

# Übung Kraftschluss-Schlupf

**Aufgabe 1 (Kraftschlussausnutzung)** Ein dreiteiliger Triebzug wird beschleunigt und gebremst. Die Daten des Triebzugs sind:

- Achsformel  $Bo' Bo' + 2' 2' + Bo' Bo'$
- $m_{W,i} = 40t$
- Massenfaktoren (anteilig von  $m_{W,i}$ ):
  - Treibachsen  $\rho_T = 1,15$
  - Laufachsen  $\rho_L = 1,08$
- Beschleunigungsvermögen:  $a_{max} = 1,5 \frac{m}{s^2}$
- Verzögerung der Schnellbremse:  $b_{max} = 1,2 \frac{m}{s^2}$

Bestimmen Sie:

- Treibachsbremskräfte (Lauf- und Treibachsen) und Kraftschlussausnutzung während einer Schnellbremsung
- Treibachszugkraft und Kraftschlussausnutzung während der maximalen Beschleunigung
- Die Bremse muss an zwei Drehgestellen (1 Laufdrehgestell, 1 Triebdrehgestell) auf Grund eines Fehlers abgesperrt werden. Bestimmen Sie die verbleibende Verzögerung sowie die Kraftschlussausnutzung, für die die Bremsleistung konstant gehalten werden könnte. Lassen sich die Grenzwerte der TSI Loc & Pas einhalten?
- Der Rad-Schiene-Kraftschluss sei wie in Abbildung 1 statistisch zu modellieren. Markieren Sie den in Aufgabe c) ermittelten Reibwert. Schraffieren Sie den Bereich, der die Wahrscheinlichkeit des Schleuderns angibt.

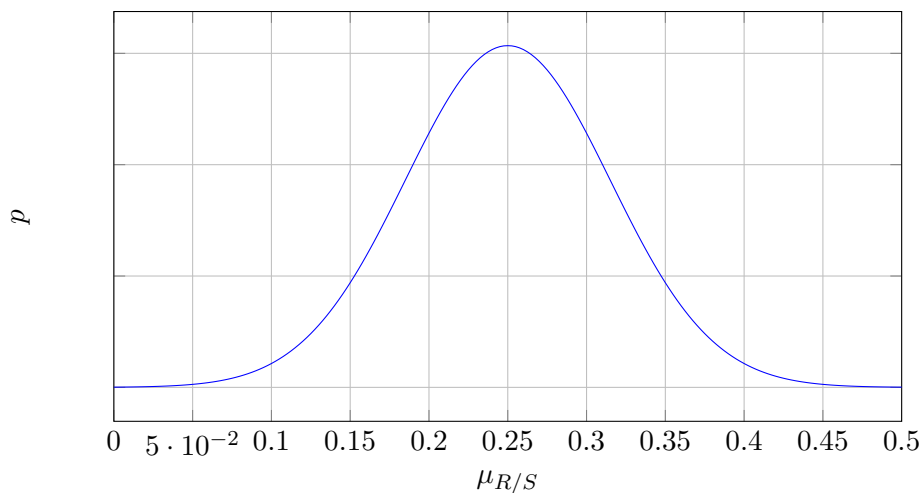


Abbildung 1: Wahrscheinlichkeitsdichte des Reibwerts zu Aufgabe d

**Aufgabe 2** Ein Güterwagen (Masse leer  $m_L = 30\text{t}$ , Masse unter maximaler Beladung  $m_B = 80\text{t}$ , rotierende Masse  $m_R = 3,2\text{t}$ ) erreicht eine maximale Verzögerung  $b_{max} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Bestimmen Sie:

- Treibachsbremskraft und Kraftschlussausnutzung während einer Schnellbremsung des beladenen Wagens
- Kraftschlussausnutzung während einer Schnellbremsung des unbeladenen Wagens unter der Annahme einer konstanten Bremskraft am Radumfang
- Treibachsbremskraft des unbeladenen Wagens für eine Kraftschlussausnutzung von 0,1.



- (3) Das Aufnahmevermögen für Bremsenergie ist durch Berechnung zu verifizieren, wobei nachzuweisen ist, dass das Bremssystem im Normalbetrieb so ausgelegt ist, dass es der Umwandlung der Bremsenergie standhält. Die bei dieser Berechnung verwendeten Referenzwerte für die Energie umwandelnden Komponenten des Bremssystems müssen entweder durch einen thermischen Versuch oder aufgrund von Erfahrungswerten belegt werden.

Diese Berechnung muss ein Szenario berücksichtigen, bei dem auf ebenem Gleis unter dem Lastzustand „maximale bremstechnische Zuladung“ direkt hintereinander zwei Schnellbremsungen bei Höchstgeschwindigkeit durchgeführt werden. (Das Zeitintervall zwischen den beiden Bremsungen entspricht der Zeit, die erforderlich ist, um wieder die Höchstgeschwindigkeit zu erreichen.)

Wenn die Einheit nicht eigenständig als Zug betrieben werden kann, muss das in der Berechnung verwendete Zeitintervall zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Schnellbremsungen angegeben werden.

- (4) Das maximale Streckengefälle, die zugehörige Länge und die Betriebsgeschwindigkeit, für die das Bremssystem angesichts der thermischen Belastbarkeit der Bremse ausgelegt ist, müssen ebenfalls durch eine Berechnung für die Lastzustand „maximale bremstechnische Zuladung“ definiert werden. Dabei ist eine konstante Geschwindigkeit in der Beharrung bei Durchführung einer Betriebsbremsung aufrechtzuerhalten.

Die Ergebnisse (das maximale Streckengefälle, die zugehörige Länge und die Betriebsgeschwindigkeit) sind in der Fahrzeugdokumentation gemäß Abschnitt 4.2.12 dieser TSI zu erfassen.

Für das zu berücksichtigende Gefälle wird folgender „Referenzfall“ vorgeschlagen: Beibehaltung einer Geschwindigkeit von 80 km/h bei einem konstanten Gefälle von 21 ‰ über eine Entfernung von 46 km. Wenn dieser Referenzfall zugrunde gelegt wird, muss in der Fahrzeugdokumentation nur dessen Einhaltung angegeben werden.

- (5) Einheiten, die in nicht trennbaren oder vordefinierten Zugverbänden mit einer vorgesehenen Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h oder darüber bewertet werden, sind außerdem für den Betrieb mit einem Bremssystem auszulegen, das im Normalbetrieb und bei der Lastzustand „maximale bremstechnische Zuladung“ bei einer Geschwindigkeit von 90 % der maximalen Betriebsgeschwindigkeit beim maximal zulässigen Gefälle von 25 ‰ auf 10 km bzw. von 35 ‰ auf 6 km eingesetzt werden kann.

#### 4.2.4.5.5 Feststellbremse

##### **Leistung:**

- (1) Eine auf einem Gefälle von 40 ‰ dauerhaft stehende Einheit (Zug oder Einzelfahrzeug) muss unter dem Lastzustand „Auslegungsmasse, betriebsbereites Fahrzeug“ festgehalten werden können, wenn keine Energieversorgung verfügbar ist.
- (2) Die Einheit muss mithilfe der Feststellbremsfunktion sowie — wenn die Feststellbremse die erforderliche Leistung nicht selbstständig erbringen kann — mit zusätzlichen Vorrichtungen (z. B. Radvorlegern) festgehalten werden können. Die erforderlichen zusätzlichen Vorrichtungen müssen im Zug vorhanden sein.

##### **Berechnung:**

- (3) Die Bremsleistung der Feststellbremse der Einheit (Zug oder Einzelfahrzeug) muss gemäß der in Anlage J-1 Ziffer 29 genannten Spezifikation berechnet werden. Das Ergebnis (Gefälle, auf dem die Immobilisierung der Einheit allein durch die Feststellbremse aufrechterhalten wird) ist gemäß Abschnitt 4.2.12 dieser TSI in das Fahrzeugregister einzutragen.

#### 4.2.4.6. Rad-Schiene-Kraftschluss — Gleitschutzsystem

##### 4.2.4.6.1. Grenzwerte des Rad-Schiene-Kraftschlusses

- (1) Das Bremssystem einer Einheit muss so ausgelegt sein, dass der berechnete Rad-Schiene-Kraftschluss für das Schnellbremsvermögen (mit dynamischer Bremse, wenn beim Bremsvermögen berücksichtigt) und für das Betriebsbremsvermögen (ohne dynamische Bremse) bei einer Geschwindigkeit von mehr als 30 km/h und weniger als 250 km/h den Wert 0,15 nicht überschreitet. Dabei sind folgende Ausnahmen zu berücksichtigen:
- Bei Einheiten, die in einem nicht trennbaren oder vordefinierten Zugverband bewertet werden und über höchstens sieben Radsätze verfügen, darf der berechnete Rad-Schiene-Kraftschluss höchstens 0,13 betragen.
  - Bei Einheiten, die in einem nicht trennbaren oder vordefinierten Zugverband bewertet werden und über mindestens 20 Radsätze verfügen, darf der berechnete Rad-Schiene-Kraftschluss für den Lastfall „minimale Zuladung“ mehr als 0,15 betragen, aber nicht höher als 0,17 sein.

Hinweis: Für den Lastfall „normale Zuladung“ sind keine Ausnahmen vorgesehen; es gilt der Grenzwert von 0,15.

Die Mindestanzahl von Radsätzen kann auf 16 reduziert werden, wenn der in Abschnitt 4.2.4.6.2 vorgesehene Versuch in Zusammenhang mit der Effizienz des Gleitschutzsystems für den Lastfall „minimale Zuladung“ zu einem positiven Ergebnis führt.

Bei Geschwindigkeiten von  $> 250 \text{ km/h}$  und  $\leq 350 \text{ km/h}$  sind die drei oben genannten Grenzwerte linear derart zu reduzieren, dass sich bei  $350 \text{ km/h}$  eine Reduzierung um 0,05 ergibt.

- (2) Die obige Anforderung gilt auch für den in Abschnitt 4.2.4.4.3 beschriebenen Direktbremsbefehl.
- (3) Bei der Auslegung einer Einheit ist für die Berechnung der Bremsleistung der Feststellbremse ein Rad-Schiene-Kraftschluss von maximal 0,12 anzunehmen.
- (4) Diese Grenzwerte des Rad-Schiene-Kraftschlusses sind durch Berechnung unter Verwendung des geringsten Raddurchmessers und der drei in Abschnitt 4.2.4.5.2 angegebenen Lastzuständen zu verifizieren.

Alle Kraftschlussbeiwerte sind auf zwei Dezimalstellen zu runden.

#### 4.2.4.6.2. Gleitschutzsystem

- (1) Ein Gleitschutzsystem dient dazu, den verfügbaren Kraftschluss durch eine gesteuerte Reduzierung und Wiederherstellung der Bremskraft bestmöglich auszunutzen, um zu vermeiden, dass Radsätze blockieren und unkontrolliert gleiten, und um somit eine Verlängerung des Bremsweges möglichst gering zu halten und mögliche Beschädigungen der Räder zu verhindern.

Anforderungen an die Ausrüstung einer Einheit mit einem Gleitschutzsystem und den Einsatz eines Gleitschutzsystems in einer Einheit:

- (2) Einheiten mit einer Höchstgeschwindigkeit von mehr als  $150 \text{ km/h}$  sind mit einem Gleitschutzsystem auszurüsten.
- (3) Einheiten mit auf die Lauffläche der Räder wirkenden Bremsklötzen mit einem Bremsvermögen, für die bei Geschwindigkeiten von  $> 30 \text{ km/h}$  ein berechneter Rad-Schiene-Kraftschlussbeiwert von mehr als 0,12 vorgesehen ist, sind mit einem Gleitschutzsystem auszurüsten.

Einheiten ohne auf die Lauffläche der Räder wirkende Bremsklötze mit einer Bremsleistung, für die bei Geschwindigkeiten von  $> 30 \text{ km/h}$  ein berechneter Rad-Schiene-Kraftschlussbeiwert von mehr als 0,11 vorgesehen ist, sind mit einem Gleitschutzsystem auszurüsten.

- (4) Das oben geforderte Gleitschutzsystem ist für die beiden folgenden Bremsmodi erforderlich: Schnellbremsung und Betriebsbremsung.

Das System ist außerdem bei dynamischen Bremssystemen im Falle von Betriebsbremsungen anzuwenden und kann bei Schnellbremsungen anzuwenden sein (siehe Abschnitt 4.2.4.7).

Anforderungen an die Leistung des Gleitschutzsystems:

- (5) Bei Einheiten mit einem dynamischen Bremssystem regelt ein Gleitschutzsystem (wenn gemäß dem vorstehenden Punkt vorhanden) die Bremsleistung des dynamischen Bremssystems. Wenn eine Einheit nicht mit einem Gleitschutzsystem ausgerüstet wurde, muss die dynamische Bremskraft deaktiviert oder so reduziert werden, dass der Rad-Schiene-Kraftschluss einen Wert von 0,15 nicht überschreitet.
- (6) Das Gleitschutzsystem muss gemäß der in Anlage J-1 Ziffer 30 Abschnitt 4 genannten Spezifikation ausgelegt sein; das Konformitätsbewertungsverfahren ist in Abschnitt 6.1.3.2 beschrieben.
- (7) Anforderungen an die Leistung bei den einzelnen Einheiten:

Wenn eine Einheit mit einem Gleitschutzsystem ausgestattet ist, muss ein Versuch zur Verifizierung der Effizienz des Gleitschutzsystems (maximale Verlängerung des Bremsweges im Vergleich zum Bremsweg auf trockener Schiene) bei Einbau in die Einheit durchgeführt werden. Das Verfahren zur Konformitätsbewertung wird in Abschnitt 6.2.3.10 beschrieben.

Die relevanten Komponenten des Gleitschutzsystems sind in der gemäß Abschnitt 4.2.4.2.2 erforderlichen Sicherheitsanalyse der Notbremsfunktion zu berücksichtigen.