

Gleitschutz

Wirkung, Optimierung und Prüfung

DB Systemtechnik GmbH

Dr. P. Spiess / B. Büche

I.IVE 4 / I.IVE 31

05.04.2016

Gleitschutzsysteme Motivation



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

Quelle: RAIB, GB

Grundlagen

Aufbau und Wirkung Gleitschutz

Was ist Kraftschluss

Konditioniereffekt und
Bremswegsicherheit

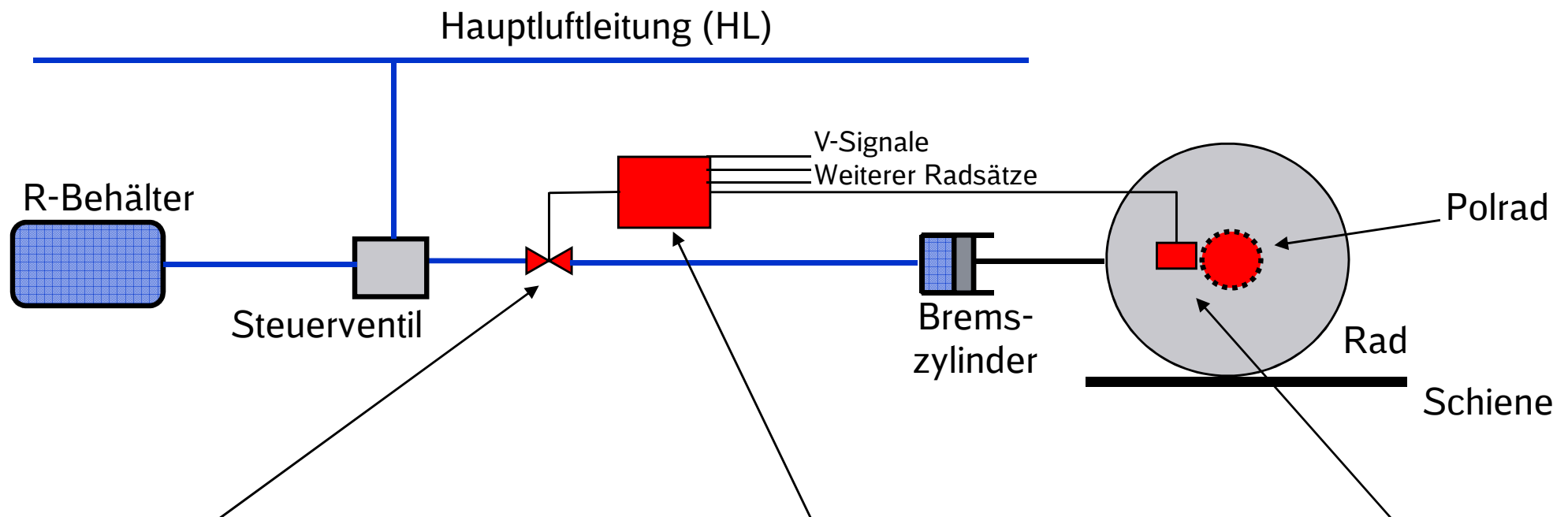
Normen und Standards

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

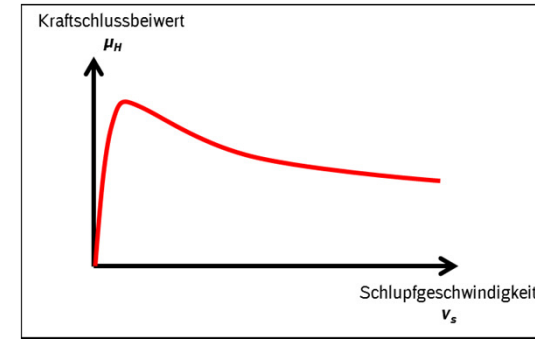
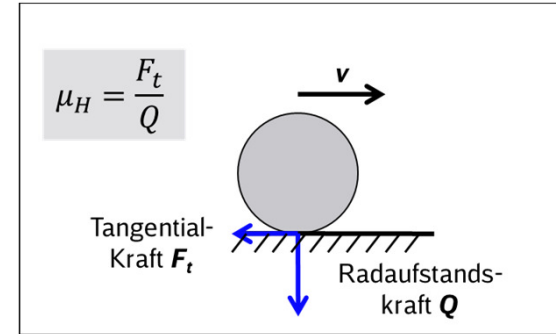
Geschwindigkeitssensor/Impulsgeber

- 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

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

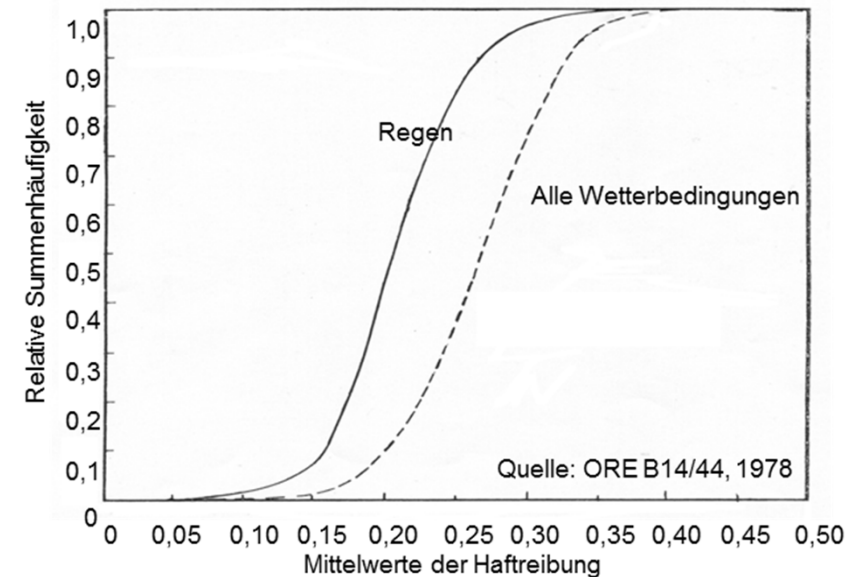
- Bremsweg

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

Folgt:

- μ_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

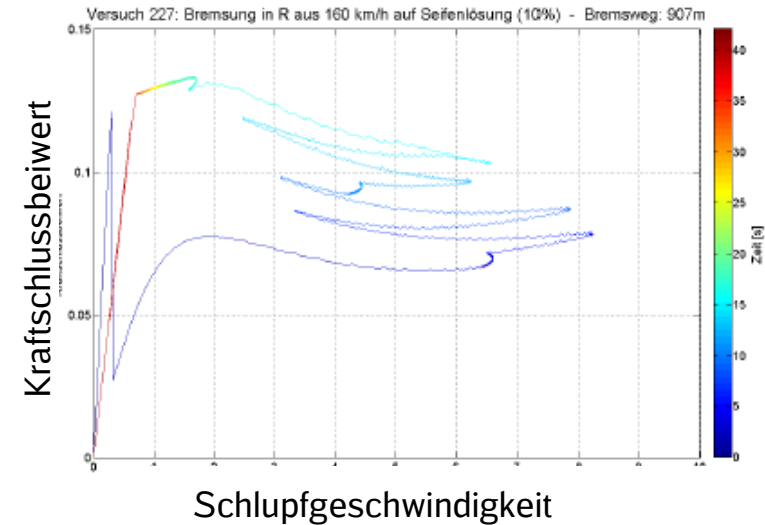
Durch gezieltes Eintragen von Schlupfenergie kann der Kraftschlussbeiwert auf schlüpfrigen Schienen angehoben werden

- 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

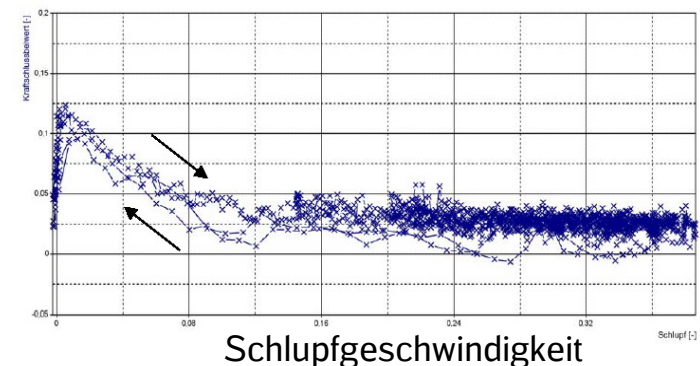
Kraftschlusskurve bei extrem schlüpfrigen Schienen

- 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)

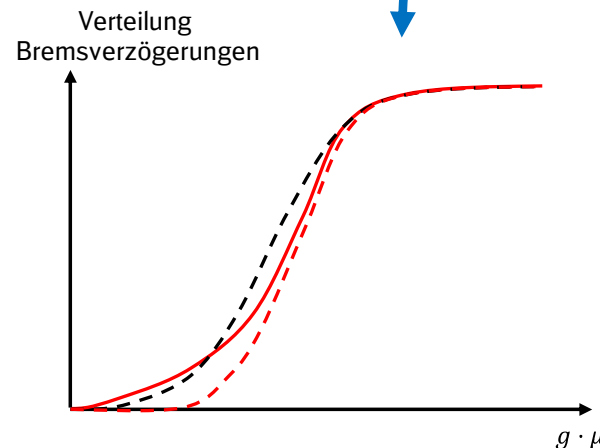
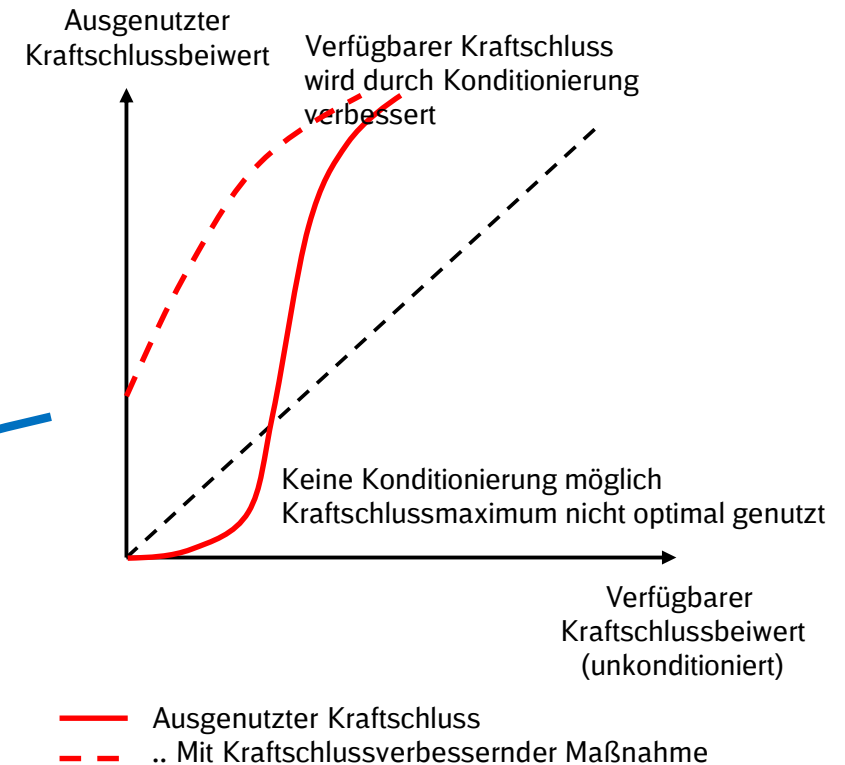


Grundlagen

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

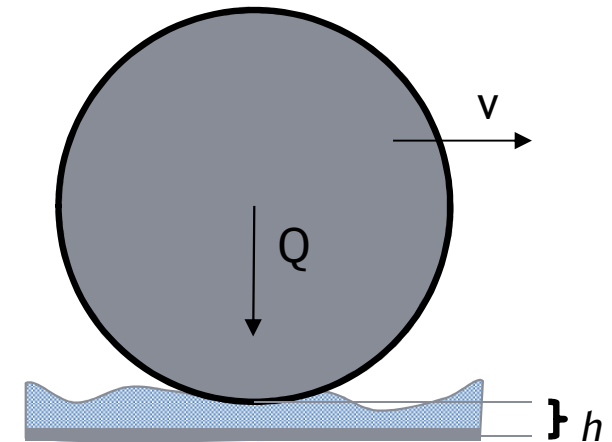


Grundlagen

Modell für den Kraftschlussbeiwert

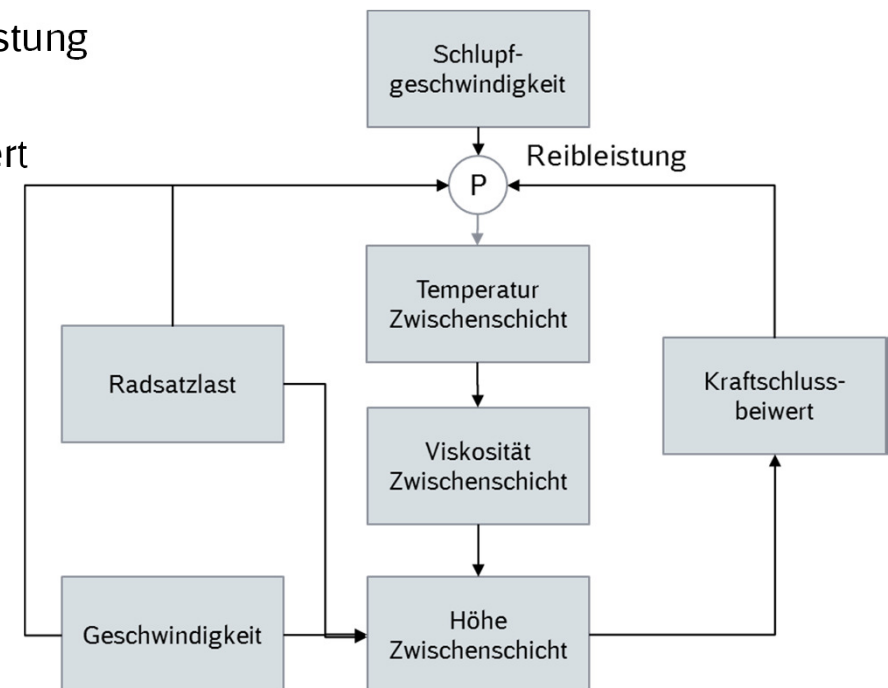
Weiterentwicklung bestehender Kraftschlussmodelle bei DB Systemtechnik für den dortigen Gleitschutzprüfstand

- 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

Schutzziele¹ des Gleitschutz nach EN15595:2009²

- 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;

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

²: 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

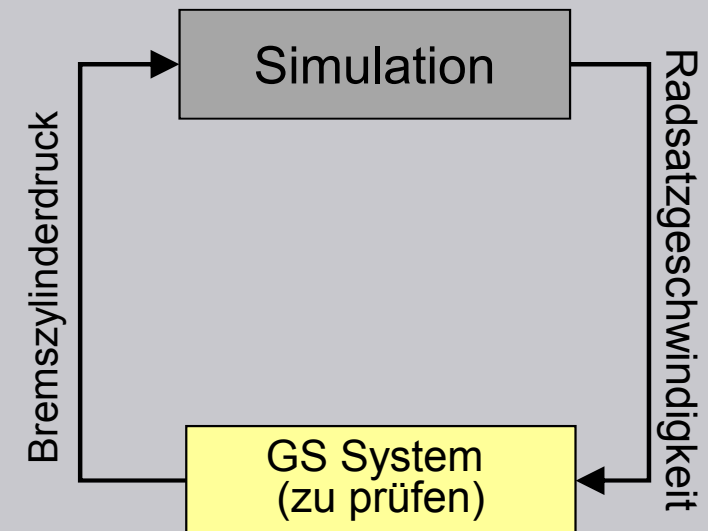
Fahrzeugbasiert

- 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 Gleitschutz-verhalten 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

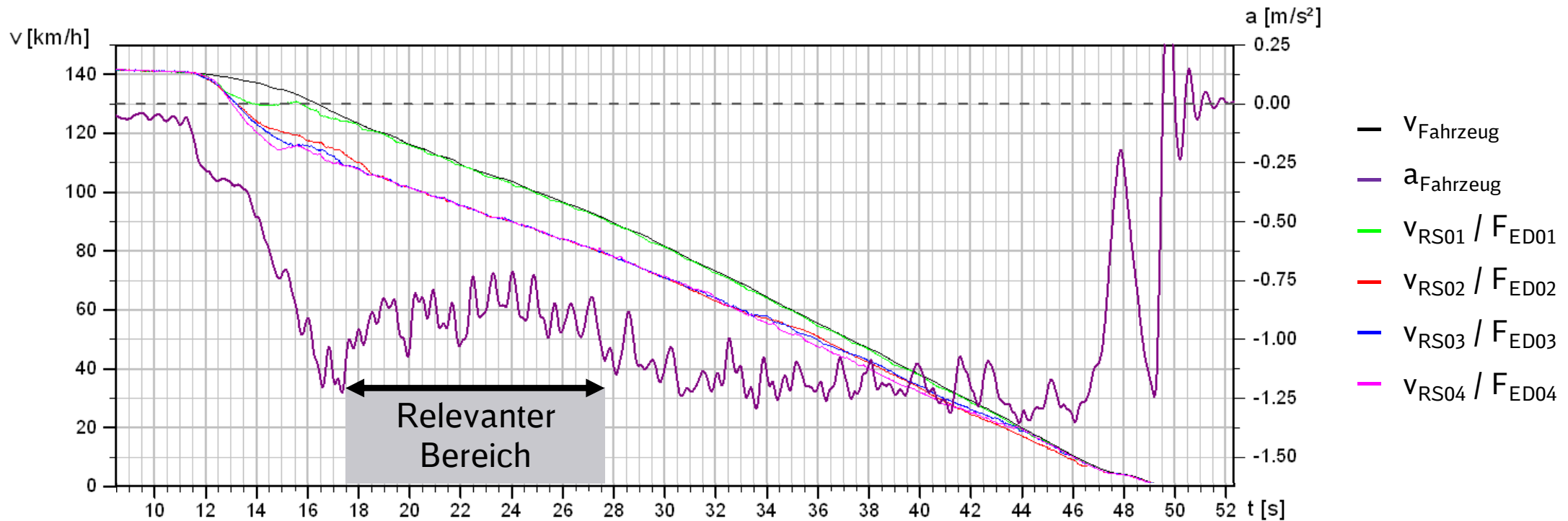
Testverfahren

Weiteres Optimierungspotenzial

Suche nach dem Kraftschlussmaximum

Gleitschutz – weiteres Optimierungspotenzial

Suche nach Kraftschlussmaximum



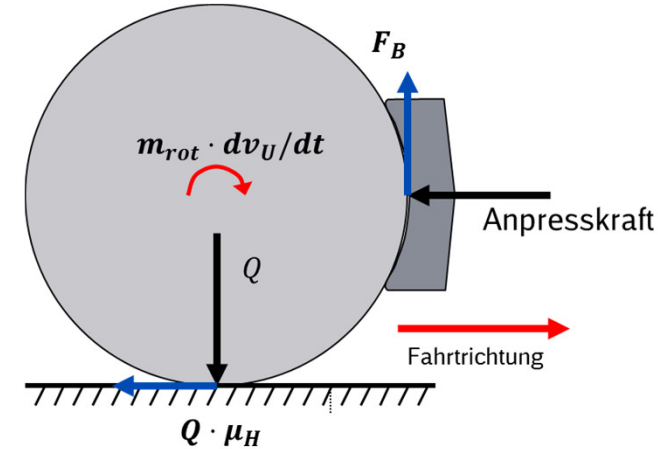
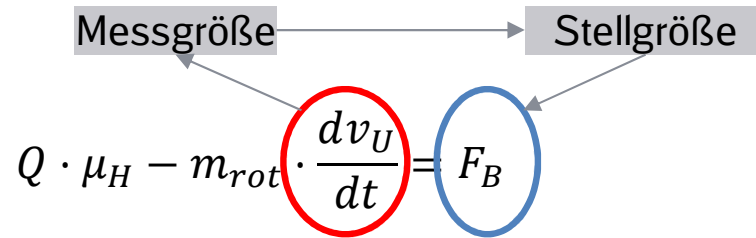
durch gezielte „Suche“ des Kraftschlussmaximums verbesserte Kraftübertragung bzw. höher Verzögerung erreichbar

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

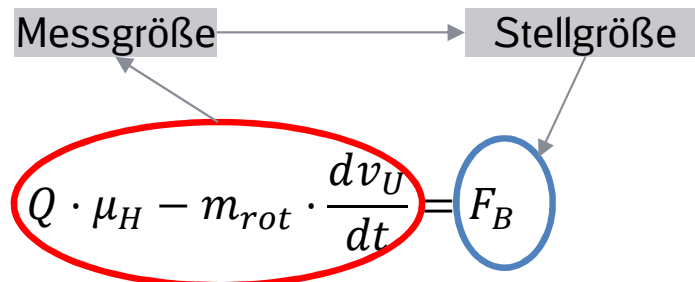
Gleitschutz – weiteres Optimierungspotenzial

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