



SIEMENS

# Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen Torsionsmoment

42. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge 2014“  
Graz, 07. - 10. September 2014

Franz-Josef Weber  
Siemens  
IC RL LOC BG EN SDE

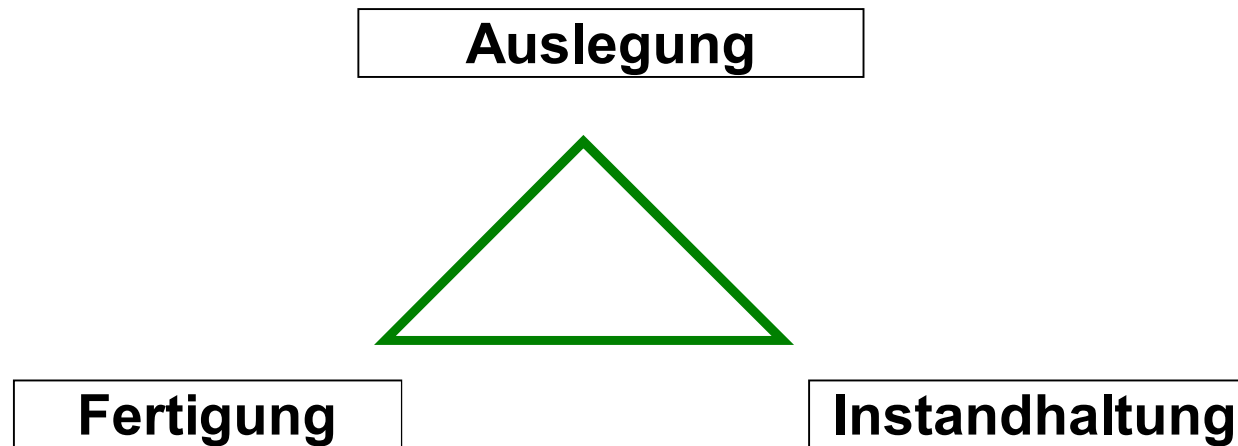
Frei verwendbar © Siemens AG 2014 Alle Rechte vorbehalten.

2014

Answers for infrastructure and cities

Franz-Josef Weber / IC RL LOC BG EN SDE

## Sicherheitskonzept für Radsätze



**Durch das Zusammenwirken der drei Elemente „Auslegung“, „Fertigung“ und „Instandhaltung“ wird ein sicherer Betrieb der Radsätze erreicht.**

## Sicherheitskonzept einzelner Maschinenelemente im Radsatz

### Integrität Radsatzwelle

**Auslegung**  
**EN 13103**  
**EN 13104**



**Fertigung**  
**EN 13260**  
**EN 13261**

**Instandhaltung**  
**EN15313**

### Integrität Pressverband Rad/Welle

**Auslegung**  
**EN13260**  
**EN 15827**



**Fertigung**  
**EN 13260**

**Instandhaltung**  
**EN15313**

## Modell für die Auslegung

### Modell für Lasten

- Tragen
- Führen
- Antreiben, Bremsen
- Eigenverhalten

### Sicherheitsfaktor

- Unsicherheiten Modell Lasten
- Unsicherheiten Zusammenhang  
Last-Beanspruchung
- Unsicherheiten Beanspruchbarkeit

### Modell Beanspruchbarkeit

- Festigkeit Welle – Schaft
- Festigkeit Welle – Hohlbohrung
- Festigkeit Welle – Sitze
- Festigkeit Pressverband

**Empirisches Modell kann nicht bewiesen, sondern nur falsifiziert werden**

**Modell wird durch Normung oder durch Beschluss anerkannt**

## Torsion in Radsatzwellen

### Integrität Radsatzwelle

Beanspruchbarkeit:  
EN 13104

Lastannahme  
EN 13104 Tabelle 3  
EN 13104 Tabelle 5

Verifikation Lastannahme  
Messung nach  
Spezifikation "Messung  
und Auswertung von  
Torsionsschwingungen"

### Integrität Pressverband Rad/Welle

Implizite Festlegung EN13260  
In Abhängigkeit  
Wellenauslegung

Verifikation Lastannahme  
nur durch Betriebserfahrung  
möglich

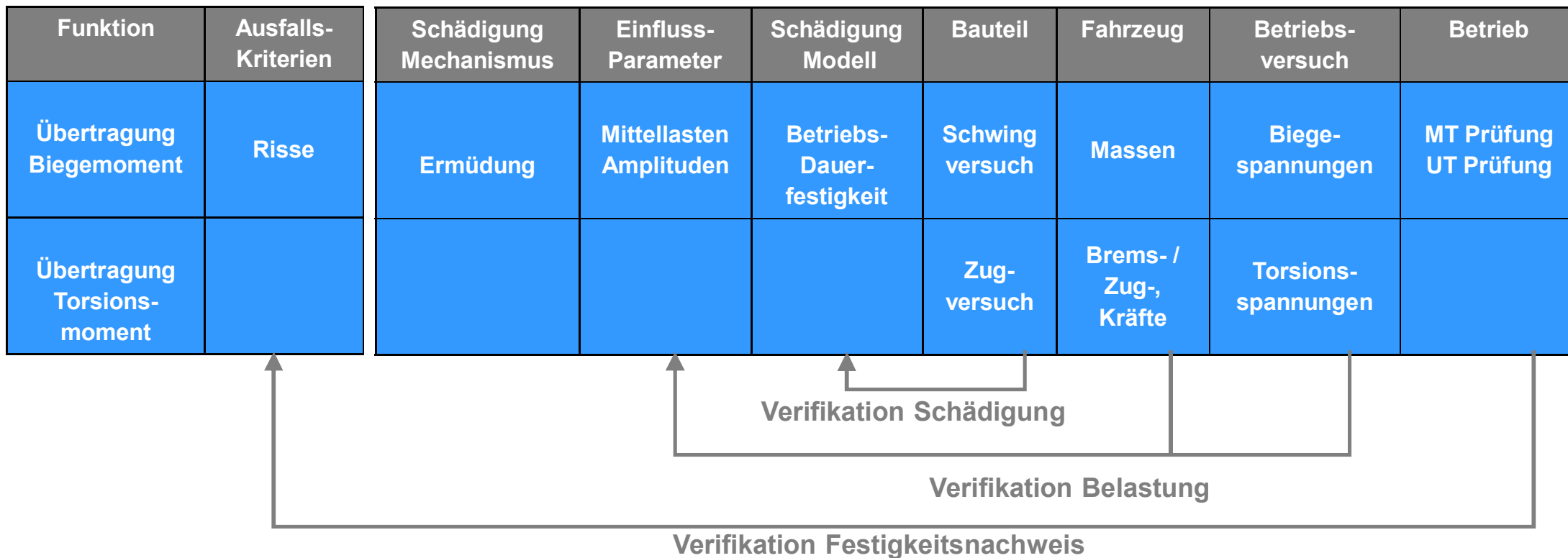
### Integrität Pressverband Rad/Welle

Beanspruchbarkeit:  
DIN 7190

Lastannahme  
EN 13104 ?

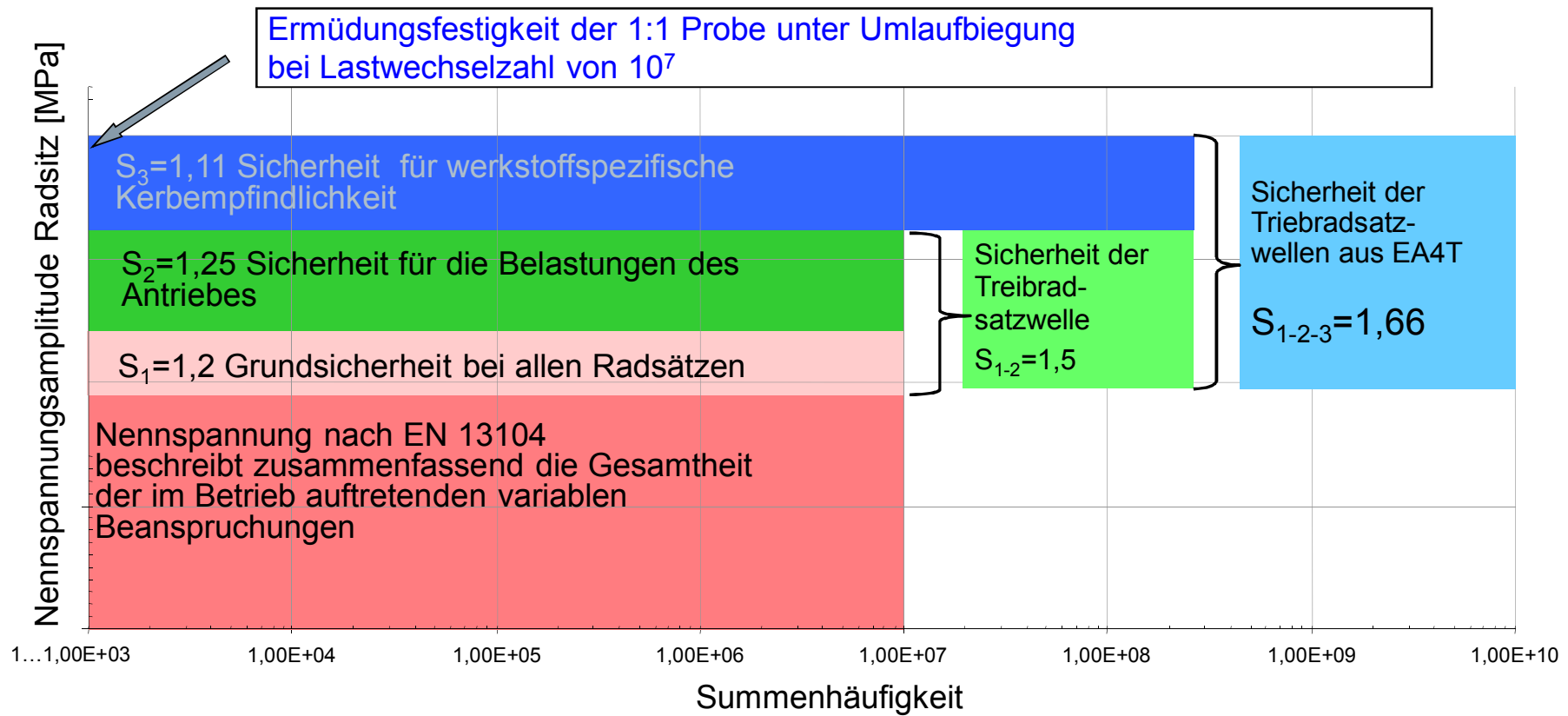
Verifikation Lastannahme  
Messung nach Spezifikation  
"Messung und Auswertung von  
Torsionsschwingungen"

# Festigkeitsnachweis Radsatzwelle EN13104

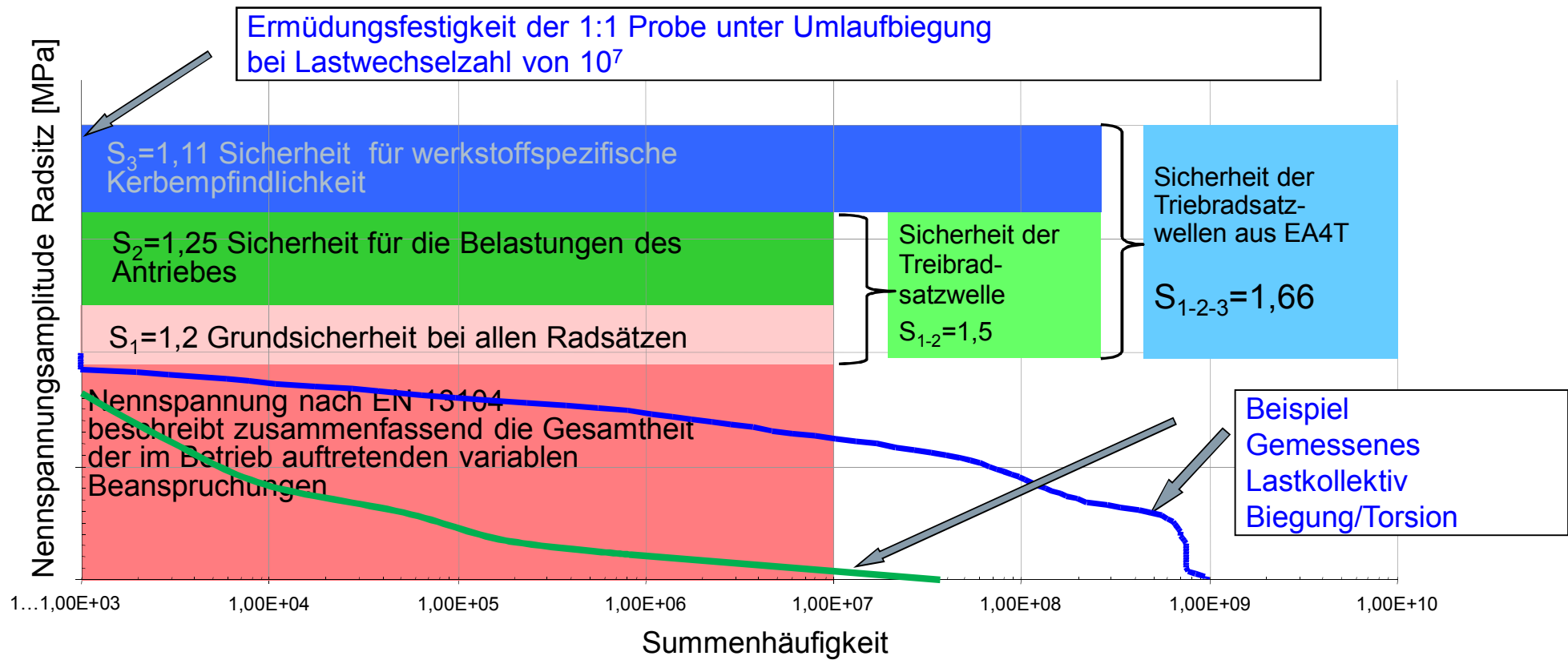


**Verifikation der Belastung und Beanspruchbarkeit vor Betriebseinsatz möglich**

# Auslegung Treibradsatz nach EN 13104



# Auslegung Treibradsatz nach EN 13104





# Modell für Belastung Radsatzwelle nach EN13104

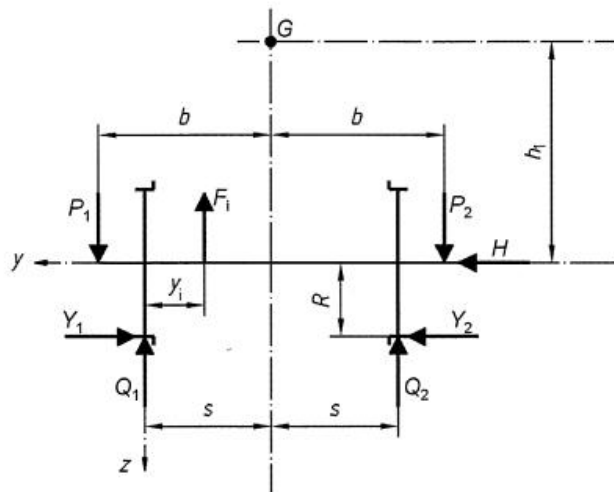


Table 3

|                                   |
|-----------------------------------|
| $P_1 = (0,625 + 0,0875h_1/b)m_1g$ |
| $P_2 = (0,625 - 0,0875h_1/b)m_1g$ |
| $Y_1 = 0,35m_1g$                  |
| $Y_2 = 0,175m_1g$                 |
| $H = Y_1 - Y_2 = 0,175m_1g$       |

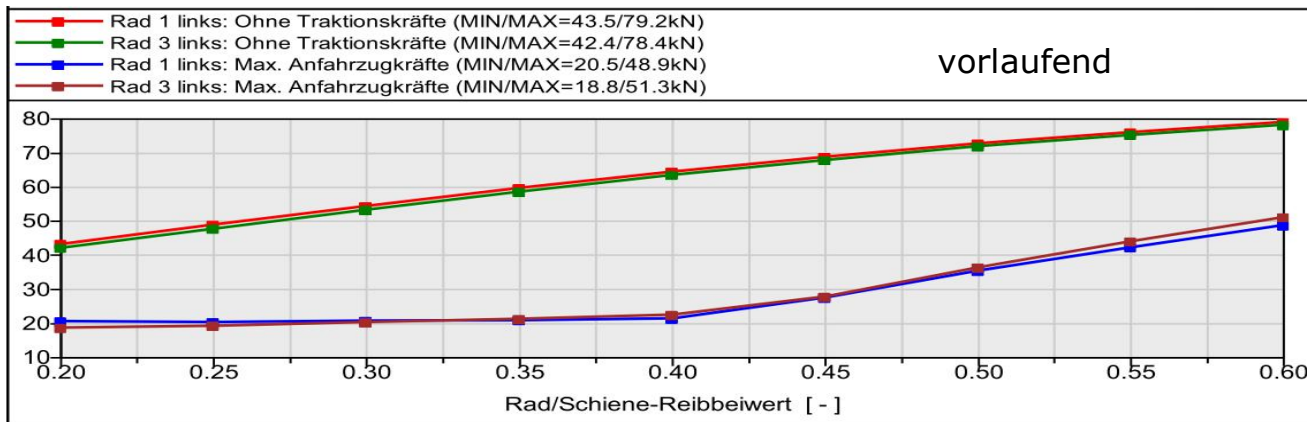
Table 5

|                  |
|------------------|
| $P_1 = 0,55m_1g$ |
| $P_2 = 0,55m_1g$ |
| $Y_1 = 0,10m_1g$ |
| $Y_2 = 0,05m_1g$ |
| $H = 0,05m_1g$   |

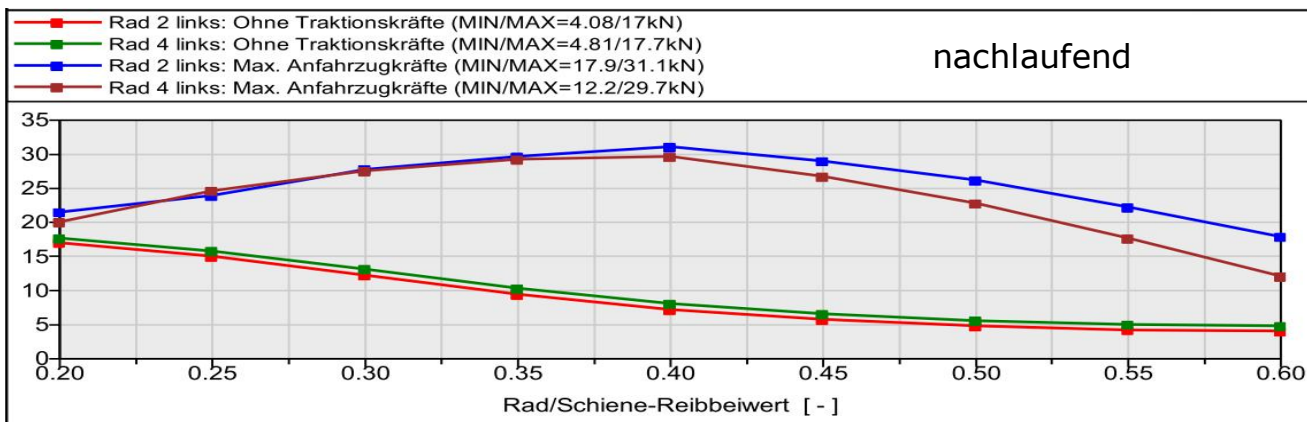
Die EN13104 setzt für Fahren mit Zugkraft geringere Querkräfte an

# Versuchsrandbedingungen

## Quasistatische Querkraft unter Zugkrafteinfluss – $Y_1$



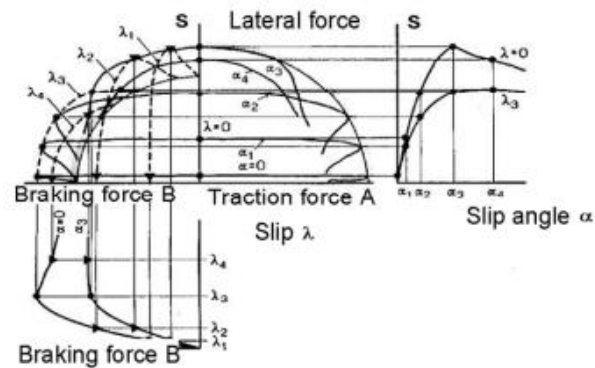
Simulation mit 90t Fahrzeug  
 $R=250m$ ,  $\ddot{u}_F=130mm$



Für Reibwerte zwischen 0.2 und 0.4 kein Einfluss der Zugkraft auf  $Y_1$  am vorlaufenden Radsatz

## Modell für Belastung Radsatzwelle nach EN13104

Bild 5: Zusammenwirken von Seiten- und Umfangskräften (nach Weber)

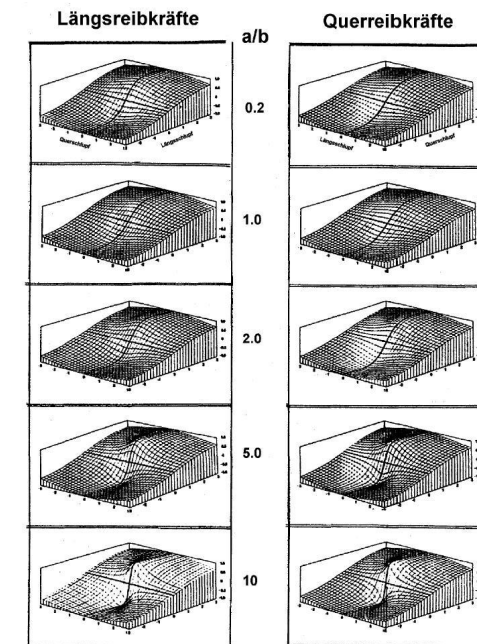
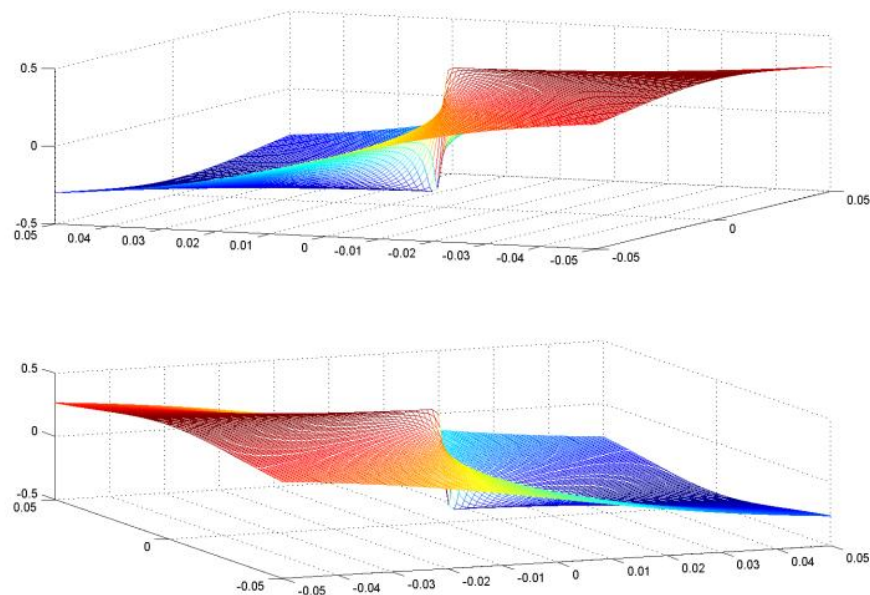


**Maximale Querkräfte- und Maximale Längskräfte treten nicht gleichzeitig auf**

**Autofahrer: Kammscher Kreis**

**Motorrad: Krempelsche Kraftschlussellipse**

## Modell für Belastung Radsatzswelle nach EN13104



C Andreas Haigermoser, TU Graz, Vorlesung Schienenfahrzeuge

**Schienenfahrzeug: z.B. Kraftschlußgesetze nach Kalker**  
**Das Modell für unterschiedliche Querkräfte nach der EN13104 ist physikalisch begründet**

Frei verwendbar © Siemens AG 2014 Alle Rechte vorbehalten.

17.09.2014

Franz-Josef Weber / IC RL LOC BG EN SDE

## Funktion Pressverband Rad/Welle

| Funktion              | Ausfalls-Kriterien |
|-----------------------|--------------------|
| Übertragung Querkraft | Rad-verschiebung   |
| Übertragung Torsion   | Rad-verdrehung     |

Wenn die “Übertragung Querkraft” des Pressverbandes Rad/Welle versagt, ist die Spurführung des Schienenfahrzeuges unmittelbar gefährdet.

Wenn die “Übertragung Torsion” des Pressverbandes Rad/Welle versagt, ist die Spurführung nicht unmittelbar gefährdet.

## Produkteigenschaften Radsatz EN13260

### 3.2 Radsatz - Produkteigenschaften

#### 3.1.4 3.2.1 Gegendruck der zusammengeführten Teile

##### 3.2.1.1 Zu erreichende Werte

Um Kräfte und Momente zwischen den durch Aufpressen oder Aufschrupfen verbundenen Teilen übertragen zu können, müssen die zusammengeführten Teile über 30 Sekunden eine Kraft  $F$ , die axial zur Radsatzwelle wirkt, aushalten, ohne daß es zu einer Verschiebung zwischen den gefügten Teilen kommt.

Diese Kraft  $F$  ist vom Konstrukteur des aufzupassenden Teils festzulegen.

Legt der Konstrukteur keine spezifischen Anforderungen für die Räder fest, so beträgt der Wert der Kraft in MN:

$$F = 4 \cdot 10^{-3} \, dm$$

Die Toleranzgrenzen, innerhalb derer sich die Endaufpreßkraft in MN bewegen muß, ist wie folgt von der in 3.2.1. definierten Kraft  $F$  abhängig:

Der Wert gilt für  $0,8 \, dm < L < 1,1 \, dm$ , wobei

$$0,85 \, F < \text{Endaufpreßkraft} < 1,45 \, F$$

$dm$  der mittlere Sotzdurchmesser in mm und  $L$  die Länge des Paßsitzes in mm ist.

**Die Mindestabpresskraft ist in Abhängigkeit des Sitzdurchmessers in der EN13260 festgelegt. Dieser ist abhängig von der Festigkeitsauslegung der Welle nach EN13104.**

# Festigkeitsnachweis Pressverband Rad/Welle EN13260

| Funktion              | Ausfalls-Kriterien | Schädigung Mechanismus | Einfluss-Parameter | Schädigung Modell | Bauteil           | Fahrzeu g | Betriebs-versuch | Betrieb           |
|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Übertragung Querkraft | Rad-verschiebung   |                        |                    |                   | Aufpress-diagramm |           |                  | Messung AR-Mass   |
| Übertragung Torsion   | Rad-verdrehung     |                        |                    |                   | Gegendruck-probe  |           |                  | Prüfung Verdreher |

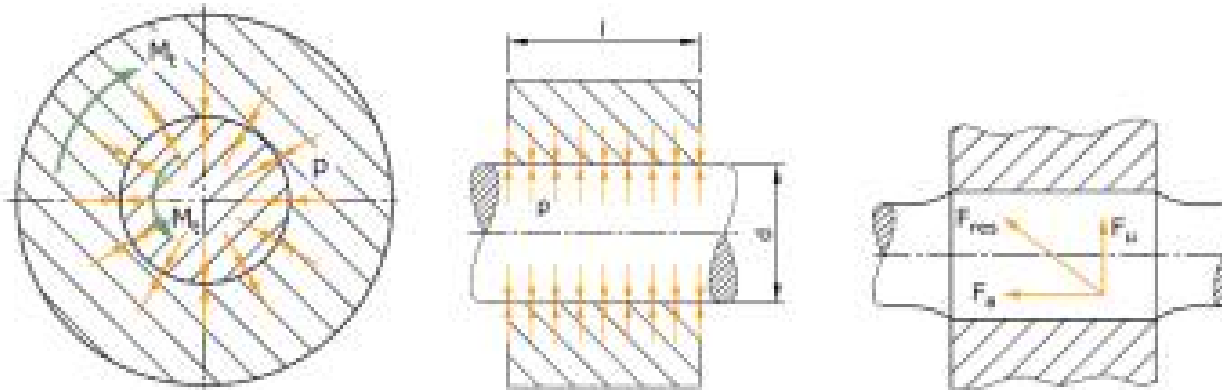


Verifikation Festigkeitsnachweis

**Einzigste Möglichkeit zur Verifikation: Betriebserfahrung**

## DIN 7190 Pressverbände

## Zylindrischer Pressverband



$$M_T = \pi \cdot l \cdot D \cdot p \cdot \mu \cdot \frac{D}{2}$$

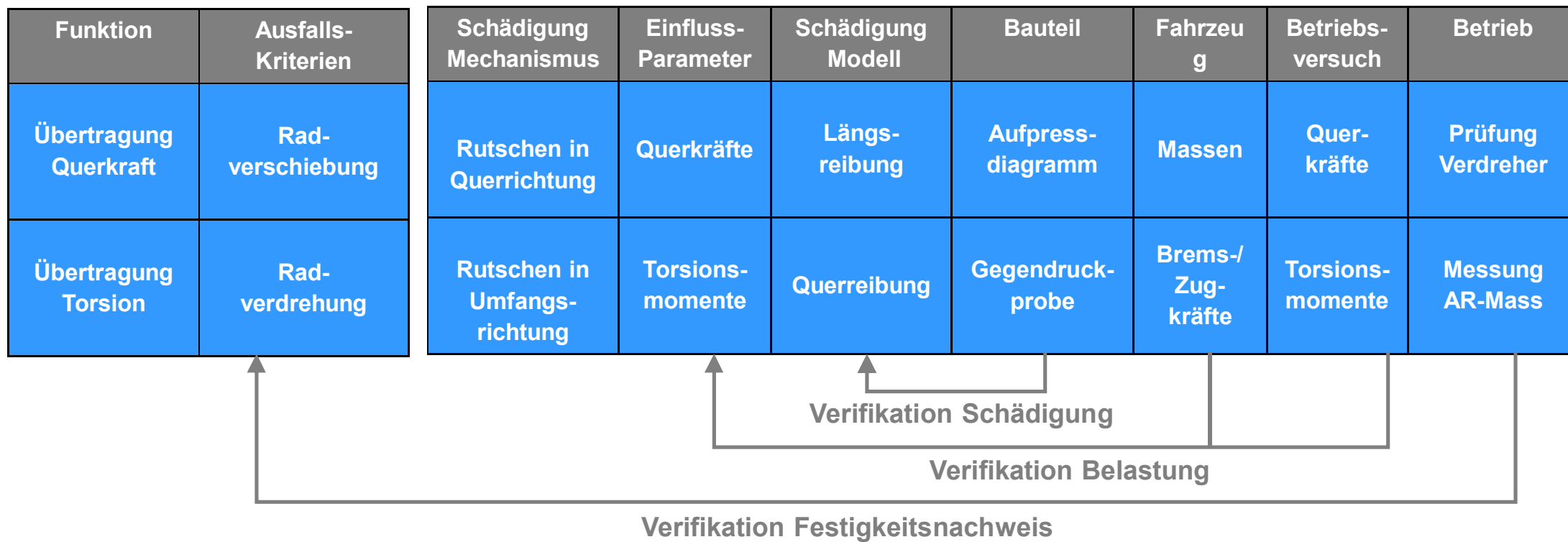
$$F_A = \pi \cdot l \cdot D \cdot p \cdot \mu$$

$$M_T = F_A \cdot \frac{D}{2}$$

Die DIN 7190 ist eine anerkannte Regel für die Beanspruchbarkeit der Pressverbände  
Die Reibwerte im Pressverband können aus der Literatur oder aus Versuchen entnommen werden.



# Festigkeitsnachweis Pressverband Rad/Welle EN15827- DIN7190



**Verifikation des Reibwertes durch Aufpressdiagramm- und Gegendruckprobe**

**Verifikation der Belastung ist vor Betriebseinsatz möglich**

Frei verwendbar © Siemens AG 2014 Alle Rechte vorbehalten.

## Festigkeitsnachweis Pressverband Rad/Welle EN15287 - DIN7190

**Woher kommen die Lastannahmen für diesen Festigkeitsnachweis?**

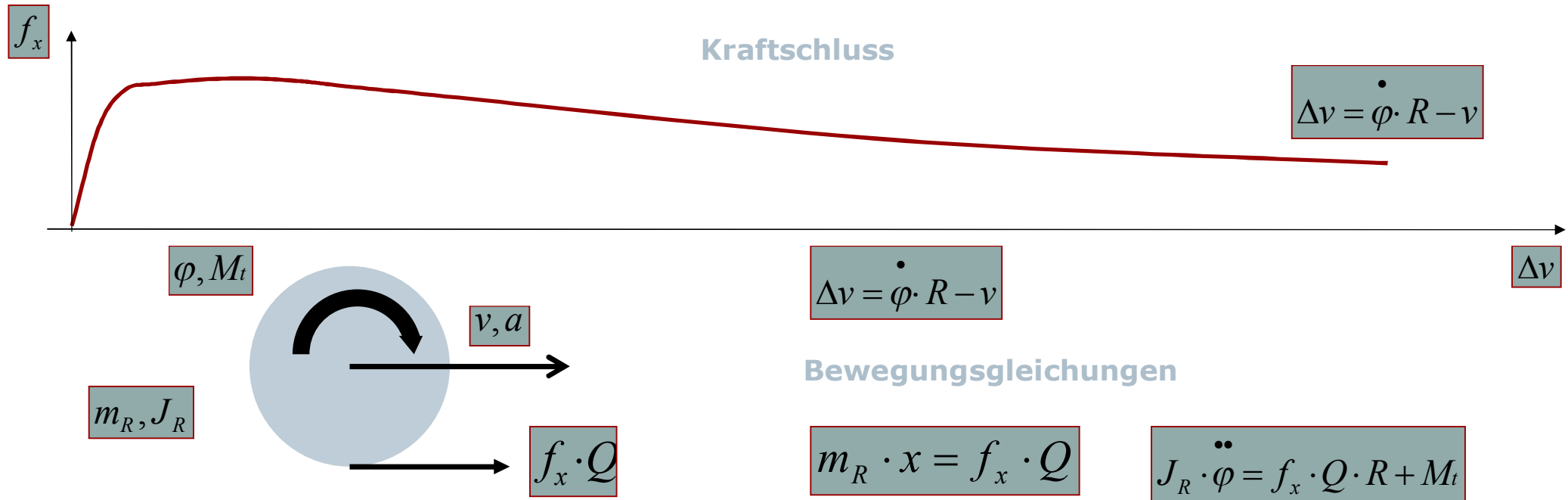
**Die Lastannahme wird vom Fahrzeughersteller ermittelt, Einflussfaktoren:**

- **Antriebssteuerung, Anfahr/-Bremskräfte,**
- **Spurführungskräfte,**
- **Eigenverhalten Antriebsstrang**

**Verifikation der Lastannahme ist vor Betriebseinsatz möglich**

# Schleudern des Radsatzes

## Instabilität 1. Ordnung

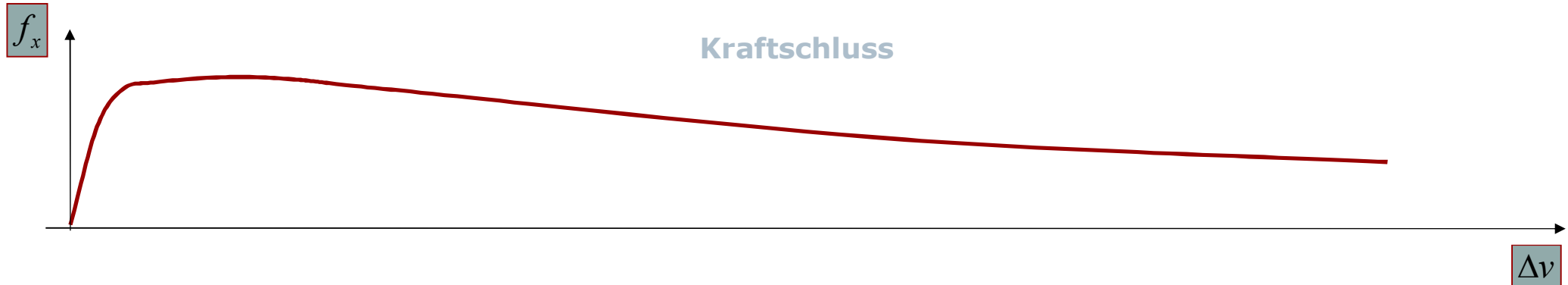


Ein stationärer Betrieb im abfallenden Ast der Kraftschluss/Schlupfkennlinie ist nur möglich, wenn

- die Anfahrzugkraft größer ist, als der zu Verfügung stehende Kraftschluss
- eine Regelung Schleudern des Radsatzes verhindert

## Rattern in Radsatzwellen

### Instabilität 2. Ordnung



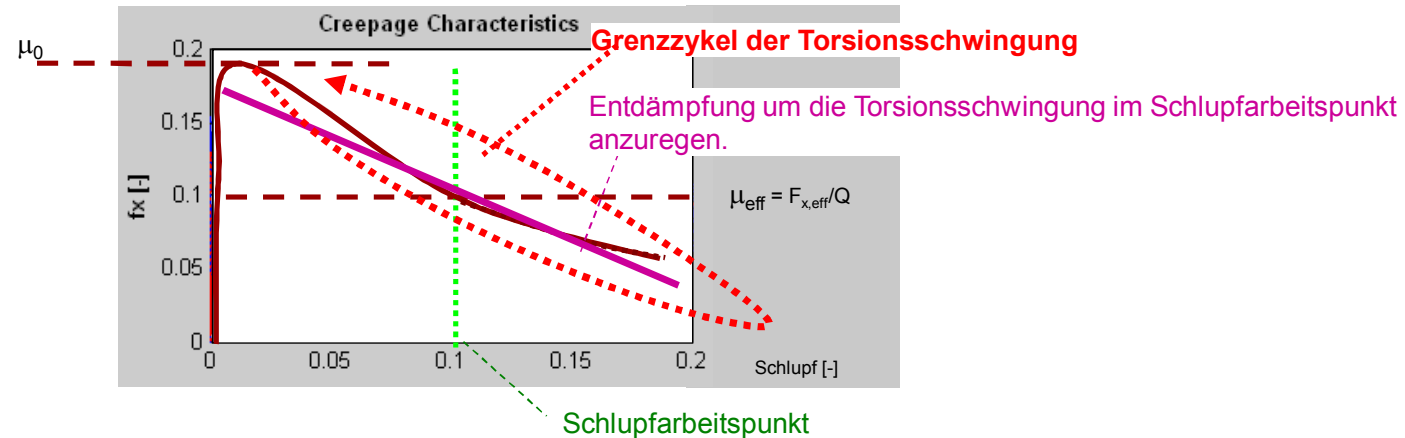
$$M_{Ratter} = \frac{c}{\pi \cdot f \cdot r_0} \cdot \Delta v_{Ratter}$$

**Rattern in Radsatzwellen tritt nur auf, wenn der Regler den Radsatz im abfallenden Ast der Kraftschluss/Schlupf-Kennlinie hält.**

**Ohne Regler schleudert oder blockiert der Radsatz**

# Die Torsionsschwingung

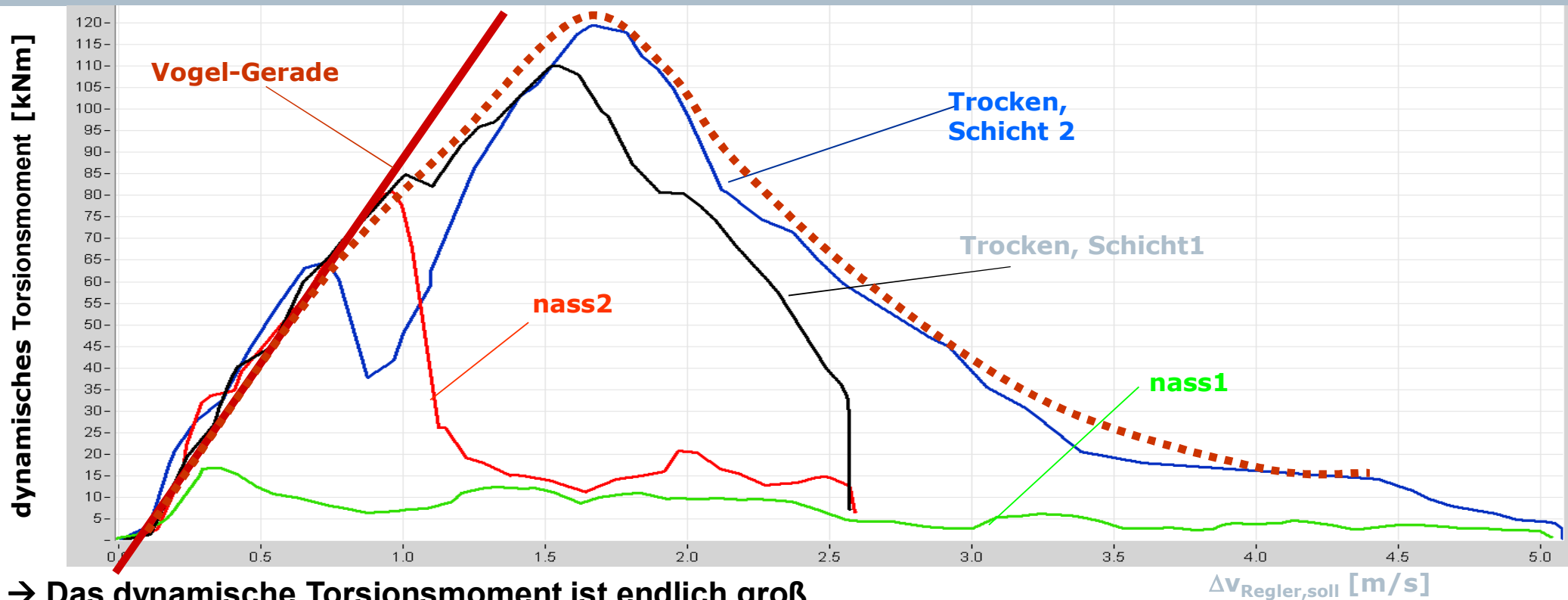
## Darstellung im Kraftschlussgesetz



- **Entdämpfung** der Torsionsschwingung durch die negative Steigung der Kraftschlusscharakteristik im Makroschlupfbereich.
- Der Grad der Entdämpfung hängt von der Steilheit der Steigung negativen der Kraftschlusscharakteristik im **Schlupfarbeitspunkt** ab.
- Bei ausreichender **Entdämpfung** wird die Torsionsschwingung instabil. Im Kraftschlussdiagramm stellt sich ein **Grenzykel** ein.
- Die Maximalamplitude des **Grenzykels** bestimmt sich aus der Energiebilanz über einen **Grenzykel**.

# Das maximale dynamische Torsionsmoment

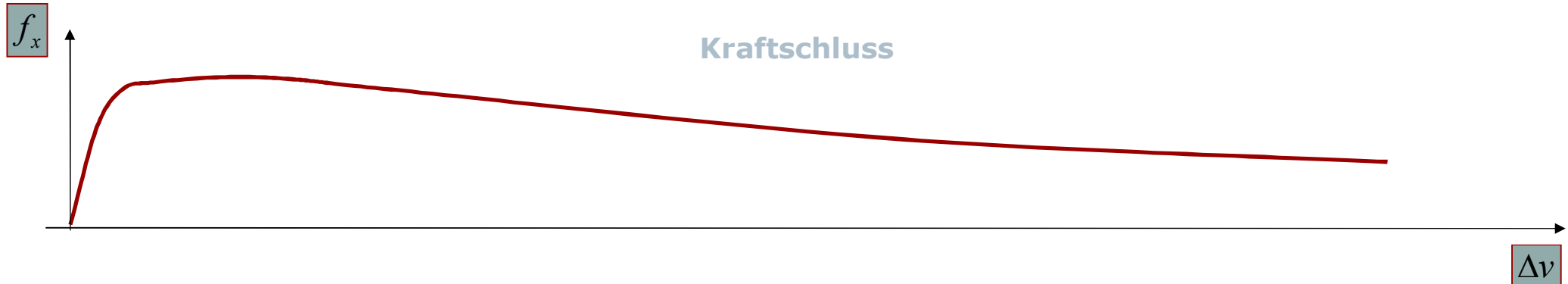
## Messung bei Variation des Gleitgeschwindigkeitsarbeitspunktes



- Das dynamische Torsionsmoment ist endlich groß
- Die Vogelgerade gilt nur im Bereich kleiner Schlüpfе
- Bei sehr hohen Gleitgeschwindigkeiten nehmen die dynamischen Torsionsmomente ab

# Torsionsschwingungen in Radsatzwellen

## Wirkzusammenhang: selbsterregte Reibungsschwingung



### Bereich I

- Mikroschlupf
- keine Ratterschwingung

### Bereich II

- geringer Schlupf
- Rattern gemäß "Vogelgerade"

$$M_{Ratter} = \frac{c}{\pi \cdot f \cdot r_0} \cdot \Delta v_{Ratter}$$

### Bereich III

- mittlerer Schlupf
- Weiterer Anstieg Rattermoment

$$M_{Ratter} = \textit{Maximal}$$

### Bereich IV

- hoher Schlupf
- keine Ratterschwingung

**Die Grenzen der Bereiche hängen von Fahrzeug- und Kraftschluss- Charakteristik ab**

## Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen Torsionsmoment Zusammenfassung

- Das maximale dynamische Radsatztorsionsmoment ist irrelevant für die Auslegung der Radsatzwelle.  
Die Kenntnis des maximalen dynamischen Radsatztorsionsmoments ermöglicht einen konservativen Festigkeitsnachweis nach dem Nachweisweg A der DIN Spezifikation
- Normativ ist das maximale Radsatztorsionsmoment irrelevant für die Auslegung der Presssitze, da die EN13260 die Auslegung vorgibt.  
Die Kenntnis des maximalen dynamischen Radsatztorsionsmoments ermöglicht einen Festigkeitsnachweis in Verbindung mit der DIN 7190
- Für die Radsätze, die auch im negativen Ast der Kraftschlusskennlinie betrieben werden gilt:
  - Das maximale dynamische Torsionsmoment kann abgeschätzt werden, wenn Reglerverhalten und Eigenverhalten des Antriebsstranges bekannt sind.
  - Eine Verifikation des maximalen dynamischen Torsionsmomentes ist möglich, vor dem Betriebseinsatz des Fahrzeuges



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit !**

**Franz-Josef Weber**  
IC RL LOC BG EN SDE  
Abteilungsleiter Systems Development  
E-mail:  
[franz-josef.weber@siemens.com](mailto:franz-josef.weber@siemens.com)

