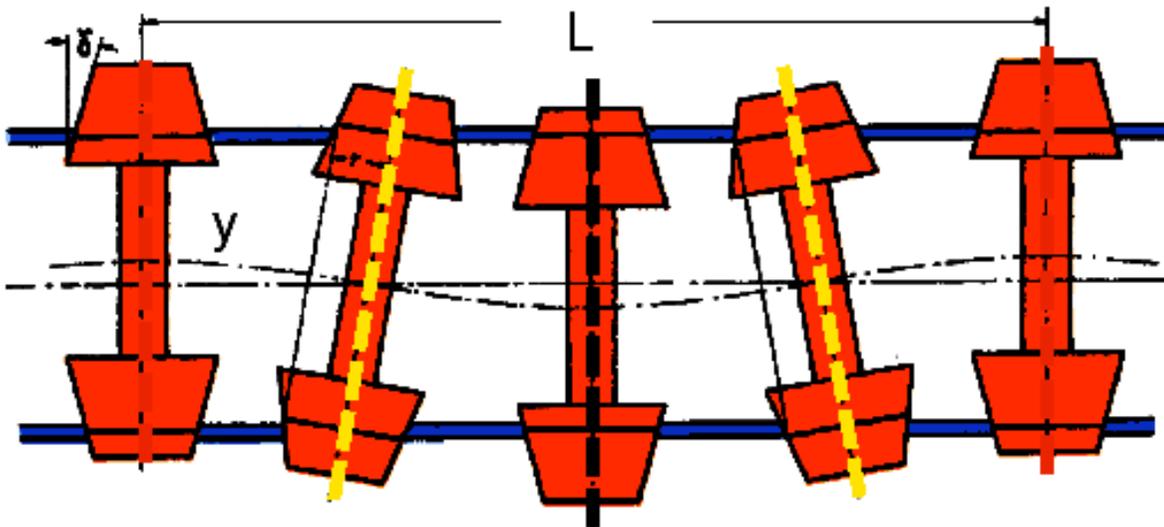
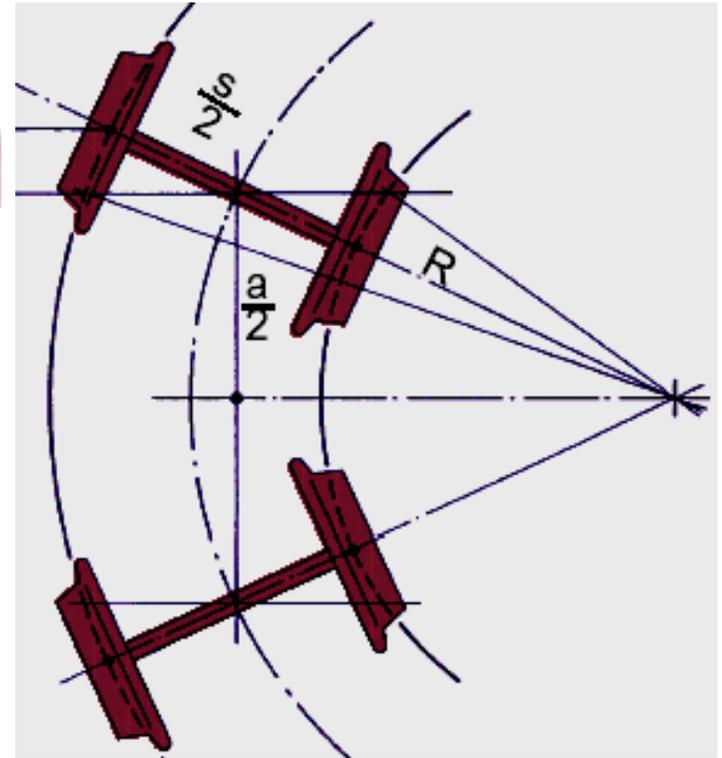


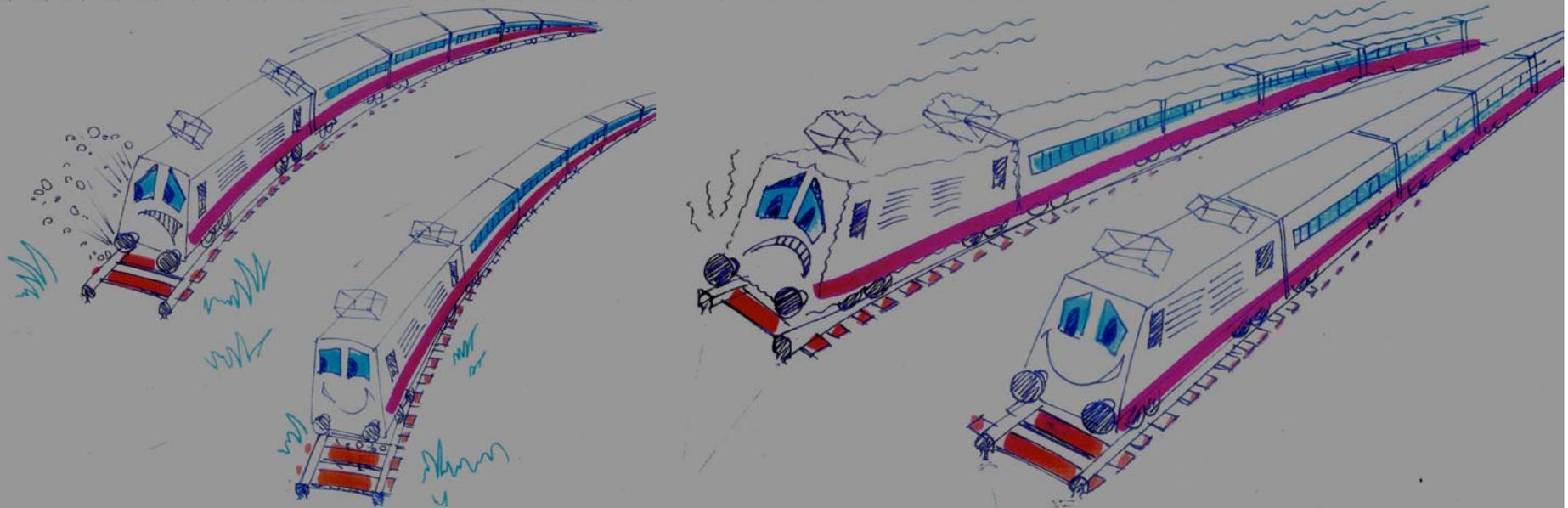
Kinematische Interaktion

Rad-Schiene



Zielsetzungen:

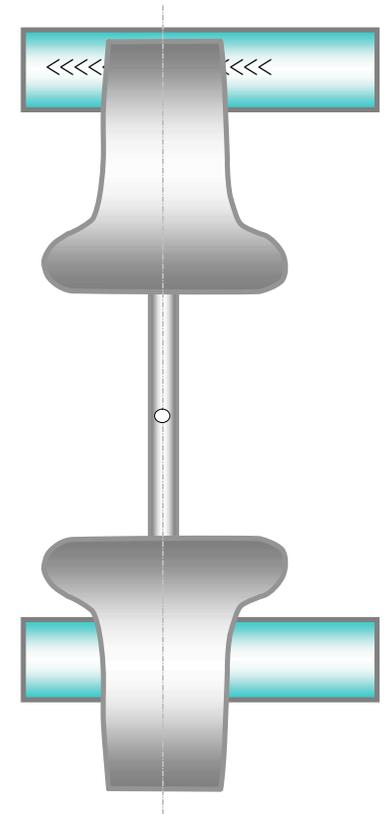
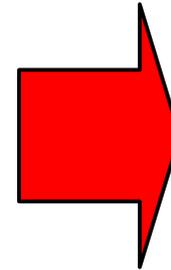
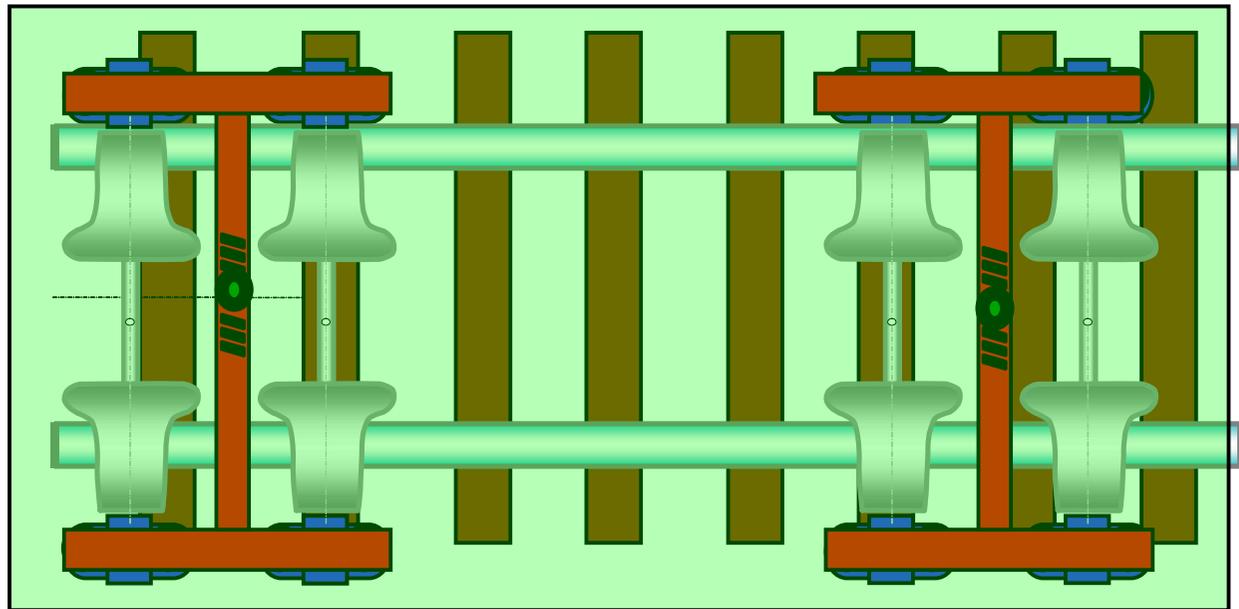
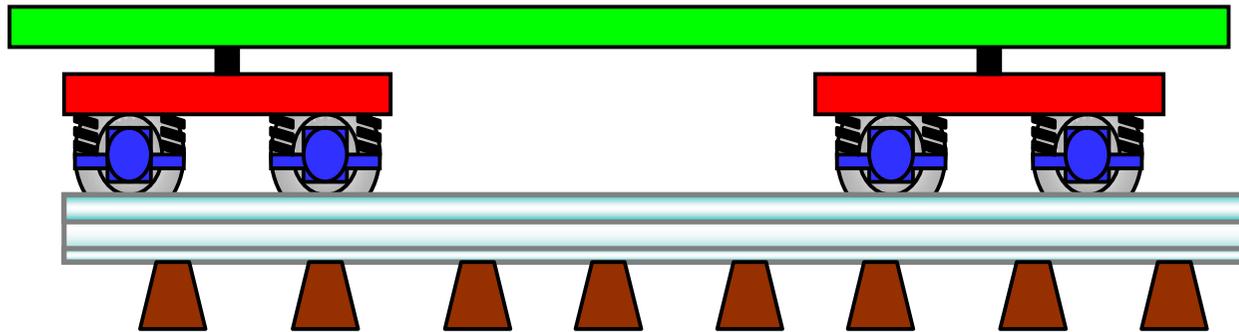
- Geringe Rad-Schienenkräfte im Bogen
- gutes Verhalten auf geraden Strecken



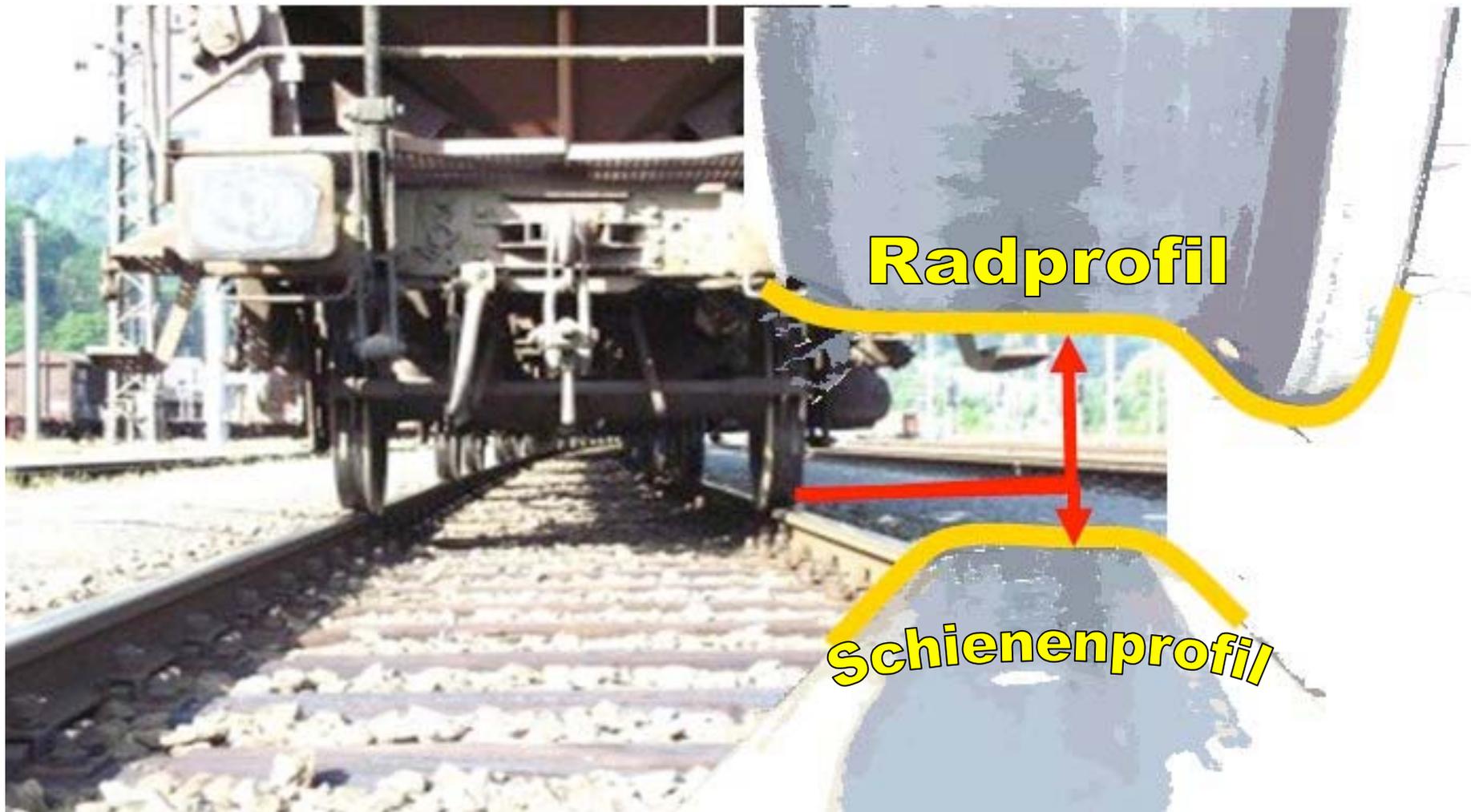
Kinematik

Die Kinematik (kinema, griechisch für Bewegung) ist die Lehre von der mathematischen Beschreibung der Bewegung von Punkten und Körpern mit Hilfe der Größen **Weg**, **Geschwindigkeit** und **Beschleunigung** im Raum, ohne auf die Ursachen einer Bewegung einzugehen. Sie ist neben der Statik und der Dynamik ein Teilgebiet der Mechanik.

Kinematische Modellvorstellung: Fahrzeug wird auf einen Radsatz reduziert

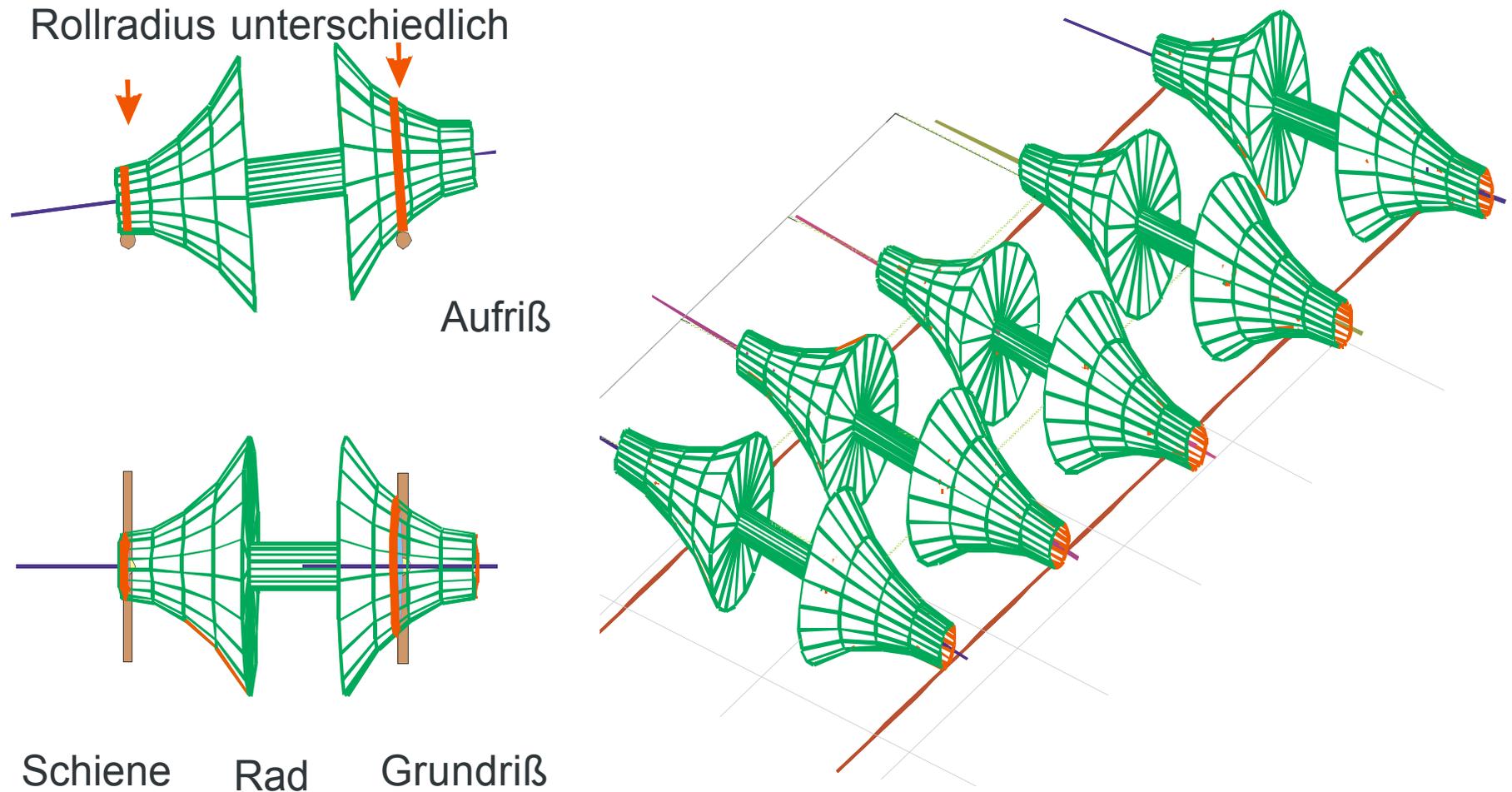


In diesem Modell wird also weder das Fahrzeug noch der Fahrweg mit all seinen Konstruktionselementen betrachtet, sondern nur die Profile eines einzelnen Radsatzes und eines einzelnen Gleisquerschnittes. Damit gehen unter anderem die Eigenschaften der Fahrzeugkonstruktion und des Fahrwegs vollständig verloren. Aus diesem Grunde ergeben sich mit Hilfe dieses Modells zunächst auch keine Aussagen über das tatsächliche Verhalten von Fahrzeugen.



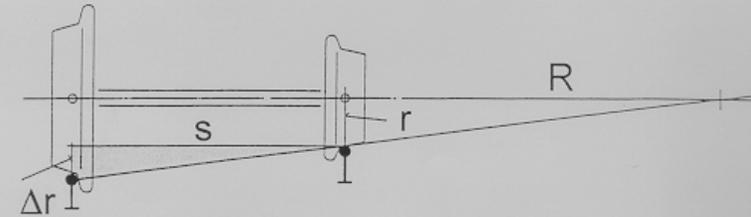
Kinematisches Verhalten des Radsatzes im Bogen

Rollradiendifferenz zwischen bogeninnerem und bogenäusserem Rad desselben Radsatzes als Voraussetzung für das Wendevermögen des Radsatzes



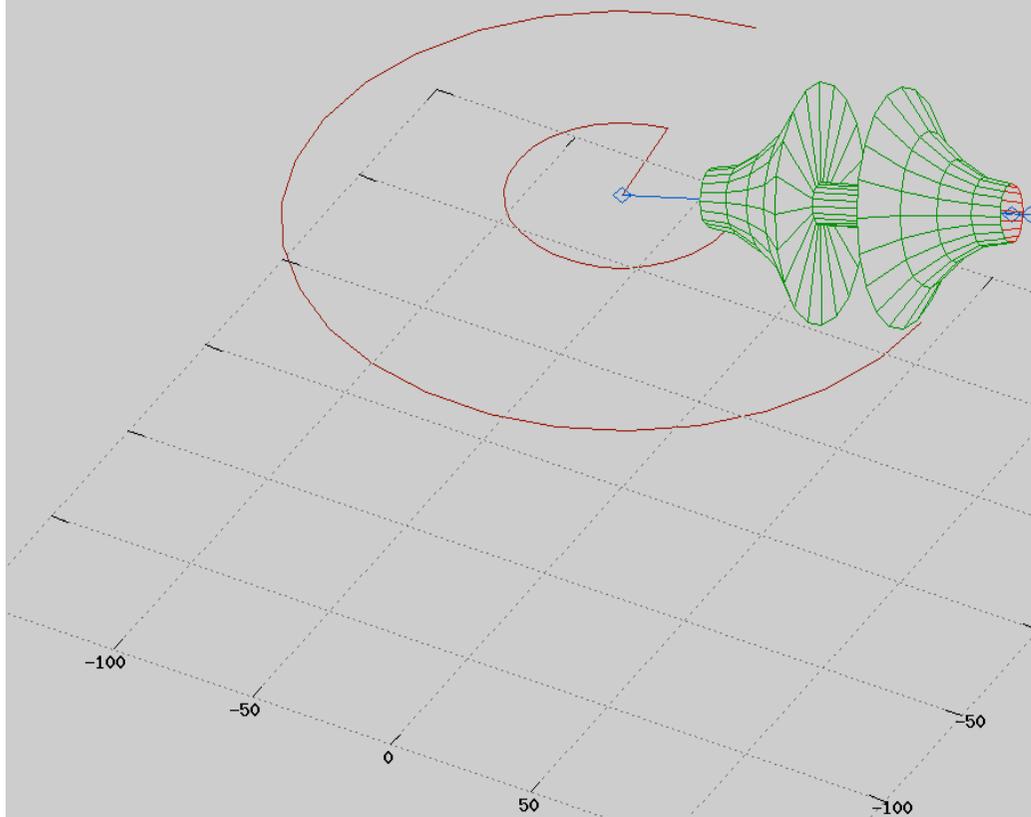
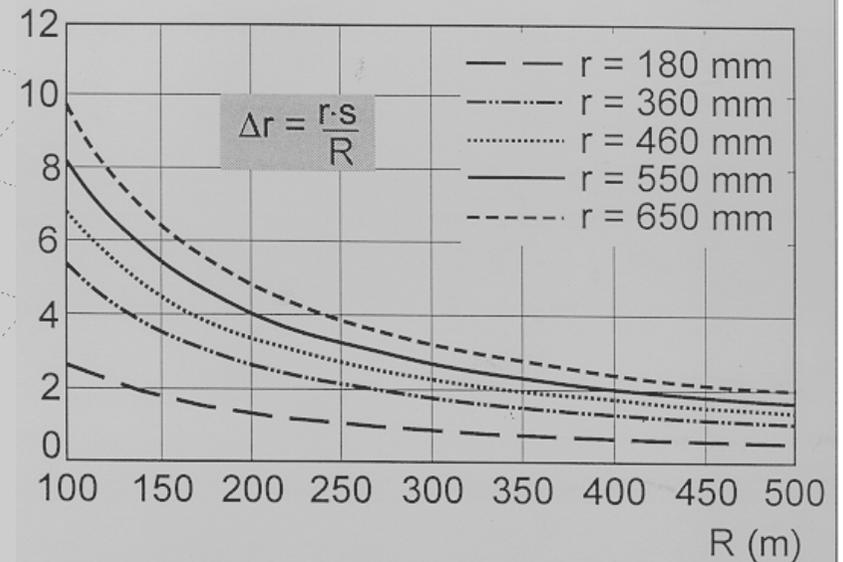
Kinematisches Rollen im Bogen

Erfüllung der kinematischen Abrollbedingung im Bogen



- R = Bogenhalbmesser
- s = Abstand der Laufkreise der Räder eines Radsatzes
- r = Halbmesser des Rades im Laufkreis
- Δr = Radiusdifferenz der Räder eines Radsatzes

Δr (mm)

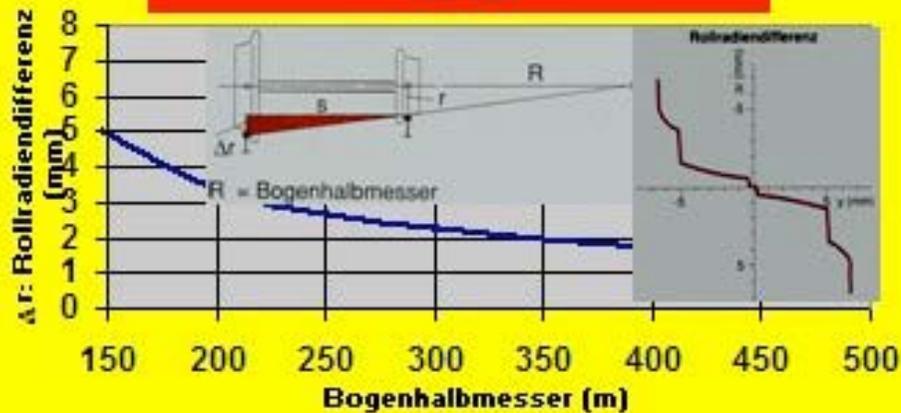


Experimentelle Ermittlung des kinematischen Verhaltens der Radsätze in Bögen

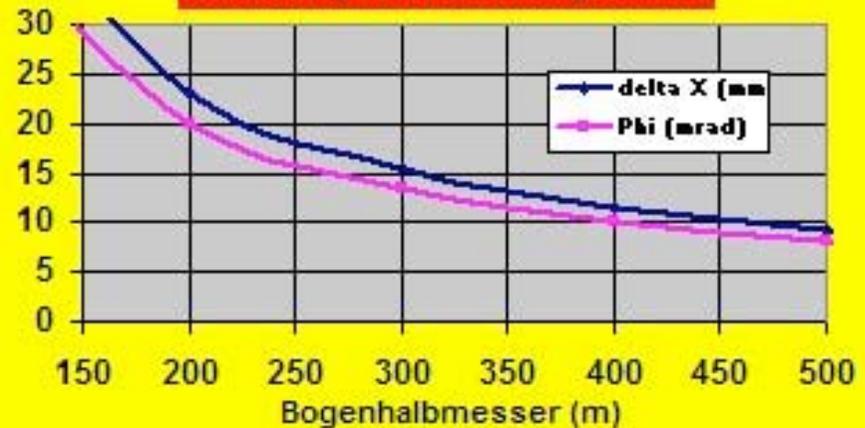
Ziel: Überprüfung der Radialeinstellung der Radätze und Rückschlüsse auf die Berührungsgeometrie in den Bögen



Δr erforderlich für das kinematische Abrollen der Radsätze

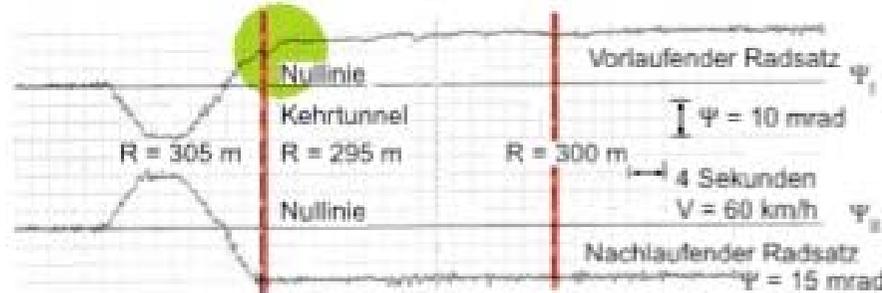


Ausdrehung bzw. Auslenkung Radsatz

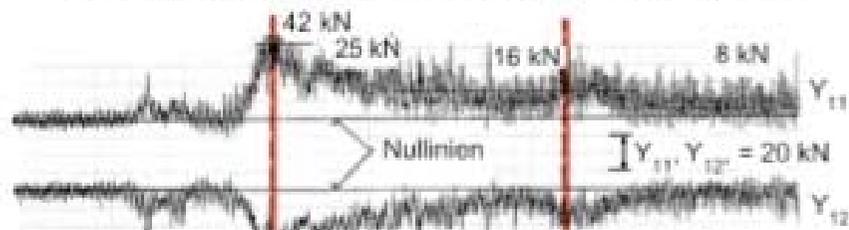


- Ausdrehwinkel Kasten/Radsatz vor- und nachlaufender Radsatz
- Führungskräfte am vorlaufenden Radsatz

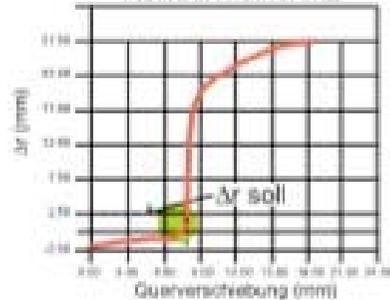
Ausdrehwinkel Ψ zwischen Fahrzeugkasten und den beiden Radsätzen



Einzelradkräfte waagrecht/quer am vorlaufendem Radsatz



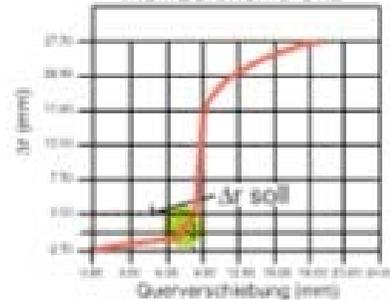
Rollradiendifferenz



Berührungszuordnung



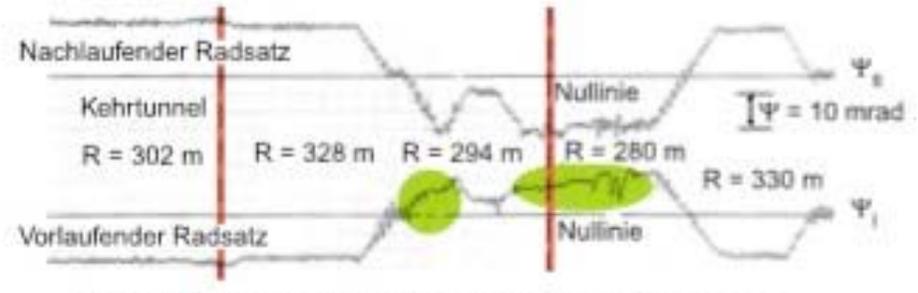
Rollradiendifferenz



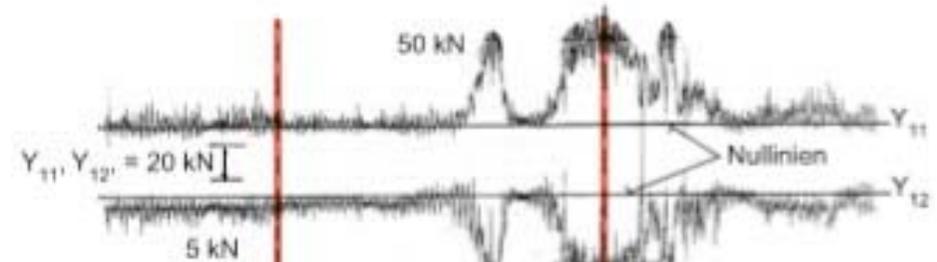
Berührungszuordnung



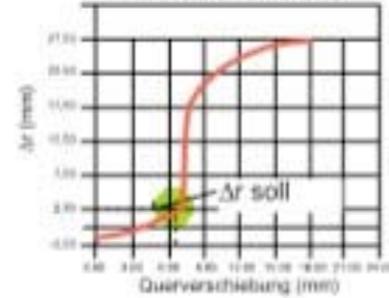
Ausdrehwinkel Ψ zwischen Fahrzeugkasten und den beiden Radsätzen



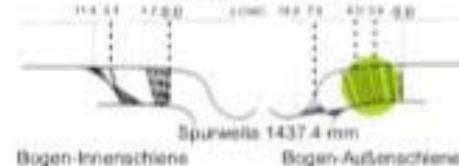
Einzelradkräfte waagrecht/quer am vorlaufendem Radsatz



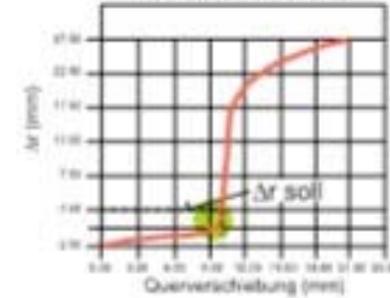
Rollradiendifferenz



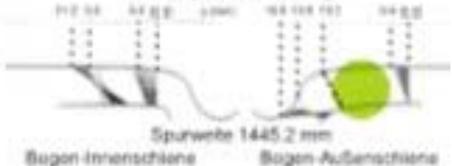
Berührungszuordnung



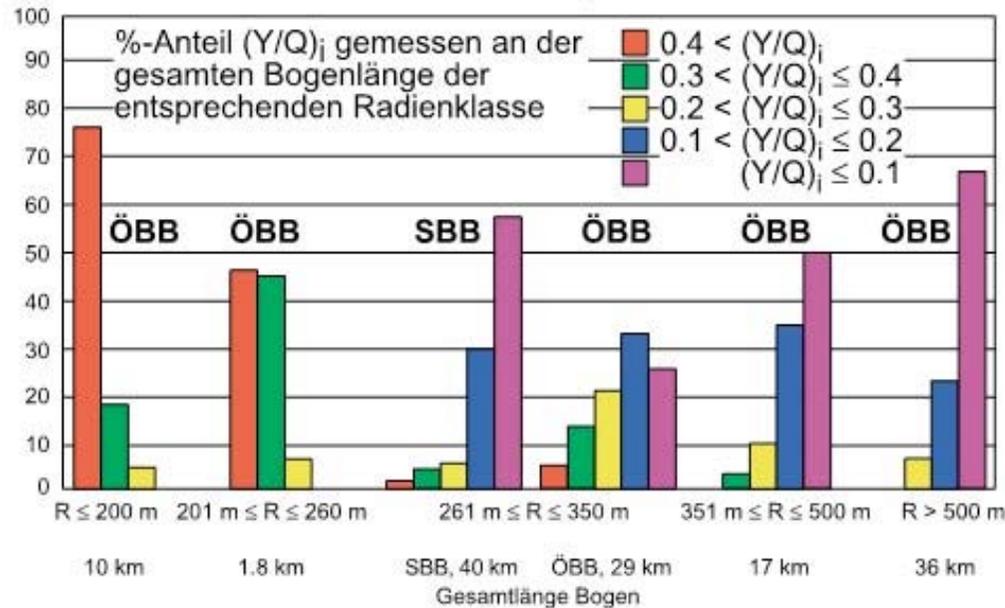
Rollradiendifferenz



Berührungszuordnung



**Prozentuale Verteilung der $(Y/Q)_i$ -Werte
in den verschiedenen Bogenradienklassen**

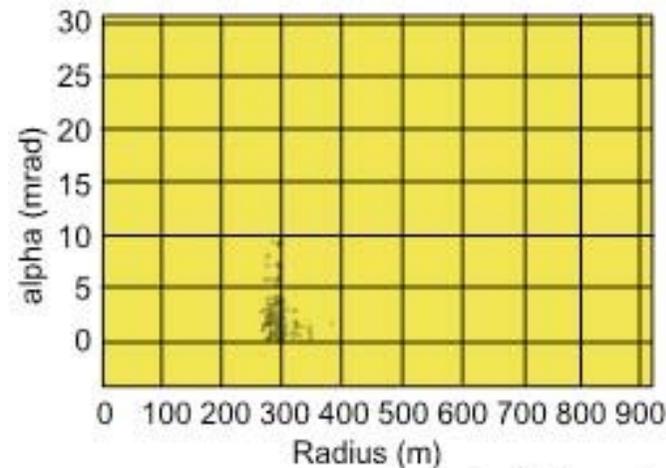


**Ergebnisse der Messungen
mit dem 2-achsigen Güterwagen Hbbillns**

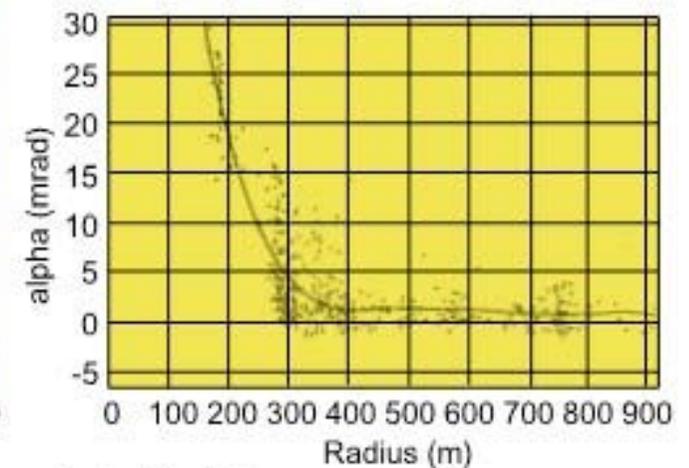
Messungen auf der Gotthardstrecke der SBB
und auf der Südbahnstrecke der ÖBB.

**Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene
in Funktion des Bogenhalbmessers**

Messungen bei der SBB

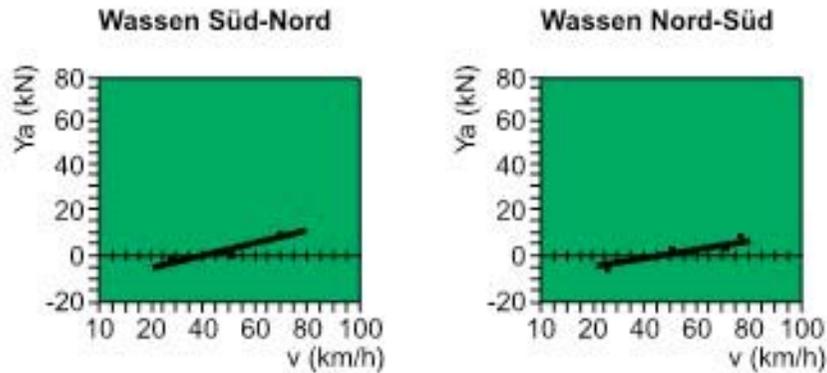


Messungen bei der ÖBB

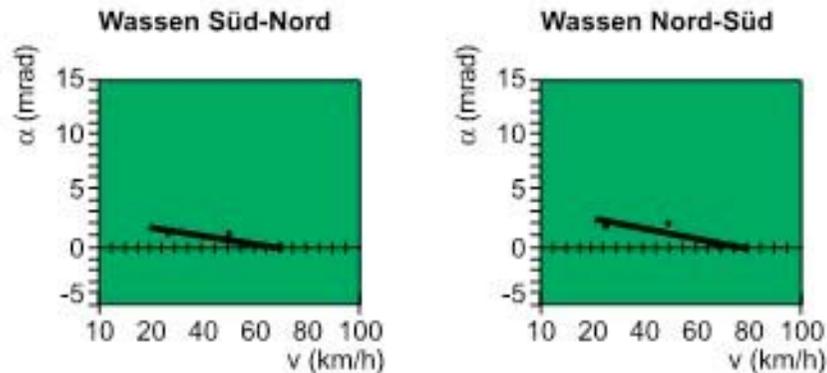


$\alpha > 0 \Rightarrow$ unterradiale Einstellung
 $\alpha = 0 \Rightarrow$ radiale Einstellung
 $\alpha < 0 \Rightarrow$ überradiale Einstellung

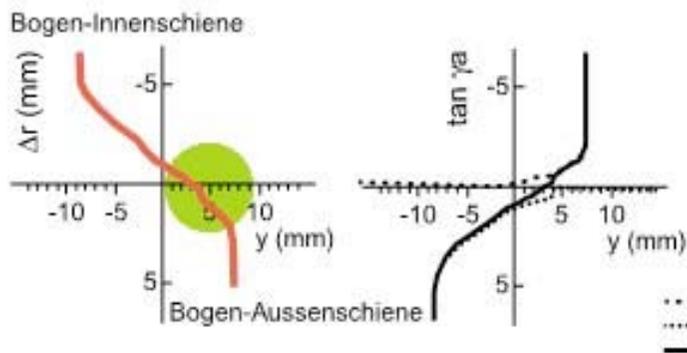
Kinematische Rollbedingung erfüllt



Einzelkräfte waagrecht-quer des vorlaufenden Bogen-Außenrades



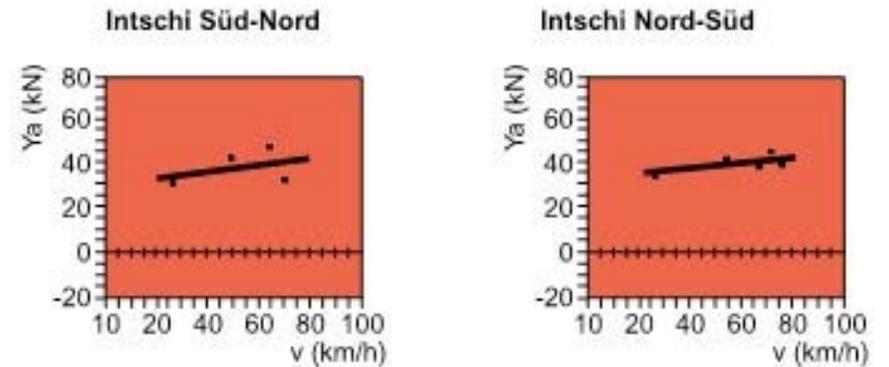
Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene des vorlaufenden Radsatzes



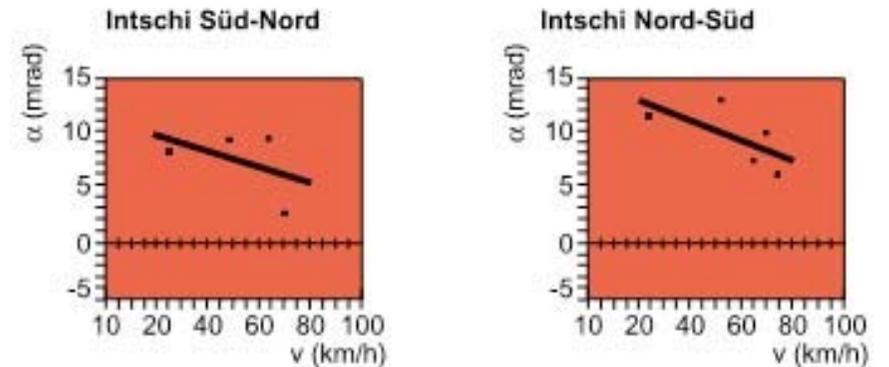
Rollradiendifferenz

Kontaktwinkel

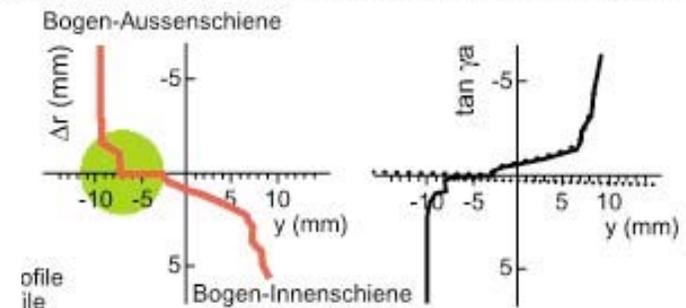
Kinematische Rollbedingung nicht erfüllt



Einzelkräfte waagrecht-quer des vorlaufenden Bogen-Außenrades



Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene des vorlaufenden Radsatzes

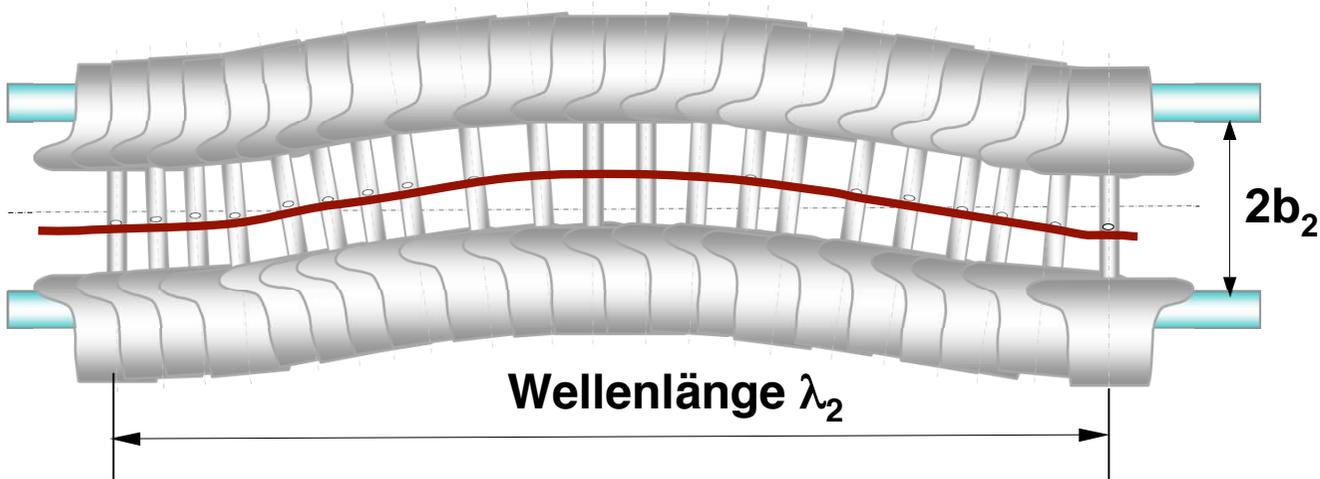
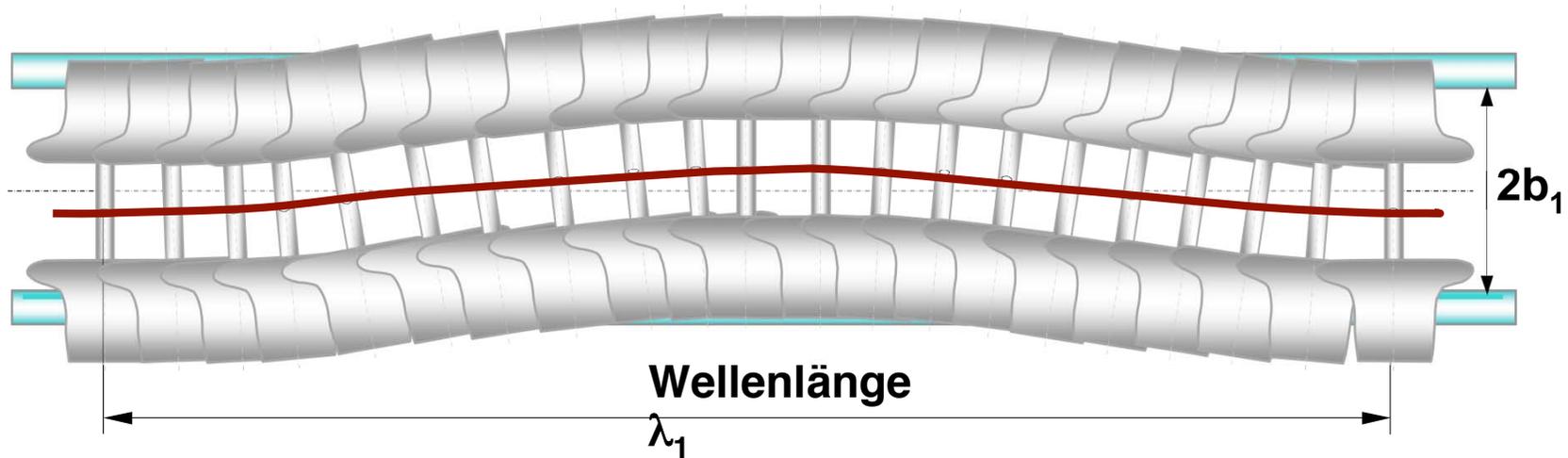


Rollradiendifferenz

Kontaktwinkel

300ω ~ 000030 - 02700000

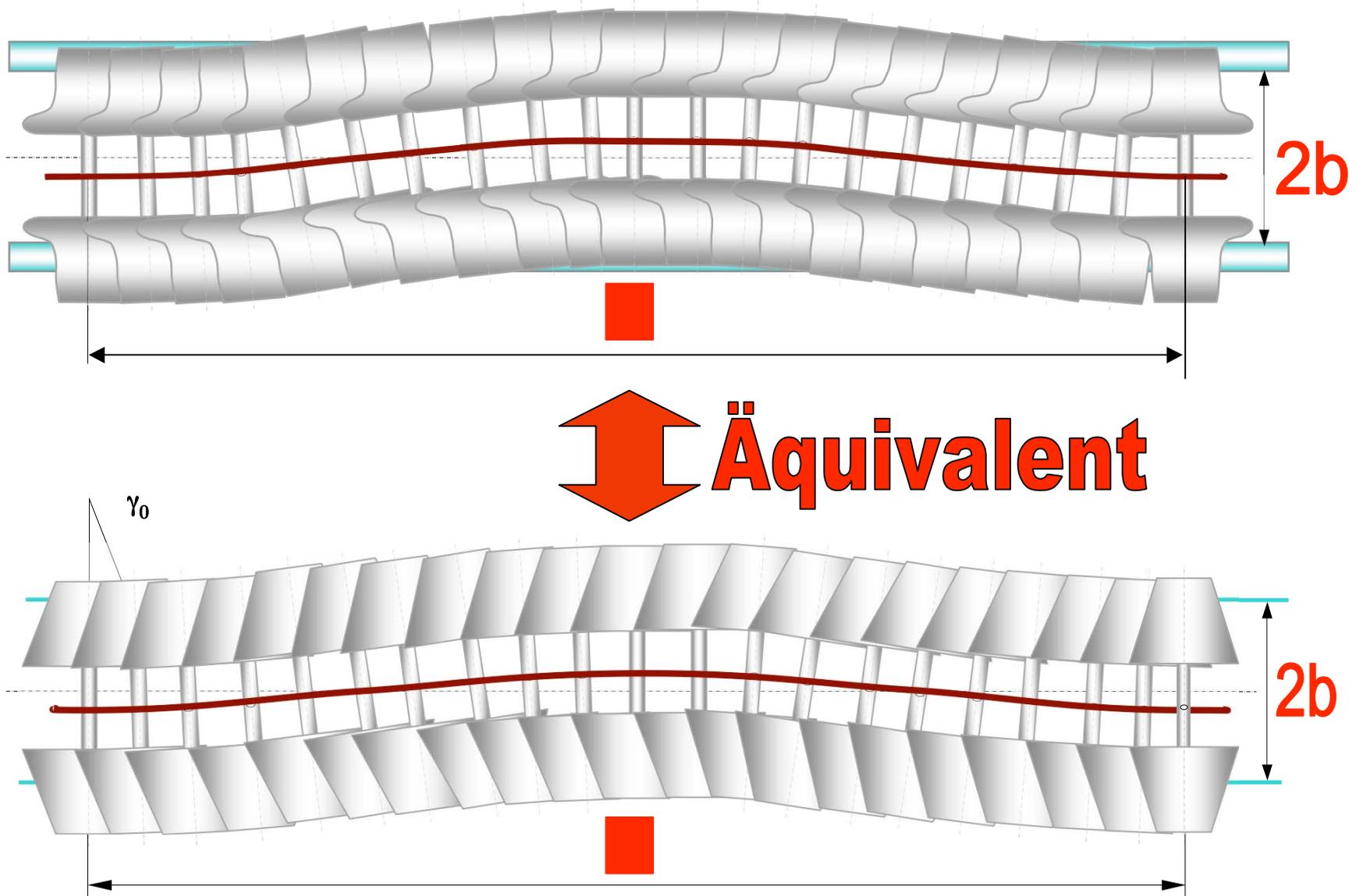
Kinematisches Rollen des Radsatzes in der Geraden



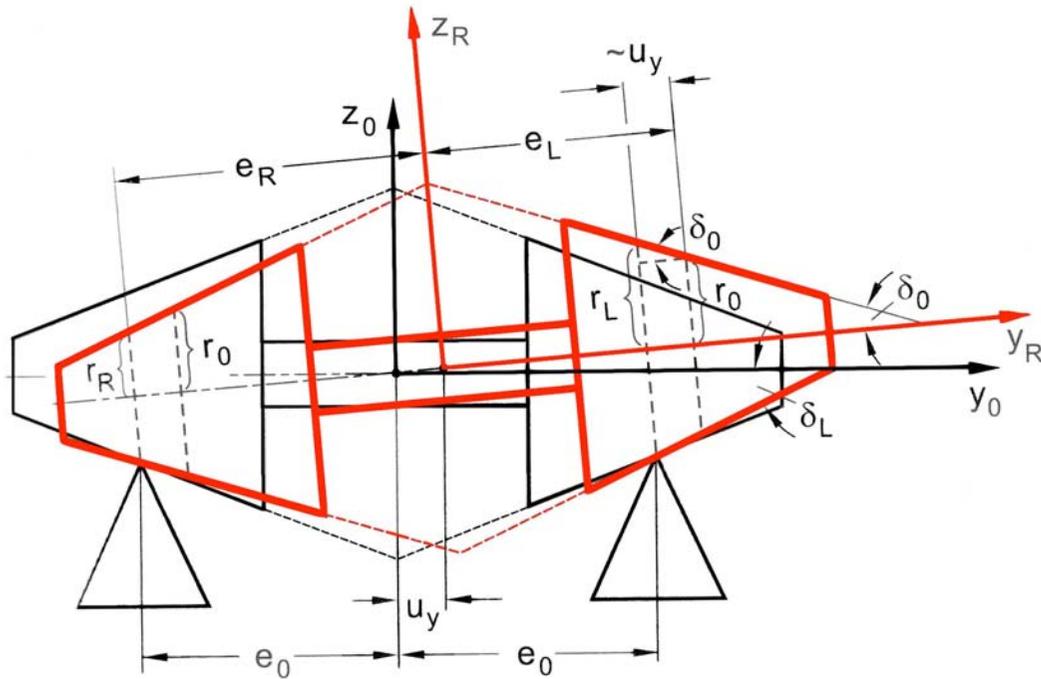
Spurweite
 $b_1 > b_2$
↓
Wellenlänge
 $\lambda_1 > \lambda_2$

Vereinfachungen zum anschaulichen Verständnis

In der Geraden wird das Wendeverhalten des einzelnen Radsatz mit dem tatsächlichen Profil mit dem Wendeverhalten eines Radsatz mit kegeligem Radsatz verglichen. Die Größe „äquivalente Konizität“ beschreibt dieses Wendeverhalten.

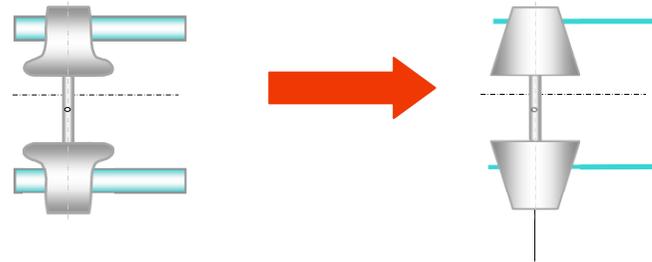


Modellvorstellung



Vereinfachung

Realer Radsatz auf realen Schienen wird vereinfacht zu einem Radsatz mit einem Doppelkonusprofil welcher auf Schienen reduziert zu Schneidenlagerungen rollt



- Vorhandenes Radprofil
- Vorhandenes Schienenprofil
- Starrer Radsatz

- Radprofil kegelig
- Schienenprofil zwei Schneiden
- Starrer Radsatz

Differentialgleichung

$$\frac{d^2 u_y}{dx^2} + \frac{\Delta r(u_y)}{e_0 \cdot r_0} = 0 \quad \text{mit} \quad \Delta r = 2 \cdot u_y \cdot \tan \delta_0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2 u_y}{dx^2} + \frac{\tan \delta_0}{e_0 \cdot r_0} u_y = 0$$

Lösung

$$\text{Wellenlänge } L = 2\pi \sqrt{\frac{r_0 \cdot e_0}{\tan \delta_0}}$$

$$\text{Frequenz } f[\text{Hz}] = \frac{V}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot \tan \delta_0}{r_0 \cdot e_0}}$$

Bewegungsgleichung des Radsatzes

$$u_y = \alpha_{\max} \sqrt{\frac{e_0 r_0}{\delta_0}} \sin\left(x \sqrt{\frac{\delta_0}{e_0 r_0}}\right)$$

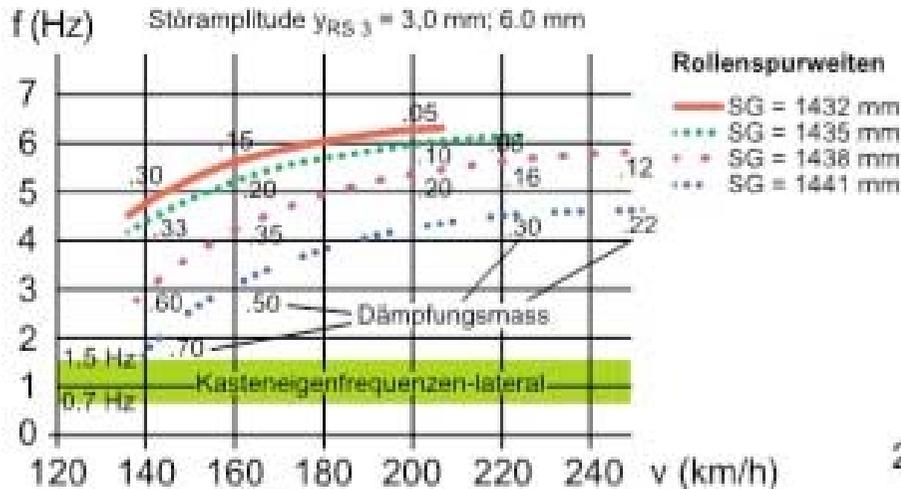
Laufruhe des Radsatzes mit $V = f * L$

$$\ddot{u}_y = -\alpha_{\max} V^2 \sqrt{\frac{\tan \delta_0}{e_0 r_0}} \sin\left(x \sqrt{\frac{\tan \delta_0}{e_0 r_0}}\right)$$

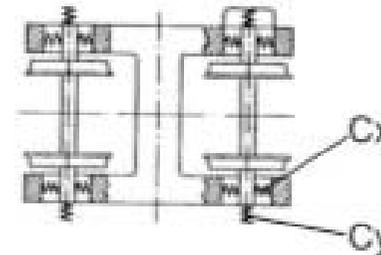
Aufgrund der obigen Formelbeziehungen ergibt sich, dass eine Verkleinerung des Kegelwinkels δ_0

- eine Vergrößerung der Wellenlänge L aber auch der Radsatz Amplitude $u_{y\max}$ erfolgt,
- eine Verkleinerung der Frequenz f bewirkt wird,
- eine Beruhigung des Radsatzlaufes \ddot{u}_y erfolgt

Eigenverhalten eines Fahrzeugs auf dem Rollprüfstand Kinematische Frequenz und Dämpfung der Radsatzquerbewegung (Sinuslauf)

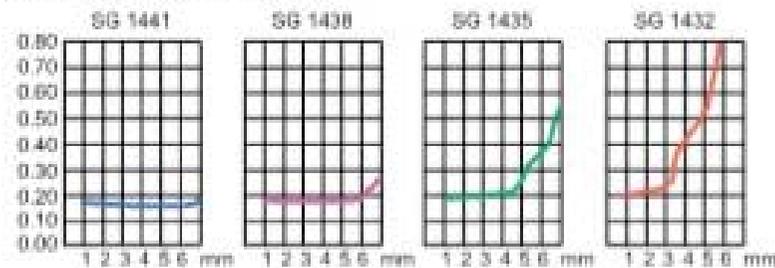


Stabilitätsverhalten unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit und Berührungsverhältnisse, Darstellung der Eigenwerte und geringster Dämpfung (Stabilitätskarte)

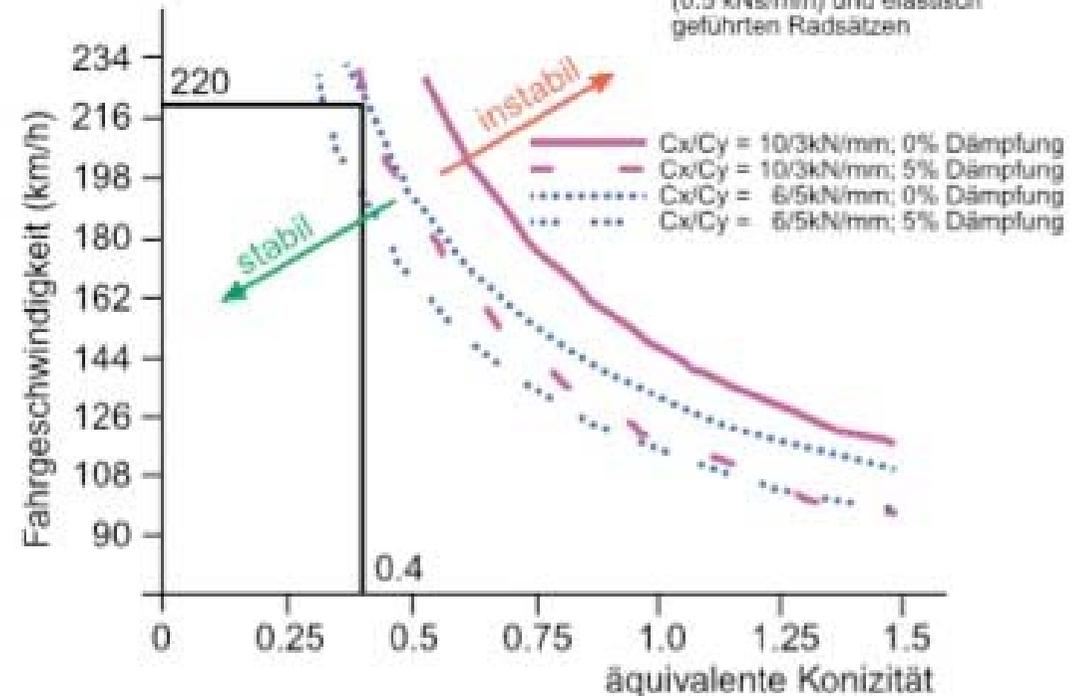


- Reibwert $\mu = 0,3 \text{ mm}$
- Fahrzeug mit Schlingendämpfer (0,5 kNs/mm) und elastisch geführten Radsätzen

äquivalente Konizität

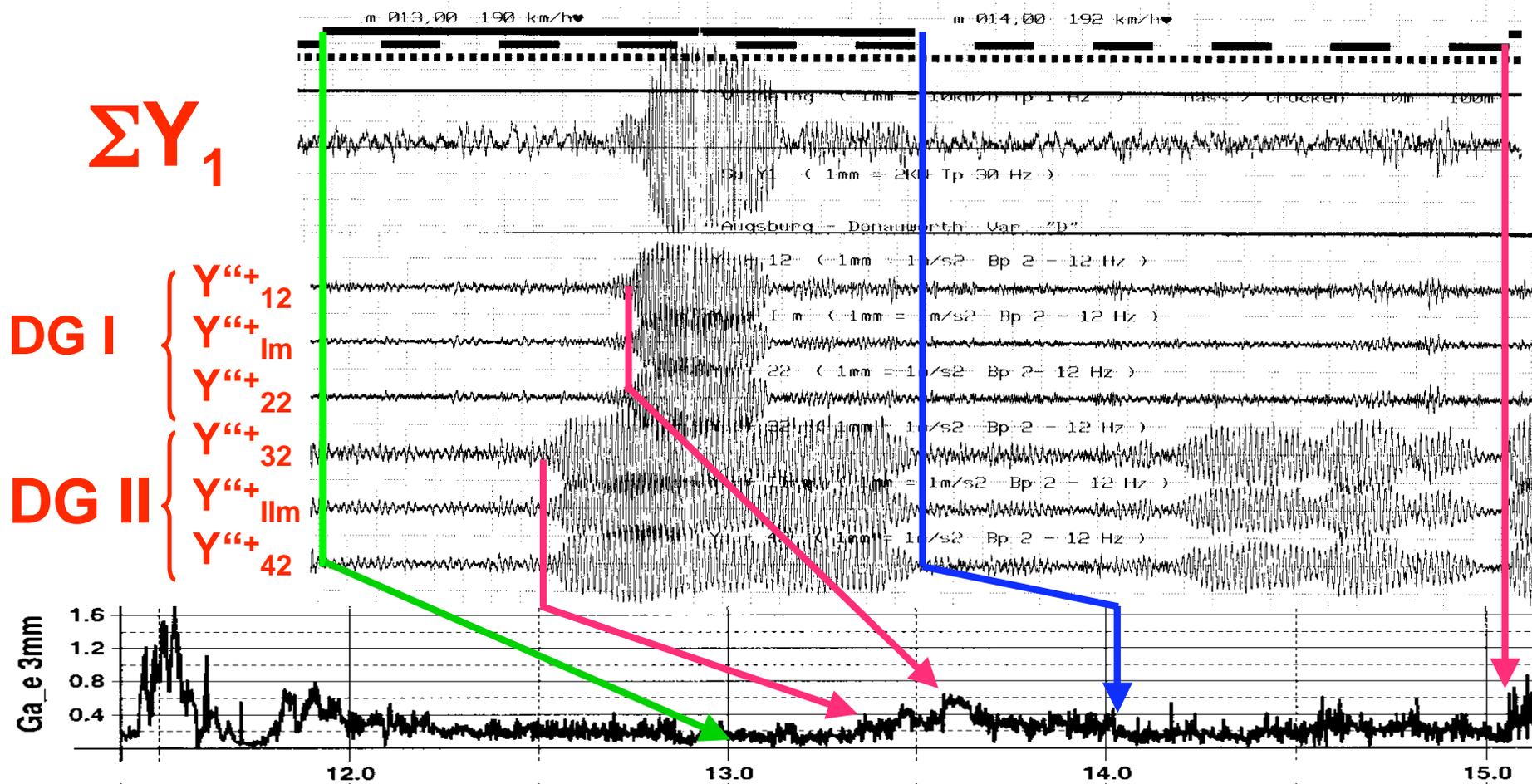


Dämpfungsmasse



Fahrzeugreaktionen

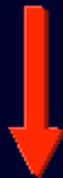
Berührungsgemietrisches Auslösen und Löschen von Instabilitäten



Profilpaarung in Abhängigkeit der Problemstellung

Unterschiedliche Kombinationen und deren Bedeutung

Reales Radprofil
mit realem
Schienenprofil



Verhalten eines bestimmten Fahrzeugs auf einer festgelegten Strecke. Beispiele:

- Fahrzeug zeigt auf dieser Strecke systematisch ungünstiges Verhalten
- Fahrzeugserie zeigt auf dieser Strecke systematisch ungünstiges Verhalten
- Radprofile haben sich systematisch verändert

Reales Radprofil
mit theoretischem
Schienenprofil



Veränderung der Radprofile werden sichtbar gemacht. Beispiele:

- Fahrzeugserie zeigt systematisch ungünstiges Verhalten
- Veränderung von Radprofilen infolge des Befahrens von Netzen mit gemischten Schienenneigungen

Theoretisches Radprofil
mit realem
Schienenprofil



Veränderungen der Schienenprofile werden sichtbar gemacht. Beispiele:

- Veränderungen auf geraden Strecken und auf Bogenstrecken
- Schienenkopfformen auf geraden Strecken
- Schienenkopfformen auf Bogenstrecken

Theoretisches Radprofil
mit theoretischem
Schienenprofil



Vergleich verschiedener Rad- und Schienenprofile untereinander. Beispiele:

- Unterschiedliche Radprofile (ORE S 1002, SBB 32.3, P8, usw.)
- Unterschiedliche Schienenprofile (UIC 60, UIC 54E, usw.)
- Unterschiedliche Schienenneigungen (1/40, 1/20)



Beherrschung des Rad-/Schienensystems und von dessen Veränderungen an Fahrweg und Fahrzeug