

Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

C. Hering (DB Netz AG, Dresden)

D. Wegener (GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden)

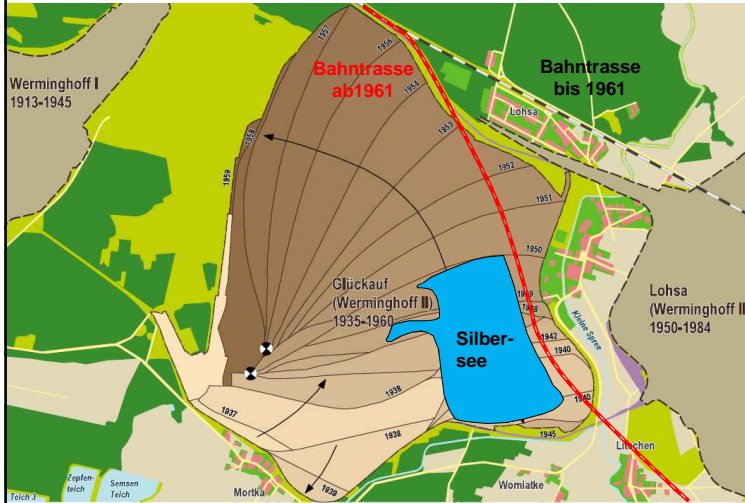
Inhalt

- 1 Historie, Überblick über Bauvorhaben
- 2 Ostböschung Silbersee
(Tiefenverdichtung, Schadensfälle, messtechnische und rechnerische Untersuchungen)
- 3 Innenkippe Lohsa
(Tiefenverdichtung, Verdichtungsnachweise, Oberflächenverdichtung)
- 4 Bergrecht vs. Eisenbahnrecht
- 5 Nachweise nach der ELTB
(exemplarisch Gebrauchstauglichkeitsberechnungen und PWD-Entwicklung Innenkippe)
- 6 Messtechnische Überwachung
- 7 Zusammenfassung

1 Historie, Überblick über Bauvorhaben



Tagebau Werminghoff II / „Glückauf“ (1935 - 1960)



Landinanspruchnahme:
745 ha

Rohkohleförderung:
53 Mio. t

Abraumbewegung:
153,9 Mio. t

- Abbauschneite
- Abbaufäche
- Drehpunkt
- Waldfläche
- Sukzessionsfläche
- Grünfläche
- Landwirtschaftsfläche
- Verkehrsfläche
- Wasserfläche
- Siedlungsfläche
- Gewerbefläche
- Eisenbahnfläche

Quelle: LMBV

11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

3

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippens-
stabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

1 Historie, Überblick über Bauvorhaben



Foto: DB Netz AG

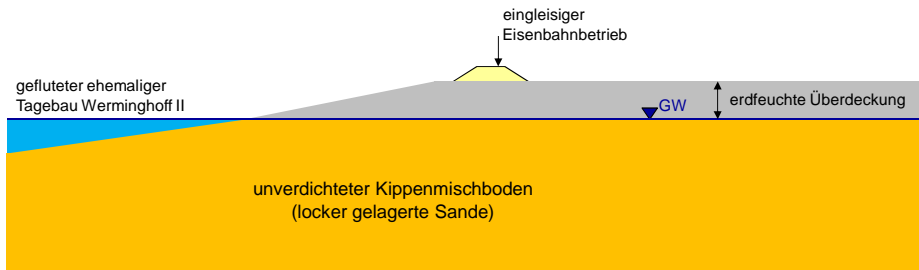
11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

4

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippens-
stabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee

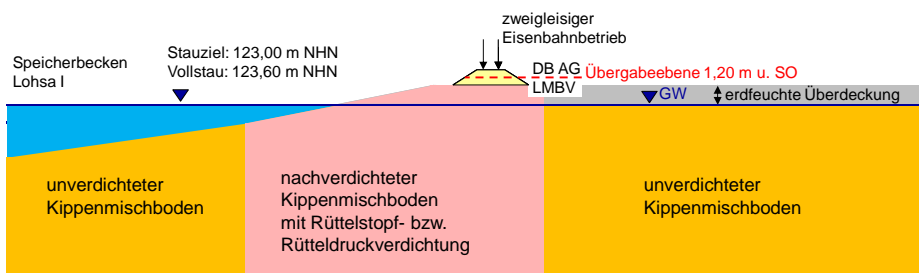
Situation vor Sanierung



- ▶ ab 1950er Jahre: Flutung des ehemaligen Tagebaus Werminghoff II
- ▶ keine Sanierungsmaßnahmen nach Einstellung des Tagebaubetriebes
→ Verbleib von weitgehend ungesicherten Kippenbereichen
- ▶ locker gelagerte, enggestufte Sande, hohe Wassersättigung
→ bei entsprechendem Initialeintrag → Verflüssigung
- ▶ zur Gewährleistung eines sicheren Eisenbahnbetriebes:
→ Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h und geotechnische Überwachung

2 Ostböschung Silbersee

geplanter Endzustand



- ▶ Höherer prognostizierter Grundwasserendstand, zweigleisiger Eisenbahnbetrieb
- ▶ Dauerhafte Gewährleistung eines sicheren Eisenbahnbetriebes
→ Beseitigung der Setzungsfließgefahr ist zwingend notwendig
- ▶ Herstellung eines versteckten Damms auf einer Gesamtbreite von 65 m durch Rüttelstopfverdichtung (50 m) und Rütteldruckverdichtung im Uferbereich (15 m)
→ Notwendigkeit von geotechnischen Untersuchungen, um für den Endzustand kritische Zustände infolge dynamischer Anregung durch Zugverkehr auszuschließen

2 Ostböschung Silbersee



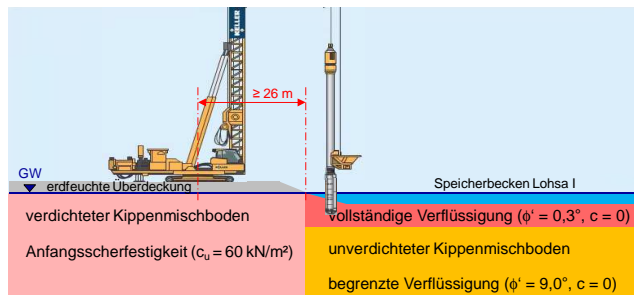
Foto: Keller Grundbau GmbH, www.kellergrundbau.de



mittlere Verdichtung infolge Geländeabsenkung:
 $\Delta h / h = 1,2 \text{ m} / 32 \text{ m} = 3,6 \% \approx 0,058 \text{ g/cm}^3$
 mittlere Dichtezunahme insgesamt:
 $0,122 \text{ g/cm}^3 + 0,058 \text{ g/cm}^3 = 0,18 \text{ g/cm}^3$

2 Ostböschung Silbersee

- ▶ Verflüssigungsempfindliche Kippenböden sind aufgrund der Einbringung starker Initiale bei Ausführung der Verdichtungsmaßnahmen akut rutschungsgefährdet.
- ▶ Sicherheitsmaßnahmen:
 - Abgrenzung des Vorfeld der Trägergeräte gegen Betreten und Befahren
 - Sperrung der gewachsenen Böschungen am Südufer des Silbersees sowie die Wasserfläche des Silbersees während der Tiefenverdichtungsarbeiten
- ▶ Geotechnische Nachweise in Genehmigungsplanung, dass das Trägergerät mit langem Ausleger auf bereits verdichteten Damm ausreichend standsicher ist.



geotechnische Überwachung

- permanente Kontrolle Zugabemengen und Geländeoberfläche,
- PWD-Messungen

2 Ostböschung Silbersee



- ▶ Geotechnische und technologische Vorgaben zur Reduzierung des Schadenrisikos
 - Dammerstellung in 3 Phasen: (1) 39 m RSV, (2) 11 m RSV, (3) 15 m RDV
 - Winkelfahrweise (versetzte Anordnung der Rüttelstopfsäulen)
 - Tiefenabhängige Pausen von 20 – 40 min nach Säulenherstellung
 - Porenwasserdruckgesteuerte Verdichtung mittels Ampelschaltung

11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

9

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee

- ▶ keine Gefahr für Leib + Leben und für Standsicherheit der bereits verdichteten Kippe
- ▶ Vor Weiterführung der Verdichtungsarbeiten:
 - Bewertung der Schadensereignisse vom SfG des Oberbergamtes,
 - Überarbeitung und Ergänzung der Ausführungsplanung
- ▶ technologische Änderungen und Anpassungen bei der Ausführung der Tiefenverdichtungsarbeiten, insbesondere im Bereich der Rutschungskessel
 - Verfüllung Rutschungsbereiche mittels stabilisierender Vorschüttung (Kiessand)
 - Herstellung zusätzlicher RDV/RSV-Säulen (verdichtetes Raster)



11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

10

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee



Foto: LMBV

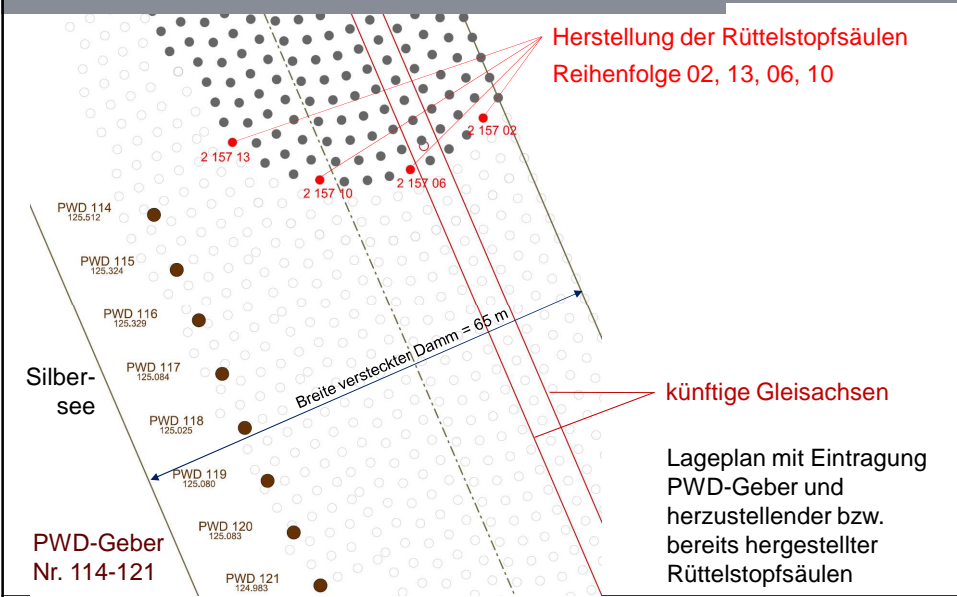
➤ Auswirkungen für den Endzustand mit Eisenbahnverkehr?
 → baubegleitendes Untersuchungsprogramm mit Labor- und Feldversuchen

11. Tiefbaufachtagung des VDEI
 8. – 9. Februar 2017

11

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee

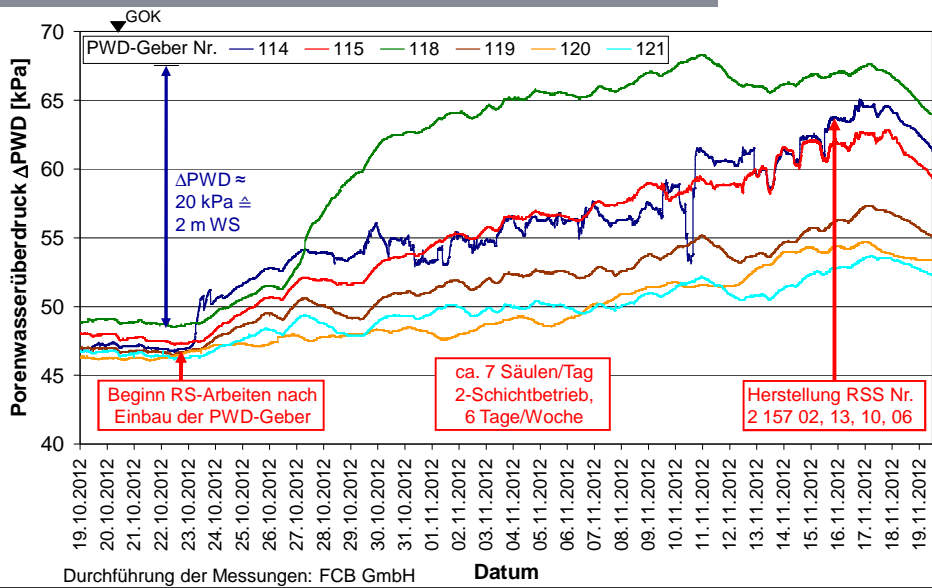


11. Tiefbaufachtagung des VDEI
 8. – 9. Februar 2017

12

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee



11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

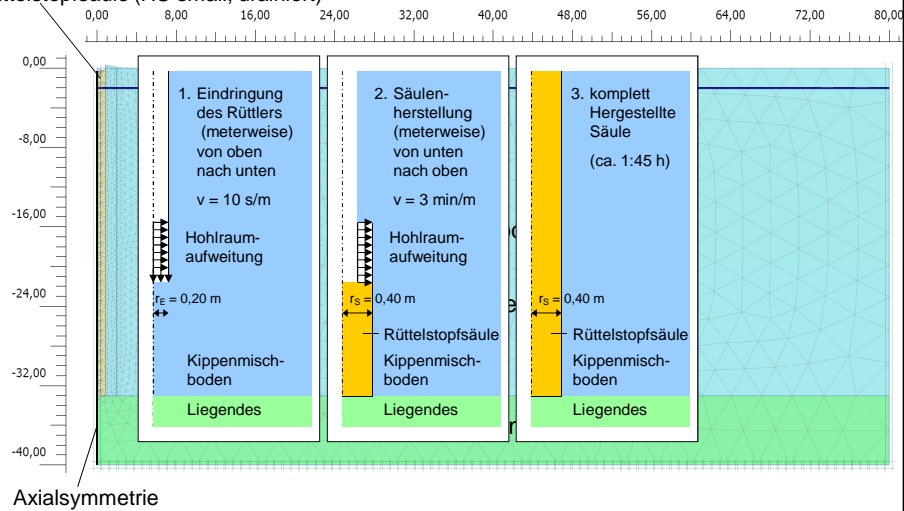
13

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippens-
stabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee

FE-Modell zur Simulation der Säulenherstellung

Rüttelstopfsäule (HS small, drainiert)

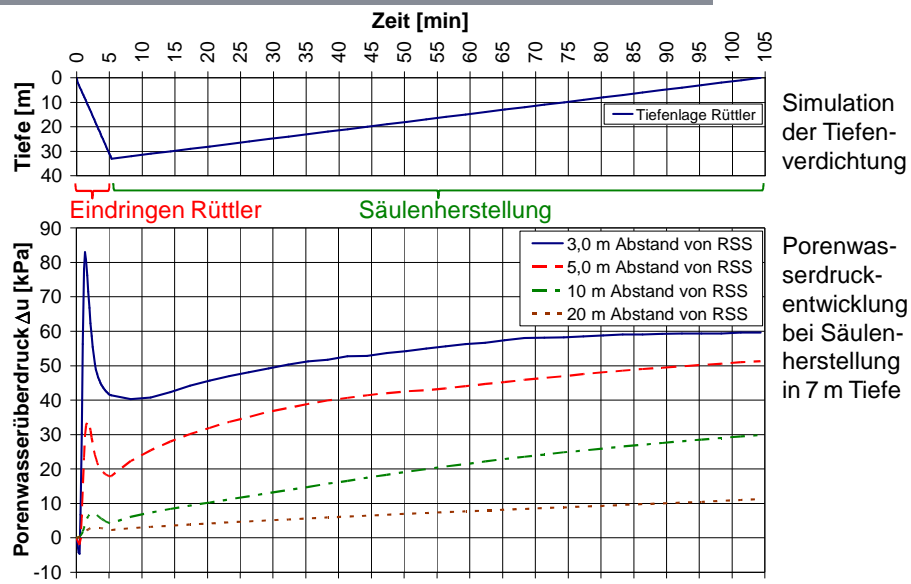


11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

14

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippens-
stabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee

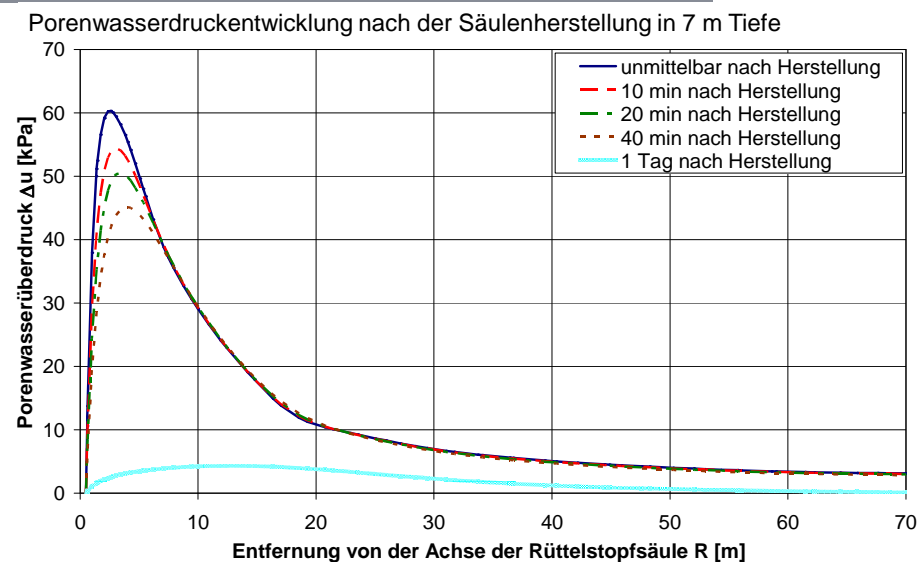


11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

15

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

2 Ostböschung Silbersee



11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. – 9. Februar 2017

16

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

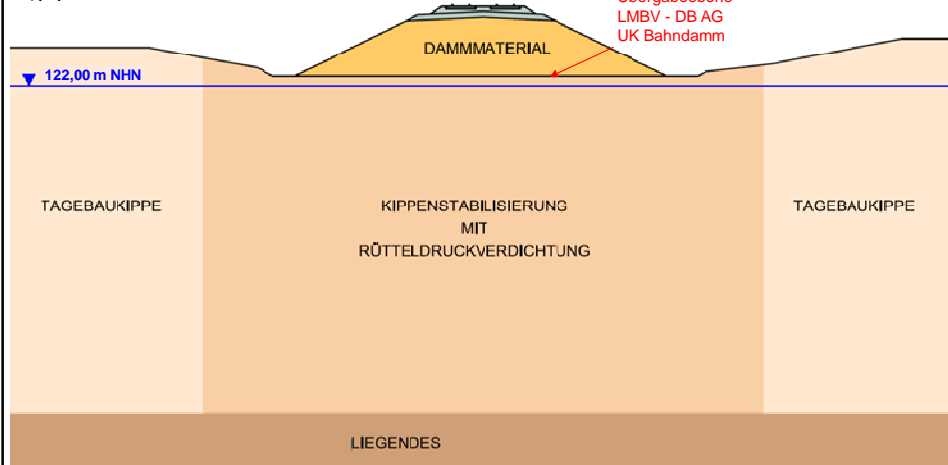
2 Ostböschung Silbersee

Ergebnisse der baubegleitenden messtechnischen und rechnerischen Untersuchungen

- Aufgrund der geotechnischen Besonderheiten des Kippenmischbodens sowie der eingetretenen Schadensereignisse während der Verdichtungsarbeiten waren eine Messtechnische Begleitung und verifizierte numerische Berechnungen notwendig.
- Ergebnisse von Messungen und numerischen Berechnungen zeigen einen deutlichen Anstieg des Porenwasserdruckes infolge der Rüttelstopfverdichtung.
- Im Nahbereich der Säule (≤ 3 m) tritt während des Eindringvorgangs und der Säulenherstellung ein (gewollter) verflüssigungsähnlicher Zustand ein, wodurch sich der Boden umlagern und eine entsprechend höhere Dichte einnehmen kann.
- Durch die Herstellung mehrerer Säulen am Tag kommt es zu einer Akkumulation des PWD auch im Abstand von ca. 20 - 60 m von der herzustellenden Säule.
- Eine versetzte Anordnung der Säulen und eine 20 - 40 minütige Unterbrechung der Verdichtungsarbeiten wirken sich reduzierend auf die PWD-Akkumulation aus.
- Anhand der Mess- und Berechnungsergebnisse kann ein verifiziertes numerisches Berechnungsmodell für den Endzustand mit Zugverkehr aufgestellt sowie geotechnische Nachweise und Verformungsprognosen geführt werden.
- Kritische Zustände (PWD-Akkumulation und Abnahme der effektiven Spannungen und Scherfestigkeit) sind für den Endzustand mit Sicherheit auszuschließen.

3 Innenkippe Lohsa

geplanter Endzustand



- Herstellung eines versteckten Damms auf einer Breite von 50 m mittels Rüttelstopfverdichtung bis zum Kippenliegenden

3 Innenkippe Lohsa



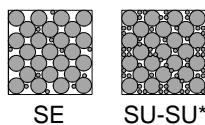
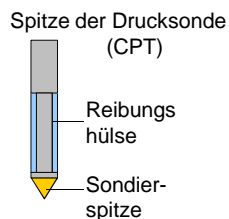
Foto: DB Netz AG

mittlere Verdichtung infolge Geländeabsenkung = Gesamtverdichtung Innenkippe Lohsa:
 $\Delta h / h = 2,6 \text{ m} / 30 \text{ m} = 8,7 \% \Rightarrow \Delta \rho_d = 0,134 \text{ g/cm}^3$

3 Innenkippe Lohsa

Nachweis des Verdichtungserfolges

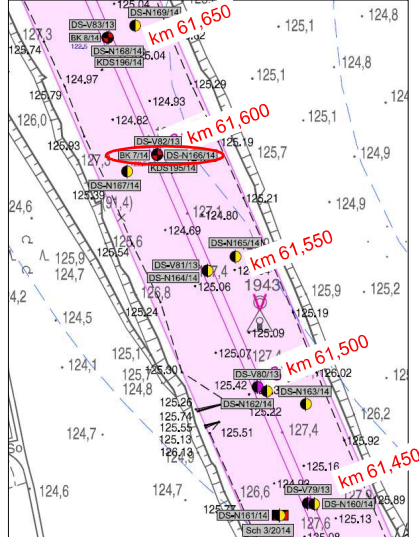
- ▶ Nachweis einer ordnungsgemäßen Ausführung der Verdichtungsarbeiten durch statistische Auswertung der Leistungsparameter der Rütteldruckverdichtung
- ▶ Nachweis der Verdichtung über gesamte Tiefe indirekt über Drucksondierung und Korrelation Sondierwiderstand q_s - Lagerungsdichte D / Porenanteil n ca. ½ - 1 Jahr nach Verdichtungsarbeiten (Konsolidierung Abbau PWD-Druck)



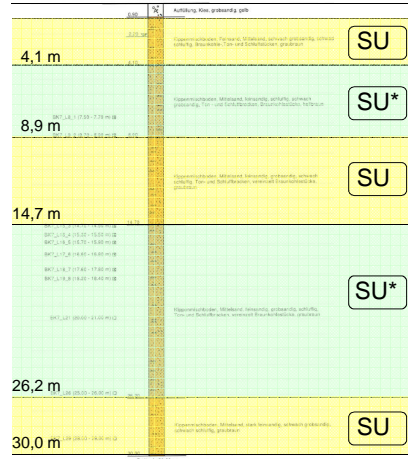
- ▶ Auswertung vom SfG unter Verwendung von Korrelationen von anderen Kippenböden in der Lausitz an enggestuften Sanden (SE)
- ▶ in der Regel ausreichende Verdichtung, jedoch Vorhandensein von oberflächennahen (2 – 4 m) und tieferliegenden (10 – 16 m) Schwachstellen (kein ausreichender Sondierwiderstand)
- bei gleichem Sondierwiderstand q_s für SU-SU* höhere Dichte ρ und geringerer Porenanteil n
- Korrelation für Kippenmischböden (SU-SU*) oder Nachweis mittels direkten Dichtebestimmungen

3 Innenkippe Lohsa

Lageplan mit Ansatzpunkten der Kontrolluntersuchungen



Linierkernbohrung 7 (BK7) BK 7/14 bei km 61,600

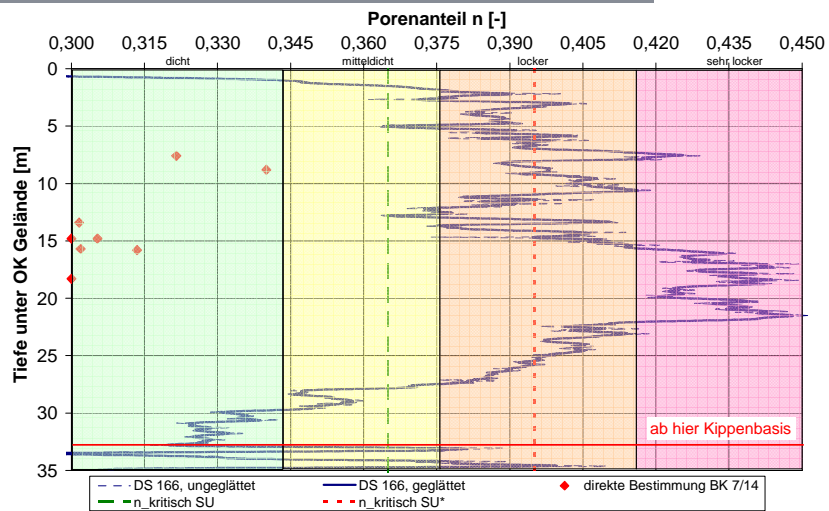


11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. - 9. Februar 2017

21

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

3 Innenkippe Lohsa



Tieferliegende Schwachstellen konnten durch Nacherkundungen mittels Kernbohrungen und direkten Dichtebestimmungen ausgeräumt werden

11. Tiefbaufachtagung des VDEI
8. - 9. Februar 2017

22

Hering, Wegener: Geotechnische Herausforderungen bei der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke im Bereich des Bf Lohsa

3 Innenkippe Lohsa

Oberflächenverdichtung mit dem HEIC-Verfahren der Fa. Landpac



Tiefenwirkung bis 4,0 m, Setzungen bis zu ca. 10 cm infolge Verdichtungsarbeit

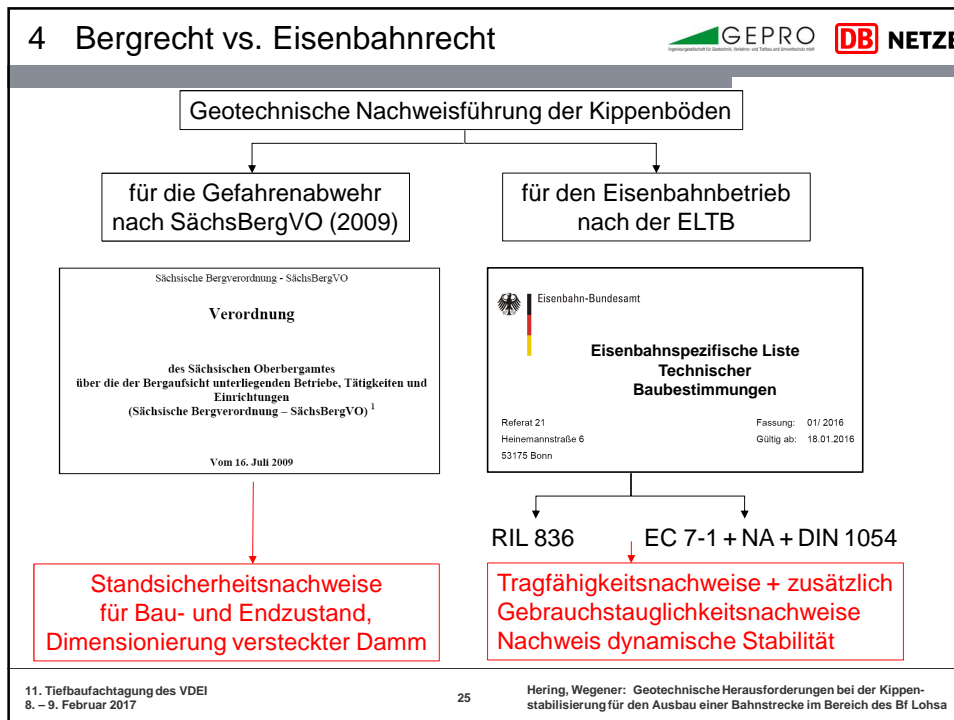
4 Bergrecht vs. Eisenbahnrecht

- Betrieb der Bestandsstrecke und deren Änderung/Ausbau fällt unter Eisenbahnrecht (AEG)
- Bei Durchführung der Kippenstabilisierung der Halde handelt es sich um bergtechnische Arbeiten. Die Anzeige zur Durchführung von bergtechnischen Arbeiten zur Abwehr von Gefahren aus Hohlräumen, Halden und Restlöchern nach SächsHohlVO hat beim Sächsischen Oberbergamt zu erfolgen.
- Das EBA ist gehalten, die notwendigen behördlichen Entscheidungen der durch die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden abzuwarten.
- Daraus ergibt sich für den Betrieb der Eisenbahnstrecke:
 - Aufsichtspflicht des Sächsischen Oberbergamtes bis zum Abschluss von bergtechnischen Arbeiten zur Herstellung der öffentlichen Sicherheit
 - Anzeigepflicht von Arbeiten und Nutzungsänderungen durch die DB Netz AG

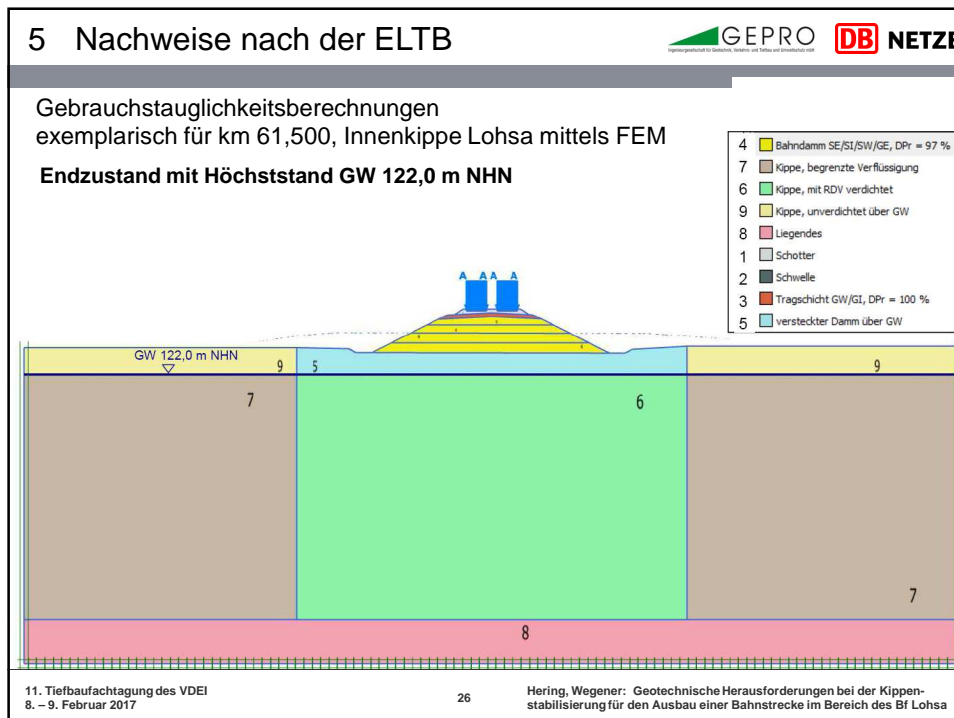


→ Mit Freigabe der Bahntrasse unter Beachtung der Nutzungsanforderungen (v = 160 km/h, Streckenklasse D4) Übergang in das Eisenbahnrecht

4 Bergrecht vs. Eisenbahnrecht

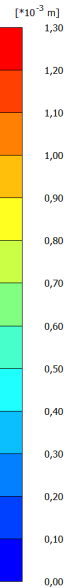
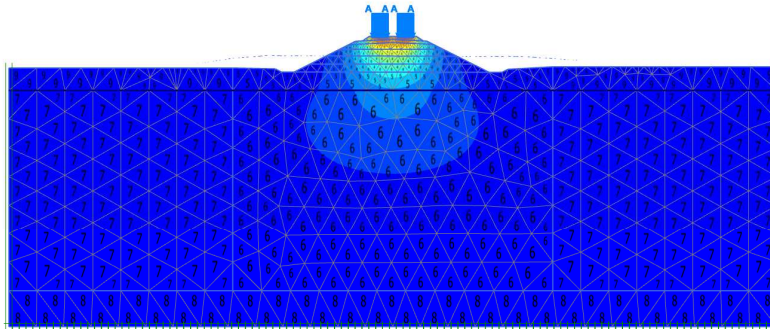


5 Nachweise nach der ELTB



5 Nachweise nach der ELTB

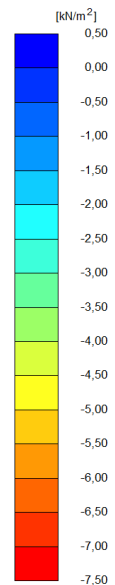
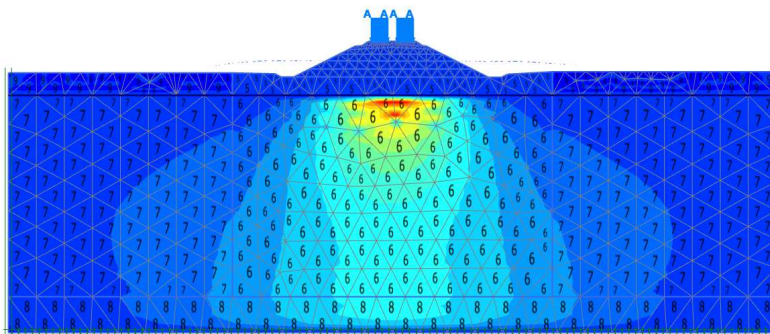
Gebrauchstauglichkeitsberechnungen
 exemplarisch für km 61,500, Innenkippe Lohsa mittels FEM
Gesamtverformungen infolge Zugüberfahrt mit Güterzug mit 8 t/m



Total displacements |u|
 Maximum value = $1,207 \cdot 10^{-3}$ m (Element 739 at Node 2504)

5 Nachweise nach der ELTB

Gebrauchstauglichkeitsberechnungen
 exemplarisch für km 61,500, Innenkippe Lohsa mittels FEM
Porenwasserüberdruck infolge Güterzugüberfahrt mit 8 t/m und $l = 270$ m

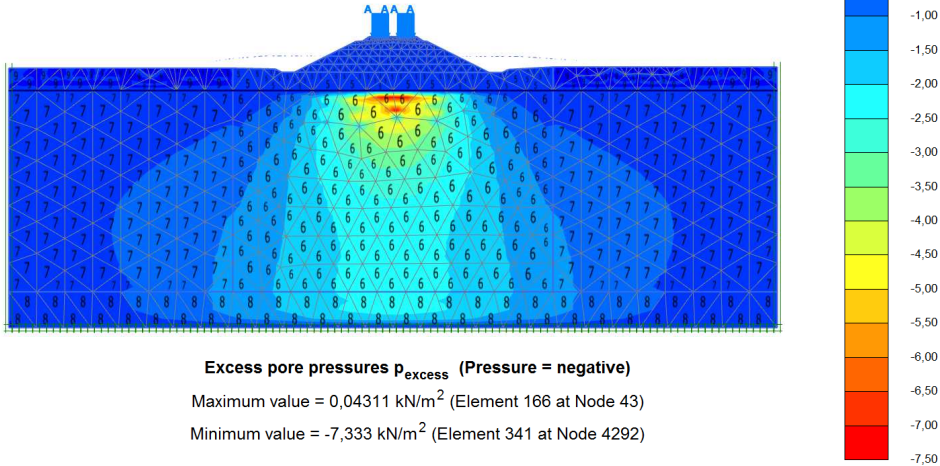


Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)
 Maximum value = $0,04389$ kN/m² (Element 166 at Node 43)
 Minimum value = $-7,458$ kN/m² (Element 341 at Node 4292)

5 Nachweise nach der ELTB

Gebrauchstauglichkeitsberechnungen
exemplarisch für km 61,500, Innenkippe Lohsa mittels FEM

Porenwasserüberdruck infolge nachfolgender Güterzugüberfahrt



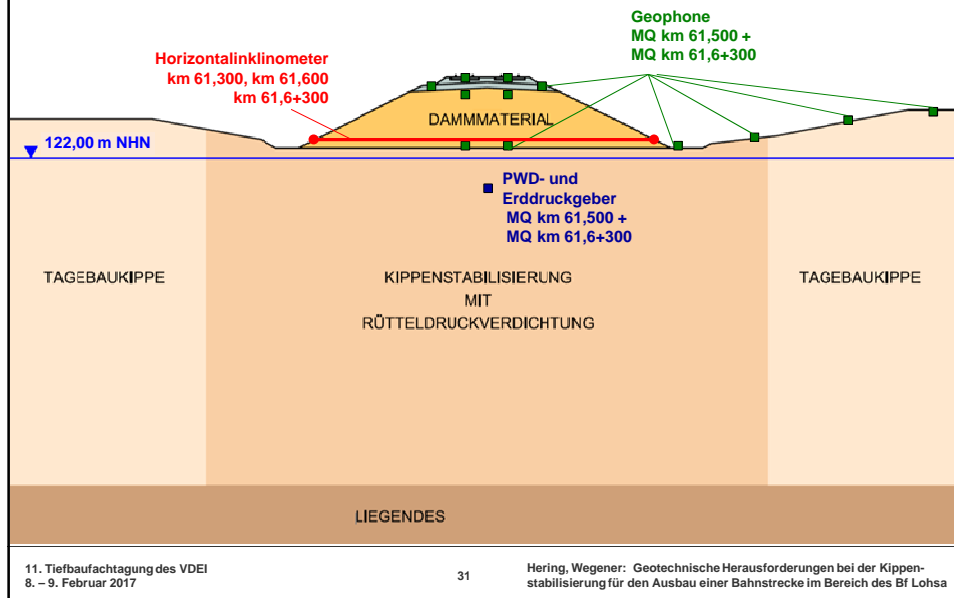
5 Nachweise nach der ELTB

Ergebnisse der Gebrauchstauglichkeitsberechnungen und PWD-Entwicklung

- Die zu erwartenden Verformungen (je ca. 1,0 mm Ostböschung Silbersee bzw. je ca. 1,2 mm Innenkippe Lohsa) infolge der Güterzugüberfahrten liegen in einer für den Schotteroberbau üblichen Größenordnung.
- Die nach Einbau des Oberbaus zu erwartenden Setzungen (je ca. 2,0 mm Ostböschung Silbersee bzw. je ca. 4,0 mm Innenkippe Lohsa) sind gering.
- Der Porenwasserüberdruck infolge Güterzugüberfahrten beträgt im verdichteten Kippenmischboden unterhalb des GW-Spiegels an der Ostböschung Silbersee $\Delta U \approx 3,4 \text{ kPa} = 0,34 \text{ m WS}$ bzw. in der Innenkippe Lohsa $\Delta U \approx 7 \text{ kPa} = 0,7 \text{ m WS}$
- Infolge sich wiederholender Güterzugüberfahrten ist keine Akkumulation des Porenwasserüberdruckes zu erwarten.
- Es konnte eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit des Eisenbahnfahrweges an der Ostböschung Silbersee und in der Innenkippe Lohsa prognostiziert werden.
- Messtechnische Kontrollen zur Bestätigung der rechnerisch geführten Nachweise werden während der Herstellung und für die ersten 2 Jahre der Nutzung zur Erfüllung der Auflagen der UiG und der Hinweise des EBA Ast Dresden


6 Messtechnische Überwachung

Innenkippe Lohsa, einzubauende Messtechnik



7 Zusammenfassung

- Zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und dauerhaften Gewährleistung eines sicheren Eisenbahnbetriebes über einer Tagebaukippe war die Herstellung eines versteckten Dammes mittels Rütteldruck- und Rüttelstopfverdichtung erforderlich.
- Kritische Zustände (PWD-Akkumulation und Abnahme der effektiven Spannungen und Scherfestigkeit) sind für den Endzustand mit Sicherheit auszuschließen.
- Setzungsfließereignisse des unverdichteten Kippenmischbodens konnten bei den Tiefenverdichtungsarbeiten nicht verhindert werden.
- Ergebnisse von Messungen und numerischen Berechnungen zeigen einen deutlichen Anstieg des Porenwasserdruckes infolge der Rüttelstopfverdichtung.
- Entsprechende geotechnische Nachweise aus bergrechtlicher und eisenbahntechnischer Sicht konnten erfolgreich erbracht werden.
- **Bauen auf Kippengelände erfordert einen hohen planerischen, baulichen und organisatorischen Aufwand!**



Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!