

Verminderung der Einwirkungen im Unterbau/Untergrund mit elastischen Elementen im Oberbau

- Ein Erfahrungsbericht -

Prof.- Dr.-Ing. Ulrike Weisemann



Gliederung

1. Problemstellung
2. Eintragung und Abtragung der Lasten
3. Ergebnisse des Nachweises der dynamischen Gebrauchstauglichkeit
4. Einbaupositionen und Wirkungsweise von elastischen Elementen im Oberbau
5. Betriebserprobung beim Bauvorhaben Hamburg – Berlin, 2. Ausbaustufe
6. Schlussfolgerungen

Bauvorhaben Hamburg – Berlin, 2. Ausbaustufe, Abnahmemessungen



Beispiel Bauvorhaben Hamburg – Berlin, 2. Ausbaustufe

- Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit auf $v_e = 230$ km/h für eine auf 160 km/h bereits ertüchtigte Strecke,
- ggf. Bestellung der Strecke für Schwerwagenverkehr (25 t Radsatzlast)

1. Ausbaustufe:

Mindestanforderungen gemäß DS 836

Gesamtdicke von PSS / FSS: $d = 0,25$ m

Planum: $E_{V2} = 50$ MN/m²
 $D_{Pr} = 0,95$

EPL: $E_{V2} = 20$ MN/m²

Untergrund: $D_{Pr} = 0,93$
 bis 0,50 m unter OK EPL

2. Ausbaustufe:

Mindestanforderungen gemäß Ril 836

Regeldicke der Schutzschicht: $d = 0,40$ m

Planum: $E_{V2} = 80$ MN/m²
 $D_{Pr} = 1,00$

EPL: $E_{V2} = 45$ MN/m²

Untergrund: $D_{Pr} = 0,95$
 bis 1,50 m unter OK EPL

→ Höhere Anforderungen an Tragfähigkeit und Verdichtung

Fragestellung bei Erdbauwerken an Ausbaustrecken:

Entspricht die vorhandene Substanz den gestiegenen Anforderungen?

Erhöhung der Geschwindigkeit, der Streckenbelegung bzw. der Radsatzlast



Höhere Anforderungen an das Gesamtsystem Oberbau / Unterbau / Untergrund



Fragestellung:

Welche bautechnischen Maßnahmen müssen durchgeführt werden, um die höheren Beanspruchungen schadlos aufnehmen zu können?



Erweiterter Ansatz in der Nachweisführung:

- ↘ Differenzierte und tiefgehende Betrachtung der Einwirkungen (Vergangenheit / Gegenwart / Zukunft) durch tatsächliche bzw. wirklichkeitsnahe Lastbilder
- ↘ Erfassung der tatsächlichen Widerstände des Gesamtsystems, insbesondere des Baugrundes
- ↘ Untersuchungen zur Beanspruchung und zur Beanspruchungsveränderung, Beurteilung der Auswirkungen auf das Erdbauwerk



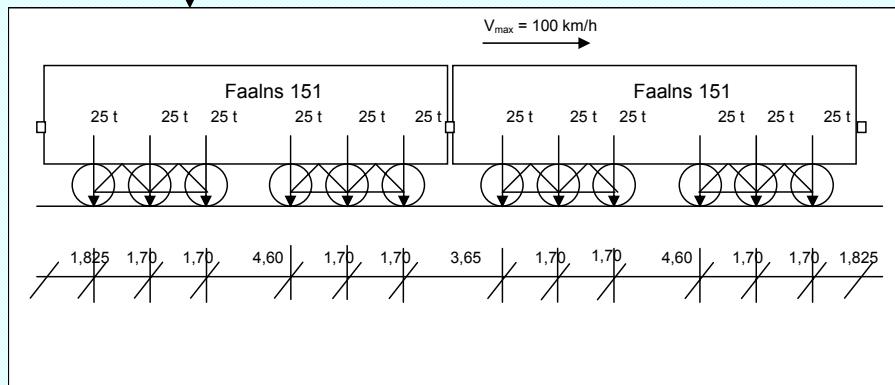
Festlegung von Ertüchtigungsmaßnahmen unter Nutzung von elastischen Elementen

Systematisierung der Einwirkungen

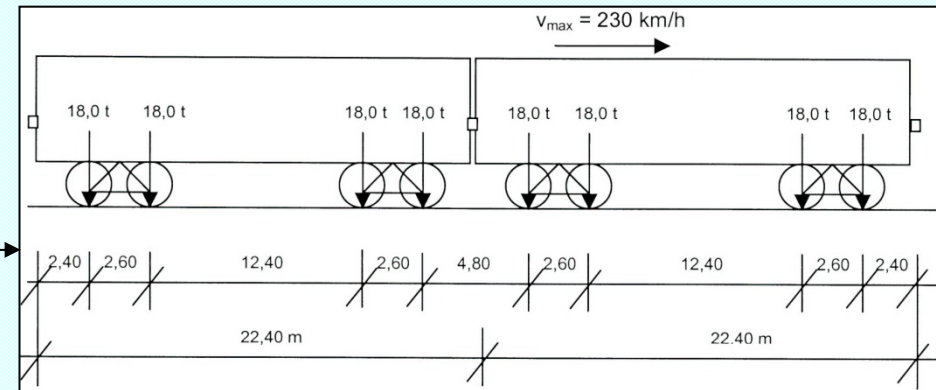
Beanspruchungsveränderung
- zukünftiger Zustand -

Schwer-
wagen-
verkehr

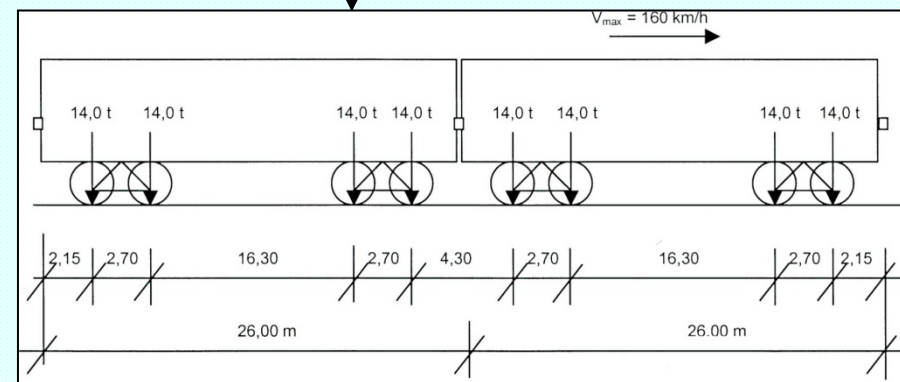
Hochge-
schwindig-
keitsverkehr



Lastbild für Schwerwagen Faalns 151



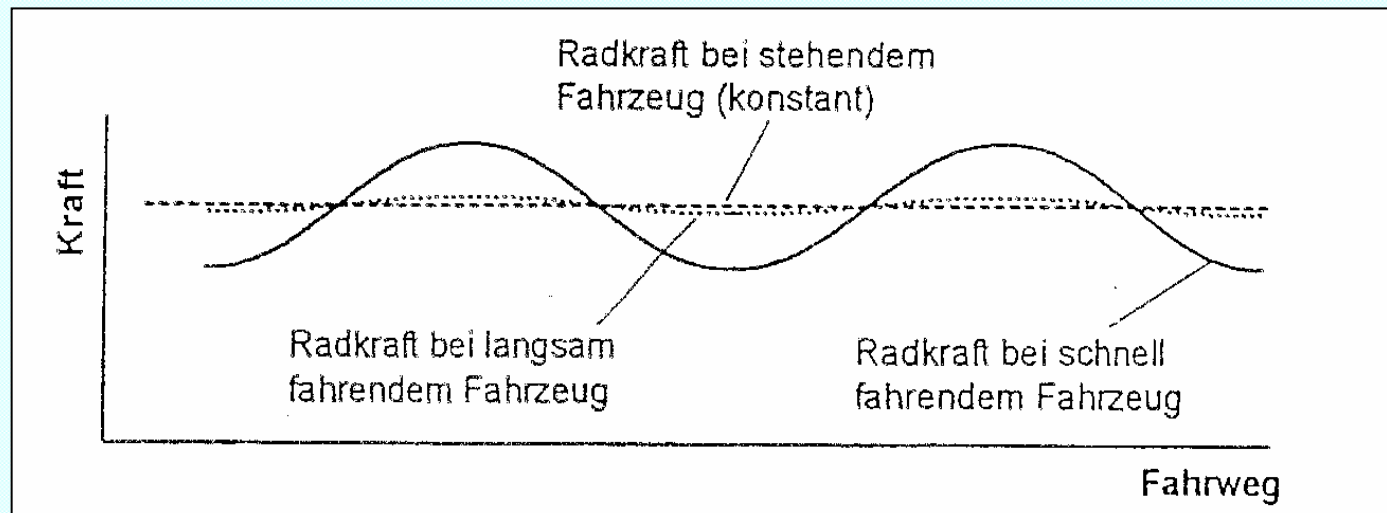
Hochgeschwindigkeitszug nach technischer Spezifikation für Interoperabilität (TSI)



Lastbild des ICE-T

Idealisierte Belastung: statische Ersatzlast inklusive Erhöhungsfaktoren

- Radkraftverlagerung bei Bogenfahrt
- Radkraftherhöhung in Abhängigkeit von Gleislagequalität / Oberbauzustand und Fahrgeschwindigkeit

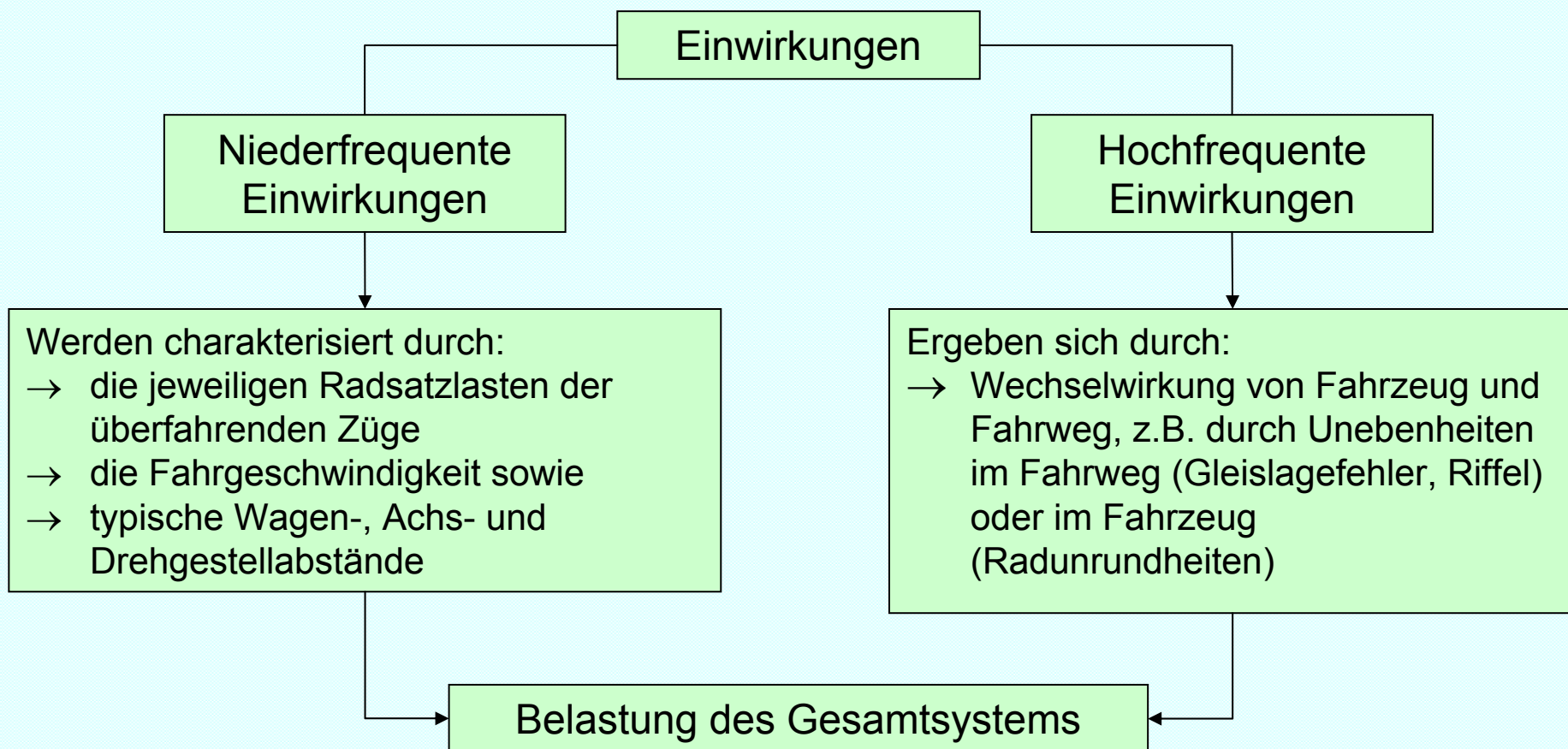


Tatsächliche Belastung: dynamische bzw. zeitabhängige Beanspruchung

- quasistatische Beanspruchung infolge geometrischer Abstände der Achslasten eines Fahrzeugs
- zusätzliche dynamische Beanspruchung durch Unebenheiten des Rades und im Fahrweg

Tatsächliche Belastung = zeitabhängige Belastung

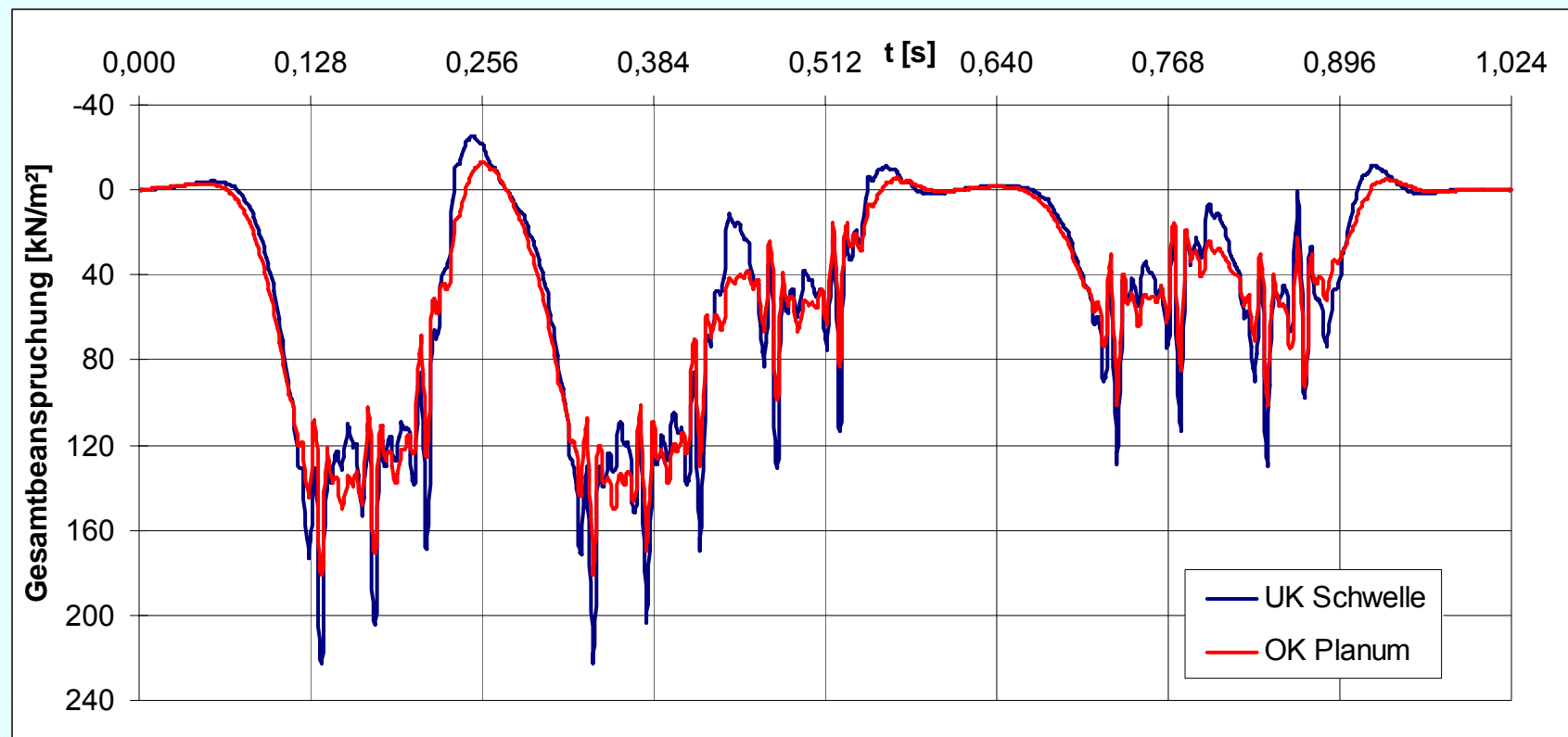
Sie resultiert aus der Achsfolge der Fahrzeuge sowie der Abstände von Unebenheiten des Fahrzeuges und des Fahrweges unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit.



Beanspruchungen des Gesamtsystems

= Summe aus niederfrequenter und hochfrequenter Beanspruchung

→ Darstellung im Zeitbereich



Probleme im Unterbau/Untergrund

Bei zu großen Schwingwegen, Schwinggeschwindigkeiten und/oder zu großen Schwingbeschleunigungen

→ **negative Auswirkungen für Oberbau und Unterbau und Untergrund, z.B.:**

- Kornumlagerungen, Kornzertrümmerungen
- Erhöhung des Porenwasserüberdruckes, Bodenverflüssigungen
- Nachverdichtungen, Setzungen
- Instabilitäten an Schichtgrenzen
- verändertes Elastizitätsverhalten

→ **kritische Bereiche von Unterbau und Untergrund bei dynamischer Einwirkung**

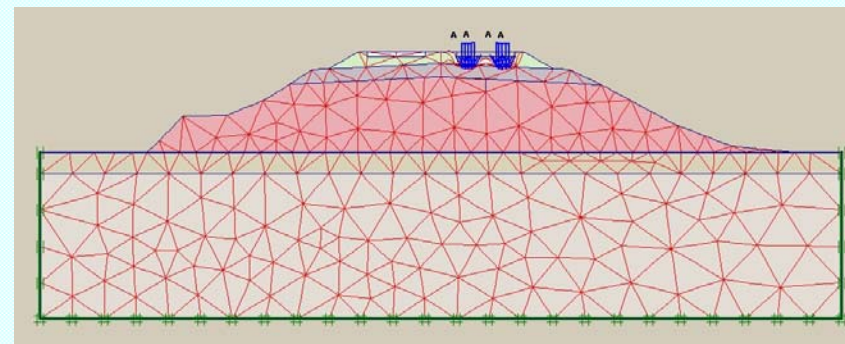
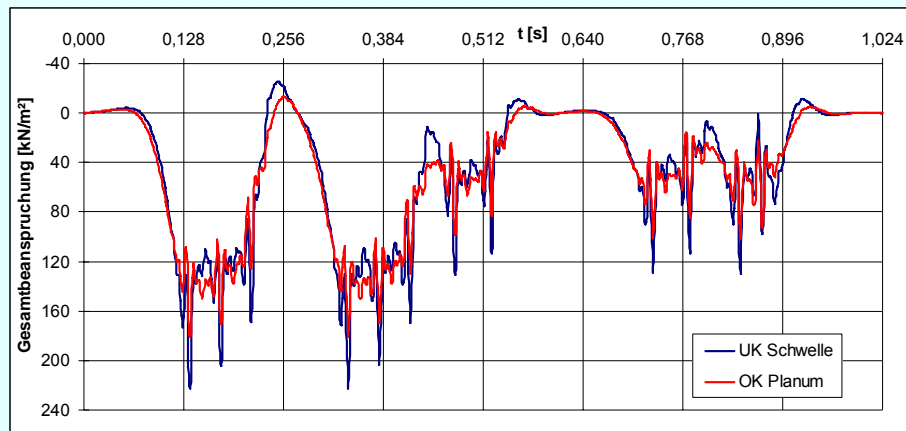
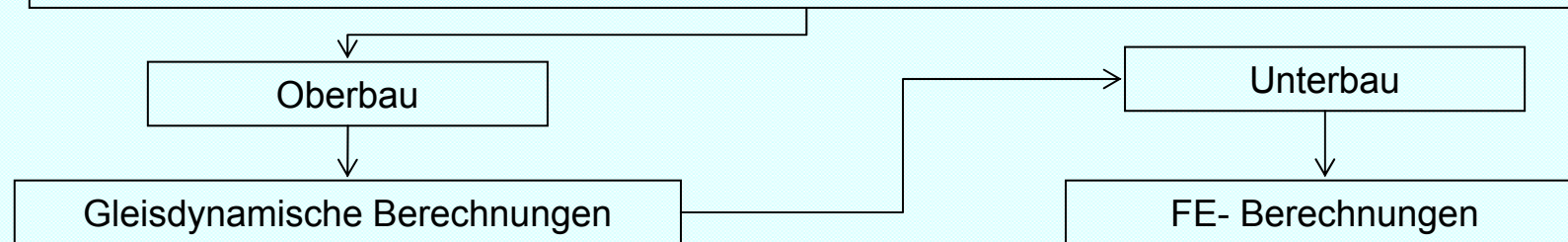
- Gleisnahe Bodenschichten
- Dämme aus verlagerungsempfindlichen Sanden
- Weichschichten im Untergrund
- Instabilitäten an Schichtgrenzen
- Übergangsbereiche bei Brücken, Durchlässen, Bahnübergängen

→ Aufgabenstellung:

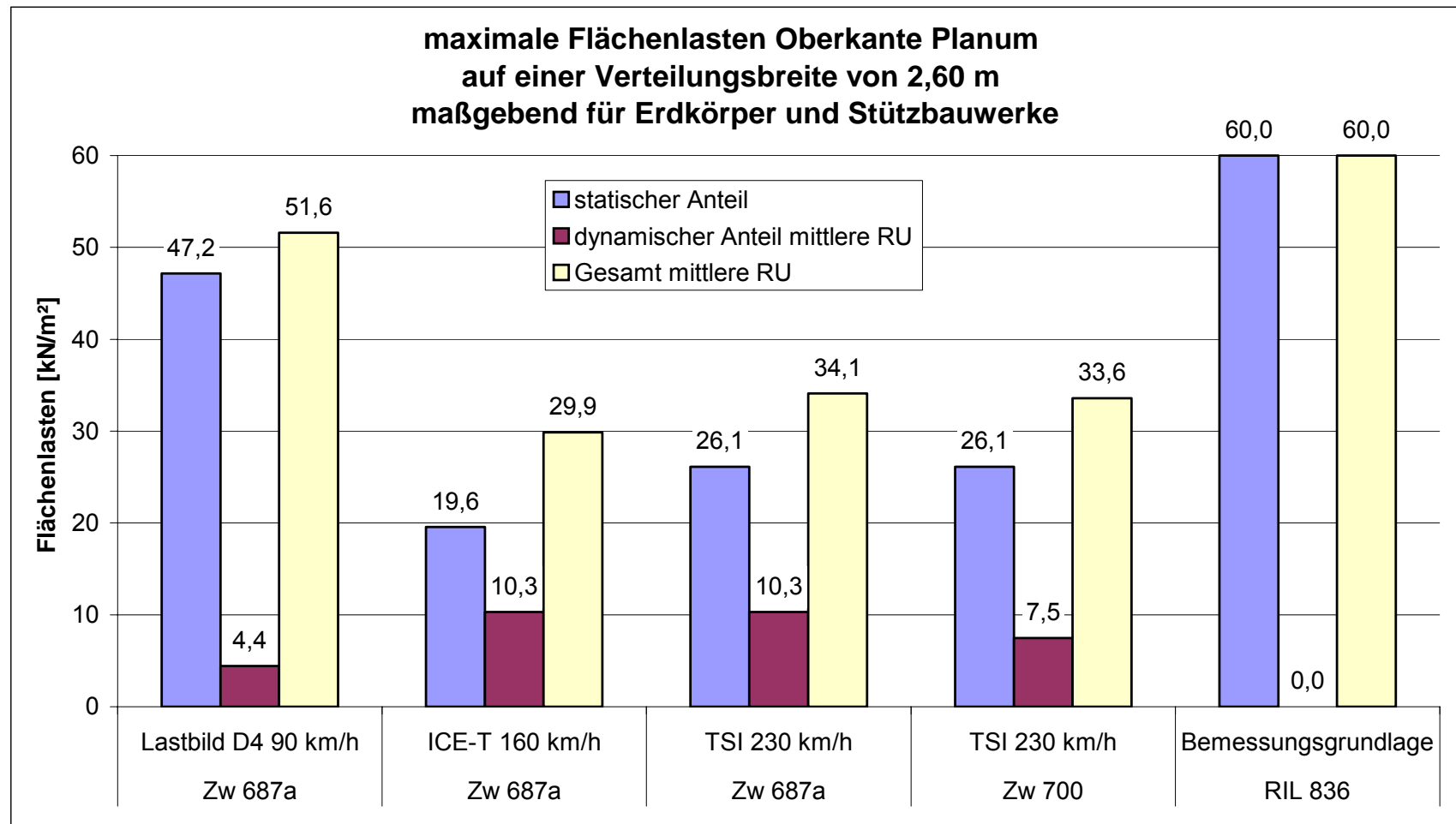
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für die Erdbauwerke bzw. Unterbau / Untergrund auf ca. 260 km Streckenlänge für 230 km/h (Dynamische Stabilität),
- Nachweis der Tragfähigkeit (Standicherheit) für die Erdbauwerke

Methodik der Nachweisführung

Betrachtung und Bewertung der dynamischen Lastausbreitung in maßgebenden Frequenzen und Schwinggeschwindigkeiten

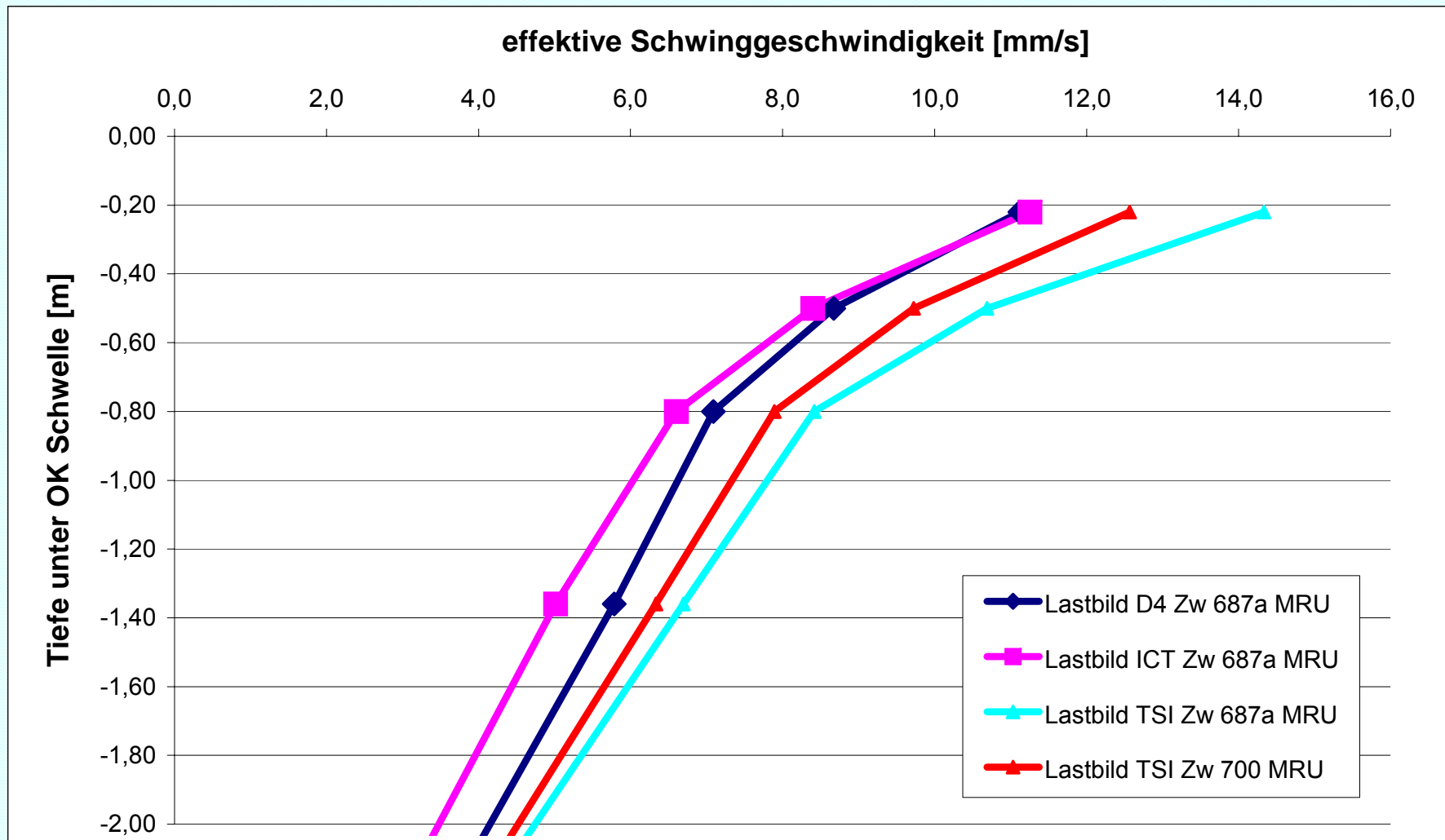


Ergebnisse - Vertikalspannungen im Unterbau

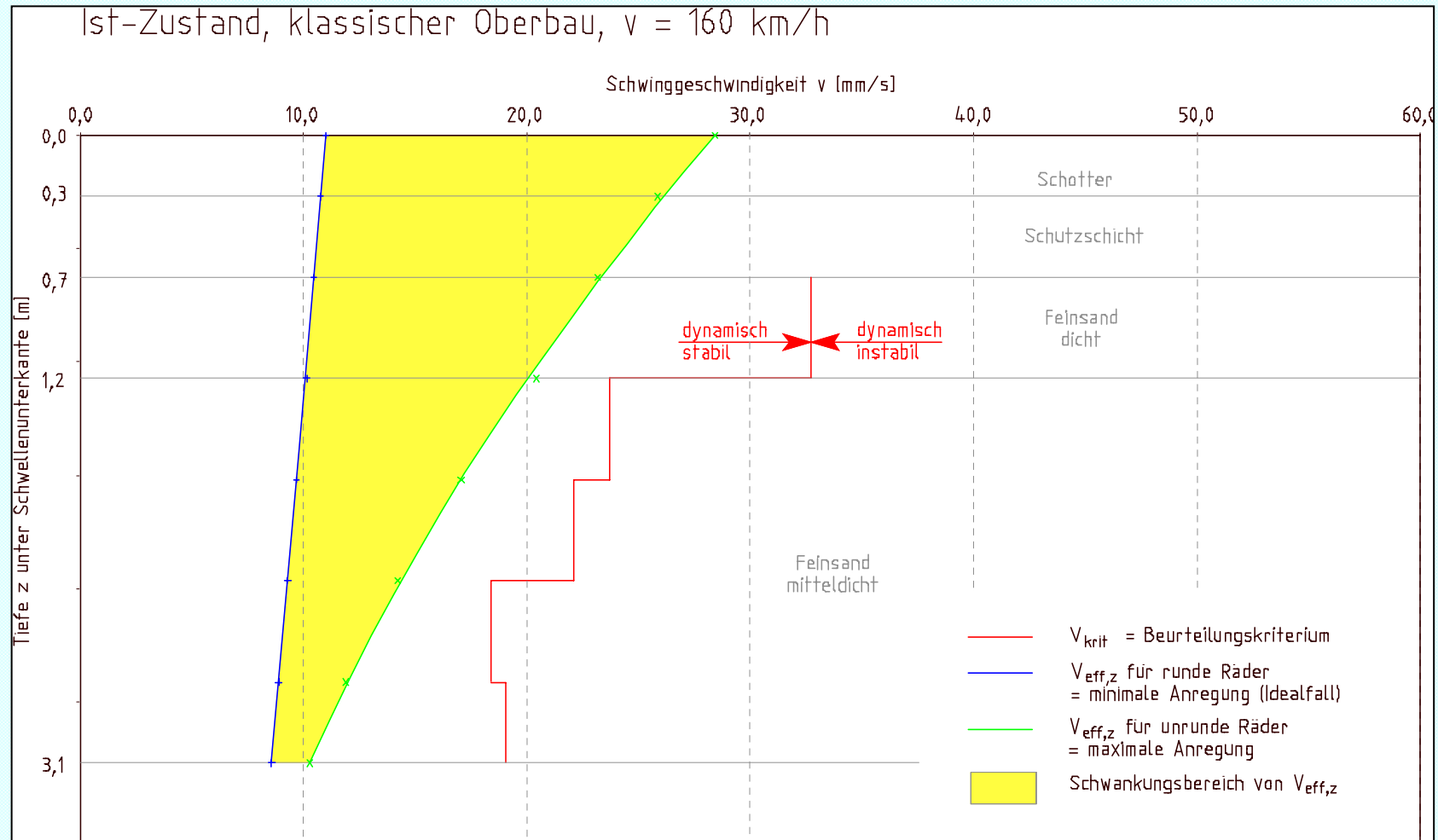


Anmerkung: Bemessungsgrundlage RIL 836 = Ebene Unterkante Schwelle

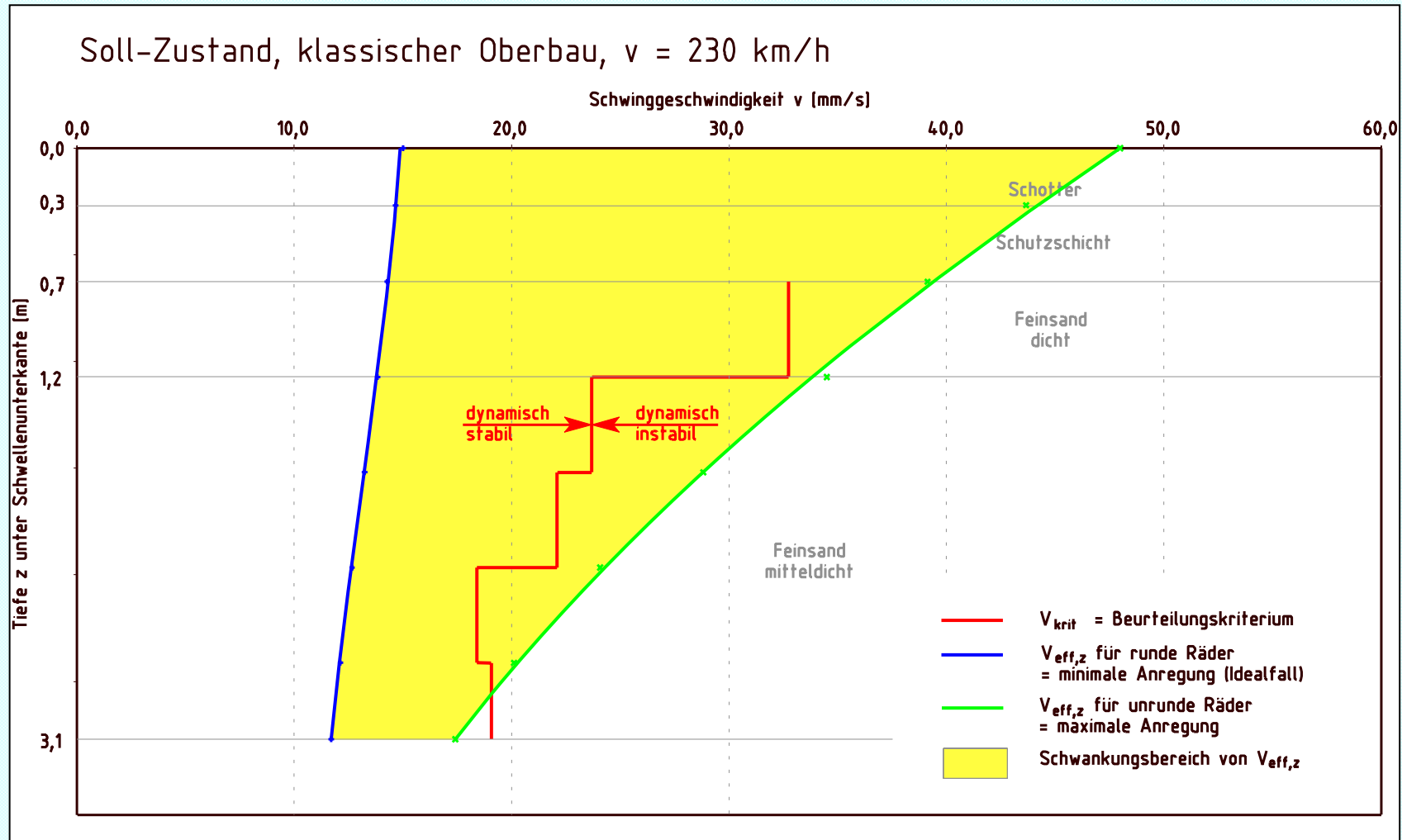
Ergebnisse - effektive Schwinggeschwindigkeiten im Unterbau



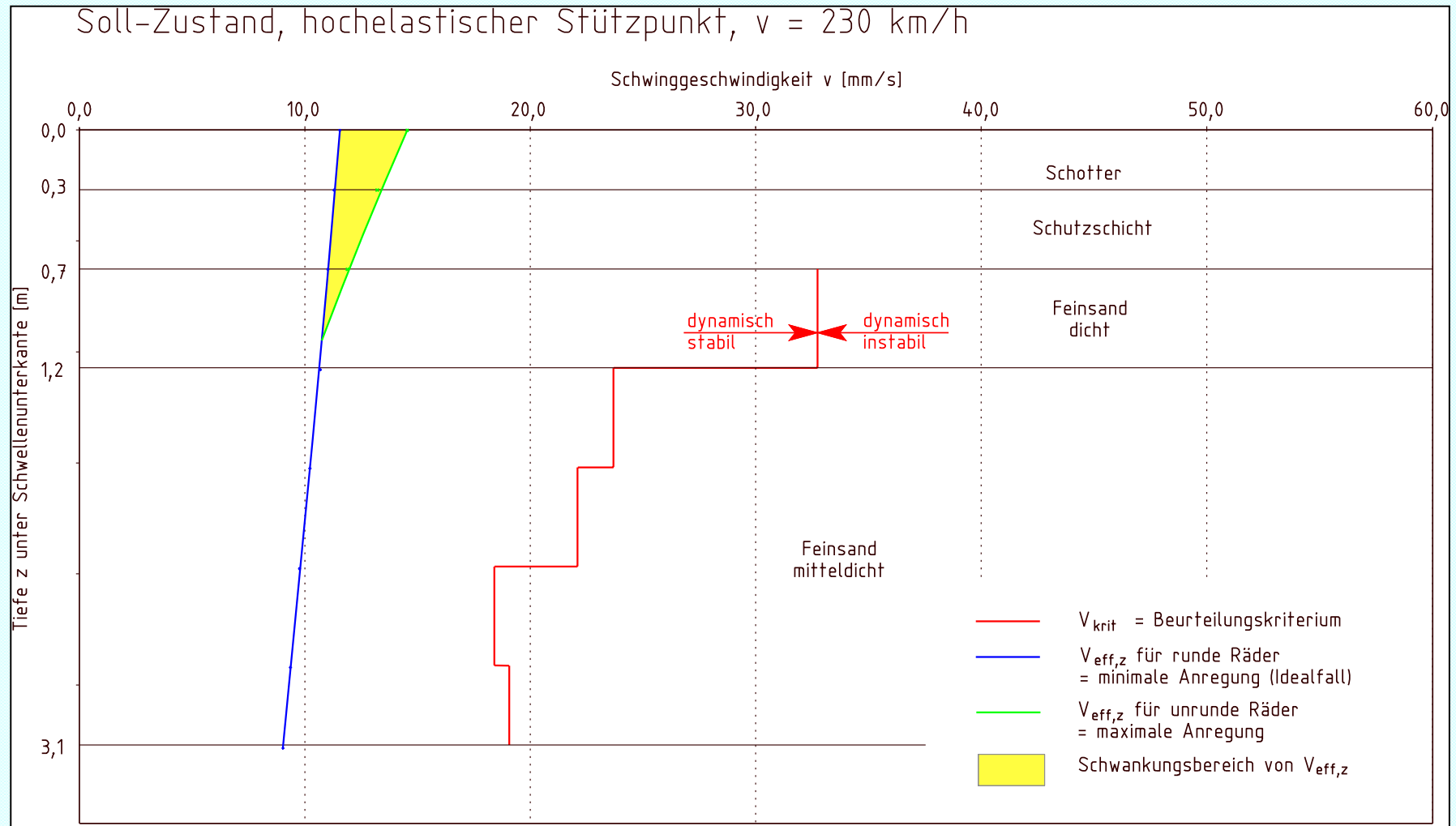
Vergleich der kritischen und effektiven Schwinggeschwindigkeiten



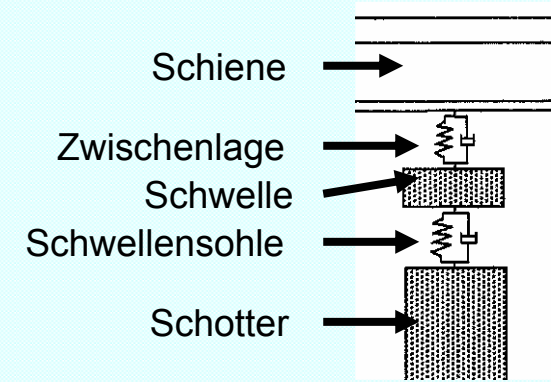
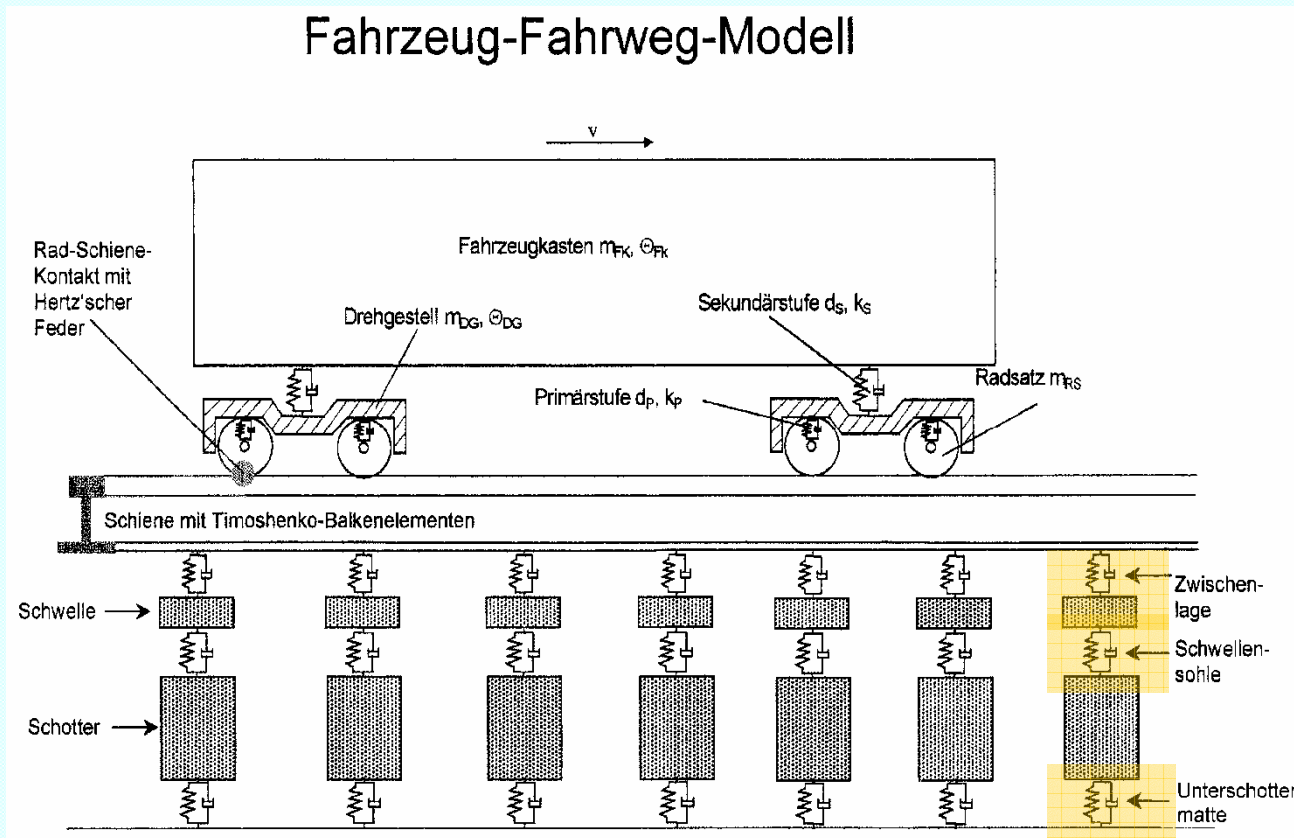
Vergleich der kritischen und effektiven Schwinggeschwindigkeiten



Vergleich der kritischen und effektiven Schwinggeschwindigkeiten



Mögliche Positionen von elastischen Elementen



Quelle: DB AG

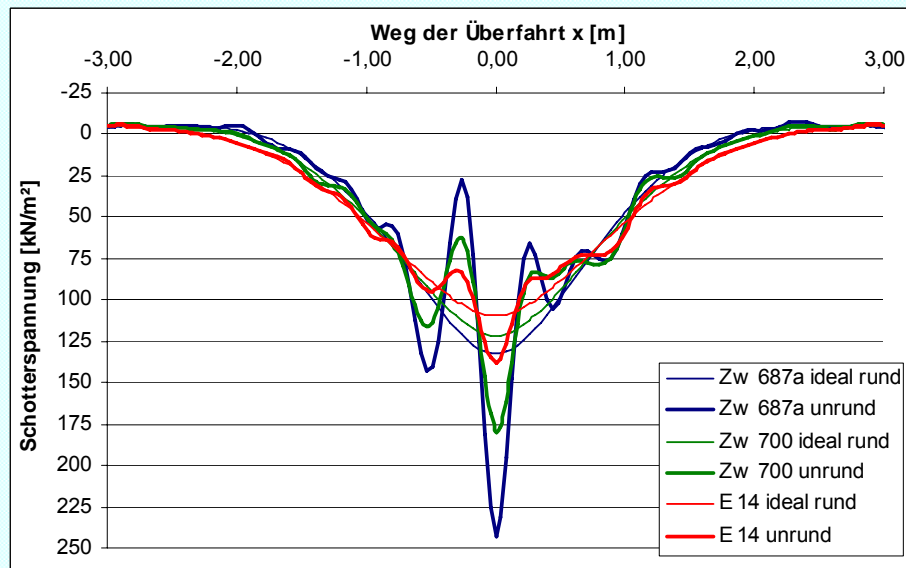
Beeinflussung des Schwingungsverhaltens durch Wirkung als:

Federelement

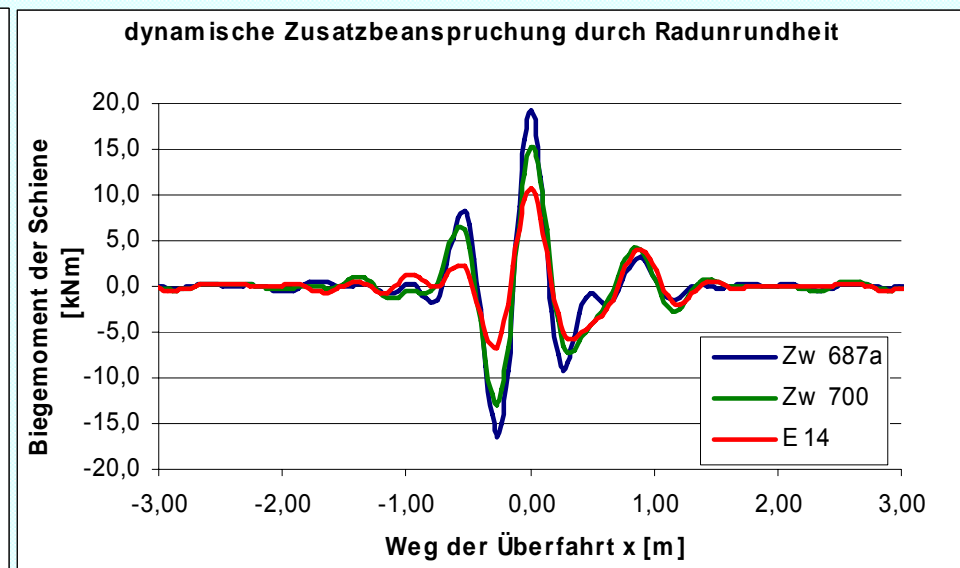
- höhere Einsenkung
- flachere Biegelinie
- Verminderung der Schotterpressung und der Bodendruckspannung

Dämpfungselement

- Verminderung der Schwingungsanregung
- Abbau von Schwinggeschwindigkeiten
- Dämpfung im mittleren und höheren Frequenzbereich



Schotterspannungen infolge ideal runder und extrem unrunder Räder



Biegemomente der Schiene infolge ideal runder und extrem unrunder Räder

Betriebserprobung beim Bauvorhaben Hamburg – Berlin, 2. Ausbaustufe

bei Neustadt (Dosse) - km 76,300 - km 76,800:



Ausgangssituation:

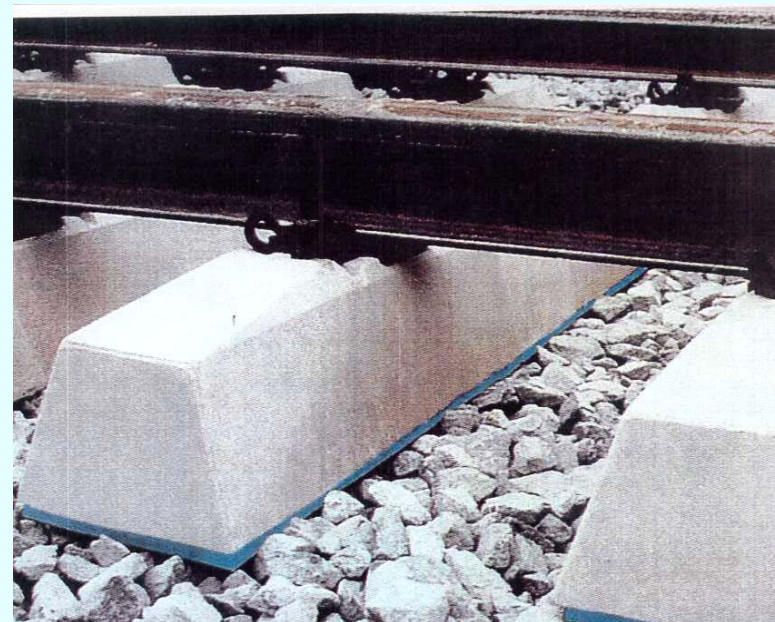
- Dammbereich mit verlagerungsempfindlichen Sanden und geringer Lagerungsdichte
- Gleislagefehler

Betriebserprobung beim Bauvorhaben Hamburg – Berlin, 2. Ausbaustufe

- 5 Messquerschnitte
- Messungen:
 - Schwingbeschleunigung
 - Verformungsmessungen
 - Schwellenhohllagemessungen
 - Schienendurchbiegungsmessungen

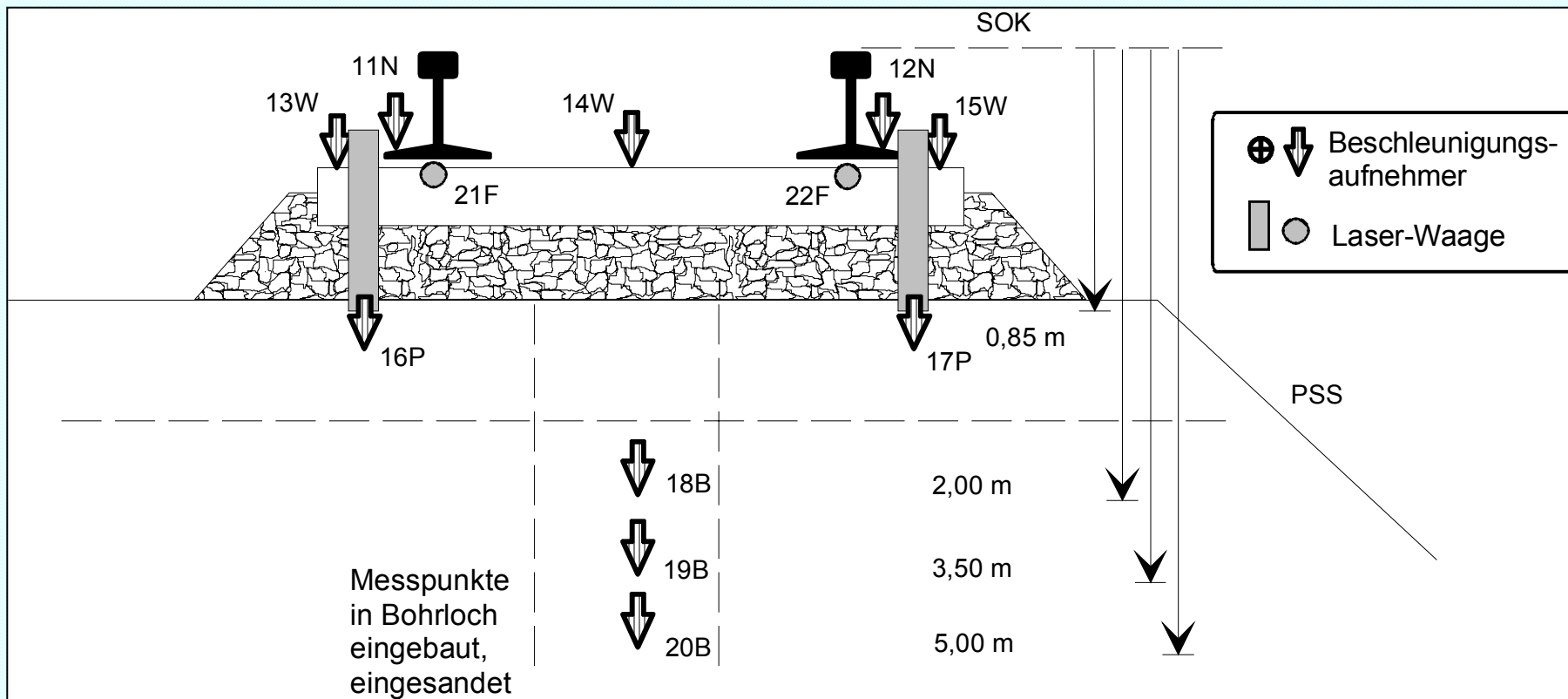


E14-Stützpunkt (Gleis Berlin - Hamburg), statische Stützpunktsteifigkeit $k_{\text{stat},E14} = 27,5 \text{ kN/mm}$



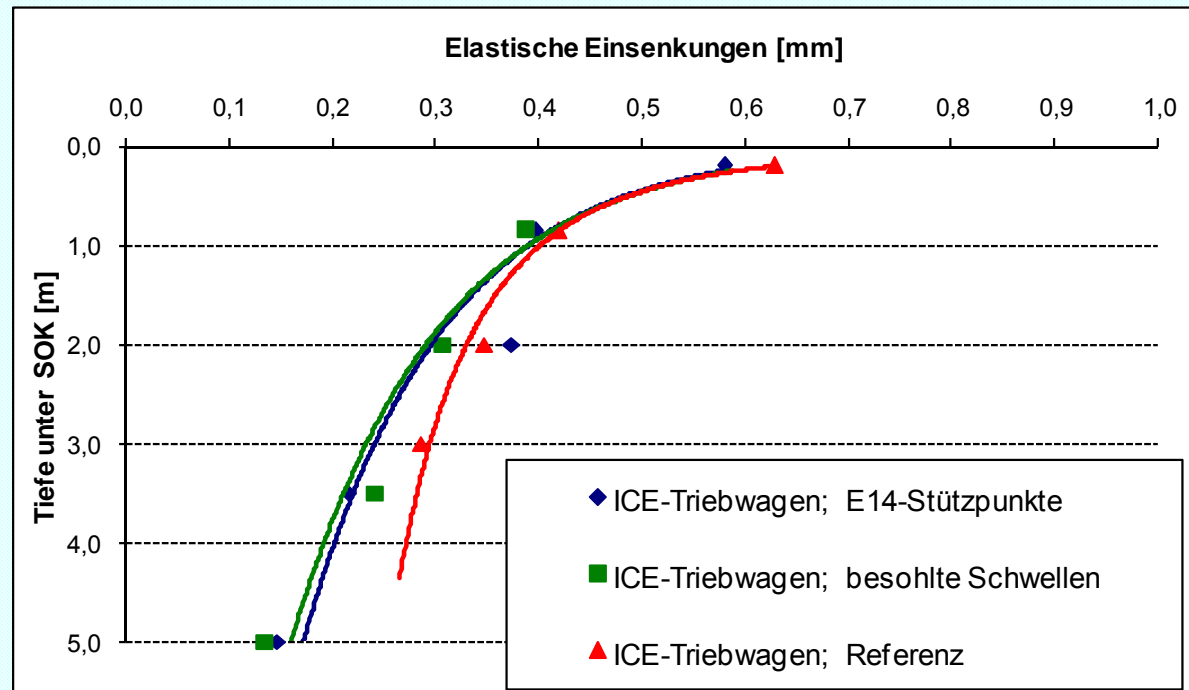
Schwellenbesohlung (Gleis Hamburg - Berlin), statische Stützpunktsteifigkeit $k_{\text{Ges}} = 27,3 \text{ kN/mm}$ (mit ZW 700)

Anordnung der Messaufnehmer



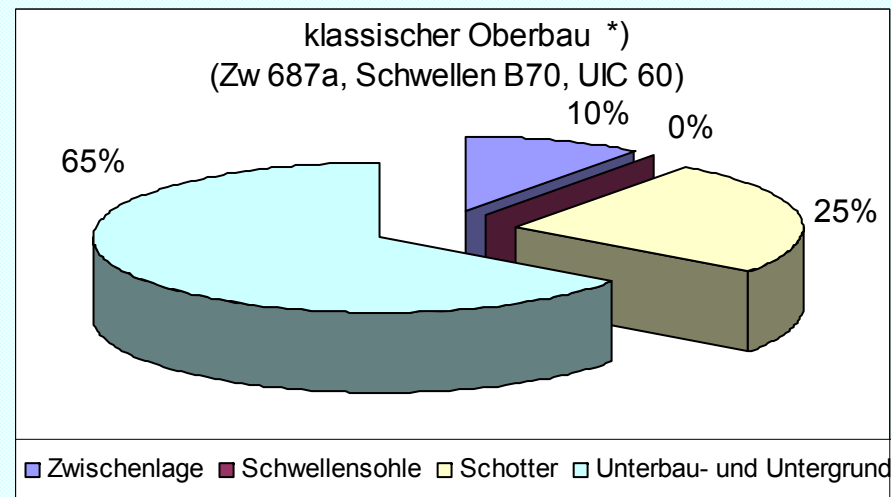
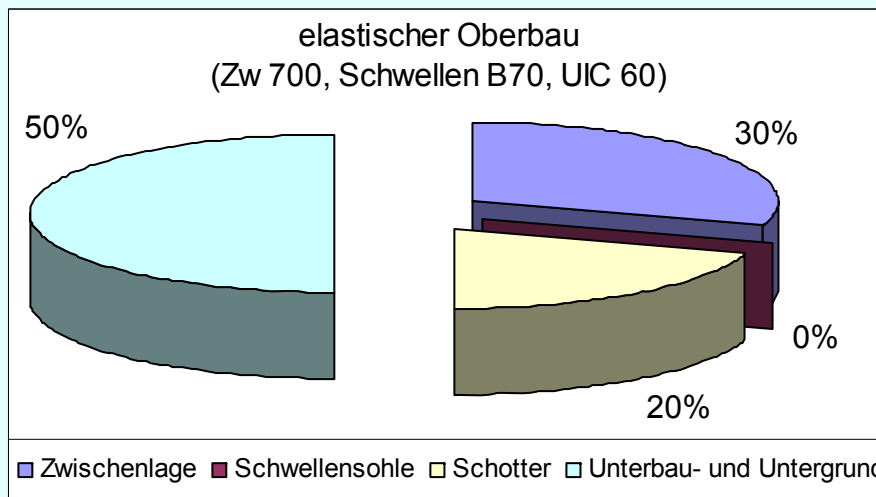
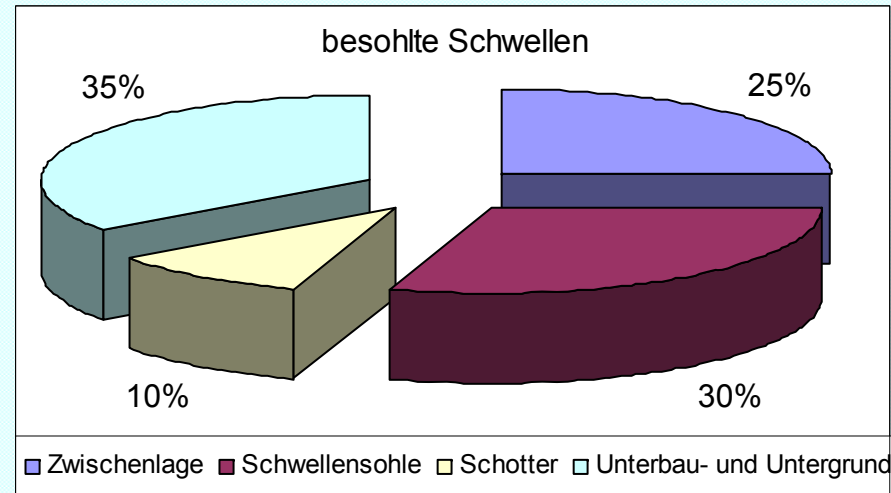
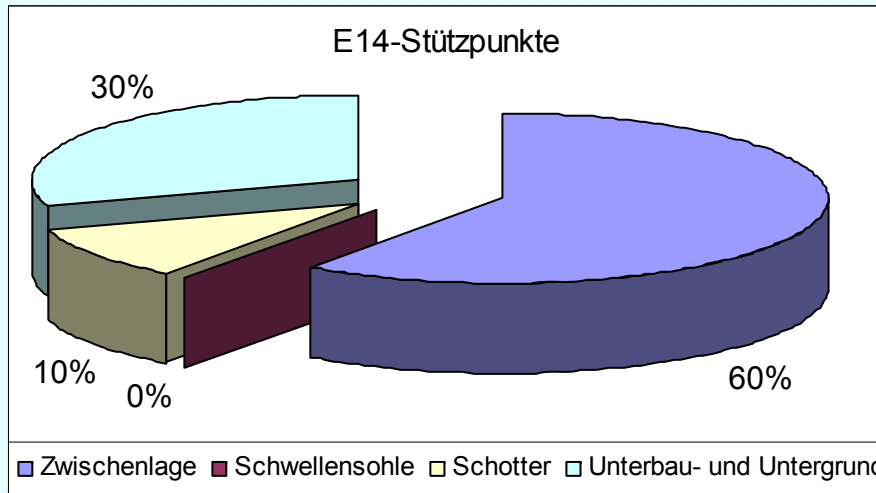
Quelle: imb-dynamik

Messergebnisse der Betriebserprobung – elastische Einsenkungen (ICE-T-Triebwagen mit ca. 190 km/h)



Messpunkt	Tiefe unter SO	ICE-T-Triebwagen / ca. 14 t Radsatzlast / v ≈ 190 km/h		
		E14-Stützpunkt	besohlte Schwellen	Referenz
Schiene	0,16 m	1,19	1,00	0,95
Schwelle	0,20 m	0,58	0,77	0,63
Planum	0,85 m	0,40	0,39	0,42
-2,0 m	2,00 m	0,37	0,31	0,35
-3,0 m	3,00 m	-	-	0,29
-3,5 m	3,50 m	0,21	0,24	-
-5,0 m	5,00 m	0,15	0,14	-

Messergebnisse der Betriebserprobung – Verteilung der Elastizität

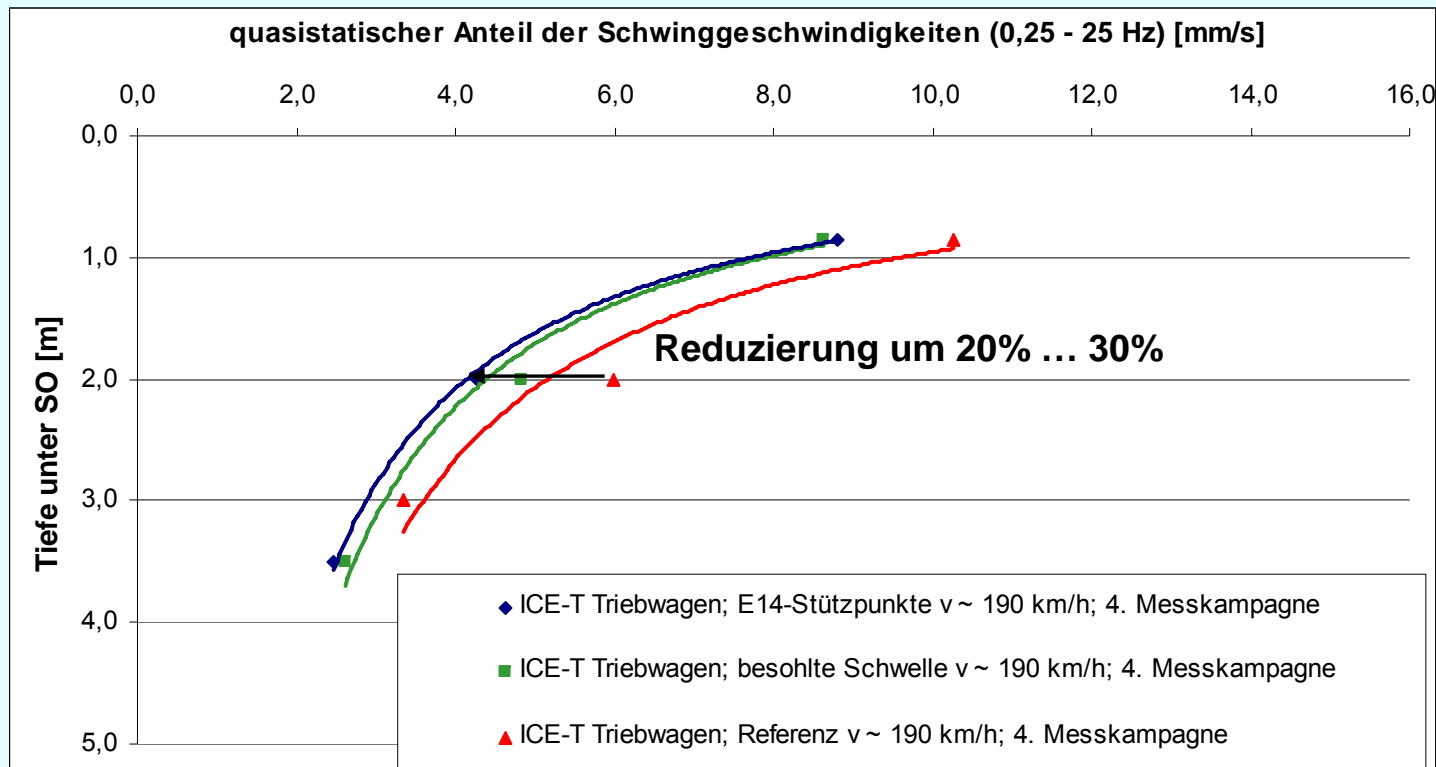


*) vor Umbau

Messergebnisse der Betriebserprobung

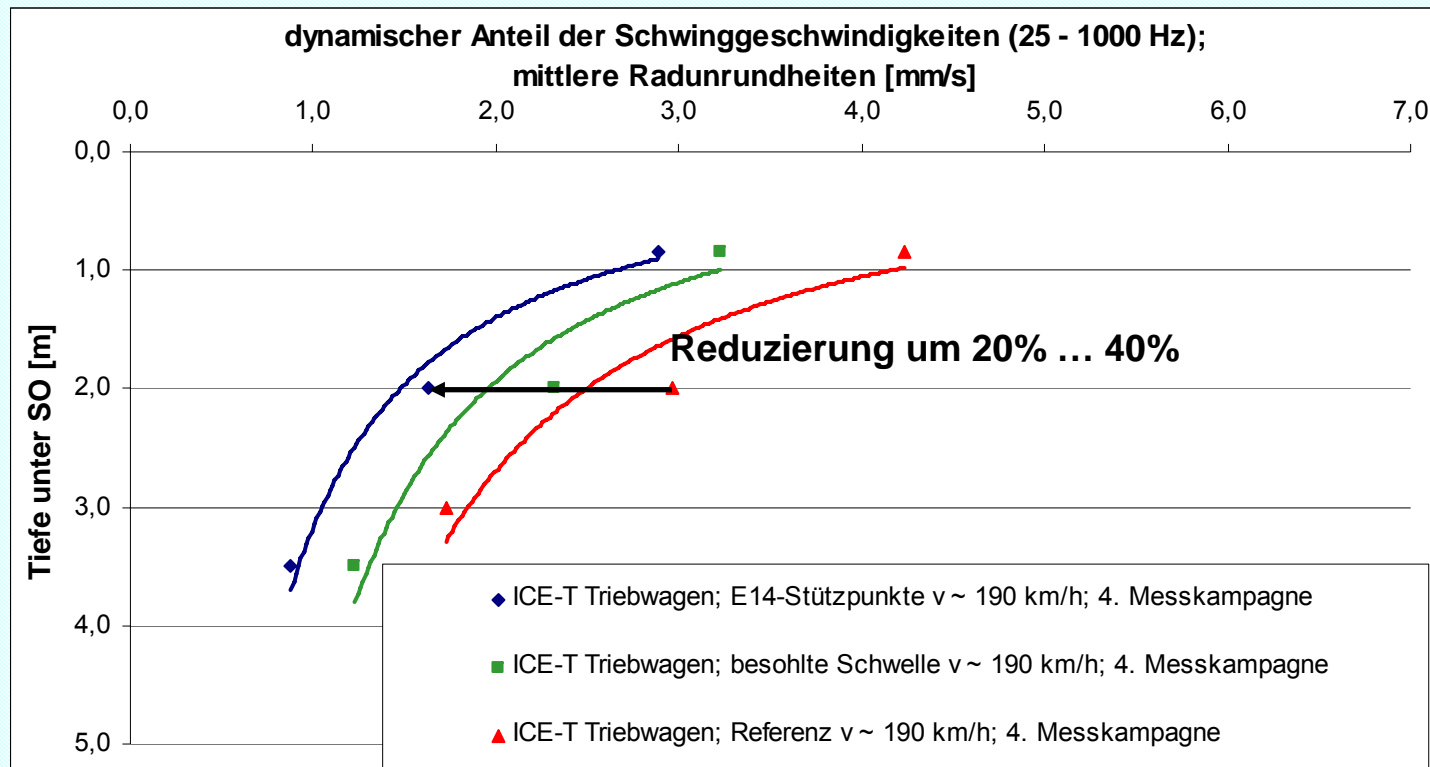
Quasistatischer Anteil der maximalen Schwinggeschwindigkeit (≤ 25 Hz)

- Maximale Schwinggeschwindigkeit 2 m unter Schienenoberkante:
 - beim E 14- Stützpunkt um 30 % geringer als bei der Referenz
 - bei der besohnten Schwelle um 20 % geringer als bei der Referenz

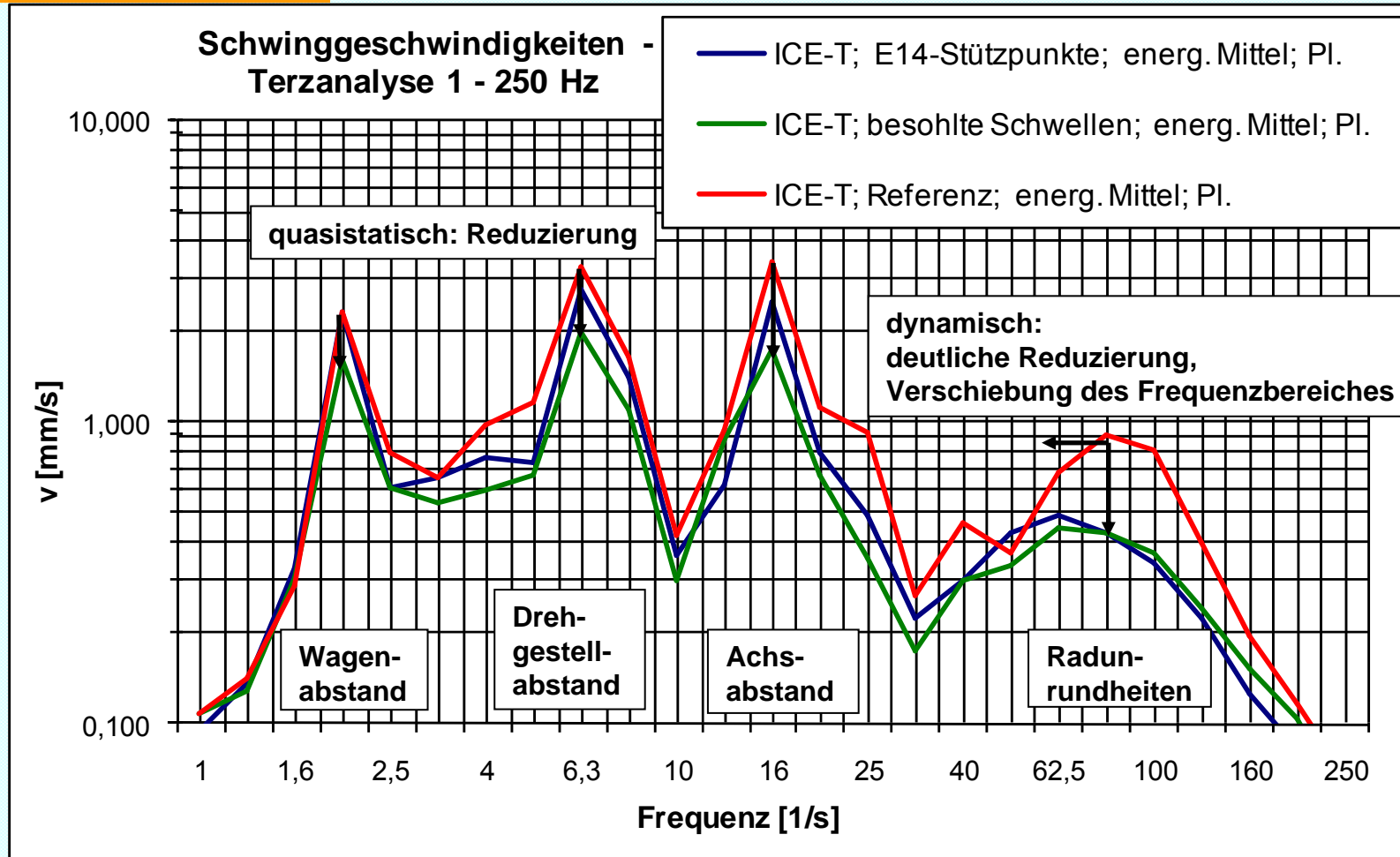


Messergebnisse der Betriebserprobung - Zusätzlicher dynamischer Anteil der maximalen Schwinggeschwindigkeit (25 Hz ... 1000 Hz)

- Maximale Schwinggeschwindigkeit (mittlere Radunrundheiten) 2 m unter Schienenoberkante:
 - beim E 14- Stützpunkt um 40 % geringer als bei der Referenz
 - bei der besohnten Schwelle um 20 % geringer als bei der Referenz

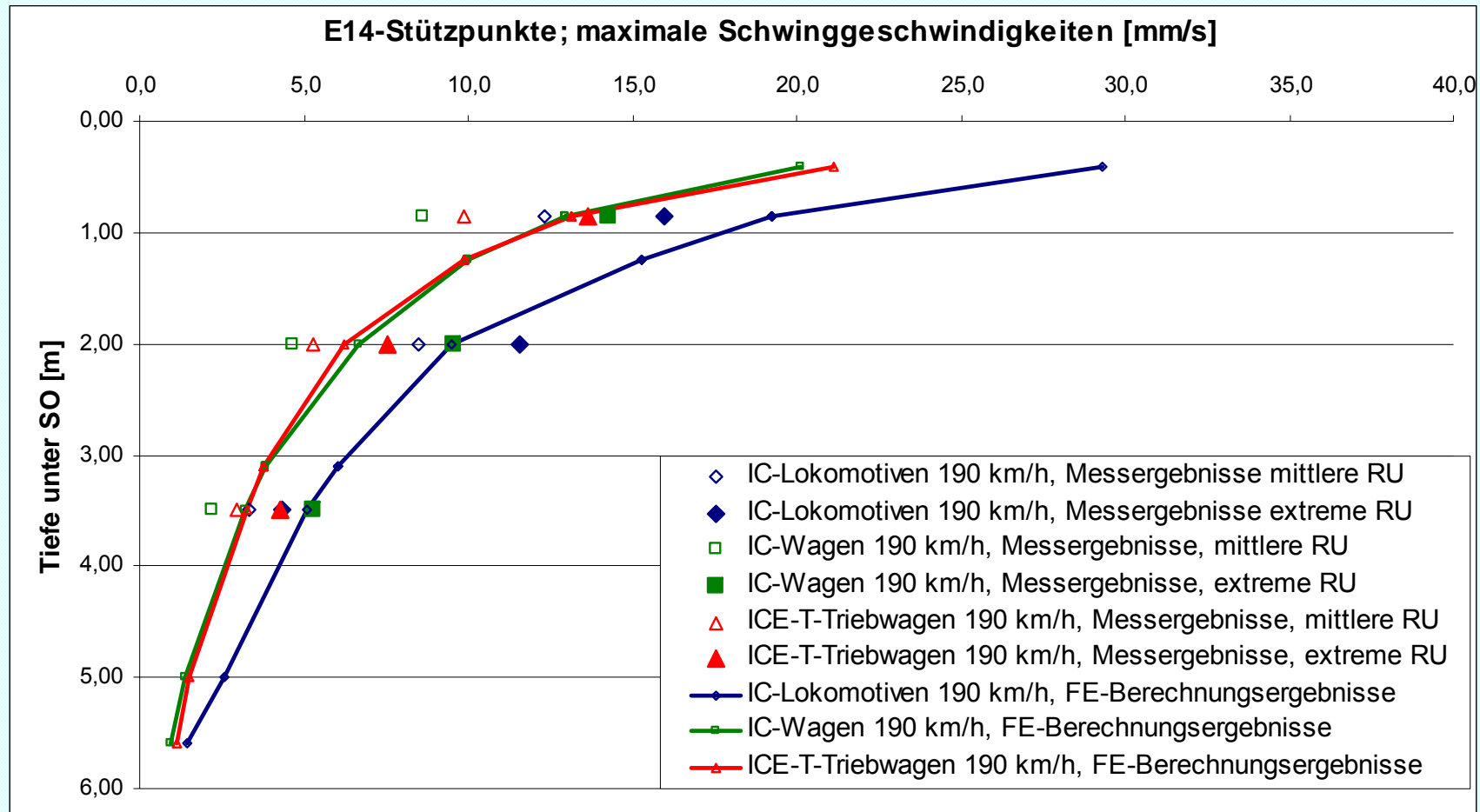


Messergebnisse der Betriebserprobung - quasistatische und zusätzliche dynamischen Beanspruchung infolge ICE-T-Triebwagen mit $v = 190$ km/h im Frequenzbereich



Numerische Simulation

Vergleich der Messergebnisse mit der FE- Berechnung

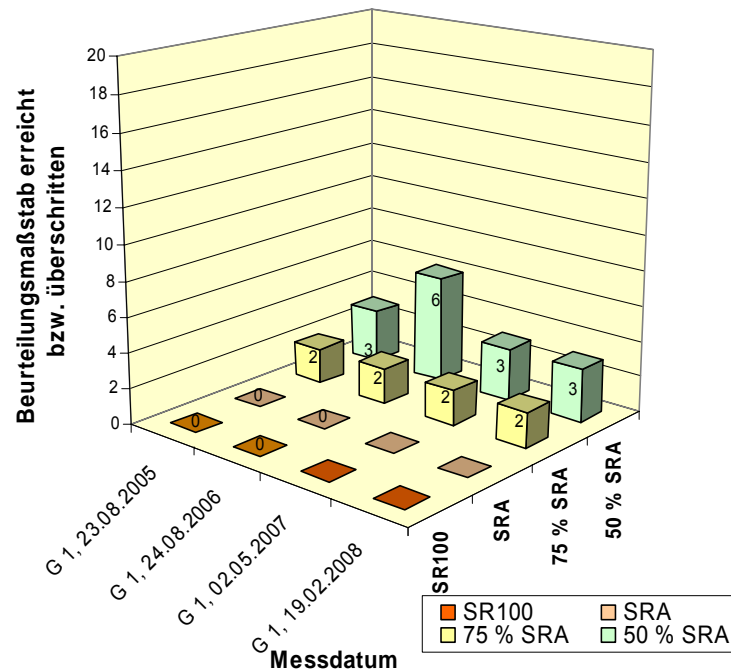


Beurteilung der Gleisgeometrie

Entwicklung des Längshöhenfehlers

Gleislageparameter LH, Gleis 1

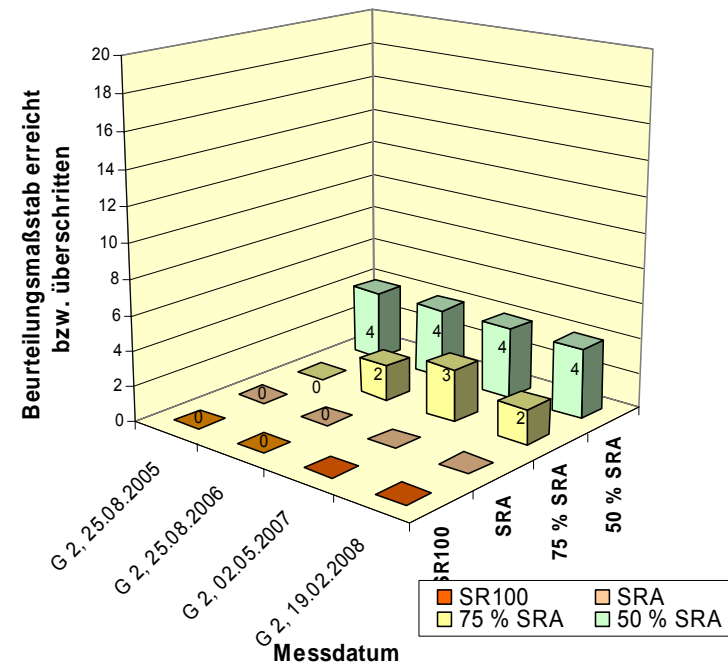
Beurteilungsmaßstäbe 50 % SR_A, 75 % SR_A und SR₁₀₀ erreicht bzw. überschritten, Summe linke und rechte Schiene



E14-Stützpunkt (Gleis Berlin – Hamburg)

Gleislageparameter LH, Gleis 2

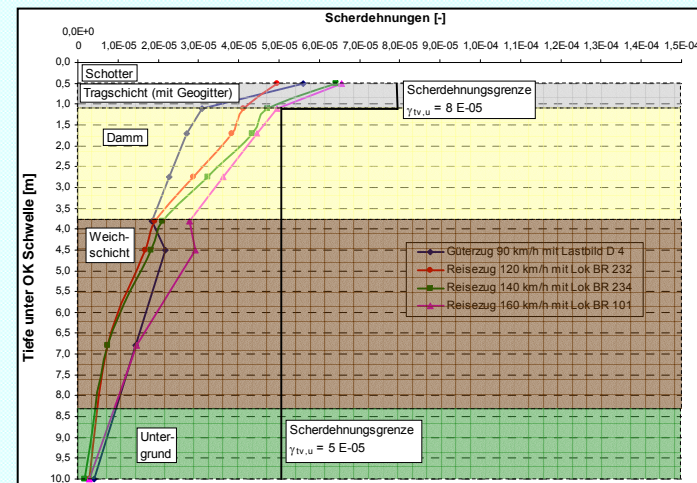
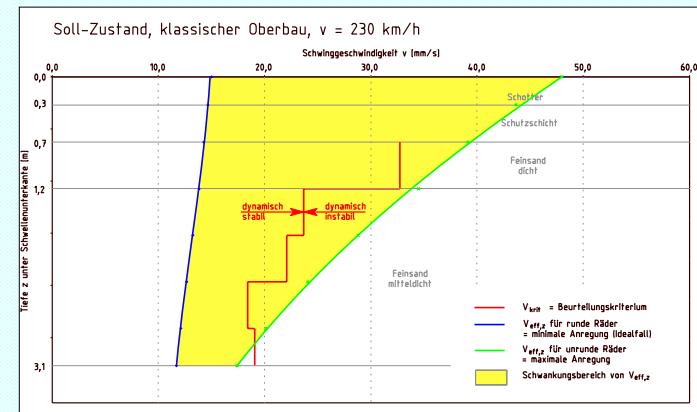
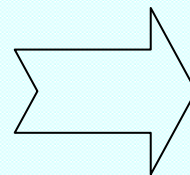
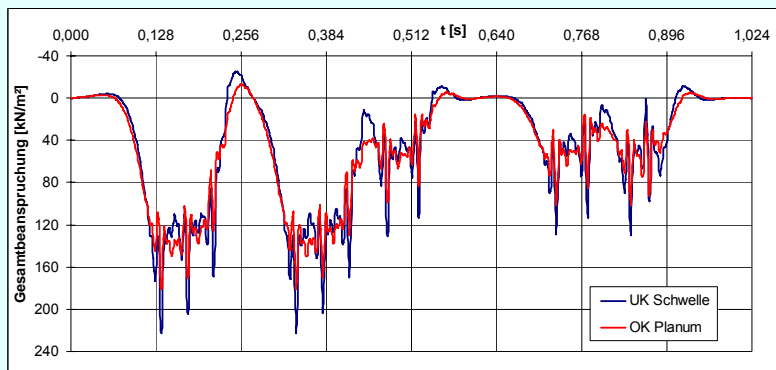
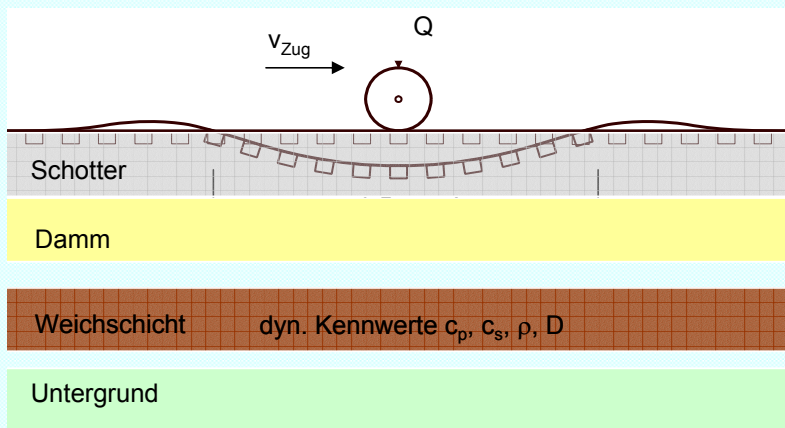
Beurteilungsmaßstäbe 50 % SR_A, 75 % SR_A und SR₁₀₀ erreicht bzw. überschritten, Summe linke und rechte Schiene



Schwellenbesohlung (Gleis Hamburg – Berlin)

Schlussfolgerung

- Erforderlich: Betrachtung des Systemverhaltens
- Fahrzeug – Fahrweg
 - Oberbau/Unterbau/Untergrund



Schlussfolgerung

→ Strategie der Ertüchtigung

- Reduzierung der Einwirkungen durch elastische Elemente
 - Verminderung der elastischen Einsenkungen und Spannungen,
 - Reduzierung der dynamischen Beanspruchungen
 - Veränderung ihres Frequenzbereiches
- Ertüchtigung vorwiegend durch gleisnahe Tragsysteme
- Aufwendige Untergrundsanierungen nur noch partiell bei extrem ungünstigen Baugrundverhältnissen



✓



✓

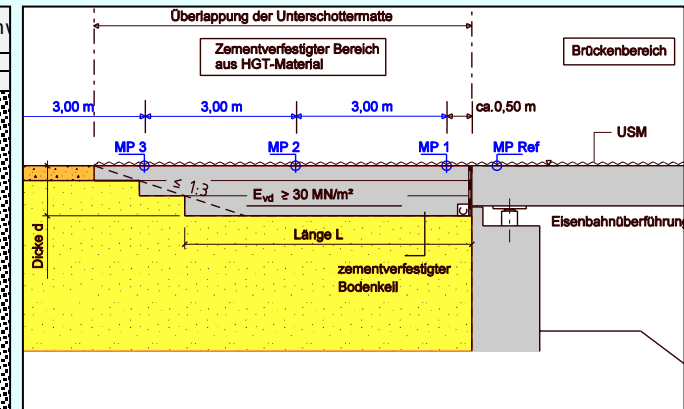
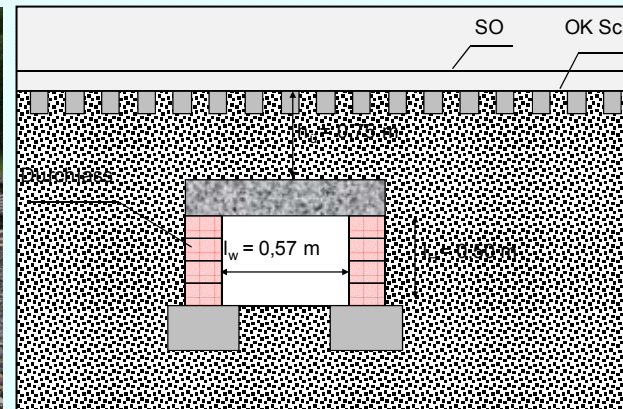


(✓)

Schlussfolgerung

→ Einsatzmöglichkeiten

1. Freie Strecke:
 - Verringerung der Untergrundbeanspruchung bei kritischen Baugrundverhältnissen und gleich bleibender Belastung
 - Kompensation der Belastungserhöhung (Geschwindigkeit, Radsatzlast)
2. Hoch liegende Durchlässe
 - Verringerung der Beanspruchung im Durchlassquerschnitt
3. Übergangsbereich Eisenbahnüberführungen / Erdkörper



Verminderung der Einwirkungen
im Unterbau/Untergrund
mit elastischen Elementen im Oberbau

- Ein Erfahrungsbericht -

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!