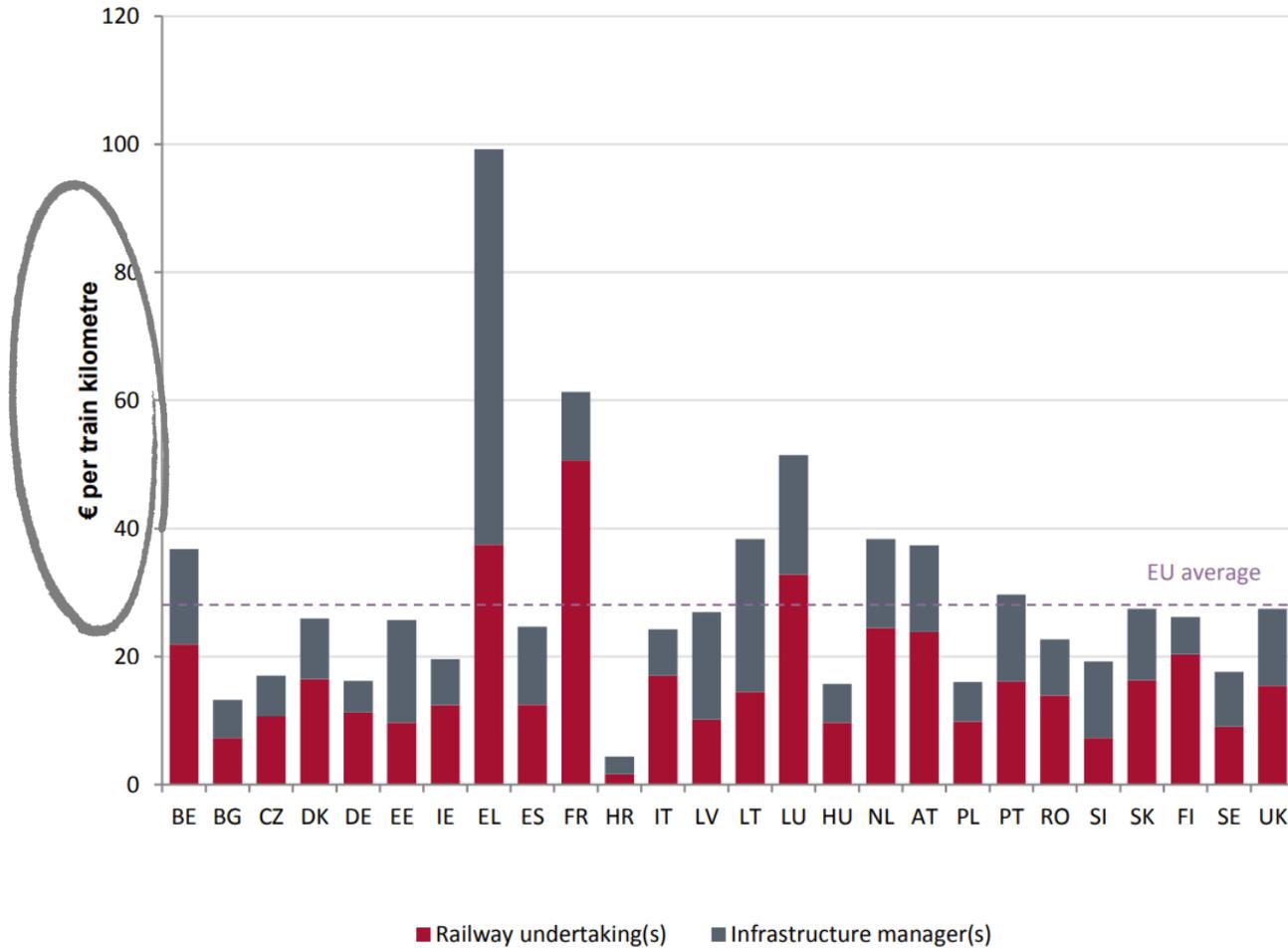
Study on the Cost and Contribution of the Rail Sector
Final Report
September 2015



Source: SDG analysis

Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des Bahnsystems

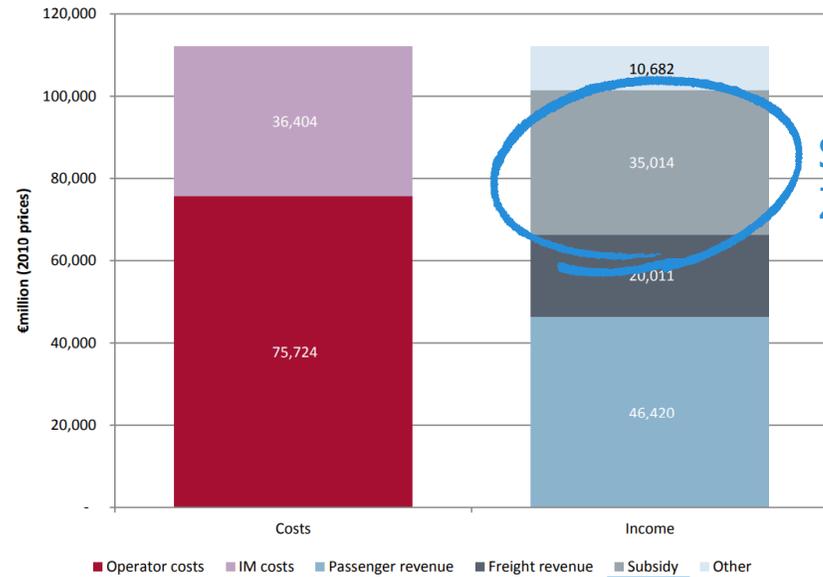
Figure 2.7: Operating costs per train kilometre by Member State (2012)



■ Railway undertaking(s) ■ Infrastructure manager(s)

Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des Bahnsystems

Figure 2.4: Cost and contribution of the EU rail sector (2012)



Staatliche
Zuzahlungen

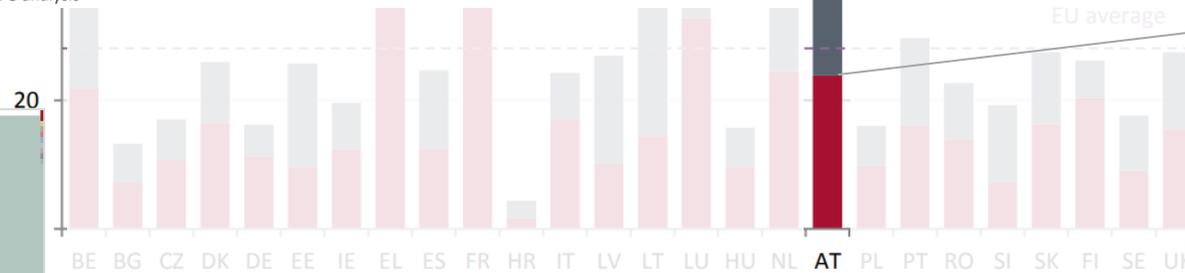
?

< 30%

Wegeentgelt



Source: SDG analysis

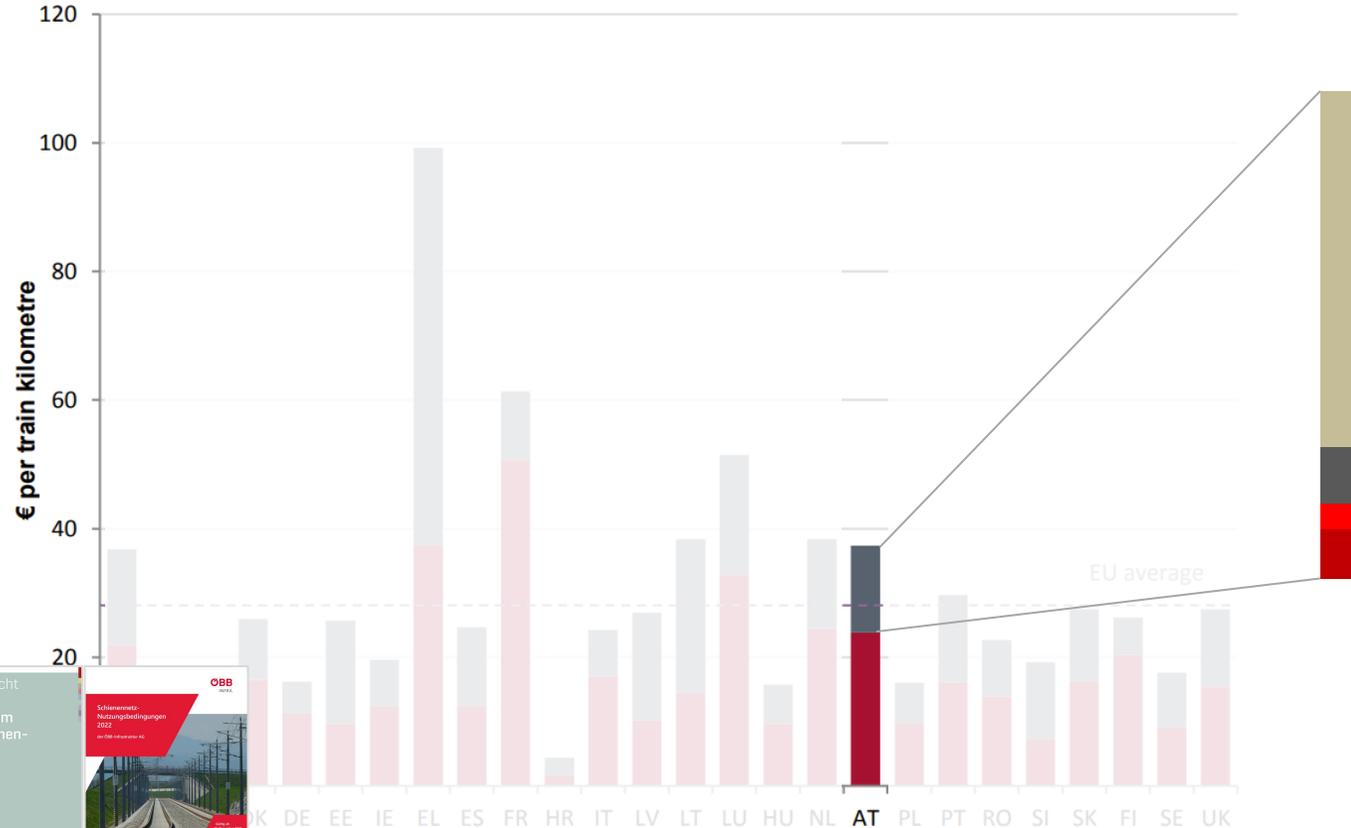


■ Railway undertaking(s) ■ Infrastructure manager(s)



Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des **Fahrzeugs**

Figure 2.7: Operating costs per train kilometre by Member State (2012)



~15%

Wegeentgelt „direkte Kosten“

~10%

Wegeentgelt „direkte Kosten“
Belastungsabhängig



■ Railway undertaking(s) ■ Infrastructure manager(s)

Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des Fahrzeugs

Sollen wir über das sprechen?



Ja, weil wir diese Kosten beeinflussen können!

Allokation der Infrastrukturkosten

Was nicht geht:

- I Wenn die Fahrwegkosten über Zugkilometerkosten abgedeckt werden, haben sie keinerlei Einfluss auf die Überlegungen zur Fahrzeugkonstruktion.

Triebzugarnitur: ~130 t; max. Geschwindigkeit 160 km/h



Güterzug: ~1.000 t; Geschwindigkeit 100 km/h

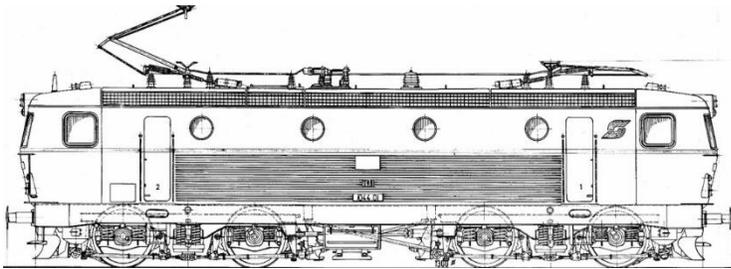


Fahrwegverschleiss? → Fahrweginstandsetzung? → Fahrwegkosten?

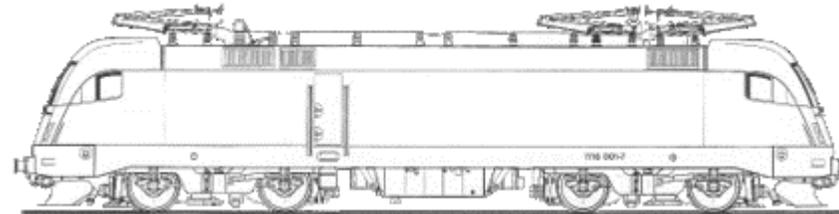
Allokation der Infrastrukturkosten

Was nicht geht:

- I Wenn die Fahrwegkosten über Zugkilometerkosten abgedeckt werden, haben sie keinerlei Einfluss auf die Überlegungen zur Fahrzeugkonstruktion.
- I Wenn die Fahrwegkosten über Bruttotonnenkilometerkosten abgedeckt werden, haben sie keinerlei Einfluss auf die Überlegungen zur Fahrzeugkonstruktion.



84 t



88 t

Fahrwegverschleiss? → Fahrweginstandsetzung? → Fahrwegkosten?

Allokation der Infrastrukturkosten – Wegeentgelt

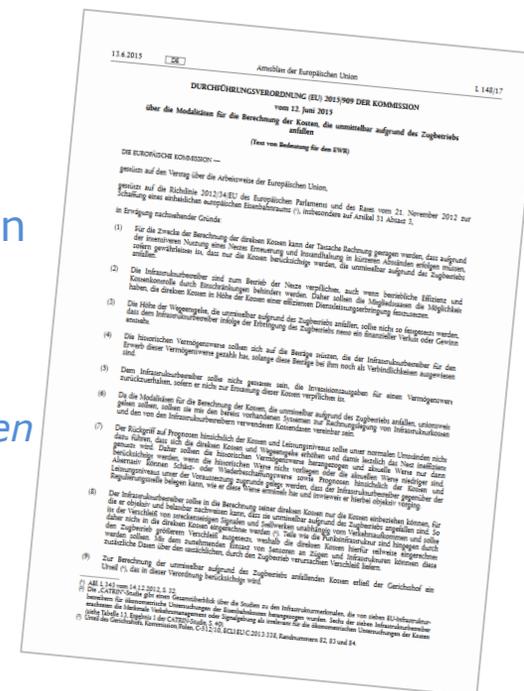
Das heisst: deutlich spezifischer werden!

Durchführungsverordnung (EU) 2015/909 der Kommission vom 12. Juni 2015 über die Modalitäten für die Berechnung der Kosten, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen

Artikel 5 Berechnung und Modulation der direkten Stückkosten Absatz (1)

(2) Die Mitgliedstaaten können dem Infrastrukturbetreiber gestatten, die durchschnittlichen direkten Stückkosten so zu modulieren, dass sie den durch einen oder mehrere der folgenden Parameter beeinflussten unterschiedlichen Verschleiß der Infrastruktur berücksichtigen:

- a) **Zuglänge und/oder Zahl der Fahrzeuge eines Zugs;**
- b) **Zugmasse;**
- c) **Art des Fahrzeugs, insbesondere dessen ungefederte Masse;**
- d) **Zuggeschwindigkeit;**
- e) **Antriebsleistung der motorisierten Einheit;**
- f) **Achslast und/oder Zahl der Achsen;**
- g) **Anzahl der festgestellten Flachstellen oder effektiver Einsatz von Schleuderschutzausrüstung;**
- h) **Längssteifigkeit der Fahrzeuge und horizontale Kräfte, die auf die Gleise wirken;**
- i) **verbrauchte und gemessene elektrische Energie oder Dynamik des Dachstromabnehmers oder der Stromabnehmer für Stromschienen als Parameter für die Anlastung des Verschleißes der Oberleitung oder der Stromschiene;**
- j) **Gleisparameter, insbesondere die Radien;**
- k) **sonstige kostenrelevante Parameter, bei denen der Infrastrukturbetreiber gegenüber der Regulierungsstelle nachweisen kann, dass die Werte jedes dieser Parameter, auch gegebenenfalls von Abweichungen jedes dieser Parameter, objektiv gemessen und festgehalten wurden.**



Eisenbahninfrastrukturkosten als Teil der TCO des Fahrzeugs

Aber:

- I Selbst eine fahrzeug(auslegungs)spezifische Anlastung von Infrastrukturkosten stellt nicht sicher, dass sich jede „gleisfreundliche Innovation“ rechnet.
Das hängt natürlich auch davon ab, wieviel die Technologie kosten – oder um wieviel sie dem Fahrzeugbetreiber angeboten wird.
- I Es wird und soll nicht Ziel sein, dass die Fahrzeugweiterentwicklung nur den Fahrwegverschleiss berücksichtigt.
Es gibt einige veritable Zielkonflikte bei den Fahrzeugbetreibern, die technisch nicht und wirtschaftlich nur schwer auflösbar sind.

Und wieder: Sollen wir überhaupt über solche Modelle sprechen, daran arbeiten?

Ja, weil wir sonst – zumindest eventuell – an unserem System vorbeioptimieren. Problem „Vorbeioptimieren“ = Konterkarieren des Systemoptimums

Infrastrukturkosten und Fahrzeugbeschaffung

Die einzige Lösung in open-access-Systemen ist es, diese Kosten über den Trassenpreis unmittelbar in die TCO des Fahrzeugbetreibers hineinspielen.

Wenn wir die Kosten „nur“ rechnen können, diese aber nicht in den Cash-flow kommen, dann werden sie auch nicht entscheidungsrelevant.

Natürlich können die Fahrzeughersteller „gleisfreundliche“ Fahrzeuge bauen, sie können aber die Zielkonflikte nicht lösen. Das kann nur der Fahrzeugbetreiber (EVU).

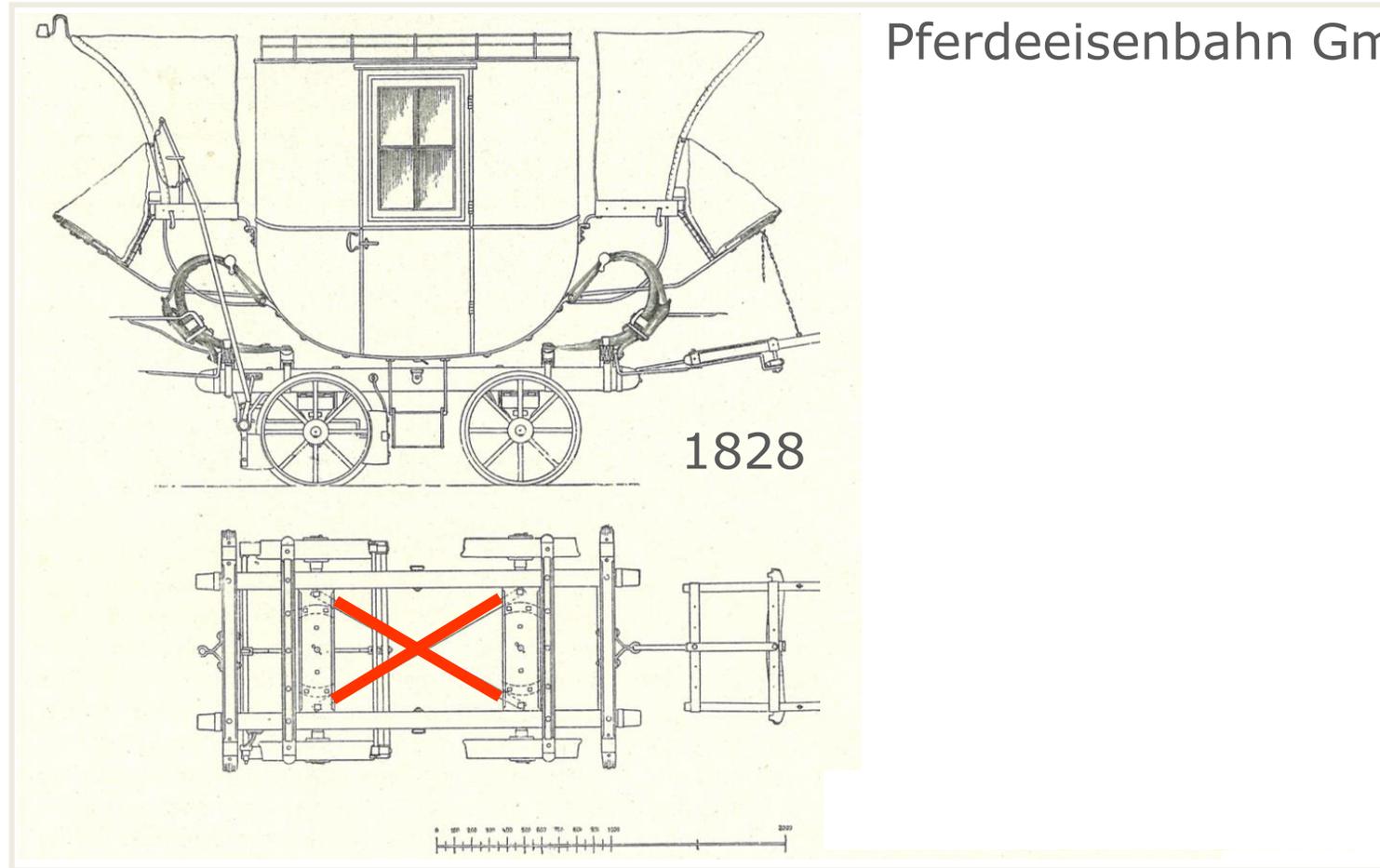
Aus Sicht der Infrastruktur lässt sich nichts steuern!

Aber: die Kosten so gut wie möglich darstellen und über das Wegeentgelt verrechnen, ermöglicht es zumindest, die technischen Zusammenhänge monetarisiert für die Entscheidungsfindung zur Verfügung zu stellen.

Auswirkungen des Trassenpreissystems in Österreich

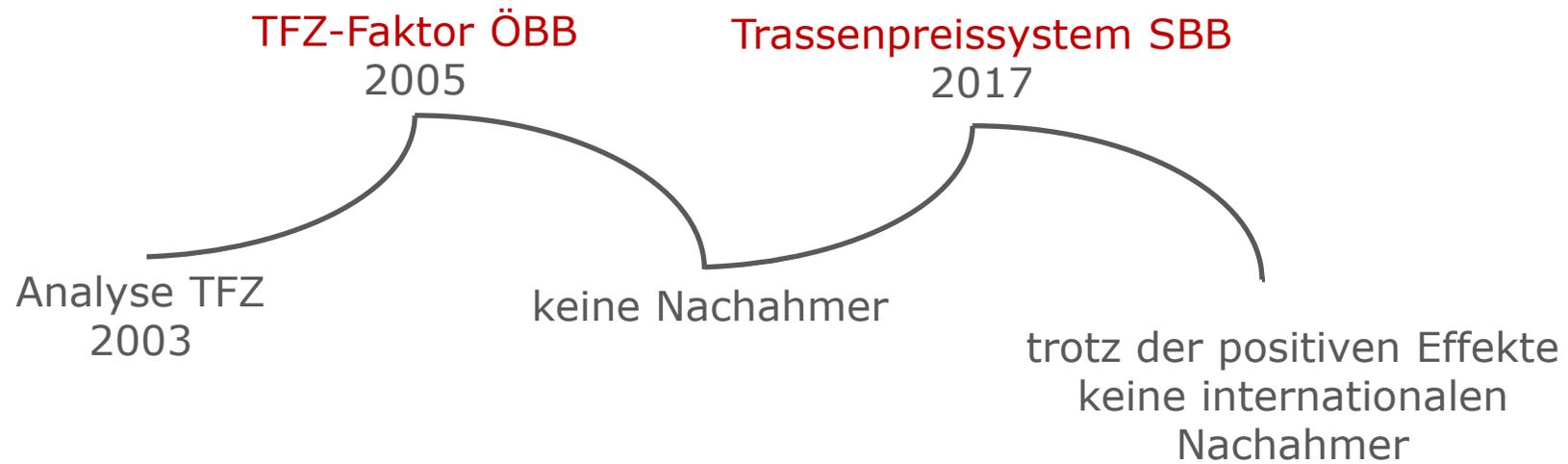
1. Kreuzanker

Pferdeeisenbahn Gmunden–Budweis



2. Nachfolger Railjet

Konsequenzen



Blick in der Koralmsüdröhre (Westportal minus ~8 km) Richtung Osten, 03. Oktober 2021

Peter Veit
+43664608736217
peter.veit@tugraz.at

Stefan Marschnig
+43664608736717
stefan.marschnig@tugraz.at

www.ebw.tugraz.at

