



Die Zugkraft moderner Lokomotiven und ihr Einfluss auf die Fahrwegbelastung

47. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“ – 04.04.2022

Agenda

- **Motivation – Zugkraft versus Fahrwegbelastung**
- **Entwicklung des Zugkraftverhaltens an Siemens Lokomotiven**
- **Wie reagiert der Fahrweg auf die Entwicklung des Zugkraftverhaltens?**
- **Zusammenfassung**

Agenda

- **Motivation – Zugkraft versus Fahrwegbelastung**
- Entwicklung des Zugkraftverhaltens an Siemens Lokomotiven
- Wie reagiert der Fahrweg auf die Entwicklung des Zugkraftverhaltens?
- Zusammenfassung

Zugkraft von Lokomotiven

Antriebskonzepte – Steigerung der Reibwertausnutzung

- Unabhängig von Witterungsbedingungen
- Unabhängig von der Schienenverschmutzung, wie z.B. Kohlestaub oder Bremsabrieb
- Besonders kritisch beim Anfahren im Bogen bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 30km/h

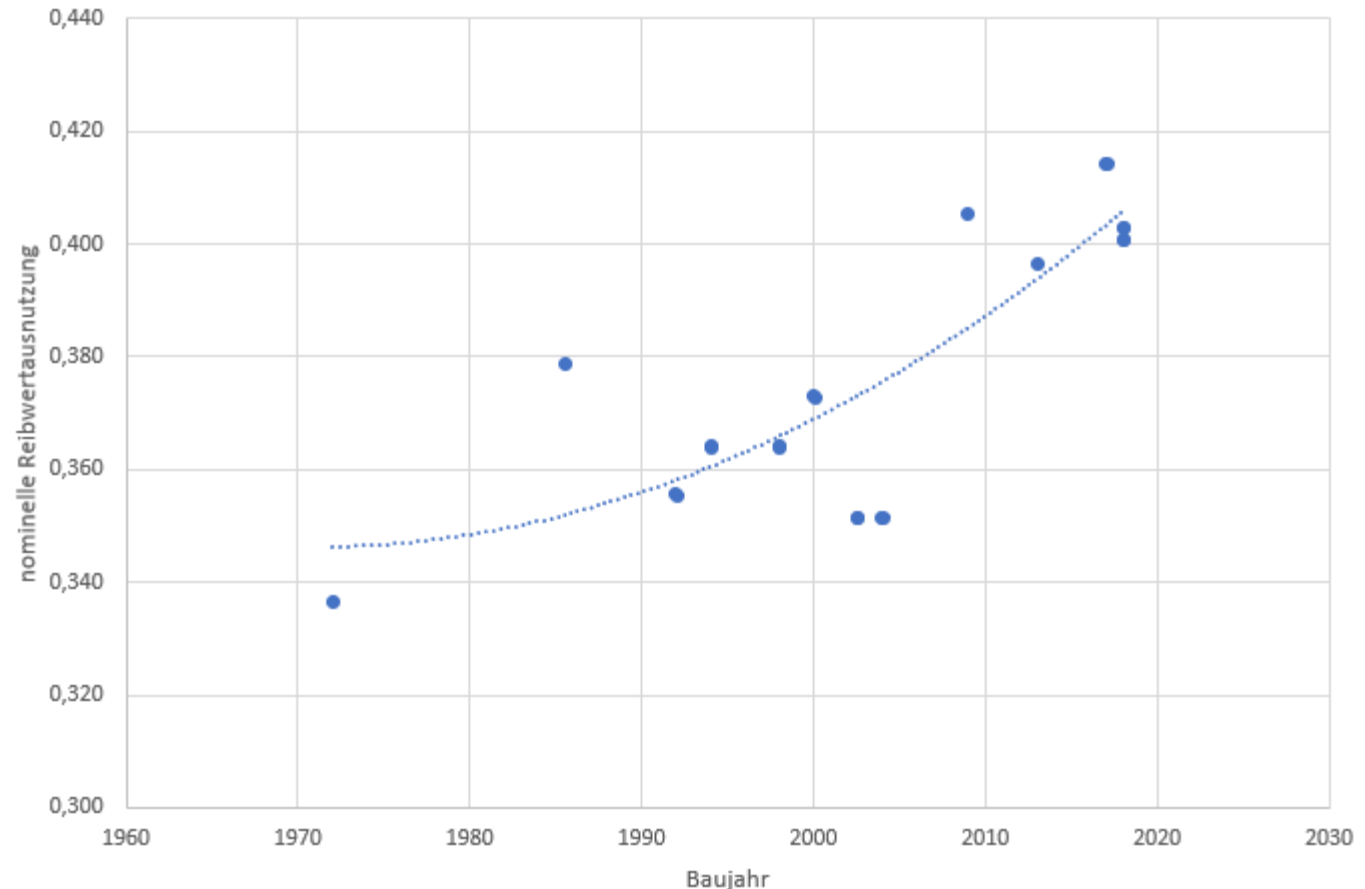


Was hat sich seit dem getan?

Zugkraft moderner Lokomotiven

Antriebskonzepte – Steigerung der Reibwertausnutzung

- Moderne Rechner erlauben kürzere Taktzeiten
- Einzelachs-Regelungen
- direkte Gleitgeschwindigkeitsregelung
- Optimierte Regelungskonzepte
- Betriebssichere Zugkraftausnutzung durch das ***XLoad***-System



Fortschritte in der Antriebsregelung steigern die nominelle Reibwertausnutzung

Zugkraft moderner Lokomotiven

Steigerung der Reibwertausnutzung

- Eine Speditions-Weisheit sagt „...mit dem letzten Wagen das Geld verdient wird...“
- Das funktioniert nur, wenn die hohen Zugkräfte zuverlässig umgesetzt können werden.
- Wir zeigen, dass mit dem für die Siemens Vectron Lokomotiv-Plattform entwickelten Schienenkonditionierungssystem **XLoad** die hohen Zugkräfte zuverlässig auf der Schiene abgesetzt und gleichzeitig die schädigenden Einflüsse auf den Fahrweg reduziert werden können
- Der Einfluss Zugkraft-Erhöhung auf die Fahrwegbelastung wird in letzter Zeit intensiv diskutiert

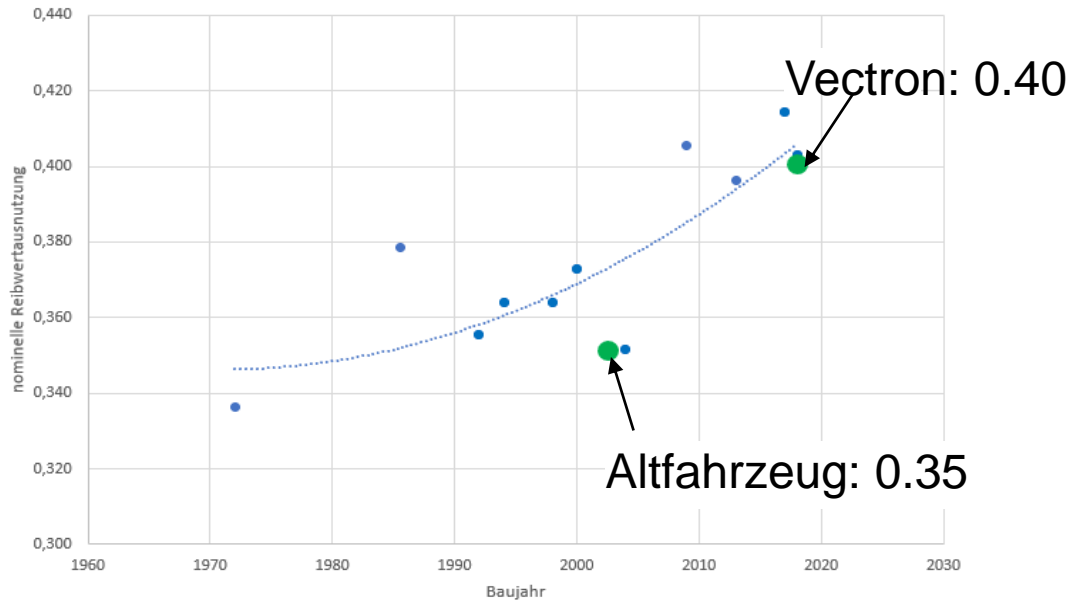
Das Wechselspiel zwischen Zugkraft und Fahrwegbelastung ist Thema des Vortrags

Agenda

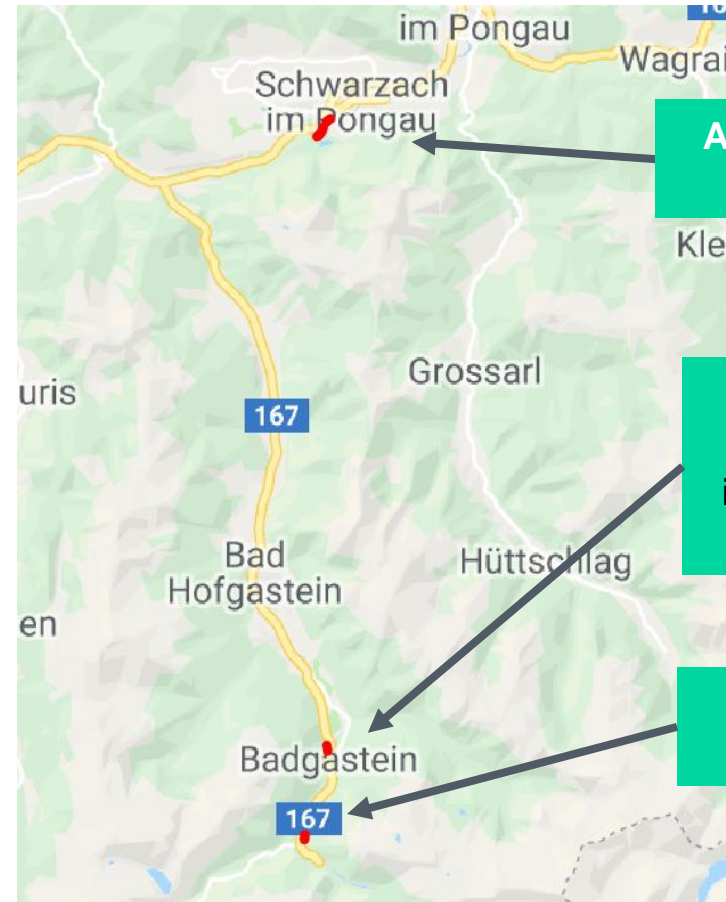
- Motivation – Zugkraft versus Fahrwegbelastung
- **Entwicklung des Zugkraftverhaltens an Siemens Lokomotiven**
- Wie reagiert der Fahrweg auf die Entwicklung des Zugkraftverhaltens?
- Zusammenfassung

Zugkraft moderner Lokomotiven

Vergleich zweier Siemens Lokomotiven an der Tauernnordrampe



- Insgesamt 7 Anfahrten
 - 3x Anfahrpunkt 1 (Kilometer 1.7)
 - 2x Anfahrpunkt 2 (Kilometer 29.4)
 - 2x Anfahrpunkt 3 (Kilometer 33.2)



Anfahrpunkt 1
SBL Swa 1T

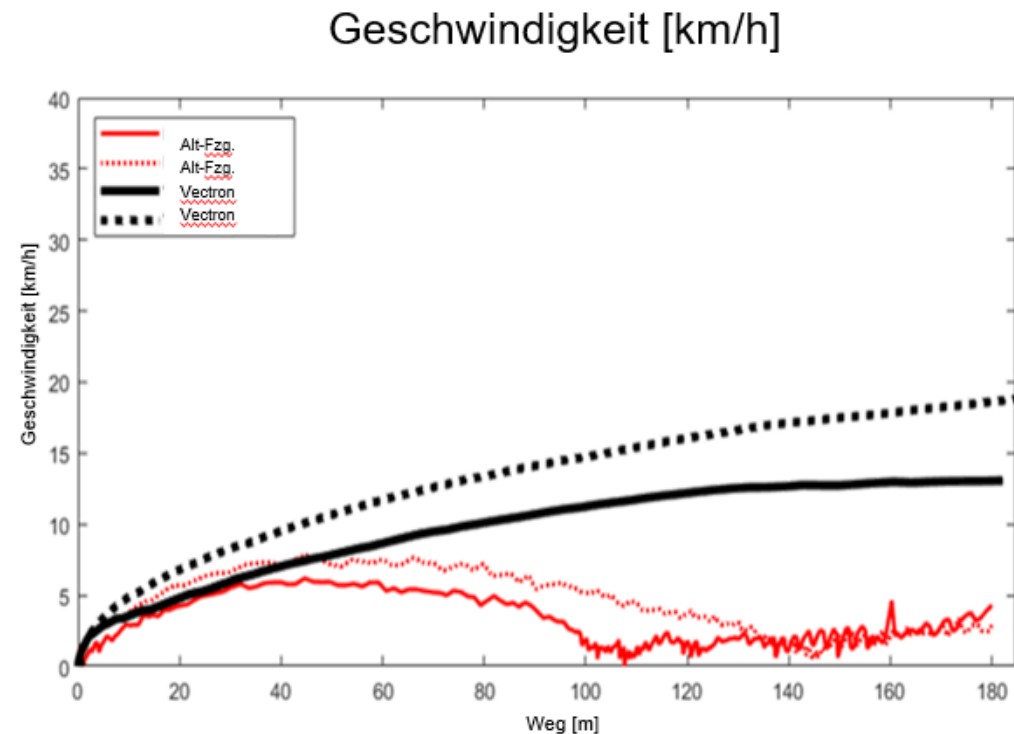
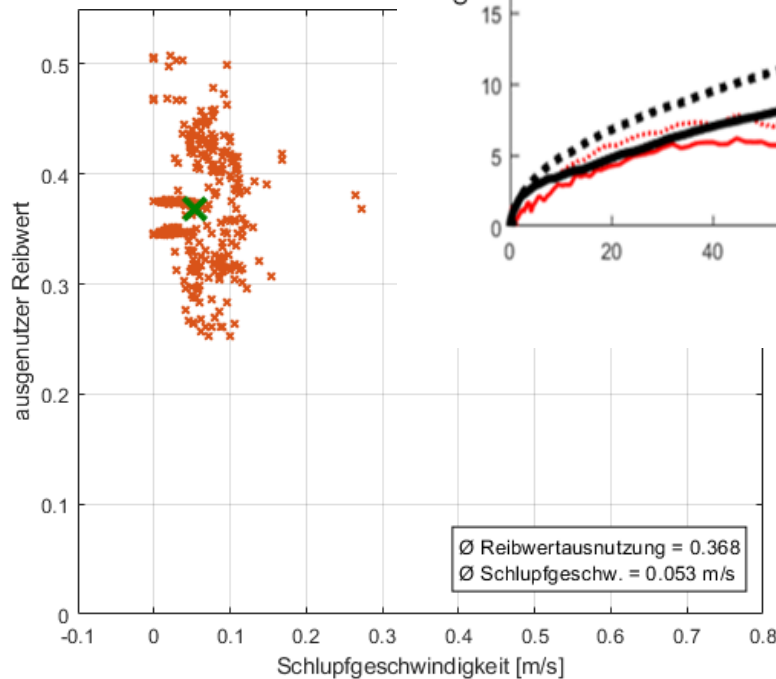
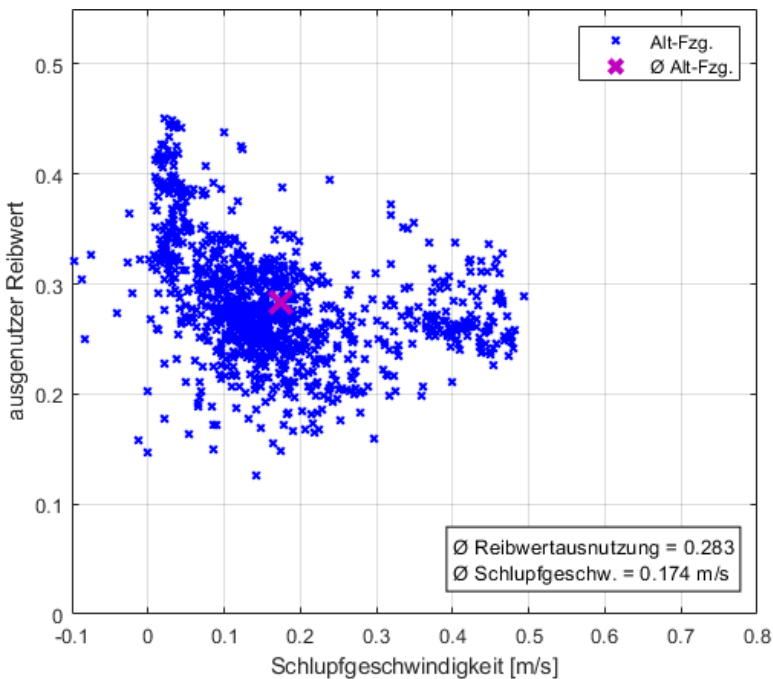
Anfahrpunkt 2
Einfahrtssignal Badgastein
im **Linksbogen** in einer Steigung
zwischen **27‰** und **28‰**

Anfahrpunkt 3
Einfahrtssignal Bockstein

Im Folgenden wird der Anfahrpunkt 2 betrachtet: Linksbogen mit Steigung zw. 27‰ und 28‰

Anfahrpunkt 2 – Verhalten beim Losreißen

Liegenbleiber beim
Altfahrzeug:



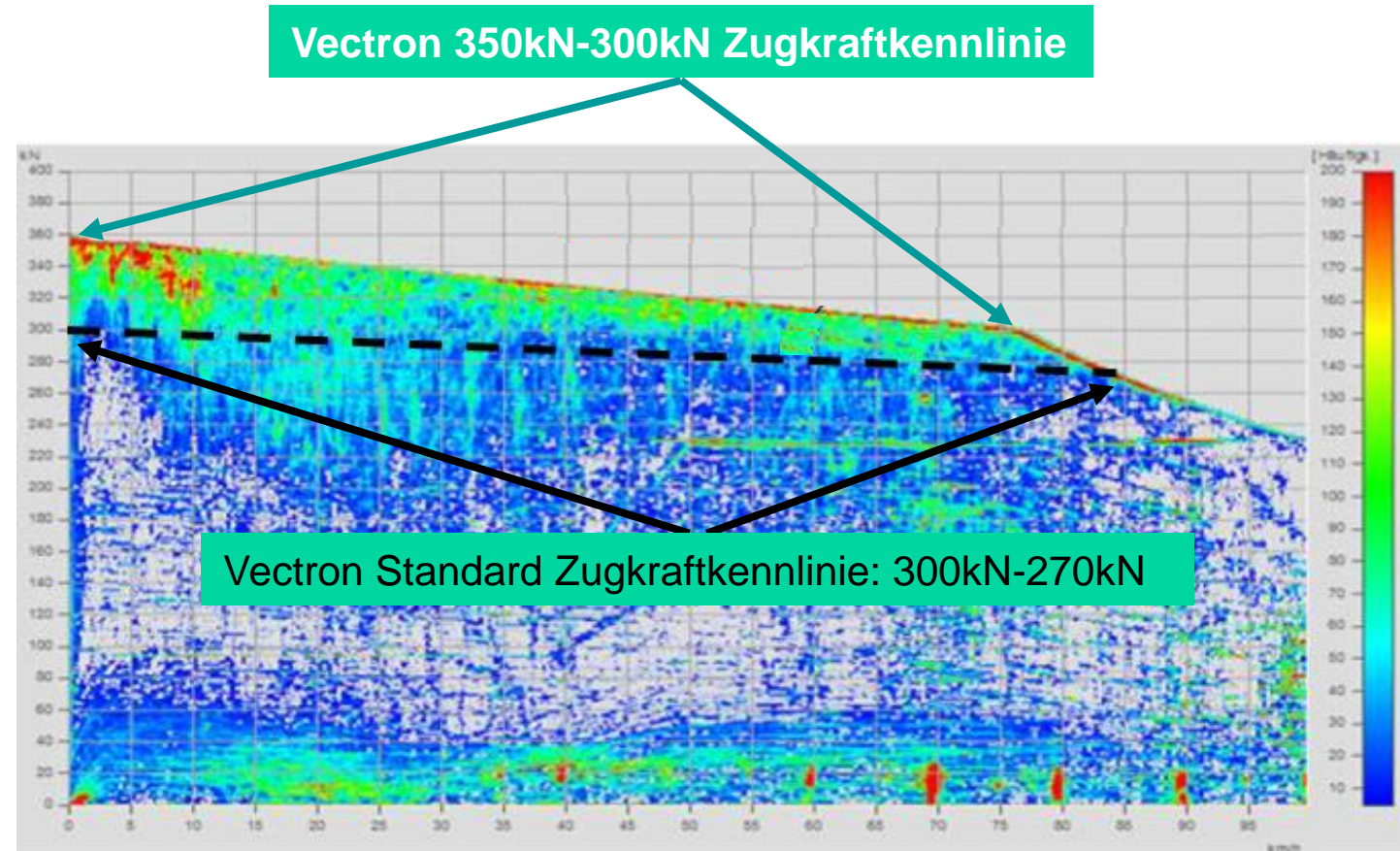
- **Mittlere Reibwertausnutzung:**
Alt-Fahrzeug 0.28 – Vectron 0.37
- **Drastisch geringe Streuung der Schlupfgeschwindigkeiten am Vectron**

Optimierte Antriebsregelung führt zu höherer Reibwertnutzung bei geringeren Schlupfgeschwindigkeiten

Der Schlüssel zur betriebssicheren Zugkraftausnutzung

Schienenkonditionierungssystem **XLoad**

- Mit dem **XLoad**-System folgt, trotz widrigster Bedingungen, die Linie der am häufigsten gemessenen Gesamtzugkraft genau der Maximalkurve des Zugkraft-Diagramms der Vectron-Plattform.
- Das **XLoad**-System hat inzwischen seine Tauglichkeit an unterschiedlichen Rampen in Österreich und der Schweiz unter Beweis gestellt.
- Die Erhöhung der Vectron Standard-Zugkraft-Kennlinie von 300kN auf 350kN ist betriebssicher nachgewiesen.



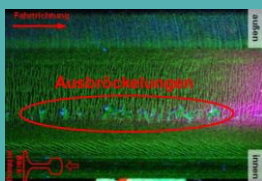




Das **XLoad**-System garantiert betriebssichere Zugkraftausnutzung auf höchstem Niveau

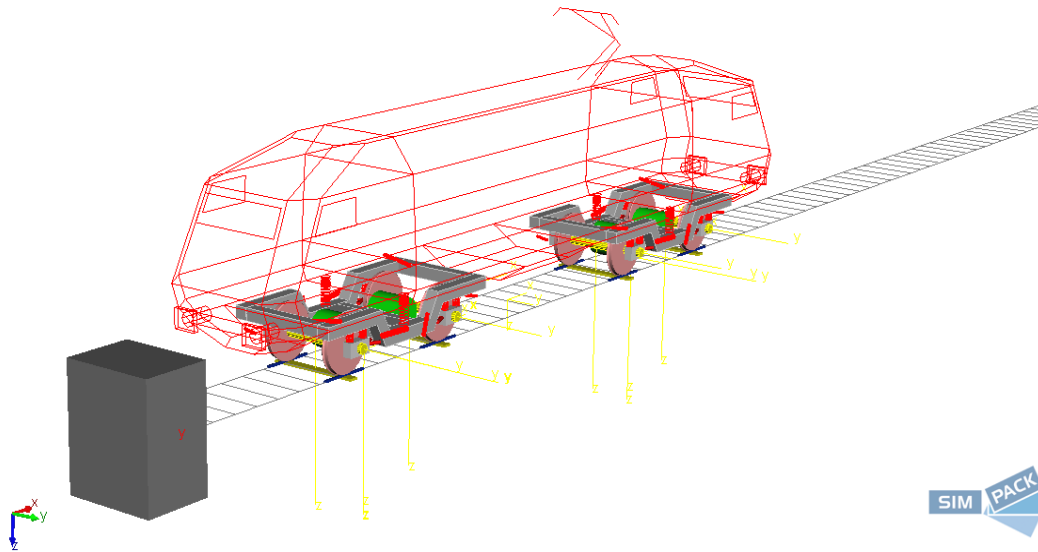
Agenda

- Motivation – Zugkraft versus Fahrwegbelastung
- Entwicklung des Zugkraftverhaltens an Siemens Lokomotiven
- **Wie reagiert der Fahrweg auf die Entwicklung des Zugkraftverhaltens?**
- Zusammenfassung

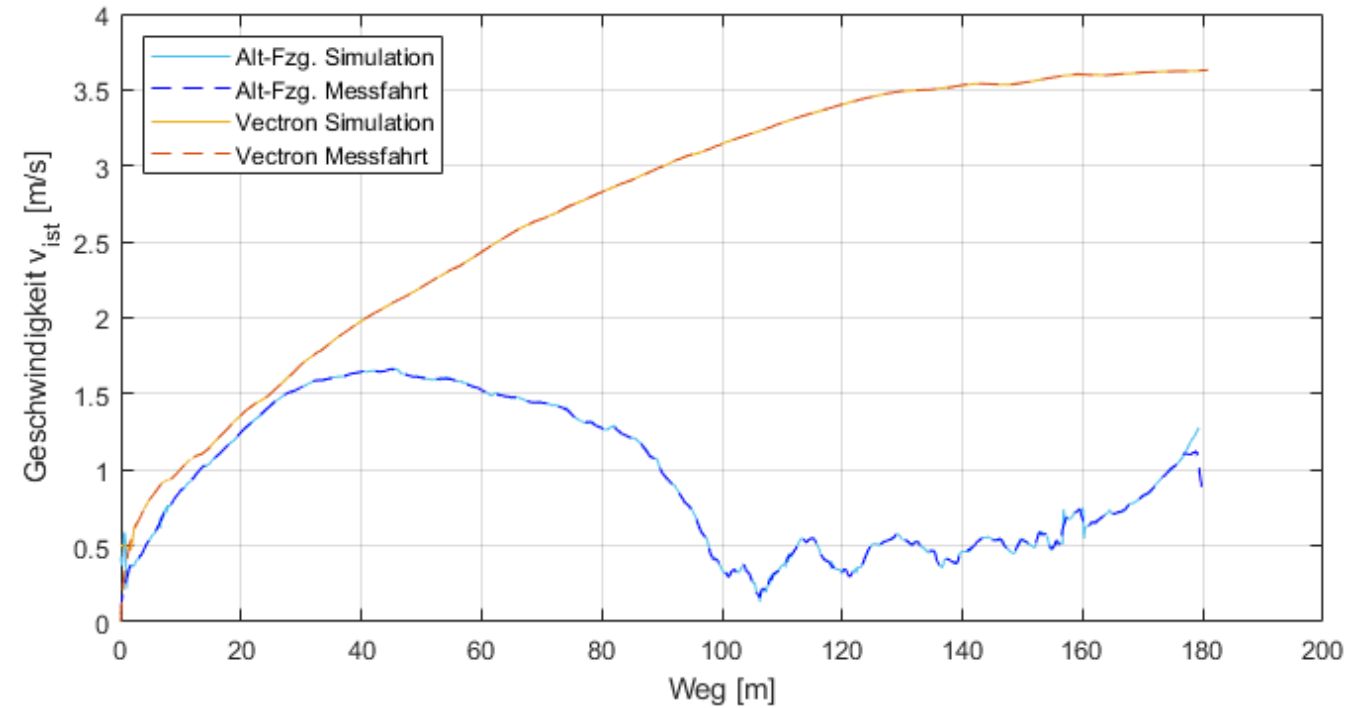
Der Antrieb beeinflusst vor allem die Schienenoberfläche

		Mechanismus	Ursache	Merkmale	Modelle
Schienenverschleiß		<ul style="list-style-type: none"> Materialabtrag Plastische Verformung 	<ul style="list-style-type: none"> Gleiteffekte im Rad-/Schiene-Kontakt: Reibarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> Tritt verstärkt an Außenschienen in engen Bögen auf 	<ul style="list-style-type: none"> Krause-Poll Archard <u>Bewertung der Reibarbeit</u>
Head Checks		<ul style="list-style-type: none"> Rollkontaktermüdung Rissentstehung, typischerweise an der Fahrkante 	<ul style="list-style-type: none"> Mechanische Belastung im Rad-/Schiene-Kontakt 	<ul style="list-style-type: none"> Tritt verstärkt an Außenschienen im Bogenradien-Bereich zwischen 700 m und 1500 m auf 	<ul style="list-style-type: none"> <u>T-Gamma Modell</u> Shake-Down Map Ekberg Indizes Wedge Modell
Ausbröckelungen		<ul style="list-style-type: none"> Rollkontaktermüdung Risswachstum 	<ul style="list-style-type: none"> Mechanische Belastung im Rad-/Schiene-Kontakt 	<ul style="list-style-type: none"> Entsteht aus dem Zusammenwachsen von Oberflächenrissen 	<ul style="list-style-type: none"> <u>T-Gamma Modell</u> Shake-Down Map Ekberg Indizes Wedge Modell
Squats		<ul style="list-style-type: none"> Rollkontaktermüdung Risswachstum 	<ul style="list-style-type: none"> Thermisch-mechanische Belastung im Rad-/Schiene-Kontakt Stoßartige Belastung 	<ul style="list-style-type: none"> Treten häufig als Einzeldefekte auf Tritt in Kombination mit Reibmartensit bzw. white etching layers auf 	<ul style="list-style-type: none"> Kein geschlossenes Modell vorhanden <u>→ häufig mit hohen Temperaturen in Verbindung gebracht</u>
Schleuderstellen		<ul style="list-style-type: none"> Materialabtrag Plastische Verformung 	<ul style="list-style-type: none"> Thermisch-mechanische Belastung im Rad-/Schiene-Kontakt 	<ul style="list-style-type: none"> Tritt paarweise an bzw. auf beiden Schienen auf 	<ul style="list-style-type: none"> Veränderung der Oberflächengeometrie durch Verschleiß und Temperatur

Nutzung der Simulation um Schienenoberflächenschädigung zu bewerten

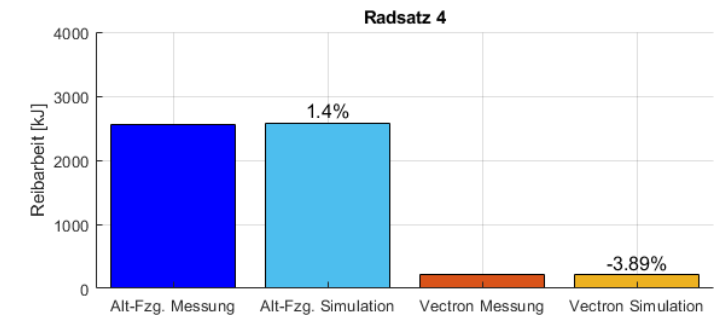
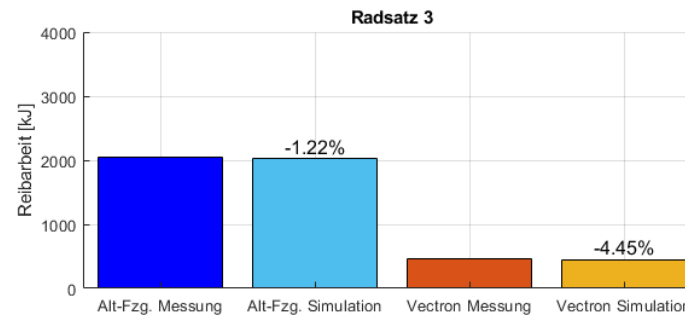
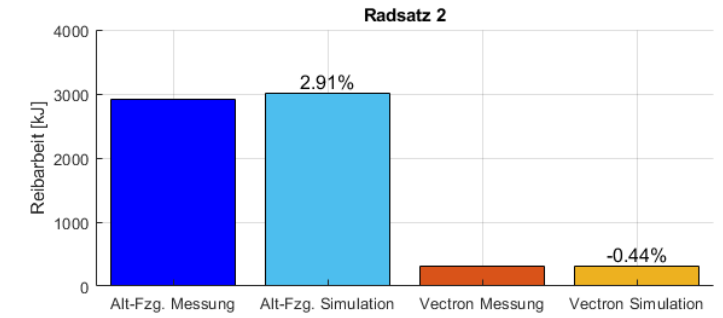
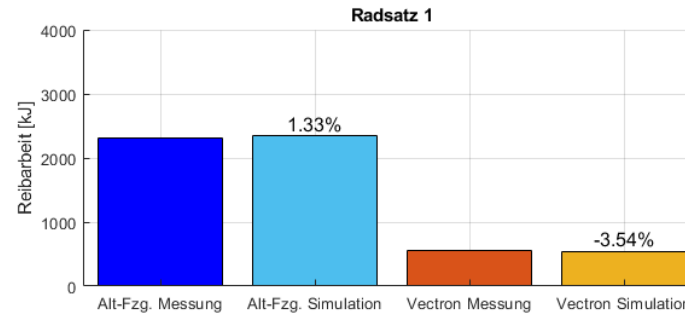
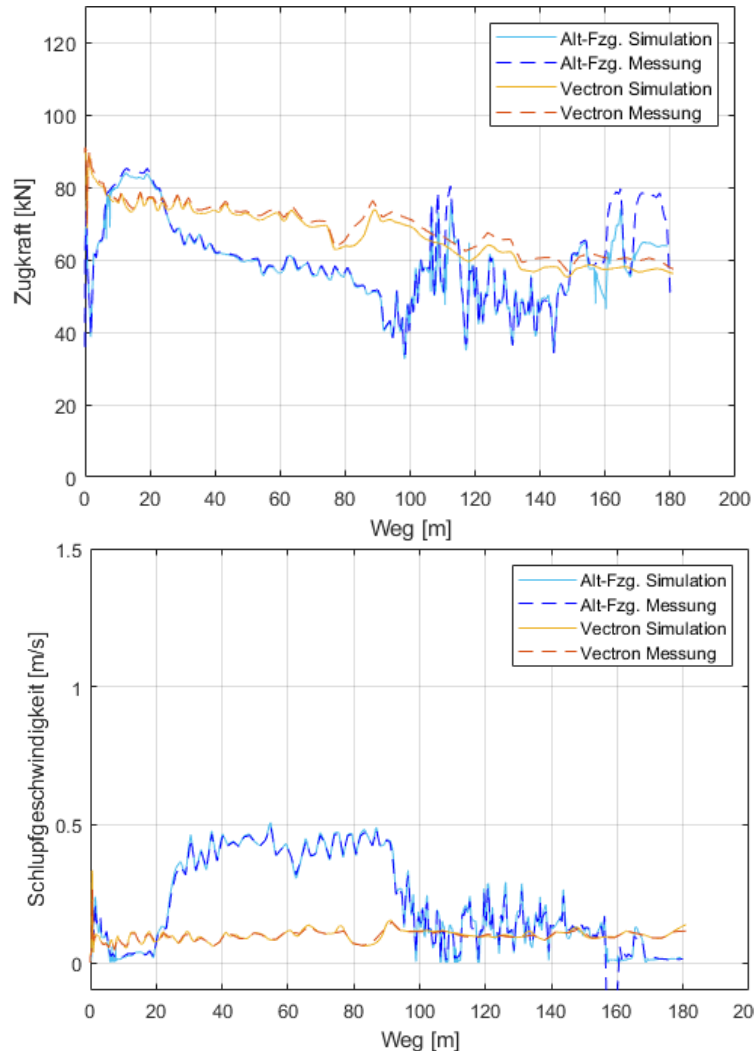


- Lokomotive als Mehrkörpermodell abgebildet
→ inkl. Antrieb und Antriebsregler
- Anhängelast als Trägheit modelliert



Geschwindigkeitsprofil durch Simulation für beide Fahrzeuge exakt reproduzierbar

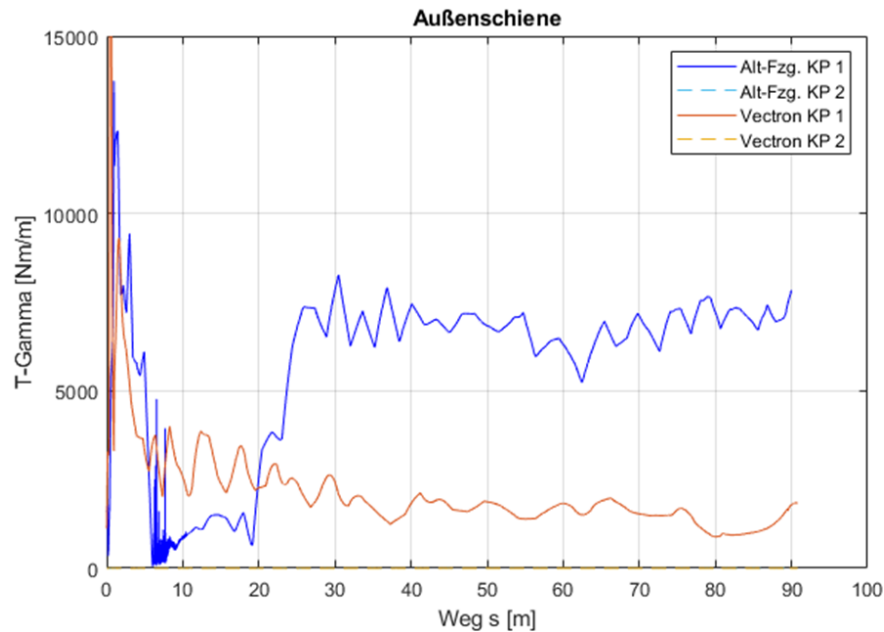
Modellvalidierung – Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Rad-Schiene Kontaktgrößen



- Rad-Schiene Kontaktbedingungen - Schlupfgeschwindigkeiten und Zugkräfte - durch Simulation sehr gut reproduzierbar
- Reibarbeiten bis auf ca. 5% durch Simulation reproduzierbar

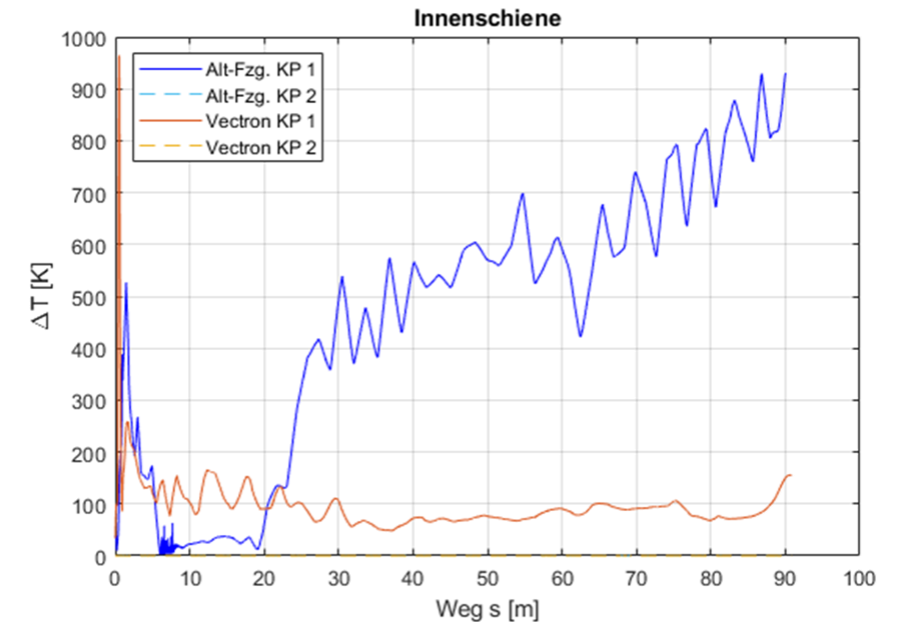
→ valide Modelle erlauben die Bewertung der Fahrwegschädigung

Tauernfahrten und Schienenoberflächenschädigung

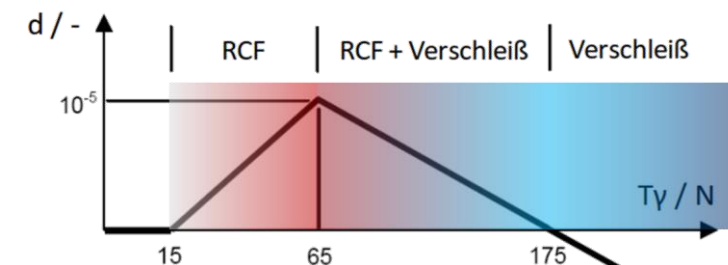


- Vectron zeigt gegenüber den Alt-Fahrzeug deutlich verringerte Reibarbeit und damit Verschleiß
- T-Gamma Werte im Anfahrvorgang deutlich über dem Bereich der Rollkontaktermüdung
- Rollkontaktermüdung bei Anfahrvorgängen nicht zu erwarten

- Vectron zeigt deutlich niedrigere Temperaturen im Kontaktpunkt

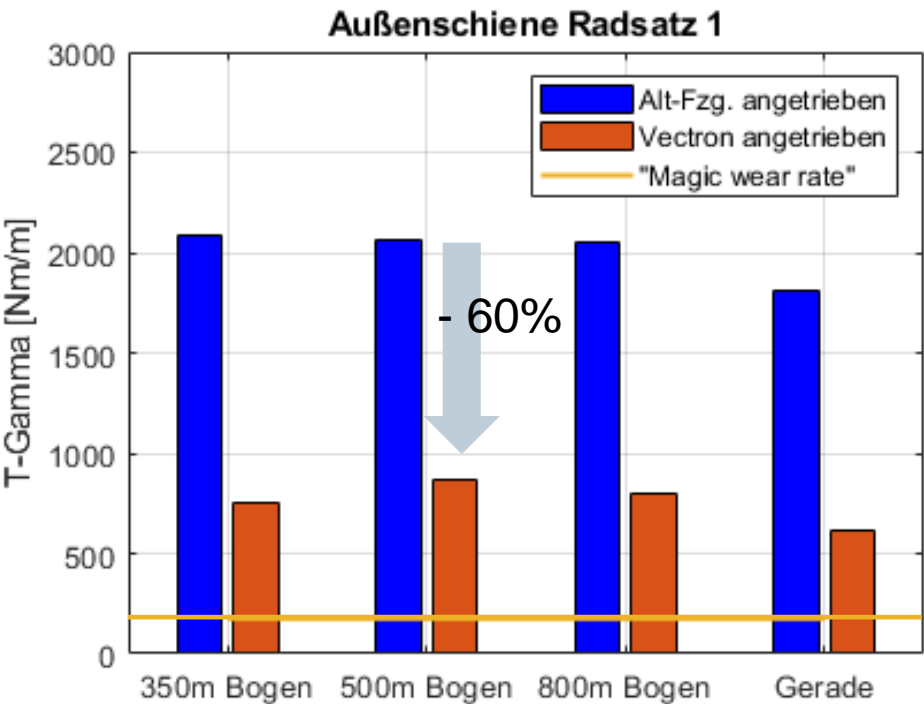


RCF Schädigungsfunktion

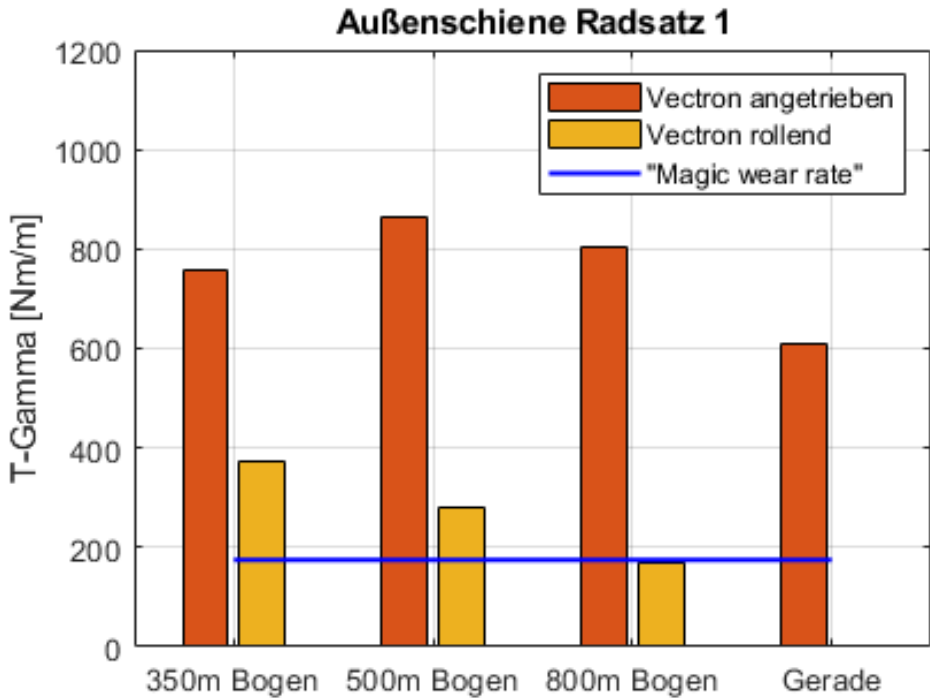


Bewertung der Schienenoberflächenschädigung auf typischen Radien-Klassen

Vectron in allen Szenarien um über 60% geringere Reibarbeiten als Alt-Fahrzeug
→ führt zu deutlich geringerem Verschleiß



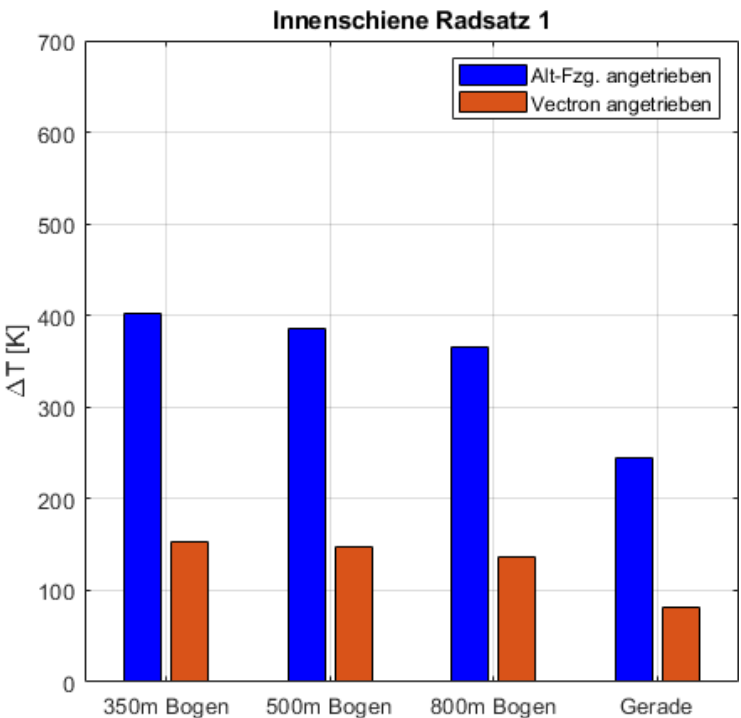
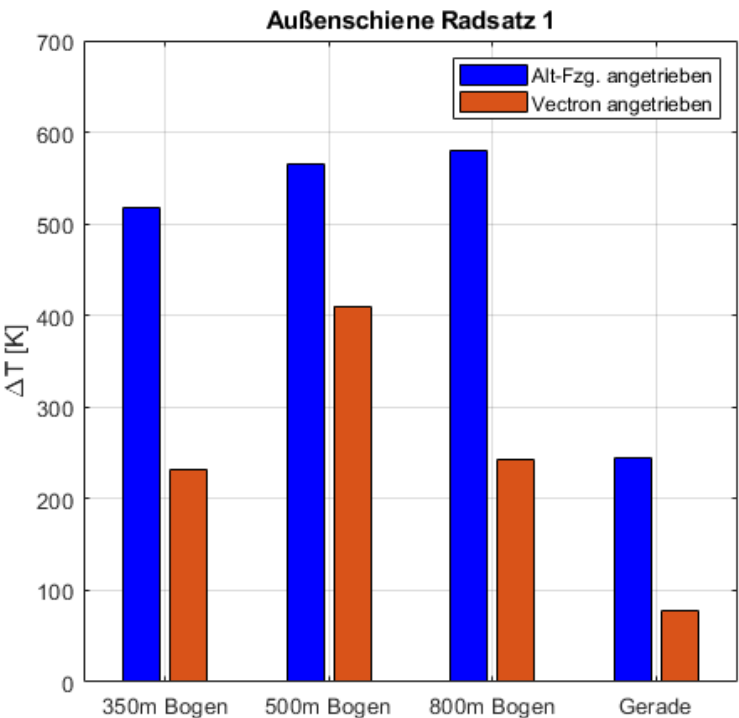
Angetriebene Räder weisen i.A. hohe Reibarbeiten, über der Magic Wear Rate ($T\text{-Gamma} = 175 \text{ Nm/m}$)



Head Check Phänomene können nicht dem Antrieb zugeschrieben werden

Bewertung der Schienenoberflächenschädigung auf typischen Radien-Klassen

Hohe Temperaturen vielfach für Squat-Entstehung verantwortlich gemacht



Vectron zeigt in allen Szenarien deutlich niedrigere Temperaturen im Kontaktpunkt als das Alt-Fahrzeug

Agenda

- Motivation – Zugkraft versus Fahrwegbelastung
- Entwicklung des Zugkraftverhaltens an Siemens Lokomotiven
- Wie reagiert der Fahrweg auf die Entwicklung des Zugkraftverhaltens?
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Die modernen Siemens Antriebsregel-Strategien zeigen verringerte Fahrwegschädigung - belegt durch Messungen:
 - sehr geringe Reibarbeiten beim Anfahren, trotz hoher Reibwertausnutzung,
 - geringes Squat-Risiko wegen der niedrigen Temperaturen im Rad-/Schiene-Kontakt,
 - geringe Neigung zu Rollkontakt-Ermüdung.
- erfolgreiche Validierung von Simulationsmodellen als Basis für die Bewertung der Schienenoberflächenschädigung in typischen Betriebsszenarien
- In diesen Betriebszenarien zeigen die Bewertungskriterien der Fahrwegschädigung ein deutlich besseres Verhalten für die Vectron-Plattform
- Die Untersuchungen zeigen auch, wie bereits in anderen Arbeiten publiziert, dass der Antrieb nicht für Rollkontaktermüdungs-Probleme verantwortlich gemacht werden kann

Zusammenfassung

Für Lokomotiven im Güterverkehr sind das Losreißen mit hohen Anhängelasten auf bogen-reichen Bergstrecken und die betriebssichere Umsetzung der Zugkräfte wichtige Performance-Merkmale

- Die Siemens Erfahrung zeigt, dass es dafür Antriebsregel-Strategien braucht die es ermöglichen kleine Schlupfgeschwindigkeiten umzusetzen: diese sind in der Siemens Vectron-Plattform umgesetzt
- Das Schienenkonditionierungssystem **XLoad** der Siemens Vectron-Plattform garantiert betriebssicher umgesetzte Zugkraft-Performance auf höchstem Niveau

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

SIEMENS

Siemens Mobility Austria GmbH
Dr. Martin Rosenberger
Head of Department Vehicle Dynamics,
Acoustics & Analytics
BG&P EN SSV VDA
8020 Graz
+43 664 8855 7098
martin.rosenberger@siemens.com

Siemens Mobility GmbH
Dr. Werner Breuer
Senior Principal Key Expert Locomotives
SMO RS LMC EN LM
Krauss-Maffei-Str. 2
80997 München
+49 172 8147128
werner.breuer@siemens.com

