

Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung

Dirk Wegener

GEPRO Ingenieurgesellschaft Dresden

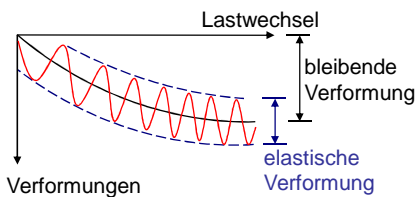
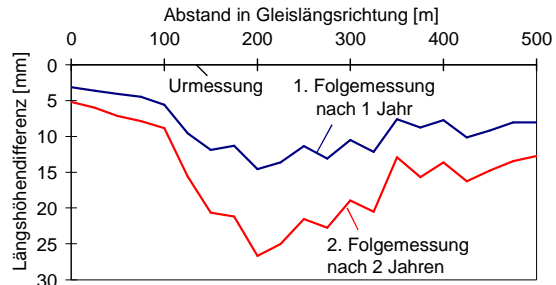
Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle Professur für Bodenmechanik und Grundbau, TU Dresden

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung, Phänomene
2. Bodenverhalten
3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens
4. Anwendungsbeispiel Eisenbahndamm
 - 4.1 Schwingungsmessungen unter Zugverkehr
 - 4.2 Ermittlung der bodendynamischen Kennwerte
 - 4.3 Numerische Modellierung
 - 4.4 Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse
5. Zusammenfassung

1. Problemstellung, Phänomene

Zunahme bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung



- Keine gleichmäßige Zunahme der Verformungen
- Verschlechterung der Gleislage
- höherer Instandhaltungsaufwand und ggfs. Einschränkung der Nutzbarkeit

1. Problemstellung, Phänomene

Hoher Grundwasserstand oder mangelhafte Gleisentwässerung (Planumsgefälle, Schutzschicht)

↓
Akkumulation Porenwasserdruck infolge dynamischer Belastung

↓
Abnahme der effektiven Spannungen $\sigma = \sigma' + u$

↓
Abnahme der Steifigkeit und Scherfestigkeit
 $\tau = \sigma' \cdot \tan \phi' + c$

↓
Zunahme an plastischen Verformungen, Tragfähigkeitsschäden

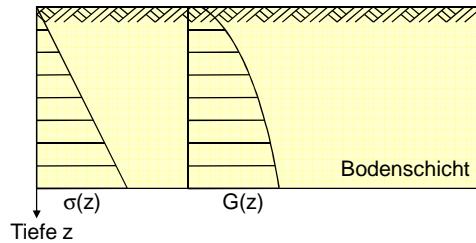


Bildquelle: Prof. Lieberenz

→ Instabilitäten in Kontaktzone Bettung/Unterbau, Pumpeffekte, Ausbildung von Schlammstellen, → **Progressiver Prozess!**

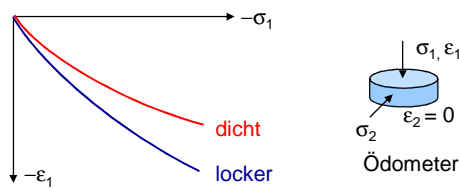
2. Bodenverhalten

Abhängigkeit der Bodensteifigkeit von der Spannung σ



→ Zunahme der Steifigkeit mit der Spannung σ

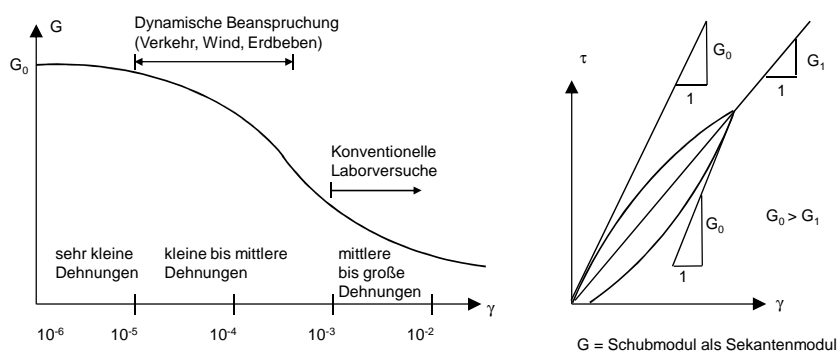
Abhängigkeit der Bodensteifigkeit von der Dichte



→ Zunahme der Steifigkeit mit der Dichte

2. Bodenverhalten

Abhängigkeit der Bodensteifigkeit von der Scherdehnung



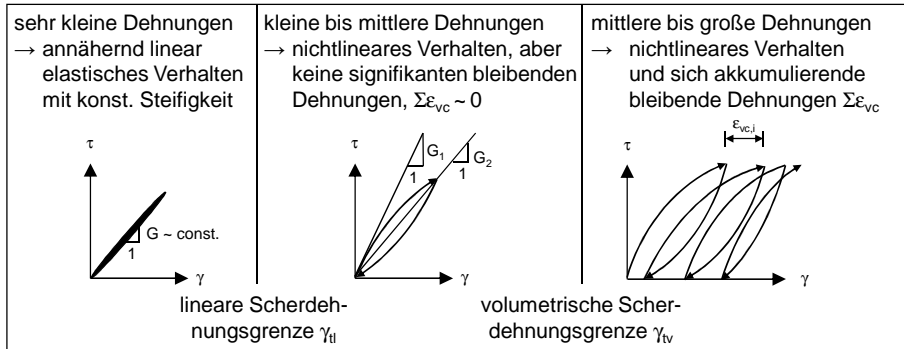
→ Steifigkeit bei kleinen Dehnungen \gg Steifigkeit bei großen Dehnungen

→ Abnahme der Steifigkeit mit zunehmender Scherdehnung

→ deutliche Zunahme der Steifigkeit nach Belastungsumkehr

2. Bodenverhalten

Typisches Bodenverhalten in den 3 Bereichen infolge zyklischer Schwellbelastung



Scherdehnungsgrenzen nach Jamiolkowski et. al. (1991) und Vucetic (1994)

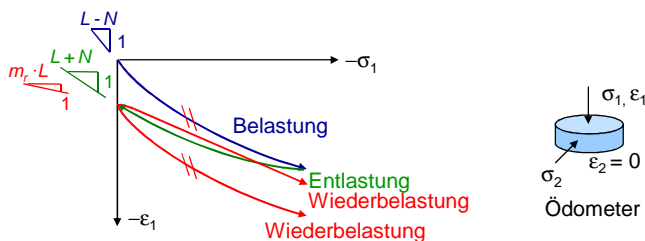
→ Numerische Erfassung des Bodenverhaltens ?

3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens

Hypoplastischen Stoffgesetz, Version nach von Wolffersdorff (1997)

Inkrementell nichtlineares Bodenmodell

→ abhängig von Spannung, Dichte und der Belastungsrichtung



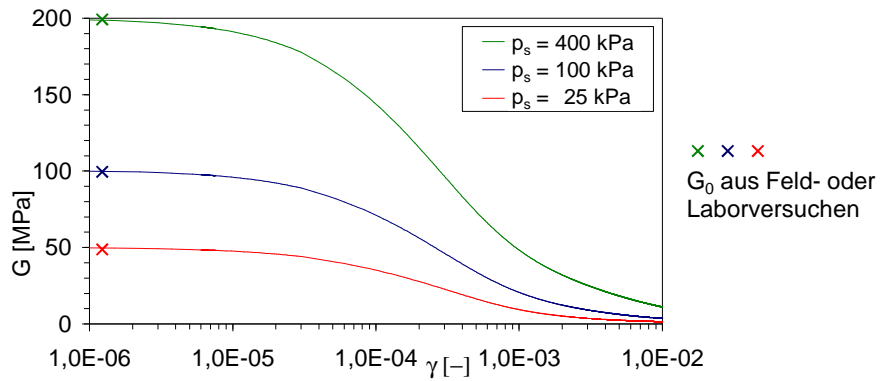
Intergranulare Dehnung δ nach Niemunis & Herle (1997)

δ beschreibt den Abstand der Dehnung nach der Belastungsumkehr

→ Hohe Steifigkeit bei sehr kleinen Dehnungen wird durch Faktor m_R erfasst

3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens

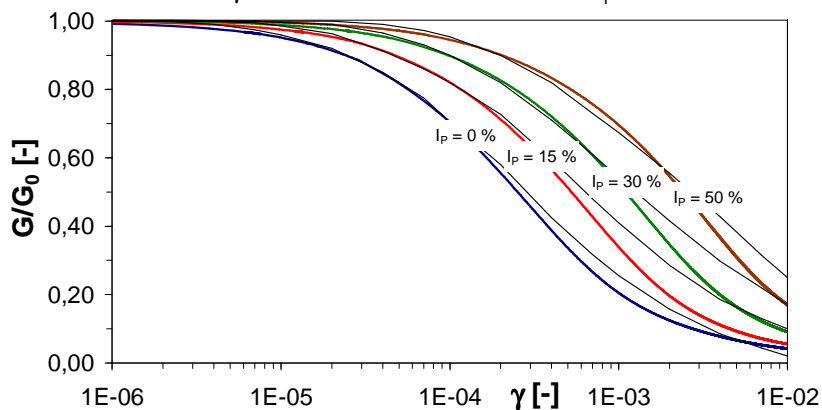
Abhängigkeit der Steifigkeit G von der mittleren Spannung p_s



- Geeignete Wahl der hypoplastischen Parameter h_{s0} , n_0 und m_R zur realistischen Erfassung der Steifigkeit bei kleinen Dehnungen
- Artikel Wegener & Herle Geotechnik 4/2012, S. 229 - 235

3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens

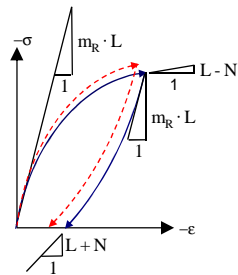
Abnahme von G mit γ für Böden mit unterschiedlichem I_p nach Vucetic & Dobry (1991)



- | | | |
|---------------------------|--|---|
| Hypoplastische Berechnung | <ul style="list-style-type: none"> — $R = 5 \cdot 10^{-5}, \beta_r = 0,30, \chi = 1,0$ — $R = 1 \cdot 10^{-4}, \beta_r = 0,30, \chi = 1,0$ — $R = 2 \cdot 10^{-4}, \beta_r = 0,30, \chi = 1,0$ — $R = 4 \cdot 10^{-4}, \beta_r = 0,30, \chi = 1,0$ | } Wiedergabe der Abnahme von G mit γ durch geeignete Wahl der Parameter der intergranularen Dehnung R, β_r, χ |
| | | |

3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens

Bodenverhalten infolge zyklischer Belastung

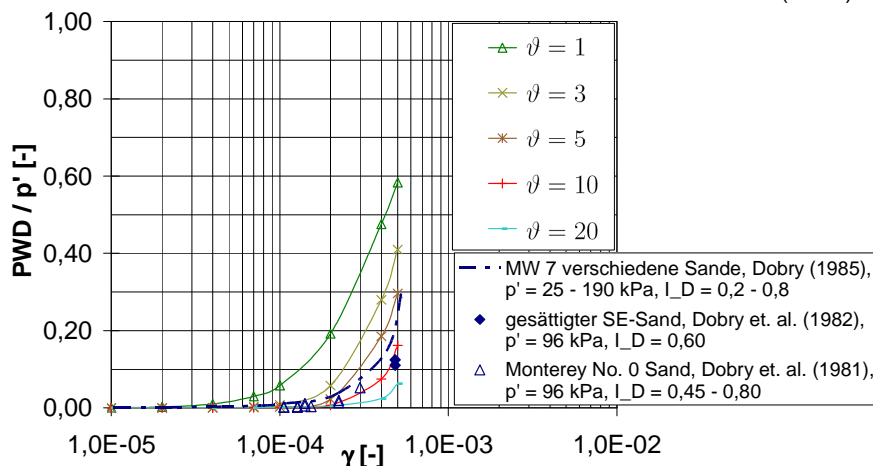


- Modifizierung des hypoplastischen Stoffgesetzes durch Einführung des Parameters ϑ
- realistische Erfassung der sich akkumulierenden bleibenden Verformungen bzw. Porenwasserdrücke durch Einführung des Parameters ϑ
- Dissertation Wegener, D.: „Ermittlung bleibender Bodenverformungen infolge dynamischer Belastung mittels numerischer Verfahren“ erscheint Februar 2013

Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 11

3. Numerische Erfassung des Bodenverhaltens

Einfluss des Parameters ϑ auf Akkumulation von Porenwasserdrücken (PWD)

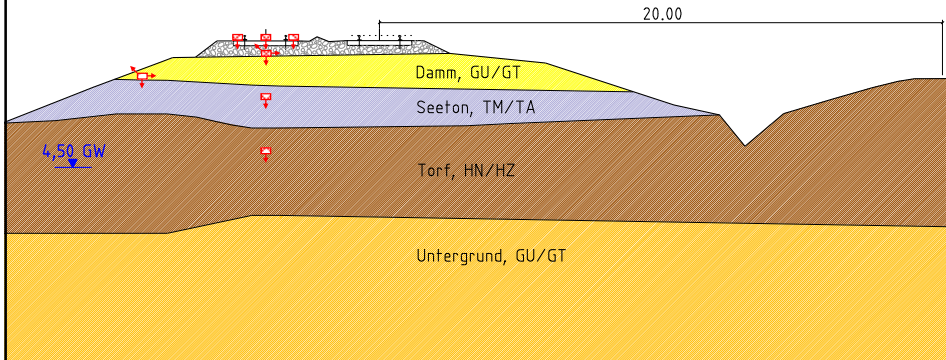


- Mit Hilfe von ϑ kann man die Akkumulation bleibender Verformungen und PWD bestimmen
- Mit $\vartheta = 10$ erhält man eine gute Übereinstimmung mit ausgewählten Versuchsergebnissen

Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 12

4. Anwendungsbeispiel Eisenbahndamm

Stark befahrene Eisenbahnstrecke auf weichem Untergrund in Süddeutschland



Schwingungsmessungen  1-axiales Geophon

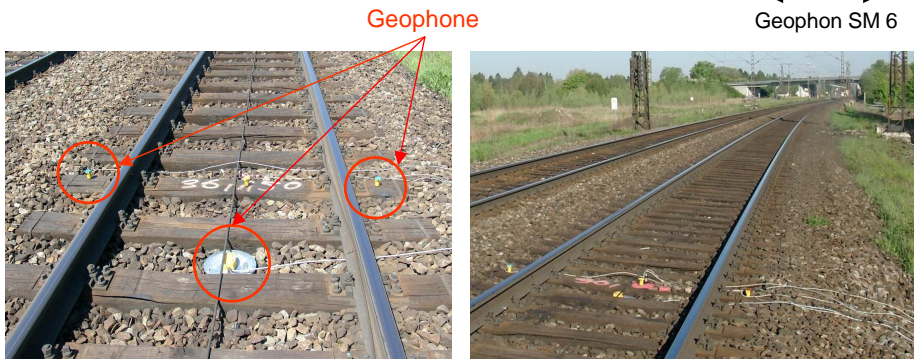
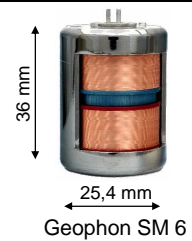
 3-axiales Geophon

Schwingungsmessungen, Langzeitverformungsmessungen, dynamische Laborversuche
im Rahmen des Forschungsprojektes „Schotteroberbau auf Weichschichten“ der DB AG

Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 13

4.1 Schwingungsmessungen unter Zugverkehr

Anordnung der Geophone im Oberbau



Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 14

4.1 Schwingungsmessungen unter Zugverkehr

Einbau Geophone



Schwingungsmessungen



Tiefbaufachtagung 2013

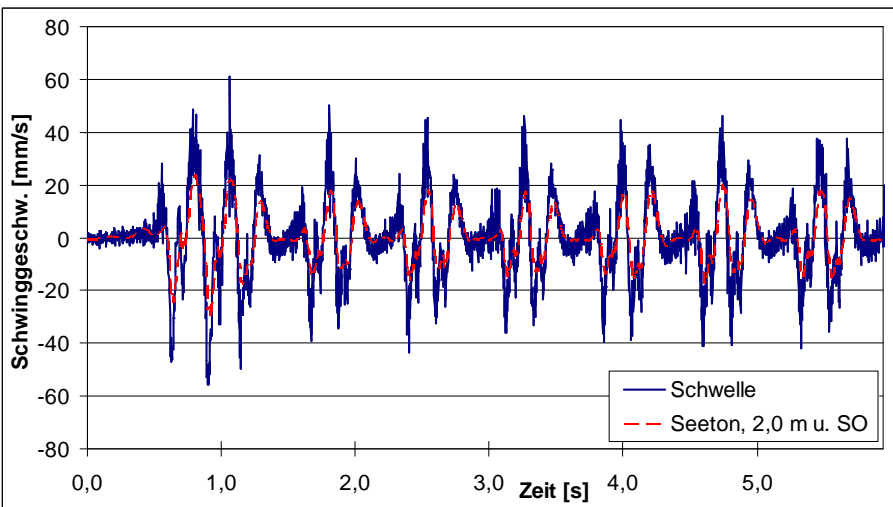
Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung

Seite 15

4.1 Schwingungsmessungen unter Zugverkehr

Railjet
130 km/h

Lok BR 182 | Wagen 1 | Wagen 2 | Wagen 3 | Wagen 4 | Wagen 5 | Wagen 6 | W7



Tiefbaufachtagung 2013

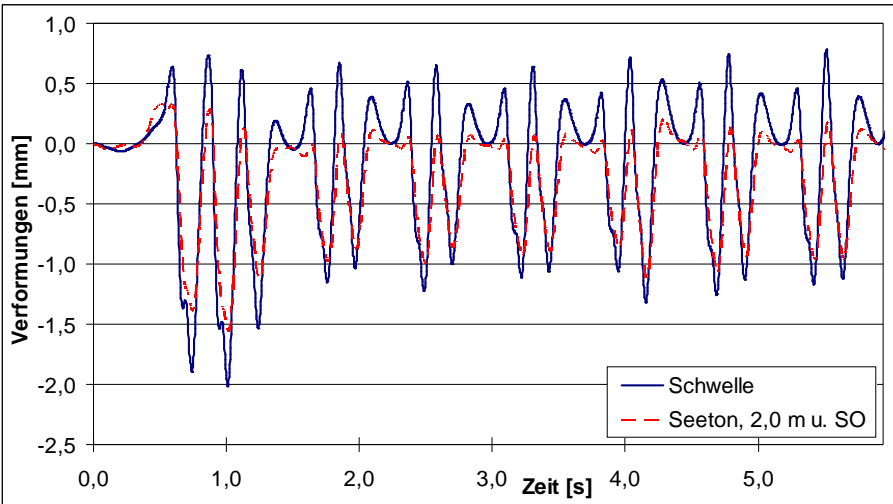
Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung

Seite 16

4.1 Schwingungsmessungen unter Zugverkehr

Railjet
130 km/h

Lok BR 182 Wagen 1 Wagen 2 Wagen 3 Wagen 4 Wagen 5 Wagen 6 HW 7



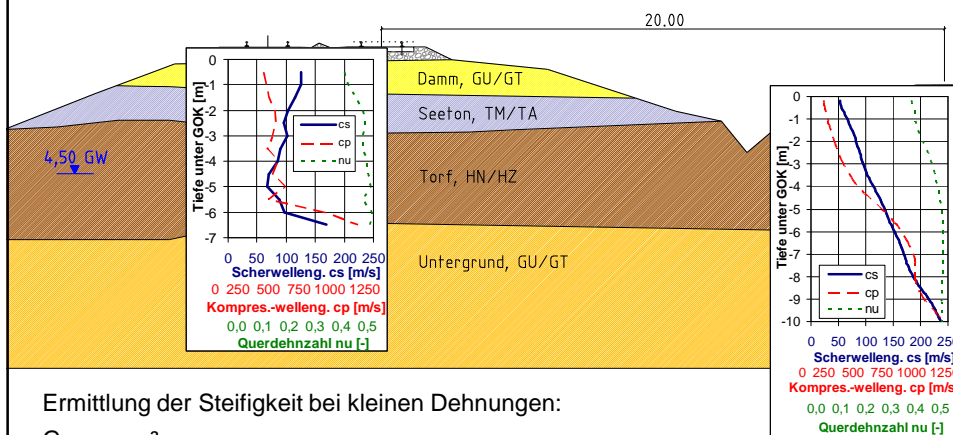
Tiefbaufachtagung 2013

Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung

Seite 17

4.2 Ermittlung der bodendynamischen Kennwerte

Geophysikalische Messungen zur Ermittlung der Wellengeschwindigkeiten c_s und c_p



Ermittlung der Steifigkeit bei kleinen Dehnungen:

$$G_0 = \rho \cdot c_s^2$$

$$E_{s0} = \rho \cdot c_p^2$$

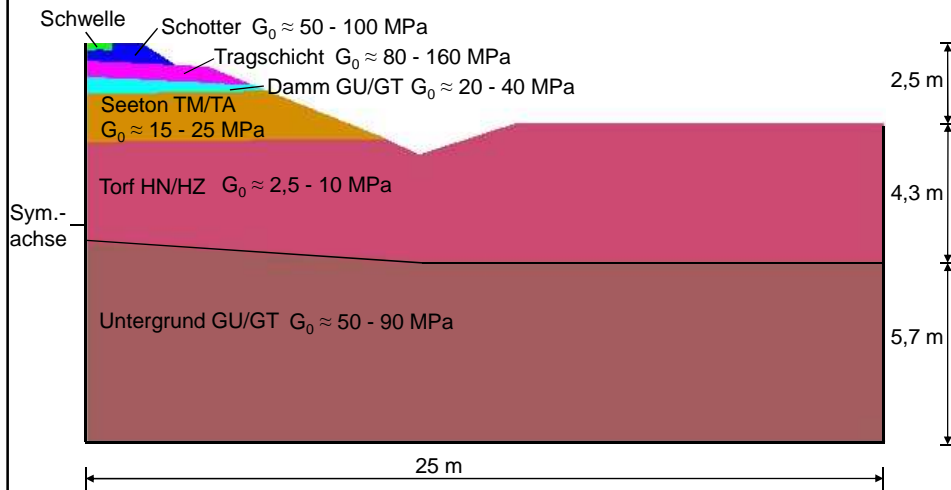
Tiefbaufachtagung 2013

Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung

Seite 18

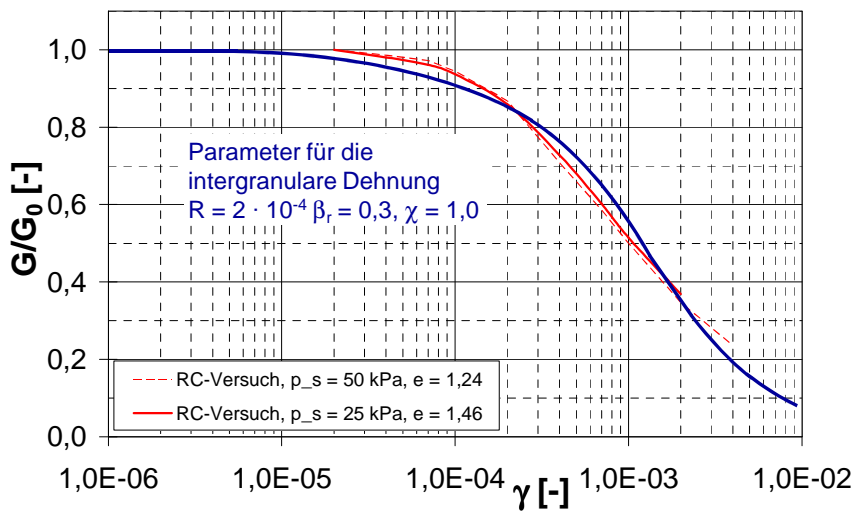
4.3 Numerische Modellierung

FE-Modell für die hypoplastische Berechnung mit Baugrundsichtung und G_0

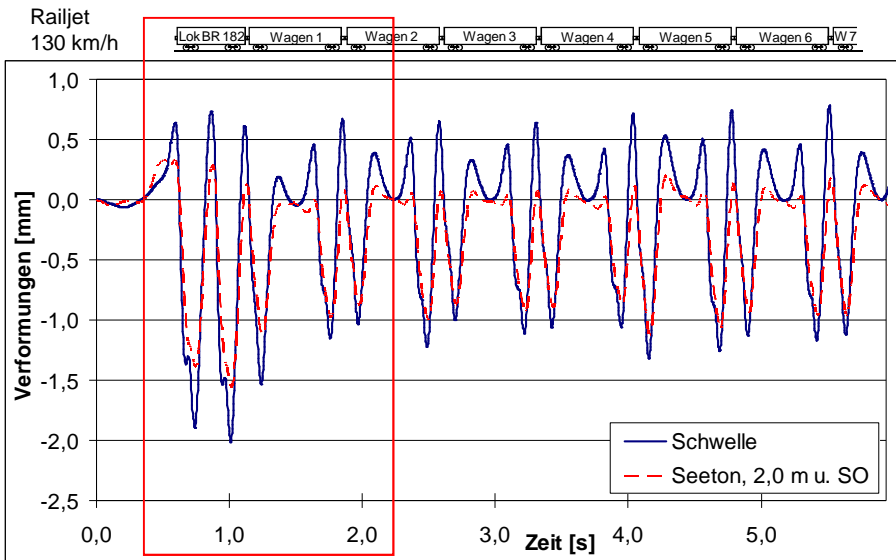


4.3 Numerische Modellierung

Abhängigkeit der bezogenen Steifigkeit G/G_0 von γ für den Seeton

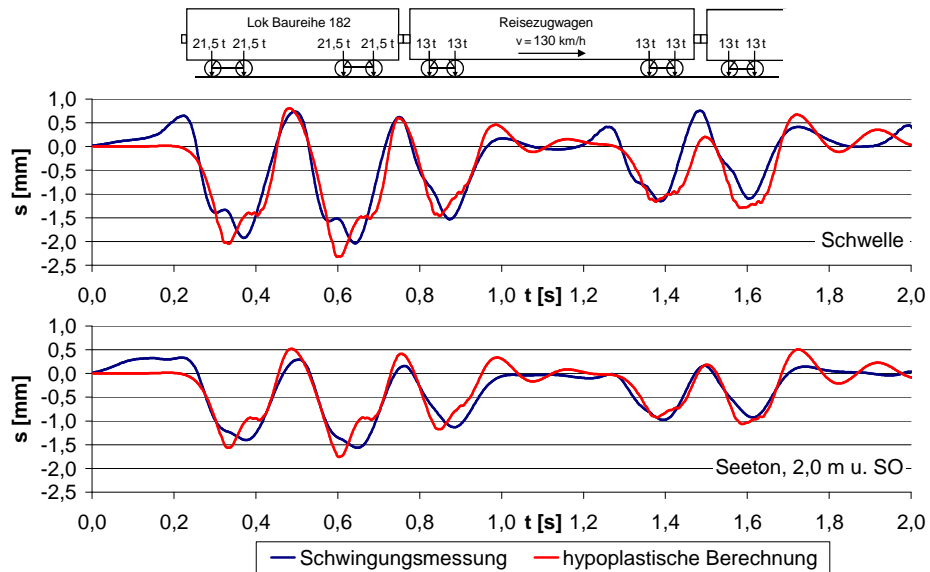


4.4 Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse



Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 21

4.4 Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse



Tiefbaufachtagung 2013 Ermittlung bleibender Verformungen infolge dynamischer Belastung Seite 22

5. Zusammenfassung

- Der Boden verhält sich nichtlinear (druck-, dichte- und dehnungsabhängig) und anelastisch (Zunahme bleibender Verformungen bei zyklischer Belastung).
- Das Bodenverhalten kann mit modifiziertem hypoplastischen Stoffgesetz mit intergranularen Dehnungen realistisch beschrieben werden.
- Die notwendigen Stoffgesetzparameter können in dynamischen Feldversuchen und zyklischen Laborversuchen bestimmt werden.
- Das hypoplastische Stoffgesetz in modifizierter Form ist für Randwertprobleme anwendbar und liefert gute Übereinstimmungen mit Messergebnissen. Es lassen sich die sich akkumulierenden bleibenden Verformungen bzw. Porenwasserdrücke prognostizieren.
- Für das Anwendungsbeispiel konnte gezeigt werden, dass trotz weichem Untergrund und hoher dynamischer Beanspruchung es zu keiner nennenswerten Akkumulation von bleibenden Verformungen und Porenwasserdrücken kam.