



## Bestimmung der Kompressionseigenschaften in unterschiedlichen Ödometergeräten

Nico Schmid

### Einleitung

Beim Ödometerversuch handelt es sich um einen Versuch zur Bestimmung der Kompressionseigenschaften von Böden. Eine Bodenprobe wird bei verhinderter Seitendehnung vertikal belastet. Im Ödometerversuch kann das Zeit-Setzungsverhalten (Konsolidationsbeiwert  $c_v$  und Kriechbeiwert  $c_a$ ) und das von der Vertikalspannung  $\sigma'_v$  abhängige Spannungs-Setzungsverhalten (Steifemodul  $E_s$ , Kompressionsbeiwert  $c_c$  und Schwellbeiwert  $c_s$ ) bestimmt werden.

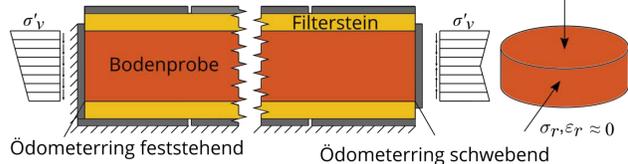


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Ödometerpotfes mit schwebendem beziehungsweise feststehendem Ring und Spannungs-Dehnungszustand im Ödometerversuch

Es wurden weggesteuerte (konstanter Vorschub) und kraftgesteuerte Versuche mit stufenweiser Belastung an möglichst identischen Sandproben durchgeführt. In einem Versuchsstand wurden zudem Versuche mit feststehendem und schwebendem Ring (siehe Abb. 1) durchgeführt. Mit den Versuchsergebnissen wurden unter anderem die Einflüsse von Probenabmessung, Gerätesteifigkeit, Wandreibung, Auswertemethode und das Bodenverhalten bei großen Spannungen (Kornbruch) untersucht.

### Probenmaterial

Alle Versuche wurden mit Dresdner Sand, einem enggestuften Quarzsand (siehe Abb. 2), durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten bei bezogenen Einbaulagerungsdichten von  $I_d \approx 80\%$  und  $I_d \approx 35\%$  ( $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{dmin} = 1,85 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{dmin} = 1,49 \text{ g/cm}^3$ ).

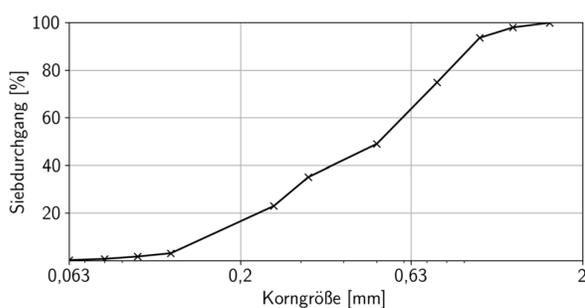


Abb. 2: Sieblinie von Dresdner Sand

### Ödometergeräte

Es wurden Ödometerversuche mit verschiedenen Geräten (siehe Abb. 3) und unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt:

#### 12er Stand:

- Probendurchmesser: 50 mm und 100 mm
- Probenhöhe: 20 mm und 40 mm
- Belastungsart: kraftgesteuert
- Spannungsbereich: 0 – 1000 kPa
- Sonstiges: Versuche wurden im gesättigtem Zustand, mit schwebendem und gefettetem Ring durchgeführt

#### Blaue Presse (Bp):

- Probendurchmesser: 100 mm und 300 mm
- Probenhöhe: 40 mm und 60 mm
- Belastungsart: weggesteuert
- Spannungsbereich: 0–25000 kPa und 0 – 3000 kPa

#### Moser Ödometer

- Probendurchmesser: 70 mm
- Probenhöhe: 23 mm
- Belastungsart: weggesteuert
- Spannungsbereich: 0 – 26000 kPa

#### Infratest Presse

- Probendurchmesser: 100 mm
- Probenhöhe: 20 mm
- Belastungsart: weggesteuert
- Spannungsbereich: 0 – 1000 kPa



Abb. 3: Ödometergeräte: (12er Stand oben links und rechts, Blaue Presse (d=10 cm) unten links)

### Versuchsergebnisse

#### Auswertung

Der Steifemodul  $E_s$  ergibt sich aus dem Quotient von Spannungsänderung  $\Delta\sigma'_v$  und Dehnungsänderung  $\Delta\epsilon_v$ . Die Vertikalspannung, die Spannungsdifferenz und die Setzungsdifferenz auf die der Steifemodul bezogen wird kann variieren (siehe Abb. 4). In der Arbeit wurde die orangefarbene Variante angewendet. Bei der orangefarbenen Variante wurden, bei Verdopplung der Vertikalspannung bei jeder Laststufe, gegenüber der blauen Variante um bis zu 25 % geringere Steifemoduln ermittelt.

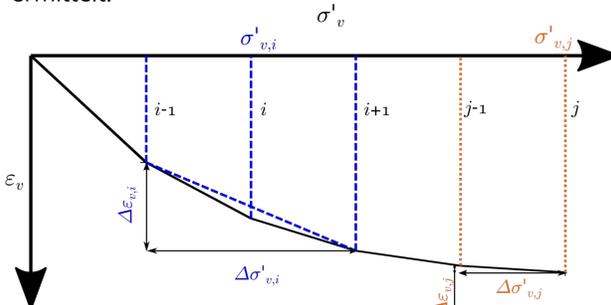


Abb. 4: Methoden zur Bestimmung des Steifemoduls. (Blau: mit Dehnungsbezug auf Höhe bei i, vorgehen nach DIN 18135:2012-04; Orange: mit Dehnungsbezug auf Höhe bei j-1, vorgehen nach DIN EN ISO 17892-5:2018-05)

#### 12er Stand

Abbildung 5 zeigt die mittels der Ohdeparameter  $v$  und  $w$  ermittelten Steifemoduln von verschiedenen Versuchen im 12er Stand bei Erstbelastung und einer Vertikalspannung  $\sigma'_v$  von 300 kPa an der Probenoberseite. Schraffierte Werte zeigen Ergebnisse ohne eine Korrektur der Geräteverformung. Ohne Berücksichtigung der Geräteverformung werden die Steifemoduln von dichtem Dresdner Sand bei 2 cm Probenhöhe um bis zu 40 % unterschätzt (siehe Abb. 5). Bei Versuchen mit schwebendem Ring und gefettetem Ring wird der Einfluss der Wandreibung reduziert. Bedingt durch das stark streuende Probenmaterial konnte allerdings kein Einfluss dieser Versuchsvariationen festgestellt werden.

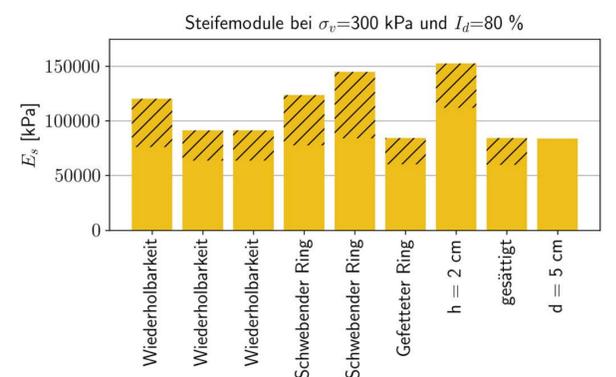


Abb. 5: Im 12er Stand bestimmte Steifemoduln bei einer Vertikalspannung von 300 kPa. Grundkonfiguration: feststehender Ring, d=10 cm h=2 cm und luftgetrocknetes Probenmaterial (schraffierte Werte Geräteverformung korrigiert, bei d=5 cm fand keine Korrektur der Geräteverformung statt)

#### Vergleich aller Geräte

Abbildung 6 zeigt den Vergleich der Versuchsergebnisse in verschiedenen Geräten bei Erstbelastung. Besonders ohne Korrektur der Geräteverformung sind große Einflüsse des Versuchsgerätes zu erkennen. Konstruktionsbedingt ist die Geräteverformung in der blauen Presse sehr gering und damit vernachlässigbar.

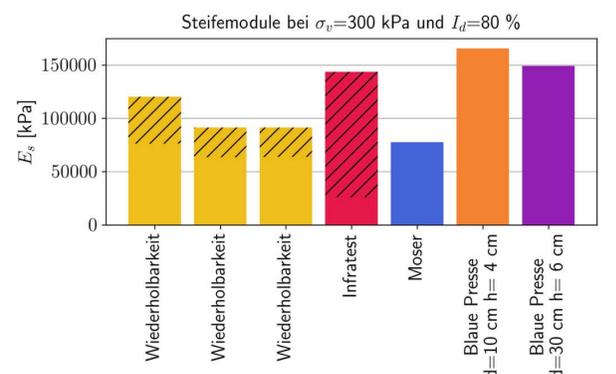


Abb. 6: In verschiedenen Geräten bei einer Vertikalspannung von 300 kPa bestimmter Steifemoduln (schraffierte Werte Geräteverformung korrigiert; gelbe Balken: Wiederholbarkeit im 12er Stand; Beim Moser Ödometer und der blauen Presse wurden die Geräteverformungen nicht korrigiert.)

### Fazit

Es wurde gezeigt, dass, mit Korrektur der Geräteverformung, alle Geräte zur Bestimmung der Kompressionseigenschaften von wenig kompressiblen Böden geeignet sind. Um zuverlässige Messergebnisse zu erhalten, wird allerdings empfohlen Geräte, beziehungsweise Probenabmessungen, zu verwenden, bei denen die Fehlergröße Geräteverformung kleiner ist als die Zielgröße Bodenverformung. Die Setzung bei den Wiederholbarkeitsversuchen im 12er Stand betrug im Mittel bei 300 kPa und dichter Lagerung nur 30 % des mittleren Korndurchmessers  $d_{50}$ . Es kann also davon ausgegangen werden, dass bei geringen Probenhöhen ein großer Anteil der Setzung durch Verringerung der Unebenheit in den Endflächen entsteht. Große Probenhöhen verringern den Einfluss der Endflächen, daher können mit steigender Probenhöhe und gleichzeitiger Korrektur der Wandreibung bzw. steigendem Durchmesser zutreffendere Ergebnisse gewonnen werden.

#### Projekt

Diplomarbeit

#### Hochschullehrer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

#### Wissenschaftliche Betreuung

Dipl.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

#### Abgabe

November 2019