

50. Schienenfahrzeugtagung Graz

Anreiz zur Infrastrukturschonung - der Schweizer Trassenpreis.

Trends der Erhaltungskosten und der Eigenschaften von Fahrzeugflotten

Dr. Anna Oprandi (SBB-I), Dr. Ingolf Nerlich (SBB-I)

10.11.2026 Graz

Agenda

1. **Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»**
   - Systemaufbau in der Schweiz. Grenz-, Vollkostenprinzip
   - Rückblick … *der lange Weg ins «Wagnis»*

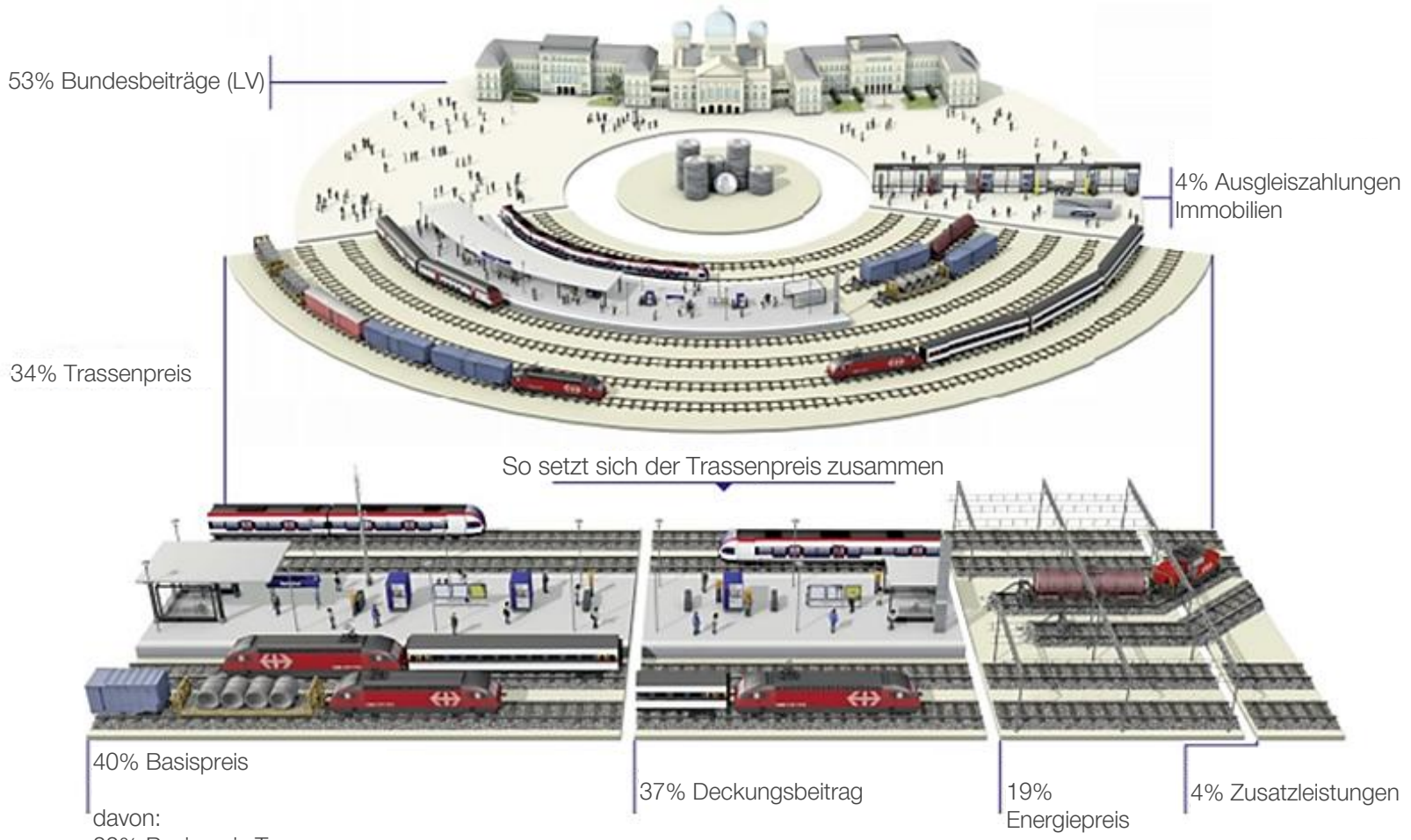
2. **Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreissystems**
   - Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren
   - Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, *Live-DEMO*

3. **Sichtbare Wirkungen**
   - Veränderungen an Flotten und Gleisen
   - Sinkende Systemkosten

4. **Trassenpreis – Transparenz der Zustandsentwicklung des Gesamtsystems**
   - Reale Kosten von Verfügbarkeit
   - Verkehrsbewertungen

5. **Ausblick, Zusammenfassung**
   - TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

Der Trassenpreis deckt 34% des Substanzerhalts der SBB Infrastruktur



Quelle Bild: BAV, Zahlenbasis Leistungsvereinbarung 25-28

C2 - Intern

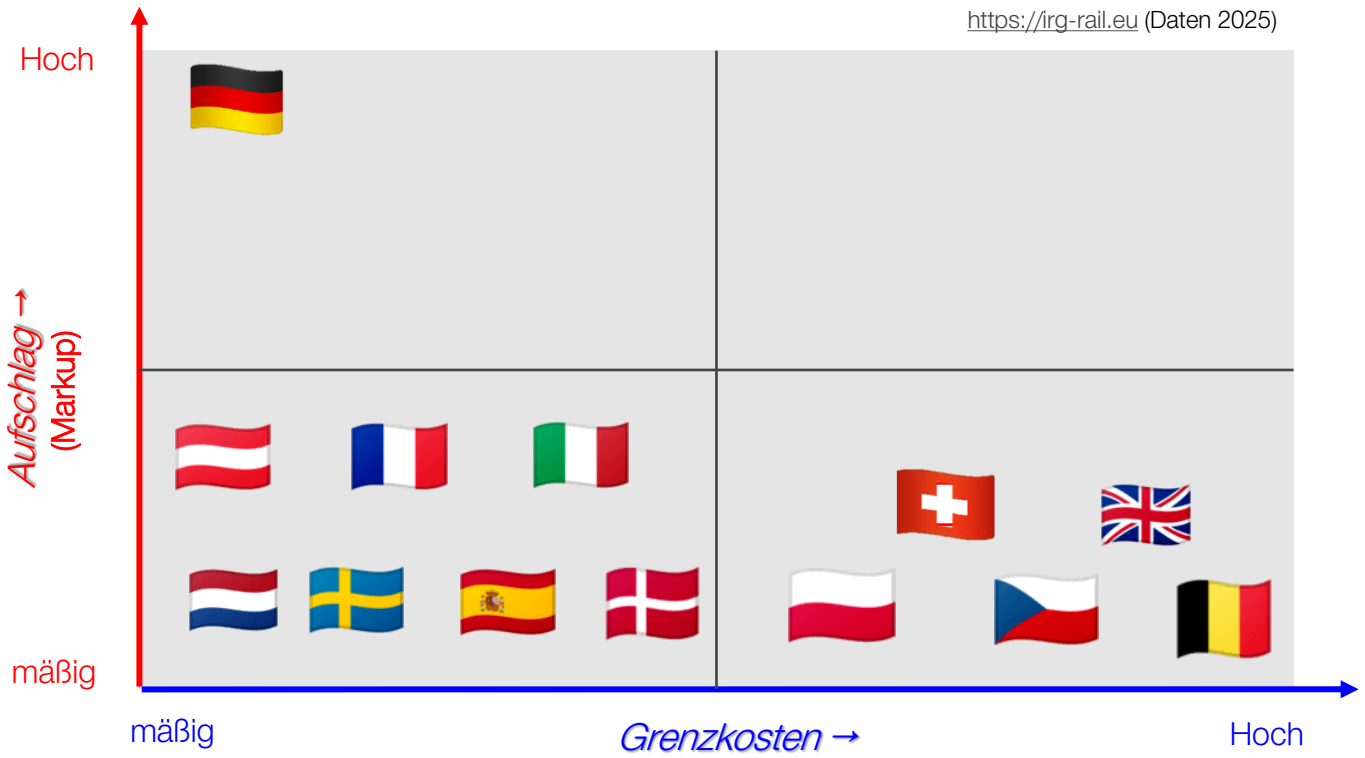
Das Schweizer TPS:
Hohe Grenzkosten – niedriger Markup

Vollkosten-Prinzip:

Der Trassenpreis deckt Betriebs-, Unterhalts- und **Erneuerungs-** inklusive Kapitalkosten ab.

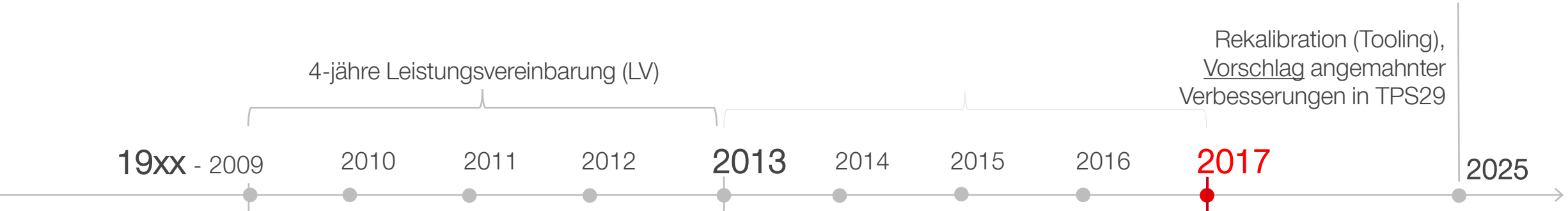
Grenzkosten-Prinzip:

Der Trassenpreis deckt Betriebs- und Unterhaltskosten ab. Das Grenzkostenprinzip verrechnet nur die Kosten eines zusätzlichen Zuges, **nicht** aber **Erneuerungs**- und **Kapitalkosten**. Marktelastische Aufschläge zur Kostendeckung sind möglich (Deckungsbeitrag).



Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»

Innerschweizer Rückblick ..der lange Weg ins «Wagnis»



- Trassenpreis nach **Btkm** als erste Last-abhängigkeit.
- >2007 Diskurs zur Kosten-Anlastung nach Schädigungs-prinzipien:
  - Achslast
  - Traktionsleistung
  - *Eigenschaften des Bogenlaufs*

- Teilung last- und zugfahrtabhängige Kosten.
- Noch kein Verschleissansatz im TPS
- **Bedenken gegenüber Schadprinzip:** Steuerungswirkung und Abrechnungsperformance?

- Einführung des „Verschleissfaktor“ Vf_{Fzg} als fahrzeugtypspezifischer Koeffizient vor Btkm*-Satz
- Zunächst ist Faktor : Vf = 1.0

Projektphase: Erstellung Verschleissfaktor [BAV/SBB/TU Graz]

Aktiv: verschleissabhängiges TPS
streckenselektive Abrechnung
(kein Faktor vor dem Btkm)

Ziele:

- *Anreiz zur Beschaffung gleis-schonender Fahrzeuge*
- *Weniger Fahrbahn-Instandhaltung bei gleicher Nutzung; Reserven für Mehrverkehr.*
- *Basis für netzweite Schädigungs-analysen, Prognosen. „Budgetsteuerung aus der Rad-Schiene-Interaktion“.*

*Btkm: Brutto-Tonnenkilometer-Satz [CHF/tkm]

C2 - Intern

Agenda

1. Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»
   - Systemaufbau in der Schweiz. Grenz-, Vollkostenprinzip
   - Rückblick … *der lange Weg ins «Wagnis»*

2. **Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreissystems**
   - Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren
   - Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, *Live-DEMO*

3. Sichtbare Wirkungen
   - Veränderungen an Flotten und Gleisen
   - Sinkende Systemkosten

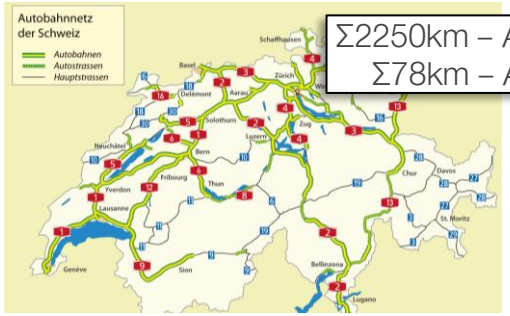
4. Trassenpreis – Transparenz der Zustandsentwicklung des Gesamtsystems
   - Reale Kosten von Verfügbarkeit
   - Verkehrsbewertungen

5. Ausblick, Zusammenfassung
   - TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

C2 - Intern

Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreises

Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren



Σ2250km – Autobahn
Σ78km – Autobahnbrücken

1. Reparatur- / Arbeitskosten kalibrieren via Schadgesetz den Stellenwert technischer Eigenschaften (Achslast, Steifigkeit)
2. Basis ist strateg. Arbeit (=Wartungsplan: «Was müsste zum Erhalt getan werden?»)
3. Kostenkalibrierfaktor (differenziert, Ø) übersetzt nichtlin. Schädigung in Km-Preis
4. Neufahrzeug-Einstufung via vorberechenbaren Schädigungspotential. **[Einpreisung]**
5. Skalierfaktor hebt strategische auf reale Kosten *(Zustandsrealität früherer Budgetdefizite)*
6. Änderungen der Arbeits-/ Reparaturkosten → **periodische Neukalibrierung** nötig

Anlage

(Kosten-, strategisches Instandhaltungsvolumen) – **WARTUNGSPLAN**

Fahrbahn Rep. Kosten:	40CHF/m,	Menge 10000m/Jahr
Brücke Rep. Kosten:	250CHF/m	Menge 400m/Jahr

Parameter



≠ Schädigung 20 x PKW 2t



9t 9t 7t ..7t 1t 1t ..

Schädigungsgesetz

2 x $(9t)^4$ 3 x$(7t)^4$ 20 x 2 x $(1t)^4$

$(40t)^{1.5}$ 20 x $(2t)^{1.5}$

Schädigungsgesetze (fiktiv):

Fahrbahn: *Achslast⁴*

Brücke: *Gesamtgewicht 1.5*

2250km · 20325 t^4 2250km · 40 t^4 Schädigungsmass [km · D_i] Fahrbahn

78km · 252$t^{1.5}$ 78km · 56$t^{1.5}$ Schädigungsmass [km · D_i] Brücken

Kalibration

Kalibrierfaktoren K zur Schädigung

40000CHF / (2250km * (20325 +40) t^4 → K_{FB} = 0.00871887 CHF/ (km · t^4) Fahrbahn

0.1 MCHF / (78km * (252 +56) $t^{1.5}$ → $K_{BRÜ}$ = 4.16250 CHF/ (km · $t^{1.5}$) Brücken

- **TPS (Differenziert)**
  - *V-Bereiche*
  - *R-Bereiche*
  - *(Weichentyp)*
- **Σ → Ø-Anlage**
  - *Netz-km*

$ Jährliche Strategische! Schadensbehebungsmenge/kosten aufs Gesamtschadensmass bezogen.

Preis CHF/km

Kalibriertes Roadpricing System

Neues Fahrzeug:



1.8t 1.8t

Schadenspotential

2 x $(1.8t)^4$ = 20.9 t^4

$(3,6t)^{1.5}$ = 6.8 $t^{1.5}$

SF : Skalierfaktor (Strategische zu realen Kosten)

20.9 t^4 · SF · 0.00871887 CHF/(km · t^4) = 0.183 CHF/km Fahrbahn

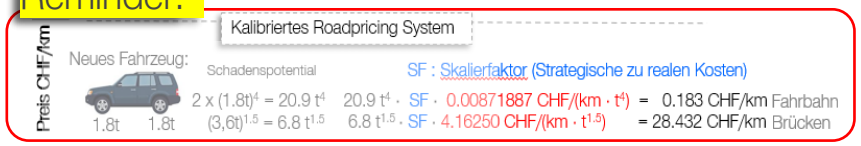
6.8 $t^{1.5}$ · SF · 4.16250 CHF/(km · $t^{1.5}$) = 28.432 CHF/km Brücken

C2 - Intern

Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreises

Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», **Abrechnungsverfahren**

Reminder:







Input: Preismatrix (IC189, Bremsreihe R135), *Preise NZV-BAV, SR 742.122.4. Anhang 1c, 2025 [1]*

Fahrzeuge

			Bereichspreise [CHF/km] – **Fahrzeug** (Ausmultipliziert)						
Id	FahrzeugName	Anz	V[00-80 km/h]	V[80-100 km/h]	V[100-120km/h]	V[120-.. Km/h]	R[00-300m]	R[300-400m]	R[400-600m]
1100	Re475 (Vectron)	1	0.135	0.149	0.171	0.199..	1.036	0.347	0.258
1031	BR147 (Traxx)	1	0.115	0.124	0.140	0.159..	0.893	0.300	0.217
3053	DOSTO_DB-IC2_B	4	0.055	0.060	0.067	0.077..	0.421	0.146	0.113
3054	DOSTO_DB_IC2_STW	1	0.055	0.060	0.067	0.077..	0.421	0.146	0.113
Σ Zug-Formation [CHF/km]		-	**0.528**	**0.575**	**0.650**	**0.743**	**4.036**	**1.381**	**1.044**

X

Input: Streckenmatrix **Bülach** ----- > **Niederglatt** ----- > **Oberglatt**

Strecken

	Anteile in km – **Strecke**						
	V[00-80km/h]	[V80-100km/h]	V[100-120km/h]	V[120-..Km/h]	R[00-300m]	R[300-400m]	R[400-600m]
Bülach – Niederglatt	0	0.022	0	3.135	0	0.398	0.131
Niederglatt - Oberglatt	0	0	0	1.321	0	0	0
... -	..	..		..	..	..	..
Σ Teilstrecken - km	**0**	**0.02**		**4.456**	**0**	**0.398**	**0.131**

=

Preis

Abrechnung: CHF/km Ausmultipliziert (∑ Streckensegment x ∑Preissegment)

	Anteile in km – **Strecke x Fahrzeug**						
	V[00-80km/h]	[V80-100km/h]	V[100-120km/h]	V[120-..Km/h]	R[00-300m]	R[300-400m]	R[400-600m]
Σ Zug-Formation [CHF/km]	**0.528**	**0.575**	**0.650**	**0.743**	**4.036**	**1.381**	**1.044**
Σ Teilstrecken - km	**0**	**0.02**		**4.456**	**0**	**0.398**	**0.131**
CHF	(Bülach – Niederglatt – Oberglatt) : **4.8 CHF** (Beispiel ! nicht alle R-, V-Bänder abgedeckt)						

[1] https://www.bav.admin.ch/de/trassenpreis
→„Verordnung des BAV über den Eisenbahn-Netzzugang (NZV-BAV)“ ausklappen



Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreises

Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, Live-DEMO



C2 - Intern

Agenda

1. Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»
   - Systemaufbau in der Schweiz. Grenz-, Vollkostenprinzip
   - Rückblick … *der lange Weg ins «Wagnis»*

2. Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreissystems
   - Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren
   - Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, *Live-DEMO*

3. **Sichtbare Wirkungen**
   - Veränderungen an Flotten und Gleisen
   - Sinkende Systemkosten

4. Trassenpreis – Transparenz der Zustandsentwicklung des Gesamtsystems
   - Reale Kosten von Verfügbarkeit
   - Verkehrsbewertungen

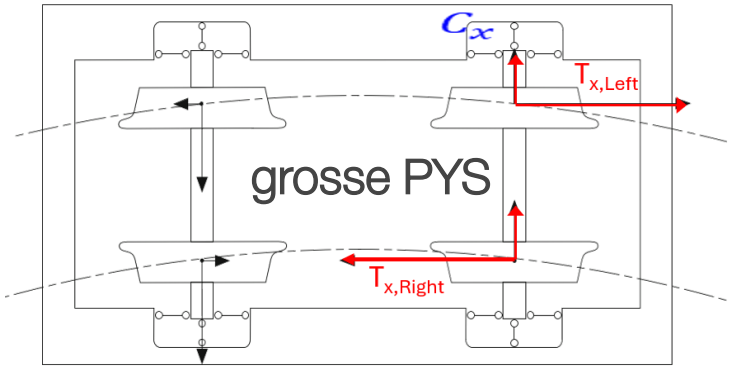
5. Ausblick, Zusammenfassung
   - TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

C2 - Intern

Sichtbare Wirkungen

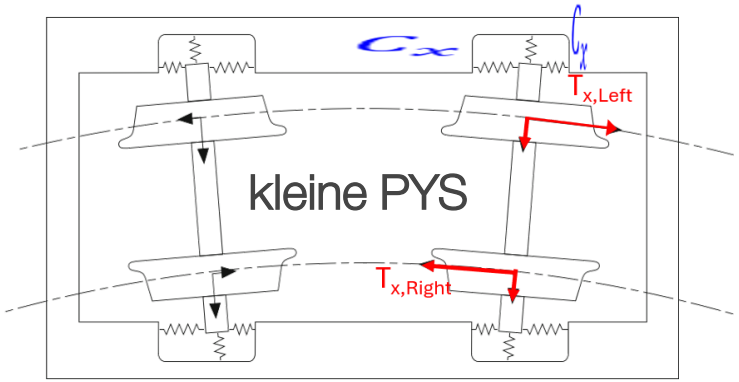
Veränderungen an Flotten und Gleisen

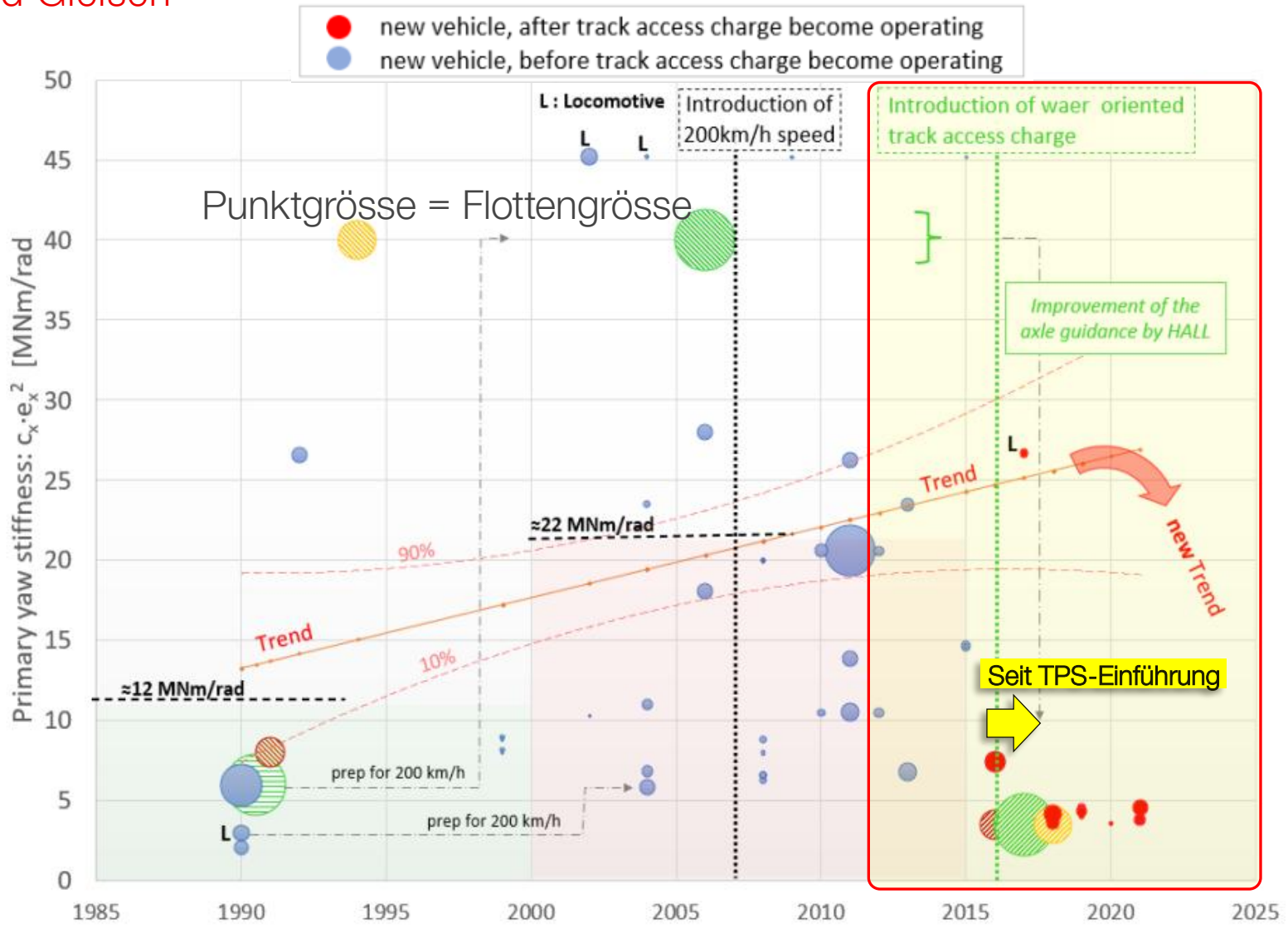
PYS = Drehgestell-Verbiege-Steifigkeit



Kein «lenken» im Bogen, Weichen (grosse PYS):

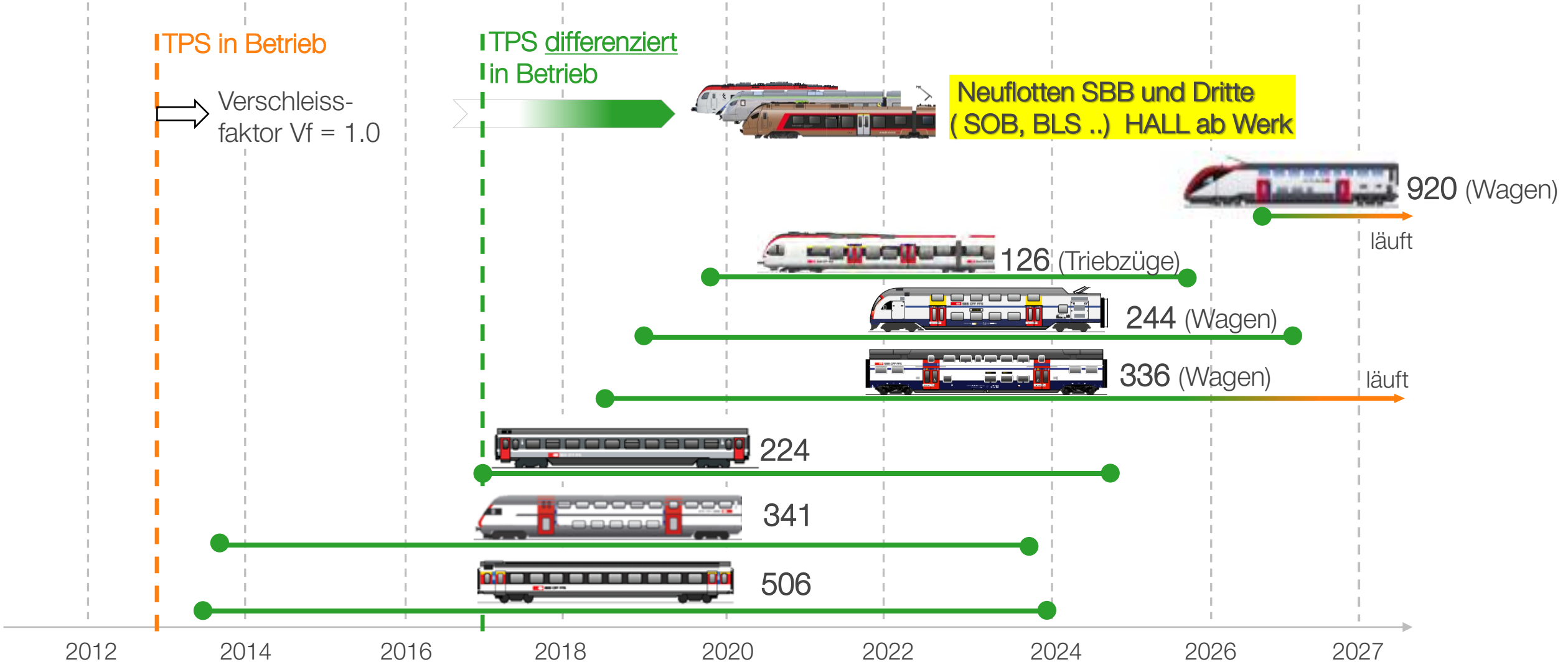
- Grosse Kräfte / Lärm
- Verschleiss, Rollkontaktermüdung (Headcheck)
- Zerstörung: Schwellen, Schienenbefestigungen





Sichtbare Wirkungen

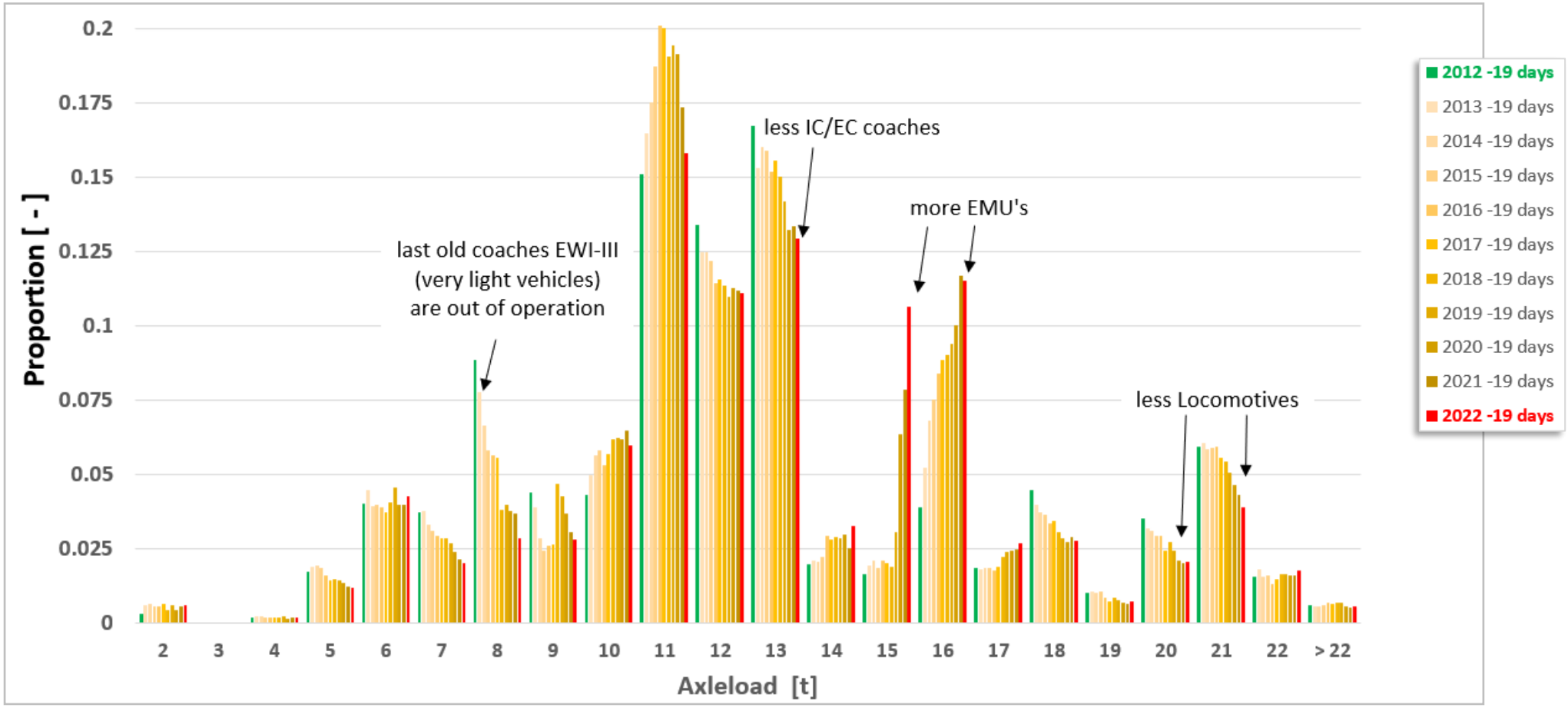
Veränderungen an Flotten: Fortschritt – Umrüstung hydraulische Achslenkerlager (HALL)



C2 - Intern

Sichtbare Wirkungen

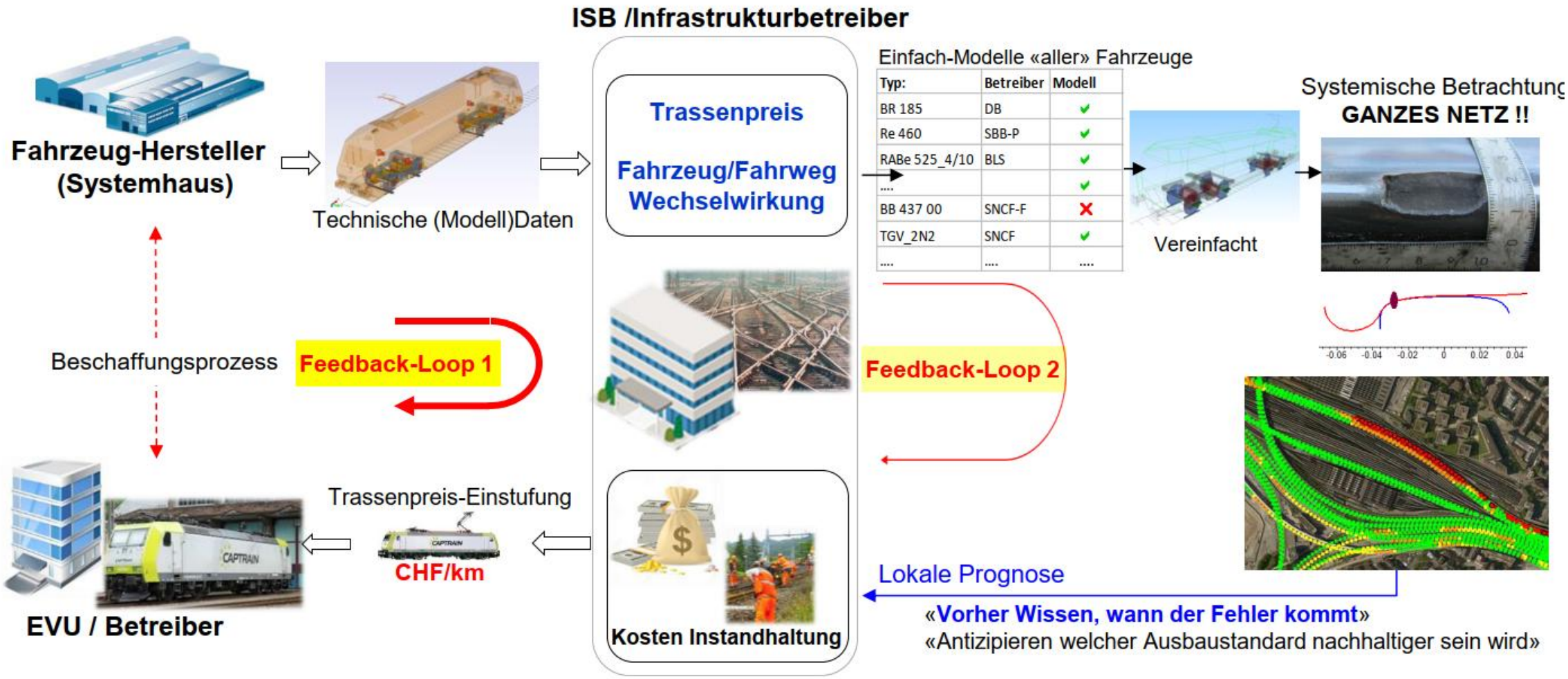
Veränderungen an Flotten und Gleisen



- Anstieg auf Triebzüge überflügelt seit ≈ 2024 den Schädigungsrückgang abnehmender Lokanzahl.
- Eine Lok(4x21t) + 5 Wagen (4x13t) ist schadensgleich (Achslast^3) zu einem Triebzug 5 Wagen(16t).

Sichtbare Wirkungen

Veränderungen an Flotten und Gleisen: (ermöglichte Prognoseverfahren)

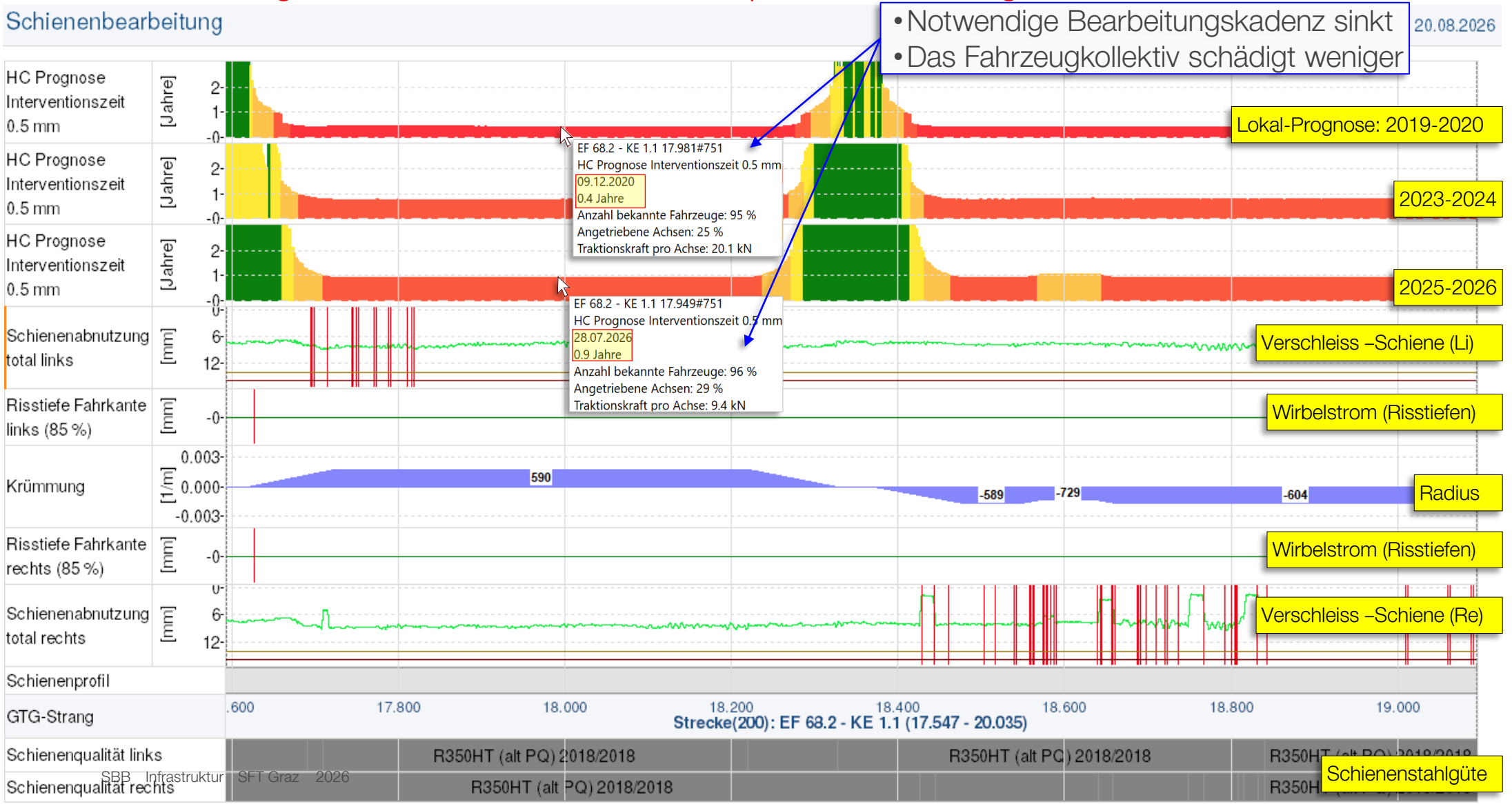


[1] Aus „Weg(e) von der Bahnverwaltung hin zum modernen Anlagenmanagement“, Holzfeind J., Nerlich I., Fachtagung „Monitoring Rad-Schiene 2017“ Klosterneuburg (AT)

C2 - Intern

Sichtbare Wirkungen

Veränderungen an Flotten und Gleisen: implementierte Prognoseverfahren



Sichtbare Wirkungen

Veränderungen an Flotten und Gleisen

Rückblick und Check mit den Erwartungen:

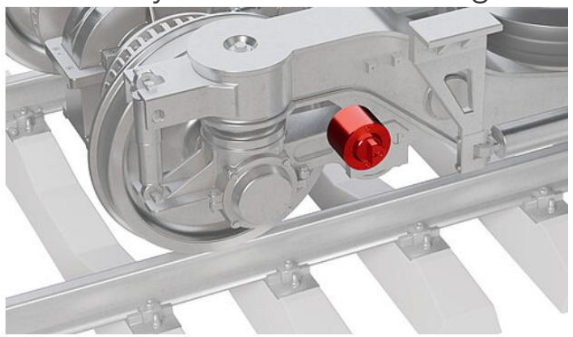
- Die Branche akzeptiert das TPS-System, der Nutzen überwiegt den Pflegeaufwand. ✓
- Es gibt einen Anreizeffekt und das Rollmaterial ändert sich effektiv. ✓✓ Refit HALL
- Die Schädigungsgrössen finden im Fahrweg-Instandhaltungsprozess Verwendung. ✓
- Der verschleissabhängige Trassenpreis findet international Anhänger, ..wird kopiert. ✗
  (Netzlaufleistung: ≈60% Inländer, ≈5%⇧ Ausländer/ Auslandsbeeinflusst, ≈35% Güterwagen)
- Branchen-Akzeptanz für Beanspruchungsbewertung, Fokus: Bahn-Gesamtoptimum ✓
  (Beschaffungen im Ausland versuchen sich daran zu orientieren: genügt nicht ggf. sogar falsch)
- Beanspruchungsreduktionen setzen sich 1:1 in Kostenreduktionen der Preise um. ✓

C2 - Intern

Sichtbare Wirkungen

sinkende Systemkosten … ja, aber

Einbau: hydraul. Achslenkerlager



src: www.gmt-gmbh.de

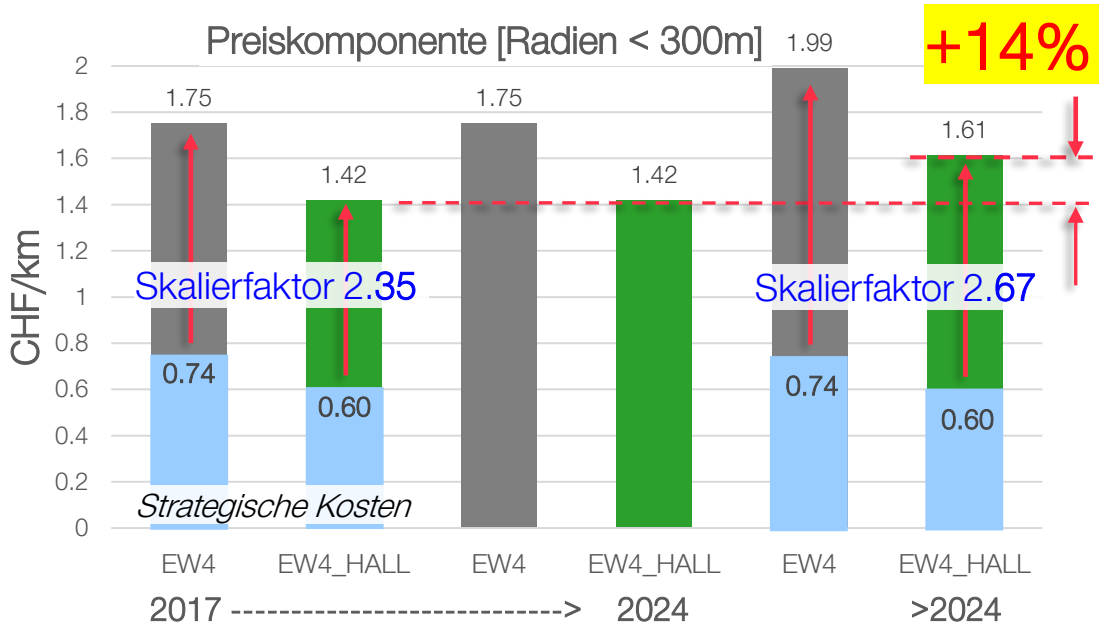
HALL EW4 (Nach Umrüstung)



src: SBB-P

HALL-Innenleben





- Obwohl umgerüstet, Fahrzeugpreis sinkt nicht / steigt sogar!
- Verwirrlich – erklärbar mit Anlagen-überalterung. (Nachholbedarf)

Agenda

1. Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»
   - Systemaufbau in der Schweiz. Grenz-, Vollkostenprinzip
   - Rückblick … *der lange Weg ins «Wagnis»*
2. Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreissystems
   - Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren
   - Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, *Live-DEMO*
3. Sichtbare Wirkungen
   - Veränderungen an Flotten und Gleisen
   - Sinkende Systemkosten
4. **Trassenpreis – Transparenz der Zustandsentwicklung des Gesamtsystems**
   - Reale Kosten von Verfügbarkeit
   - Verkehrsbewertungen
5. Ausblick, Zusammenfassung
   - TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

C2 - Intern

Die Kosten der Infrastruktur als relevanter Faktor.

Anlage

(Kosten-, strategisches Instandhaltungsvolumen) – **WARTUNGSPLAN**

Fahrbahn Rep. Kosten:	40CHF/m,	Menge 10000m/Jahr
Brücke Rep. Kosten:	250CHF/m	Menge 400m/Jahr

Parameter



≠ Schädigung 20 x PKW 2t



Schädigungsgesetz

$2 \times (9t)^4 \quad 3 \times (7t)^4 \quad 20 \times 2 \times (1t)^4$

$(40t)^{1.5} \quad 20 \times (2t)^{1.5}$

Schädigungsgesetze (fiktiv):

Fahrbahn: *Achslast⁴*

Brücke: *Gesamtgewicht 1.5*

$2250km \cdot 20325\ t^4 \quad 2250km \cdot 40\ t^4$ Schädigungsmass [km · D_i] Fahrbahn

$78km \cdot 252t^{1.5} \quad 78km \cdot 56t^{1.5}$ Schädigungsmass [km · D_i] Brücken

Kalibration

Kalibrierfaktoren K zur Schädigung

40000CHF / (2250km * (20325 +40) t^4 → K_{FB} = 0.00871887 CHF/ (km · t^4) Fahrbahn

0.1 MCHF / (78km * (252 +56) $t^{1.5}$ → $K_{BRÜ}$ = 4.16250 CHF/ (km · $t^{1.5}$) Brücken

$ Jährliche Strategische! Schadensbehebungsmenge/kosten aufs Gesamtschadensmass bezogen.

Preis CHF/km

Kalibriertes Roadpricing System

Neues Fahrzeug:



Schadenspotential

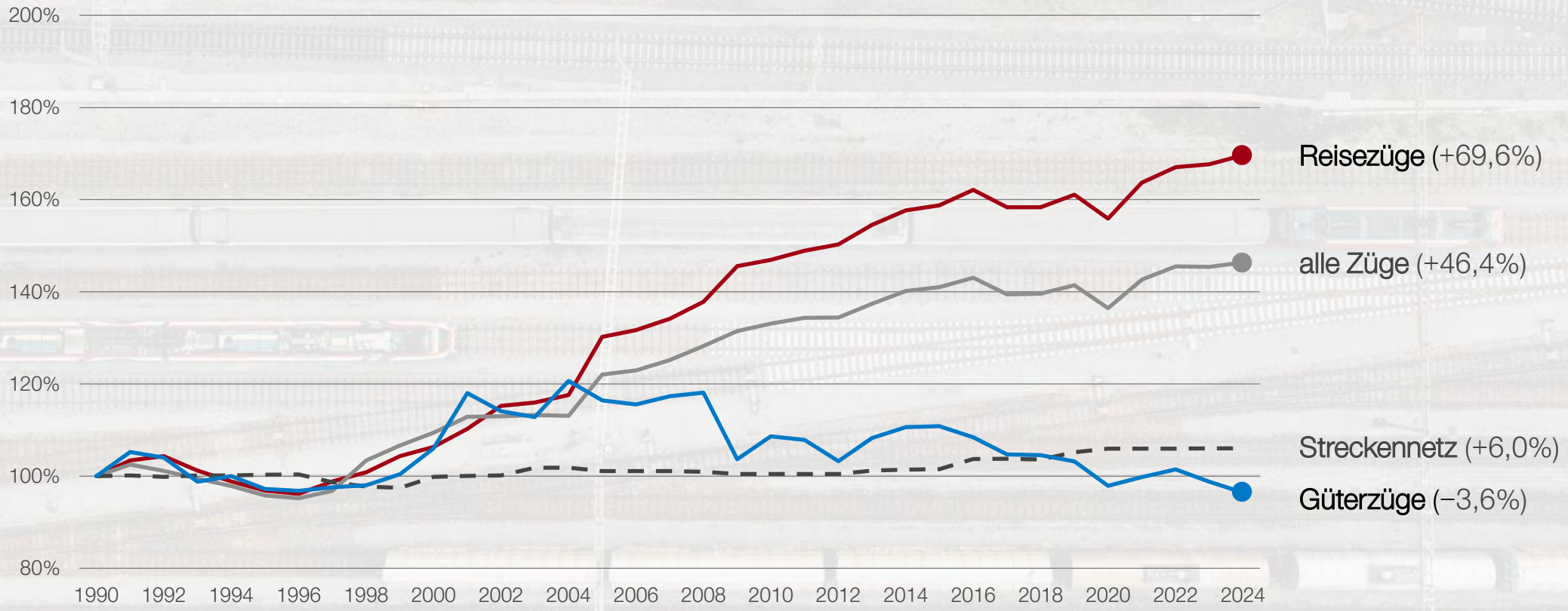
$2 \times (1.8t)^4 = 20.9\ t^4$ $\quad 20.9\ t^4 \cdot SF \cdot 0.00871887$ CHF/(km · t^4) = 0.183 CHF/km

$(3,6t)^{1.5} = 6.8\ t^{1.5}$ $\quad 6.8\ t^{1.5} \cdot SF \cdot 4.16250$ CHF/(km · $t^{1.5}$) = 28.432 CHF/km

SF : Skalierfaktor (Strategische zu realen Kosten)

C2 - Intern

Entwicklung Zugdichte und Streckennetz der SBB.

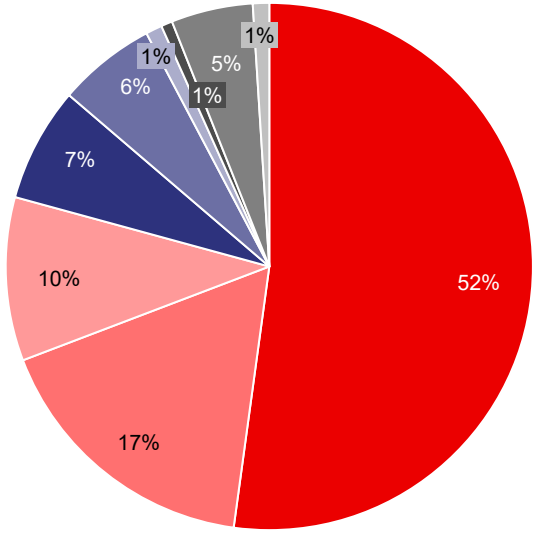


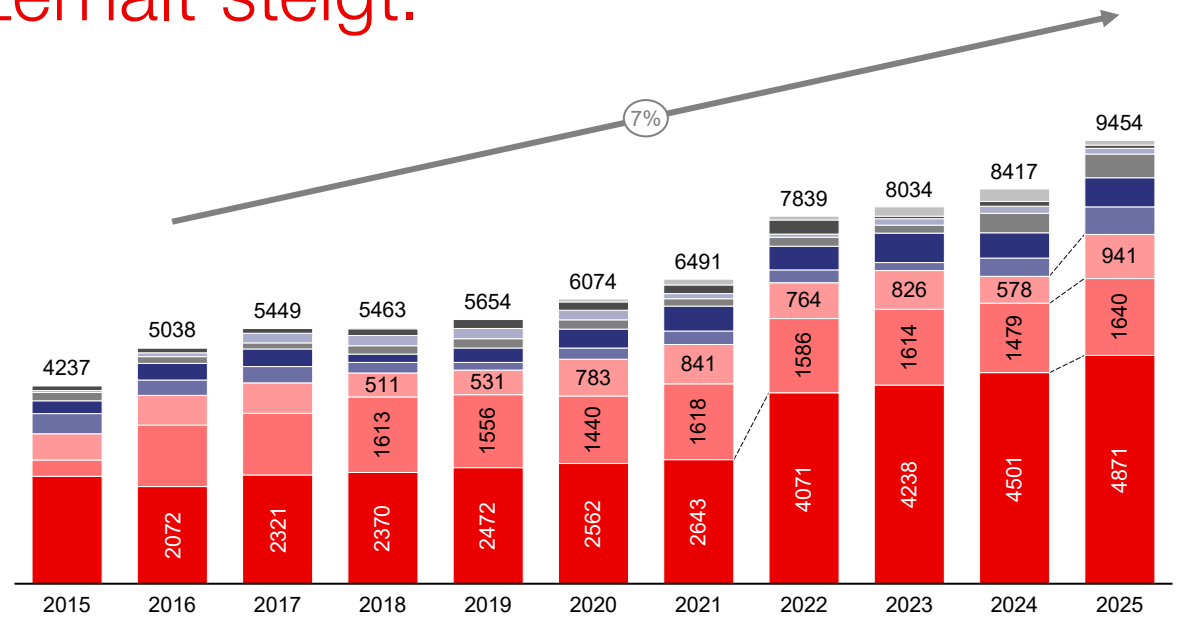
Indexierte Angabe, Basisjahr 1990
Streckennetz: Normalspurnetz der SBB; Zugdichte: entsprechende Anzahl Züge pro Strecke und Tag
Daten: reporting.sbb.ch

Der Rückstand im Substanzerhalt steigt.

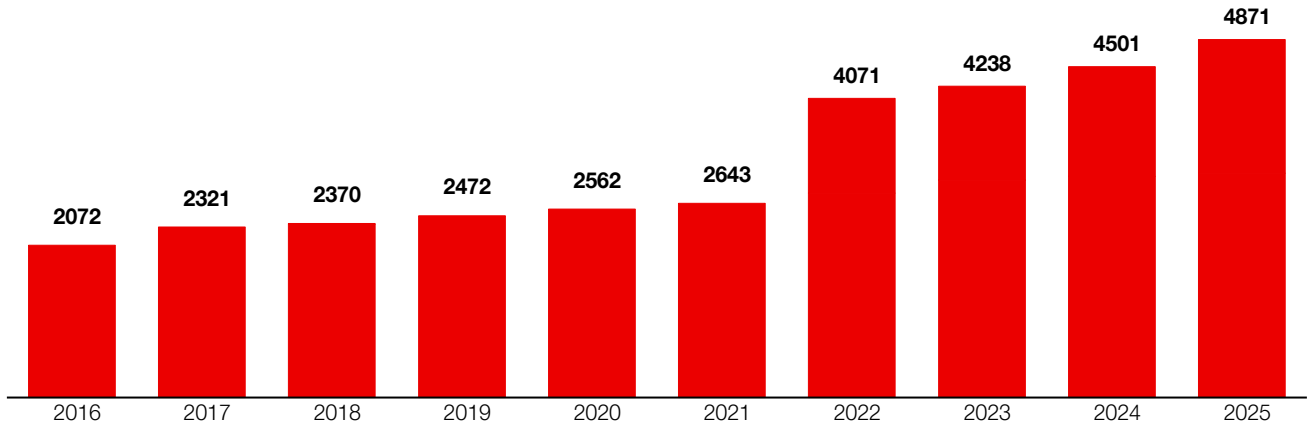


Aufteilung Rückstand nach Anlagengattungen [%].



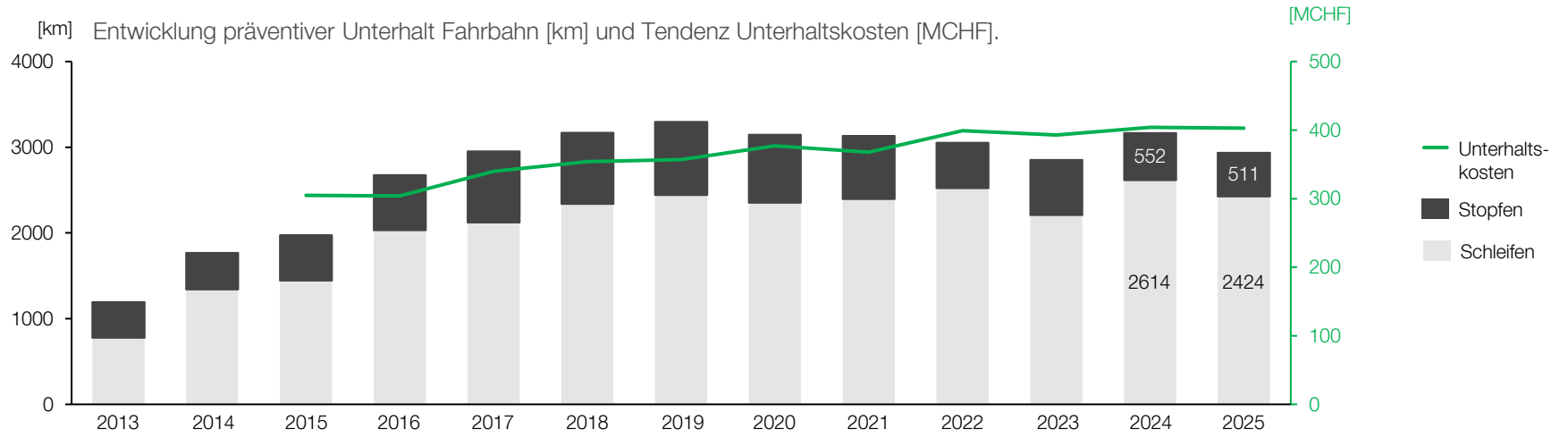


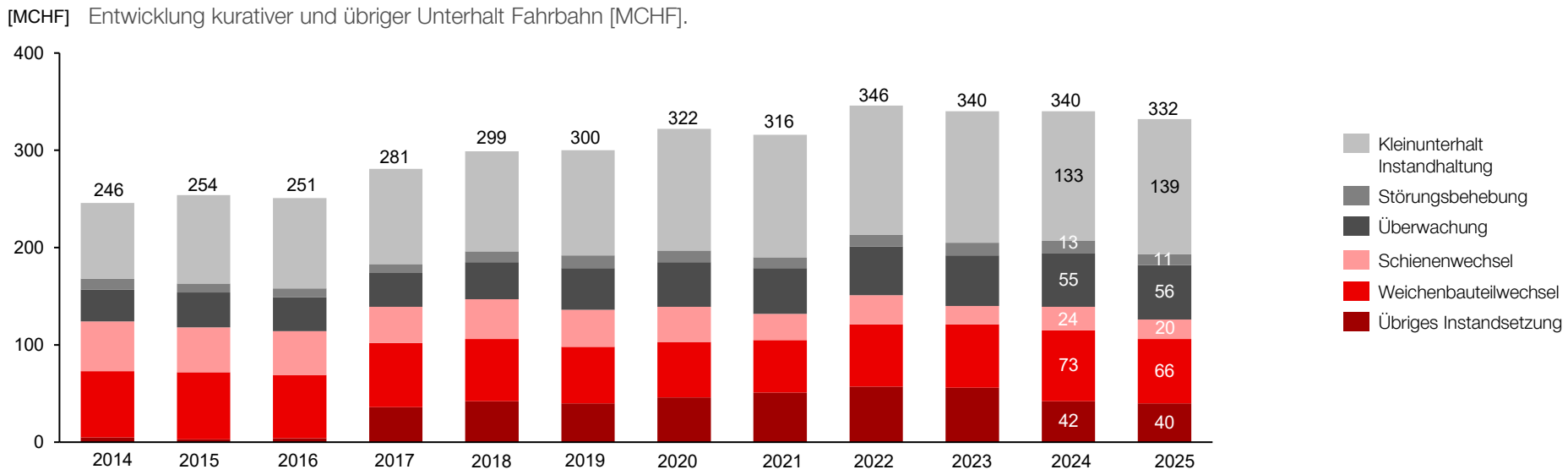
Entwicklung Rückstand Infrastruktur 2015–2025 [MCHF].



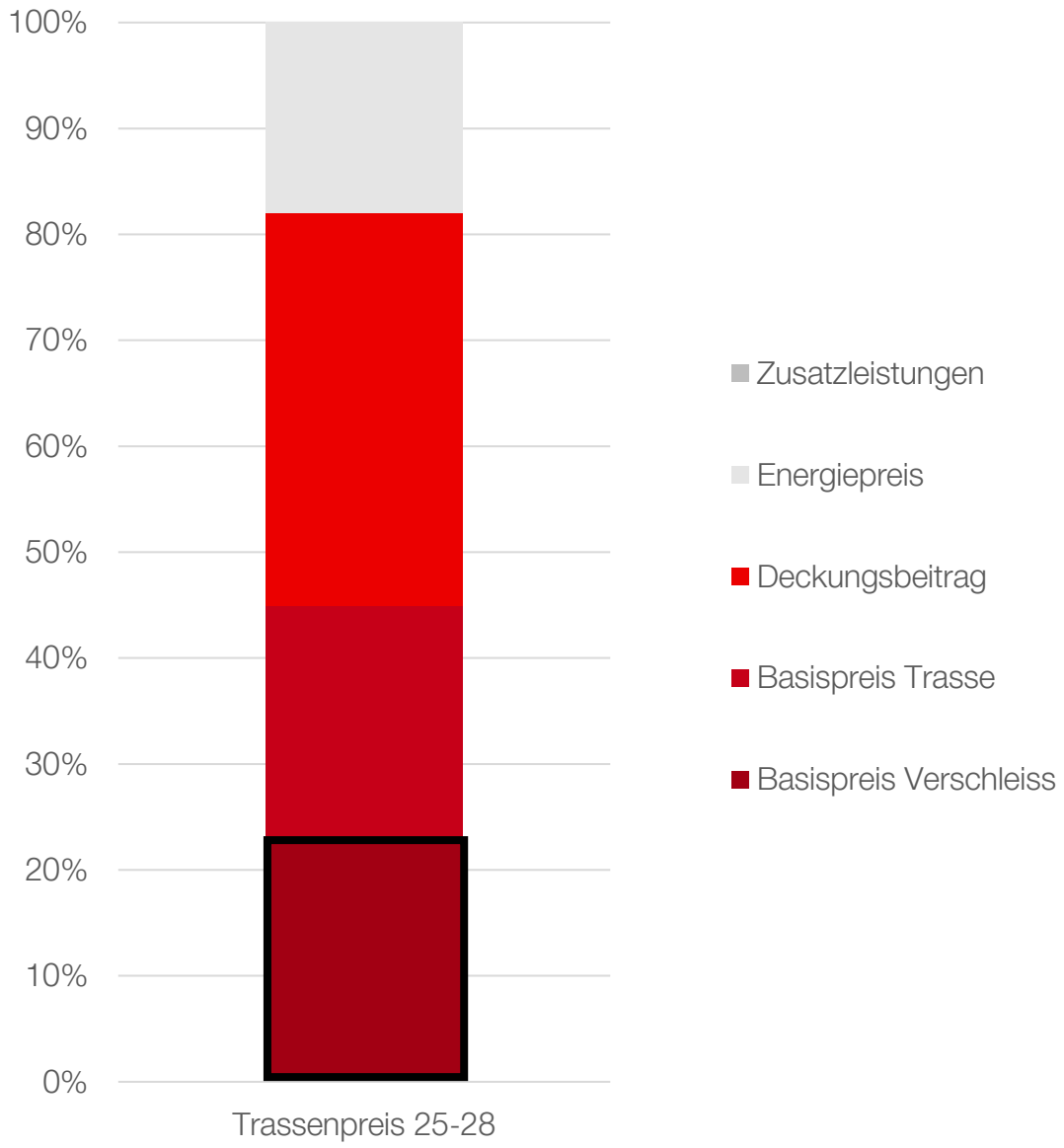
Entwicklung Rückstand Fahrbahn [MCHF].

Die Unterhaltskosten der Fahrbahn nehmen zu.





C2 - Intern



Wie kann Gesamtsystem weiter optimiert werden?

- Kann ein Anreiz für die Optimierung zwischen Verfügbarkeit und Einheitskosten der Infrastruktur geschaffen werden?
- Wie kann die steuernde Wirkung ausgeweitet werden?
- Welche steuernden Hebel führen zu einer Optimierung des Gesamtsystems?
- Wie kann ein positiver Anreiz mit Flotten mit hoher Laufleistung im Ausland geschaffen werden?
- ...

Agenda

1. Einführung «verschleissabhängiger Trassenpreis (TPS)»
   - Systemaufbau in der Schweiz. Grenz-, Vollkostenprinzip
   - Rückblick … *der lange Weg ins «Wagnis»*
2. Systemtechnik des verschleissabhängigen Trassenpreissystems
   - Verfahrensprinzip «von der Schädigung zum Km-Preis», Abrechnungsverfahren
   - Kalibration, Datensynthese auf dem Positionspunkt, *Live-DEMO*
3. Sichtbare Wirkungen
   - Veränderungen an Flotten und Gleisen
   - Sinkende Systemkosten
4. Trassenpreis – Transparenz der Zustandsentwicklung des Gesamtsystems
   - Reale Kosten von Verfügbarkeit
   - Verkehrsbewertungen
5. **Ausblick, Zusammenfassung**
   - TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

C2 - Intern

Ausblick

TPS29 -Anpassungsvorschläge zu Händen des Regulators

1. Akzentuierung «Schienenerneuerung» (Geraden, grosse Bögen). Schienen wurden/werden «runter geschliffen». Schienenbeanspruchung (Bogenlauf + Traktion) kommt in Fokus.
2. Sanierung TractionPowerValue mit Zweiteilung:
   - Reibleistung (Temperaturentwicklung im Kontakt)
   - Scherbeanspruchung durch Traktion und generatorische Bremsen
3. Bewusste Entscheidung das «Radprofil» kontaktmechanisch nicht zu bewerten (Beibehaltung der Kontaktberechnung nach Hertz mit nominellen Radradius).

   Hintergrund: Branchen-Initiativen zur Gleisbaudigitalisierung sind angelaufen. Infra-EVU-übergreifende Projekte lassen erwarten, dass das Rad-Schiene-System „eingefangen“ werden kann. Ohne Branchenerfolg → zukünftig nominelles Radquerprofil preisbildend berücksichtigten.

4. Auflösung der Weichen (Schadensmechanische Abbildung, Anlehnung an Universal Cost Modell) inklusive Nachbildung im Abrechnungssystem vornehmen: derzeit zurückgestellt.

C2 - Intern

Zusammenfassung

- Der Verschleissfaktor eröffnet EVUs positive Business Cases bei Investition in gleisschonendes Rollmaterial. **Die Inlandsflotten verändern sich positiv!**
- Das «Positionspunkt»- Konzept ist Basis modernen Assetmanagements, Instandhaltung und Entwicklung verschleissorientierter TPS-Systeme.
  (Positionspunkte OpenSource mit OpenData: https://github.com/mars-open/mars-base)
- Die Fahrbahn-Erhaltungskosten steigen mit Mehrverkehr, anwachsenden Erneuerungsrückstand getrieben von Verfügbarkeitsanforderungen.
- Der Trassenpreis hat sich als steuerndes Element bewährt. Das Potential steuernder Wirkung und Systemtransparenz ist vielfältig erweiterbar.
- **Die Schweiz sucht Gleichgesinnte.** Machbarkeit/Erfolg ist bewiesen, auch komplex differenzierte Abrechnungslogik ist beherrschbar! Selbst testen? →

SBB-TPS

C2 - Intern



Von der Zukunft hängt ab, wer nicht versteht, in der Gegenwart zu wirken.

Lucius Annaeus Seneca (ca. 4 v. Chr - 65 n. Chr.),
römischer Politiker, Rhetor, Philosoph und Schriftsteller

Danke für die Aufmerksamkeit

SBB-TPS