

Ermittlung der direkten Kosten einer Zugfahrt und deren Modulation

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig
Wien, 05.10.2017

Wegeentgelte

"Charges for the minimum access package and for access to infrastructure connecting service facilities shall be set at the cost that is directly incurred as a result of operating the train service."

DIRECTIVE 2012/34/EU Article 31/3

DIRECTIVE 2001/14/EC Article 7/3

Welche Kosten?



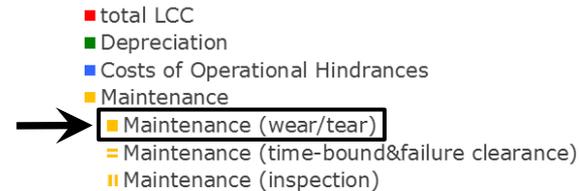
Commission Implementing Regulation (EU) 2015/909
on the modalities for the calculation of the cost that is directly incurred as a result of operating the train service

Cost that is directly incurred

1 Instandsetzung (verschleißgetrieben)

Oberleitung

Composition of normalised annual Costs
Influence of Transport Volume
Straight Track, Speeds up to 160 kmph



The infrastructure manager should be allowed to include in the calculation of its direct costs only costs that it can objectively and robustly demonstrate that they are triggered directly by the operation of the train service.

IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2015/909 (8)

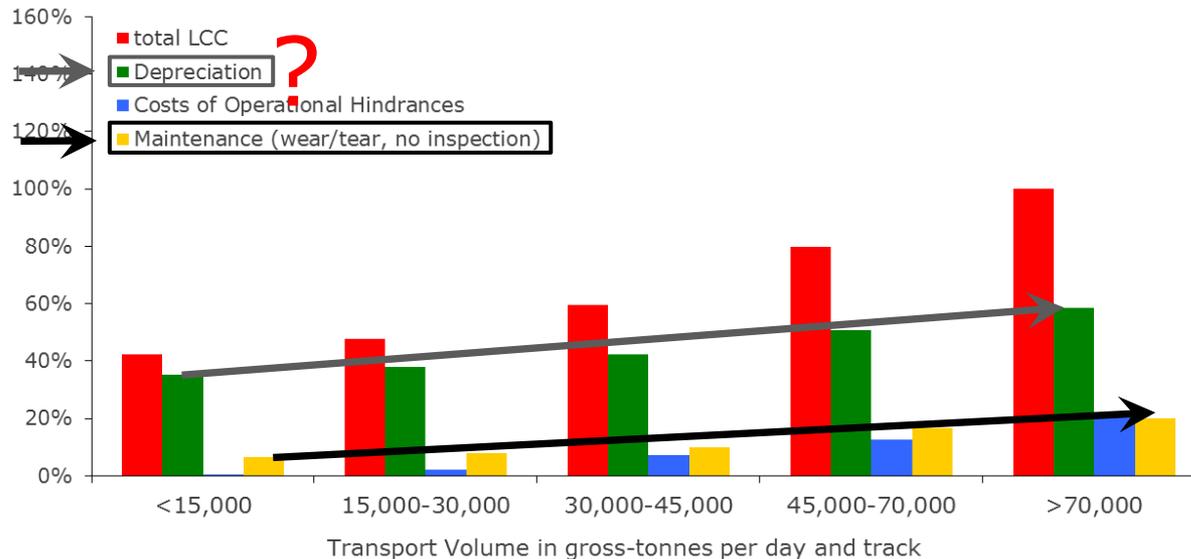
225 P (~150 Trains/Day) 150 P (~100 Trains/Day) 75 P (~50 Trains/Day)
Transport Volume in Pantograph Passages per day and track

Cost that is directly incurred

I Instandsetzung (verschleißgetrieben)

Gleis

Composition of normalised annual Costs
Influence of Transport Volume
Straight Track with good subsoil and heavy superstructure



Cost that is directly incurred

- I Instandsetzung (verschleißgetrieben)
- I (Re)Investition (verschleißgetrieben)



Aimable, since it is determined on the basis of the actual wear of the tire in case of the network, but not for the purpose of regulation of direct costs provided it is assumed that directly incurred as a result of a part of operating the train service are included.

COMPLEMENTING REGULATIONS (EUROPEAN COURT) (First Chamber) 30 May 2013

Cost that is directly incurred

- I Instandsetzung (verschleißgetrieben)
- I (Re)Investition (verschleißgetrieben)

Gleis & Weichen (Instandsetzung & (Re)Investition (Teile))

Oberleitung (nur Instandsetzung)

~~Leit- und Sicherungstechnik~~

*For example, wear and tear of track-side signals and signal boxes does not vary with traffic and therefore should not be subject to a direct cost-based charge. Conversely, parts, such as **point infrastructure**, will be exposed to wear and tear by operating the train service and thus should **partially** be subject to a **direct cost charge**.*

IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2015/909 (8)

Cost that is directly incurred

- I Instandsetzung (verschleißgetrieben)
- I (Re)Investition (verschleißgetrieben)

Gleis & Weichen (Instandsetzung & (Re)Investition (Teile))

Oberleitung (nur Instandsetzung)

~~Leit- und Sicherungstechnik~~

Bahnstromversorgung (Ausnahme: Oberleitung)

Electric supply equipment such as cables or transformers are generally not subject to wear and tear by the operation of the train service.

IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2015/909 (10)

Cost that is directly incurred

I Instandsetzung (verschleißgetrieben)

I (Re)Investition (verschleißgetrieben)

→ **Gleis & Weichen** (Instandsetzung & (Re)Investition (Teile))

Oberleitung (nur Instandsetzung)

~~Leit- und Sicherungstechnik~~

~~Bahnstromversorgung~~ (Ausnahme: Oberleitung)

~~Tunnel~~ (Ausnahme: Fahrweg)

~~Brücken~~

Zuweisung von Fahrwegkapazität

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Die direkten Kosten sollen für das Gesamtnetz erhoben werden.

Die Einheitskosten (=Wegeentgelte) werden als Division der Gesamtkosten durch die Kostenträger ermittelt.

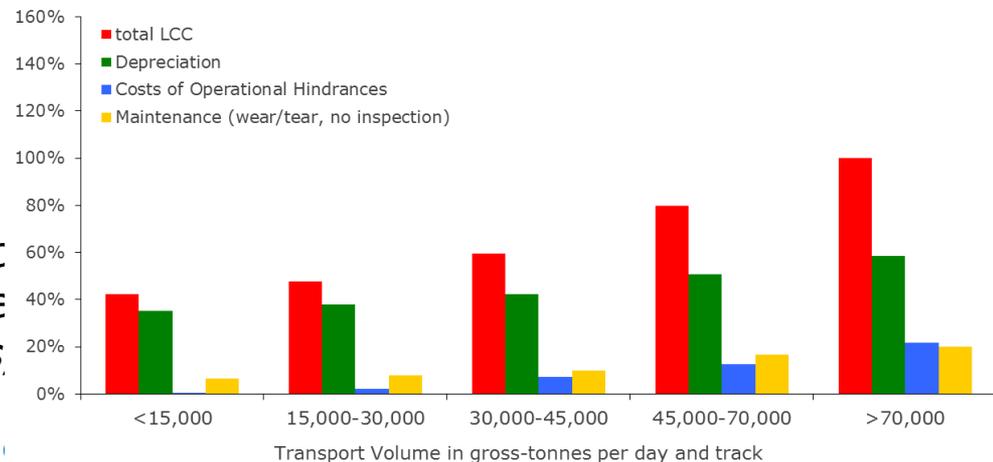
Welcher Kostenträger? Das ist nicht spezifiziert!

Für die Fahrwegkosten liegen Bruttotonnenkilometer nahe.

*The infrastructure manager shall c
entire network by dividing the dire
total number of vehicle kilometres,
kilometres...*

IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2015/909 Arti

Composition of normalised annual Costs
Influence of Transport Volume
Straight Track with good subsoil and heavy superstructure



Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

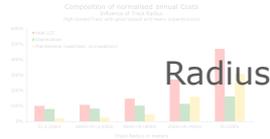
Ja!

Alternatively, if the infrastructure manager demonstrates to the regulatory body referred to in Article 55 of Directive 2012/34/EU that the values or parameters mentioned in paragraph 2 are significantly different for different parts of its network, and after splitting its network into such parts, the infrastructure manager shall calculate average direct unit costs for the parts of its network by dividing the direct costs for these parts by the total number of vehicle kilometres, train kilometres or gross tonne kilometres...

[IMPLEMENTING REGULATION \(EU\) 2015/909 Article 5, 1.](#)

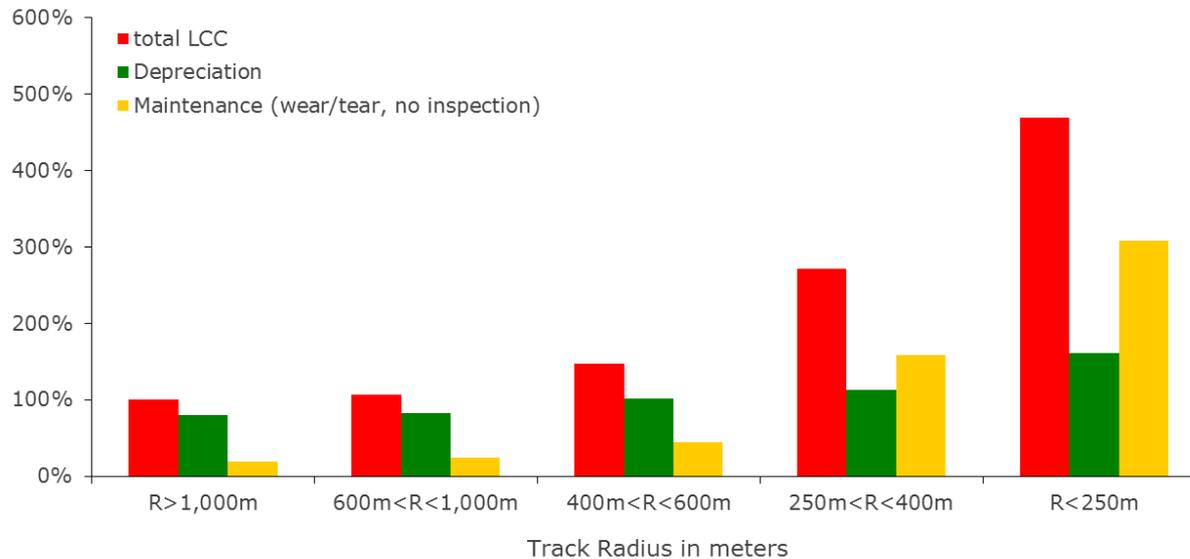
Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?



Ja!

Composition of normalised annual Costs
Influence of Track Radius
High-loaded Track with good subsoil and heavy superstructure



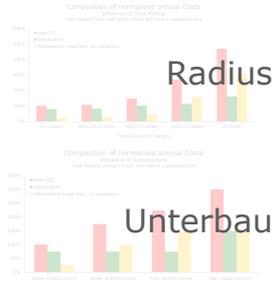
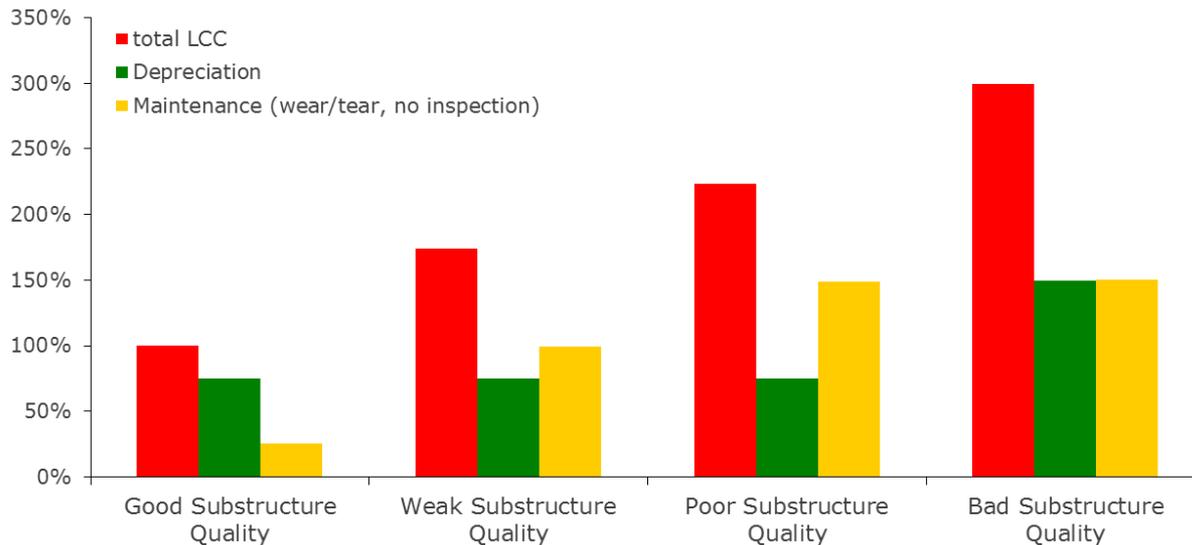
Engerer Radius → höhere Kosten

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

Ja!

Composition of normalised annual Costs
Influence of Substructure
High-loaded, straight Track with heavy superstructure



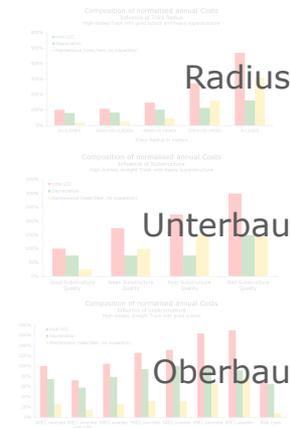
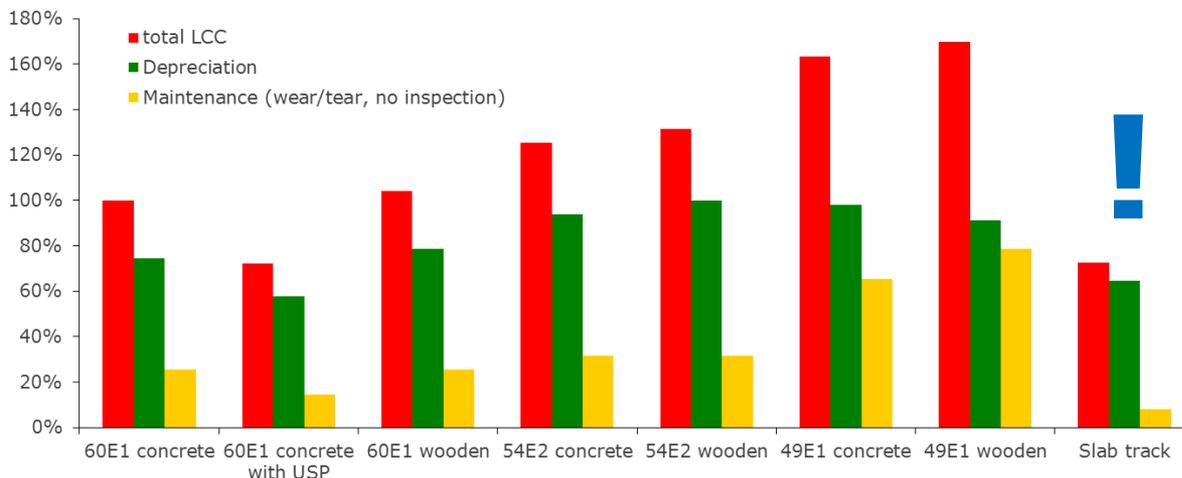
Schlechter Unterbau → höhere Kosten

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

Ja!

Composition of normalised annual Costs
Influence of Superstructure
High-loaded, straight Track with good subsoil

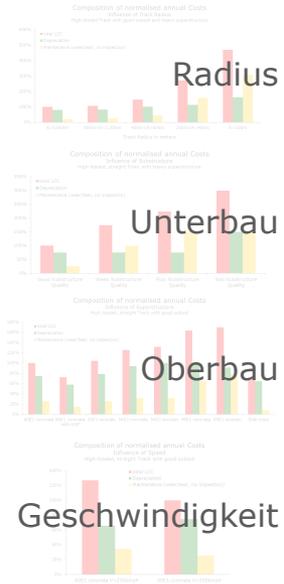
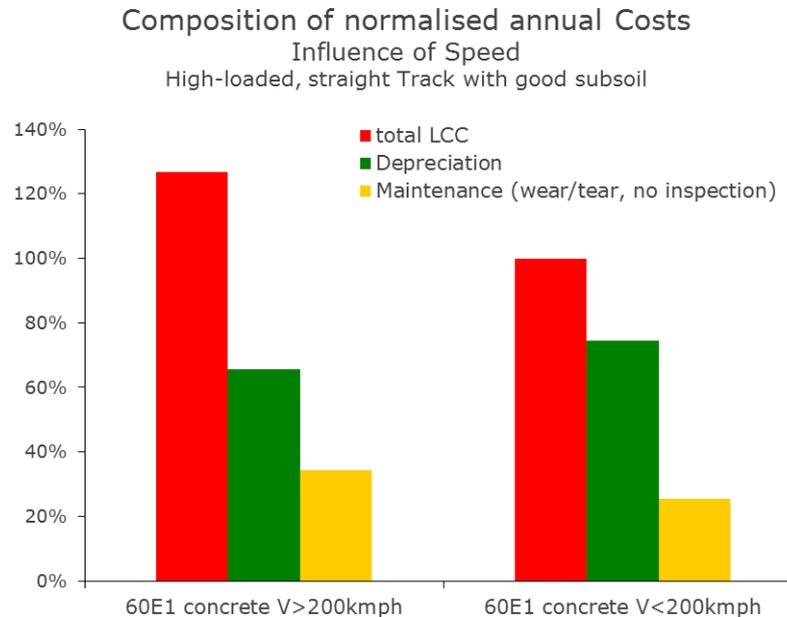


Leichter Oberbau → höhere Kosten

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

Ja!

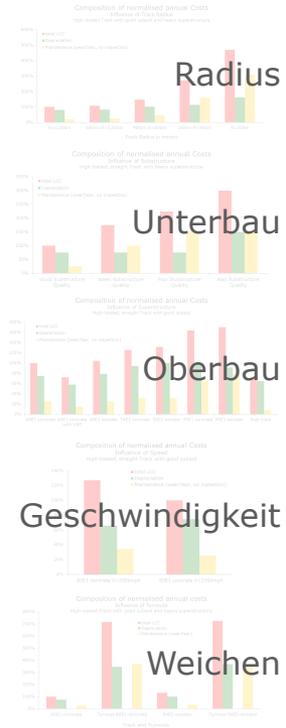
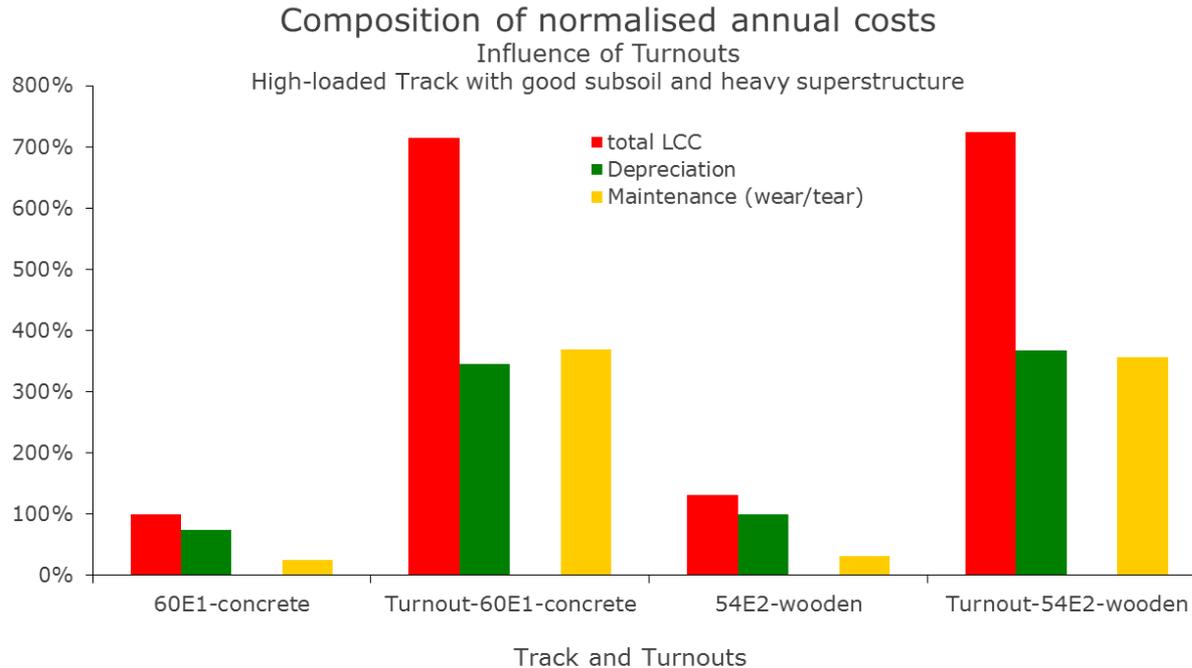


Höhere Geschwindigkeit → höhere Kosten

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

Ja!



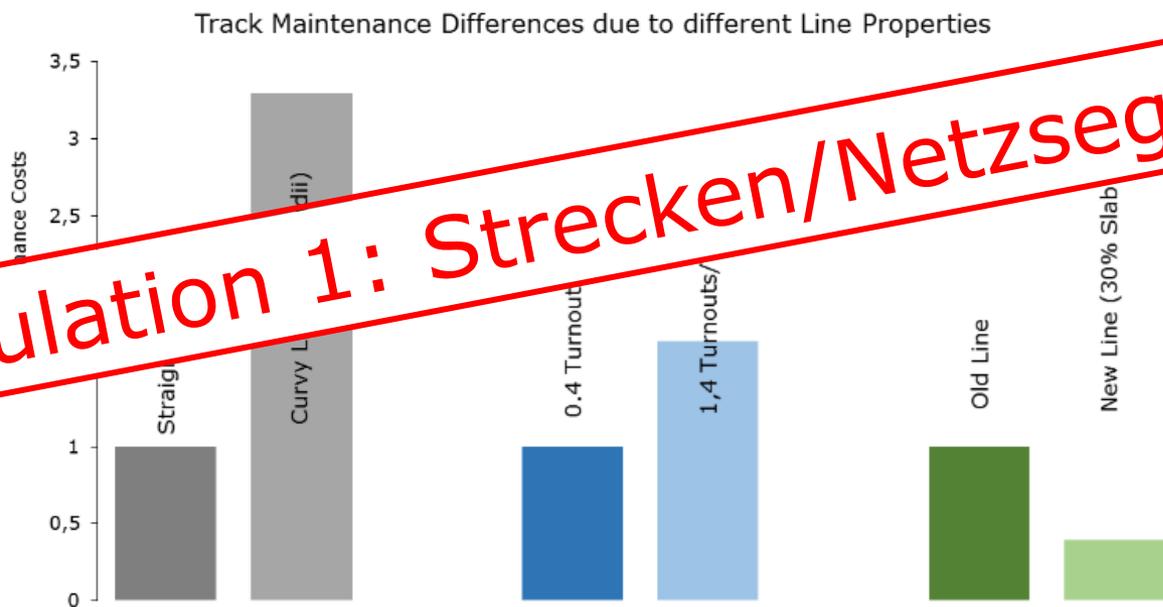
Mehr (und grössere) Weichen → höhere Kosten

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ist es möglich darzustellen, dass die Kosten für unterschiedliche Netzteile deutlich unterschiedlich sind?

Ja!

Modulation 1: Strecken/Netzsegmente



Parameter und daher auch **Kosten** variieren signifikant für unterschiedliche Netzteile (Strecken)!

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Ein Beispiel:

Eine Mischverkehrsstrecke mit vielen Weichen im Nahbereich der Städte (S-Bahn, viele Bahnsteige) und einer zulässigen Geschwindigkeit von 200 km/h im Streckenverlauf



eine teure Strecke...

Modulation 1 führt dazu, dass dort ein erhöhtes Wegeentgelt eingehoben wird.

Was zahlt dort ein Güterzug? Einen hohen Trassenpreis?

Capacity allocation and charging schemes may need to take account of the fact that different components of the rail infrastructure network may have been designed with different principal users in mind.

DIRECTIVE 2012/34/EU (55)

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Wie lassen sich Kosten einer Mischverkehrsstrecke fair und transparent auf unterschiedliche Nutzer aufteilen?

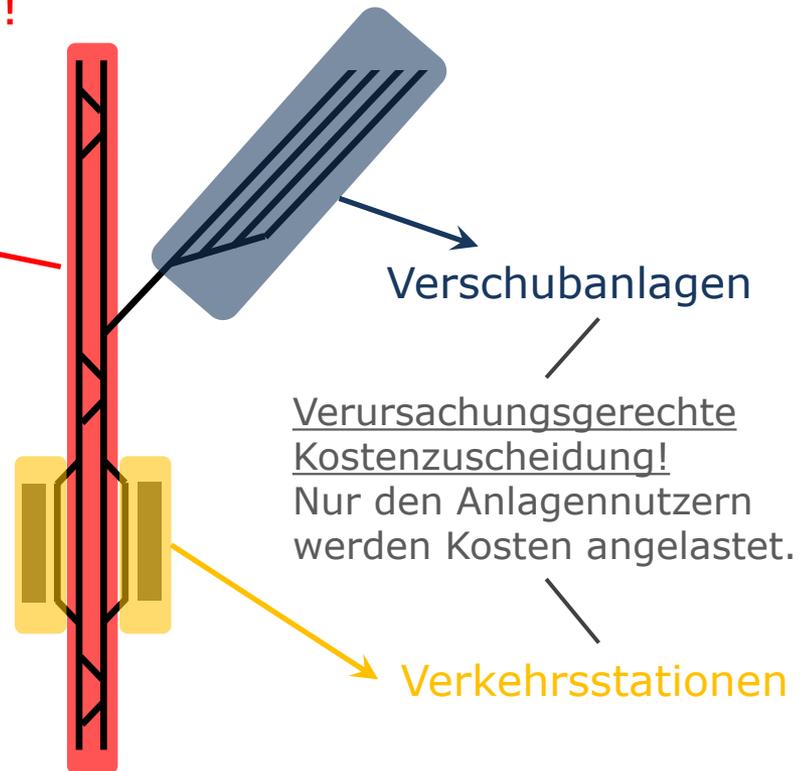
→ Modulieren durch Schlüsselung!

Fahrweg

Mischverkehrsnetz:

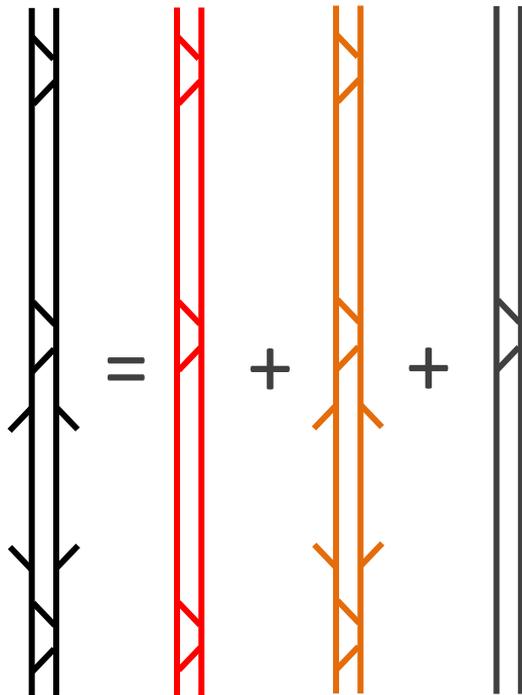
Die Summe der Anlagen und deren Ausgestaltung sind das Resultat aus spezifischen Anforderungen der unterschiedlichen Nutzer.

Verursachungsgerechte Kostenzuscheidung nicht trivial
→ Modellbildung



Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Wie lassen sich Kosten einer Mischverkehrsstrecke fair und transparent auf unterschiedliche Nutzer aufteilen?



Hochrangiger Personenfernverkehr

Höchste Anforderungen an die C
Oberleitung, die Weichen(-abzweiggradien) aufgrund von
Geschwindigkeiten von 120 km/h und mehr.

Personenregional- und -nahverkehr

Geschwindigkeiten bis 120 km/h stellen Anforderungen an
die Fahrbahn, die Oberleitung und die Weichen. Der dichte
Haltestellenabstand bedingt eine hohe Anzahl von Weichen.

Güterverkehr

Geschwindigkeiten von 30 km/h (max. 100 km/h), geringe
Anzahl von Weichen im durchgehenden Gleis durch
gestreckten Überleitstellenabstand, Weichen einfacher
Bauart

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Wie lassen sich Kosten einer Mischverkehrsstrecke fair und transparent auf unterschiedliche Nutzer aufteilen?

| | >200 km/h | 160-200 km/h | 120-160 km/h | 80-120 km/h |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| | railjet, ICE | IC/EC | Regio/REX,S-Bahn | |
| Gleis | schwerer Oberbau (Betonschwellen) | | | |
| Oberleitung | 2.1 | | | 1.2 |
| Weichengeometrie | | | 1,49 | 1,00 |
| | Hydrolink, jede Weiche beheizt | Hydrolink, jede Weiche beheizt | Hydrolink, jede zweite Weiche beheizt | KSV, Gestänge, jede vierte Weiche beheizt |
| Anzahl | 2 je 7,5 km | | 4 je 7,5 km | 1 je 15 km |

Modulation 2: Bedarfsorientiert

Beispiel Fahrweg

Achtung: Diese Faktoren sind streckenspezifisch!

Anmerkung: Auf diese Weise lassen sich alle Kosten der Infrastruktur schlüsseln. Auch jene, die nicht im Trassenpreis verrechenbar sind.

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Was ist die Ursache für den Verschleiss von Fahrwegkomponenten?

Die Tonnage ist nur eine Näherung...

ČD railjet 370: ~500 t; max. Geschwindigkeit 230 km/h



Güterzug: ~500 t; Geschwindigkeit max. 100 km/h



Glauben Sie **wirklich**, dass diese beiden Züge zu den gleichen Fahrwegkosten führen?

Direct Cost and Direct Unit Cost (Fahrweg)

Der Verschleiss am Fahrweg entsteht durch Interaktionskräfte zwischen Fahrzeug und Fahrweg.

Unterschiedliche Kräfte führen zu unterschiedlichen Verschleisserscheinungen an Schiene, Schwelle, Schotter...

Diese Kräfte sind fahrzeugspezifisch und ändern sich je nach

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



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

implementiert im Schweizerischen Trassenpreissystem



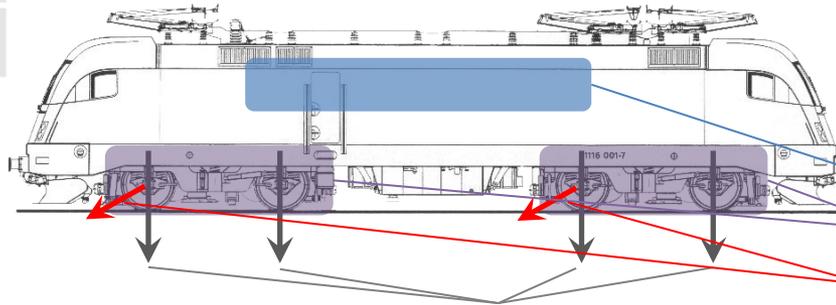
$$D_V = C_t \times (0.473 \times e^{(0.133 \times A)} + 0.015 \times S \times U - 0.009 \times S - 0.284 \times U - 0.442) \times \text{GTM} \times \text{axles}$$

Implementiert im UK Trassenpreissystem



$$E_{a,Z}(R_j, T_a) = k_1 \times T_Z \times \frac{1}{n_Z} \times \sum_{i=1}^{n_Z} Q_{\text{tot}_i}^3 + k_2 \times (T_a + T_Z) \times \frac{1}{n_Z} \times \sum_{i=1}^{n_Z} \left[\sqrt{Q_{\text{tot}_i}^2 + Y_{\text{qst}_i}^2} \right]^3 + k_{34} \times T_Z \times \frac{\sum_{i=1}^{n_Z} [f(F_V \bar{v})_i]}{m_Z}$$

Verschleissfaktor



Fahrzeuginput

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

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

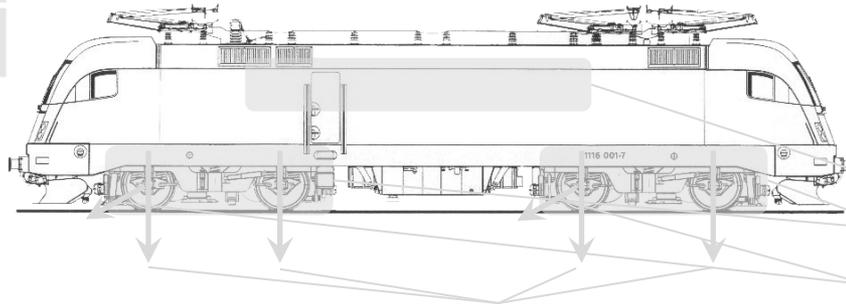
$Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weichendurchfahrt)

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

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



Verschleissfaktor



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)

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

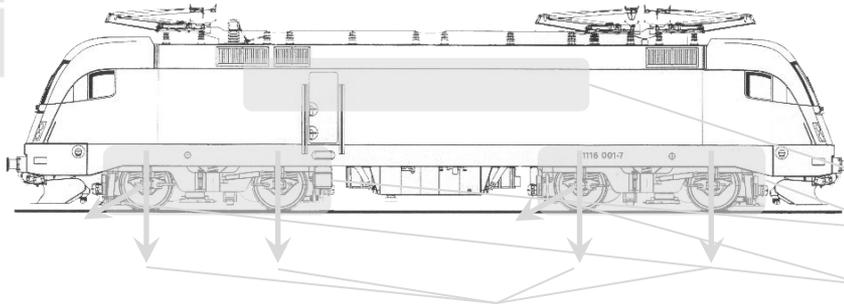


Fahrwegverschleiss

- Gleislageverschlechterung
- Schotterzerstörung
- Schienenoberflächenschädigung Gerade
- Schienenoberflächenschädigung Bogen (RCF)
- Schienenverschleiss im Bogen
- Verschleiss Weichenkomponenten



Verschleissfaktor



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

Gleislageverschlechterung
Schotterzerstörung

Schieneoberflächenschädigung Gerade
Schieneoberflächenschädigung Bogen (RCF)
Schieneverschleiss im Bogen

Verschleiss Weichenkomponenten



Fahrwegkosten

k_1 Gleisstopfung, Schotterbettreinigung

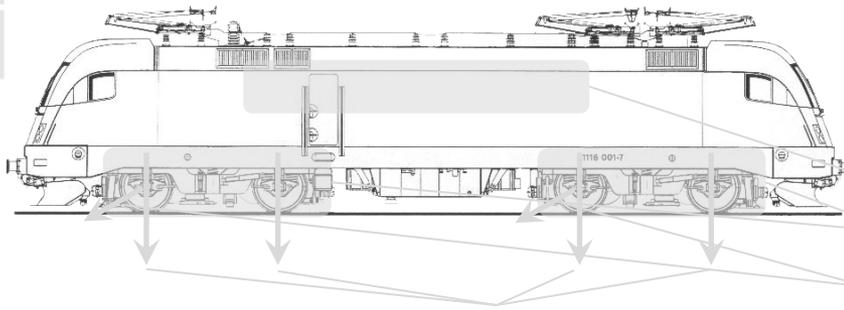
$k_{2\&3}$ Schienenschleifen/-fräsen

k_{41} Schienenschleifen/-fräsen

k_{42} Schienenwechsel

k_5 Tausch von Weichenkomponenten

Verschleissfaktor



Fahrzeuginput

- T_{PV} (installierte) Leistungsdichte bezogen auf die Kontaktfläche Rad-Schiene
- W_{bR} Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt im Bogen
- $Y_{R=185m}$ Führungskraft (Weilendurchfahrt)

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

$$C_V = k_{1R} \times P_{2,V}^3 + k_2 \times P_{2,V}^{1,2} + k_3 \times T_{PV} \times Y_{R=185m}^2$$

Modulation 3: Verschleissbasiert



- Gleislageverschlechterung / Schotterzerstörung
- Schienenoberflächenschädigung Gerade
- Schienenoberflächenschädigung Bogen (RCF)
- Schienenverschleiss im Bogen
- Verschleiss Weichenkomponenten



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

Fahrwegverschleiss

Fahrwegkosten



Verschleissbasierte Fahrzeugbepreisung

Darf man das?

Ja, man darf...

Member States may allow the infrastructure manager to modulate the average direct unit costs to take into account the different levels of wear and tear caused to the infrastructure according to one or more of the following parameters:

- (a) *train length and/or **number of vehicles** in the train*
- (b) *train mass*
- (c) *type of vehicle, in particular its **unsprung mass***
- (d) ***train speed***
- (e) ***traction power** of the motorised unit*
- (f) ***axle weight** and/or axle numbers*
- (g) *recorded number of wheel flats or the effective use of equipment to protect against wheel slips*
- (h) ***longitudinal stiffness of vehicles and horizontal forces** impacting on the track*
- (i) *consumed and measured electric power or the dynamics ...*
- (j) ***track parameters, in particular radii***

IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2015/909 Article 5, 1.

Direct Cost und deren Modulation

Modulation 1: Anlagenkonfiguration (infrastrukturspezifisch)

Modulation 2: Bedarfsorientiert (nutzerspezifisch)

Modulation 3: Verschleissbasiert (fahrzeugspezifisch)

Warum so kompliziert?

Direct Cost und deren Modulation

Jeweils nur ein Argument (von vielen):

- @1: Wie investieren in neue (und bestehende) Strecken in innovative, verschleissarme und daher kostengünstige (LCC) Komponenten
 - Sollte man die Kostenreduktion nicht an die Nutzer weitergeben?
 - **Reduktion der Systemkosten des Verkehrsmodus Eisenbahn**
- @2: Personenverkehrsstrecken sind teuer
 - Warum sollte gerade der deutlich mehr im Wettbewerb mit der Strasse stehende Güterverkehr diese Kosten mittragen?
 - **Competitiveness mit Strassengüterverkehr**
- @3: Hohe Qualität der Fahrzeuge (Konstruktion) reduziert die Kosten des Fahrwegs
 - Warum sollten die EVU solche Fahrzeuge beschaffen, wenn ihnen nur die Mehrkosten (Investition) bleiben, sie aber die erzielten (Fahrweg)Einsparungen nicht erstattet bekommen.
 - **Reduktion der Systemkosten des Verkehrsmodus Eisenbahn**

Wegeentgelte

Wegeentgelte sind interne Preise im System Bahn.

Preise steuern – und wenn sie die Kostenzusammenhänge nicht (oder nicht richtig) abbilden, steuern sie falsch.

Eine transparente, faire und verursachungsgerechte Anrechnung der direkten Kosten unterstützt die Konkurrenzfähigkeit der Eisenbahn im intermodalen Wettbewerb.

Und dafür muss man auch in Kauf nehmen, dass die Wegeentgelte ein wenig komplexer sind als heute ...

Danke für die Aufmerksamkeit!

stefan.marschnig@tugraz.at



Stefan Marschnig
 iTAC – innovative Track Access Charges
 ISBN: 978-3-85125-493-8