

# Headcheck/ RCF Prognose & Traktion

I. Nerlich  
SBB Anlagenmanagement Fahrbahn  
Fahrzeug/Fahrweg-Wechselwirkung

Graz 25.09.2017

# ÜBERBLICK

## 1. Ausgangslage

- Zielbild der Beherrschung, Schädigungsformen

## 2. RCF (HeadCheck) - Prognose der SBB:

- Ty-Modell, ein Plädoyer für das simple Verfahren
- Arbeitsweise und Hintergründe, Lücken?
- Implementierung

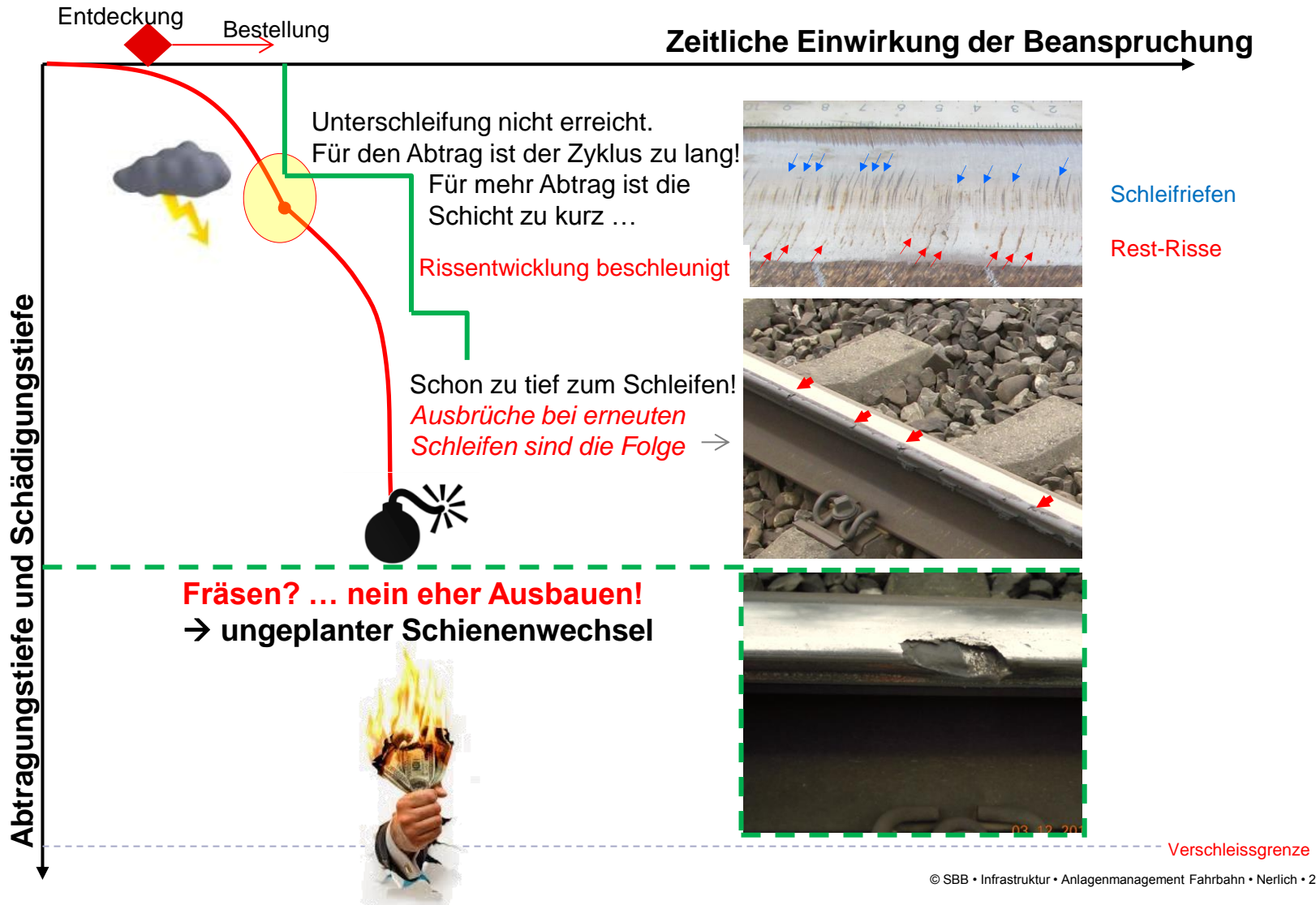
## 3. Aspekt der Traktion/Bremskräfte, Traktionstechnik

- Zugang zur Traktion/Bremskräften als Infrastrukturbetreiber
- Fehlerbilder
- Traktionswechsel als Auslöser der Schienenfehler

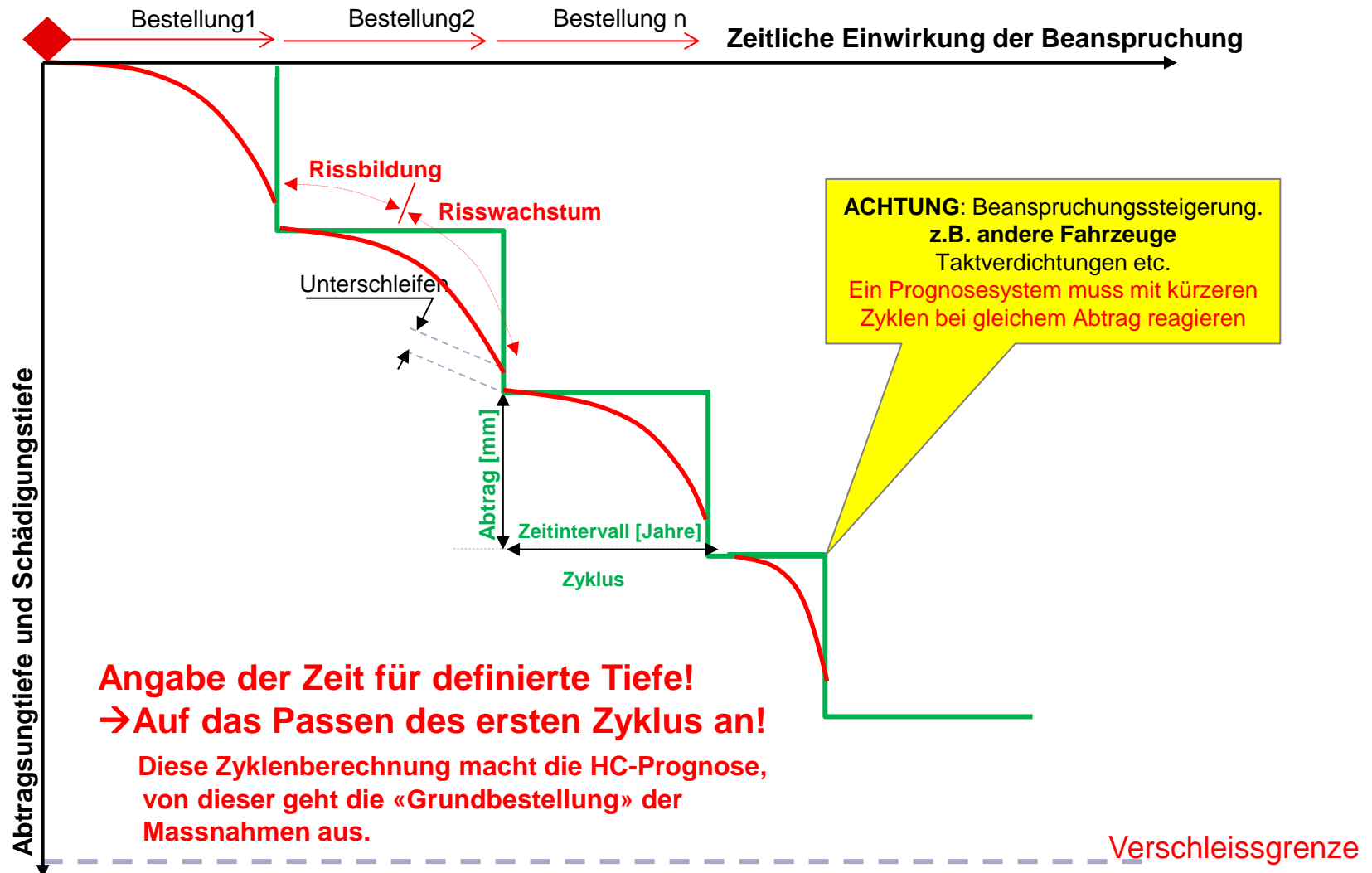
## 4. Zusammenfassung

# Ausgangslage «2012», : Find & Fix

traditionelle Fahrwegbewirtschaftung

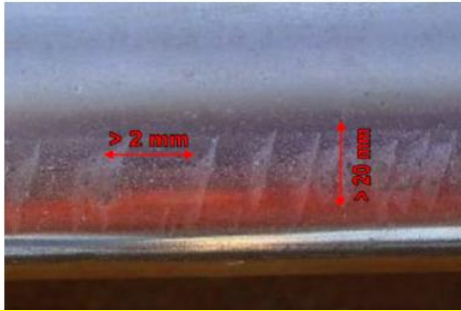


# Ausgangslage «2012», SOLL: Beherrschung von RCF



# Haupt-Schädigungsformen von Schienen bei den SBB

## Headchecks \$\$\$ +gefährlich



Sichtbar, sich ankündigend

## Squats \$\$ +gefährlich



überraschend, explosionsartig

## Fahrkantenausbrüche \$\$



überraschend, explosionsartig

Entstehungsort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bögen &lt; 5000 m (selten in Geraden)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerade, weite Bögen ( keine Tunnel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bögen &lt; 800 m</li> </ul>
Betriebsform	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtungsbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein- oder Zweirichtungsbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweirichtungsbetrieb</li> </ul>
Phasen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenverfärbung</li> <li>• Einzelrisse, dann ganze Fahrkante</li> <li>• Endstadium mit Ausbrüchen (zusammengewachsene Risse)</li> <li>• Risswachstum tief in die Schiene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefügeänderung (Reibmartensit)</li> <li>• Einsenkung der Fahrfläche</li> <li>• Flächige Materialablösung (Dunkelfärbung)</li> <li>• Risswachstum tief in die Schiene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialfluss zur Fahrkante</li> <li>• Schwärzung der Fahrkante</li> <li>• Zeitnah folgen Ausbrüche</li> <li>• Risswachstum zunächst nicht in die Schiene</li> </ul>
Früherkennung	Wirbelstrom* bei > 0.5 mm Tiefe	Derzeit nicht möglich	Eher nicht möglich
Hypothesen	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ T<math>\gamma</math>-Modell (<b>empirisch</b>)</li> <li>• Keil-Modell (werkstoffmechanisch)</li> <li>• Shakedown (werkstoffmechanisch)</li> <li>✓ Dang Van (werkstoffmechanisch)</li> <li>✓ DB Systemtechnik (<b>empirisch</b>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbrüche durch White Etching Layer (bei T &gt; 723 °C)</li> <li>• Einsenkung durch Verschleiss (werkstoffmechanisch)</li> <li>• Kohlenstoffdiffusion &gt;200°C (WEL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dang Van (werkstoffmechanisch)</li> </ul>
SBB verwendet	T $\gamma$ -/DB-Modell (empirisch erweitert)	Risikoindikation (Prototyp) → nur mit Traktionstechnik anzugehen	Aktuell noch nichts → nur mit Kontaktmechanik

\* Mit Entdeckung und Intervallrestriktionen der SBB in der Regel zu spät

# ÜBERBLICK

## 1. Ausgangslage

- Zielbild der Beherrschung, Schädigungsformen

## 2. RCF (HeadCheck) - Prognose der SBB:

- Ty-Modell, ein Plädoyer für das simple Verfahren
- Arbeitsweise und Hintergründe, Lücken?
- Implementierung

## 3. Aspekt der Traktion/Bremskräfte, Traktionstechnik

- Zugang zur Traktion/Bremskräften als Infrastrukturbetreiber
- Fehlerbilder
- Traktionswechsel als Auslöser der Schienenfehler

## 4. Zusammenfassung



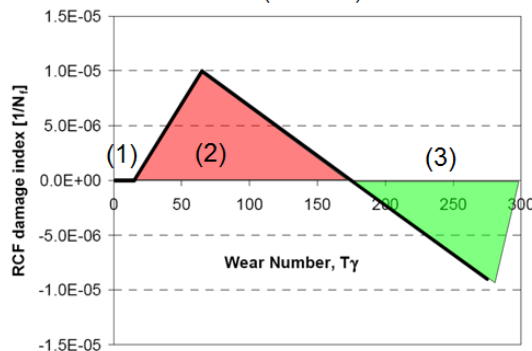
# Ty-Modell: Ein Plädoyer für das simple Verfahren

→ Empirische Schadensfunktion, entstanden aus Beobachtungen in Grenzfällen, entwickelt in England:

- enge Bögen, Verschleiss! - aber kein HC
- weite Bögen/Geraden, kein Verschleiss, kein HC
- → Es gibt ein Gleichgewicht aus Verschleiss und HC

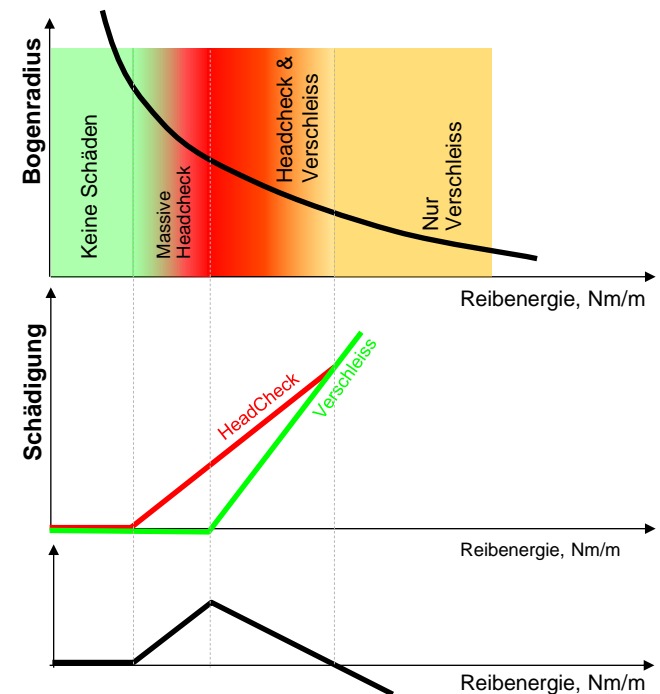
→ Die Schadensfunktion berücksichtigt Verschleiss aber keine Kontaktmechanik (Shakedown) und ist **nur für Schiene R260** gültig.

- keine Schädigung (1)
- Entwicklung von head checks (2)
- Verschleiss (Abrasion) schleift head checks weg (3)



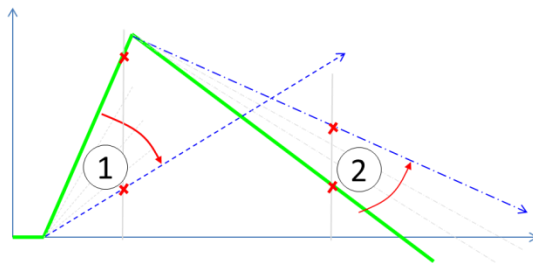
$$T_y = T_x v_x + T_y v_y$$

- RCF damage index  
 - Kehrwert der Lastwechsel bis Risseinleitung
- $T_y$  wear number  
 - Reibkraft x Schlupf



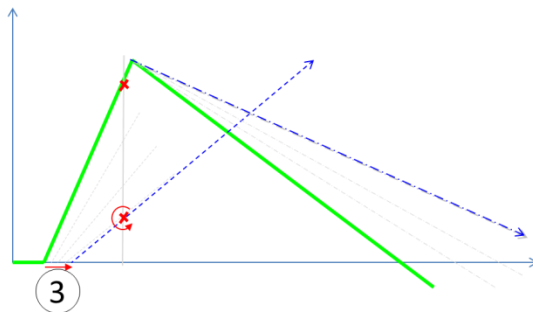
# Ty -Modell, empirische Modellerweiterung für R350

- Die drastische Reduktion auf Geraden-Elemente ermöglicht reine geometrische Erweiterungen, Burstow selbst liefert erste Anregung in [1] ...«konstruierte aber nicht»
- Höherer Anrisswiderstand, Wachstumshemmung und Verschleissfestigkeit sind Geraden die sich einzig im Anstieg unterscheiden!



- ① aus HC-Tiefenmessungen \*
- ② aus Verschleissmessungen \*

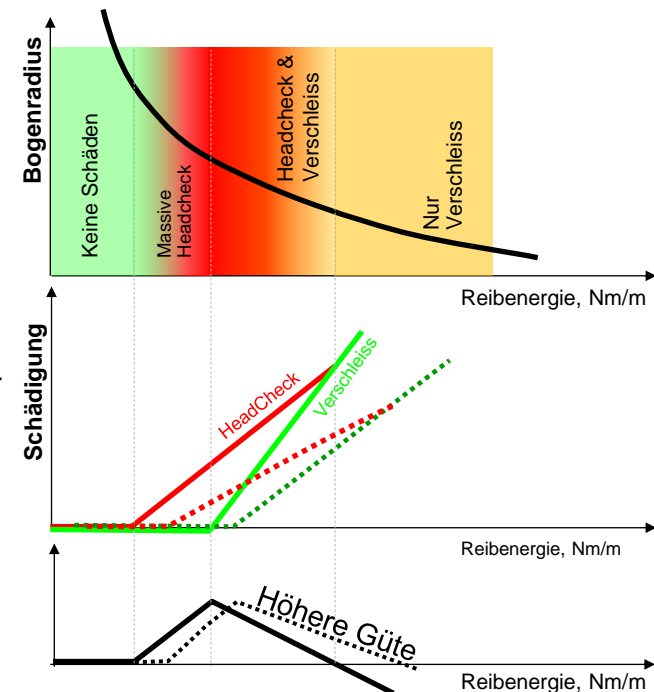
\* unter gleichen Randbedingungen  
(gleicher Radius, **gleiches** Gleis,  
auch Prüfstandsergebnisse)\*\*



- ③ Verhältnis des HC-Eintrittsradius bei R260 und anderer Schienengüte im Übergangsbogen → geht nur am Gleis

\*\* mit freundlicher Unterstützung der VOEST

- Das Ty-Modell ist simpel, einfach anwendbar und erlaubt Prognosen. ...**eine Kopfwehtablette!**

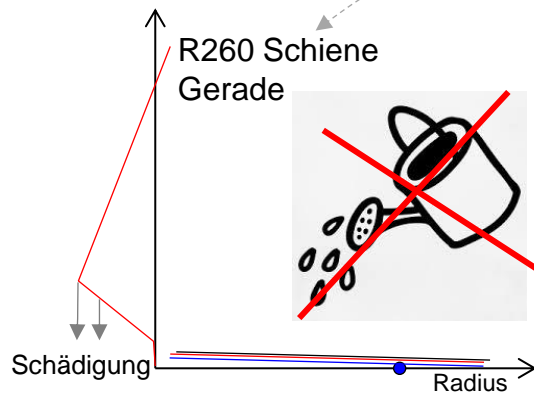
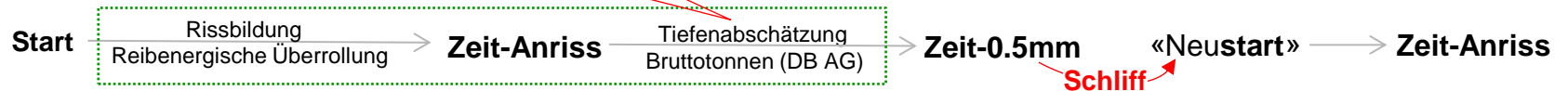




# Ty -Modell: Implementation und Wirkung

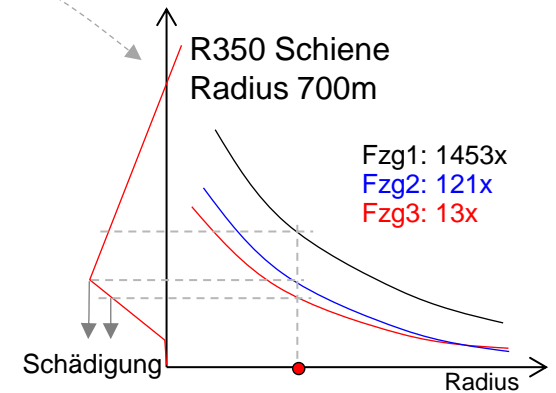
R350HT: 3.33mm/100Mio t [2]  
 R260 : 1.67mm/100Mio t

→ 15 Mio t für 0.5mm  
 → 7.5 Mio t für 0.5mm



### Diskrete Auflösung des Gleises:

- Radius
- Schienenqualität (R260,350 etc)
- Fahrzeugkollektive
- Zug/Bremskräfte (Neu)
- Orts(Ist)geschwindigkeiten (Neu)



$$\sum D_{RCF} \text{ aus Tageskollektiv} = 0$$

$$\sum \text{BRT aus Tageskollektiv [Mio t]}$$

$$\rightarrow \text{Tage bis Anriss: } 1 / \sum D_{RCF} \rightarrow \infty$$

$$\rightarrow \text{Tage bis 0.5mm } 15 \text{ Mio t} / \sum \text{BRT}$$

**Tage bis Anriss + Tage bis 0.5mm  $\rightarrow \infty$**

dafür **Squatregel**, Badscok, P [3]  
**0.2mm / 45 Mio t**

$$\sum D_{RCF} \text{ aus Tageskollektiv}$$

$$\sum \text{BRT aus Tageskollektiv [Mio t]}$$

$$\rightarrow \text{Tage bis Anriss} = 1 / \sum D_{RCF}$$

$$\rightarrow \text{Tage bis 0.5mm} = 15 \text{ Mio t} / \sum \text{BRT}$$

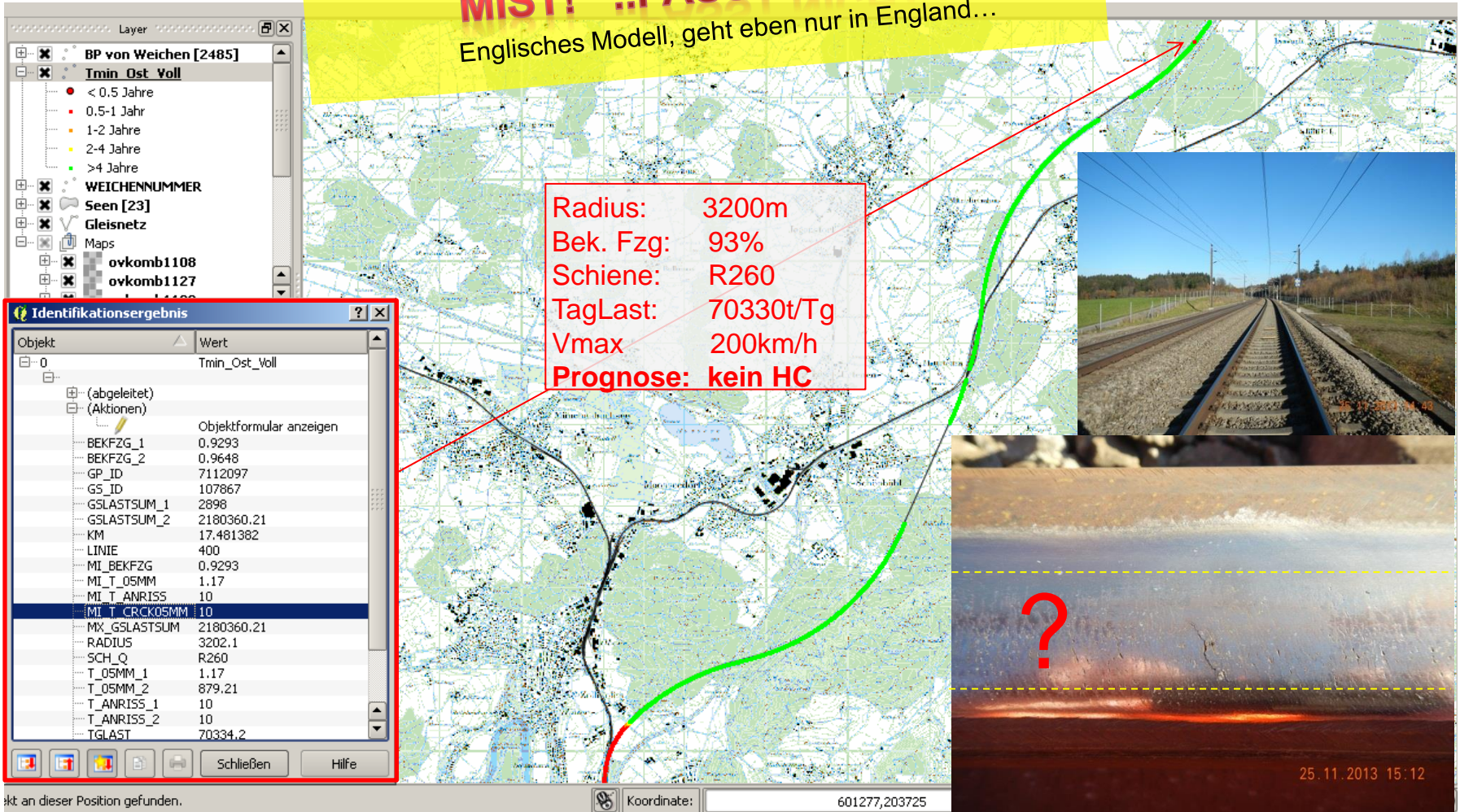
**Tage bis Anriss + Tage bis 0.5mm**

[2] Heyer, Brehmer: Empirische Erkenntnisse zum HeadCheckWachstum und zur Verschleißentwicklung ZEV 137 (2013) 4 April

[3] Badscok, P.: Putting the brakes on squat growth. International Railway Journal, (2008)

# Ty-Modell: Pilot-Anwendung 2013

**MIST! ..PASST NICHT !**  
 Englisches Modell, geht eben nur in England...



**Identifikationsergebnis**

Objekt	Wert
0	Tmin_Ost_Voll
(abgeleitet)	
(Aktionen)	Objektformular anzeigen
BEKFZG_1	0,9293
BEKFZG_2	0,9648
GP_ID	7112097
G5_ID	107867
GSLASTSUM_1	2898
GSLASTSUM_2	2180360,21
KM	17,481382
LINIE	400
MI_BEKFZG	0,9293
MI_T_05MM	1,17
MI_T_ANRISS	10
<b>MI_T_CRCK05MM</b>	<b>10</b>
MX_GSLASTSUM	2180360,21
RADIUS	3202,1
SCH_Q	R260
T_05MM_1	1,17
T_05MM_2	879,21
T_ANRISS_1	10
T_ANRISS_2	10
TGLAST	70334,2

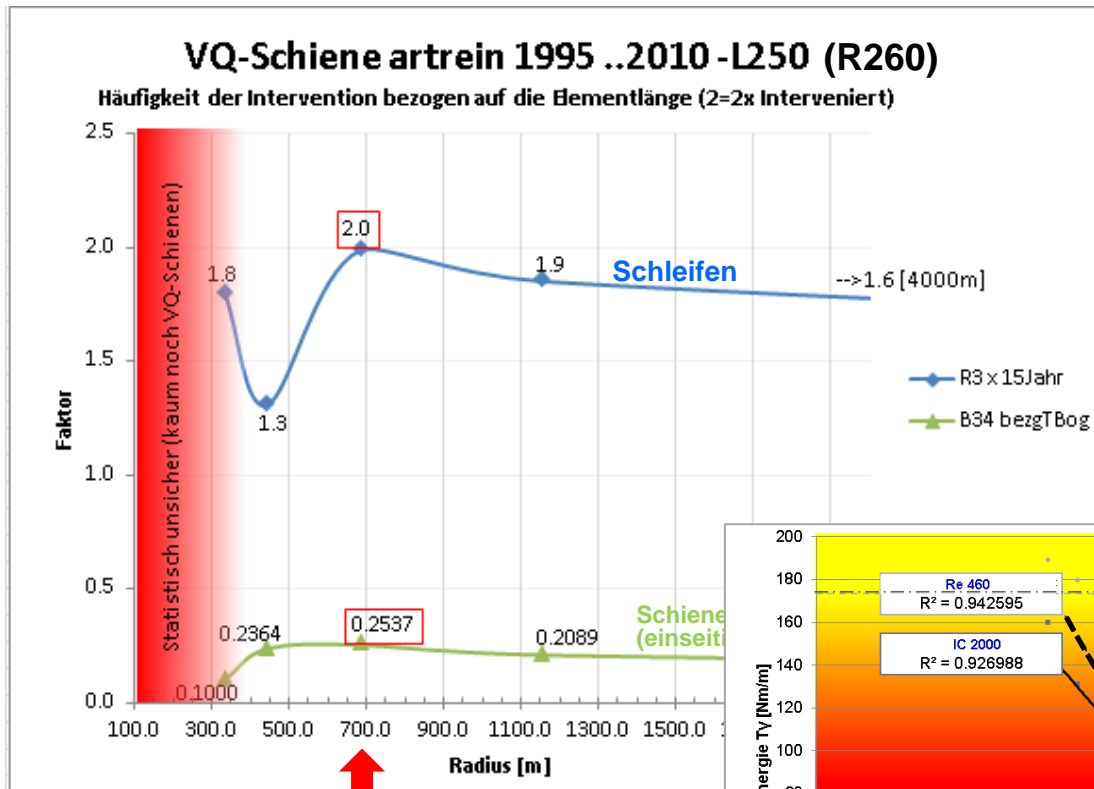
**Radius: 3200m**  
**Bek. Fzg: 93%**  
**Schiene: R260**  
**TagLast: 70330t/Tg**  
**Vmax: 200km/h**  
**Prognose: kein HC**

25.11.2013 15:12

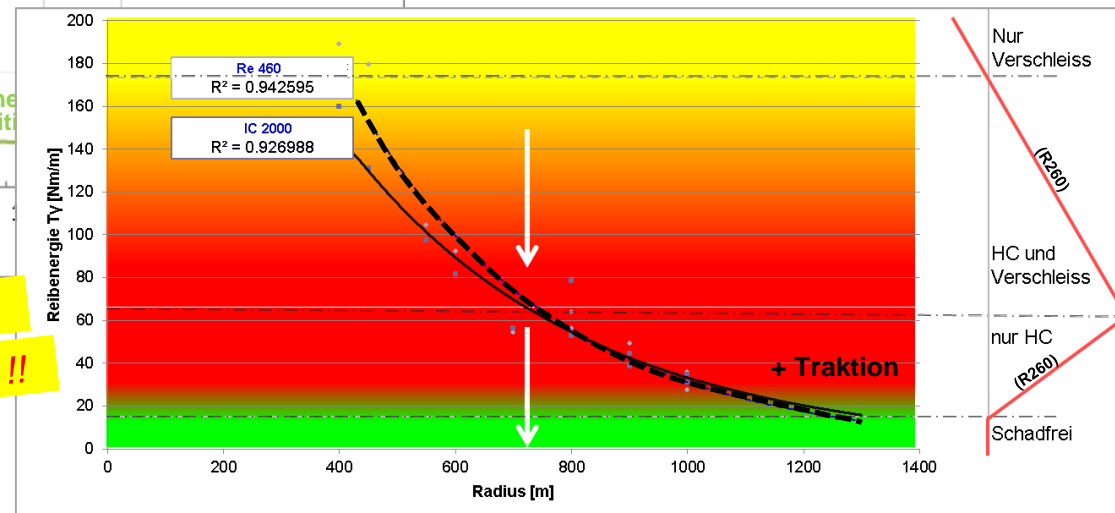
Objekt an dieser Position gefunden.

Koordinate: 601277,203725

# Ty-Modell: Plausibilitätsprüfung (SBB-Vortrag: Grazer SfzTagung 2014)



- Auf isolierten Linienbereich mit dominanten Verkehr, zeigt sich:
- Es treten Radien hervor, in denen sich eine selektive Arbeitsdichte einprägt.
- Aus Simulationen gewonnene Reibenergien zeigen gute Korrelation als angenommene Schadenstreiber
- Achtung: Gleisarbeitsarchive sind keine Messdaten.(nicht überinterpretieren)

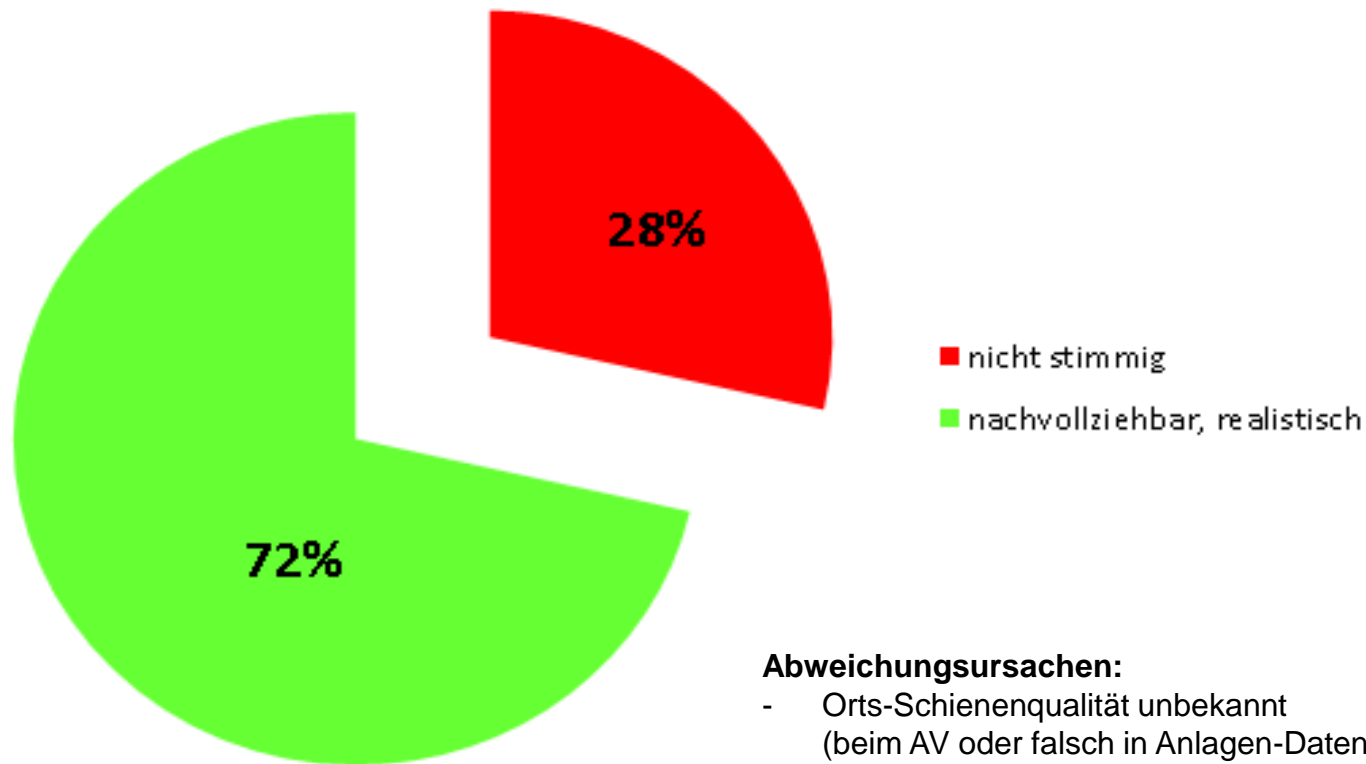


**Das Modell passt sehr wohl ...**  
**Nur ist lokale Traktion zu berücksichtigen !!**

# Ty-Modell: Plausibilitätsprüfung (SBB-Vortrag: Grazer SfzTagung 2014)

## Flächenverifikation bei UEW-ROT, Q1/2014

Es wurden 42 Bögen gegenüber der rechnerischen Einschätzung des Schadensmass vor Ort beurteilt.



### Abweichungsursachen:

- Orts-Schienenqualität unbekannt  
(beim AV oder falsch in Anlagen-Datenbank)
- Beschleunigungs- und Bremsstrecken

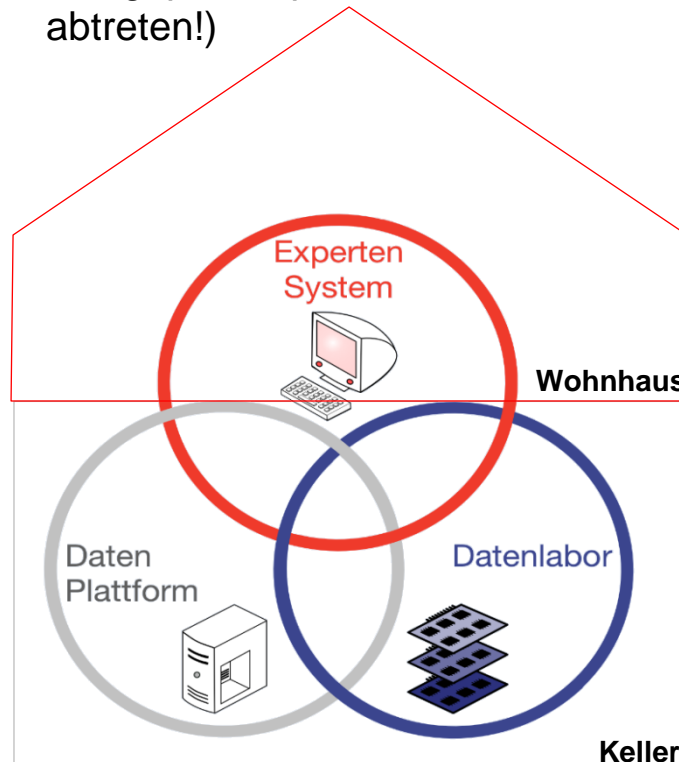


# Prognose der Headcheck-Entwicklung (gleisscharf, netzweit, **pro Meter**)



# Neue Wege der Implementierung – dringend geboten!

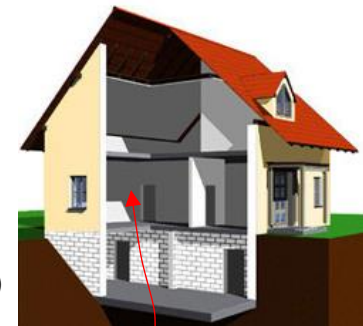
- Algorithmen des Reverse-Engineering als auch Forschungserkenntnisse werden in einem Labor als Modul fertiggestellt und in einer Datenplattform verbaut.
- Von der Datenplattform erfolgt die Verteilung des KnowHow an die Fläche via netz weit aktiven Expertensystem. Das Expertensystem wird/wurde eingekauft.
- Nur geprüfte, plausible Daten werden in das Expertensystemhaus eingelassen (Füsse abtreten!)



=

Ansehnlicher, öffentl. Teil  
(eingekauft)

Der **stabile** Unterbau  
(Schönheit nebensächlich)



Alle Daten müssen durch den Keller.

**Füsse abtreten!**

**Das Haus bleibt sauber! ☺**



# ÜBERBLICK

## 1. Ausgangslage

- Zielbild der Beherrschung, Schädigungsformen

## 2. RCF (HeadCheck) - Prognose der SBB:

- Ty-Modell, ein Plädoyer für das simple Verfahren
- Arbeitsweise und Hintergründe, Lücken?
- Implementierung

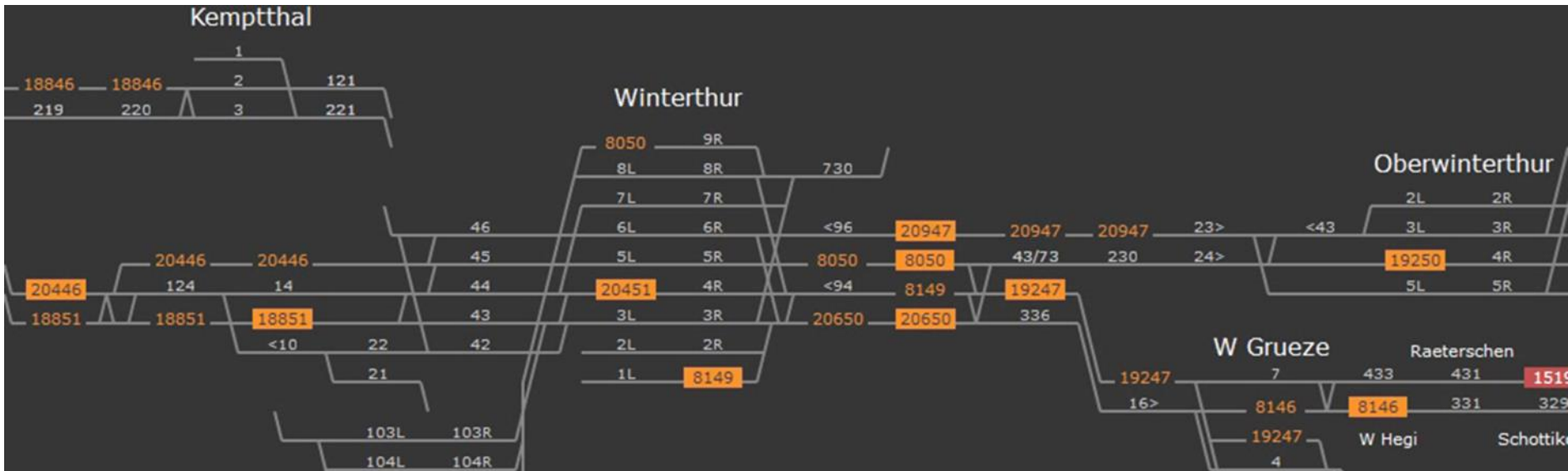
## 3. Aspekt der Traktion/Bremskräfte, Traktionstechnik

- Zugang zur Traktion/Bremskräften als Infrastrukturbetreiber
- Fehlerbilder
- Traktionswechsel als Auslöser der Schienenfehler

## 4. Zusammenfassung

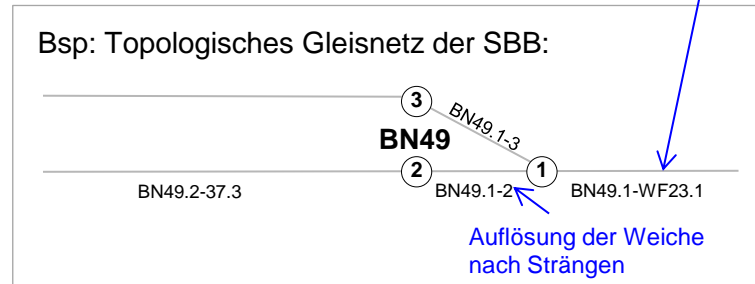
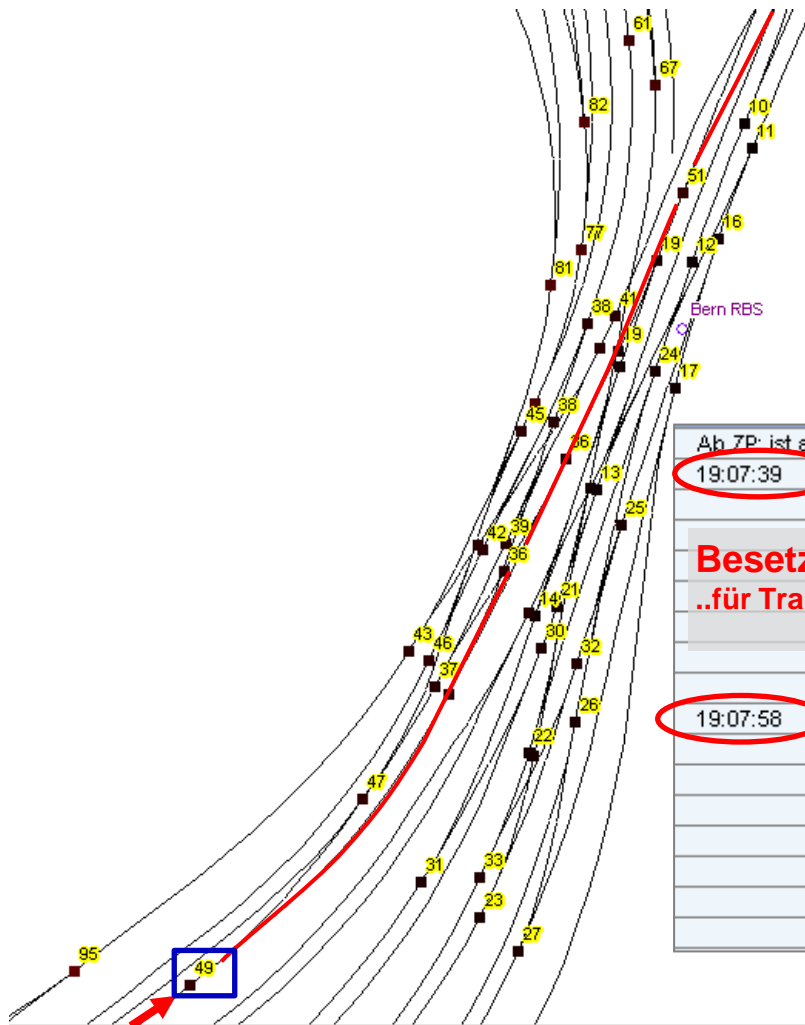
# Analyse der Belastungszahlen (ANABEL)

Kernfunktionalität - die gleisgenaue Archivierung des Fahrwegsicherung



# Analyse der Belastungszahlen (ANABEL)

Kernfunktionalität - die gleisgenaue Archivierung des Fahrwegsicherung z.B. des IR 3239



## Rollmaterial des Zugs

Ab ZP: ist ab Zeit	GSGF Reihenfolge	DfA ID Gleisstrang	Fahrzeuggrundtyp	Re 460	DOSTO_	DOSTO_
19:07:39	1	BN49.1-2		1	5	1
	2	BN40.1-49.2		1	5	1
	3	BN40.1-2		1	5	1
	4	BN36.2-40.2		1	5	1
	5	BN36.1-2		1	5	1
	6	BN19.2-36.1		1	5	1
	7	BN19.1-2K6		1	5	1
	8	BN19.1-19.3		1	5	1
19:07:58	1	BN19.1-3		1	5	1
	2	BN19.1-51.1		1	5	1
	3	BN51.1-2		1	5	1
	4	BN15.2-51.2		1	5	1
	5	BN15.1-2		1	5	1
	6	BN4.1-15.1		1	5	1
	7	BN4.1-2		1	5	1
	8	BN4.2-8.2		1	5	1

**Besetzt-Meldezeiten**  
..für Traktionsrechnung..

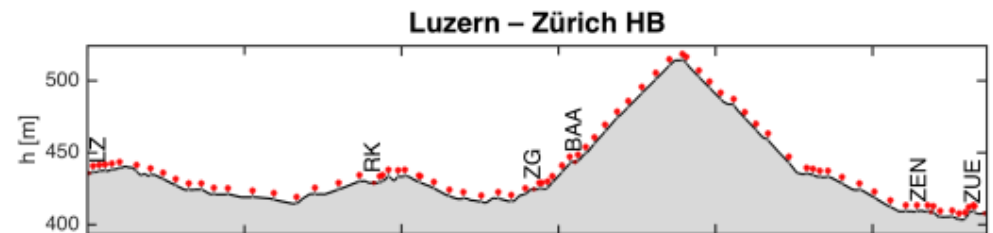
# Nachrechnung der Fahrweise (Emkamatik, SBB: Grazer Sftagung 2017)

*emkamatik*

## Interregio mit Stufenschalterlok Re 4/4 II

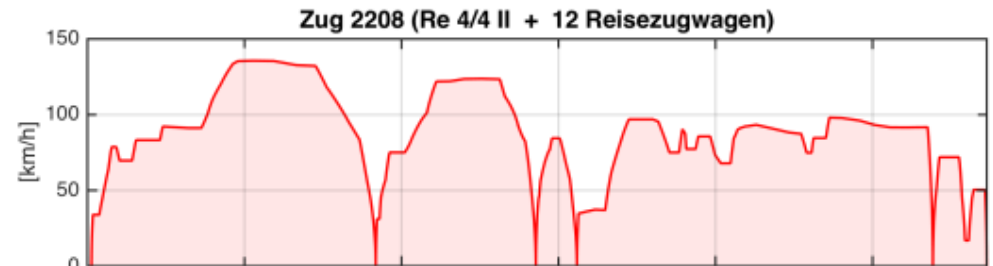


Höhenprofil, Zeitstempel



Nachrechnung:

Geschwindigkeit



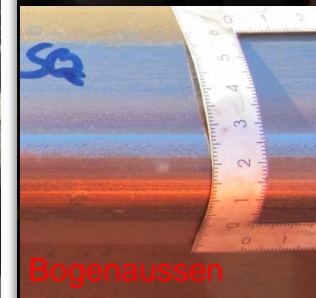
Traktionskräfte

- Zug-/Bremskraft (Lok)
- Mechanische Bremsen (Zug)

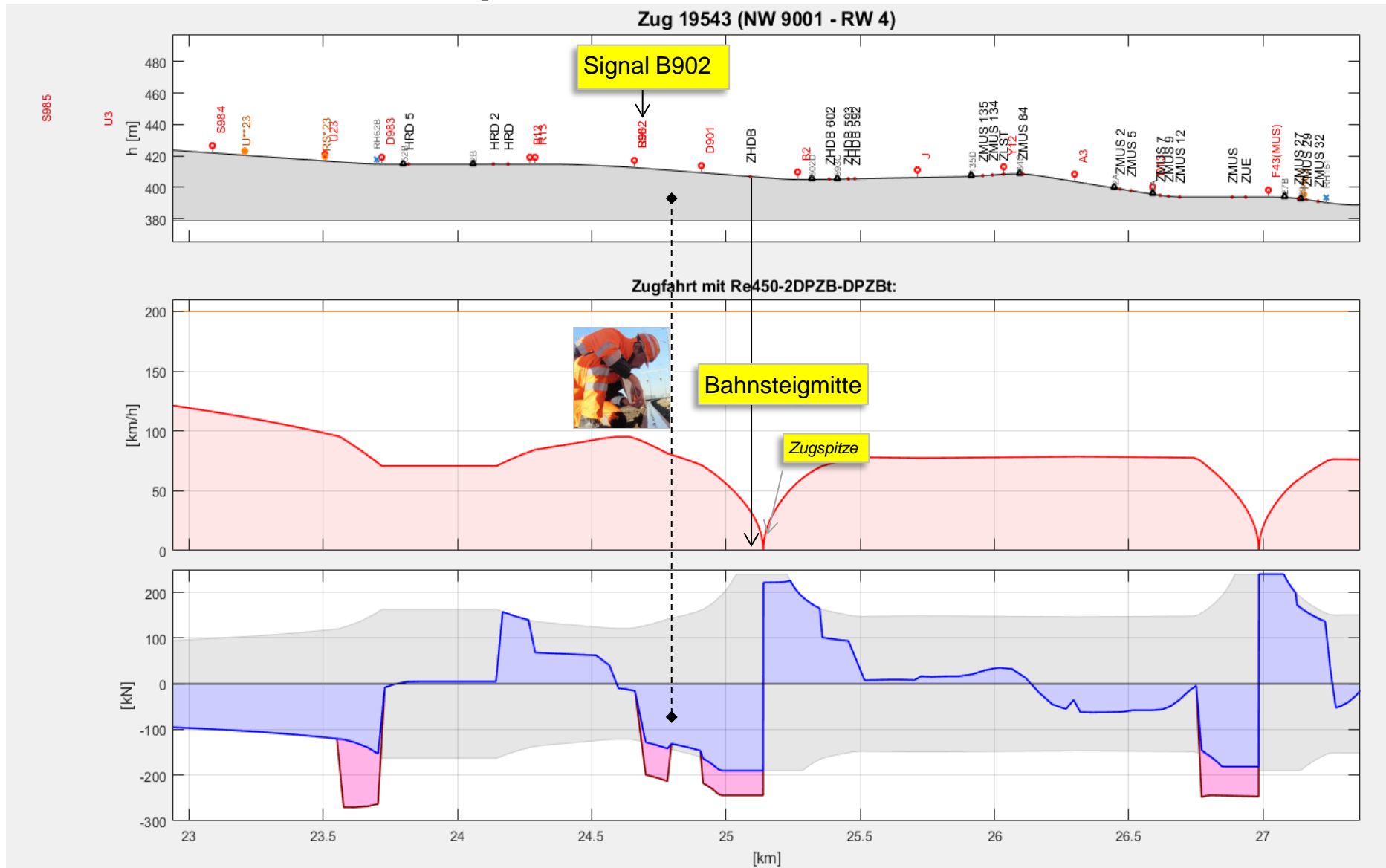
Lokale Traktion



# Praktisches Beispiel: örtliches Fehlerbild



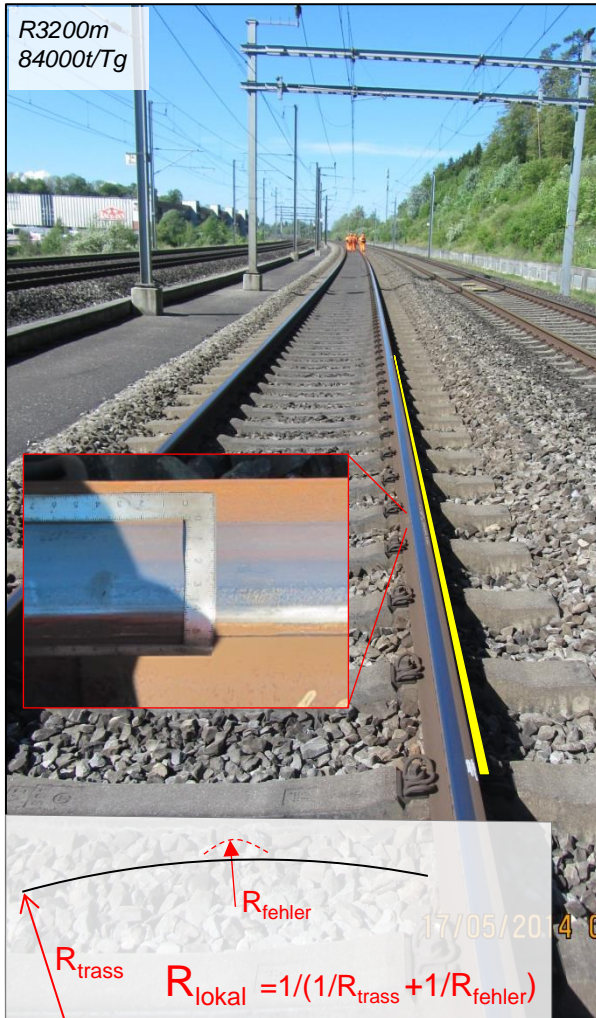
# Praktisches Beispiel: örtliches Fehlerbild



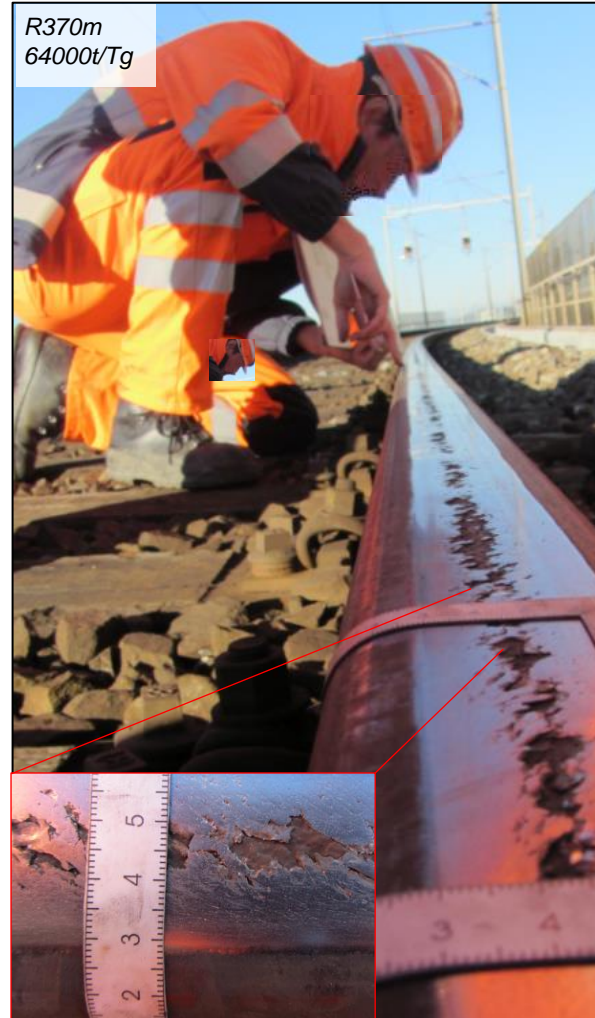


# Ohne Traktion → unerklärbare Fehlereffekte

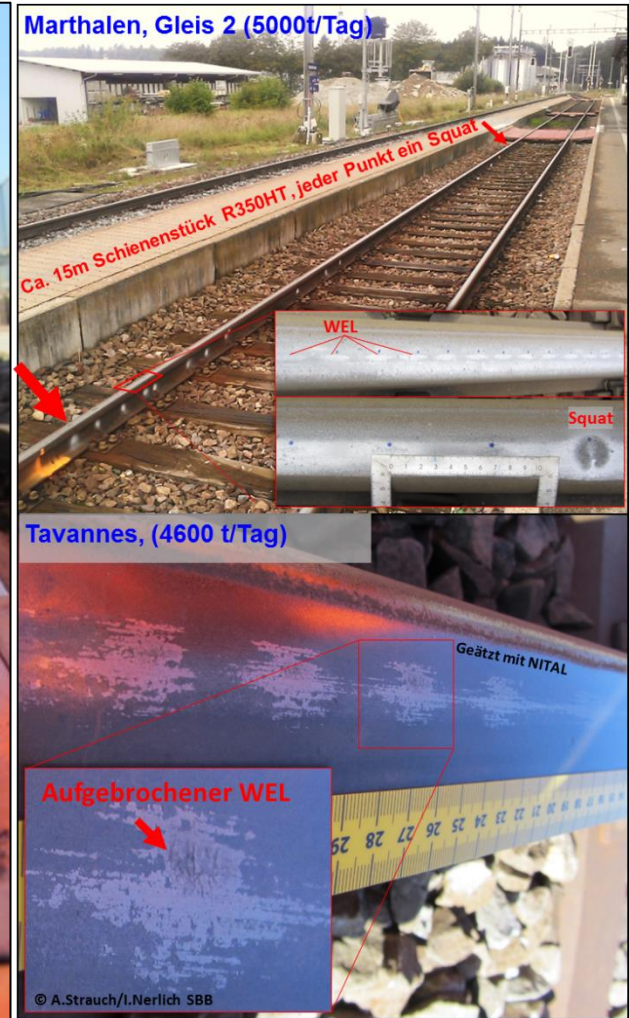
## HC-Spots / grosse Radien



## HC-Bogeninnen

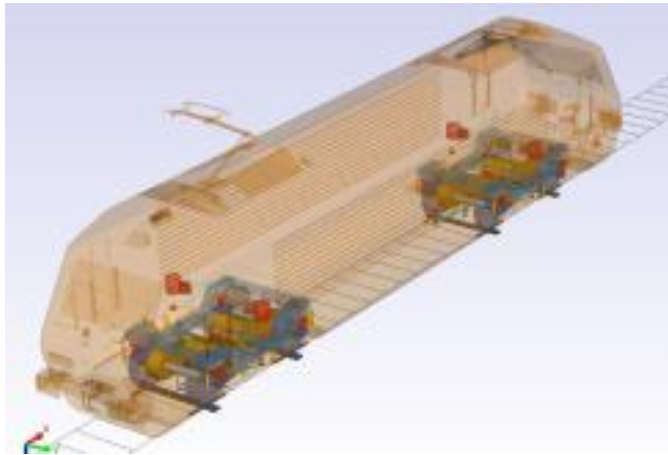


## Squat-Bildung

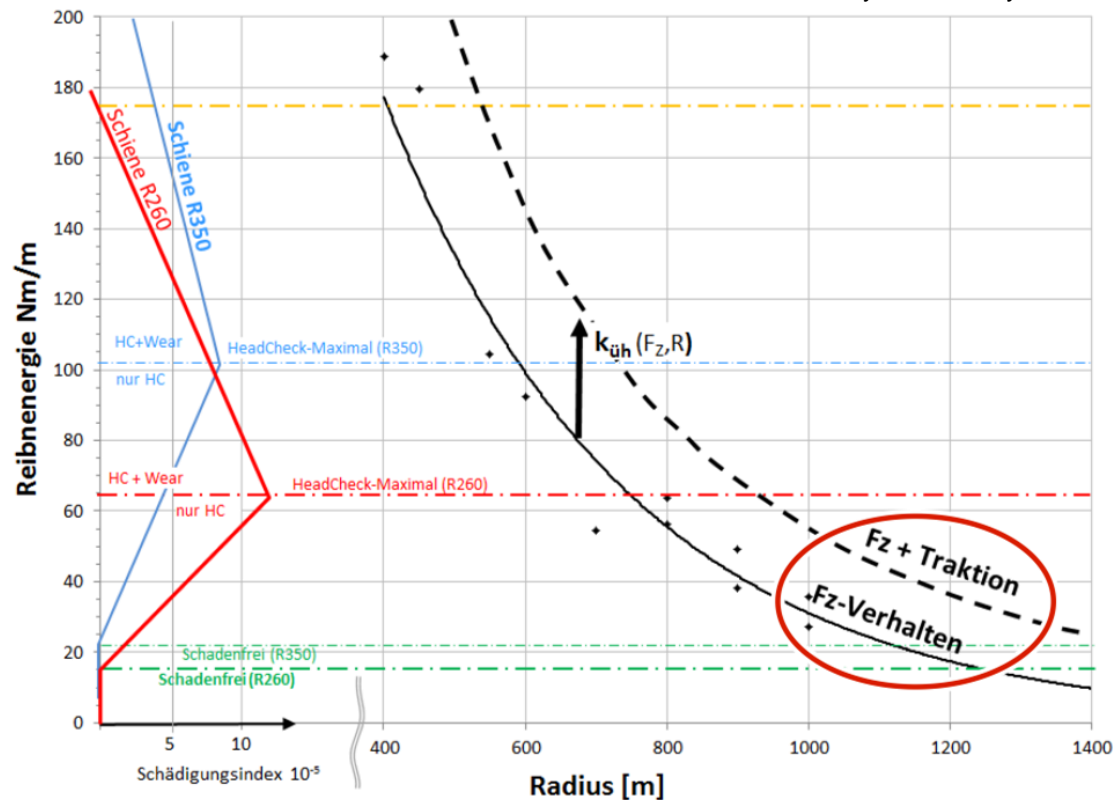
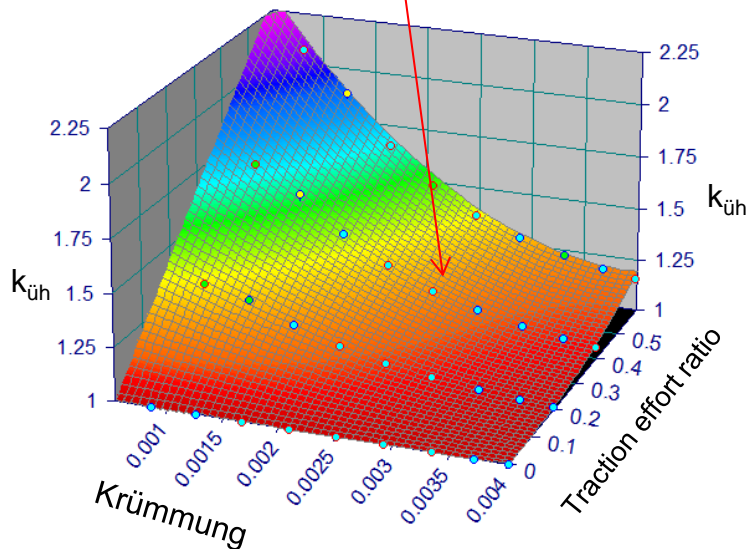


# Traktion bekannt → MKS für Rad/Schiene-Vorgänge

- MKS – Modelldaten liegen mit Fahrzeugdatenerhebung des verschleissabhängigen Trassenpreis vor.
- Simulation erschliesst nicht nur Reibenergie sondern **Kontaktmechanische Transfergrößen** ( $\Delta r$ ,  $u_y$ ,  $\alpha$ ,  $s_x$ ,  $s_y$ ,  $a$ ,  $b$ )



Je 1 Simulationsrun ..  $\Sigma$ ca. 5000 Fälle



# ÜBERBLICK

## 1. Ausgangslage

- Zielbild der Beherrschung, Schädigungsformen

## 2. RCF (HeadCheck) - Prognose der SBB:

- Ty-Modell, ein Plädoyer für das simple Verfahren
- Arbeitsweise und Hintergründe, Lücken?
- Implementierung

## 3. Aspekt der Traktion/Bremskräfte, **Traktionstechnik**

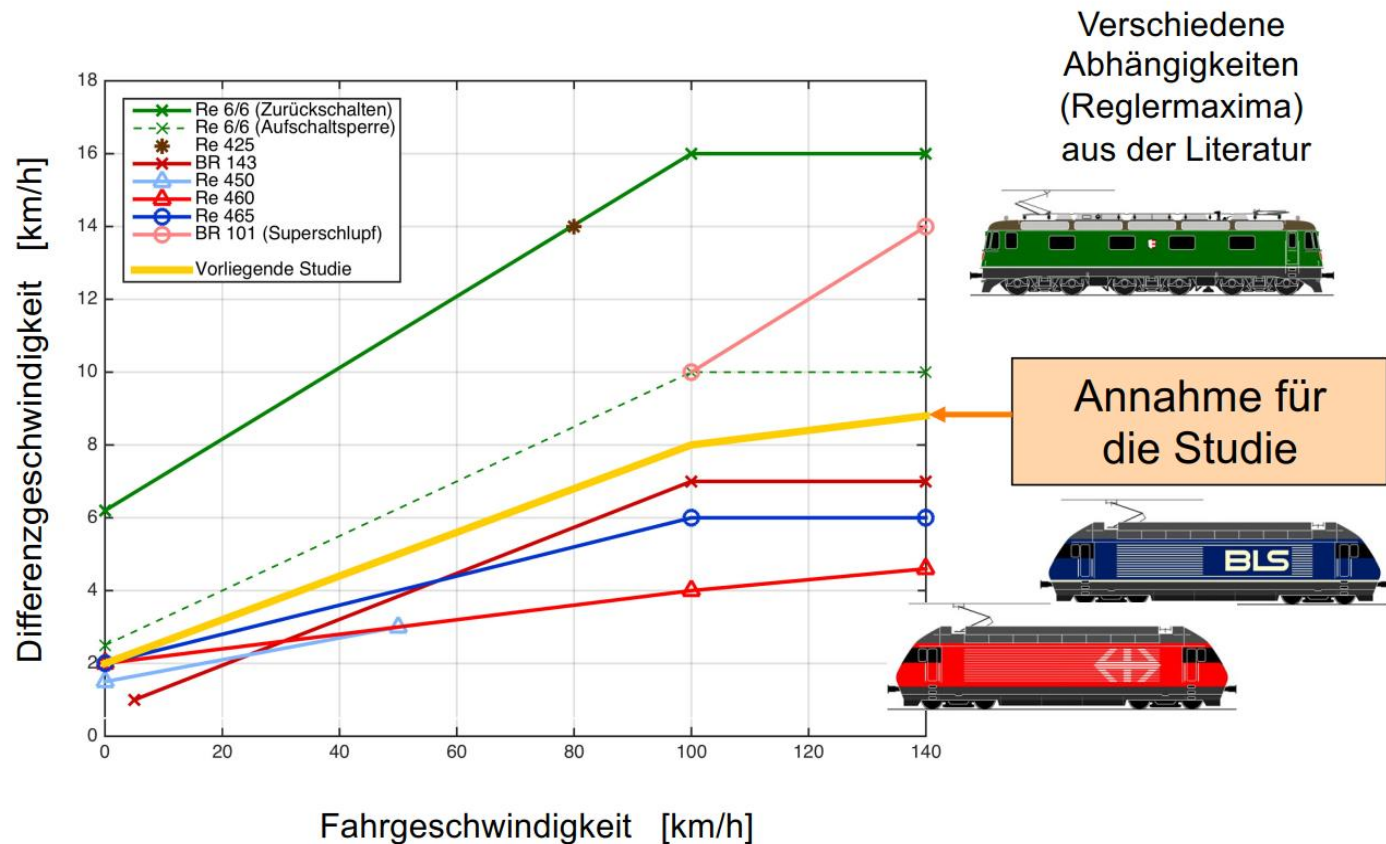
- Zugang zur Traktion/Bremskräften als Infrastrukturbetreiber
- Fehlerbilder
- **Traktionswechsel als Auslöser der Schienenfehler**

## 4. Zusammenfassung



# Exkurs: Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung « der Schlupf ! »

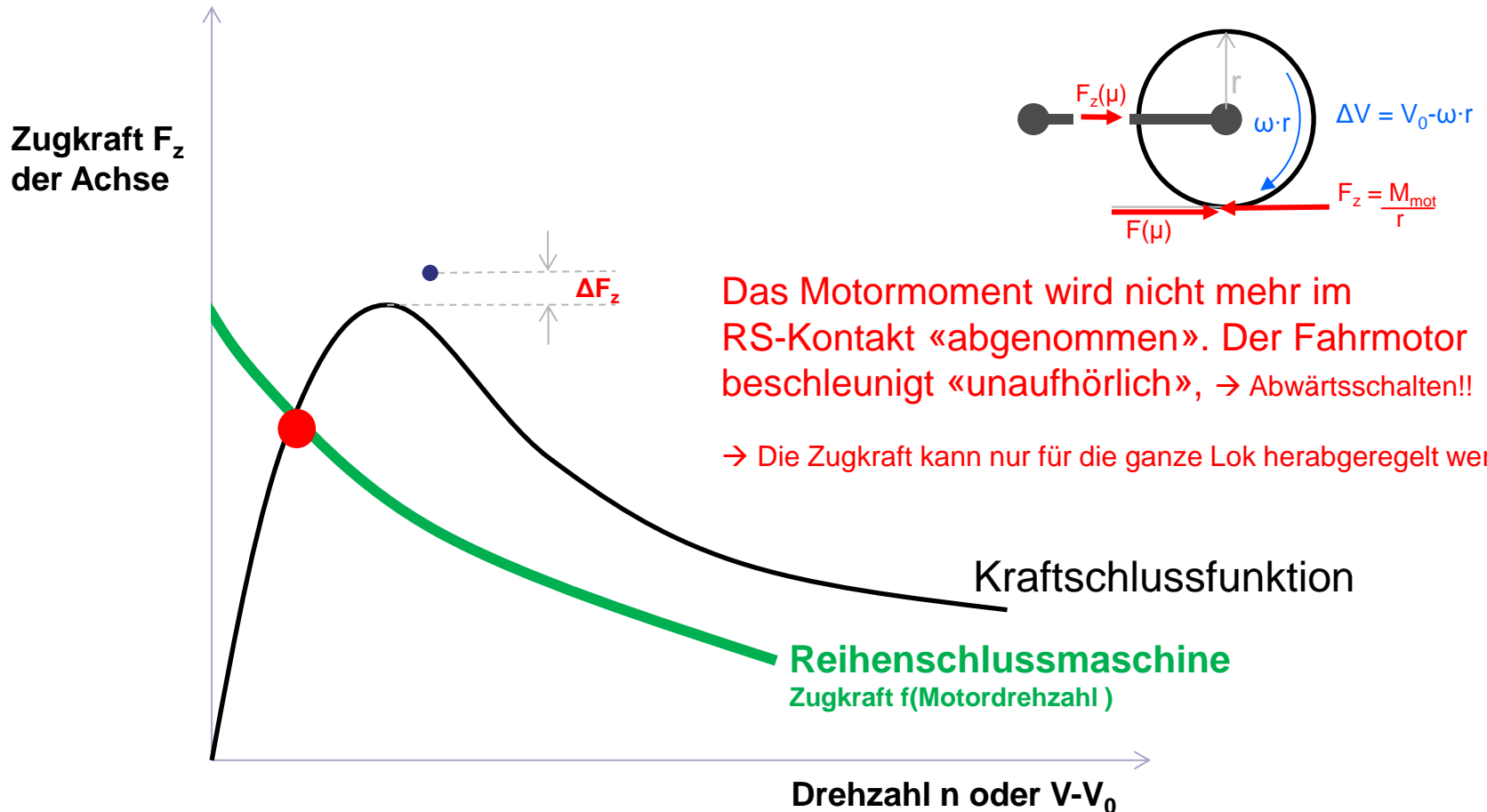
→ Ältere Maschinen fahren sogar in höheren Schlüpfen als heutige, ...ohne Schienenfehler. Wie das, was hat sich verändert?



# Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung

Wechsel auf Drehstromtechnik?, Schlupf als Auslöser?

→ Elektr. Traktionsantriebe im Verhalten des Arbeitspunktes: **Reihenschluss-FM**



Das Motormoment wird nicht mehr im RS-Kontakt «abgenommen». Der Fahrmotor beschleunigt «unaufhörlich», → Abwärtsschalten!!

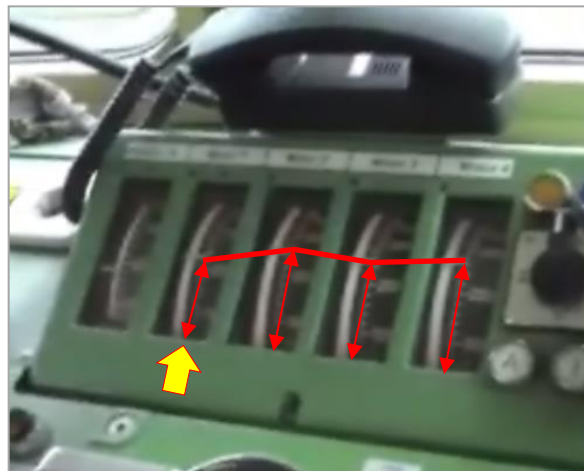
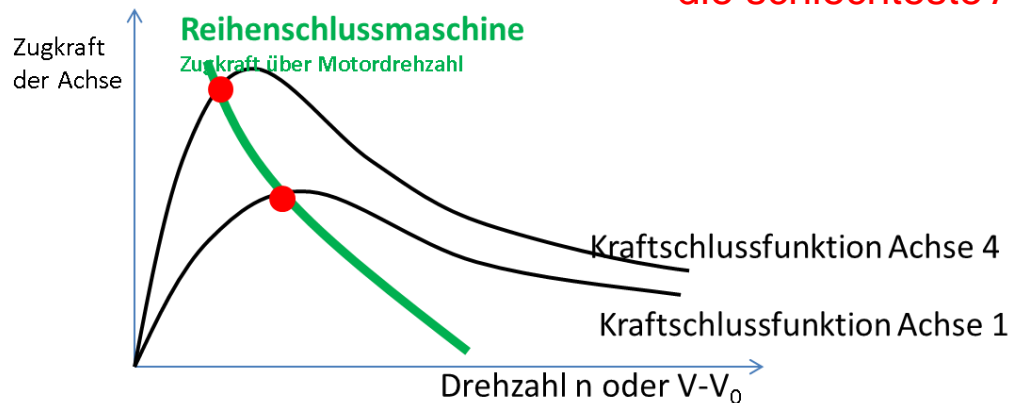
→ Die Zugkraft kann nur für die ganze Lok herabgeregelt werden.

# Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung

## Wechsel auf Drehstromtechnik?, Schlupf als Auslöser?

→ Charakteristik der Kommutator-Maschinen:

«die schlechteste Adhäsion bestimmt die Gesamt-Traktion»



Anfahren



Volle Leistung (Oberstrom beachten!)  
– fährt in Doppeltraktion mit 1216

Anfahrt ÖBB 1142



Youtube:  
Am Führerstand der ÖBB  
E-Lok 1142.619

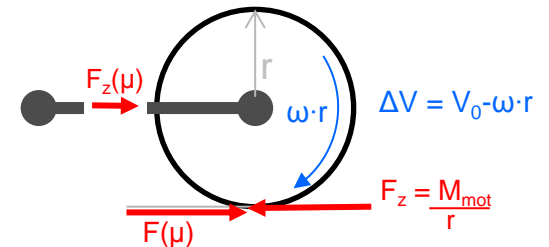
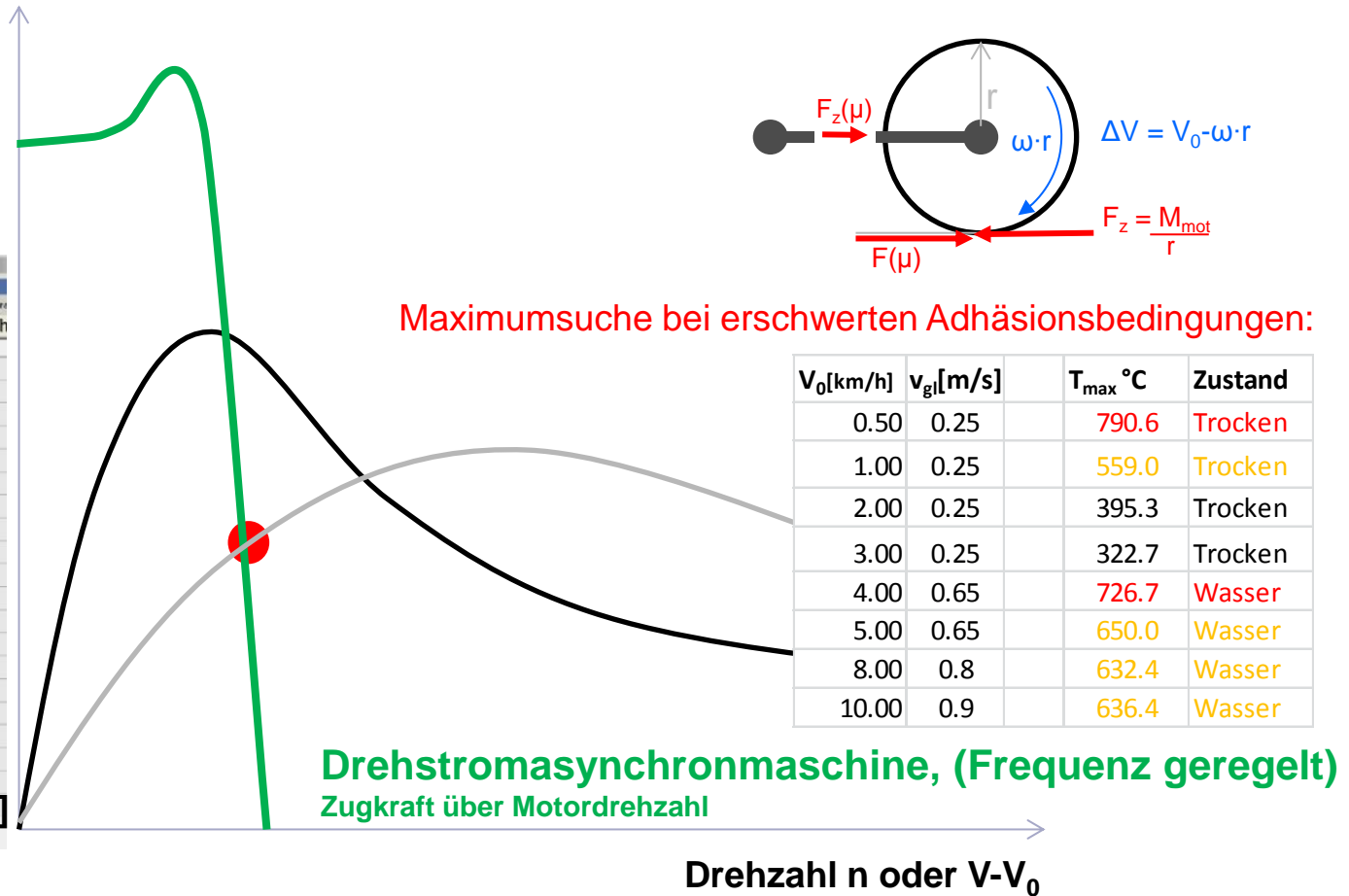
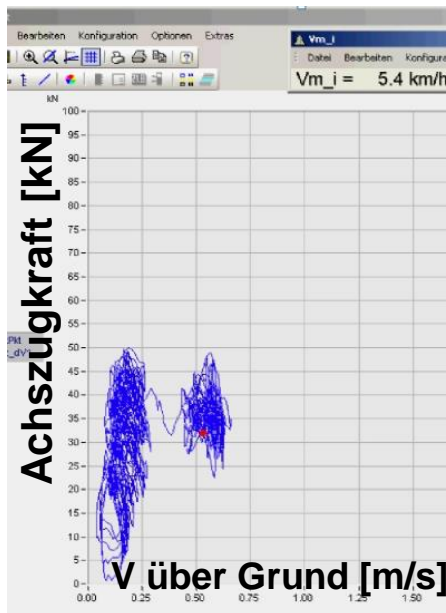


# Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung

Wechsel auf Drehstromtechnik?, Schlupf als Auslöser?

→ Elektr. Traktionsantriebe im Verhalten des Arbeitspunktes: **Drehstromasynchron-FM**

Zugkraft der Achse



# Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung

## Traktionstechnische Grundlagen im Verständnis der Entstehung von RCF

- Shakedown angewendet: Qualitative Zusammenhänge korrelieren mit Betriebs-erfahrungen. Erst mit Re 450/460 wurden HC im Netz der SBB erstmals beobachtet

BR:	P [MW]	Gew [t]	zul.Last [t] [10 ‰]	F <sub>zug</sub> [kN]	μ <sub>min</sub>	μ (Dauerzugkr)	Ø <sub>Rad</sub> [m]	p <sub>0</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	p <sub>0</sub> /k
Re 460	6.1	84	1470	144.207	0.175	0.334	1.100	870.000	3.46
Re 620	7.8	120	1800	176.58	0.150	0.200	1.260	818.000	3.25
Re 482	5.6	85	1470	144.207	0.173	0.360	1.250	836.000	3.33
Re 420	4.7	80	1180	115.758	0.148	0.213	1.260	818.000	3.25

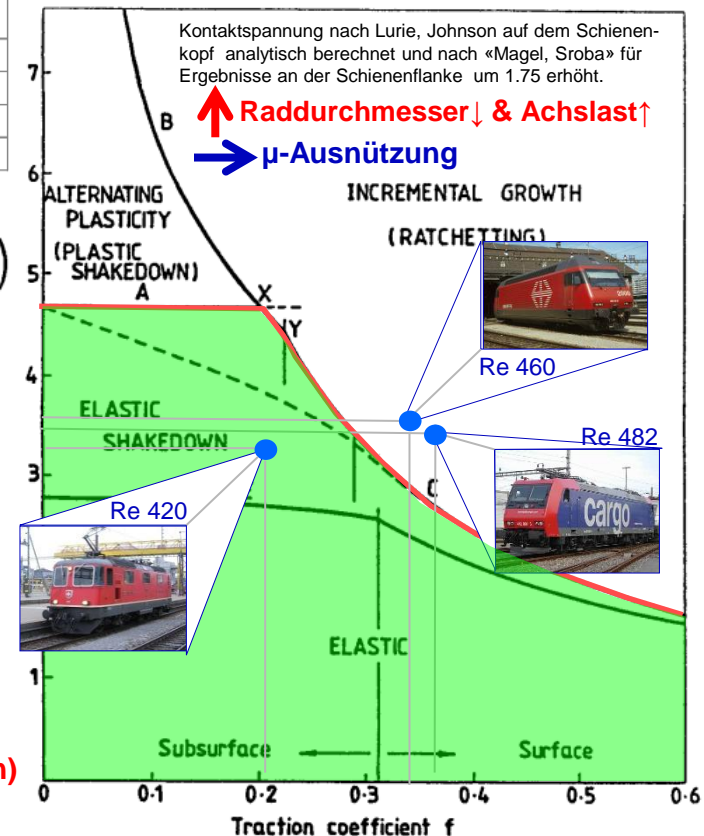
k<sub>s</sub> für Standardqualität 440 N/mm<sup>2</sup>

p<sub>0</sub> überhöht an der Schienenschulter Schienenradius ca. 30mm - Faktor 1.75

$$= \left( \frac{3P}{2\pi abk} \right)$$

- Neueren Maschinen mit Drehstromantrieben wird mehr angehängen / Beschleunigen rascher. Die μ-Ausnützung muss höher sein!
- 'Schlupf' als Ursache, die neuen Maschinen machen Makroschlupf ...

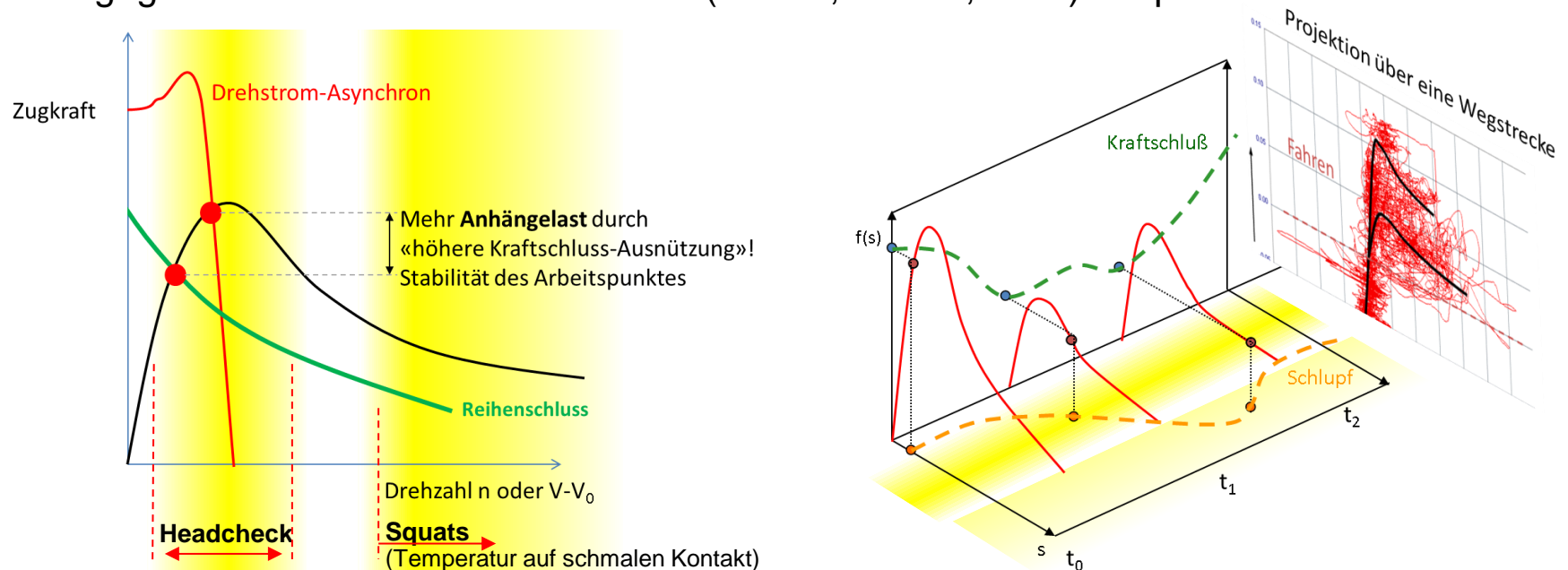
.. **NEIN, nicht beim Headcheck!** (Europ. Vollbahnen)



# Fazit: Traktionstechnik & Rollkontaktermüdung

## Wechsel auf Drehstromtechnik?, Schlupf als Auslöser?

- Nicht der Schlupf ist die Ursache für HeadChecks sondern die 'neue' stabile Führung des Arbeitspunktes bei zeitlich/örtlich veränderlichen Kraftschlussbedingungen gegenüber Kommutator-Maschinen (Re420, BR112, 1142) mit  $\mu \gg 0.27$ .



- Diese Stabilität der Führung erlaubt höhere  $\mu$ -Ausnutzung → höhere Anhängelasten
- Speziell darf nie vergessen werden, dass es nur Orts-(Fahrzeit) bezogen einen Kraftschlusswert gibt. Die Kraftschlussfunktion ist stets nur die Projektion des Weges!

**Die gute alte Zeit kommt nicht mehr zurück.**

# Zusammenfassung

- 1) Das Verstehen der Fahrzeug – Fahrweg – Wechselwirkungen ist ein zentrales Element im Fahrbahn Anlagenmanagement der Bahnen des 21. Jahrhunderts.  
*Ein neues Eigenverständnis von Forschung + IT im Unternehmen ist zwingend nötig.*
- 2) SBB verwendet in der RCF-Prognose empirische, einfache Gesetzmässigkeiten und entwickelt diese fort. Grundsatz: «Wieviel Kontaktierung hat es vertragen»
- 3) Systemhersteller formulieren vielleicht zukünftig klarere Wartungsanleitungen (*Beipackzettel*) für ein abgestecktes Systemumfeld?
- 4) Traktionstechnische Effekte und betriebsoperative Fragen sind speziell für gezielte RCF-Behandlung zu berücksichtigen, wenn sich Pflege per Giesskanne verbietet. Nur so erschliessen sich eine Reihe von Fehlerformen ... aber auch nicht alle!
- 5) *Die gute alte Zeit kommt nicht mehr zurück*, hochausnützende Fahrzeuge bilden das Rückgrat heutiger Zugförderungstechnologie (Last, Beschleunigung).
- 6) Die Infrastrukturen schweigen nicht zu den Veränderungen auf der Fahrzeugseite! Der Weg kann nur über Kostentransparenz führen, aber dem Trassenpreisanreiz ist die Netzpflege vorangestellt. Mit den gleichen Schädigungs-Gesetzmässigkeiten schreibt man die Rechnung ☺.

***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**