

Das Prud'homme-Kriterium und seine Relevanz für den heutigen Fahrweg

DI K. Metnitzer, DI R. Schmid, Univ.Prof. Dr. F. Pospischil

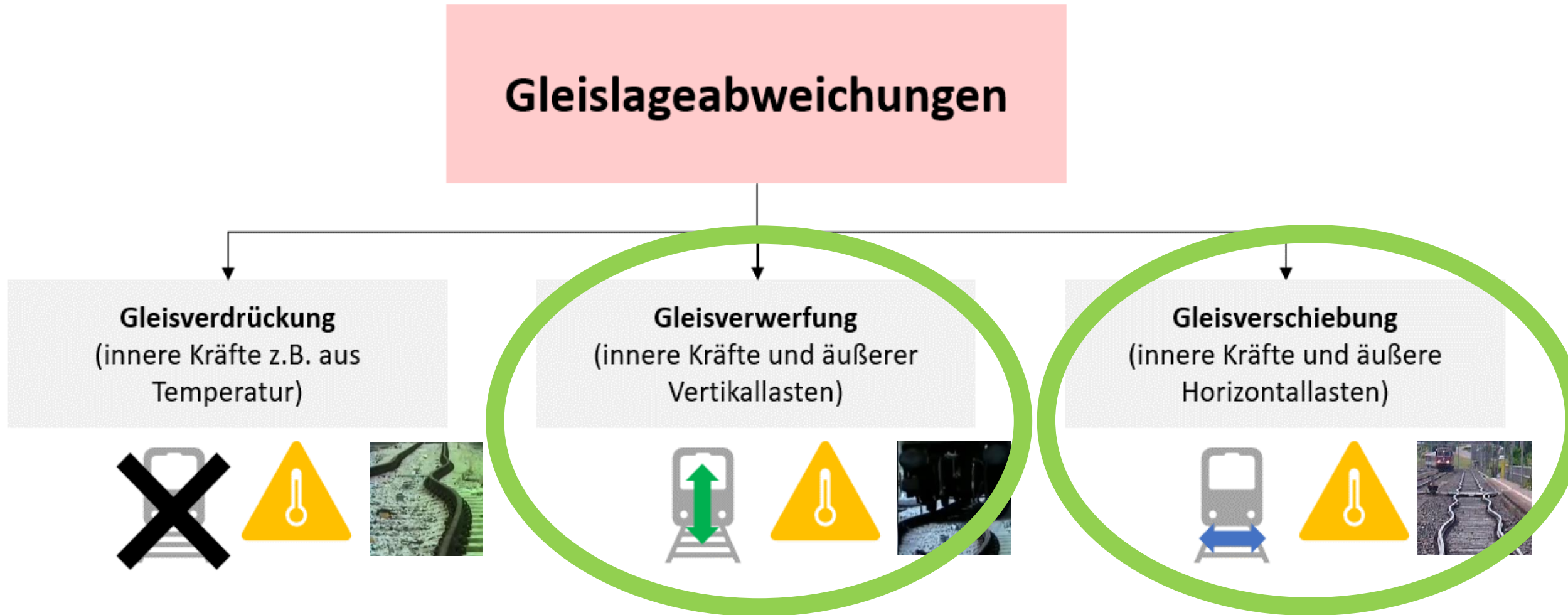
19.09.2023, 48. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz

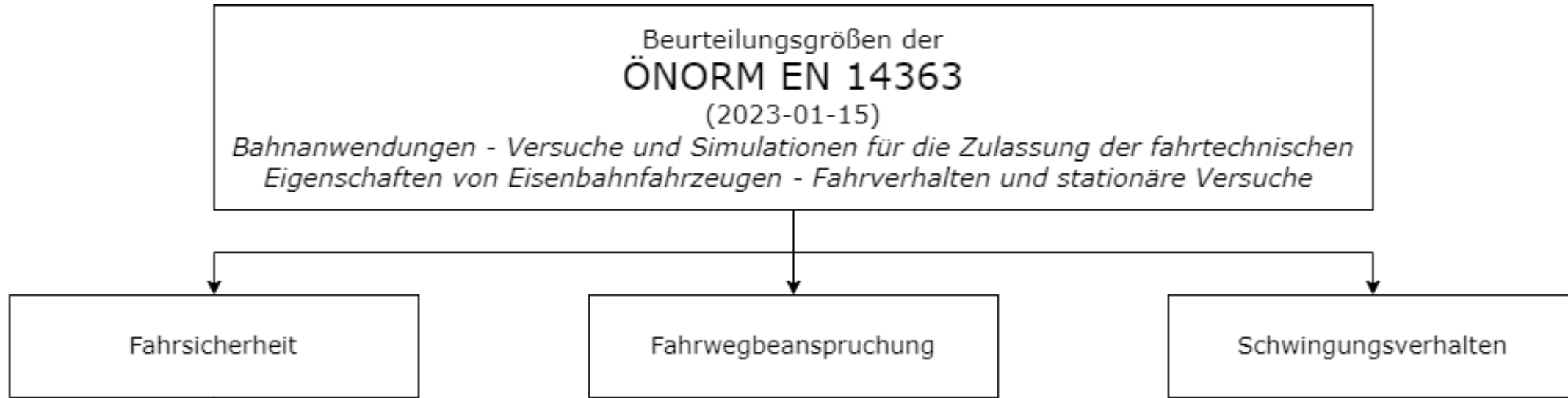
Wie ist das mit den Querkräften im Gleis?

- ✓ Zu hohe Querkraft verschiebt den Gleisrost durch Überwindung des Querverschiebewiderstandes...
- ...durch innere Kräfte in einem Gleislagefehler oder Gleisbogen
- ...durch innere Kräfte und äußere Vertikallasten
- ...durch (innere Kräfte und) äußere Horizontallasten

Quelle: A. Franklin*

Eine Unterscheidung nach Ursache schärft den Blick





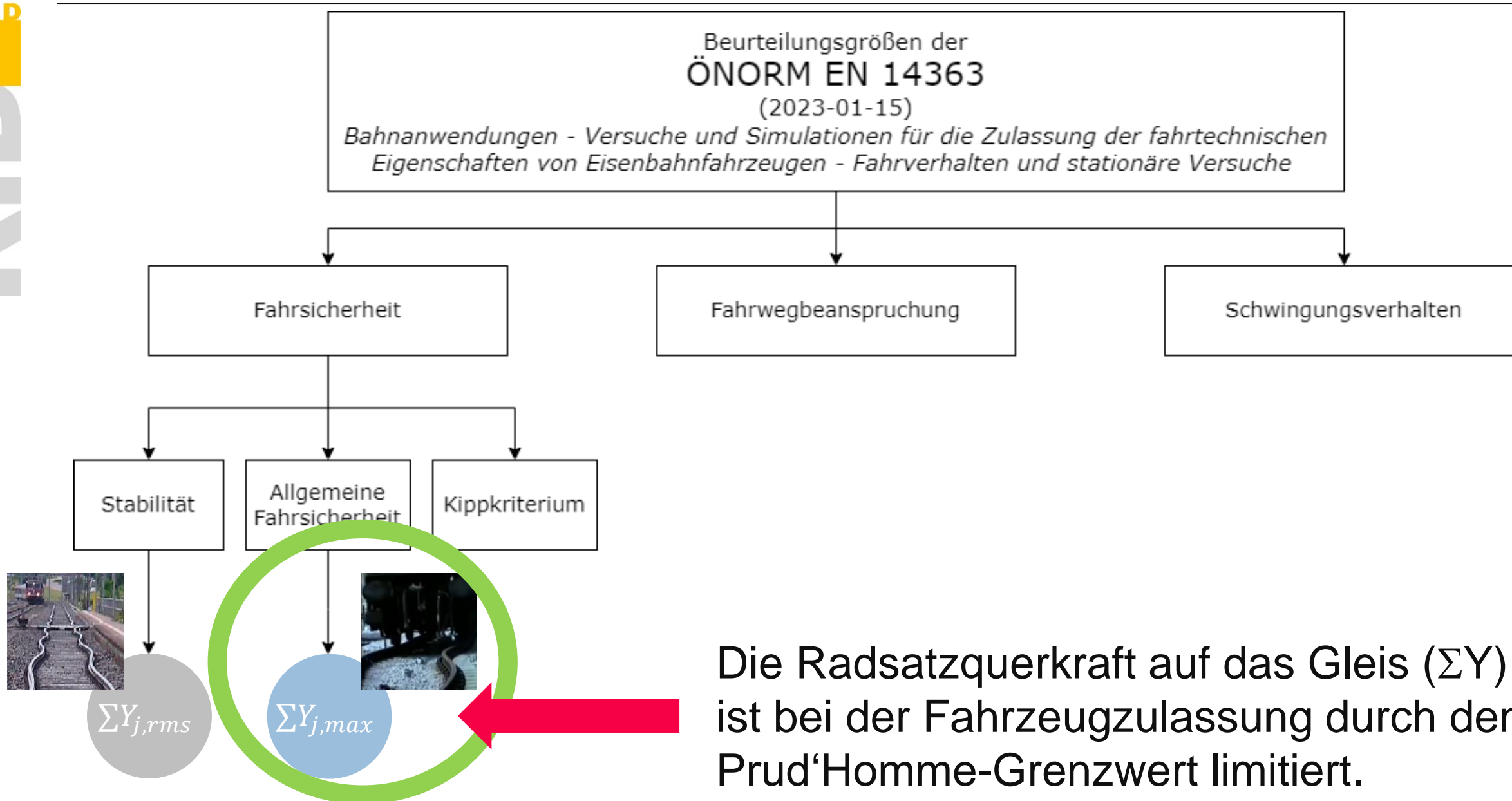
Fahrsicherheit beschreibt die Wahrscheinlichkeit des plötzlichen Entgleisens aufgrund eines unerwünschten Verhaltens von Fahrzeug und/oder Fahrweg.

Eine den betrieblichen Anforderungen genügende *Fahrsicherheit* ist gegeben, wenn diese Wahrscheinlichkeit ausreichend gering ist.

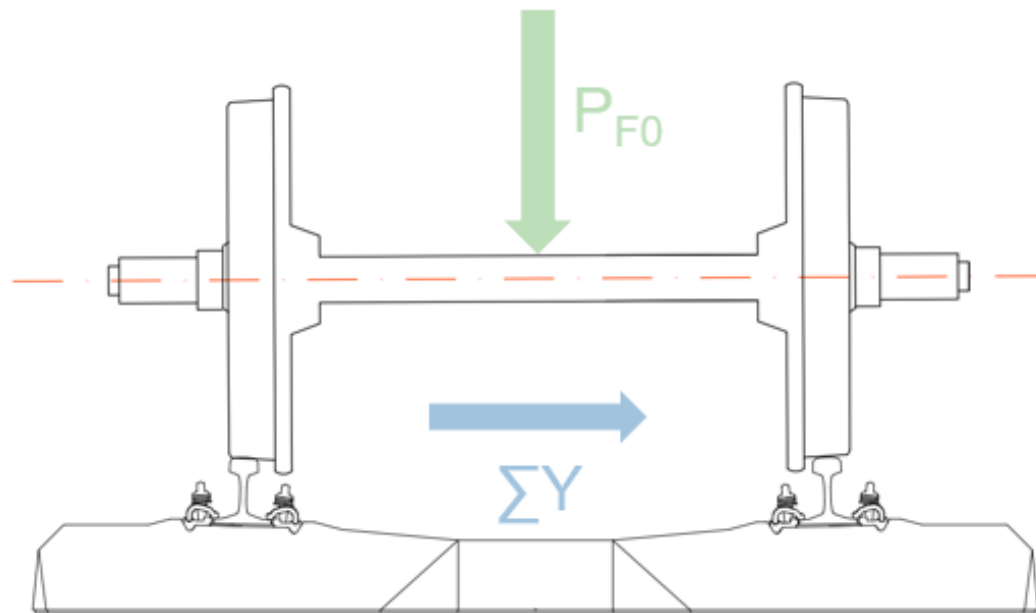
Fahrwegbeanspruchung ist die Gesamtheit der im Rad-Schiene-Berührungspunkt übertragenen Fahrzeugeinwirkungen auf den Fahrweg.

Diese ist ausreichend gering, wenn keine bleibende Verschlechterung des Fahrwegzustandes verursacht wird oder diese im Zuge des vorgesehenen Instandhaltungsregimes rechtzeitig beseitigt werden kann.

Festzuhalten ist, dass eine nicht rechtzeitige Korrektur der Fahrwegverschlechterung aufgrund unpassender nachgelagerter Instandhaltungsprozesse ebenfalls zu Betriebsgefahr führen kann, diese liegt jedoch zum Unterschied zur Fahrsicherheit nicht unmittelbar vor!



Prud'hommes Grenzwert in der EN14363



Fahrsicherheit:

$$\Sigma Y_{j,max} \leq k * \left(10 \text{ kN} + \frac{P_{F0}}{3} \right)$$

k = 1 für Triebfahrzeuge, Reisewagen und Triebwagen
k = 0,85 für Güterwagen



Fahrstabilität:

$$\Sigma Y_{j,rms} \leq k * (10 \text{ kN} + P_{F0} / 3) / 2$$

$$(\text{=} \Sigma Y_{j,max,lim} / 2)$$



Prud'hommes Untersuchungen (1967)

„Widerstandes des Gleises gegen die von den Fahrzeugen ausgehende seitliche Beanspruchung“

Theoretische und experimentelle Untersuchungen in Geraden und großen Bögen

Zielsetzung: bleibende inkrementelle Verformungen des Gleises in Querrichtung gering halten

Ergebnis:

- Kritische Horizontallast in Abhängigkeit der Achslast
- Grenzwert für **langsame Qualitätsverschlechterung in Querrichtung (Querverschiebung)** anzuwenden auf für ‚unterschaufelte‘ Gleise ohne Stabilisierung



Von Prud'homme zur EN 14363

ΣY ... Führungskräfte linkes und rechtes Rad in kN
 P_{F0} ... Radsatzauflastkraft linkes und rechtes Rad in kN bzw. t
 Q_0 ... mittlere statische Radkraft in kN
 k ... Koeffizient zur Berücksichtigung des Oberbauszustandes / des Fahrzeugs

$$\Sigma Y \leq k * \left(1 + \frac{P_{F0}}{3}\right) [t]$$

Grenzwert gegen **Gleisverschiebung**
 k ...bezogen auf Fahrwegbauart und IH

$$\Sigma Y_{\max(2m)} \leq k * \left(10 + \frac{P_{F0}}{3}\right)$$

Grenzwert gegen **Gleisverschiebung**
 k ...abhängig von Begleitmaßnahmen

$$\Sigma Y_{j,\max} \leq k * \left(10 + \frac{P_{F0}}{3}\right)$$

Grenzwert zur Beurteilung der **Fahrsicherheit**
 k ... bezogen auf Fahrzeugtyp

Prud'homme
1967

UIC-Kodex 515
1984

UIC-Kodex 518
1995

ORE C209
1999

EN 14363
heute

Fastenrath
1977

ORE C138
1986

$$\Sigma Y \leq k * \left(1 + \frac{P_{F0}}{3}\right) [t]$$

Grenzwert gegen **inkrementelle Gleisverschiebung**
 k ...bezogen auf MW / Min des QVW für ,unterschaufelte' Gleise ohne DGS

$$\Sigma Y_{\max(2m)} \leq 0,85 * \left(10 + \frac{2Q_0}{3}\right)$$

Grenzwert bezüglich **Beanspruchung des Oberbaus**

$$(\Sigma Y)_{2m} \leq k * \left(10 + \frac{P_0}{3}\right)$$

Grenzwert zur Beurteilung der **Fahrsicherheit**
 k ... bezogen auf Fahrzeugtyp
 (ORE C209 definiert **Instabilitätskriterium**)

Von Prud'homme zur EN 14363

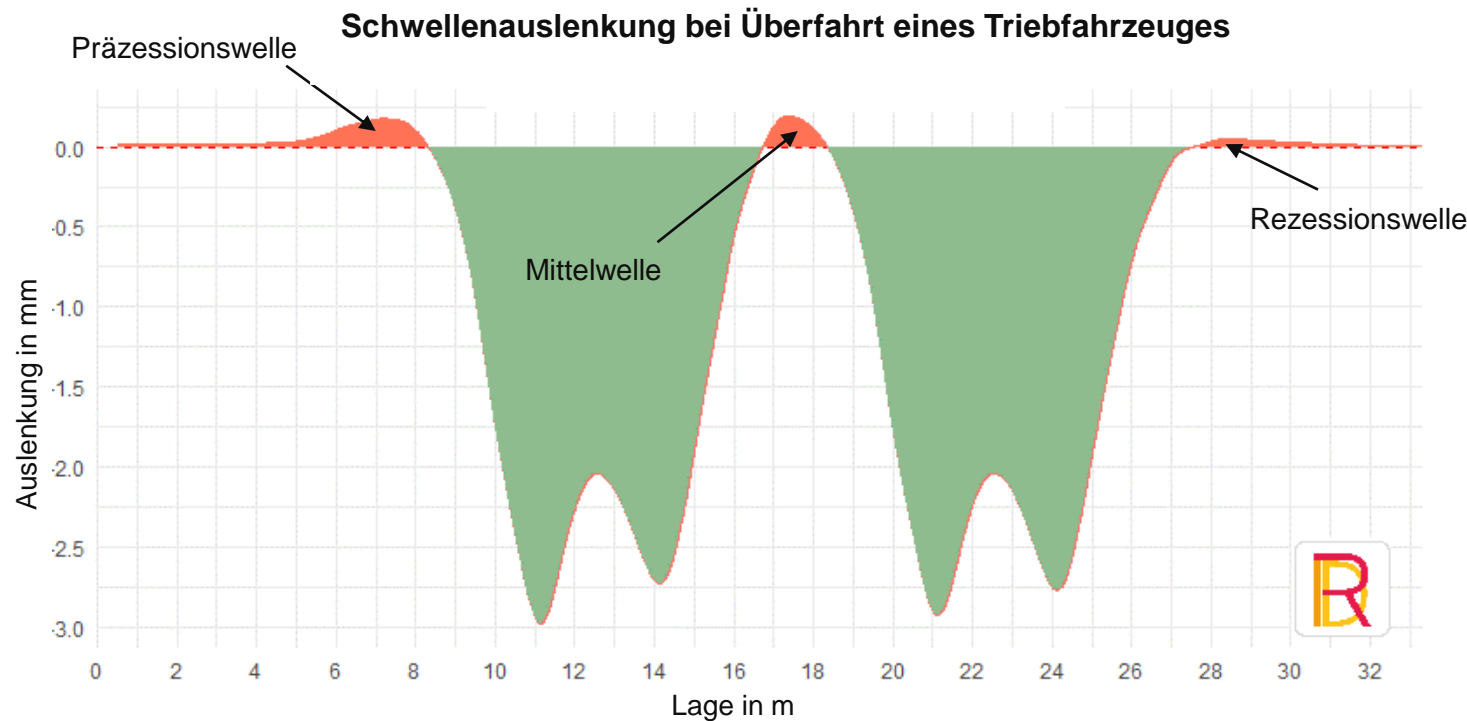
vom
„Instandhaltungsgrenzwert“
zum
Fahrsicherheitsgrenzwert



[5]

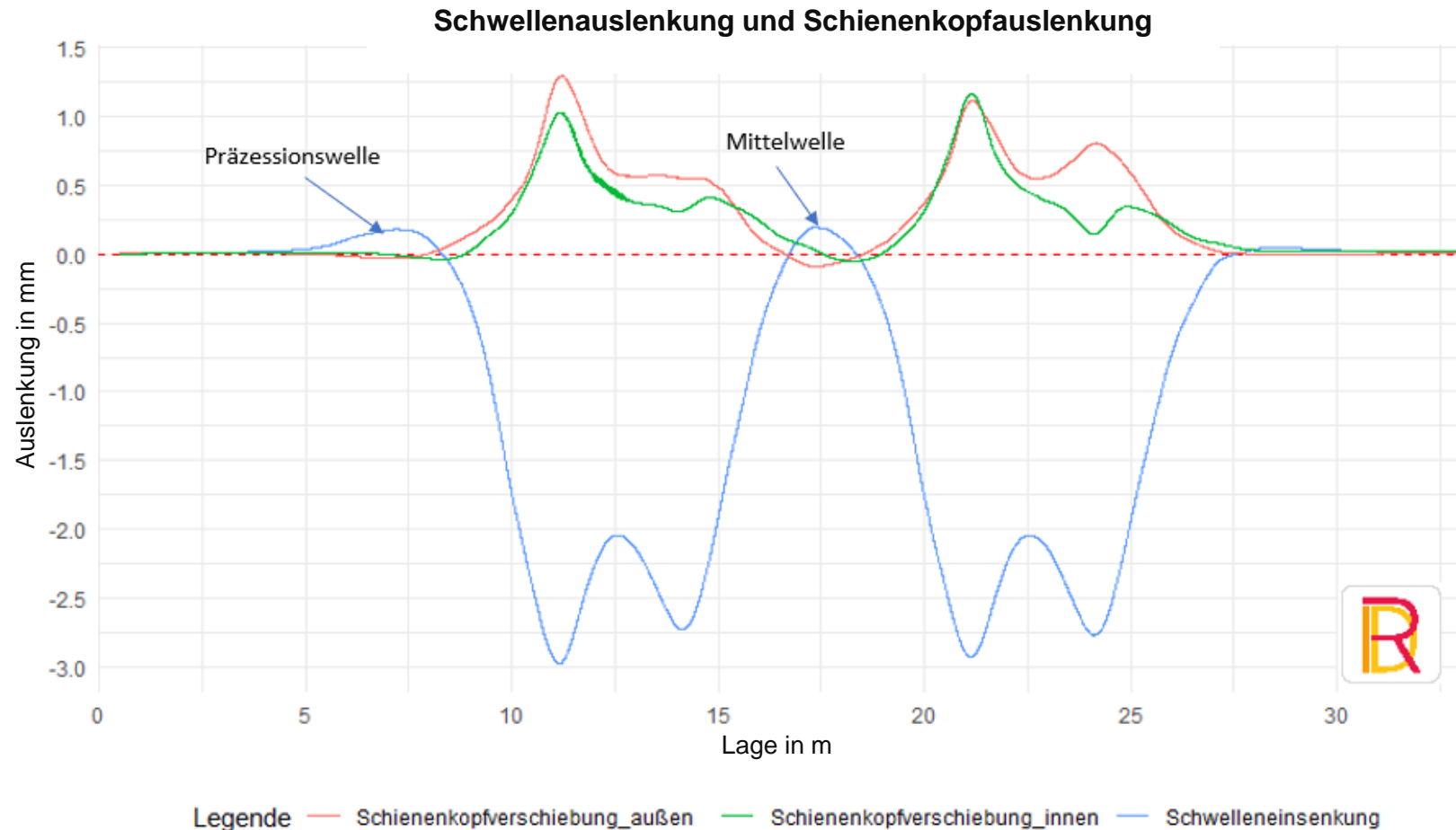
Untersuchungen

Variable Lagestabilität bei einer Fahrzeugüberfahrt

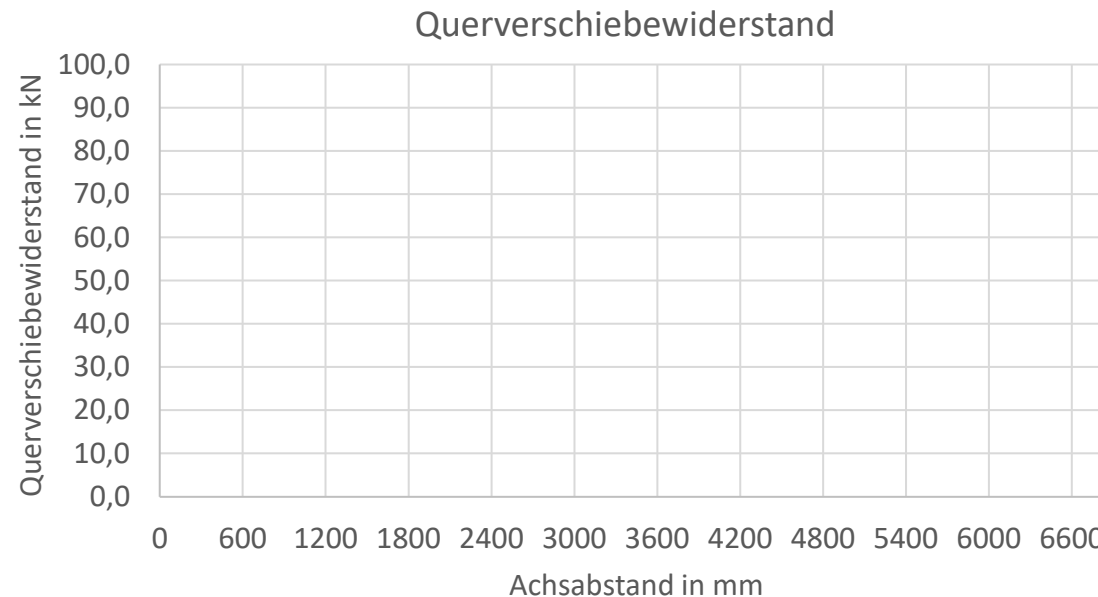


Tritt in der Abhebewelle (im Bereich des reduzierten QVWs) **eine relevante fahrzeuginduzierte Querkraft** auf?

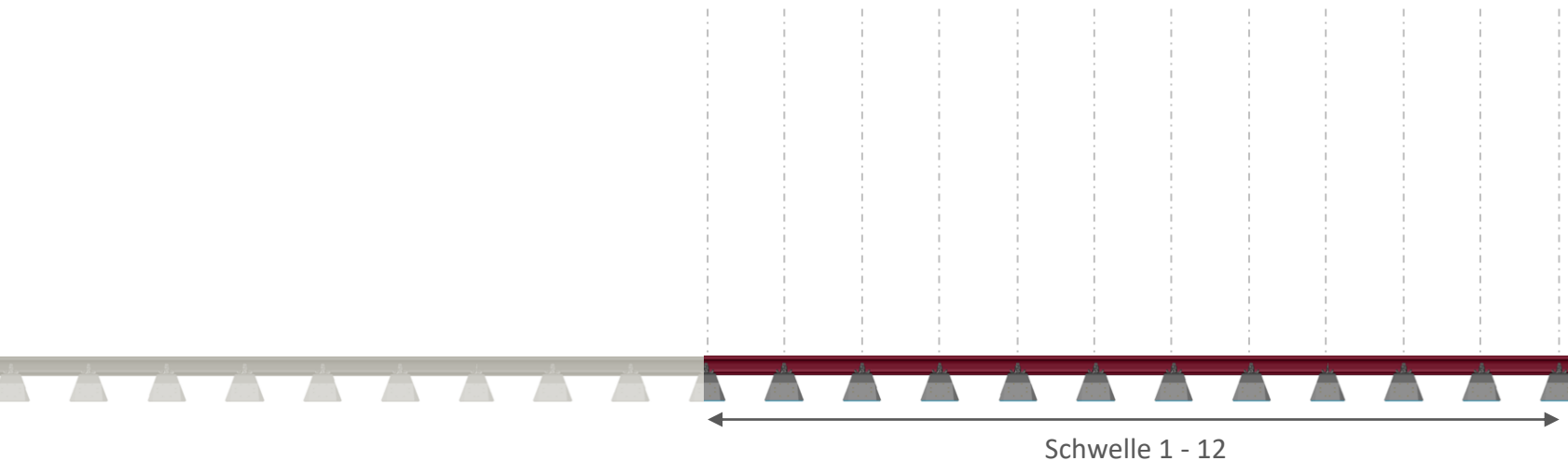
Gleichzeitigkeit von Abhebewelle und Querkraft



➔ Unabhängig vom betrachteten Zugtyp tritt **keine relevante** Querkraft bzw. horizontale Auslenkung im Bereich der Abhebewelle auf.



QVW in kN (Mittelwert)



Vorhandener Oberbau:

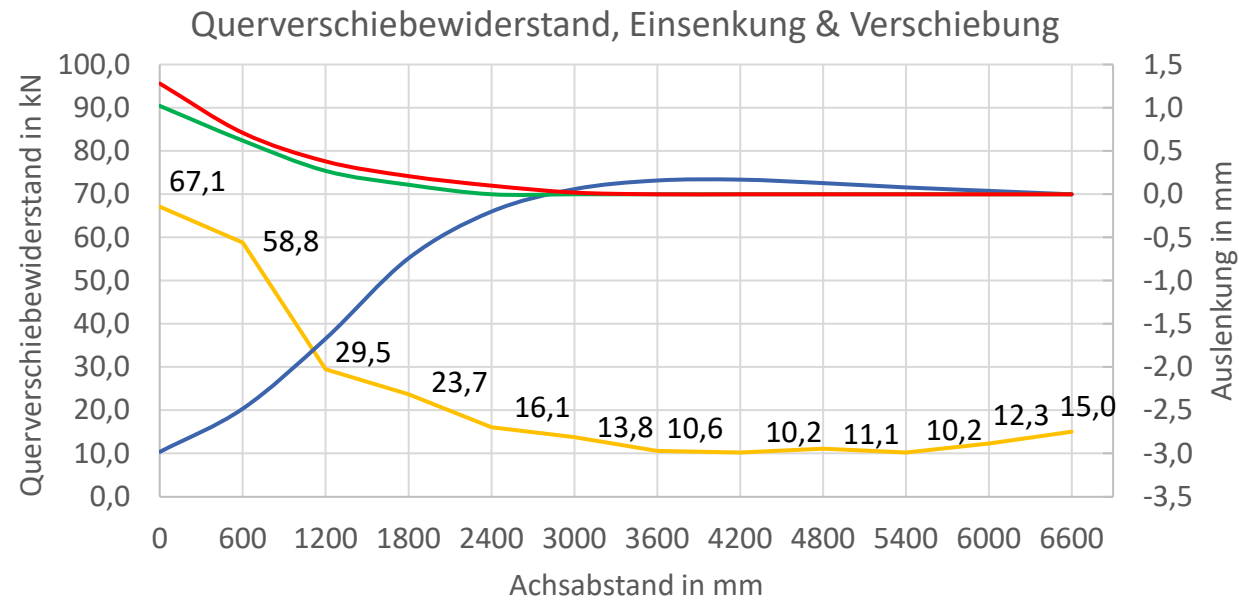
- Schiene: 54E2, 2006
- Holzschwelle, 2004
- Bettungsmodul $C=0,06-0,07$ N/mm³

charakteristische Werte für C
lt. Zimmermann

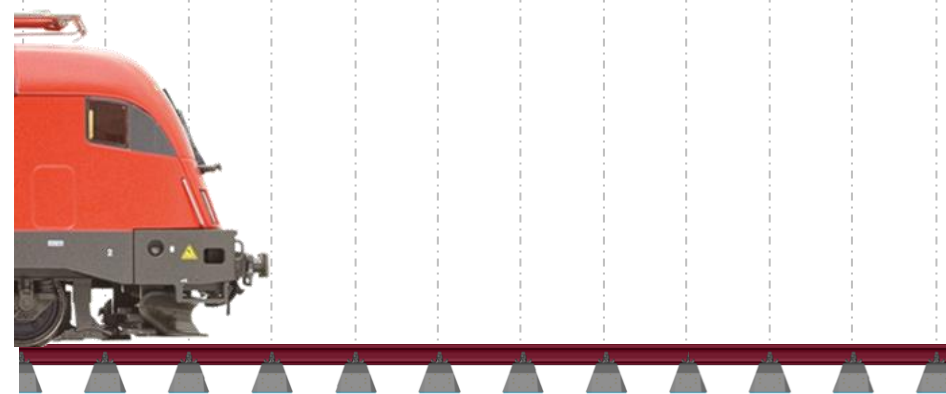
C in N/mm ³	Untergrund
0,02	sehr schlecht
0,05	schlecht
0,10	gut
0,30 bis	steif
0,40	(Betonplatte)

Belastung:

- Lokomotive der Baureihe 1116



— QVW in kN (Mittelwert)
 — Einsenkung*
 — Schienenkopfverschiebung innen*
 — Schienenkopfverschiebung außen*



Schwelle 1 - 12

* Überlagerte Daten aus einer Messung im Gleisbogen

Gemessene QVW Werte im Gleis der ÖBB
lt. RV 07.06.05.01

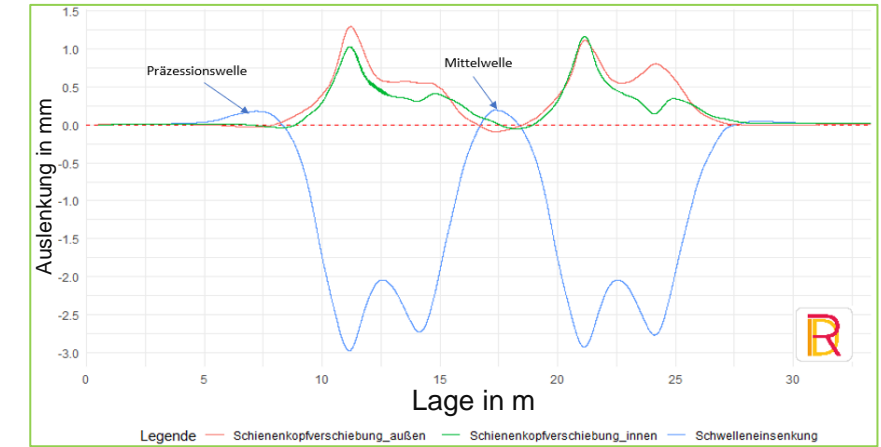
Schwellenart	QVW in kN
Holzschwellen	6.4*
Holzschwellen mit SIK einseitig	4.6**
Holzschwellen mit SIK beidseitig	6.9**
Betonschwellen	15.7*
Betonschwellen besohlt	13.9**

* vollständig konsolidiert

** teilweise konsolidiert

Ergebnisse:

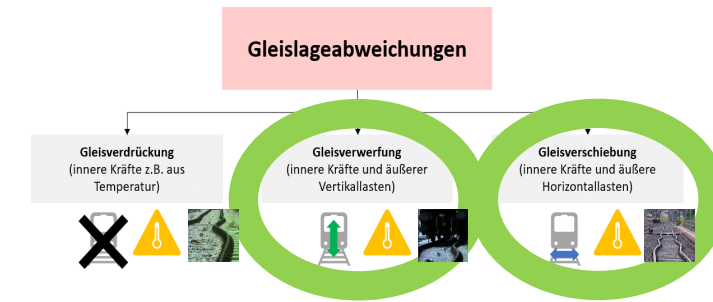
- Keine relevante fahrzeuginduzierte Querkraft in den Abhebewellen
- Vielfacher QVW auf vertikal belasteten Schwellen



Es ist kein Zusammenhang zwischen ΣY und Gleisverwerfung darstellbar.

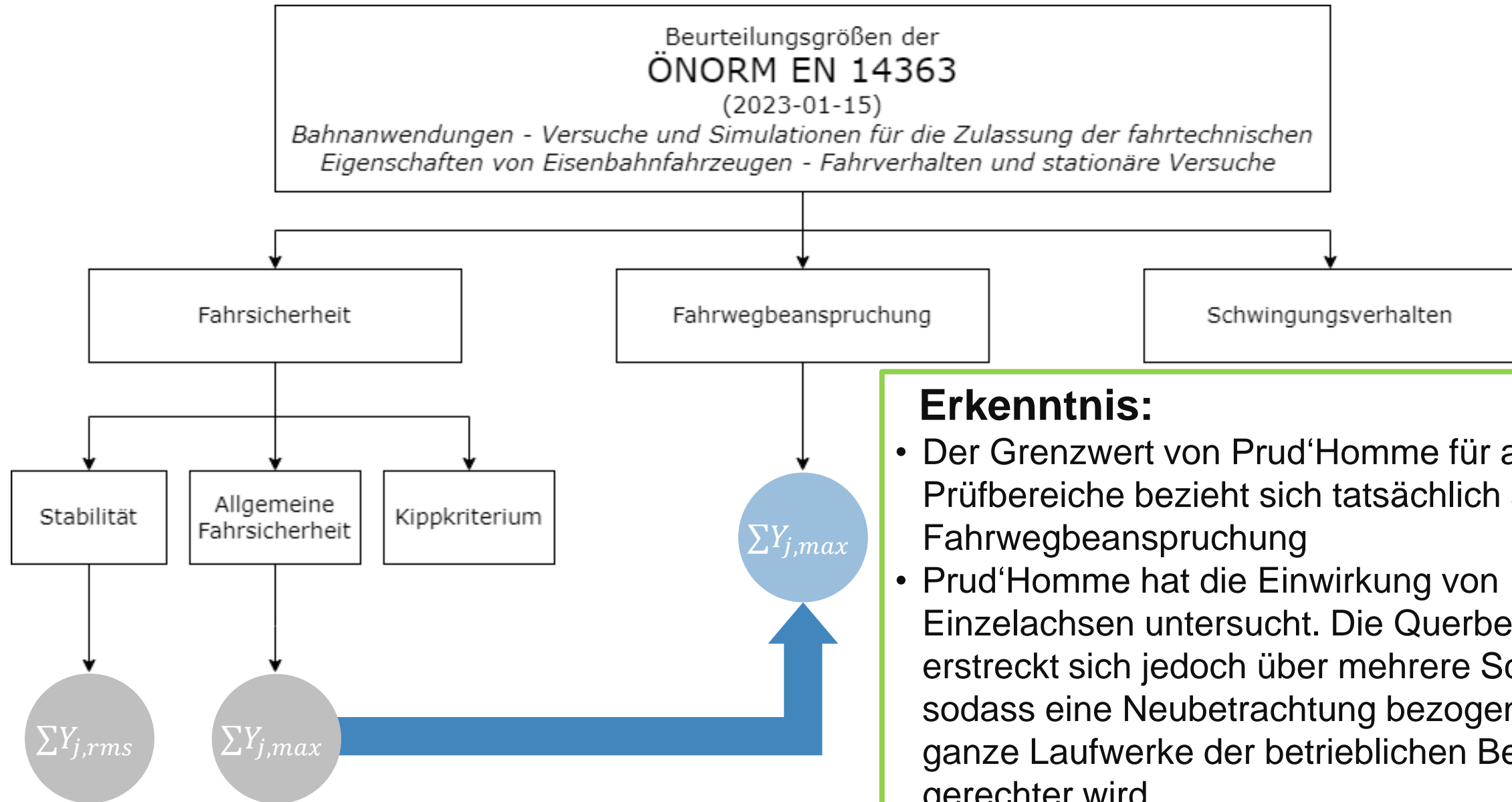
Resümee und Ausblick

- Die Gleisverdrückung ist unabhängig von Fahrzeugen
- Die Gleisverwerfung entsteht durch
 - Längskräfte im Gleis
 - seitliche Auslenkung (Richtungsfehler, Gleisbogen)
 - ABHEBEWELLE (Ausreichend Abstand zwischen den Fahrwerken!)
 - Kein Einfluss von ΣY nachgewiesen



→ ***Prud'Homme hatte recht!***

- Die (periodische) plötzliche Gleisverschiebung wird verursacht durch extrem instabile Fahrzeuge (abgesichert durch EN14363 – ‚Stabilitätskriterium‘)

**Erkenntnis:**

- Der Grenzwert von Prud'Homme für alle Prüfbereiche bezieht sich tatsächlich auf die Fahrwegbeanspruchung
- Prud'Homme hat die Einwirkung von Einzelachsen untersucht. Die Querbelastung erstreckt sich jedoch über mehrere Schwellen, sodass eine Neubetrachtung bezogen auf ganze Laufwerke der betrieblichen Belastung gerechter wird.

Nächste Schritte

- Weitere Feldmessungen an anderen Fahrwegbauarten
- Weitere Untersuchungen durch Simulation
 - Erweiterung auf mehrere Szenarien
 - Ermittlung kritischer Parameterwerte
- Anwendung des Grenzwertes auf einen ‚modifizierten‘ $\sum Y$ -Wert, bezogen auf das gesamte Laufwerk (Drehgestell), denkbar.

Das Prud'homme-Kriterium und seine Relevanz für den heutigen Fahrweg

DI K. Metnitzer, DI R. Schmid, Univ.Prof. Dr. F. Pospischil

19.09.2023, 48. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz