

Dynamische Stabilität von bindemittelstabilisierten Erdbauwerken

NBS S21 - Wendlingen - Ulm, PfA 1.4

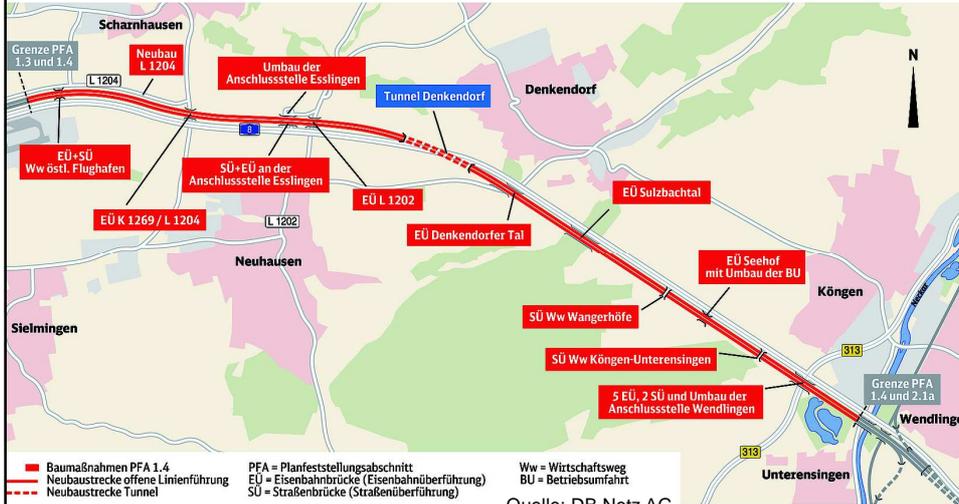
Dr.-Ing. Dirk Wegener (GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH)
Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart (OTH Regensburg)
Dipl.-Ing. Stephan Jung (DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH)
Dipl.-Ing. Christian Hotz (VINCI Construction Terrassement GmbH)

Gliederung

1. Projektübersicht
2. Notwendigkeit / Ziel der Nachweisführung
3. Wahl der Bemessungsquerschnitte
4. Labor- und Feldversuche
5. Scherdehnungsgrenzen γ_{tv}
6. Rechnerischer Nachweis
7. Messtechnische Untersuchungen
8. Zusammenfassung

1 Projektübersicht

Übersicht Pfa 1.4 Filderbereich bis Wendlingen, NBS S21 – Wendlingen - Ulm



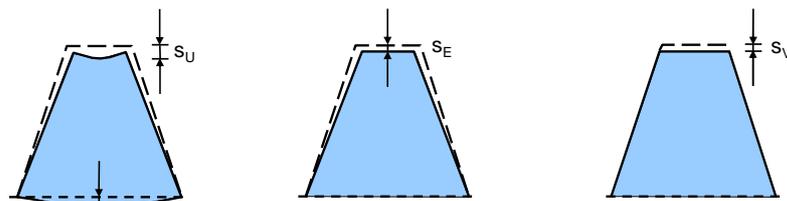
13. Tiefbaufachtagung des VDEI
 Dresden, 16./17. Februar 2022

3

Dynamische Stabilität von bindemittelstabilisierten
 Erdbauwerken, NBS S21 - Wendlingen - Ulm, PFA 1.4

2 Notwendigkeit / Ziel der Nachweisführung

Gesamtsetzungen eines Eisenbahndammes



Setzungen s_U des Untergrundes Setzungen s_E des Erdkörpers (Dammes) Setzungen s_V aus der Verkehrsbelastung

statische Gesamtsetzung $s_{ges} = s_U + s_E + s_V$

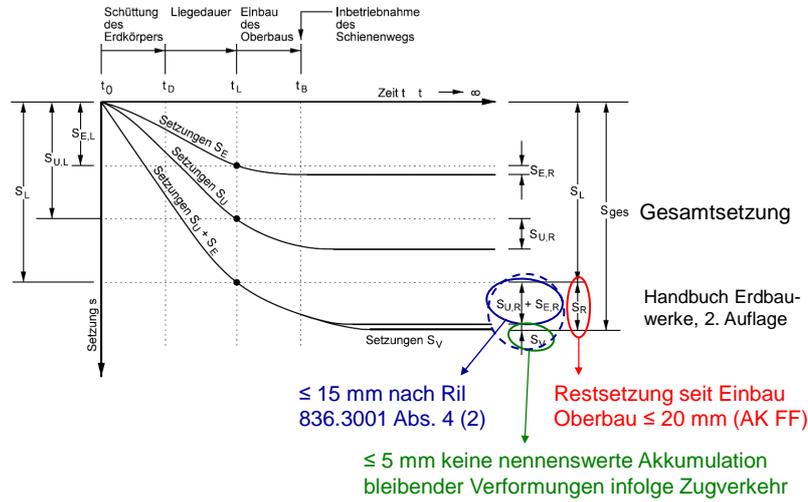
Handbuch Erdbauwerke, 2. Auflage

13. Tiefbaufachtagung des VDEI
 Dresden, 16./17. Februar 2022

4

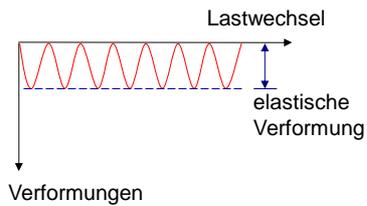
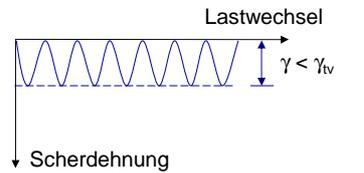
Dynamische Stabilität von bindemittelstabilisierten
 Erdbauwerken, NBS S21 - Wendlingen - Ulm, PFA 1.4

Zeitsetzungen eines Eisenbahndammes

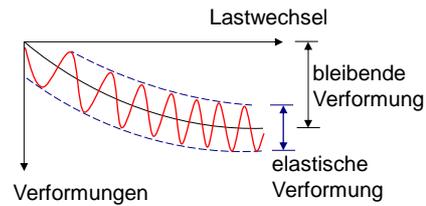
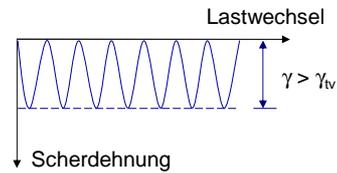


keine nennenswerte Akkumulation von Verformungen infolge dynamischer Belastung
 → Vergleich der einwirkenden mit zulässigen Scherdehnungen $\gamma \leq \gamma_{tv}$
 (Nachweis dynamische Stabilität)

Ausreichende dynamische Stabilität

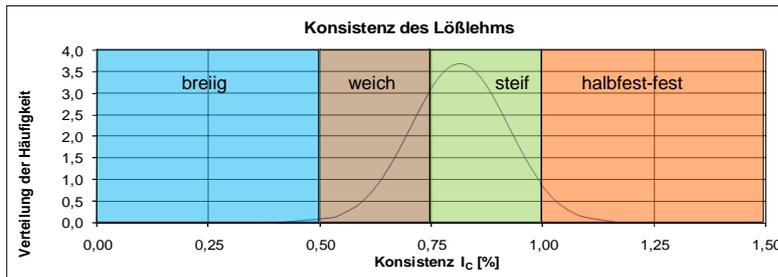


Keine ausreichende dynamische Stabilität



3 Wahl der Bemessungsquerschnitte

Nachweisführung exemplarisch für maßgebende Berechnungsquerschnitte im PFA 1.4
 maßgebend: nachgiebigere Bodenschichten mit geringer Überdeckung zur SO
 Berücksichtigung baulicher Maßnahmen innerhalb des abzusichernden Tragbereiches
 Statistische Auswertung der Klassifizierungsversuche relevanter Bodenschichten:
 Lößlehm, Umlagerungssediment, Arietenkalk, Turneriton → maßgebend: Lößlehm
 258 Bestimmungen der Fließ- und Ausrollgrenzen und w → Konsistenz des Lößlehms



→ Maßgebende Querschnitte: km 17,800 Dammbereich, 16,800 Einschnittsbereich

4 Labor- und Feldversuche

Notwendigkeit der versuchstechnischen Bestimmung bodendynamischer Kennwerte
 Ril 836.3001 Abs. 3 (4) und Ril 836.3001 Abs. 5 (1)

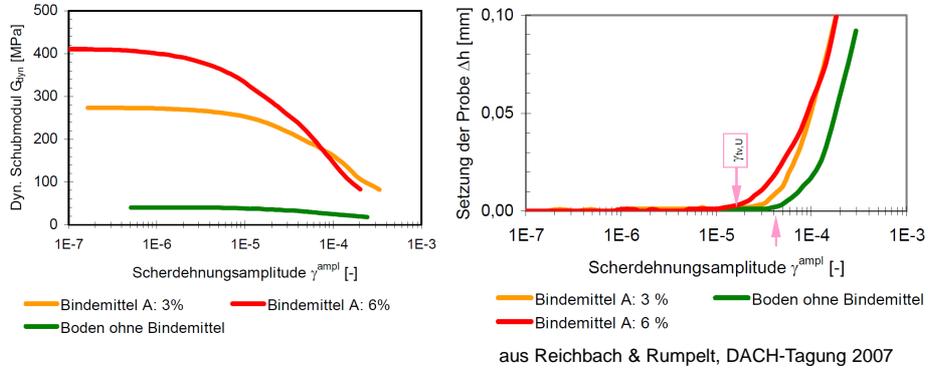
Nachweise der dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrunds (4) **Nachweise** der dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrunds sind für Strecken mit Fester Fahrbahn sowie für Strecken mit Schotteroberbau, die mit Geschwindigkeiten von mehr als 200 km/h befahren werden sollen, zu führen.

Nachweise der dynamischen Stabilität (1) Zur Führung von Nachweisen zur dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrundes nach Abs. 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.

Die Vorschläge zur Nachweisführung sind durch UiG der DB Netz AG und durch ZiE des EBA als **objektspezifische Bemessungsvorgaben** zu bestätigen bzw. zu modifizieren.

Die Nachweise sind durch zusätzliche **messtechnische Untersuchungen** und Bewertungen während der Betriebsphase zu bestätigen.

Können sich auch in qualifiziert verbesserten Böden Verformungen akkumulieren?



- qualifiziert verbesserte Böden haben eine deutlich höhere Steifigkeit,
- Verformungen akkumulieren sich jedoch bereits bei geringen Scherdehnungen
- wenige Erfahrungswerte in der Literatur, z. B. Vucetic nicht für verfestigte Böden

Labor- und Feldversuchsprogramm für beide Querschnitte (km 16,800; km 17,800)

- Probenahmen, Dichtebestimmung, einaxiale Druckfestigkeit
- Kernbohrungen, Crosshole-Messungen, Resonant-Column-Versuche



Probengewinnung für Resonant-Column-Versuche



Foto: VINCI

freigeschnittener Probekörper



Foto: VINCI

Transport in vorgefertigter Holzbox allseitig mit Wachs umgeben → kein Austrocknen



Foto: TU Berlin

Würfelfprobe 30 x 30 x 30 cm (mit Bindemittel verbesserter Lößlehm)



Foto: TU Berlin

ungestörte Bodenprobe aus Bohrlochstützen (unverb. Lößlehm)

Resonant-Column-Versuche



zu drimmende Bodenprobe



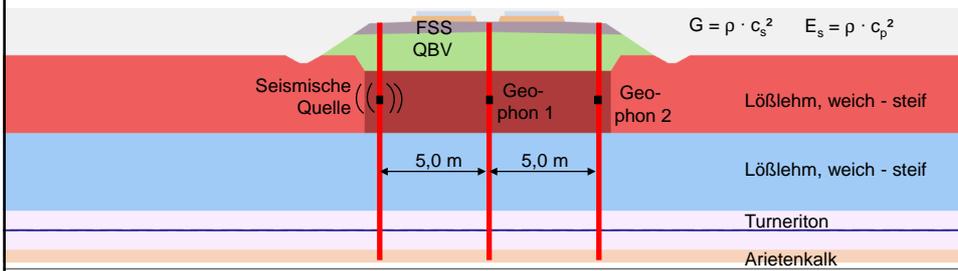
gedrilmte Bodenprobe



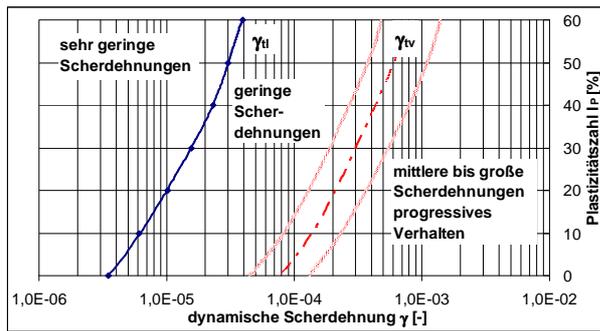
abgelängte Probe

alle Bilder: TU Berlin

Crosshole-Messungen



Festlegung der Scherdehnungsgrenzen

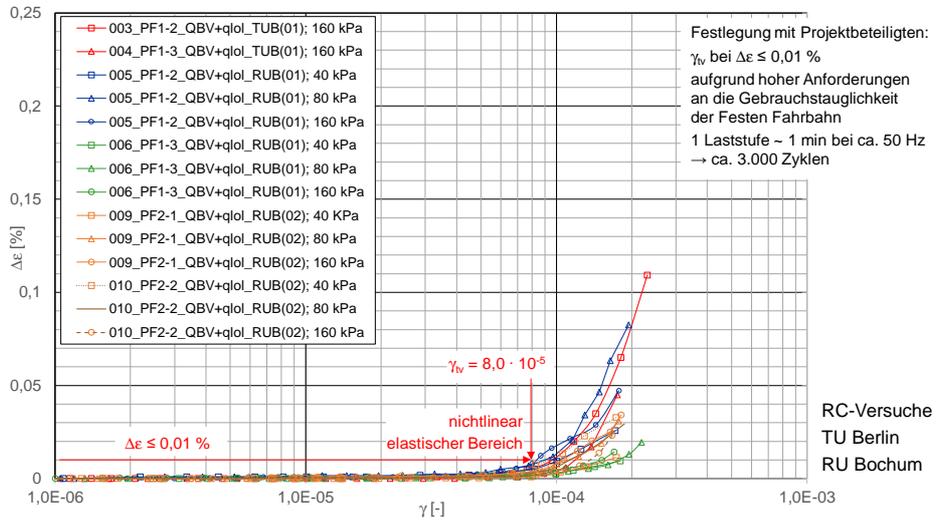


volumetrische Scherdehnungsgrenze γ_{tv} aus Vucetic (1994), Hsu & Vucetic (2004)

- Scherdehnungsgrenzen bestimmt auf Basis zyklischer Einfeldscher- und Triaxialversuche
- sehr geringe akkumulierte Dehnungen bis zu $\epsilon_{vc} \sim 0,02\%$ werden als vernachlässigbar bzw. Versuchsgenauigkeit betrachtet

5 Scherdehnungsgrenzen γ_{IV}

Festlegung der Scherdehnungsgrenzen auf Basis Ergebnisse der RC-Versuche



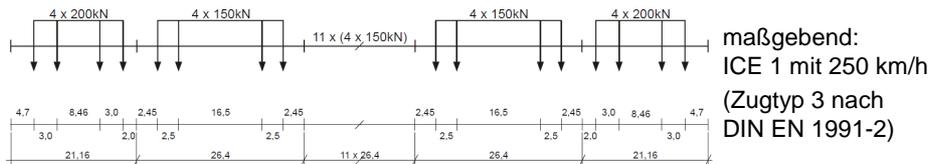
13. Tiefbaufachtagung des VDEI
Dresden, 16./17. Februar 2022

15

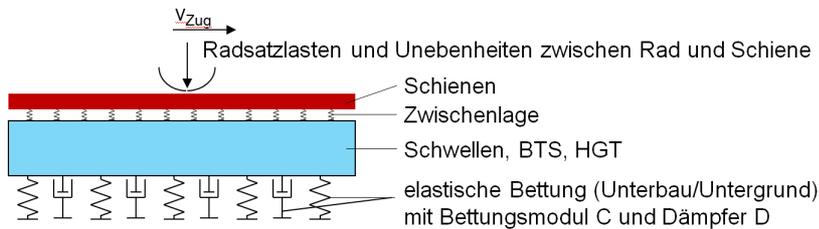
Dynamische Stabilität von bindemittelstabilisierten
Erdbauwerken, NBS S21 - Wendlingen - Ulm, PFA 1.4

6 Rechnerischer Nachweis

Festlegung der Einwirkungen



Gleisdynamische Berechnung nach Modell des dynamisch belasteten Fahrwegs (Fryba)



→ Ergebnis: zeitabhängige Spannung in der Ebene UK FF für FE-Berechnung

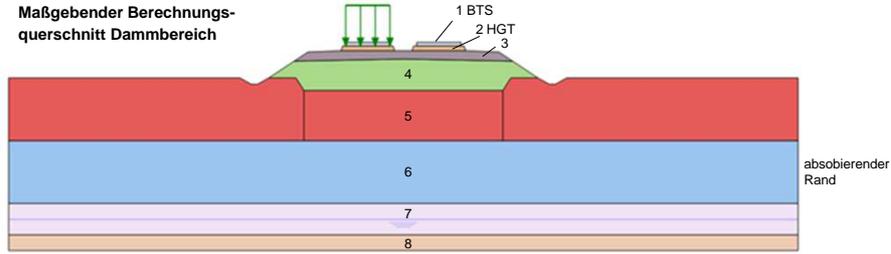
13. Tiefbaufachtagung des VDEI
Dresden, 16./17. Februar 2022

16

Dynamische Stabilität von bindemittelstabilisierten
Erdbauwerken, NBS S21 - Wendlingen - Ulm, PFA 1.4

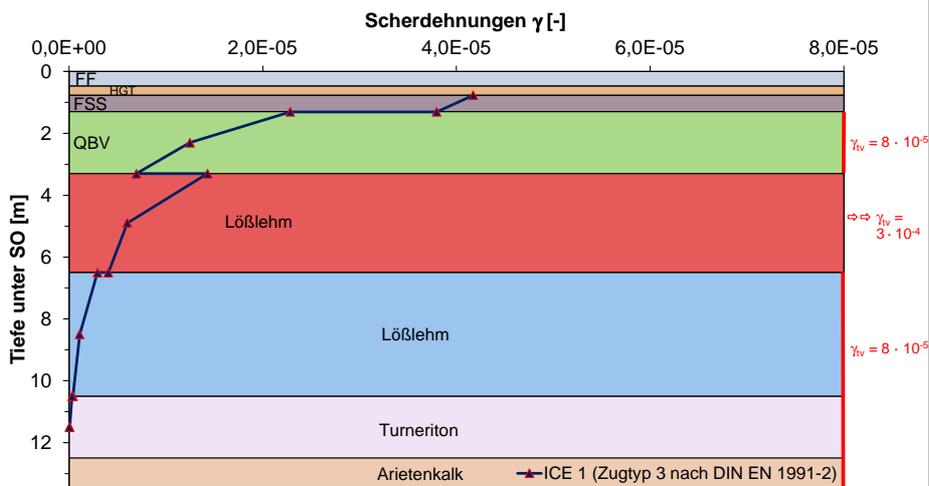
Berechnungsmodell, bodendynamische Kennwerte

Maßgebender Berechnungsquerschnitt Dammbereich

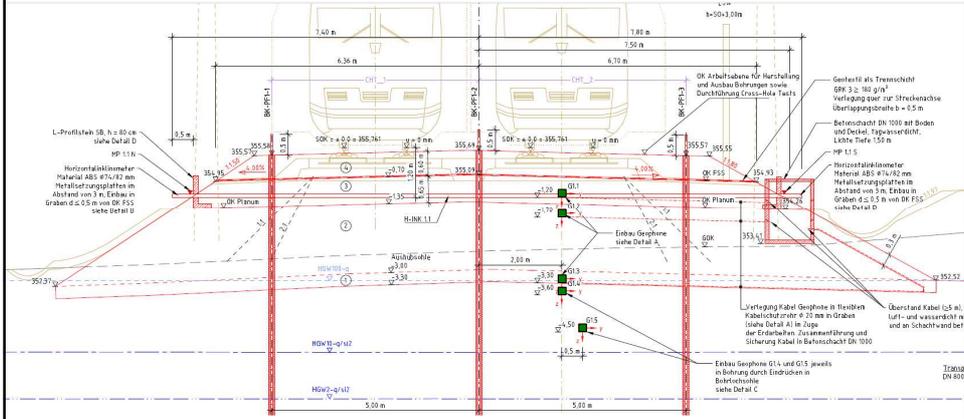


Nr.	Berechnungsquerschnitt	Dichte ρ [g/cm ³]	Scherw.-ges. c_{s0} [m/s]	Komp.-w.-ges. c_{p0} [m/s]	Querdehnzahl ν [-]	Schubmodul G_0 [MN/m ²]
3	Frostschuttschicht	2,20	230	430	0,30	116
4	QBV mit Lößlehm	1,94	360	675	0,30	251
5	Lößlehm, w. - st. ($\leq 6,5$ m)	2,00	170	490	0,43	58
6	Lößlehm, w. - st. ($> 6,5$ m)	2,00	235	1200	0,48	110
7	Turneriton w4/w5 (stark - vollst. verwittert)	2,00	310	1600	0,32	192
8	Arietenkalk w2/w4 (mäßig - stark verwittert)	2,10	435	845	0,43	397

Nachweis der dynamischen Stabilität



Schwingungsmessungen – während der Hochstastfahrten



bereits eingebaute Geophone in 5 Messebenen (FSS, QBV, Lößlehm)

Einbau der Geophone während der Erdbauarbeiten



Quelle: Fugro

Einbau der Geophone in Lößlehm und UK QBV



Quelle: VINCI

Einbau der Geophone im oberen Bereich der QBV



- NBS S21 - Wendlingen - Ulm Feste Fahrbahn mit $v_{\max} = 250 \text{ km/h}$
→ nach Ril 836 rechnerischer Nachweis der dynamischen Stabilität erforderlich
- Je ein maßgebender Querschnitt für Damm- und Einschnittsbereich im PFA 1.4
- Crosshole-Messungen und Resonant-Column-Versuche zur Bestimmung der bodendynamischen Eigenschaften und der Scherdehnungsgrenzen γ_{tv} für unverbesserten Lößlehm und verschiedene bindemittelverbesserte Böden
- Rechnerischer Nachweis konnte auf Basis der bodendynamischen Kennwerte mittels gleis- und bodendynamischen Berechnungen geführt werden
- Messtechnische Untersuchungen Schwingungs- und Inklinometermessungen während der Hochtastfahrten zur Bestätigung der Nachweise
- Erkenntnisgewinn für künftige Projekte mit Fester Fahrbahn:
ggf. nur Bewertung, kein rechnerischer Nachweis der dynamischen Stabilität bei Einhaltung von festzulegenden Regelanforderungen ausreichend

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!

Foto: DB Netz AG