

# Gleitschutz

Wirkung, Optimierung und Prüfung

---

DB Systemtechnik GmbH

---

Dr. P. Spiess / B. Büche

---

I.IVE 4 / I.IVE 31

---

05.04.2016

# Gleitschutzsysteme Motivation



## Rail Accident Report



**Station overrun at Stonegate, East Sussex  
8 November 2010**

Quelle: RAIB, GB

## Grundlagen

Aufbau und Wirkung Gleitschutz

Was ist Kraftschluss

Konditioniereffekt und  
Bremswegsicherheit

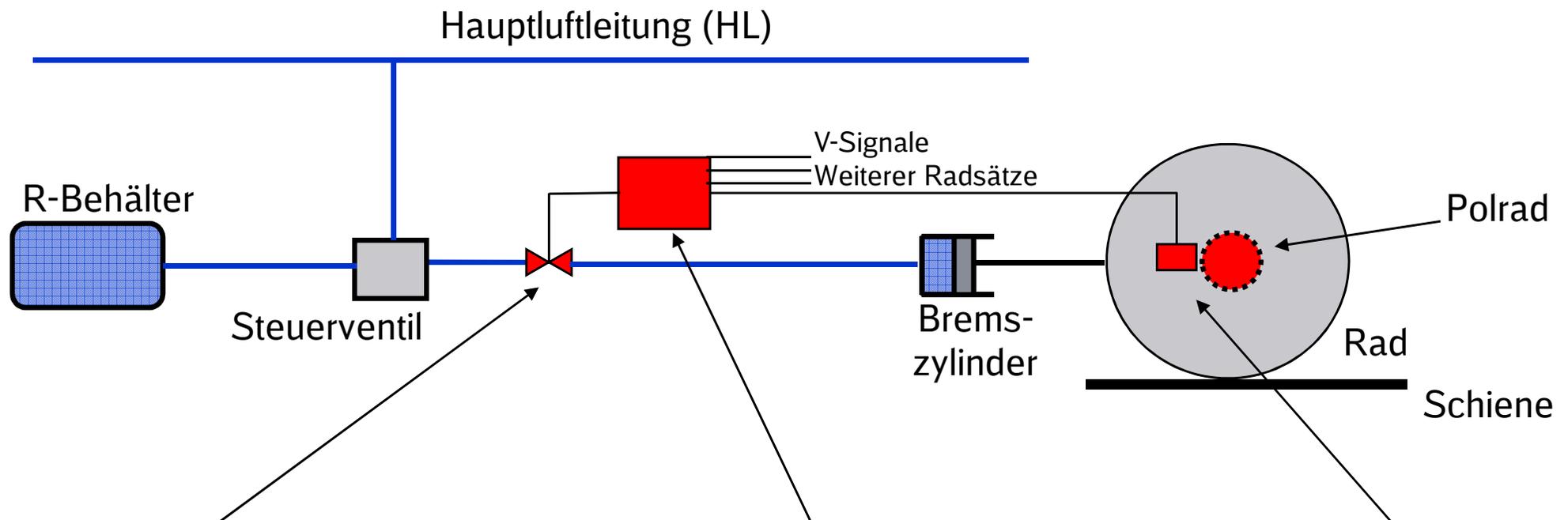
Normen und Standards

Testverfahren

Weiteres Optimierungspotenzial

# Grundlagen

## Aufbau eines Gleitschutzsystems



### Gleitschutzventil (GS-Ventil)

- Setzt Befehle des GS-Rechners um
- Kontrolliert Bremszylinderdruck
  - Entlüften
  - Füllen
  - Halten (Druck bleibt konstant)

### Gleitschutzrechner (GS-Rechner)

- Vergleicht Geschwindigkeiten mehrerer Radsätze
- Interpretiert Geschwindigkeiten/Verzögerungen
- Steuert GS-Ventil an

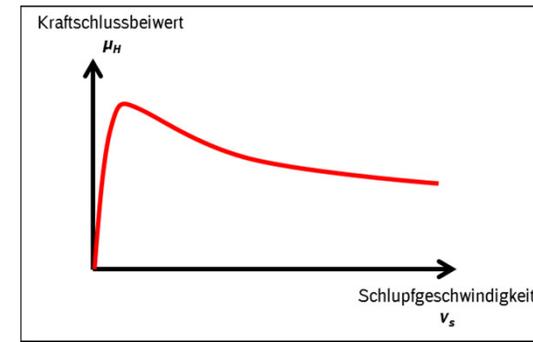
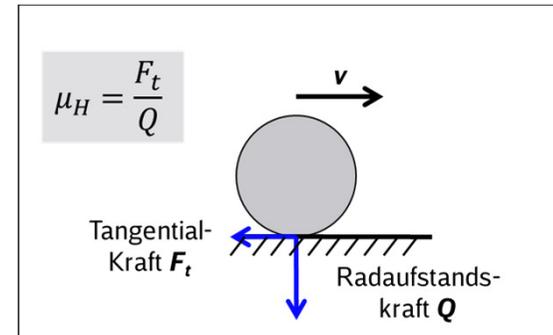
### Geschwindigkeitssensor/Impulsgeber

- misst die Radsatzgeschwindigkeit basierend auf der Rotation des Polrades

# Grundlagen Kraftschlussbeiwert

## Kraftschlussbeiwert (auch: „Haftwert“)

- Quotient zwischen übertragbarer Tangentialkraft und Radaufstandskraft
- i.A. Funktion der Schlupfgeschwindigkeit
  - Deren Form und Amplitude stark abhängig vom Schienenzustand (insbes. bei Feuchtigkeit, Laub,...)
- Statistisch verteilt
  - Wertebereich zwischen (nahezu) 0 und (ca.) 0,5



Bei allein radgebremsten Fahrzeugen(ohne Schienenbremsen) gilt:

- Bremsverzögerung

$$a_B = \frac{F_t}{M_{Zug}} = \frac{F_t}{Q/g} = g \cdot \mu_H$$

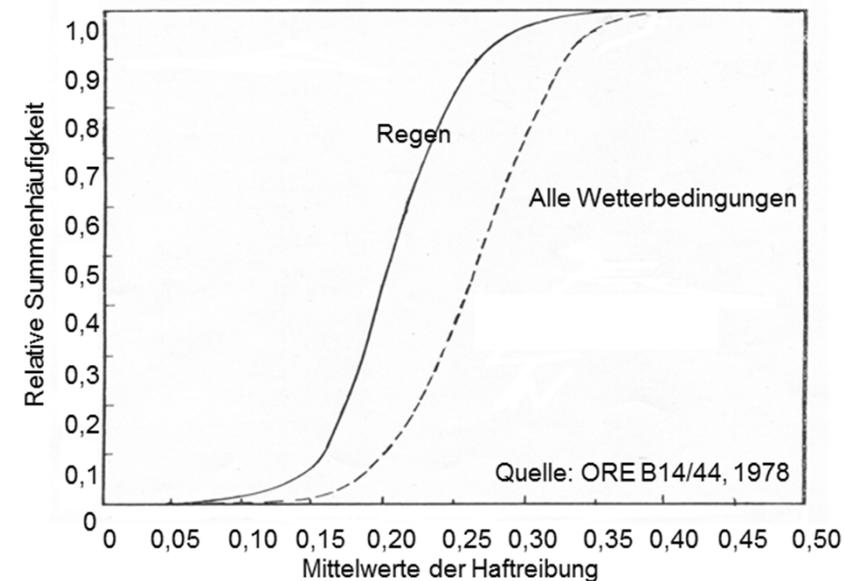
- Bremsweg

$$s_B = \frac{v^2}{2 \cdot a_{B,m}} = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu_{H,m}}$$

Folgt:

- $\mu_H$  muss beim Bremsen praktisch immer in der notwendigen Höhe verfügbar sein!
- Eine Begrenzung der Kraftschlussausnutzung von Schienenfahrzeugen steuert die Anzahl von Ereignissen, in welchen dieser nicht hinreicht

Typische Haftwertverteilung



# Grundlagen

## Besonderheiten des Kraftschlussbeiwerts

### Konditioniereffekt

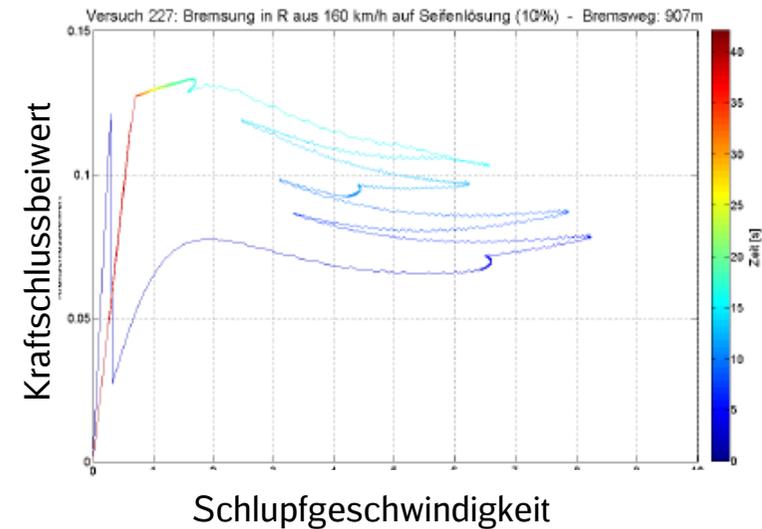
Durch gezieltes Eintragen von Schlupfenergie kann der Kraftschlussbeiwert auf schlüpfrigen Schienen angehoben werden

- Grundlage der Prüfungen nach UIC-MB 541-05
  - Wirksam bei anfänglichen Kraftschlussbeiwerten  $\geq 0,05$
  - Kraftschluss kann bis auf Werte von 0,15 angehoben werden
- Effekt versagt bei extrem kleinen Kraftschlussbeiwerten
  - Zu geringer Eintrag von Schlupfenergie

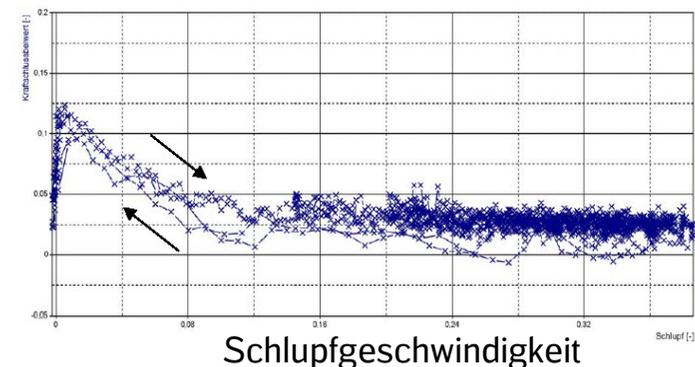
### Kraftschlusskurve bei extrem schlüpfrigen Schienen

- Oft ausgeprägtes Maximum des Kraftschlusses bei sehr kleinen Werten der Schlupfgeschwindigkeit
- Konditionierung nicht/kaum möglich!
- Auf Mindestschlupf optimierte Regler nutzen das Kraftschlussmaximum nicht

### Kraftschlussverbesserung durch Konditionierung (Simulation)



### Kraftschlusskurve bei extrem schlüpfrigen Schienen (Messung)

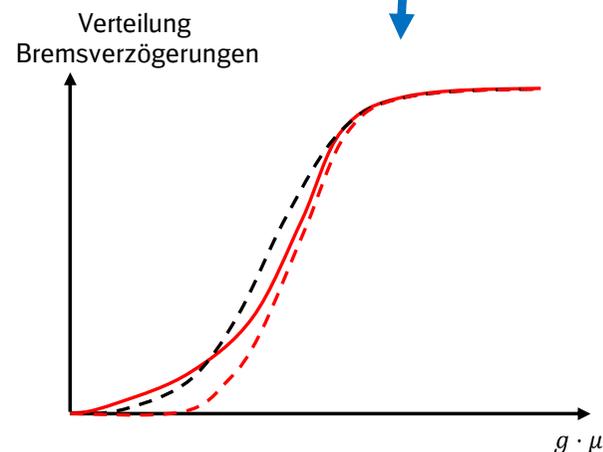
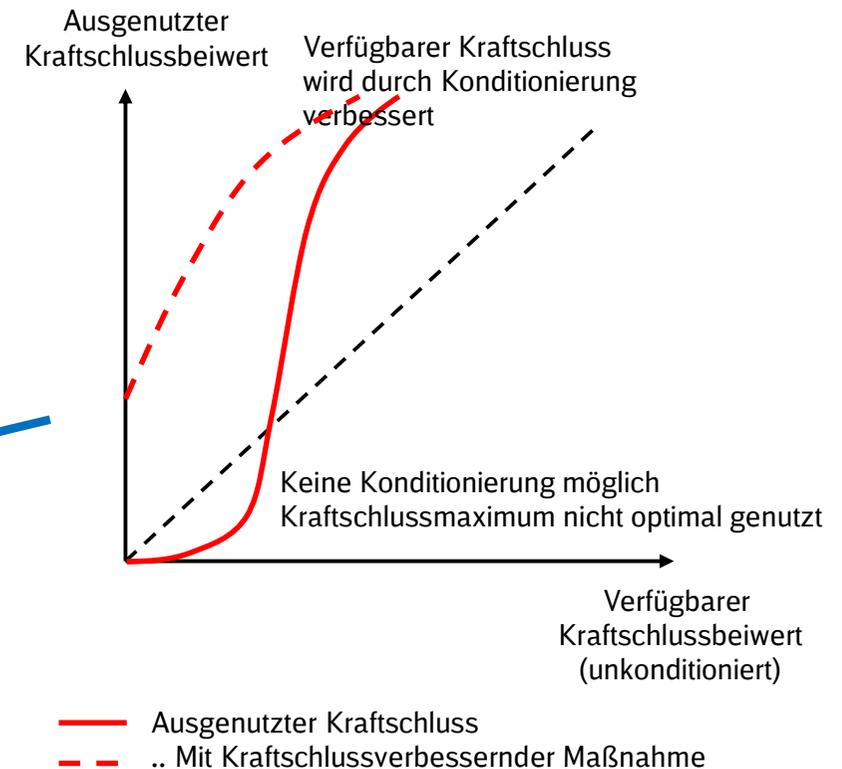


# Grundlagen

## Konditioniereffekt und Bremswegsicherheit

- Im Bereich niedriger Kraftschlussbeiwerte ( $\geq 0,05$ ) findet eine Verkürzung der Bremswegen durch Konditionierung des Rad-Schiene-Kontakts statt
- Im Bereich extrem niedriger Kraftschlussbeiwerte
  - wird der verfügbare Kraftschluss nicht optimal genutzt
  - Gefahr extremer Bremswegverlängerungen
  - Unterstützung durch kraftschlussverbessernde Maßnahmen notwendig
    - Sand
    - Magnetschienenbremsen
    - In Deutschland geregelt via Ergänzungsregelung B007

### Ausgenutzter vs. verfügbarer Kraftschluss

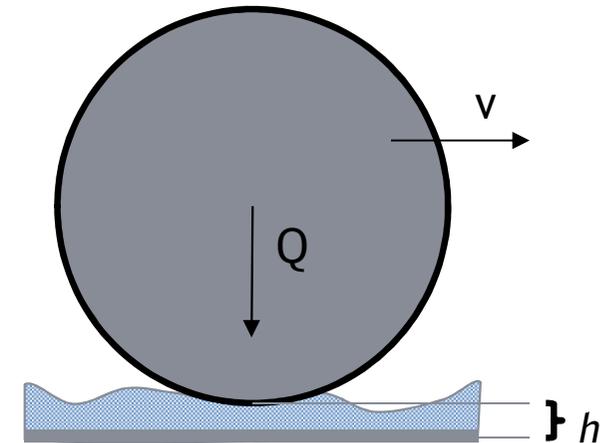


# Grundlagen

## Modell für den Kraftschlussbeiwert

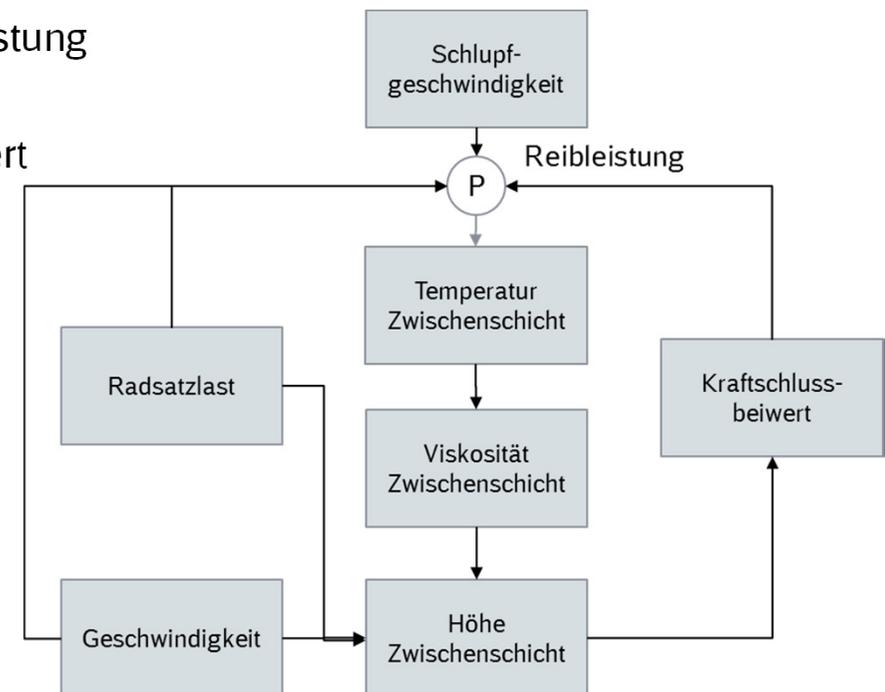
Weiterentwicklung bestehender Kraftschlussmodelle bei DB Systemtechnik für den dortigen Gleitschutzprüfstand

- Größe der metallischen Kontaktfläche bestimmt den Kraftschlussbeiwert wesentlich (Bowden/Tabor 1950)
  - Kraftschlussbeiwert ist beeinflusst von Schienenrauheit und Höhe der Zwischenschicht
- Temperatureintrag durch Reibleistung vermindert Viskosität und damit Höhe der Zwischenschicht
  - Erhöhung des Kraftschlussbeiwerts bei genügend hoher Reibleistung



Modell ist am Gleitschutzprüfstand der DB Systemtechnik implementiert

- 1. Modell auf Basis rein physikalischer Effekte
- Erklärt den Effekt der Schienenkonditionierung
- Erklärt auch, warum bei extrem niedrigen Kraftschlussbeiwerten kein/kaum Konditionierungseffekt vorhanden
- Erlaubt realitätsnähere Simulation von Bremsversuchen durch statistische Variation von Schienenrauheit und Viskosität
  - „Versteckte Parameter“ der Fahrversuche



Grundlagen

**Normen und Standards**

Schutzziele

Überblick Normen

Testverfahren

Weiteres Optimierungspotenzial

# Normen und Standards

## Schutzziele von Gleitschutzsystemen

### Schutzziele <sup>1</sup> des Gleitschutz nach EN15595:2009 <sup>2</sup>

- 1) Minimierung von Bremswegverlängerungen im Vergleich zu Bremswegen auf sauberen, trockenen Schienen (d. h. bei gutem Kraftschluss);
- 2) Minimale Schädigung der Radreifen infolge von Gleiten oder Blockieren der Räder;
- 3) Minimierung von Schäden an den Schienen;

<sup>1</sup>: Inhaltlich identische Ziele sind etwas ausführlicher auch im UIC-MB 541-05, 2. Ausg. „Gleitschutzsysteme“ definiert

<sup>2</sup>: prEN15595:2015 derzeit in der Umfrage, voraussichtliche Veröffentlichung der abgestimmten EN in 2017

# Normen und Standards

## Überblick gültige Normen

### UIC-MB 541-05

- aktuell 2. Ausgabe 2005; 3. Ausgabe für 2016 vorgesehen
- Anforderung an GS-System, Regelung und Komponenten
- Fokus auf Optimierung im Bereich  $0,03 < \mu < 0,08$

### EN 15595

- Anwendung gefordert in TSI Loc&Pas (2011/291/EU und 1302/2014)
- EN 15595:2009 deutlich an 2. Ausg. UIC-MB 541-05 angelehnt
- prEN 15595:2015 in Abstimmung

### GM/GN 2695

- gültig für UK
- Zur BS EN 15595 ergänzende Prüfungen
- Fokus auf Prüfstandsversuche mit extrem niedrigen Haftwerten

Grundlagen

Normen und Standards

**Testverfahren**

Verwendete Testverfahren

Tests auf xnH

Weiteres Optimierungspotenzial

# Testverfahren

## Methoden der Prüfung

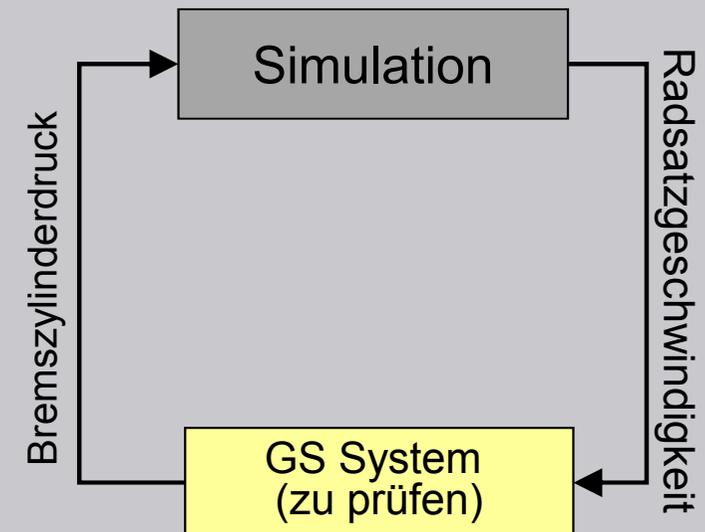
### Fahrzeugbasiert

- Reduzierung des Kraftschlusses durch
  - Sprühen von wässriger Seifenlösung
  - Präparation der Schiene mit Papier, Öl oder Schmierseife
- Prüfung des Gleitschutzsystems und der Fahrzeugimplementierung



### Simulation

- Hardware-in-the-loop
- Simulation
  - des Kraftschlusses
  - der Fahrzeugreaktionen
  - des Konditioniereffektes
- Prüfung des Gleitschutzsystems (Sensor, Rechner, Ventil)



# Testverfahren

## Methoden der Prüfung

### Fahrzeug basiert

- Original Fahrzeugreaktion
- Kraftschluss variiert statistisch

- vorliegender Kraftschluss nicht exakt bekannt
  - Bewertung der Fahrzeugreaktion nicht immer eindeutig
- teuer

### Simulation

- Große Anzahl an Versuchen möglich
- Vorgegebener Kraftschluss ist bekannt
- preiswert

- Kraftschluss-Schlupf Kurven nur quantitativ bekannt
- Uneinheitliche Modelle für den Konditioniereffekt

**überwiegende Testmethode in Europa**

# Problem bei der Bewertung von Fahrversuchen „Unschärferelation“ des Gleitschutz

Kraftschluss durch diverse Faktoren beeinflusst (Besprühung, Schienenzustand, Verschmutzung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit ...)

**„wie hätte der konditionierte Kraftschluss sein können, hätte der GS anders geregelt und den Konditioniereffekt anders ausgenutzt“**

Kraftschluss nur indirekt messbar

„unkonditionierter Kraftschluss“ unbekannt

Messbarer Kraftschluss durch Gleitschutzverhalten beeinflusst

# Testverfahren

## Prüfungen auf „extrem niedrigen Haftwerten“ (xnH)

- Versuche auf Öl, Schmierseife oder Papierstreifen
- Bewertung der Bremswegverlängerung nicht möglich
- Verhalten auf xnH entscheidend für Bremswegsicherheit
  - Beispiele für kritische Ereignisse auf xnH:
    - *Marslev* (DK) -> 2,8 km aus 177 km/h
    - *Stonegate* (UK) -> 5,2 km aus 106 km/h



- Keine normativen Kriterien für eine quantitative Bewertung
- dringend erforderlich
  - ggf. im Zusammenwirken mit Sand, Mg...

**Grundlagen**

**Normen und Standards**

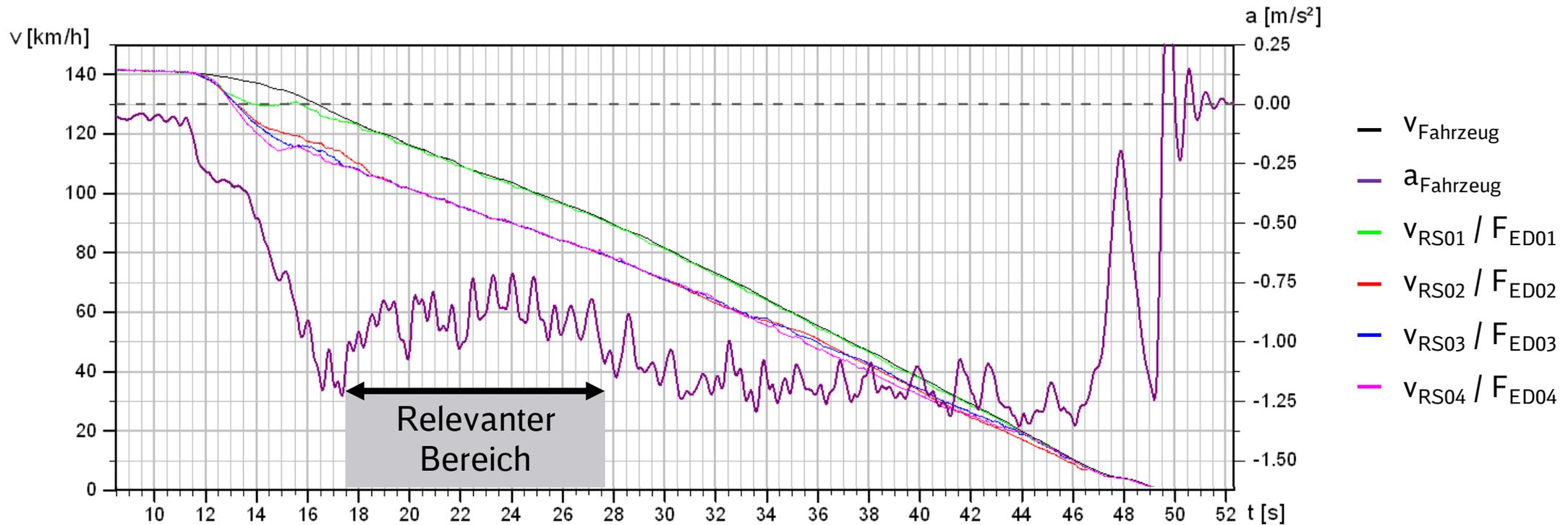
**Testverfahren**

**Weiteres Optimierungspotenzial**

**Suche nach dem Kraftschlussmaximum**

# Gleitschutz – weiteres Optimierungspotenzial

## Suche nach Kraftschlussmaximum



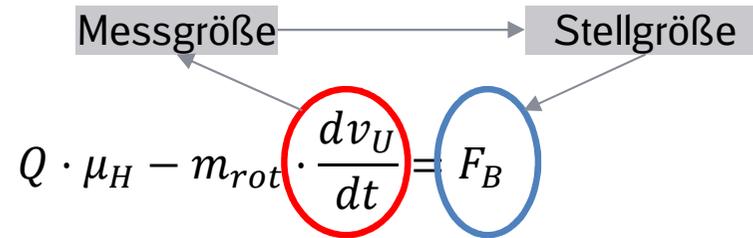
durch gezielte „Suche“ des Kraftschlussmaximums verbesserte Kraftübertragung bzw. höher Verzögerung erreichbar

Hinweis: durch eine starke Reduktion der Bremskraft wird an RS 01 (grün) kein Schlupf zugelassen; Dies ist ebenfalls optimierungswürdig, jedoch an dieser Stelle nicht Schwerpunkt der Betrachtung

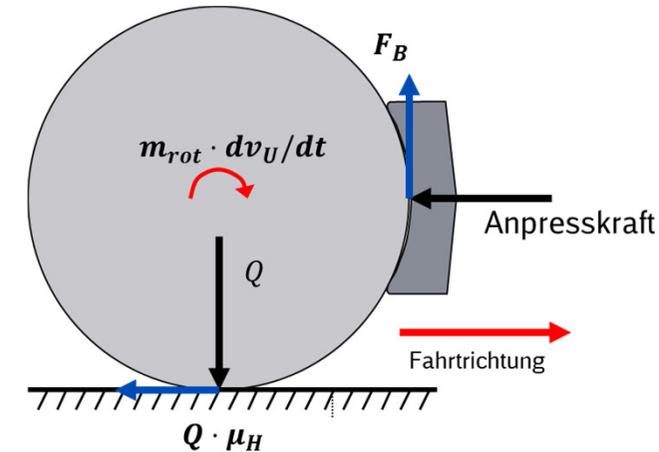
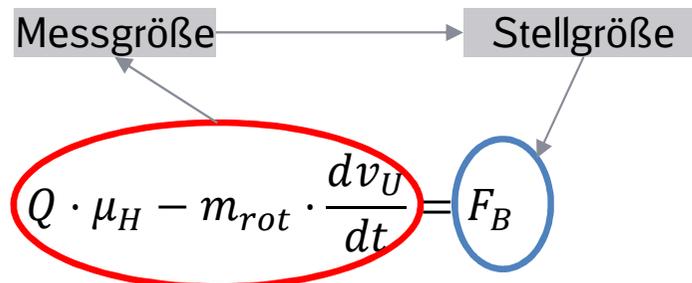
# Gleitschutz – weiteres Optimierungspotenzial

## Suche nach Kraftschlussmaximum

Eingangsgrößen von Gleitschutzsystemen vs. Kräftebilanz am Rad:



- Konventionelle Gleitschutzsysteme verwenden allein Radsatzgeschwindigkeiten und -beschleunigungen als Eingangsgrößen
- Keine Messung der Bremskraft
  - Keine Möglichkeit, den vorhandenen Kraftschluss zu bestimmen!
- Hinzunahme der Bremskraft würde direkte Bestimmung der Regelgröße Kraftschlussbeiwert erlauben
  - Präzisere Regelalgorithmen
  - Gezielte **Suche** nach Kraftschlussmaximum möglich



- Bereits möglich bei elektrischer Bremse von Drehstromfahrzeugen
- Zukünftig mit zunehmender Sensorausstattung Ggf. auch für pneumatische Bremse

# Gleitschutzsysteme

## Zusammenfassung

- Grundlage moderner Gleitschutzsysteme ist die Nutzung des „Konditioniereffekts“
  - Effekt versagt bei extrem schlüpfrigen Schienen
    - ergänzende Maßnahmen Notwendig, jedoch
    - weiteres Optimierungspotenzial
- Einbindung der Bremskraft in die Regelung verspricht Optimierungspotenzial bei allen Kraftschlussbedingungen
  - Bei elektrischer Bremse z.T. schon jetzt realisierbar
- Fokus der Weiterentwicklung Prüfverfahren sollte liegen auf
  - Quantitative Kriterien für Bremswege bei extrem niedrigen Kraftschlussbeiwerten
  - Weiterentwicklung realitätsnaher Verfahren am Simulationsprüfstand