

8. Tiefbautagung des VDEI, 03./04.02.2011 in Dresden

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen - Entwicklung einer Planungshilfe -

Referent: W. Vogel
Koautoren: K. Lieberenz, Th. Neidhart, D. Wegener

DB Netz AG

Wolfgang Vogel

I.NVT 42

Dresden, 03.02.2011

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe



Gliederung

- 1 Aufgabenstellung**
- 2 Bisheriger Kenntnisstand**
- 3 Ergebnisse des Forschungsvorhabens**
 - 3.1 Kriterien für eine qualitative Bewertung**
 - 3.2 Rechnerisches Untersuchungs- und Nachweisverfahren**
- 4 Anwendungsfälle**
- 5 Weiteres Vorgehen**
- 6 Zusammenfassung**

Generelle Aufgabenstellung:
Vorhalten eines ausreichend sicheren und gebrauchstauglichen Fahrwegs

Forderungen der Ril 836, Ausgabe 10.2008 (1. Aktualisierung):

Standicherheit nach einschlägigen Normen (DIN 1054)

Erbringen von rechnerischen Nachweisen

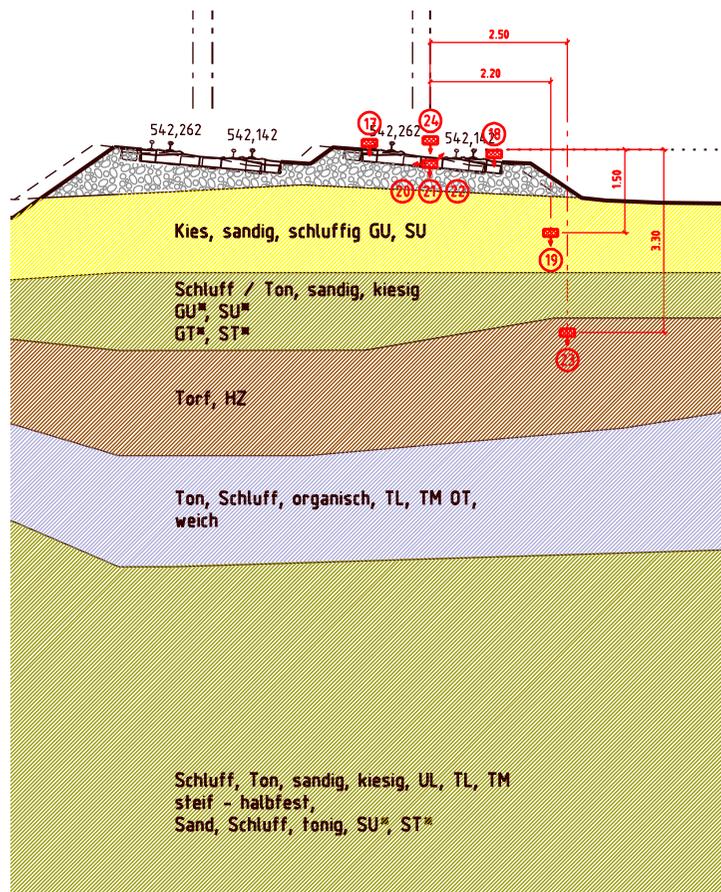
**Gebrauchstauglichkeit nach unternehmensspezifischen Festlegungen
(Instandhaltungsarmut)**

- **Begrenzung von Setzungen**
- **Begrenzung von dynamischen Effekten (Dynamische Stabilität)**

Gutachterliche Bewertungen oder Erbringen von rechnerischen Nachweise

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Aufgabenstellung (Beispiel)



Beispiel: ABS Augsburg –München
Anhebung auf 230 km/h; Maßnahmen?

Vorgesehen:

Erhöhung der Eisenbahneinwirkungen

Forderung:

Absichern der dynamischen Stabilität:

- keine Entfestigung des Schotterbettes („Schotterfließen“)
- keine progressiv zunehmenden Setzungen („Gleislagestörungen“)
- keine Instabilitäten des Gesamtsystems („Fahrzeugaufschwingen“)

Planerische Entscheidung

Unterbau - / Untergrundertüchtigung, z.B.:

- Belassen
- Einbau Schutzschichten nach Regelwerk (Ril 836)
- Teil- oder Vollaustausch
- Rüttelstopfverdichtung / - säulen
- Stabilisierungsmaßnahmen
- Tiefgründungen auf Säulen bzw. Pfählen

Auszug aus Ril 836.3001 Untersuchungen und Nachweise, Abschnitt 5: Dynamische Stabilität

- (1) Zur Führung von Nachweisen zur dynamischen Schwingungsstabilität des Unterbaus/ Untergrundes nach Abschnitt 3 dieses Moduls sind Vorschläge auf der Basis von Begutachtungen im Rahmen der Entwurfsplanung zu erbringen. Die Begutachtung ist von einem vom EBA anerkannten Gutachter für Geotechnik durchzuführen.

Regelung enthält eine Übertragung unternehmerischer Forderungen auf Gutachter und kann deshalb nur vorläufig gelten

Die Herausgabe von Planungsvorgaben ist dringend erforderlich

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe



Bewertung der Eignung von Weichschichten

Bisherige Bewertungsgrundlagen

Beurteilung der Auswirkungen von Weichschichten (z.B. Torf) im Untergrund

NICHT FÜR DRITTE

information

DEUTSCHE BUNDESBahn BUNDESBahn - ZENTRALAMT MÜNCHEN

Bautechnik 28a



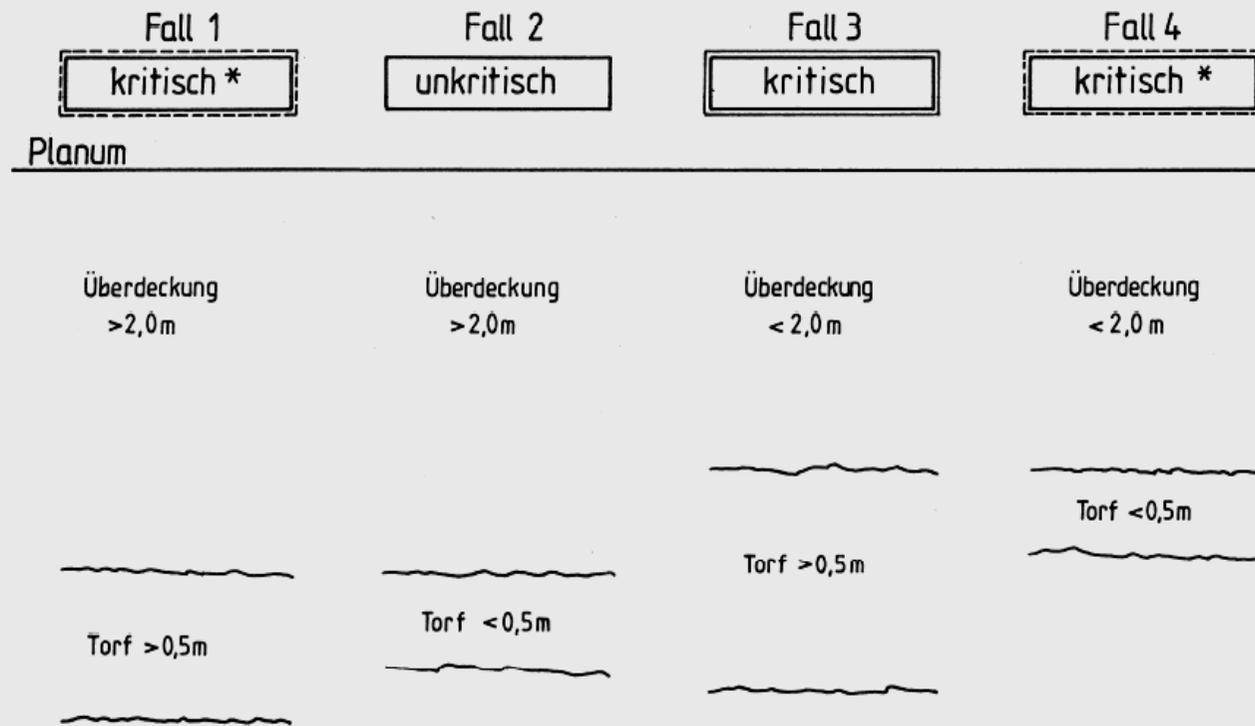
Dez 18A/AA 1811

Februar 1991

Schwingungsverhalten von Bahnkörpern auf organischen Böden (Torf)

Diese Ausgabe ist eine Fortschreibung der "Information Bautechnik" Nr. 28. Sie enthält die neueren Erkenntnisse, die - insbesondere bei Geschwindigkeitserhöhungen - auf Streckenabschnitten mit organischen Untergrundverhältnissen gewonnen wurden.

Grobe „intuitive“ Orientierung aus seinerzeit wenigen Projekt- und Streckeninformationen



* ggf. Entscheidung im Einzelfall nötig

In kritischen Bereichen Amplitude und Frequenz der Resonanzschwingungen messen!
Bei Überdeckung $\geq 4,0$ m sind keine schädlichen Auswirkungen zu erwarten.

Auszug aus
DB-Information
Bautechnik 28a

Bewertung der Eignung von Weichschichten

Bisherige Bewertungsgrundlagen

Rail Road Response Factor (3rf-Wert) nach NLFb Hannover

$$3rf = \frac{\text{Schwingungsenergie im Bereich } < 15 \text{ Hz}}{\text{Schwingungsenergie im Bereich } 15 - 30 \text{ Hz}}$$

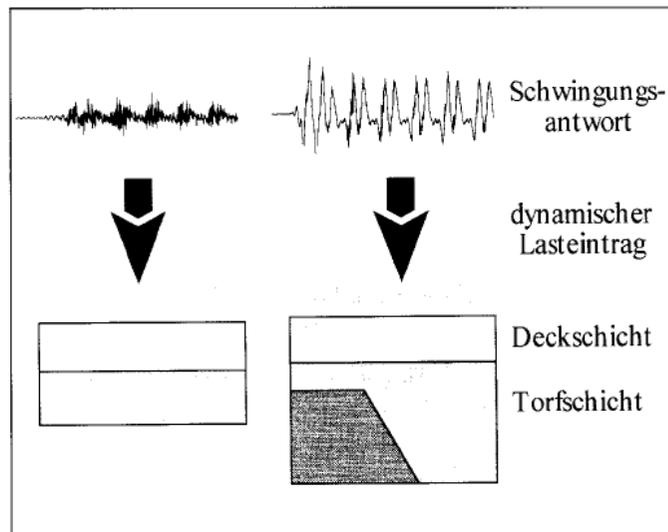


Abb. 1: Schematisches Konzept „dynamische Messung“

Absoluthöhe der Amplituden bleibt unberücksichtigt

Verfahren zur Bewertung der dynamischen Stabilität nicht ausreichend

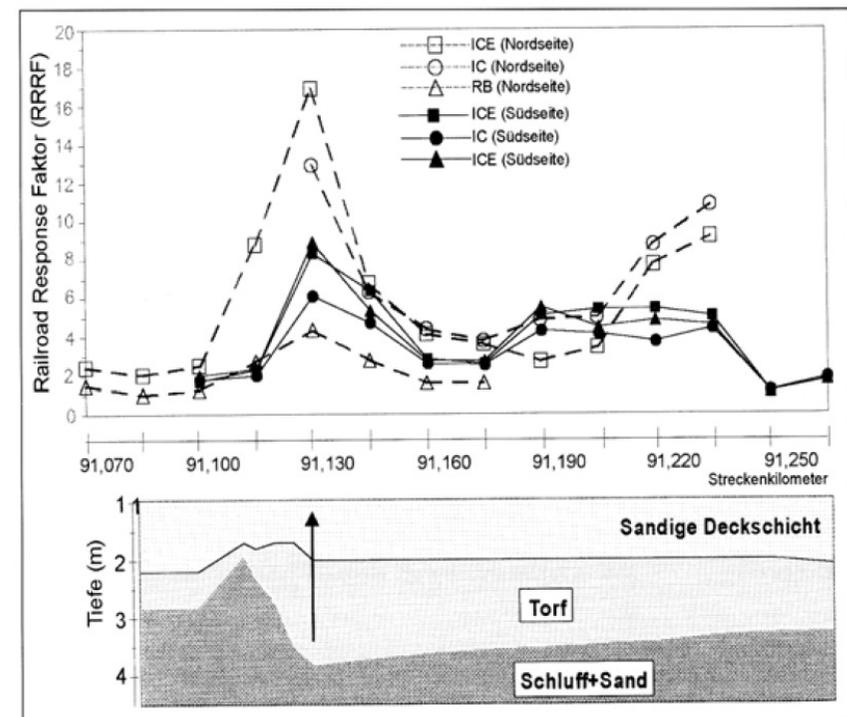


Abb. 5: RRRF Faktoren nördliches und südliches Gleis Bahnhof Genthin

Abbildungen aufgenommen aus: S.K. Reamer, Auswertung von Schwingungsmessungen zur Untersuchung der dynamischen Stabilität des Untergrundes; in: Eisenbahn-Ingenieur (EI) 12/2000, S. 34 - 37

Bewertung der Eignung von Weichschichten

Bisherige Bewertungsgrundlagen

Oberbau- konstruk- tion	Bereich	Baugrund- verhält- nisse	ICE oder annähernd gleichwertiger Zugverkehr mit gut gewarteten Fahr- zeugen					Andere Züge			
			v_e in km/h					v_e in km/h			
			100	160	200	250	300	60	100	160	200
Feste Fahr- bahn ³⁾	freie Strecke	günstig¹⁾	4	6	8	10	12	3	5	8	10
		ungünstig²⁾	5	8	10	13	15	4	6	10	12
	potentielle Störstelle ⁵⁾	günstig¹⁾	5	8	10	13	15	4	6	10	12
		ungünstig²⁾	7	11	14	18	21	5	8	13	16
Schotter- oberbau ⁴⁾	freie Strecke	günstig¹⁾	7	11	14	18	21	6	9	14	18
		ungünstig²⁾	9	14	18	23	27	7	11	18	22
	potentielle Störstelle ⁵⁾	günstig¹⁾	11	17	22	28	33	8	14	22	28
		ungünstig²⁾	13	21	26	33	39	10	16	26	32

Messungen an
der Oberfläche

Für Prognose-
möglichkeiten
nicht bzw. nur
eingeschränkt
geeignet

Bild A 2.2: Abschätzung der zu erwartenden Schwingge-
schwindigkeiten von $v_{res, eff}$ in mm/s

Auszug aus Entwurf 5/97
zur Ril 836.0401 (Mo 863)

Auszug aus Ril 836.3001, Absatz 5(2)

Als schwingungsempfindliche Böden unter Schottergleisen gelten nach dem derzeitigen Stand der Technik

- verlagerungsempfindliche Sande mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $U < 2,0$ und einer bezogenen Lagerungsdichte $I_D < 0,5$,
- weiche bindige Böden mit einer Konsistenzzahl $I_C < 0,6$,
- organische Böden der Gruppen HN, HZ und F nach DIN 18 196,
- organogene Böden der Gruppen OU,OT,OH und OK nach DIN 18 196.

Keine weitere Differenzierung, z. B. Überdeckungsverhältnisse e. a.

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe



Entwicklung von Prognosemöglichkeiten für das dynamische Verhalten von Eisenbahnstrecken auf Weichschichten

Betreuung und Steuerung TEC 3 und I.NVT 4

Beginn 2004

Bearbeitung in Jahresscheiben (Summe ca. 500 TEuro)

Messungen, Auswertungen, Berechnungen

Projektbearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart, UAS Regensburg

Dipl.-Ing. Dirk Wegener, GEPRO Dresden

Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

Ergebnis 2010:

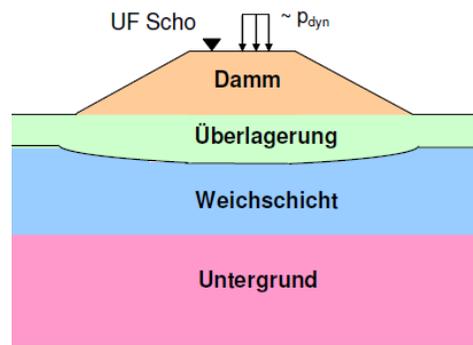
Vorschlag einer Planungshilfe

- Qualitative Bewertung der Eignung von Weichschichten
- Rechnerisches Verfahren

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

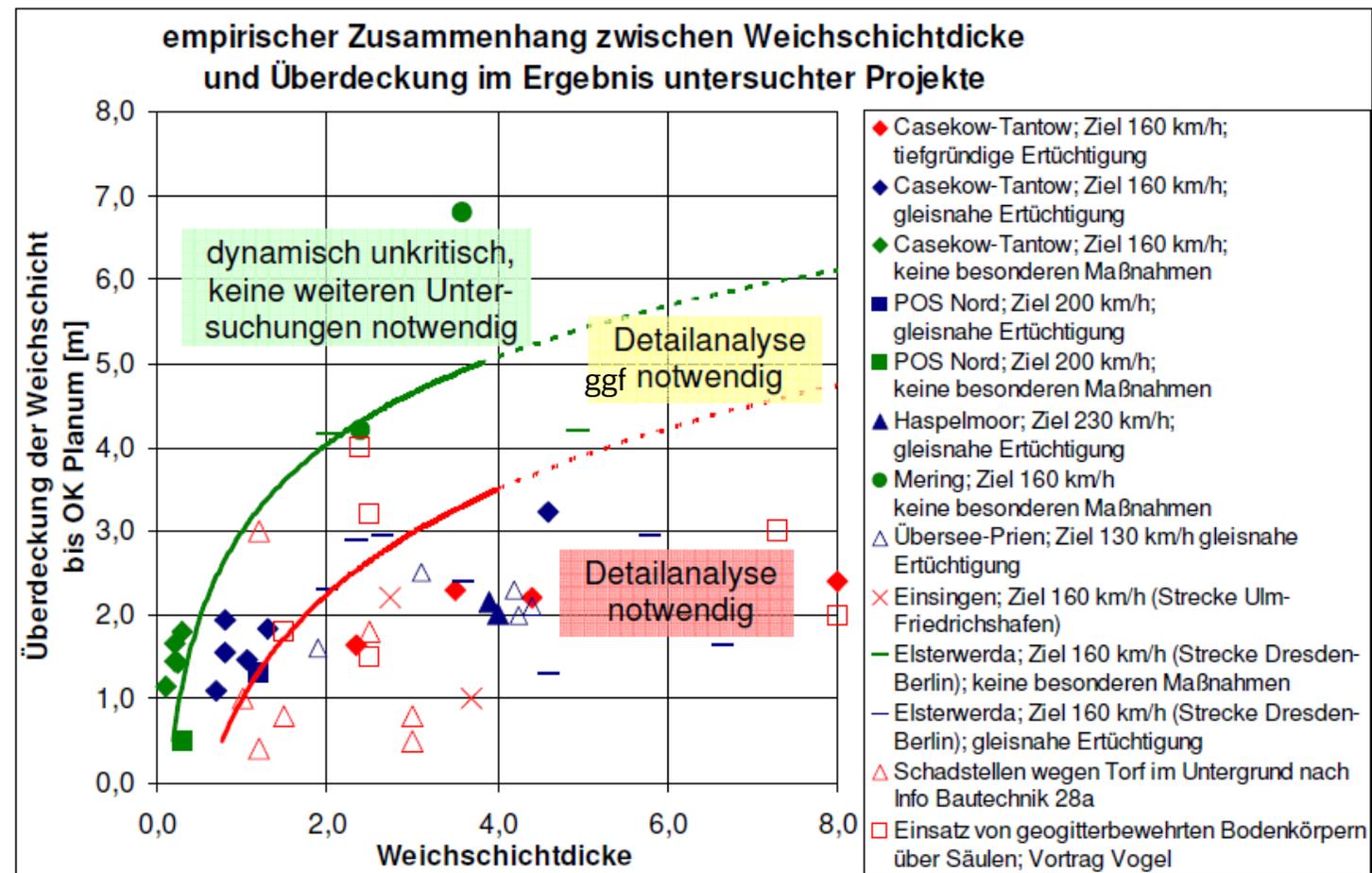
Qualitative Bewertung

Auswertung des Erfahrungsstandes



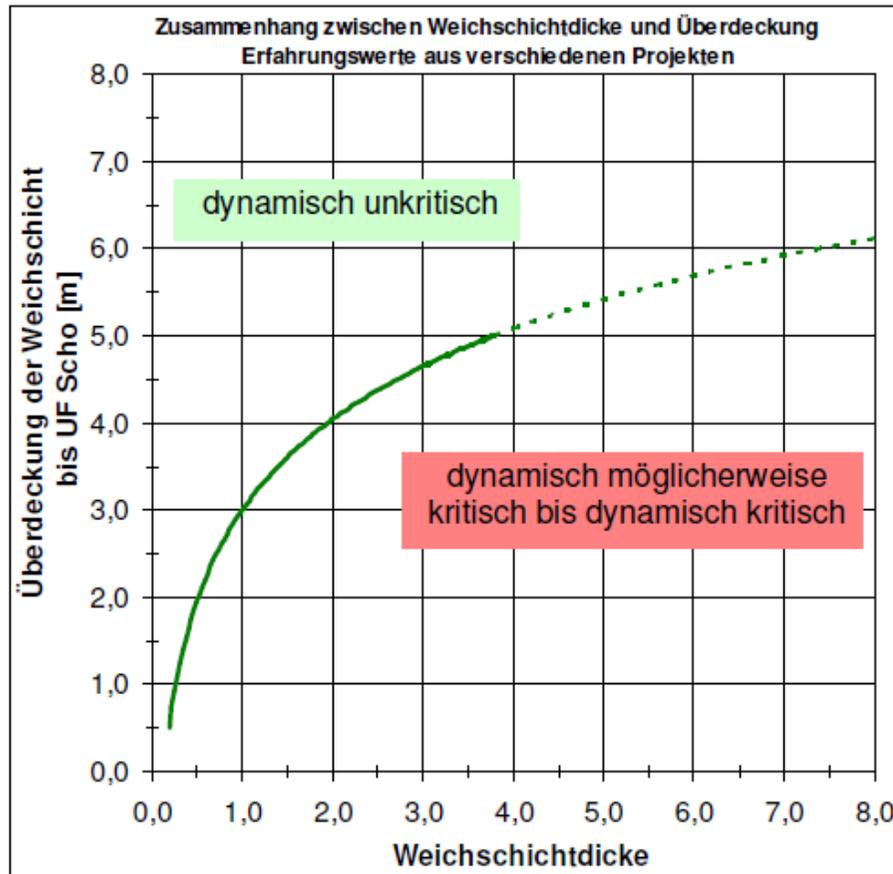
**Zusätzlich:
Sammlung von
Parametern zur
qualitativen
Bewertung der
dyn. Stabilität**

**Auszug aus der
Planungshilfe**



Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Qualitative Bewertung



Empfohlene Bewertungsgrundlage zur Abschätzung der dynamischen Stabilität des Fahrwegs

Anwendungsbedingungen

Belastung

- V bis 200 km/h,
- Radsatzlasten bis 22,5 to,
- Streckenklasse D 4

Weichschicht

- Bindige Böden mit $I_C < 0,6$ bzw. $c_u < 40$ kN/m² (im ungestörten Zustand)
- organische Böden (ohne Beschränkung von w (!))
- Böden mit organischen Beimengungen

Überdeckung

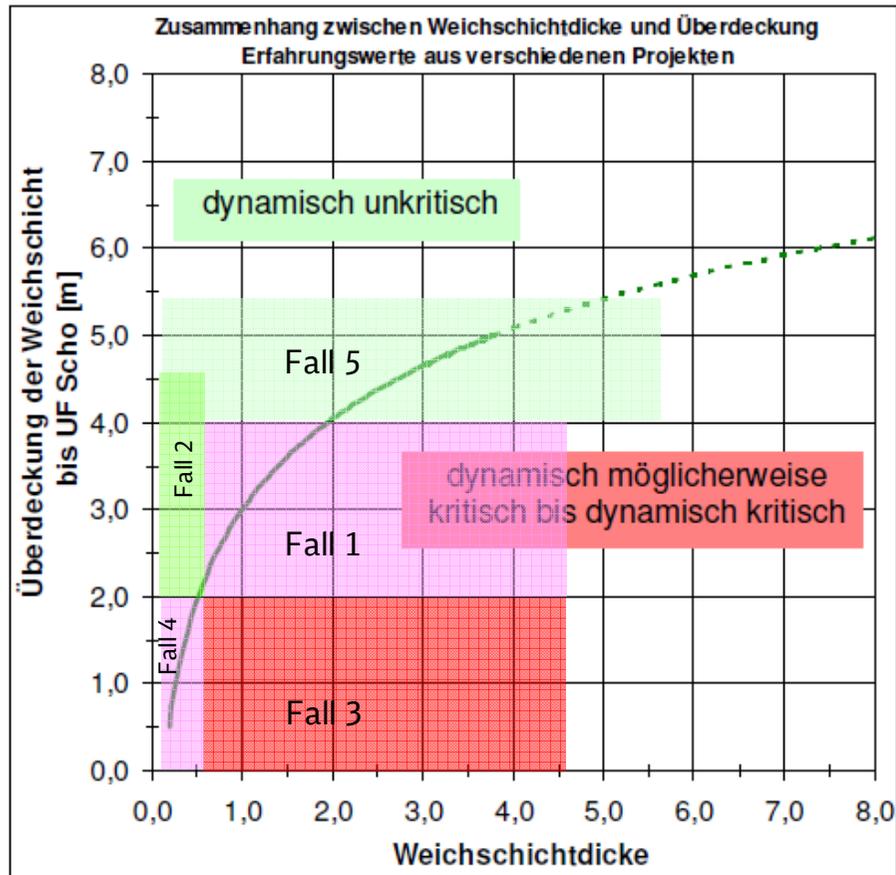
- nichtbindige Böden (Feinanteil < 15 %) in min. mitteldichter Lagerung ($I_D > 0,35$)
- bindige Böden (Feinanteil > 15 %) in min. steifer Konsistenz ($I_C < 0,6$)

Anmerkung:

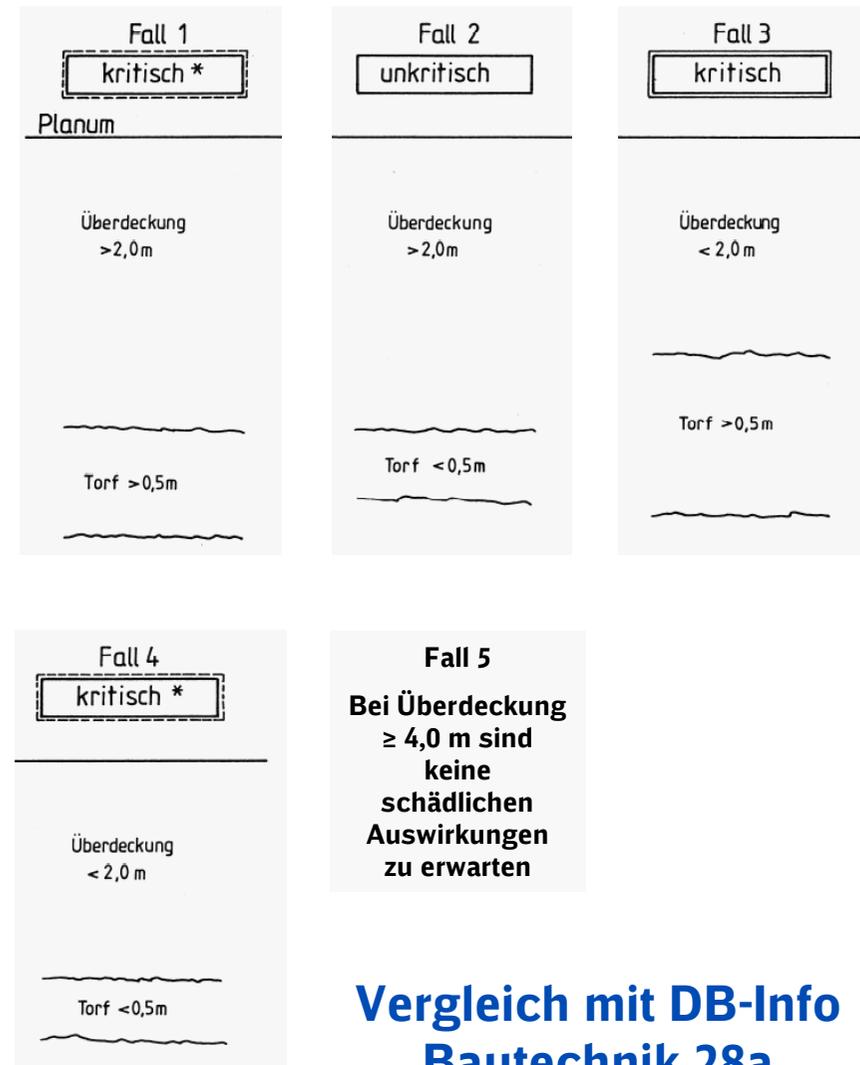
Anforderungen an Überdeckung höher als an Unterbau nach Ril 836, da letztere nicht von einer unterlagernden Weichschicht ausgehen (Regelfall!)

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Qualitative Bewertung



Empfohlene Bewertungsgrundlage zur Abschätzung der dynamischen Stabilität des Fahrwegs



Vergleich mit DB-Info Bautechnik 28a

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe

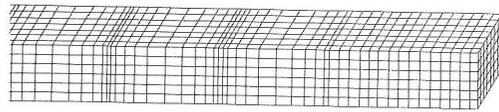


Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

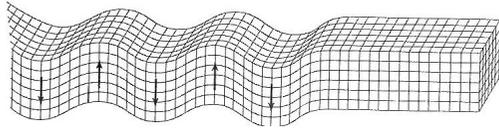
Rechnerisches Verfahren - Einführung

Wellenausbreitung im Untergrund

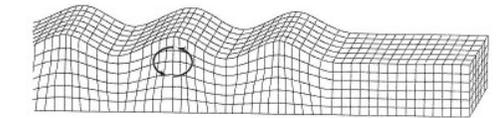
Wellenarten



Raumwellen



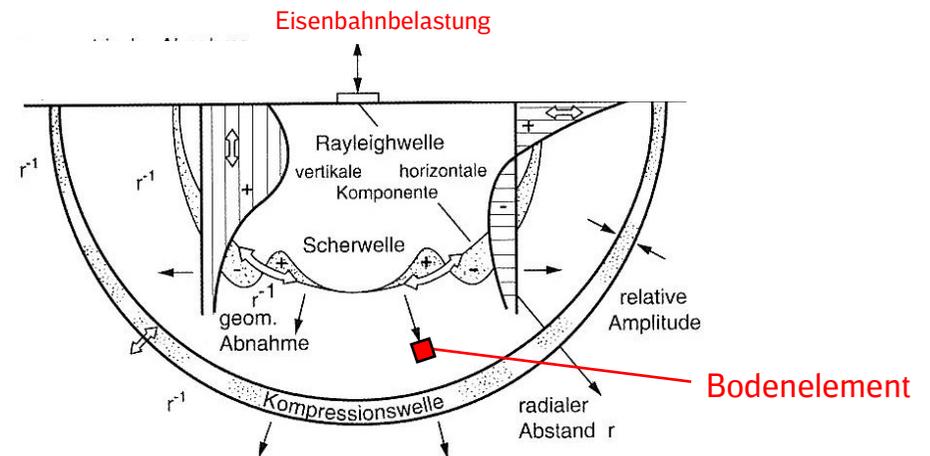
Kompressionswellen
(oben)



Scherwellen (unten)

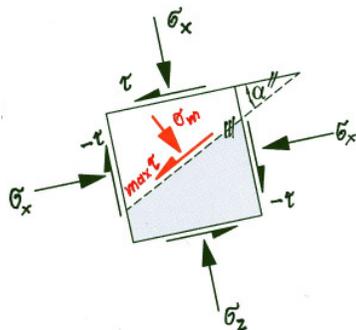
Oberflächenwellen
(Rayleigh-Wellen)

Überlagerung der Wellen

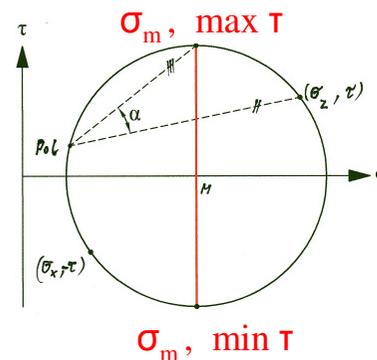


Spannungen und Verformungen im Untergrund

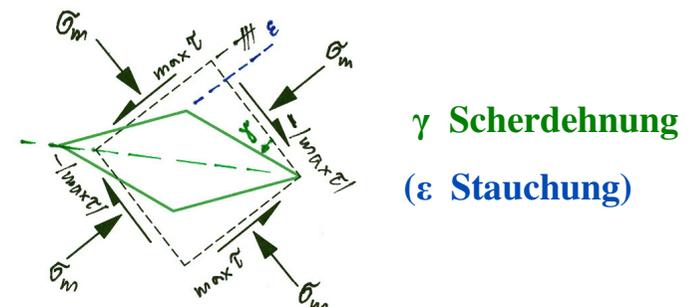
Spannungen am Bodenelement



Mohrscher Spannungskreis

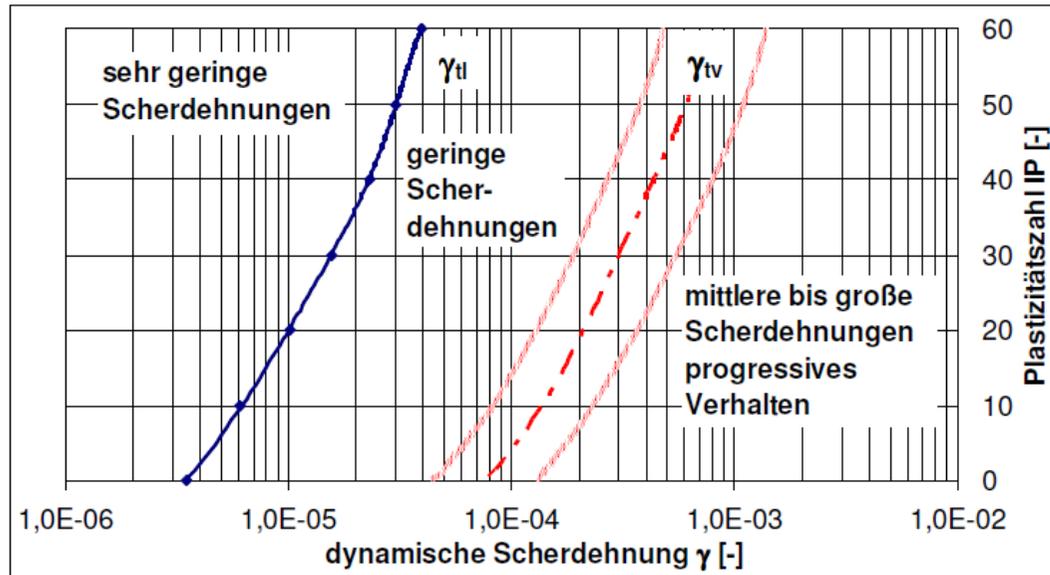


Dehnungen



Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Rechnerisches Verfahren - Einführung



Scherdehnungsgrenzen nach VUCETIC (1994)

$$\gamma = v_{\text{eff}} / c_s \quad \text{und} \quad c_s^2 = G_d / \rho.$$

- γ Scherdehnung
- v_{eff} effektive Schwinggeschwindigkeit
- G_d dynamischer Schubmodul
- ρ Dichte des Bodens



Untersuchung (Nachweis) der dynamischen Stabilität

Vergleich

Vorhandene Scherdehnungen infolge veränderlicher Belastung

mit

Scherdehnungsgrenzen (nach VUCETIC) bei einer Zugüberfahrt

Absicherung durch die Berechnung:

- keine unerwarteten Setzungen des Untergrundes
- ausreichender Abstand zu Grenzgeschwindigkeit (Rayleigh-Welle)
- keine Entfestigung des Schotterbettes (noch zu verifizieren!)

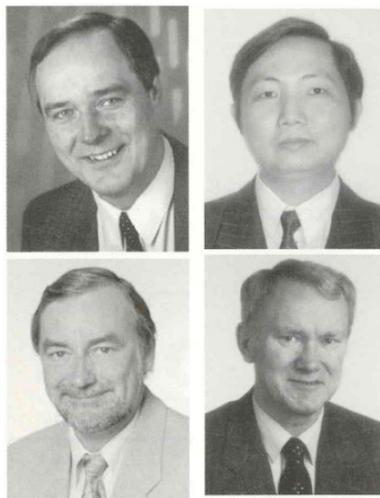
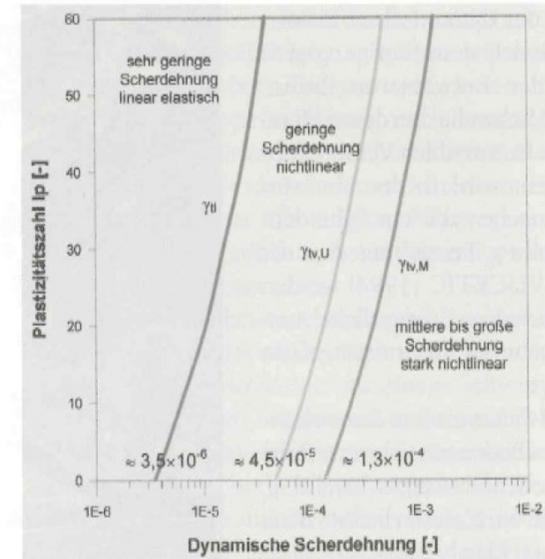
Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Rechnerisches Verfahren - Einführung

Tabelle 3. Nachweiskriterium der dynamischen Stabilität.

Dynamische Scherdehnung $\gamma = v_{res,eff}/c_s$	$\gamma \leq \gamma_{el}$	$\gamma_{el} < \gamma < \gamma_{w,U}$	$\gamma \geq \gamma_{w,U}$
Bodenverhalten	Linear elastisch	geringe Scherdehnung nichtlinear	große Scherdehnung stark nichtlinear
Stabilität unter kurzzeitigen dyn. Einwirkungen	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt
Stabilität unter langzeitigen dyn. Einwirkungen	erfüllt	erfüllt, wenn $s_N \leq s_{v,z}$	nicht erfüllt
Langzeitsetzung infolge Eisenbahnverkehr s_N	Nachweis nicht erforderlich	Nachweis erforderlich	Versagen

Bild 1. Scherdehnungsschwelle γ_{iv} in Abhängigkeit der Plastizitätszahl I_p , nach VUCETIC (1994), Mittelwerte $\gamma_{iv,M}$ und untere Grenzwerte $\gamma_{iv,U}$.

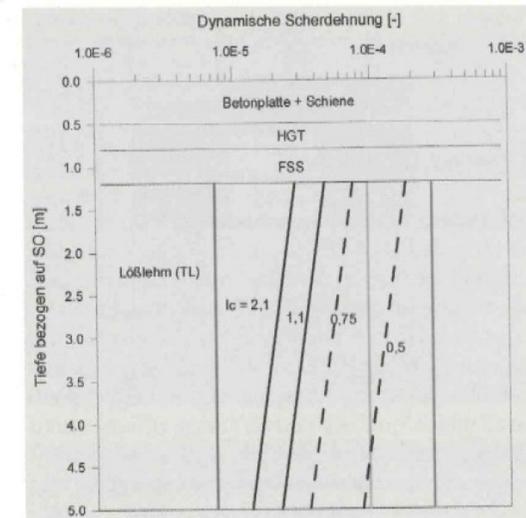


Bewertung der dynamischen Stabilität von Erdbauwerken unter Eisenbahnverkehr

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Yifeng Hu, Dr.-Ing. Erwin Gartung, Dipl.-Ing. Helmut Prühs und Dr.-Ing. Bernd Müllner, LGA-Grundbauinstitut, Nürnberg

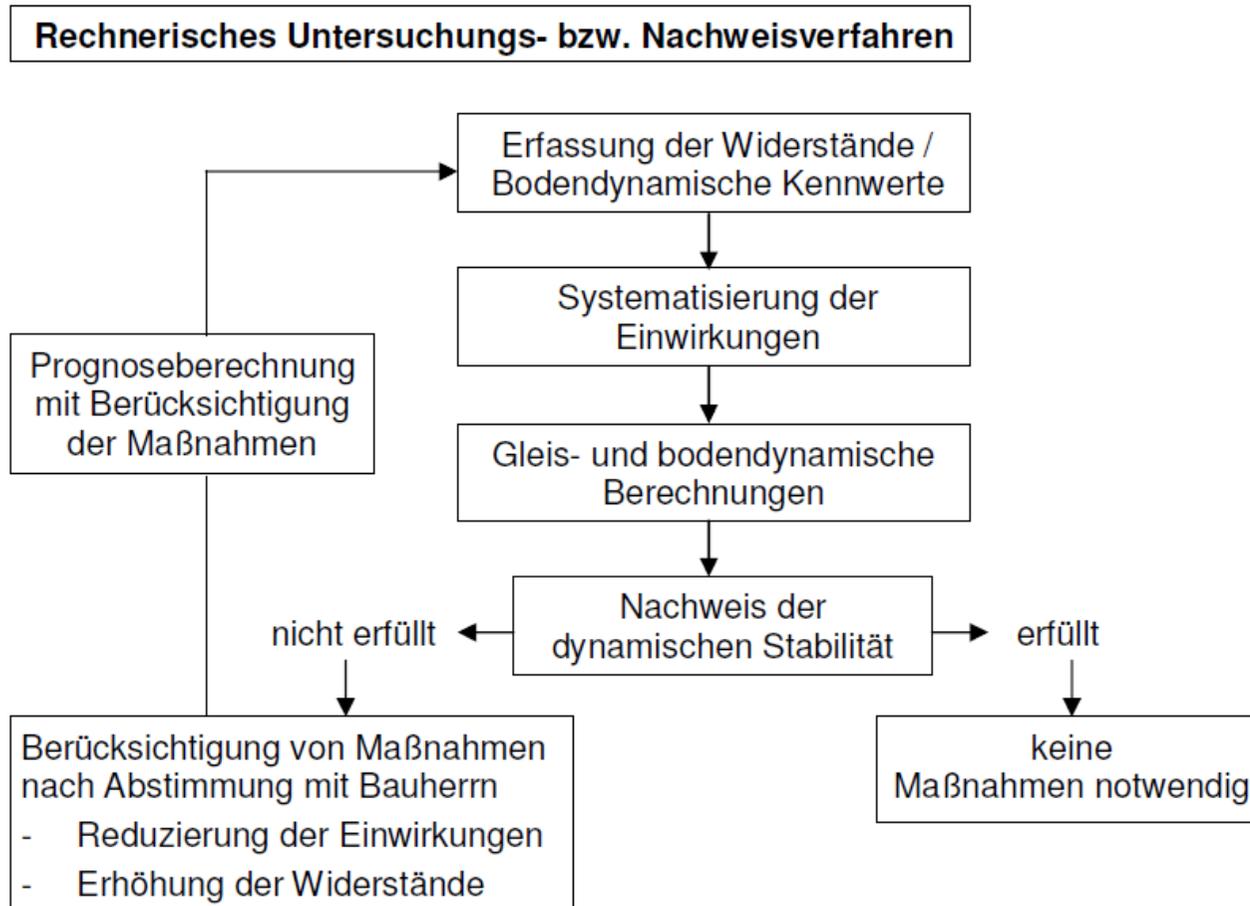
Veröffentlichung in:
Geotechnik 26 (2003) Nr. 1

Bild 15. Rechnerischer Nachweis der dynamischen Stabilität für Lösslehm in vier verschiedenen Zuständen.



Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Rechnerische Untersuchung - Berechnungsablauf



Nebenbedingung

Ausschluss eines Resonanzfalles:

Zuggeschwindigkeit v_{Zug}
kleiner als
Rayleighwellen-
geschwindigkeit c_R

$$\alpha = v_{\text{Zug}} / c_R \leq 0,50$$

$$c_R \approx \frac{0,87 + 1,12 v_m}{1 + v_m} \cdot \sqrt{\frac{G_m}{\rho_m}}$$

G Schubmodul

ρ Dichte des Bodens

v Querdehnzahl

Bild 2 Arbeitsschritte zur rechnerischen Untersuchung der dynamischen Stabilität.

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Feldversuche zur Bestimmung dynamischer Kennwerte

Bohrlochgestützte Verfahren

Einsatzfälle:

- Erfordernis zutreffender Parameter bis in größere Tiefe
- hohe Steifigkeitsunterschiede
- steife Deckschichten
- strukturierte Geländeoberfläche

Abbildungen aus:

DGZfP und DGGT:
Merkblatt zur seismischen
Baugrunderkundung
(Lit [5]; in Vorbereitung)

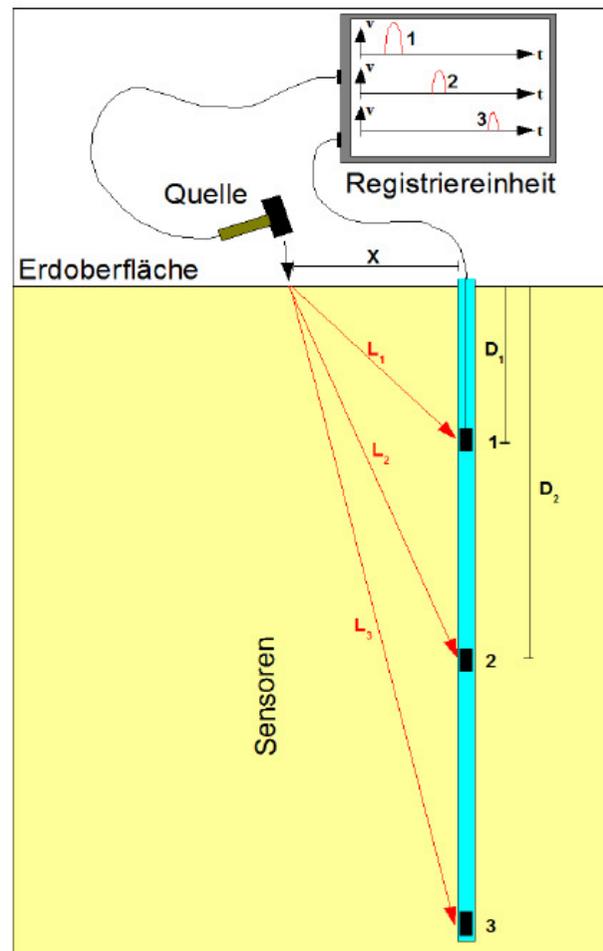
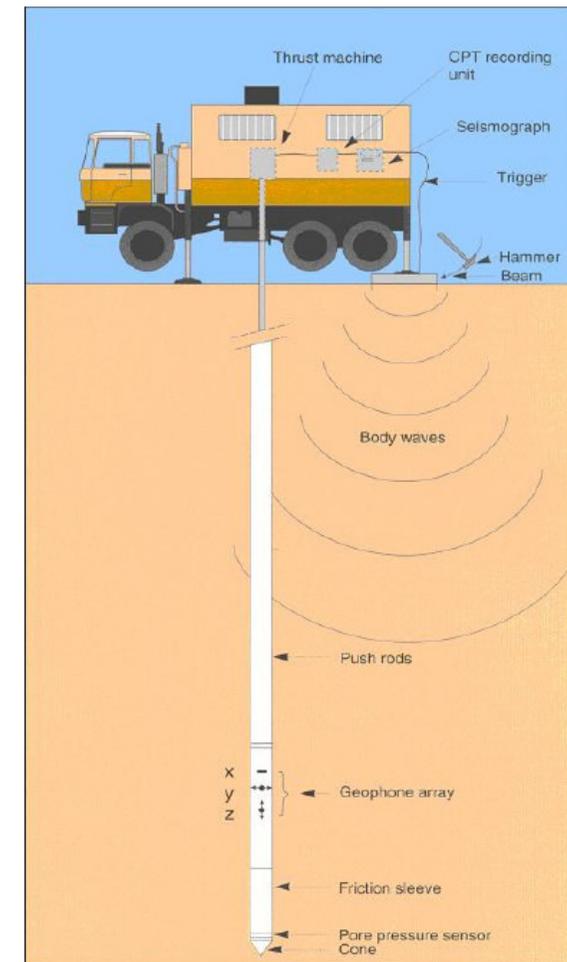


Bild 6 a) Messprinzip DH-Verfahren aus [5]



b) Messprinzip S-CPT aus [5].

Auszug aus der Planungshilfe

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen Zusammenstellung dynamischer Kennwerte

A 3.1: Hoher Damm auf Torf HN-HZ für ein Hochmoor im bayrischen Molassebecken

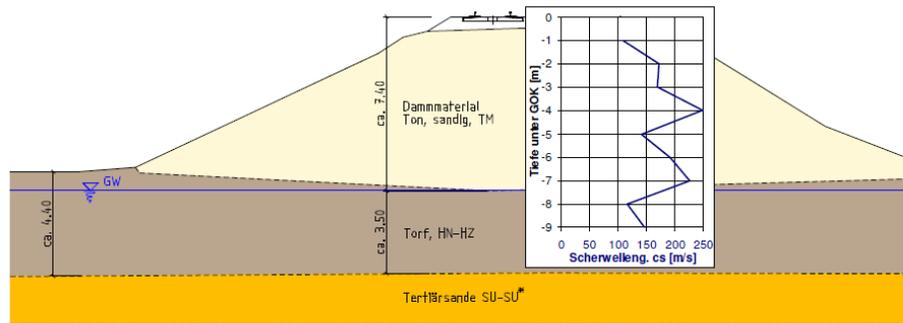


Bild 8 Baugrundsichtung und Downhole-Messergebnisse für einen hohen Damm auf Torf.

Tabelle 2 Bodendynamische Kennwerte und Spannungen für den Torf HN-HZ.

Bezeichnung	Tiefe u. GOK [m]	w [%]	v_{Gl} [%]	ρ [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]	e [-]	σ'_v [kN/m ²]	σ'_0 [kN/m ²]	c_s [m/s]	G_0 [MN/m ²]
HN-HZ										
unter 7,4 m Damm	9,0	220	~ 60	1,17	0,37	4,5	130	95	130	19,8
HN-HZ										
unter 4,8 m Damm	6,0	250	~ 60	1,15	0,33	3,9	85	62	100	11,5

A 3.4: Niedriger Damm auf Torf HN-HZ und Seeton TM im nacheiszeitlich entstandenen Seesedimenten in Süddeutschland

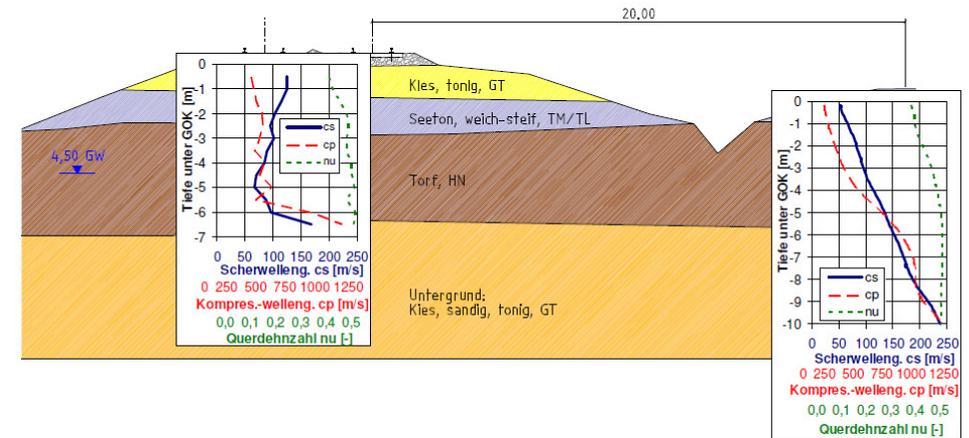


Bild 11 Baugrundsichtung und Ergebnisse der Downhole-Messungen (in Gleisachse) und der refraktionsseismischen Messungen (ca. 20 m neben GA).

Tabelle 5 Bodendynamische Kennwerte und Spannungen für den Torf HN-HZ.

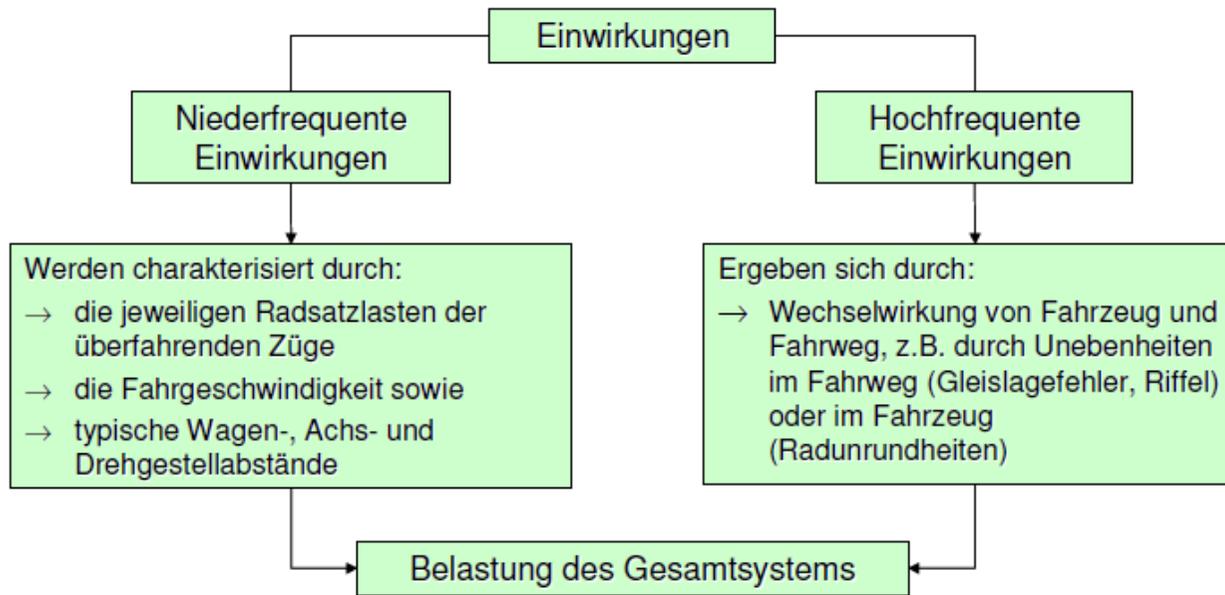
Bezeichnung	Tiefe u. GOK [m]	w [%]	v_{Gl} [%]	ρ [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]	e [-]	σ'_v [kN/m ²]	σ'_0 [kN/m ²]	c_s [m/s]	G_0 [MN/m ²]
HN-HZ										
u. Damm	3,0 - 6,0	200 - 500	70 - 90	1,00 - 1,05	0,17 - 0,35	3,9 - 7,8	50 - 65	37 - 48	80 - 120	6,4 - 15,1
Ø	4,0	350	80	1,03	0,23	6,0	58	42	100	10,3
HN-HZ										
n. Damm	0,0 - 5,0	400 - 700	85 - 95	0,97 - 1,03	0,12 - 0,20	6,8 - 11,5	5,0 - 21	4,0 - 15	50 - 90	2,4 - 8,3
Ø	1,5	550	90	1,00	0,15	9,2	13	10	70	4,9

Auszug aus der Planungshilfe

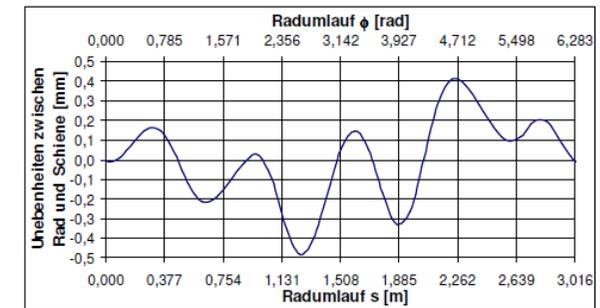
Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Festlegung der Einwirkungen aus Eisenbahnverkehr

Systematik der Einwirkungen



Hochfrequente Einwirkungen ersatzweise erfasst durch Radunrundheiten (Angaben nach EUROBALT)



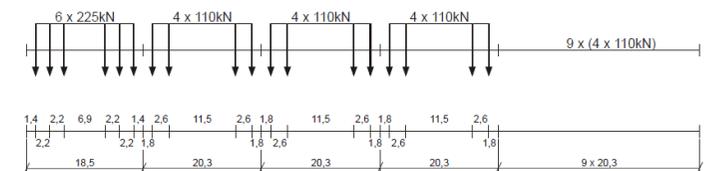
Maßgebende Lastenzüge nach Streckenkategorien

- R 80 / G 50 Typ 1 mit 80 km/h (Lokgezogener Reisezug mit 6-achsiger Lok),
- G 120 / R 120 Typ 7 mit 120 km/h (Lokgezogener Güterzug mit 4-achsigen Wagen),
- P 160 / M 160 Typ 1 mit 160 km/h (Lokgezogener Reisezug mit 6-achsiger Lok) und
- P 230 / M 230 Typ 3 mit 230 km/h (ICE 1 mit Triebköpfen und Mittelwagen) oder Typ 1 mit 200 km/h (Lokgezogener Reisezug mit 6-achsiger Lok).

Lastenzug nach DIN-Fb 101 (Beispiel)

I Typ 1 Lokgezogener Reisezug

$$\Sigma Q = 6630 \text{ kN} \quad V = 200 \text{ km/h} \quad L = 262,10 \text{ m} \quad q = 25,3 \text{ kN/m}$$



Auszug aus der Planungshilfe

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Gleisdynamische Berechnungen

Anlage 4 Gleisdynamisches Modell des dynamisch belasteten Fahrwegs

Die niederfrequenten Beanspruchungen können vereinfacht am kontinuierlich gebetteten Balken mit Feder und Dämpfer ermittelt werden.

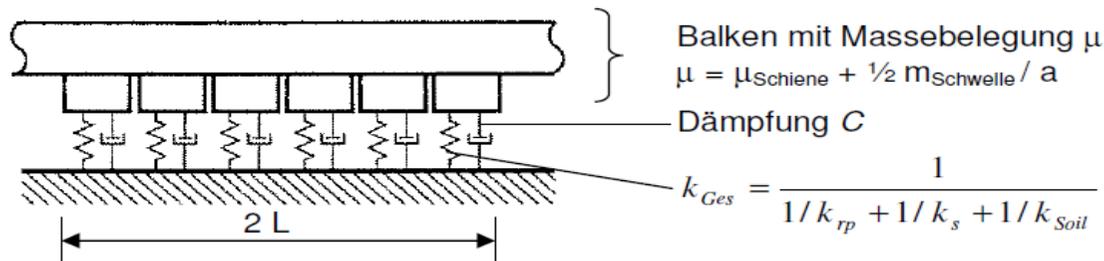
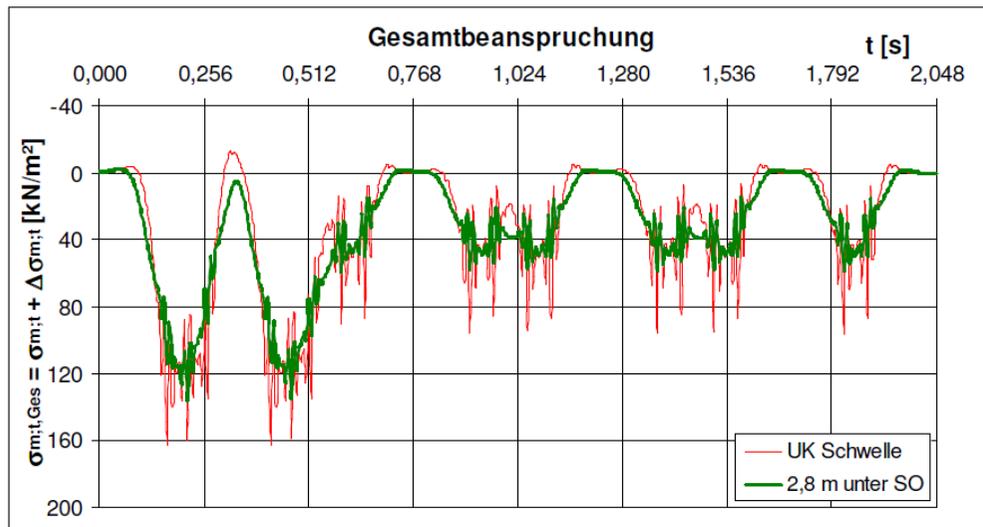


Bild 12 Ersatzmodell mit kontinuierlich gebetteten Balken mit Feder und Dämpfer.



Ergebnis der Berechnung

Beispiel:
 Spannungen auf UK Schwelle und auf OK Basis (angenommen in 2,8 m unter SO)

Aufgabenstellung:

Ermittlung der Spannungen und Verformungen in UK Schwelle

Annahme eines elastisch gebetteten Balkens mit Feder- und Dämpfungselementen

Ergebnisse sind Eingangswerte für die nachfolgende FE-Berechnung des Untergrundes

Abbildungen aus der Planungshilfe

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Rechnerische Untersuchungen - Bodendynamische FE-Berechnungen

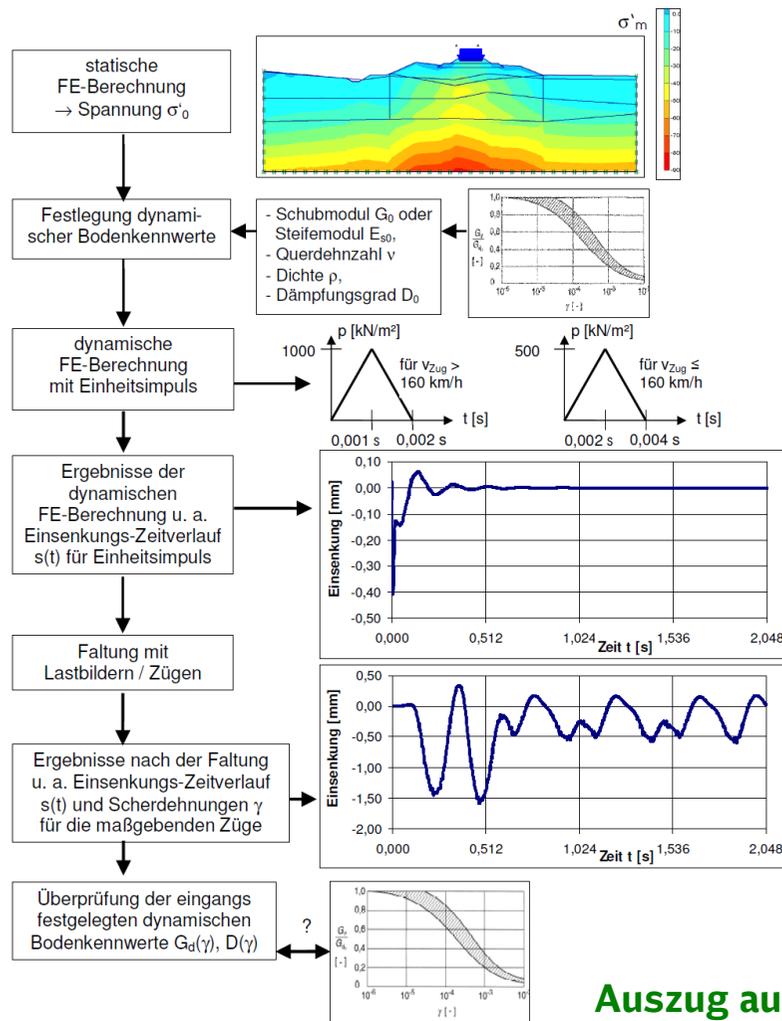


Bild 29 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufes.

Auszug aus der Planungshilfe

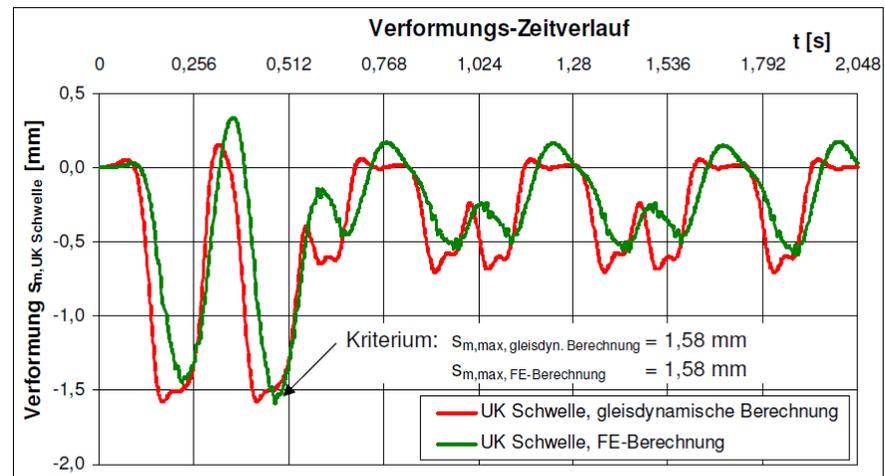


Bild 32 Vergleich der Verformungs-Zeitverläufe in der Ebene UK Schwellen infolge gleisdynamischer Berechnung und FE-Berechnung.

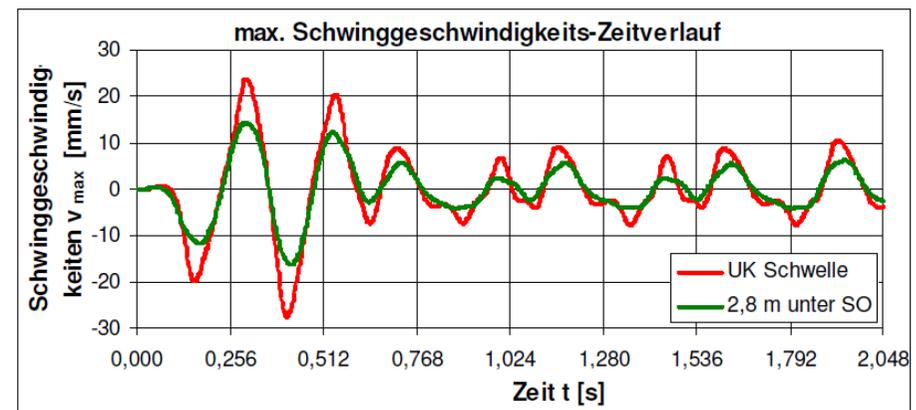
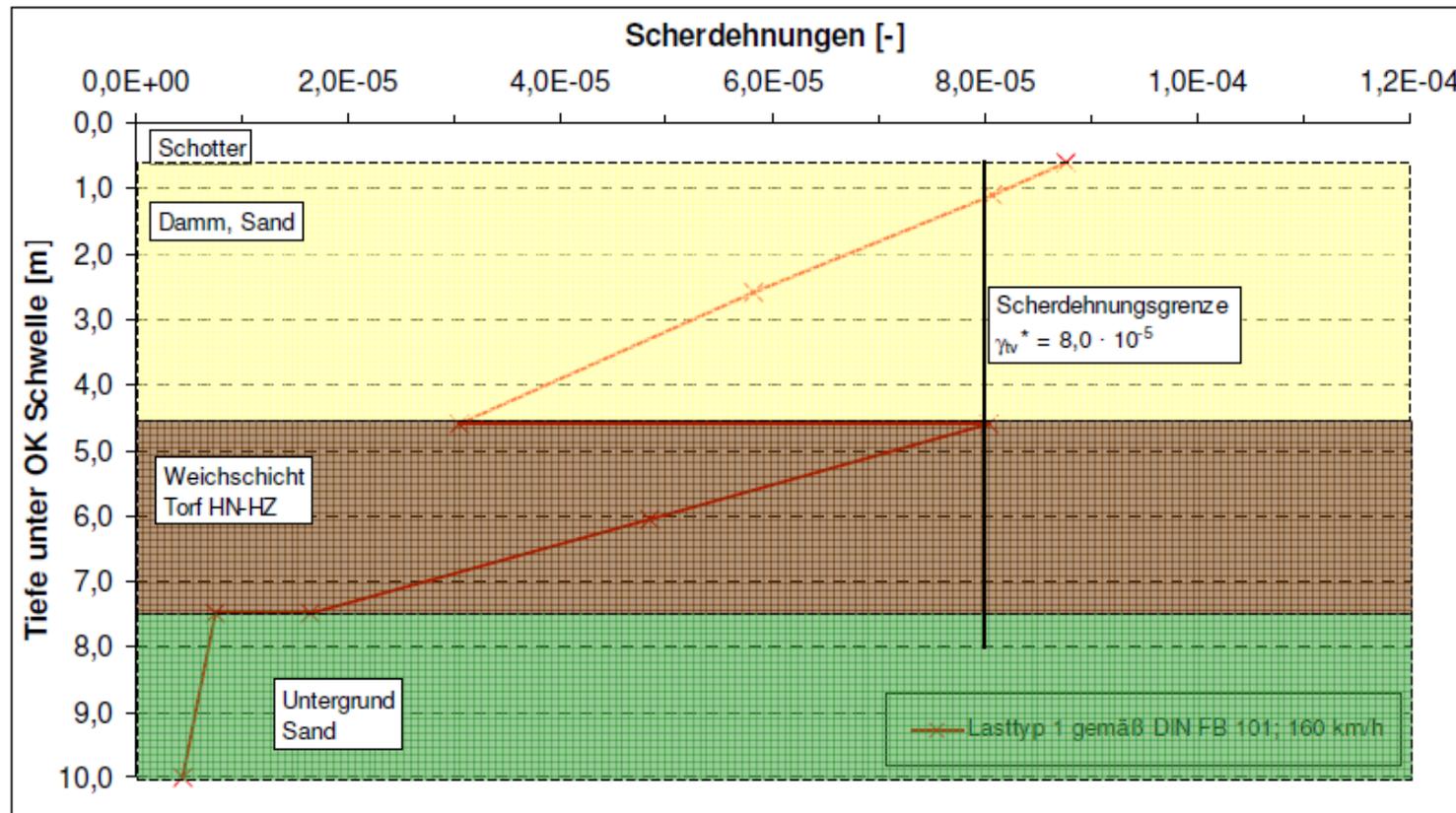


Bild 34 Maximale Schwinggeschwindigkeits-Zeitverläufe für UK Schwellen und 2,8 m unter SO infolge konkretem Lastbild.

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Rechnerische Untersuchungen – Ergebnis (Beispiel 1)



Kritische Scherdehnung nur oberflächennah überschritten

Verstärkung des Schutzschichtsystems (höhere Steifigkeit ggf. mit Geogitterverstärkung ausreichend)

Tiefreichende Untergrundverbesserung oder Tiefgründung nicht erforderlich

Bild 36 Vergleich der vorhandenen Scherdehnungsamplitude γ mit der zulässigen Scherdehnungsgrenze γ_{tv}^* .

Abbildung aus der Planungshilfe

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe

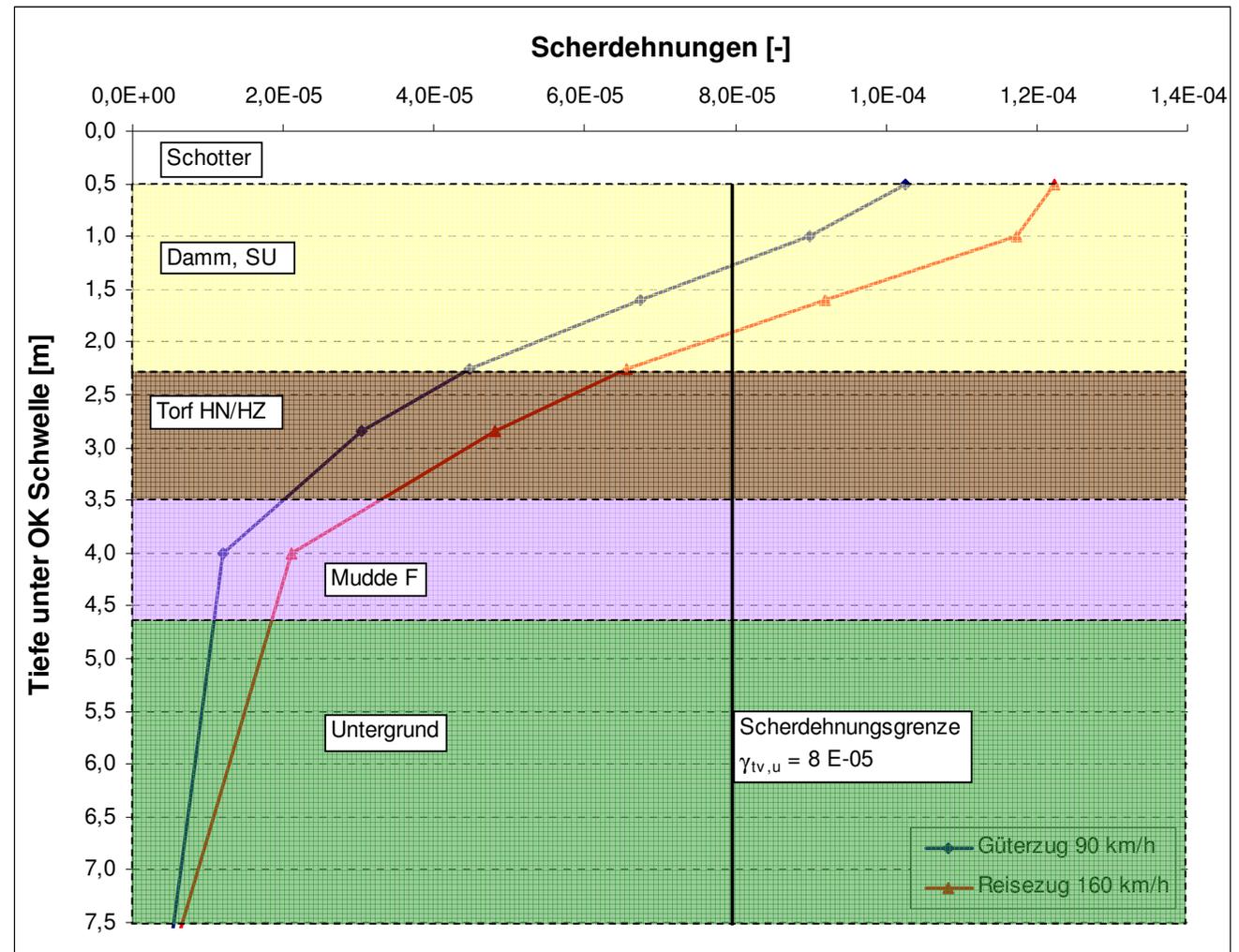


Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Anwendungsfälle – Ergebnisse (Beispiel 1)



Rechnerisch ermittelte Scherdehnungen ohne eine Ertüchtigung bei angehobener Verkehrsbelastung

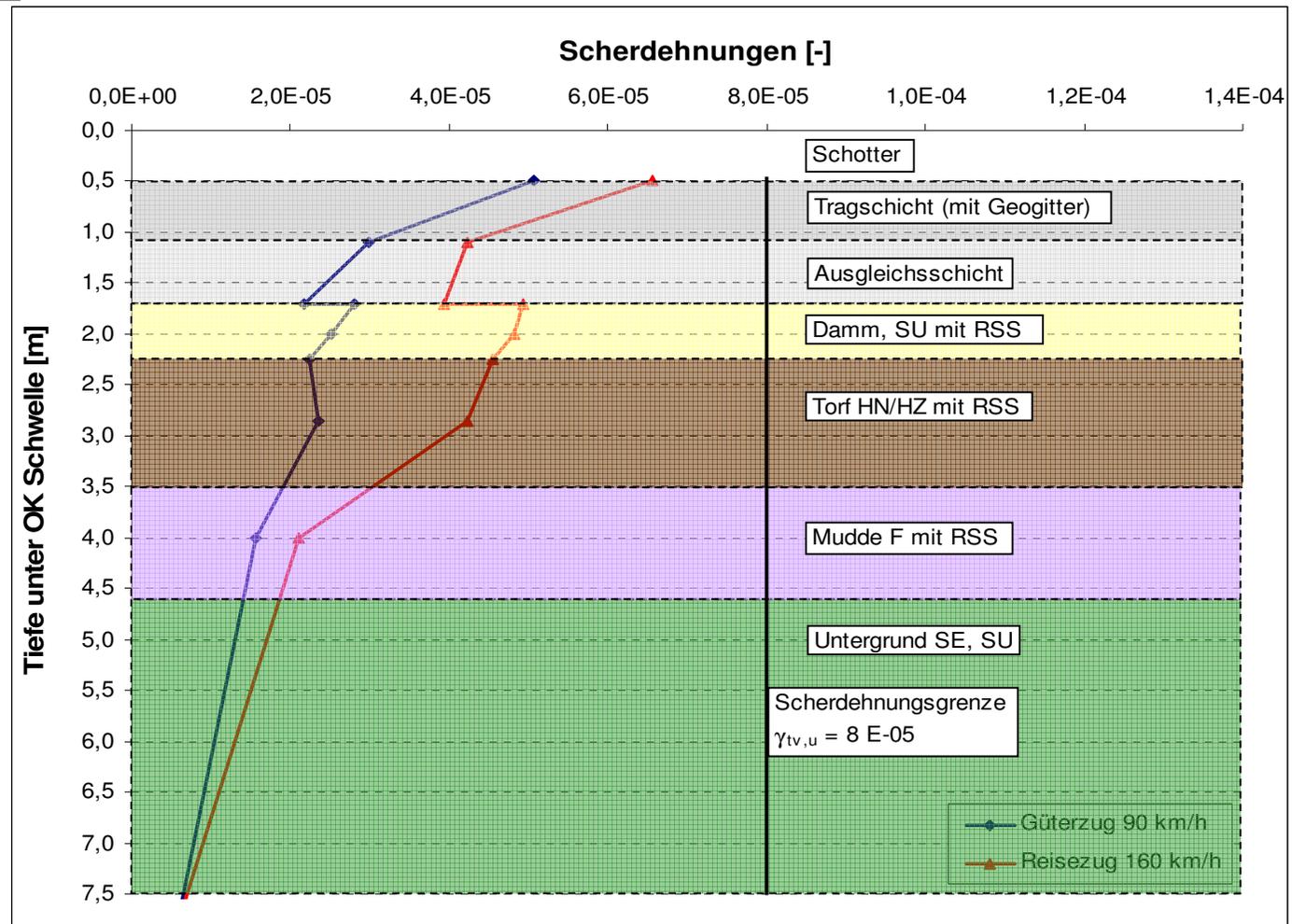


aus Unterlagen GEPRO Dresden

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen Anwendungsfälle- Ergebnisse (Beispiel 1)



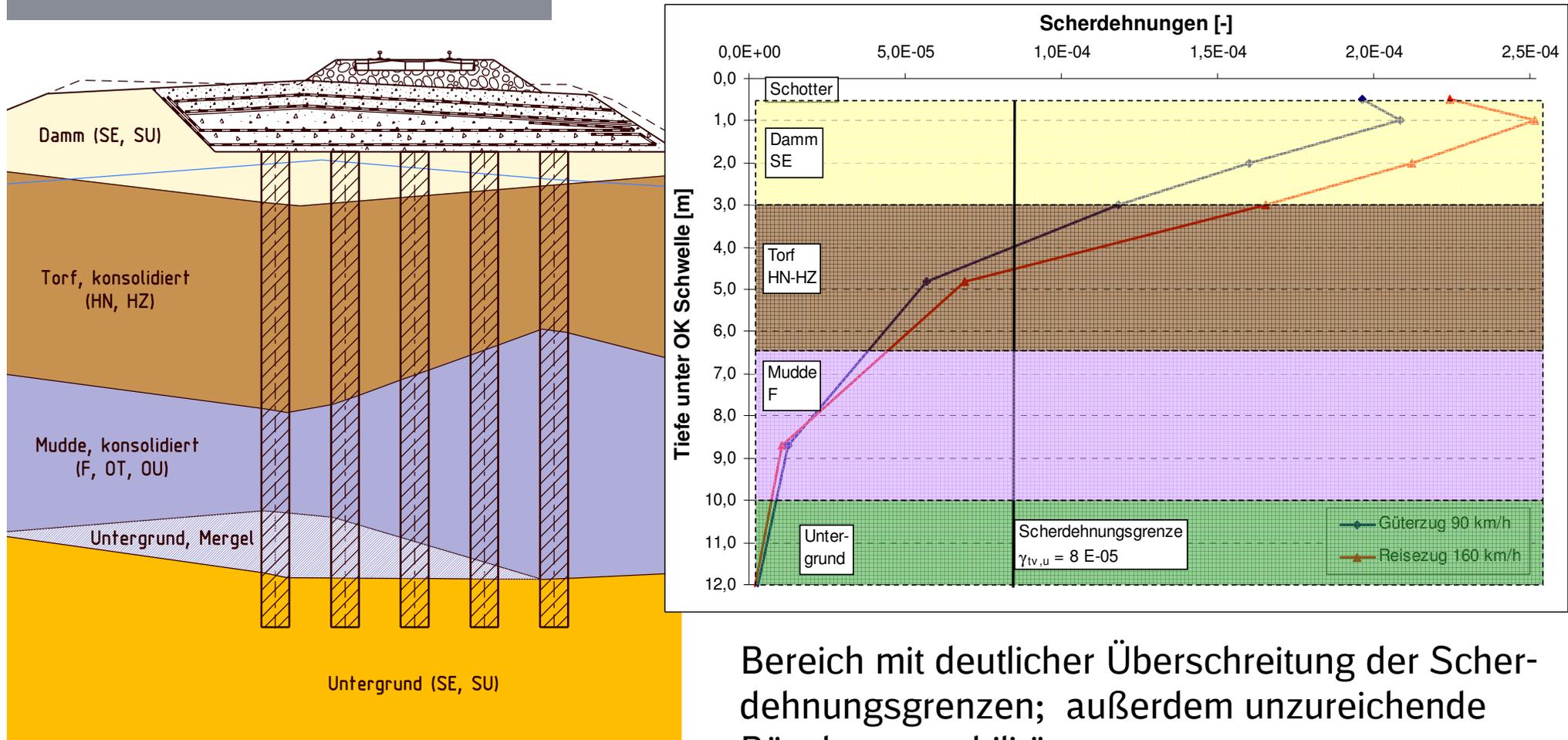
Rechnerisch ermittelte Scherdehnungen nach Ertüchtigung mit Rüttelstopfsäulen (Rasterbemessung mit dyn. Berechnung !)



aus Unterlagen GEPRO Dresden

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Anwendungsfälle – Ergebnisse (Beispiel 2)



Bereich mit deutlicher Überschreitung der Scherdehnungsgrenzen; außerdem unzureichende Böschungsstabilität

Ertüchtigung mit geogitterbewehrten Bodenkörpern auf Fertigmörtelstopfsäulen

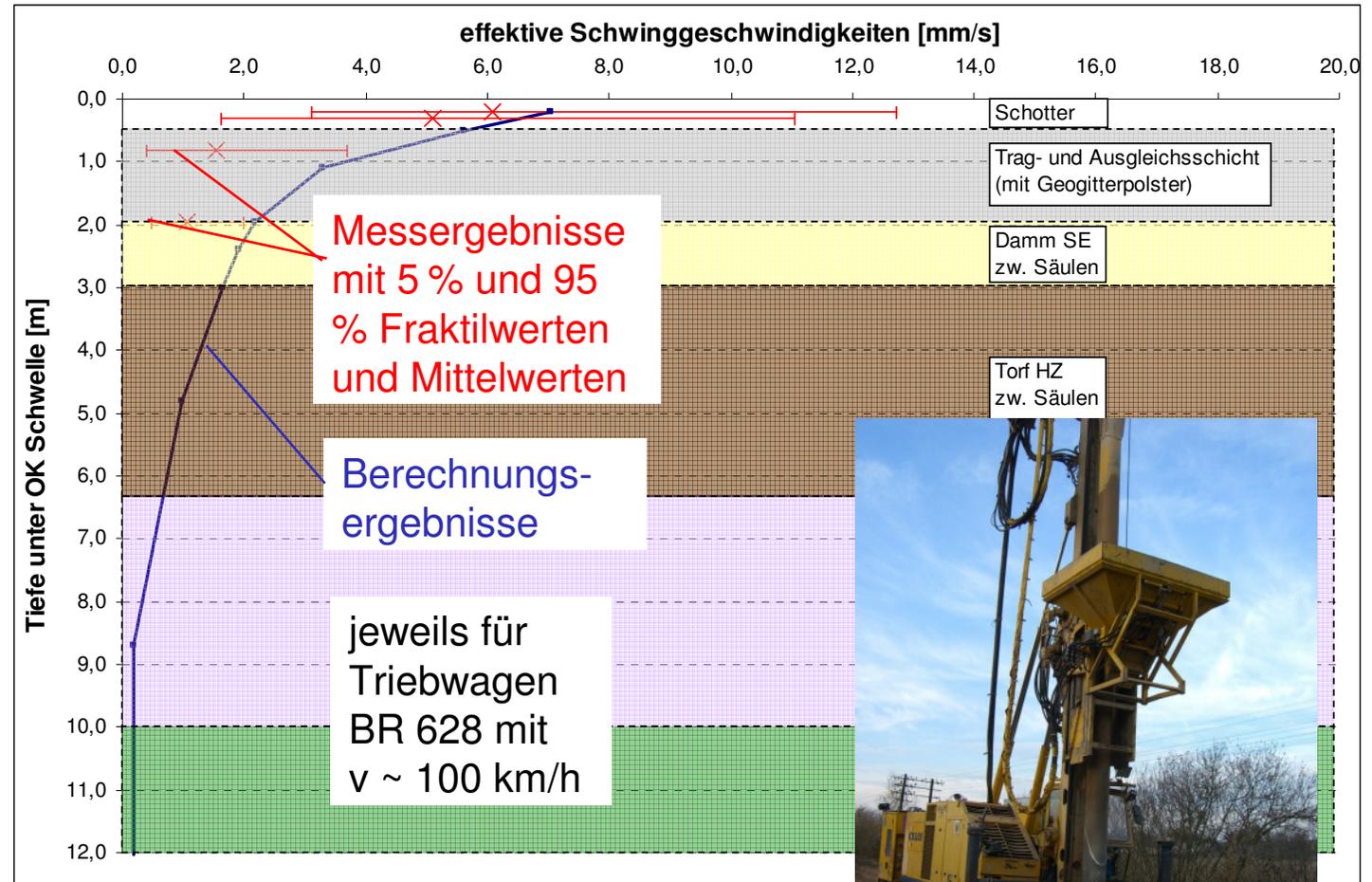
aus Unterlagen GEPRO Dresden

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Anwendungsfälle - Ergebnisse (Beispiel 3)



**Vergleich
Schwinggeschwindigkeiten aus dyn.
Berechnung und aus
Messungen**



aus Unterlagen GEPRO Dresden

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Pilotanwendungen

Pilotprojekt: Caskow – Tantow

Längerer Abschnitt, unterschiedlichen Untergrundeigenschaften, Gleiserneuerung für 160 km/h;
zunächst GA auf Basis Info Bautechnik 28 a; Einsparungen von x Mio Euro

ABS Augsburg – Olching (-München)

Anhebung der Geschwindigkeit von 160 km/h auf 230 km/h auf standsicherem Bestandsdamm
Bewertung der Wirksamkeit einer seitlichen Anschüttung (nicht gegeben)

POS Nord (Saarbrücken-Dresden)

Weichschicht geringer Mächtigkeit

Ursprüngliche Empfehlung einer FMI; stattdessen verstärktes Schutzschichtsystem

Gleiserneuerung Rosenheim – Prien

Stark erhöhter Instandhaltungsaufwand bei $v = 130$ km/h; tiefreichende Weichschichten

Absicherung eines verstärkten Schutzschichtsystems durch rechnerische Untersuchung

ABS Oldenburg - Wilhelmshafen (Jadeport)

40 km mit schwierigen Untergrundverhältnissen; Unterschiedliche Gründungsbereiche

Absicherung der gutachterlichen Empfehlungen mit rechnerischen Untersuchungen

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Vorstellen einer Planungshilfe



Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

Weiteres Vorgehen

- **Fortschreibung Ril 836**
 - **Planungshilfe Qualitative Bewertung als Anhang zu 836.7001**
 - **Planungshilfe Rechnerisches Verfahren als Anhang zu 836.3001**

- **Absicherung der Berechnungsansätze**
 - **3-dimensionale Berechnungen**
 - **Kalibrierung mit tatsächlichen Versagenserscheinungen (Schotterfließen, Instandsetzungsabstände)**

- **Verbesserung des Erfahrungsstandes**
 - **Versuchsfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten**
 - **Sammeln von Betriebserfahrungen (mit Korrelation zu Untergrundparametern)**

- **Absichern von Ertüchtungsverfahren**
 - **Geogitterverstärktes Schutzschichtsystem ggf. mit weicheren Zwischenlagen („intelligenter Oberbau“)**
 - **Effizienz von Rüttelstopfverfahren**

LITERATURVERZEICHNIS

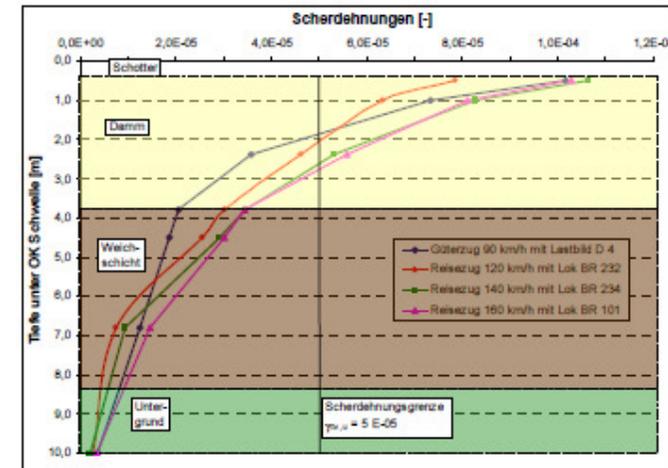
- [1] Vogel, W. & Lieberenz, K. (2008): Gebrauchstauglichkeit von Bahnstrecken auf weichen Untergrund. Eisenbahningenieur (59) Heft 9, Seiten 28 - 36.
- [2] Neidhart, T. et al. (2008): Dynamische Beanspruchung weicher Böden unter Eisenbahnverkehr; Tagungsband zur 30. Baugrundtagung in Dortmund, DGGT, Essen.
- [3] Wegener, D. et al. (2008): Ertüchtigung von Eisenbahnstrecken auf Weichschichten; Eisenbahningenieur (59) Heft 12, Seiten 34 - 42.
- [4] Fischer, R. et al. (2009): Untergrundertüchtigung eines Streckenabschnittes über Weichschicht; Eisenbahningenieur (60) Heft 06, Seiten 29 - 36.
- [5] Kipper, R. et al. (2006): Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit von Eisenbahnstrecken, 6. Tiefbaufachtagung des VDEI, Dresden, 2007.

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen

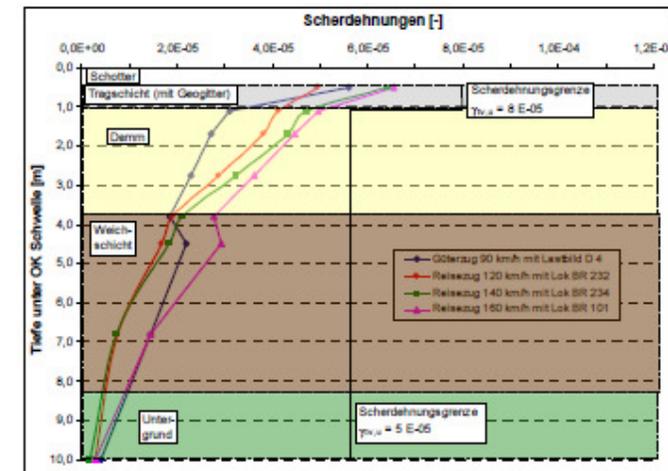
Zusammenfassung



- Entwicklung eines Bewertungsverfahrens zur Beurteilung der Interaktion Eisenbahnverkehr/Untergrund bei Weichschichten
- Entscheidungshilfen für Art und Umfang von Ertüchtigungsmaßnahmen bei erhöhten Anforderungen (z.B. Geschwindigkeitserhöhungen)
- Kosteneinsparungen durch Reduzierung aufwändiger Maßnahmen (z.B. Tiefgründungen, tiefreichende Bodenstabilisierung)



Istzustand mit unzureichender Stabilität der Weichschichten



Sollzustand mit einer geplanten Ertüchtigung durch ein bewehrtes Tragschichtsystem

Bewertung von Weichschichten unter Gleisen Vorstellung einer Planungshilfe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit