

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Benz, Thomas; Schweiger, Helmut F.**

## **Einfluss von “small strain stiffness” auf Ergebnisse von typischen Problemstellungen in der Geotechnik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105325>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Benz, Thomas; Schweiger, Helmut F. (2009): Einfluss von “small strain stiffness” auf Ergebnisse von typischen Problemstellungen in der Geotechnik. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktuelle Entwicklungen bei der Anwendung numerischer Verfahren in der Geotechnik. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 47-48.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





## **EINFLUSS VON “SMALL STRAIN STIFFNESS” AUF ERGEBNISSE VON TYPISCHEN PROBLEMSTELLUNGEN IN DER GEOTECHNIK**

THOMAS BENZ<sup>1</sup> & HELMUT F. SCHWEIGER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NTNU Trondheim. Email: [thomas.benz@ntnu.no](mailto:thomas.benz@ntnu.no)

<sup>2</sup> TU Graz. Email: [helmut.schweiger@tugraz.at](mailto:helmut.schweiger@tugraz.at)

**Kurzfassung:** Das nichtlineare Verhalten von Böden im Bereich kleiner Dehnungen (small strain stiffness) wird in geotechnischen Berechnungen häufig vernachlässigt. Dies kann u.a. dazu führen, dass Fundamentsetzungen oder Wandverschiebungen von Verbauwänden zu groß oder dass Setzungsmulden in Folge von Tunnelvortrieben oder dem Aushub von Baugruben zu flach und ausgedehnt berechnet werden. Aus Vergleichen zwischen Messungen und Berechnungen kann weiterhin geschlossen werden, dass auch das Last-Verformungsverhalten von Pfählen und Zugankern im Gebrauchszustand zu weich abgebildet wird wenn das nichtlineare Verhalten von Böden im Bereich kleiner Dehnungen in Berechnungen nicht berücksichtigt wird. Dieser Beitrag quantifiziert die Steifigkeit von Böden unter kleinen Dehnungen und diskutiert deren Einfluss auf die Ergebnisse typischer Problemstellungen in der Geotechnik.

### **1. Einführung**

Der Bereich, in dem Böden sich nahezu elastisch verhalten ist sehr klein. Außerhalb des quasi-elastischen Bereichs, der mit den heute zur Verfügung stehenden Messmethoden auf Dehnungen kleiner als  $1 \times 10^{-5}$  eingegrenzt werden kann, verringert sich die Steifigkeit von Böden mit zunehmender Dehnung. Trägt man die Steifigkeit als Funktion der Dehnungen ab, ergibt sich bei logarithmischer Skalierung der Dehnungsachse in der Regel eine S-förmige Reduktionskurve.

Die in diesem Beitrag verwandten Begriffe sehr kleine Dehnung und kleine Dehnung sind wie folgt definiert: Dehnungen unterhalb der messtechnisch erfassbaren Grenze von konventionellen Laborversuchen, d.h. Triaxialversuchen und Oedometerversuche ohne spezielle Instrumentierung wie z.B. lokale Dehnungsaufnehmer, werden als kleine Dehnungen bezeichnet. Dehnungen innerhalb des quasi-elastischen Bereichs werden als sehr kleine Dehnungen bezeichnet.

Die Steifigkeit bei sehr kleinen Dehnungen kann ein Vielfaches der in klassischen Laborversuchen ermittelten Steifigkeit betragen. Eine Vernachlässigung dieser Gegebenheit in geotechnischen Berechnungen kann deshalb u.a. dazu führen, dass Fundamentsetzungen oder Wandverschiebungen von Verbauwänden zu groß berechnet werden, dass Setzungsmulden in Folge von Tunnelvortrieben oder dem Aushub von Baugruben in ihrer Ausdehnung überschätzt und dabei in ihren Gradienten unterschätzt werden, oder dass das Last-Verformungsverhalten von Pfählen und Zugankern im Gebrauchszustand zu weich abgebildet wird.

Indirekt berücksichtigt wird die Steifigkeitsentwicklung von Geomaterialien bei kleinen Dehnungen z.B. in klassischen Setzungsberechnungen, die eine Grenztiefe einführen: Bodenbereiche, in denen nur geringe Spannungsänderungen durch äußere Lasten auftreten, sind gekennzeichnet durch kleine Dehnungen und große Steifigkeiten. Im Fall von Setzungsberechnungen kann deshalb angenommen werden, dass unterhalb einer definierten Grenztiefe die Verschiebungen vernachlässigbar klein sind und diese Bereiche deshalb nicht bei der Berechnung der Setzung zu berücksichtigen sind.

Wird in numerischen Berechnungen ein Stoffgesetz angewandt, das den Bereich kleiner Dehnungen nicht modellieren kann, muss in dem gewählten Beispiel einer Setzungsermittlung ähnlich vorgegangen werden, um realistische Ergebnisse zu erhalten: Entweder wird die Verschiebungsrandbedingung (unterer Netzrand) in Tiefe einer angenommenen Grenztiefe gewählt oder die Steifigkeiten tiefer Bodenschichten



wird manuell erhöht. Beide Vorgehensweisen sind unbefriedigend: Die Wahl der Verschiebungsrandbedingung in geringer Tiefe beeinflusst das Berechnungsergebnis in direkter Art und Weise und ist aus mathematischer Sicht unerwünscht. Eine manuelle Erhöhung der Steifigkeiten tiefer Bodenschichten setzt die Kenntnis der in diesen Schichten zu erwartenden Dehnungen voraus, welche a priori unbekannt sind. Die Berücksichtigung der nichtlinearen Steifigkeitsentwicklung bei kleinen Dehnungen sollte in numerischen Berechnungen deshalb direkt im Materialgesetz abgebildet werden. In dieser Studie werden drei verschiedene Materialgesetze verwendet, die in ihrer Formulierung einen Ansatz zur Modellierung von small strain stiffness beinhalten. Bei den verwendeten Materialgesetzen handelt es sich um kommerziell erhältliche Software (HS-Small), Software, die von den Autoren zum allgemeinen Download und Verwendung im Programmsystem ABAQUS bereitgestellt wird (Hypoplastisches Modell mit Intergranularer Dehnung), sowie um eine andauernde Forschungsarbeit an der Universität Graz (Multilaminatmodell mit small strain stiffness).

## **2. Betrachtete Problemklassen und Resultate**

Der Einfluss von small strain stiffness auf die Ergebnisse geotechnischer Berechnungen wird an folgenden Problemklassen aufgezeigt: Baugruben, Flachgründungen, Tiefgründungen und Tunnel.

### **BAUGRUBEN**

Die Berücksichtigung von small strain stiffness führt in der Berechnung von Baugruben mit Verbau dazu, dass sowohl die Hebungen in der Baugrubensohle als auch die laterale Ausdehnung der Setzungsmulde hinter der Verbauwand abnimmt. Die Setzungen direkt hinter der Verbauwand sind oftmals größer bei Berücksichtigung von small strain stiffness. Zusätzlich ist zu beobachten, dass das Verhältnis von horizontaler Wandverschiebung zu den Setzungen direkt hinter der Wand abnimmt. Die in der Regel reduzierte horizontale Verformung der Verbauwand im Bereich der Hinterfüllung führt zu einer höheren (aktiven) Erddruckbelastung.

### **FLACHGRÜNDUNGEN**

Bei Berücksichtigung von small strain stiffness klingen die vertikalen Dehnungen mit zunehmender Tiefe schneller ab als bei Vernachlässigung des Bereichs kleiner Dehnungen. Die resultierenden Fundamentsetzungen sind geringer und in besserer Übereinstimmung mit Beobachtungen.

### **TIEFGRÜNDUNGEN, PFÄHLE UND ZUGANKER**

Im Gebrauchszustand von Tiefgründungen ergeben sich ebenfalls geringere Setzungen aus der Berücksichtigung von small strain stiffness. Das Verformungsverhalten von Pfählen und Zugankern ist bei Belastungsbeginn merklich steifer.

### **TUNNEL**

Small strain stiffness kann auch bei Tunnelberechnungen zu einer realitätsnahen Setzungsprognose führen. Wichtig hierfür ist aber die Wahl einer geeigneten Simulationsmethode. Zur Simulation eines maschinellen Vortriebs sollte anstelle einer Volumenkontraktion ein Stützdruckverfahren angewendet werden. In dreidimensionalen (Verformungs-)Berechnungen sollte zudem die zeitliche Entwicklung der Betonsteifigkeit berücksichtigt werden.

In allen Problemklassen kann ein verminderter Einfluss der gewählten Verschiebungsrandbedingungen auf das Berechnungsergebnis festgestellt werden: Auch bei der Wahl eines tiefen Berechnungsausschnitts werden realistische Verschiebungen berechnet. Bis dato war hier das Einführen einer zusätzlichen Bodenschicht hoher Steifigkeit oder ein restriktives Beschneiden des Netzes in der Tiefe erforderlich.