

Verschleißabhängige Komponente im Trassenpreissystem der Schweiz – ein Anreiz zur Rückbesinnung auf ein Gesamtoptimum

Wear-based component in the track access charging system of Switzerland – an incentive to return to a reflection on an overall optimum

Dipl.-Ing. Dr. techn. Jochen Holzfeind, Dipl.-Ing. Ingolf Nerlich, Dr. oec. Markus Giger, Bern (Schweiz),
Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig, Graz (Österreich)

Zusammenfassung

Für die Berechnung des Verschleißfaktors Fahrbahn wurde ein vereinfachtes Verschleißmodell angesetzt. Dabei wurde der zwingenden Anforderung „So einfach wie möglich und so komplex wie notwendig!“ Rechnung getragen. Der Artikel beschreibt die gewählten inhaltlichen Ansätze und deren praxisorientierte Umsetzung in der Verrechnung. Ergänzend wird anhand von Praxisbeispielen die erwartete Wirkung des Verschleißfaktors Fahrbahn aufgezeigt. Eine erste Abschätzung möglicher Maßnahmen an Fahrzeugen und Betrieb durch bereits vorhandene Lösungen wird durch die SBB Infrastruktur aufgezeigt. Die Entscheidung über die Einführung des Verschleißfaktors Fahrbahn trifft der Schweizerische Bundesrat Mitte 2015. Das bewährte Verschleißmodell Fahrbahn wird unabhängig davon für Prognosen und Maßnahmen im Fahrbahnunterhalt zur Anwendung gebracht und laufend weiterentwickelt. Damit wird die von den Kunden der SBB erwartete Sicherheit und Verfügbarkeit gewährleistet und die Substanzerhaltungskosten der weltweit am dichtesten befahrenen Infrastruktur werden nachhaltig gesenkt.

Abstract

The wear model was created for the use in track access charging, therefore it is simplified, following the assumption “As simple as possible – as complex as necessary!” The paper gives an overview on the technical approach and the transformation into the charging scheme. Additionally, some examples demonstrate the expected benefits. The Swiss Federal Council will decide about the implementation of the wear factor mid of 2015. The approved wear model is used in wear prognosis and maintenance planning apart of that, and is permanently enhanced. This provides safety and availability for the infrastructure customers and helps to reduce track maintenance costs of the worlds most densely used railway network.

1 Ausgangslage

Dieser Artikel ist eine Fortsetzung des bereits im Tagungsband der 41. Schienenfahrzeugtagung 2013 in Graz veröffentlichten Grundlagen und Inhalte zum Verschleißmodell der SBB Infrastruktur Fahrbahn [1]. Das nachhaltig ausgelegte Anlagenmanagement Fahrbahn der SBB setzt mit dem Baustein des Verschleißmodells Fahrbahn den Weg zu einem proak-

tiven und zukunftsorientierten Life Cycle Management fort.

Die Schweizer Gesetzgebung hatte seit der Einführung des Netzzugangs per 1.1.1999 vorgeschrieben, dass jeder Zug mindestens die direkt durch ihn verursachten Kosten der Infrastruktur decken muss. Anfänglich wurden diese Kosten nach zwei Parametern verteilt, nämlich den Zugkilometern (Zkm) und den Bruttotonnenkilometern (Btkm). Man-

gels Energiezählern wurde auch die verbrauchte Energie nach Btkm verrechnet. Es war bereits zu jenem Zeitpunkt klar, dass dies lediglich ein grobes Abbild der Realität sein kann, zudem bereitete auch die Kostenzuscheidung Probleme. Die seitherigen Fortschritte in der Kostenrechnung, in der Messtechnik und im Wissen über den Verschleiß erlaubten per 1.1.2013, den Trassenpreis differenzierter zu gestalten und die Trassenpreisstruktur

soll per 1.1.2017 mit einem weiteren Schritt vervollständigt werden (Bild 1). Außer den messbaren Auswirkungen des Zuges auf die Infrastruktur ist dabei laut Eisenbahngesetz der Umweltbelastung der Fahrzeuge sowie der Nachfrage Rechnung zu tragen. Die wesentlichen Neuerungen, deren Herleitung und Implementierung beschrieben werden sollen, sind:

- Nachfrage- und Qualitätsfaktoren zur Differenzierung des Grundpreises „Trasse“ sowie Lärmbonus und ETCS-Rabatt,
- Einführung eines Grundpreises „Verschleiß“ anstelle der Verrechnung nach Btkm und
- verbrauchsabhängige Verrechnung der aus der Fahrleitung bezogenen elektrischen Energie.

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) hat die SBB Infrastruktur mit der Erarbeitung einer Lösung für eine verursachergerechte Abrechnung der verrechenbaren Erhaltungskosten „Fahrbahn“ beauftragt. Diese erarbeitete Lösung ist auf technische Machbarkeit, finanzielle Wirksamkeit und praxisorientierte Umsetzbarkeit zu prüfen.

2 Motivation für einen Verschleißfaktor Fahrbahn aus Sicht der SBB Infrastruktur

Das Anlagenmanagement Fahrbahn der SBB Infrastruktur hat bei seiner Kernaufgabe den nachhaltigen Substanzerhalt der Fahrbahn sicherzustellen und dazu die erforderlichen Ressourcen und Werkzeuge aufzuzeigen und einzufordern. Die Entwicklung des Anlagenmanagements stützt sich dabei auf zwei wesentliche Säulen: dem erfahrungsbasierten [2] und dem datenbasierten Ansatz [3]. Beide Werkzeuge erlauben den Aufbau eines fundierten Verständnisses über das Verschleiß- und Qualitätsverhalten sowie sinnvolle Substanzerhaltungskosten der vorhandenen Fahrbahnanlagen. Die Lücke zwischen der Erfahrung auf Basis einer relativ konstanten Belastungsentwicklung (Gesamtbruttotonnage – GBRT) und

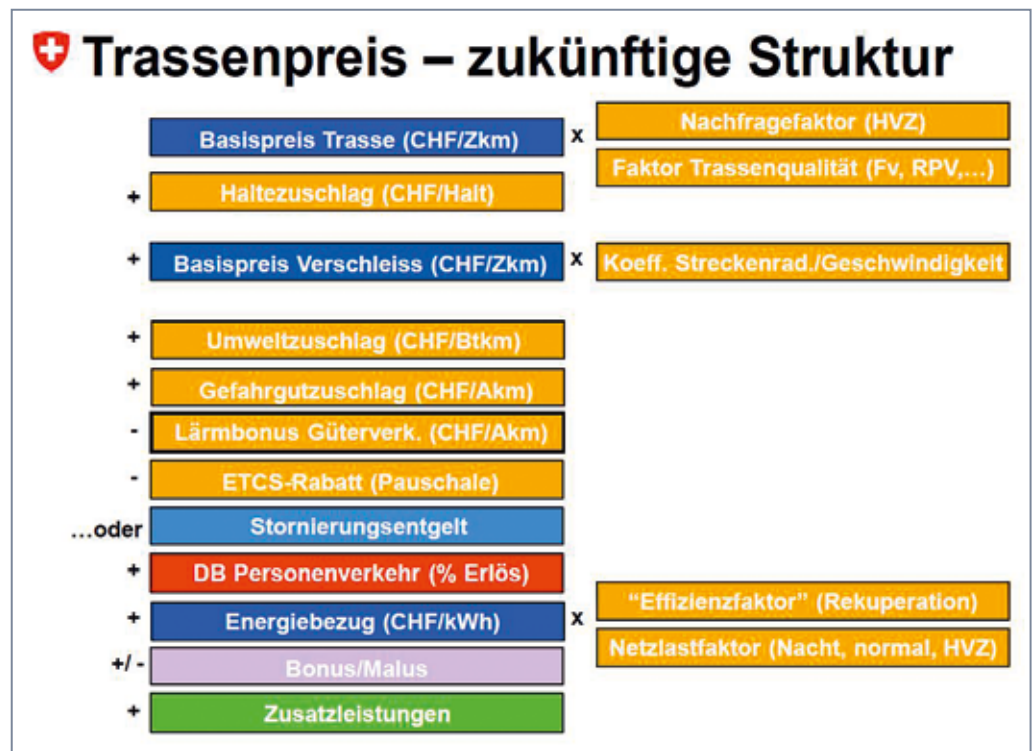


Bild 1: Zukünftige Trassenpreisstruktur per 1.1.2017

der sich dynamisch verändernden Fahrzeugbeanspruchung durch sich ändernde Fahrzeugkollektive muss geschlossen

werden. Das vom Anlagenmanagement entwickelte Werkzeug ANABEL [4] ermöglicht die anlagenspezifische Darstel-

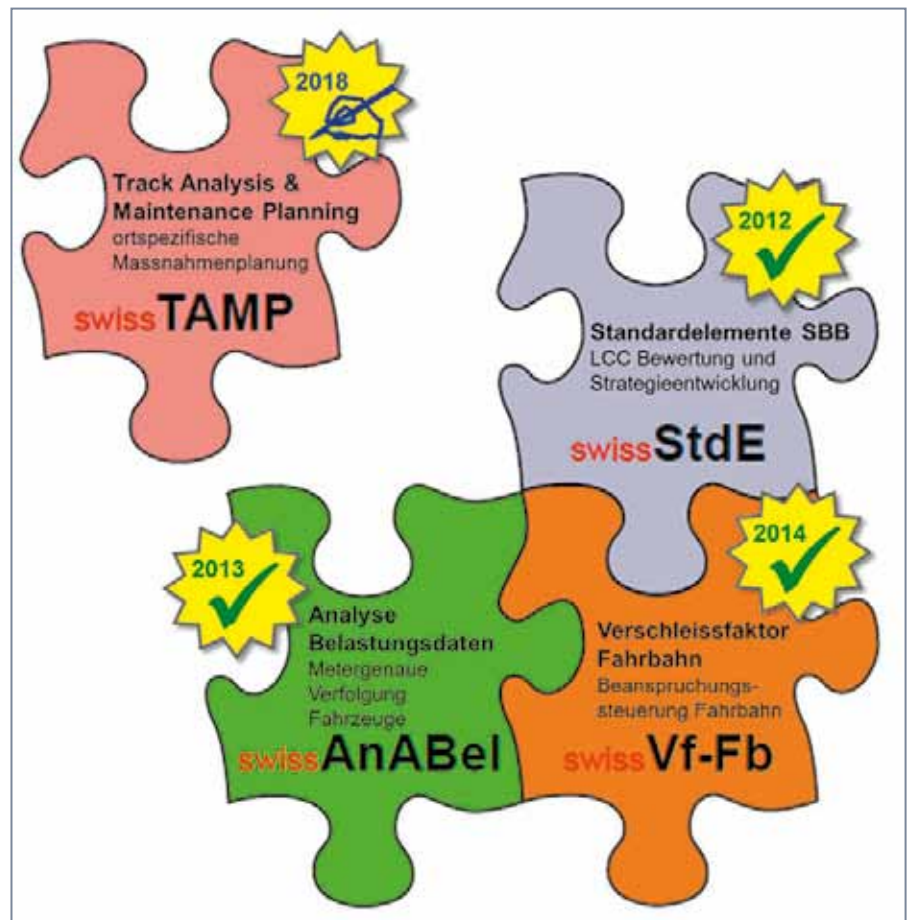


Bild 2: Systemische Elemente des Fahrbahn-Anlagenmanagement der SBB

lung des Fahrzeugkollektivs. Dadurch ist es möglich, nicht nur Fahrzeuge, sondern auch deren Eigenschaften den Anlagen der Fahrbahn eindeutig zuzuordnen. Die Schädigungswirkung dieser Eigenschaften bildet den wesentlichen Kern des Verschleißmodells Fahrbahn [5]. Die Verrechnung dieses Schädigungspotenzials durch den Verschleißfaktor Fahrbahn an den Verursacher ist lediglich die Konsequenz der Kombination der geschaffenen Grundlagen (Bild 2). In einem Internet-Kurzvideo [6] werden die Hintergründe, Inhalte und Ziele des Verschleißfaktors den Interessierten vereinfacht erklärt und näher gebracht.

Wie in [1] dargelegt, sind für einen gesunden und nachhaltigen Zustand der Fahrbahn sowohl fahrbahnseitige wie auch rollmaterialeitige Maßnahmen erforderlich. Neben den erforderlichen Substanzerhaltungsmengen und der laufenden Weiterentwicklung der Fahrbahnkomponenten sind auch die Beanspruchungen durch den Rollmaterialeinsatz zu reduzieren.

Das Anlagenmanagement Fahrbahn verfolgt durch die aktive Gestaltung dieser drei Ansätze ein und dasselbe Ziel: mittel- bis langfristige Senkung der Gesamterhaltungskosten Fahrbahn. Durch diese nachhaltige Bewirtschaftung der Fahrbahn wird ein wesentlicher Beitrag für die zukünftige Wettbewerbssituation des Systems Bahn sichergestellt. Der Verschleißfaktor Fahrbahn soll in seiner Funktion zwei Ziele erreichen:

1. Verursachergerechte Verrechnung der Fahrbahnkosten auf die einzelnen Nutzer und
2. Anreizwirkung zu fahrbahnschonendem Einsatz und verschleißoptimierter Konstruktion von Schienenfahrzeugen.

3 Das Verschleißmodell Fahrbahn der SBB Infrastruktur

Der Verschleißfaktor Fahrbahn ordnet den Hauptkostenpositionen der Fahrbahninstandsetzung Schädigungsmechanismen und damit fahrzeugseitige Kenngrößen dieser Mechanismen zu (Bild 3). Der Schädigungsansatz hat damit keinesfalls den Anspruch, eine vollständige Ursachen-Schaden-Matrix darzustellen, sondern reflektiert vielmehr auf die wichtigsten Mechanismen aus Sicht der

Fahrbahninstandsetzung. Die Hauptkostenpositionen sind Gleisstopfung, Schienenschleifen sowie Schienen- und Weichenbauteilwechsel. Die sonstige Instandsetzung (Kleinunterhalt) ist in Form von Mängelbehebung den Schädigungsmechanismen grob zugeteilt.

Der verwendete Ansatz stellt sich wie folgt dar:

$$KS_{FZG} = k_1 \cdot F_{R_Q} \cdot Q^3 + k_2 \cdot Q^{1,2} + k_3 \cdot T_{pv} + k_4 \cdot F_{R_{W_b}} \cdot W_b + k_5 \cdot \sqrt{(f_{5_1} \cdot Q^2 + f_{5_2} \cdot Y^2)} \quad (1)$$

KS_{FZG}	Kostensatz Fahrzeug,
Q	dynamische Vertikalkraft,
T_{pv}	Traction Power Value,
W_b	Reibarbeit,
Y	horizontale Führungskraft,
F_R	radienabhängige Faktoren für Q^3 und W_b ,
f_{5_i}	Kalibrierungsfaktor für die Anteile von Q bzw. Y an den sonstigen Instandhaltungskosten und
k_i	Kostenkalibrierungsfaktoren.

Der erste Term bildet grundsätzlich den Einfluss der Beanspruchung auf den Verfall der Gleislage ab. Als Schädigungsgröße dient die dynamische Vertikalkraft. Dem ORE-Bericht D 161.1 [7] folgend ist der Schädigungsmechanismus mit der dritten Potenz abgebildet. Als Fahrzeugkenngröße dient die Kraft P_2 laut Railway Group Standard [8], da diese Vertikalkraft den Einfluss ungefederter Massen und der Geschwindigkeit enthält (siehe nachfolgende Erläuterungen). Term 2 und 3 beschreiben die Schädigung der Schienenoberfläche in geraden Abschnitten (Radien größer 1200 m). Die Beanspruchung ist als kombinierter Effekt abgebildet: Ein Teil betrifft das gesamte Fahrzeugkollektiv, wiederum mit der dynamischen Vertikalkraft, wobei der Schädigungsmechanismus mit der Hochzahl 1,2 [9] angesetzt ist. Zusätzlich wurde der Effekt der aufgebrauchten Traktion vereinfacht über den so genannten Traction Power Value [10] berücksichtigt, der auf den Einfluss der angetriebenen Radsätze verweist. Die Schienenschädigung im Bogen ist über die Reibarbeit W_b abgebildet. Dieser Ansatz, in der Literatur auch als Tgamma-Ansatz bekannt [11, 5], teilt die Schädigung in Initiie-

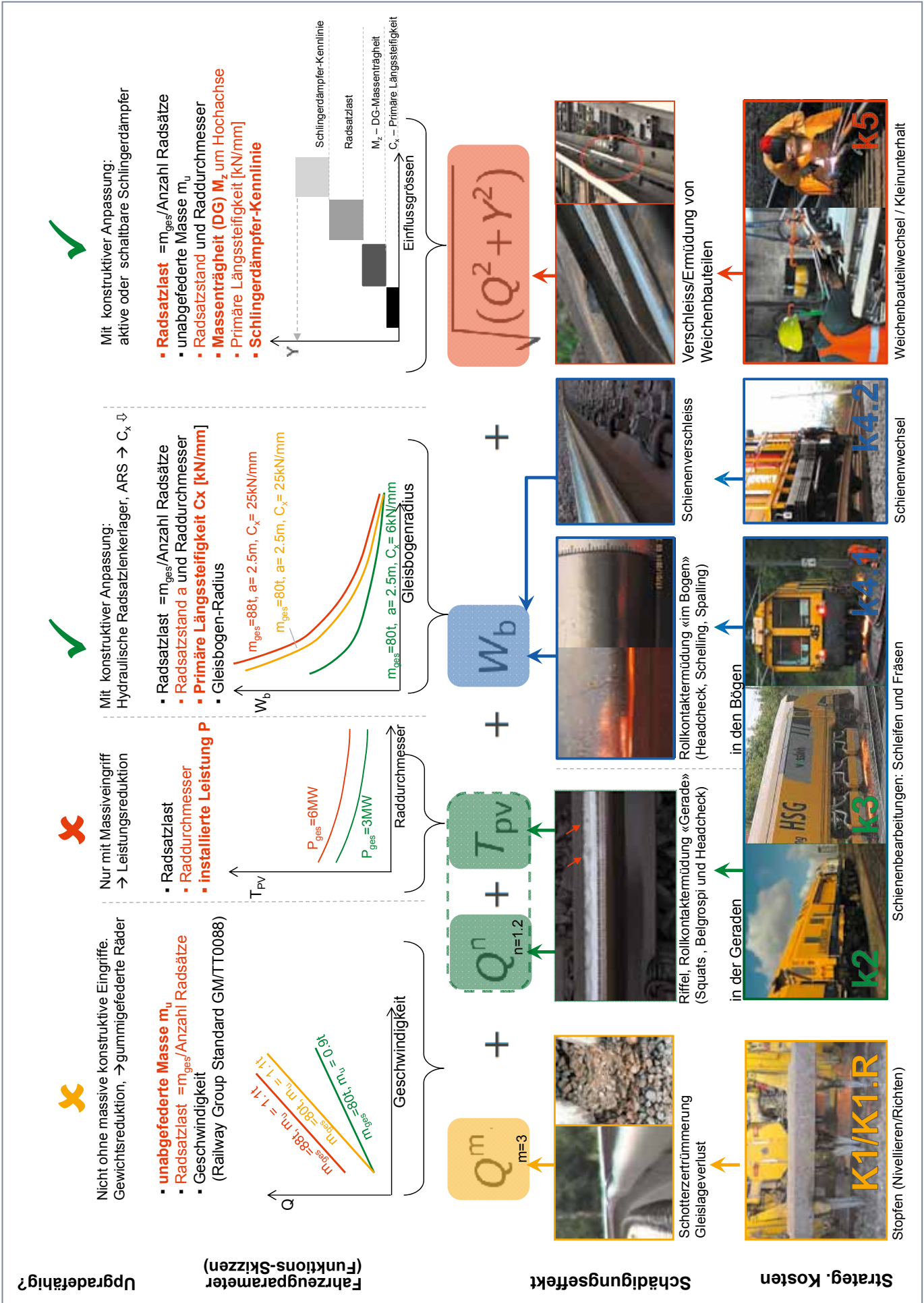
rung von Rissen (Head Checks) und abrasivem Schienen(seiten)verschleiß. Der letzte Term schließlich gilt der Beanspruchung von Weichenbauteilen, also Herzstücken, Zungenvorrichtungen und Radlenkern. Der Schädigungsmechanismus ist als kombinierte Beanspruchung in vertikaler und lateraler Richtung abgebildet. In der vertikalen Richtung ist die Beanspruchung wiederum als Kraft P_2 dargestellt, in lateraler Richtung wird die quasistatische Kraft verwendet (siehe auch Abschnitt 3.1). Die Schädigungswirkung wurde zu je 50 % der vertikalen bzw. der lateralen Kraft zugeordnet (Faktoren f_{5_i} je 0,5), der Schädigungsmechanismus wurde abweichend von [7] linear angesetzt, die Fahrzeugkenngrößen P_2 und Y entsprechen den Kräften bei der Durchfahrt durch den abzweigenden Ast einer Weiche mit Abzweigradius 185 m mit 40 km/h.

In der Verschleißformel sind des Weiteren radienabhängige Faktoren angegeben (FR). Diese Faktoren gelten für die Kostenkalibrierungsfaktoren, die für die angegebenen Terme je nach Radienbereich andere Größenordnungen annehmen. Im Rahmen der Kostenkalibrierung wurden diese zu Gunsten der radienspezifischen Kostenkalibrierungsfaktoren verworfen. In großen Teilen entspricht der Verschleißansatz dem Stand des Wissens, was auch in einem Benchmark verschiedener, internationaler Ansätze überprüft wurde. Wie bereits hervorgehoben, ist das Ziel des Verschleißansatzes, einen vereinfachten Zugang zu einer Ursache-Schaden-Matrix zu finden. Besonderes Augenmerk lag bei der Entwicklung des Ansatzes auch darauf, die notwendigen Fahrzeugkenngrößen mit vertretbarem Aufwand ermitteln zu können, da diese für die Anwendung im Trassenpreissystem (TPS) für alle Fahrzeuge erhoben werden müssen.

3.1 Fahrzeugkenngrößen

Mit der grundlegend aufgebauten Formel werden „fiktive“ Schädigungsbeiträge aus Interaktionsgrößen berechnet. Nur die Schädigungsbeiträge werden kostenständig bewertet. Genau mit diesem Zwischenschritt ist es möglich, auch zukünftig Fahrzeugkonstruktionen gesamthaft zu beschreiben.

Für jeden Schädigungseffekt sind ursächliche Interaktionsgrößen und speziell da-



■ Bild 3: Zuordnung der Schädigungsmechanismen zu anfallenden Fahrbahn-Erhaltungsarbeiten

hinter liegende treibende konstruktive Kenngrößen des Fahrzeugs identifizierbar, welche erst mit Betriebsparametern (Geschwindigkeit und Trassierung) wirksam werden.

Für folgende Schädigungen sind in den zugehörnden Tafeln die Einflussgrößen angegeben:

- D1: Schotterschädigung, Gleislageverlust (Tafel 1),
- D2: Rollkontaktermüdung in sehr großen Bögen/Geraden bei traktionsloser Überrollung (Tafel 2),
- D3: Rollkontaktermüdung in sehr großen Bögen/Geraden infolge Traktion (Tafel 3),
- D4: Rollkontaktermüdung in Bögen (Tafel 4) und
- D5: Degradationsprozesse in Weichen (Tafel 5).

Wie aus den Tafeln zu erkennen ist, wurden einige Vereinfachungen vorgenommen. Dafür gab es zwei Hauptgründe:

- Nicht für alle Schädigungseffekte gibt es kostenseitig ausreichend differenzierte Grundlagen.
- Die erforderlichen Daten sind aus dem Betriebsablauf zum Zeitpunkt der Zugfahrt, insbesondere aber vor der Zugfahrt, nicht erhältlich. Die Datenbeschaffung und Verarbeitung gefährdet die performante IT-technische Umsetzung und damit eine vollständige automatische Abrechnung. Beispiele sind u. a. Weichentypabfolge im Fahrweg oder Raddurchmesser von Güterwagen.

Die verbesserte Auflösung der noch unscharfen Betriebsparameter kann ein Ziel einer Weiterentwicklung des TPS-Modells sein.

3.2 Kostenkalibrierung

Bei der Zuordnung der Instandsetzungskosten zu den Schädigungsgrößen wur-

de vorab festgelegt, dass nicht die zurzeit auftretenden Kosten zur Kalibrierung des Ansatzes herangezogen werden, sondern die Auswertung auf Basis strategischer Kosten erfolgen soll. Der Terminus „strategische Kosten“ beschreibt ein Bezugskostenniveau, das die einzelnen Schädigungsterme auf Basis eines langfristig eingeschwungenen, LCC-optimierten Instandhaltungsregims beziffert. Die Darstellung dieser Kosten ist durch das bereits zu Beginn angesprochene Werkzeug Standardelemente SBB [2] möglich.

Was akademisch klingt, ist tatsächlich von Bedeutung. Die Kostenpositionen und damit auch die Wertigkeiten der einzelnen Schädigungsmechanismen verschieben sich durch diese Unterscheidung deutlich. Insbesondere betrifft dies die kostenseitige Auswirkung von Schienenoberflächenfehlern. Diese können entweder reaktiv, durch teuren Schienen-

I Tafel 1: Einflussgrößen auf die Schotterschädigung und den Gleislageverlust

Interaktionsgröße $Q_{dyn} (P_2)$	Betriebsparameter	Verantwortliche konstruktive Kenngrößen
dynamische Vertikalkraft Q	Fahrgeschwindigkeit	Halbe unabgefederte Masse jedes Radsatzes m_u
		Statische Radlast Q_0
Vereinfachung:		
<ul style="list-style-type: none"> • die Verteilung der unabgefederten Masse in Querrichtung auf den Radsatz wird vernachlässigt • gleichparametrisierte Berechnung ohne Einbezug realer, ortsbezogener Gleislagebedingungen • es wird die ortszulässige Geschwindigkeit des Zuglaufs verwendet, nicht das reale Fahrprofil 		

I Tafel 2: Einflussgrößen auf die Rollkontaktermüdung in der Geraden und in großen Bögen

Interaktionsgröße $Q_{dyn} (P_2)$	Betriebsparameter	Verantwortliche konstruktive Kenngrößen
dynamische Vertikalkraft Q	Fahrgeschwindigkeit	Halbe unabgefederte Masse jedes Radsatzes m_u
		Statische Radlast Q_0
Vereinfachung:		
<ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf die Berücksichtigung des effektiven Raddurchmessers • gleichparametrisierte Berechnung ohne Einbezug realer Gleislagebedingungen • es wird die ortszulässige Geschwindigkeit des Zuglaufs verwendet, nicht das reale Fahrprofil 		

I Tafel 3: Einflussgrößen auf die Rollkontaktermüdung in der Geraden und in großen Bögen infolge Traktion

Interaktionsgröße TPV	Betriebsparameter	Verantwortliche konstruktive Kenngrößen
Quotient aus Dauerleistung und Radaufstandsfläche (Leistungsdichte je Flächenelement des Rad/Schiene-Kontakts)	(örtlicher Leistungsbedarf) nicht auflösbar	Dauerleistung des Fahrzeug P
		Raddurchmesser angetriebener Radsätze R_{Rad}
		Statische Radlast Q_0 der Antriebsachsen
Vereinfachung:		
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Auflösung realer, orts- oder zugfahrtspezifischer Anfahrt-/Bremsbedingungen • Keine Berücksichtigung der Kraftschlussregelcharakteristik 		

I Tafel 4: Einflussgrößen auf die Rollkontaktermüdung und Verschleiß in Bögen

Interaktionsgröße T_v	Betriebsparameter	Verantwortliche konstruktive Kenngrößen
Bezogener Reibenergie-Eintrag (Produkt aus Schlupf und tangentialer Schlupfkraft in Längs- und Querrichtung)	Örtlicher Gleisbogenradius	Konzeptionelle Radsatzführung (steif, lenkend, aktiv)
		Primäre Radsatzführungssteifigkeit (C_x, C_y)
		Radsatzstand im Fahrwerk
		Raddurchmesser R_{Rad} und Profilgeometrie
		Statische Radlast Q_0 , speziell der führenden Radsätze
		Art der DG-Rückstellung (z.B. Flexicoil-Federn)
Vereinfachung: <ul style="list-style-type: none"> Keine Auflösung realer, orts- oder zugfahrtspezifischer Anfahrt-/Bremsbedingungen Einheitliche Reibwertvorgabe $\mu = 0,3$ sowie unverschlossene Rad- und Schienenprofile Vernachlässigung des Schädigungseffekts des nachlaufenden Radsatzes im Fahrwerkrahmen keine Verhaltensbewertung in Übergangsbögen (Wirkung von Reibhemmungen vernachlässigt) 		

I Tafel 5: Einflussgrößen auf Degradationsprozesse in Weichen

Interaktionsgröße ($Q_{dyn}^2 + Y^2$) ^{0.5}	Betriebsparameter	Verantwortliche konstruktive Kenngrößen
Addition der Beanspruchungsvektoren Y und Q (Y, Q ermittelt bei 40 km/h in einem S-Bogen mit 185-m-Radius)	(Weichenbauform) Nicht auflösbar	Konzeptionelle Radsatzführung (steif, lenkend, aktiv)
		Primäre Radsatzführungssteifigkeit (C_x, C_y)
		Radsatzstand im Fahrwerk
		Raddurchmesser führender Radsätze R_{Rad}
		Schlingerdämpfercharakteristik (Kennlinie/BlowOff)
		Statische Radlast Q_0 , führender Radsätze
		Art der DG-Rückstellung (z.B. Flexicoil-Federn)
Vereinfachung: <ul style="list-style-type: none"> Keine Auflösung realer, orts- oder zugfahrtspezifischer Weichenbefahrungen (Ablenkung & Bauform) Einheitliche Reibwertvorgabe $\mu = 0,3$, S-Bogen mit 185-m-Radius als „Musterweiche“ EW 185 Vernachlässigung des direkten Schädigungseffekts von geraden Weichendurchfahrten mit Streckenhöchstgeschwindigkeit Anhängen der Gesamtheit der Weichenkosten an die „Musterweiche EW185“ 		

wechsel, oder LCC-optimiert, durch präventives Schleifen, behoben werden. Die finanziellen Konsequenzen dieser beiden strategischen Ansätze unterscheiden sich um einen Faktor 5.

4 Umsetzung des Preismodells als Trassenpreiselement

Die Frage, die sich im Rahmen der Umsetzung stellt, ist: Wie einfach kann das Preismodell sein, um mit vertretbarem Aufwand umgesetzt zu werden? bzw. wie komplex muss das Preismodell sein, um allen Anforderungen der Stakeholder zu entsprechen? Dazu wurden drei Varianten geprüft. Ausgangsbasis dabei ist das Ergebnis des erarbeiteten Verschleißmodells Fahrbahn. Das Ergebnis zeigt für jedes Fahrzeug zehn Kostensätze, die hin-

sichtlich der Geschwindigkeit und der Trassierung variieren.

- Variante 1: Die zehn Kostensätze werden dem Preisschema zugrunde gelegt. Damit wird den Anforderungen der Trassierung und Geschwindigkeit genüge getan.
- Variante 2: Vereinfachend zur Variante 1 wird hier die Trassierung nicht differenziert betrachtet. Die Kostensätze der Radien werden anteilig gemäß der Netzhäufigkeit den Kostensätzen der Geschwindigkeit zugerechnet.
- Variante 3: Weiter vereinfachend werden über die Geschwindigkeitsverteilung der einzelnen Fahrzeuge die Kostensätze der Variante 2 zu einem einzigen Kostensatz, gültig für das gesamte Netz, zusammengefasst.

Die Preisvarianten sind dabei aufwärtskompatibel (von Variante 1 in Richtung

Variante 3) verdichtbar. Dieser Versuch wurde unternommen, um das Preissystem so einfach wie möglich zu gestalten. Der Einfachheit der Variante 3 in der Verrechnung stehen große Nachteile gegenüber. Bereits zur Preisbildung und Abrechnung muss das netzweite Geschwindigkeitsprofil (Längenanteile pro Geschwindigkeitsband) der Fahrzeuge bekannt sein. Was bei Bestands-Fahrzeugen möglich ist, wird bei Neuzulassungen zu einer nicht transparent lösbaren Herausforderung. Auch der Versuch der Vereinfachung durch die Variante 2 zeigt, dass der Fahrzeugeinsatz zum Teil zu stark vereinfacht abgebildet wird. Zu dem verliert durch diese Vereinfachung das Preissystem die Anreizwirkung in der Beanspruchungsreduzierung der Fahrzeuge im Bogen. Variante 1 incentiviert dem gegenüber sowohl die Fahrzeugauslegung als auch

I Tafel 6: Preisübersicht der Einsatzrelation in CHF: Zürich Flughafen (ZFH) nach Schaffhausen (SH) oder nach Weinfelden (WF)

OffertTool_v6.9_W25_2014_v6.5.xlsm – Excel							
ZUGNUMMER	KOMMENTAR	km	km BTo	Preis Basis Gewicht (Alt)	Preis Vf Fb	Preis Vf Fb/km	Streckenunterschied
999101	S24: ZFH-SH: RABe514_8/16	49,9	11 832,4	39,0	43,9	0,878	18%
999104	S24: ZFH-WF: RABe514_8/16	53,4	12 647,4	41,7	39,7	0,743	
999103	S24: ZFH-SH: RABe 511_8/16	49,9	11 093,2	36,6	37,9	0,760	17%
999106	S24: ZFH-WF: RABe 511_8/16	53,4	11 857,3	39,1	34,6	0,649	
999102	S24: ZFH-SH: Re450-DPZ	49,9	11 427,9	37,7	35,6	0,712	15%
999105	S24: ZFH-WF: Re450-DPZ	53,4	12 214,9	40,3	33,2	0,621	

I Tafel 7: Impulse und Maßnahmen zur Kostenoptimierung bei Schotterschädigung und Rollkontaktermüdung in der Geraden

Parameter	Impulse/Maßnahmen: Bestands-Fahrzeuge	Impulse für «Neubau-Fahrzeuge»
Achslast Q_0	<p>Sehr gering/unrealistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Massiv-Eingriff (GTO - IGBT-Umbau)* <p>* Verlust traktionsrelevanten Gewichts</p>	<p>Stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anstreben konsequenten Leichtbaus • Optimierung im Innenausbau
Ungefederte Masse m_u	<p>Sehr gering/unrealistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Massiv-Eingriff* unumgänglich <ul style="list-style-type: none"> ➢ Gummigefederte Räder ➢ Aluminium-Bremsscheiben <p>* nicht bei jedem Fahrzeug möglich</p>	<p>Sehr stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generell leichtere Antriebsbauformen • Kardan/Ritzel-Hohlwellenantriebe • Gummigefederte Räder * • Aluminium-Bremsscheiben • Innengelagerte Radsätze • Antriebe mit umlaufender Kegelfeder
Geschwindigkeit	<p>Gering/realistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anpassung des Einsatzprofils des Fahrzeugs, keine Tatlager-Antriebe > 120 km/h (nicht in P-Zügen) 	<p>Stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anpassung an das Einsatzportfolio des Fahrzeugs (rein einsatzbezogene Bauweise) • Universalbauweise

den spezifischen Einsatz von Fahrzeugen. Die Bewertung dieser Effekte und die Ergebnisse der Machbarkeitsprüfung führten zu dem Entscheid, Variante 1 zu realisieren. Strecken werden in Matrizen mit Längenanteilen pro Radien- und Geschwindigkeitsband (R-, V-Band) abgebildet. Diese Längenanteile werden anschließend mit den jeweiligen Fahrzeugpreisen verrechnet.

4.1 Nachweis der Wirksamkeit und wirtschaftlichen Relevanz

Durch die Wahl der Verrechnungsmethodik ist es nun möglich, selbst ohne Veränderungen am Rollmaterial, auf den Trassenpreis Einfluss zu nehmen. Wenn bauliche und kundenrelevante Kriterien einen anderen Fahrzeugeinsatz zulassen, kann die Veränderung sehr deutlich ausfallen. Es stellt sich die Frage, welche Tagestrassenpreise den Betriebsaufwänden für ein tagesgangabhängiges Stärken und Schwächen der Zugkompositionen gegenüber stehen.

Ein Beispiel: Gemäß der Teilergänzung 4 der Züricher S-Bahn [12] wird sich die neue S-Bahnlinie S24 nach Schaffhausen (SH) und Weinfelden (WF) trennen. Die Linie nach Schaffhausen ist etwas bogenreicher. Es stellt sich nun die Frage: In welchem Umfang wird die Streckencharakteristik deutlich, gibt es preislich bevorzugte Fahrzeuge aus der Gruppe der S-Bahnen (Typauswahl: RABe 514, RABe 511 oder Re 450/DPZ)?

Eine Berechnung mit dem Berechnungstool Verschleißfaktor Fahrbahn [13] zeigt in *Tafel 6* die Unterschiede im Ausschnitt Zürich Flughafen (ZFH) nach Schaffhausen/Weinfeld (SH/WF). In der Tat fallen die Unterschiede zwischen Fahrzeugen und den Strecken markant aus. Beim RABe 514 werden allein aus dem Streckencharakter ZFH-WF und ZFH-WF Preisunterschiede von ca.18 % sichtbar. Würde ein RABe 514 auf der Relation Zürich Flughafen (ZFH) nach Schaffhausen (SH) durch die Fahrzeugkombination Re 450/DPZ ersetzt werden, verringert sich der spezifische km-Preis von 0,878 CHF/km auf 0,712 CHF/km – also



I Bild 4: Schubbeanspruchtes gummigefedertes Rad [15]

I Tafel 8: Impulse und Maßnahmen zur Kostenoptimierung hinsichtlich Rollkontaktermüdung infolge Traktion

Parameter	Impulse/Maßnahmen: Bestands-Fahrzeuge	Impulse für «Neubau-Fahrzeuge»
Leistung	<p>Sehr gering/unrealistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es sind an Bestands-Fahrzeugen keine Änderungen möglich, welche nicht mit Zugkräfteeinschränkungen einhergehen würden. <p>Es ist denkbar, die Aggressivität des Kraftschluss-Regelverhaltens als Vorfaktor vor dem T_{PV} zu führen und damit einen Anreiz zu geben.</p> <p>In absehbarer Zeit genügt dafür jedoch der Kenntnisstand noch nicht.</p>	<p>Mittel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verteilte Antriebe • Leistungskonzentrationen nur mit entsprechendem Adhäsionsgewicht auf dem Radsatz • (Kraftschlussverhalten, derzeit noch nicht abgebildet)
Raddurchmesser		<p>Stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • größere Räder Kontaktspannungsreduktion
Radaufstandskraft		<p>Stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistungskonzentrationen nur mit entsprechendem Adhäsionsgewicht auf dem Radsatz

eine Reduzierung um 19 %. Diese Kosteneinsparungen sind ausschließlich durch Änderungen im Betriebskonzept erreichbar.

5 Fahrbahnschonende Fahrzeugkonstruktionen

Neben den vorstehend genannten kurzfristig realisierbaren Einflussmöglichkeiten, ist es jedoch das erklärte Ziel, durch den Verschleißfaktor mittel- und langfristig auf die Fahrzeugkonstruktion einzuwirken. Bemerkenswert ist, dass in den letzten beiden Jahrzehnten etliche Elemente von der Industrie entwickelt wurden, die stark vereinfachend gesprochen Fahrwerke „upgrade-fähig“ machen. Frequenz selektive Dämpfungselemente (FSD) und frequenzabhängige Steifigkeiten (Hydrobuchse) der Radsatzführung sind hier zu nennen. Diese Up-

grade-Fähigkeit ist ein neuer, entscheidender konstruktiver Aspekt und war zuvor in der Bahnwelt nicht existent. Allen Upgrade-Elementen ist gemeinsam, dass allein der Zugewinn an Standzeit der Radprofile ihre Einführung offenbar bisher wirtschaftlich nicht begründete. Bezüglich der im Abschnitt 3.1 genannten Schädigungen D1 und D2 sind die möglichen Impulse und Maßnahmen für Bestands- und Neubau-Fahrzeuge in *Tafel 7* zusammengestellt. Wie zu erkennen ist, bleiben derzeit für Bestands-Fahrzeuge nur wenige realistische Optionen. Für den Neubau hingegen ist die Wahl des richtigen Antriebskonzepts entscheidend. Speziell wird auf gummigefederte Räder als bewährte Konstruktionselemente hingewiesen, die seit 1975 bei Vollbahnlokomotiven in Betrieb sind (Lokomotiven vom Typ Rc der Schwedischen Eisenbahn, Lokomotiven Class 86 von British Rail).

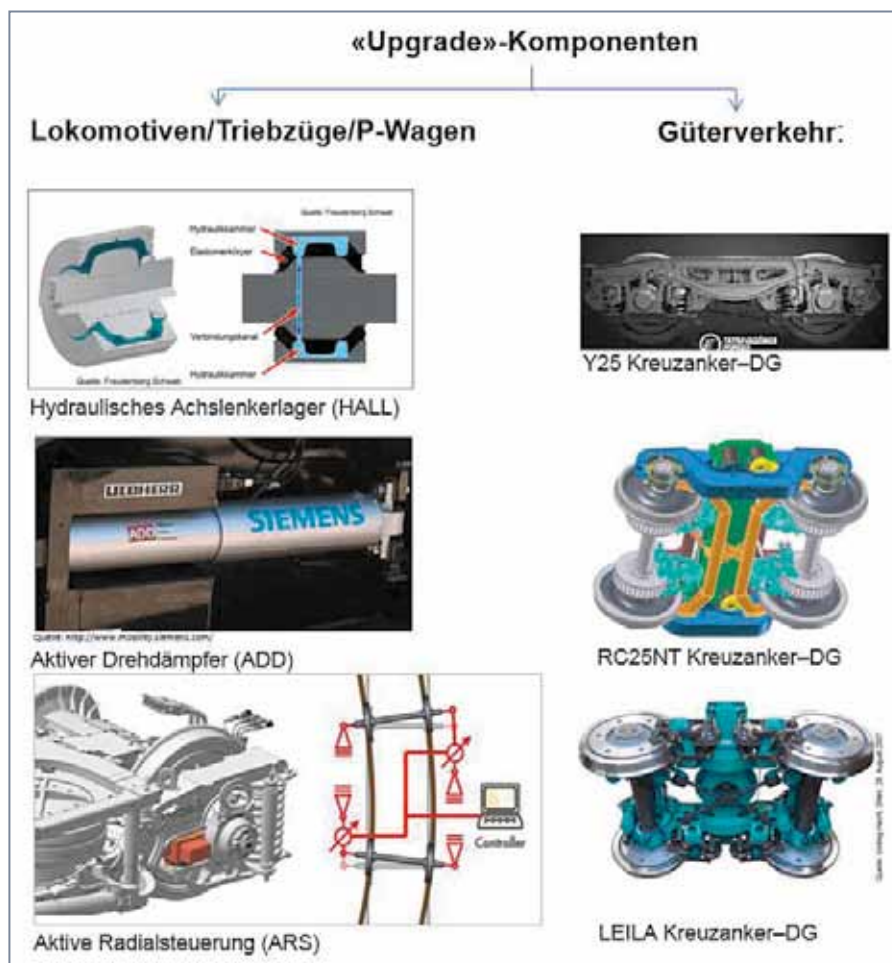
Fälschlicherweise wird diese auf Schubwirkung und Kommutatormaschinen ausgerichtete Bauweise (*Bild 4*) pauschal mit der Bauform umlaufender Gummielemente des ICE vermengt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Frage der „technischen Vorhersehbarkeit“ [14] kritischer Konstruktionsdetails mit den heute verfügbaren Werkzeugen jetzt anders bewertet werden kann. Es bleibt schließlich abzuwägen, wie ein betrieblicher Nachteil (z. B. verringerte pneumatische Abbremsung, Geschwindigkeitsverringern bei Lokomotiv-Alleinfahrt) den Einsparungen im Trassenpreis durch solche Radbauformen gegenüber steht. *Tafel 8* zeigt die möglichen Impulse bzw. Maßnahmen für Bestands- und Neubau-Fahrzeuge hinsichtlich der Schädigung D3. Es bestehen bei der jetzigen Modellkonfiguration kaum realistische Möglichkei-

I Tafel 9: Impulse und Maßnahmen zur Kostenoptimierung hinsichtlich Rollkontaktermüdung und Verschleiß in Bögen

Parameter	Impulse/Maßnahmen: Bestands-Fahrzeuge	Impulse für «Neubau-Fahrzeuge»
Radsatzstand / Raddurchmesser	<p>Sehr gering/unrealistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • An Bestands-Fahrzeugen sind keine Änderungen möglich. 	<p>Stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kleine Radsatzstände • Kleine Raddurchmesser
Primäre Längs- (Quer)steifigkeit der Radsatzführung	<p>Sehr stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht angetriebene Radsätze können im Upgrade auf passiv stellende Systeme erweitert werden (angetriebene nur bedingt) • Aktiv stellende Systeme können an angetriebenen und Laufradsätzen wirken 	<p>Sehr stark:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Längs/Querweiche Radsatzführungen • Passiv stellende Systeme (HALL, Kreuzanker, Koppelwellen) für P- und G-Fahrzeuge • Aktiv stellende Systeme (ARS, aktive Drehdämpfer, aktives HALL) an Triebzügen und Lokomotiven
	<ul style="list-style-type: none"> • G-Verkehr bei Bestands-Fahrzeugen nur beeinflussbar durch neue Drehgestelle 	
Radsatzlast	<p>Sehr gering/unrealistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • An Bestands-Fahrzeugen sind nur sehr kleine Änderungen möglich. 	<p>Mittel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radsatzlasten wirken in der Komponente Q am stärksten, weniger im W_b

I Tafel 10: Impulse und Maßnahmen zur Kostenoptimierung hinsichtlich der Degradationsprozesse in Weichen

Parameter	Impulse/Maßnahmen: Bestands-Fahrzeuge	Impulse für «Neubau-Fahrzeuge»
Radsatzstand / Raddurchmesser Radsatzlast	Sehr gering/unrealistisch: <ul style="list-style-type: none"> An Bestands-Fahrzeugen sind keine Änderungen möglich 	Stark: <ul style="list-style-type: none"> Kleine Radsatzstände/Kleine Raddurchmesser Radsatzlasten wirken in Komponente Q am stärksten
Massenträgheit des Drehgestells		Sehr stark: <ul style="list-style-type: none"> Kleine Massen an den DG-Kopfen Fahrmotoren nahe DG-Mitte, kleinbauende Motoren
Schlinger-Dämpfer: Bauform/Kennlinie	Sehr stark: <ul style="list-style-type: none"> Upgrade auf frequenzabhängige Schlingerdämpfer Schaltbare Schlingerdämpfer Verzicht auf Schlingerdämpfer oder Reduzierung des BlowOff in der Kennlinie 	Sehr stark: <ul style="list-style-type: none"> Längs/Querweiche Radsatzführungen Passiv stellende Systeme (HALL, Kreuzanker, Koppelwellen) für P- und G-Fahrzeuge Aktiv stellende Systeme (ARS) an Triebzügen
Primäre Längs- (Quer)steifigkeit der Radsatzführung	Stark: <ul style="list-style-type: none"> Nicht angetriebene Radsätze können im Upgrade auf passiv stellende Systeme (HALL) erweitert werden (angetriebene nur bedingt) Aktive Systeme (ARS) können an angetriebenen und Laufachsätzen wirken G-Verkehr bei Bestands-Fahrzeugen nur beeinflussbar durch neue Drehgestelle 	Sehr stark: <ul style="list-style-type: none"> Längs/Querweiche Radsatzführungen Passiv stellende Systeme (HALL, Kreuzanker, Koppelwellen) für P- und G-Fahrzeuge Aktiv stellende Systeme (ARS) an Triebzügen, ggf. unter Verzicht auf Schlingerdämpfer



I Bild 5: Heute erhältliche Upgrade-Komponenten an Fahrwerken

ten, bei Bestandsflotten auf diesen Schädigungseffekt Einfluss zu nehmen. Die Impulse bei Neubau-Fahrzeugen geben den Trend vor, eine Leistungskonzentration bei genügendem Adhäsionsgewicht der Radsätze vorzunehmen – oder kleine Leistungen an viele leichte Radsätze zu übertragen.

Die möglichen Impulse bzw. Maßnahmen für Bestands- und Neubau-Fahrzeuge in Bezug auf die Schädigung D4 zeigt *Tafel 9* und bezüglich der Schädigung D5 die *Tafel 10*. Die Einflussmöglichkeiten auf zu zahlende Trassenpreise sind bei den beiden letzten Schädigungseffekten D4 und D5 beträchtlich. Insbesondere kommt hier die bereits angesprochene Upgrade-Fähigkeit bei den Bestands-Fahrzeugen zum Tragen. In *Bild 5* sind einige, heute am Markt erhältliche konstruktive Elemente, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, zusammengestellt. Die Entscheidung, ob und welches konstruktive Element gesamtwirtschaftlich Sinn macht, obliegt in jedem Fall dem jeweiligen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU). Der Verschleißfaktor Fahrbahn transferiert lediglich die potenziellen Einsparungen der Fahrbahn in diesen Business Case.

6 Umsetzung im Berechnungstool Verschleißfaktor Fahrbahn

6.1 ORACLE-Prototyp und Stand-alone-Berechnungen des Netzes mit ExcelpowerPivot

Verschiedenste TPS-Modellentwürfe haben aus vielschichtigen Gründen nicht die Umsetzung in die Praxis geschafft. Neben mangelndem politischen Willen, unzureichender differenzierter Instandhaltungskostenzuweisung und dem Fehlen erforderlicher Datenquellen ist auch die IT-technische Umsetzung mit performanterer Berechnung ein potenzieller Hinderungsgrund.

In enger Zusammenarbeit mit SBB-IT und der externen Firma ELCA Informatik AG ist es gelungen, die Risiken durch den parallelen Aufbau einer ORACLE-basierten Prototypumgebung zu minimieren. Dabei kommen moderne Methoden und Werkzeuge zur Anwendung. Im Fokus der Weiterentwicklungen des TPS zusammen mit ELCA steht im Besonderen das Einbeziehen neuer Technologien [16].

Aufbauend auf dem Prototyp konnte ein Stand-alone-Netzberechnungstool erstellt werden (Bild 6). Das Werkzeug steht den Interessierten auf der Homepage des BAV zur Verfügung [13]. Das Tool bestätigt, dass es die gewählten Abbildungsformen zulassen, das gesamte Netz mit einem Jahresfahrplan in Excel berechnen zu können.

6.2 Reduzierung des Detaillierungsgrads – Abbildung als Streckenmatrizen

Die SBB verfügt über eine gleis- und weichenscharfe Last- und Fahrzeugkollektivaufzeichnung (ANABEL). Damit sind auch explizite Weichenbefahrungen abbildungsfähig. Was technisch möglich ist, bedeutet nicht gleichzeitig eine performante Beherrschung in der Abrechnung. Es gibt zwei wesentliche Beschreibungsformen der Zugsbewegung im Netz: a) die Strecken- und b) die Gleissicht (Bild 7). Bereits bei der Darstellung des Westkopfes des Bahnhofs Winterthur in Gleissicht und Streckensicht werden die Unterschiede deutlich. Diese manifestierten sich im ORACLE-Prototyp in einigen statistischen Eckdaten für die Ebene Gleis. Für die Ab-

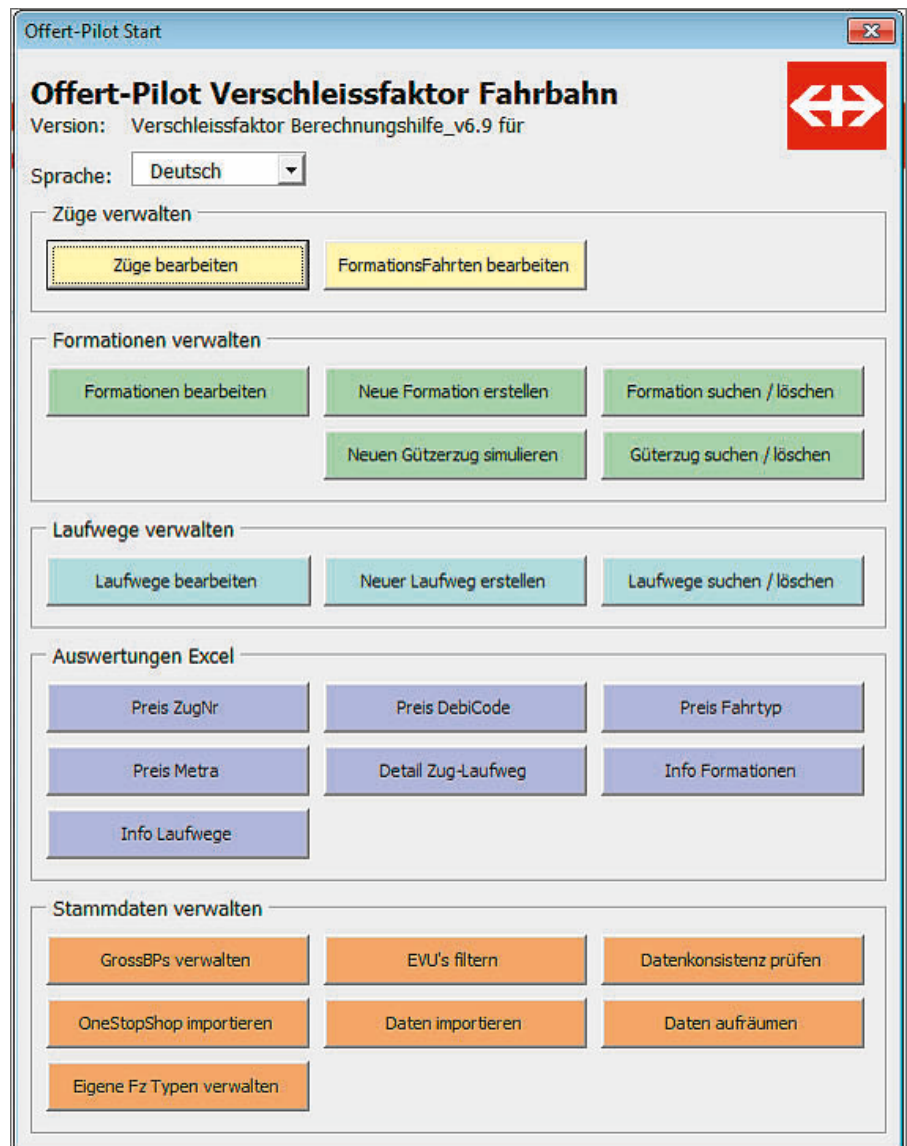


Bild 6: Screenshot des Netzberechnungstools auf Basis ExcelPowerPivot

bildung der Geschwindigkeitsprofile gibt es pro Betriebstag:

- 25 000 relevante Punkte (Geschwindigkeitswechsel oder Stationspunkte) und
- diese werden von allen Zügen insgesamt 1 200 000 mal befahren.

Für die Abbildung der Radian-Profile gibt es pro Betriebstag:

- 100 000 relevante befahrene Punkte (Radianbandwechsel/Stationspunkte).

Durch automatische Auswahl von Vorzugslaufwegen kann aus der Summe aller zurückliegenden Gleisbefahrungen ein Richtungsgleis zwischen Betriebspunkten selektiert werden. Nur von diesem Gleis werden die o. g. Stammdaten (Geschwindigkeitswerte, Radian) verwendet. Durch diese geschickte Elementverdichtung wird die Abbildung der Gleise

in eine Streckensicht übertragen und in Streckenmatrizen verdichtet, mit daraus resultierenden:

- 3 000 Werten für die Streckenmatrizen für die Radianbänder und
- 70 000 Werten für die Streckenmatrizen der Geschwindigkeitsbänder.

Die zu bewältigende Datenmenge wurde mit dem Verfahrensansatz der Streckenmatrizen und der Übertragung auf die Streckensicht um den Faktor 17 reduziert. Alle vorstehend genannten Prinzipien werden Bestandteil des zukünftig automatisch fungierenden Abrechnungssystems sein.

Das Prinzip der Abrechnung über Streckenmatrizen ist an einem Beispiel illustriert. Dazu zeigt das Bild 8 eine Gegenüberstellung der alten Preisberechnung über Tonnenkilometer und der neuen Preisberechnung über den Verschleiß-

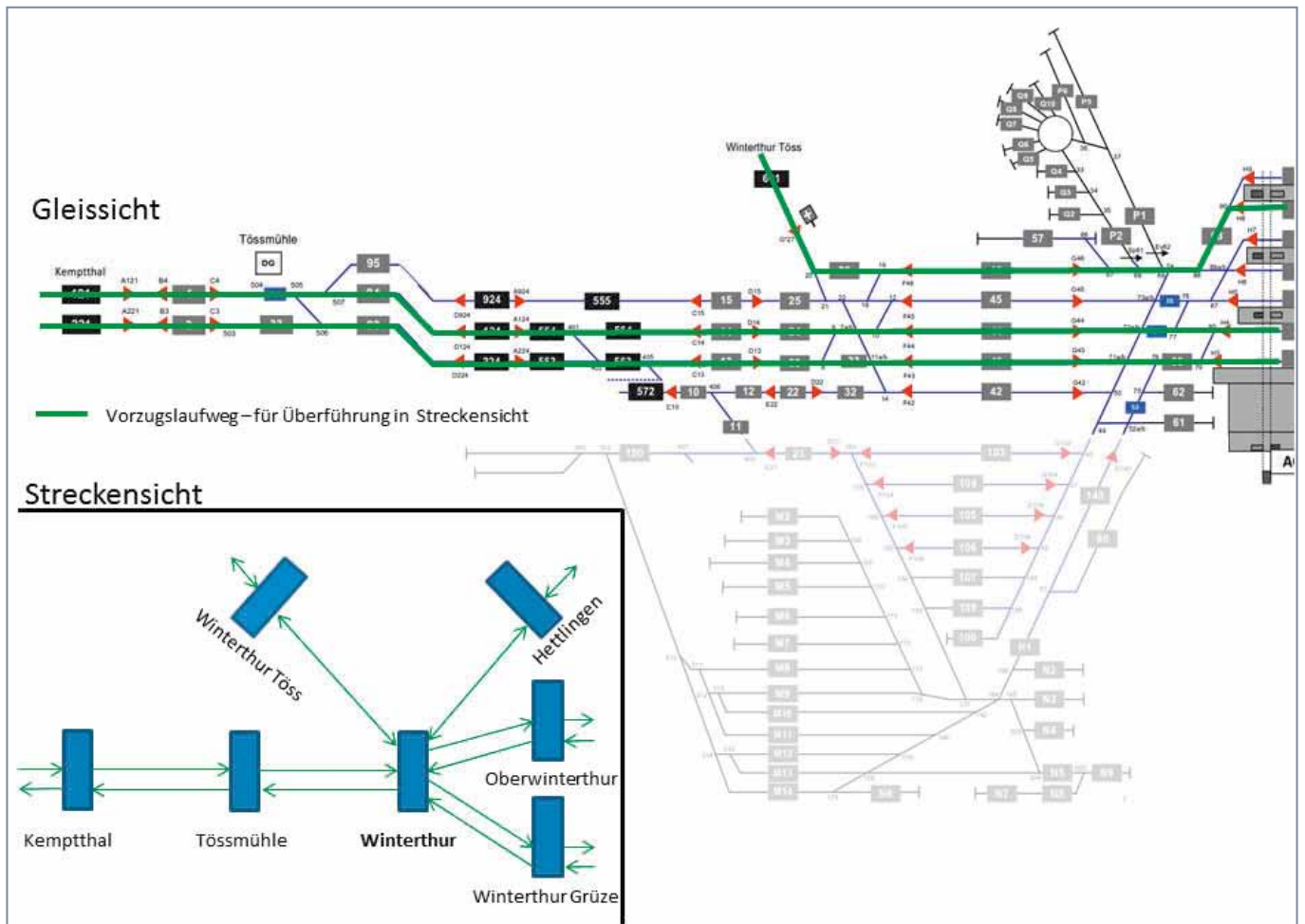


Bild 7: Gegenüberstellung der Gleis- und abstrahierten Streckensicht

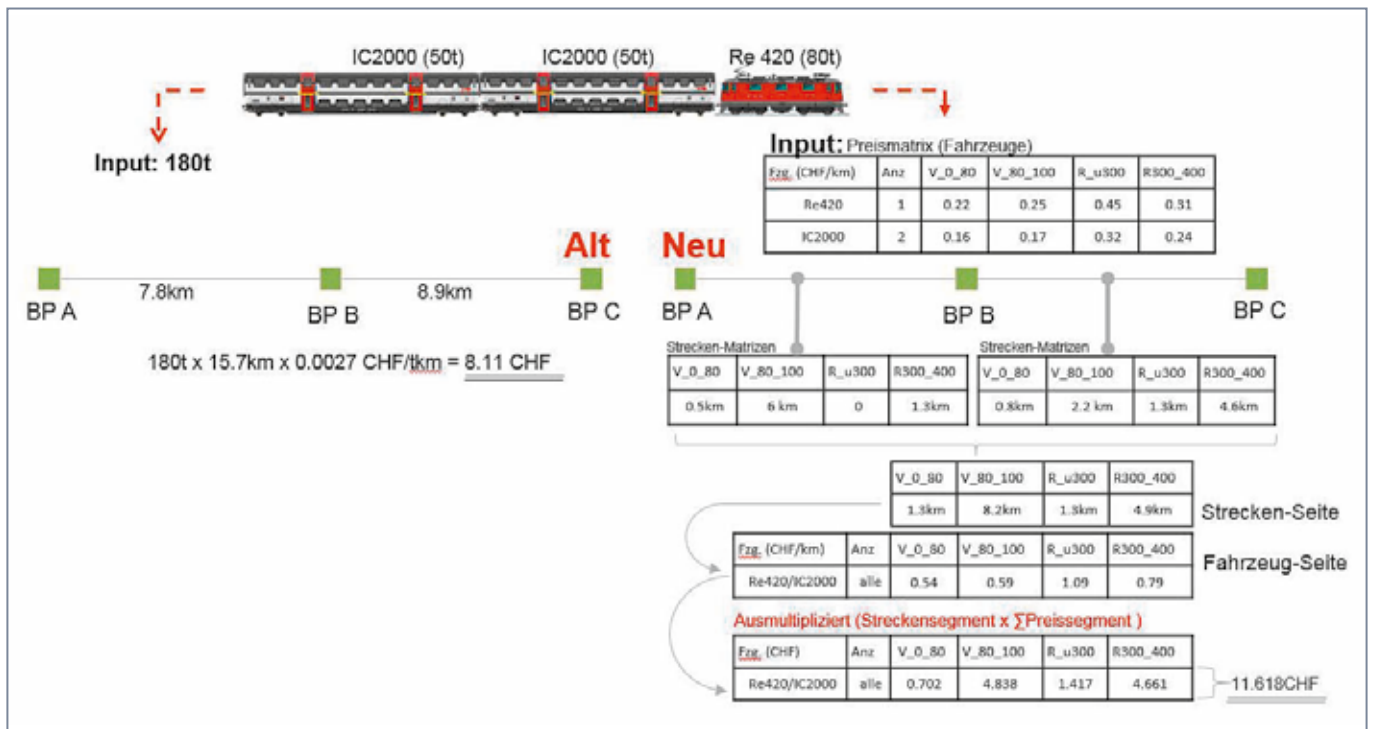


Bild 8: Preisberechnung, alt mit Tonnenkilometern und neu über Streckenmatrizen

faktor Fahrbahn mittels Streckenmatrizen (fiktive Preise).

7 Zusammenfassung

Die vom BAV in Auftrag gegebene Machbarkeitsstudie zu einem verschleißabhängigen Element im Trassenpreissystem der Schweiz wurde von der SBB Infrastruktur in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern durchgeführt. Zusätzlich zur Machbarkeitsstudie wurde ein Prototyp zum Nachweis der Wirksamkeit und wirtschaftlichen Relevanz erstellt. Basierend auf diesen Erfahrungen wurde ein „Berechnungstool Verschleissfaktor Fahrbahn“ erstellt, welches den EVU erlaubt, ihre netzweite Einsatzplanung einzupflegen und die zu erwartenden Trassenpreisannteile der Fahrbahn zu ermitteln. Damit wurde gezeigt, dass der Weg von der Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung über die Fahrbahnkosten zu einem Preiselement im Trassenpreis beschränkt werden kann.

Es ist unbestritten, dass Fahrzeugindustrie, EVU und Infrastruktur sowie Eigentümer das gemeinsame Ziel „Senkung der Gesamtkosten“ befürworten. Obwohl damit alle an einem Strang ziehen, konnte bisher keine gemeinsame Richtung gefunden werden. Die Singulär-Interessen schienen bisher unvereinbar, wie es das Bild 1 in [5, S. 139] zeigt. Der Verschleißfaktor Fahrbahn präsentiert nunmehr einen gelungenen Kompromiss im Sinne des Gesamtsystems Bahn.

8 Ausblick

Das BAV hat am 19.2.2015 das Konsultationsverfahren zum Trassenpreissystem 2017 für die interessierten Kreise eröffnet. Die Entscheidung über die Einführung des Verschleißfaktors Fahrbahn trifft Mitte 2015 der Schweizer Bundesrat. Der Verschleißfaktor Fahrbahn wird zu einer Entlastung der Kosten im Güterverkehr und einer Erhöhung der Kosten im Personenfernverkehr führen, weil beim Verschleiß neben dem Gewicht als wesentliche Komponente die Geschwindigkeit dazu kommt. – A 306 –

(Indexstichworte: Eisenbahn-Oberbau, Instandhaltung)

(Bildnachweis: 1 bis 3 und 5 bis 8, SBB; 4, [15])

Literatur

- [1] Holzfeind, J.; Marschnig, S.: Verursachergerechte Kostenzuordnung der Fahrbahnerhaltungsarbeiten am Beispiel des Verschleißmodells der SBB. ZEVrail 137 (2013), Tagungsband SFT Graz 2013, S. 14–21.
- [2] Renggli, R.; Holzfeind, J.; Marschnig, S.: Netzweite Investitions- und Instandhaltungsstrategien im Bereich Fahrbahnoberbau der SBB. ETR 61 (2012) 6, S. 10–17.
- [3] Holzfeind, J.: Die Herausforderungen des Anlagenmanagements Fahrbahn SBB und dessen Massnahmen zur Beherrschung des steigenden Verschleisses. WASCOSA Infoletter (2012), Ausgabe 20, Dezember 2012.
- [4] Holzfeind, J.; Marschnig, S.: Vom reaktiven zum proaktiven Anlagenmanagement. Internationales Verkehrswesen (2012), H. 4, S. 36–39.
- [5] Nerlich, I.; Holzfeind, J.: Wie wirtschaftlich ist gleisschonendes Rollmaterial ... wie einen Verkehr von morgen in der zukünftigen Auswirkung auf Gleisinstandhaltungen beziffern? ZEVrail (2014), Tagungsband SFT Graz 2014, S. 138–153.
- [6] Anlagenmanagement Fahrbahn SBB: Verschleissfaktor Fahrbahn. YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=xNkc20c-k78>)
- [7] ORE Frage D161.1: Dynamische Auswirkungen auf das Gleis infolge 22,5 t Radsatzlast. RP4: Dynamische Auswirkungen der Anhebung der Radsatzlast von 20 auf 22,5 t und der geschätzte Anstieg der Oberbaurhaltungskosten. Utrecht September 1987.
- [8] British Railway Board. Group Standard: Permissible Track Forces for Railway Vehicles, London 1993.
- [9] ORE Frage D141: Einfluss der Erhöhung der Radsatzlast von 20 auf 22 t auf den Oberbau. RP5: Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen einer Erhöhung der Radsatzlast von 20 auf 22 t. Utrecht September 1982.
- [10] Pointner, P.: Schienenschädigung verstehen – Ein pragmatischer Zugang. (Foliensatz anlässlich Präsentation bei SBB, Bern, 19.07.2007).
- [11] Burstow, M. C.: A Whole Life Rail Model Application and Development for RSSB – Continued Development of an RCF Damage Parameter. AEATR-ES-2004-880 Issue 2.
- [12] <http://www.4-teilergaenzungen.ch/>
- [13] <http://www.bav.admin.ch/finanzierung/04162/04604/04745/04809/index.html?lang=de>
- [14] Kühlwetter, J.: Der Prozess zum Unfall in Eschede – Juristischer Maßstab des technischen „Vorhersehenmüssens“ oder der technischen Unabwendbarkeit. Eisenbahnrevue Teil 1–8, 06/2002 u. 11/2003.
- [15] http://www.kilaconsulting.com/resilient_en.html
- [16] <https://www.elca.ch/de/sbptrassenverschleiss>



Dipl.-Ing. Dr. techn. Jochen Holzfeind (42). Studium des Bauingenieurwesens mit Vertiefung Verkehr an der Technischen Universität Graz und dem Politecnico di Bari (Italien) bis 2003. 2003 bis 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für

Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz. 2004 bis 2009 Mitarbeit an Projekten bei den Österreichischen Bundesbahnen ÖBB, 2006 bis 2009 gleichzeitig Lehre und Forschung am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz, Promotion 2009. Seit 2010 Leiter Anlagenmanagement Fahrbahn bei der SBB Infrastruktur.

Anschrift: Schweizerische Bundesbahnen, SBB Infrastruktur, Anlagen und Technologie, Hilferstraße 3, 3000 Bern 65, Schweiz.

E-Mail: jochen.holzfeind@sbb.ch



Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig (40). Bauingenieurstudium an der Technischen Universität Graz und dem Instituto Superior Técnico Lisboa (Portugal); 2002 bis 2007 Assistent am Institut für Eisenbahnwesen und Ver-

kehrswirtschaft der TU Graz, Promotion 2007; seit 2008 Geschäftsführer von LCC rail consult; seit 2010 Assistenzprofessor an der TU Graz.

Anschrift: TU Graz, Rechbauerstraße 12, 8010 Graz, Österreich.

E-Mail: stefan.marschnig@tugraz.at



Dipl.-Ing. (FH) Ingolf Nerlich (42). Studium an der Fachschule für Transportbetriebstechnik Gotha, mit fahrdienstlicher Ausbildung an der Betriebsakademie der Deutschen Reichsbahn Wießenfels bis 1993, danach Studium des Maschinen-

baus an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin sowie der Schienenfahrzeugtechnik an der Technischen Universität Berlin bis 2001. Anschließend bis 2006 Mess- und Versuchsingenieur bei der PROSE AG, Winterthur. Seit 2006 Systemingenieur für Querschnittsfragen der Fahrzeug/Fahrweg-Wechselwirkung bei SBB Infrastruktur, Anlagenmanagement Fahrbahn.

Anschrift: Schweizerische Bundesbahnen, SBB Infrastruktur, Anlagen und Technologie, Hilferstraße 3, 3000 Bern 65, Schweiz.

E-Mail: ingolf.nerlich@sbb.ch



Dr. oec. HSG Markus Giger (56). Studium der Betriebs- und Volkswirtschaft an der Universität St. Gallen, wissenschaftlicher Assistent am Institut für Tourismus und Verkehr, Promotion 1991. Seit 1992 im Bundesamt für Verkehr, ab 1996 Sektionschef und ab 2006 Stv. Abteilungschef Finanz-

finanzierung.

Anschrift: Bundesamt für Verkehr, Postfach, 3003 Bern, Schweiz.

E-Mail: markus.giger@bav.admin.ch