

Messung der Scherwellengeschwindigkeit in inhomogenen Proben

(Measurement of shear wave velocity in inhomogeneous samples)

Marie-Karoline Standke

Einleitung

Die Bodensteifigkeit spielt in vielen geotechnischen Problemstellungen eine maßgebende Rolle. Dabei ist diese bei kleinen Dehnungen deutlich höher als bei größeren. Insbesondere Bender-Element Versuche in einer Triaxialzelle haben sich zur Bestimmung des Schubmoduls bei sehr kleinen Dehnungen G_0 etabliert.

Im Rahmen dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob eine Scherwellenmessung bei inhomogenen Proben möglich ist. Zudem sollte überprüft werden, ob bei zusammengesetzten Proben die Lage der Trennschicht ermittelt werden kann. Dazu wurden vom Institut für Geotechnik zwei verschiedene Böden zur Verfügung gestellt. Zum einen das grobkörnige Material Filtersand (SE) und zum anderen das feinkörnige Material Technischer Kaolin (UA).

Bender Element Versuch

Der Schubmodul G_0 eines Bodens kann in einer Triaxialzelle mittels sogenannter Bender Elemente bestimmt werden. Hierbei werden über piezokeramische Platten Scherwellen in die Bodenprobe eingeleitet und ihre Laufzeit bestimmt.

Ein Bender-Element, vgl. Abb.1, besteht aus zwei piezokeramischen Platten. Wird eine elektrische Spannung angelegt, führt dies dazu, dass sich eine der beiden Platten verlängert, während sich die andere verkürzt. So entsteht durch Anlegen einer elektrischen Spannung infolge einer Biegung des Bender Elements eine mechanische Bewegung. Wiederum wird bei der Ankunft einer mechanischen Bewegung, die zu einer Biegung des Elementes führt, ein elektrisches Signal an den piezokeramischen Platten erzeugt.

Über die Zeit, die die Scherwelle von Sender zu Empfängerelement benötigt, kann die Scherwellengeschwindigkeit v_s über folgenden Zusammenhang bestimmt werden.

$$v_s = \frac{L}{t}$$

Dabei entspricht L dem Abstand zwischen den beiden Bender Elementen und t der Wellenlaufzeit. Der Schubmodul wiederum kann über die Scherwellengeschwindigkeit und die Dichte des Bodens

$$G_0 = \rho * v_s^2$$

bestimmt werden.

Obwohl sich der Bender-Element Versuch in den letzten Jahren immer weiter entwickelt hat und sich in vielen Bereichen etablierte, sind bisher keine normativen Festlegungen getroffen worden.

Es gibt verschiedene Methoden zur Bestimmung der Wellenlaufzeit t . Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Peak-to-Peak Methode gewählt. Dabei wurde der erste im Empfangssignal erkennbare Peak als maßgebend angenommen. Des Weiteren wurden die Ergebnisse mit verschiedenen Ansätzen zur Abschätzung des Schubmoduls G_0 verglichen.

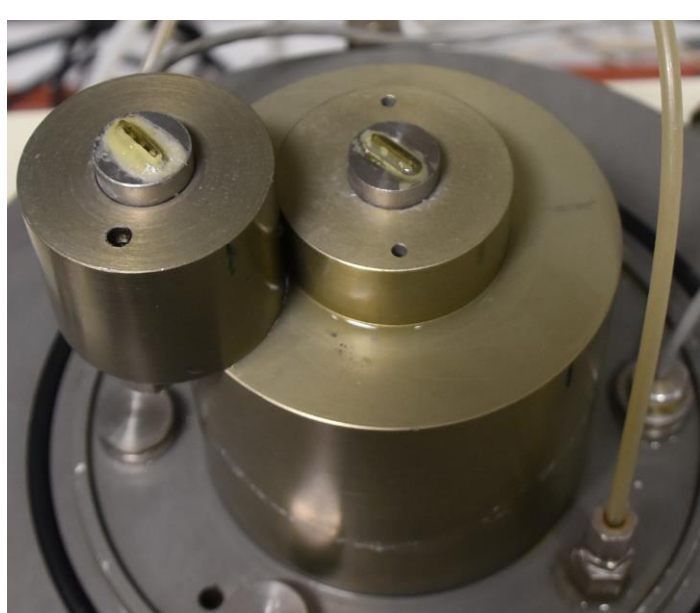
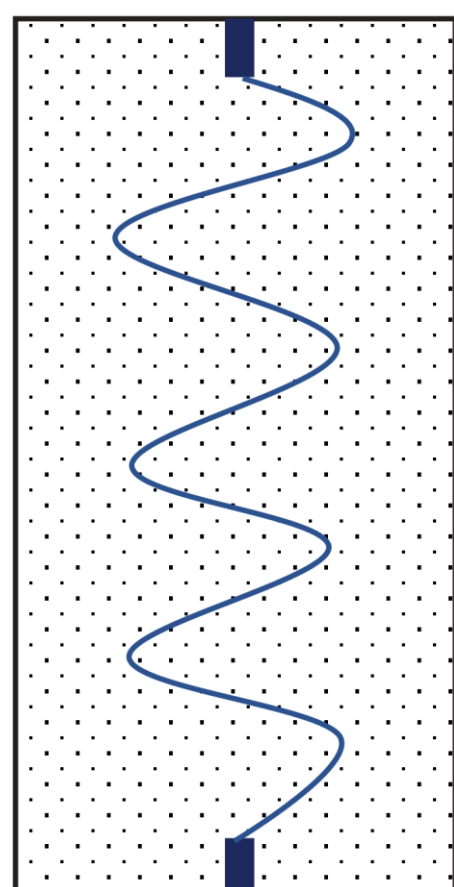


Abb. 1: Bender Elemente integriert in der Kopf- und Fußplatte einer Triaxialzelle



Bender Element Versuche an 3D Druckproben

Um Erfahrungen mit inhomogenen Proben zu sammeln, wurden Voruntersuchungen an 3D-Druckproben durchgeführt.

Hierfür wurden sowohl homogene als auch inhomogene Proben hergestellt.

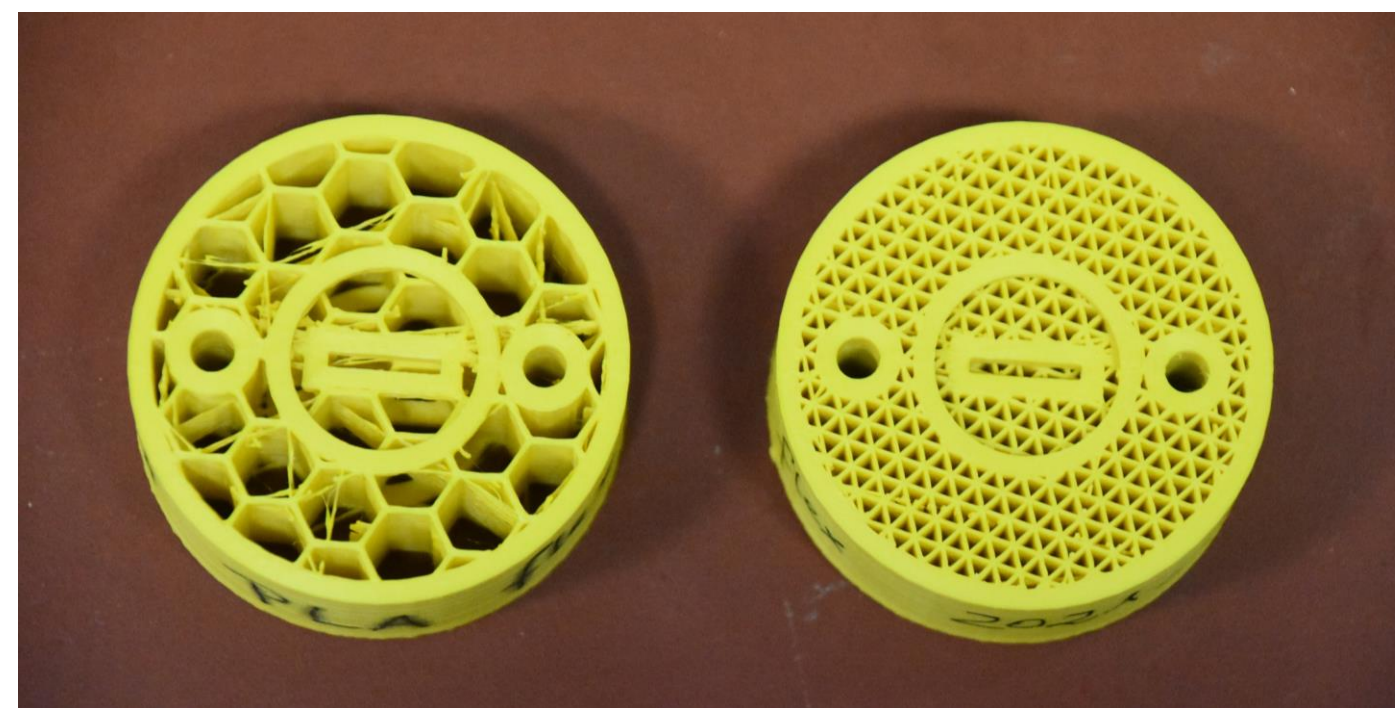


Abb. 2: homogene 3D-Druckprobekörper mit 15 % Wabenfüllung und 50 % Dreiecksfüllung

Über die aus den Einzelversuchen bestimmte Wellenlaufzeit t und der Scherwellengeschwindigkeit v_s konnte die Schichthöhe der einzelnen Schichten der zusammengesetzten inhomogenen Proben bestimmt werden.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei konnte die Lage der Trennschicht bei dem Probekörper mit 3 cm Wabenfüllung und 1 cm Dreiecksfüllung rechnerisch ermittelt werden. Bei dem Probekörper mit dem Verhältnis 2:2 kam es jedoch zu größeren Abweichungen.

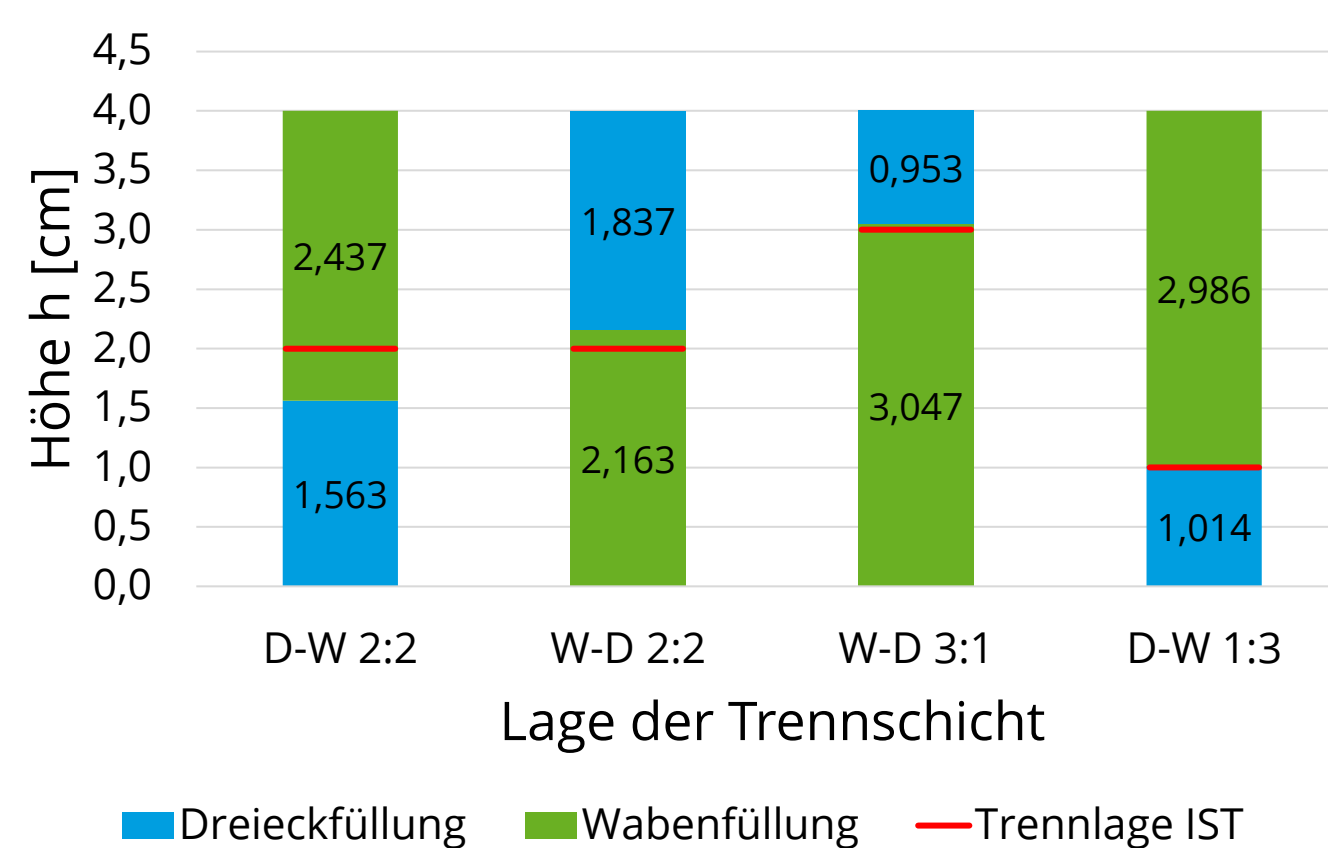


Abb. 3: Lage der Trennschicht berechnet vs. Istzustand

Bender Element Versuche an homogenen und inhomogenen Proben

In Abbildung 4 sind die beiden zusammengesetzten Proben aus Technischem Kaolin und Filtersand dargestellt.

Die Ergebnisse der zusammengesetzten Proben lagen zwischen den Einzelergebnissen der beiden Böden, vgl. Abbildung 5. Da die beiden Probekörper eine voneinander abweichende Dichte aufweisen, wurden allerdings nicht exakt dieselben Ergebnisse erzielt.



Abb. 4: zusammengesetzte inhomogene Probekörper

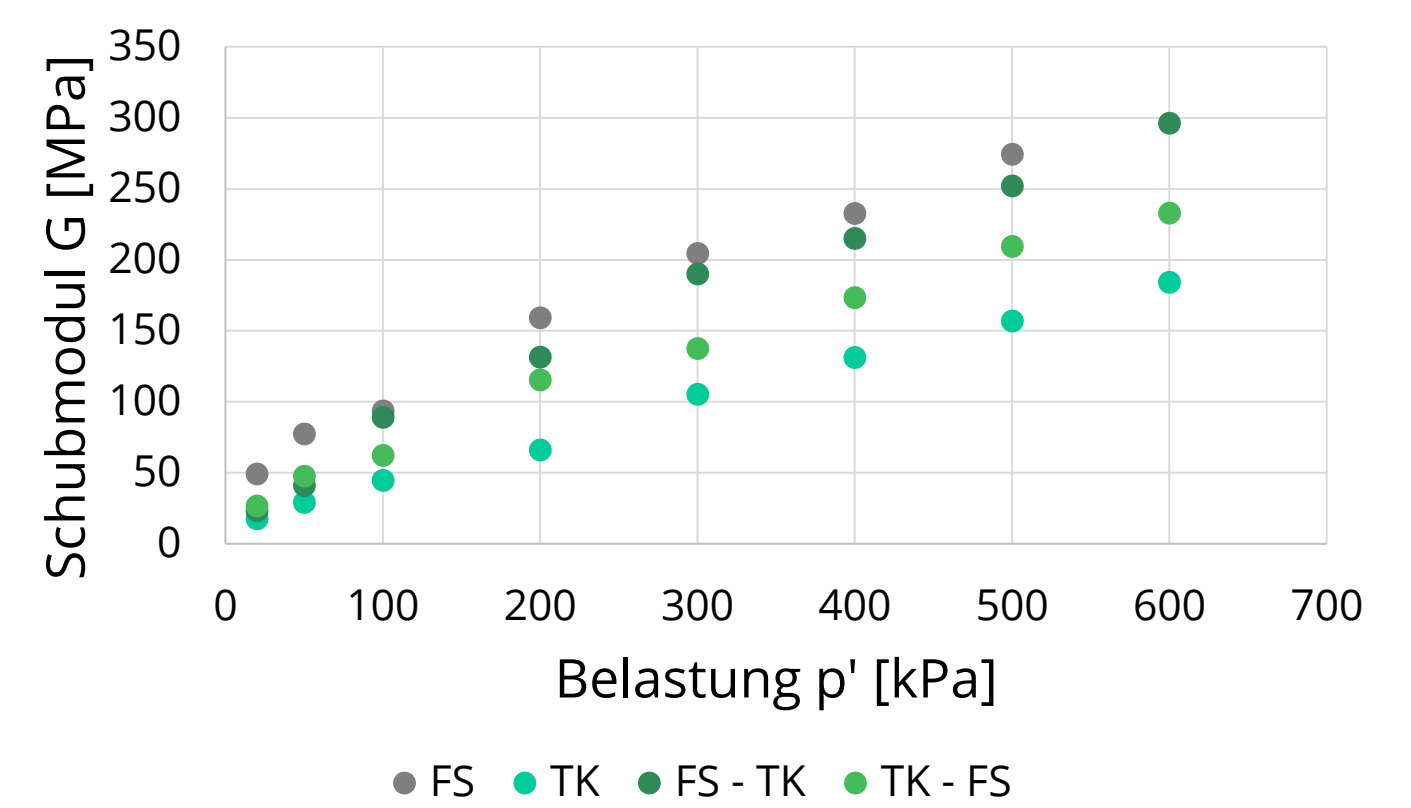


Abb. 5: Schubmodule in Abhängigkeit von der Belastung p'

Die Signalqualität der inhomogenen Proben war teils deutlich schlechter als die der homogenen Proben. So konnten die an der Trennschicht reflektierten Wellen nicht in den Empfangssignalen ausgemacht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Lage der Trennschicht über verschiedene Ansätze rechnerisch ermittelt. Zum einen wurde die Formel zur Berechnung der Scherwellengeschwindigkeit erweitert und umgestellt:

$$L_1 = \frac{\left(\frac{L}{v_s} - \frac{L}{v_{s2}}\right)}{\left(\frac{1}{v_{s1}} - \frac{1}{v_{s2}}\right)}$$

und zum anderen wurde die Steifigkeitsformel von Reuss 1929 angepasst, um die Schichthöhe zu ermitteln:

$$h_B = \left(\frac{\left(\frac{G_A * G_B}{G_S} - G_B \right)}{-G_B + G_A} \right) * h$$

Allerdings gab es starke Diskrepanzen zwischen den berechneten Ergebnissen und der tatsächlich vorhandenen Lage der Trennschicht. Insbesondere bei den Entlastungsstufen kam es zu starken Abweichungen, vgl. Abbildung 6. Die Gründe dafür konnten im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht geklärt werden.

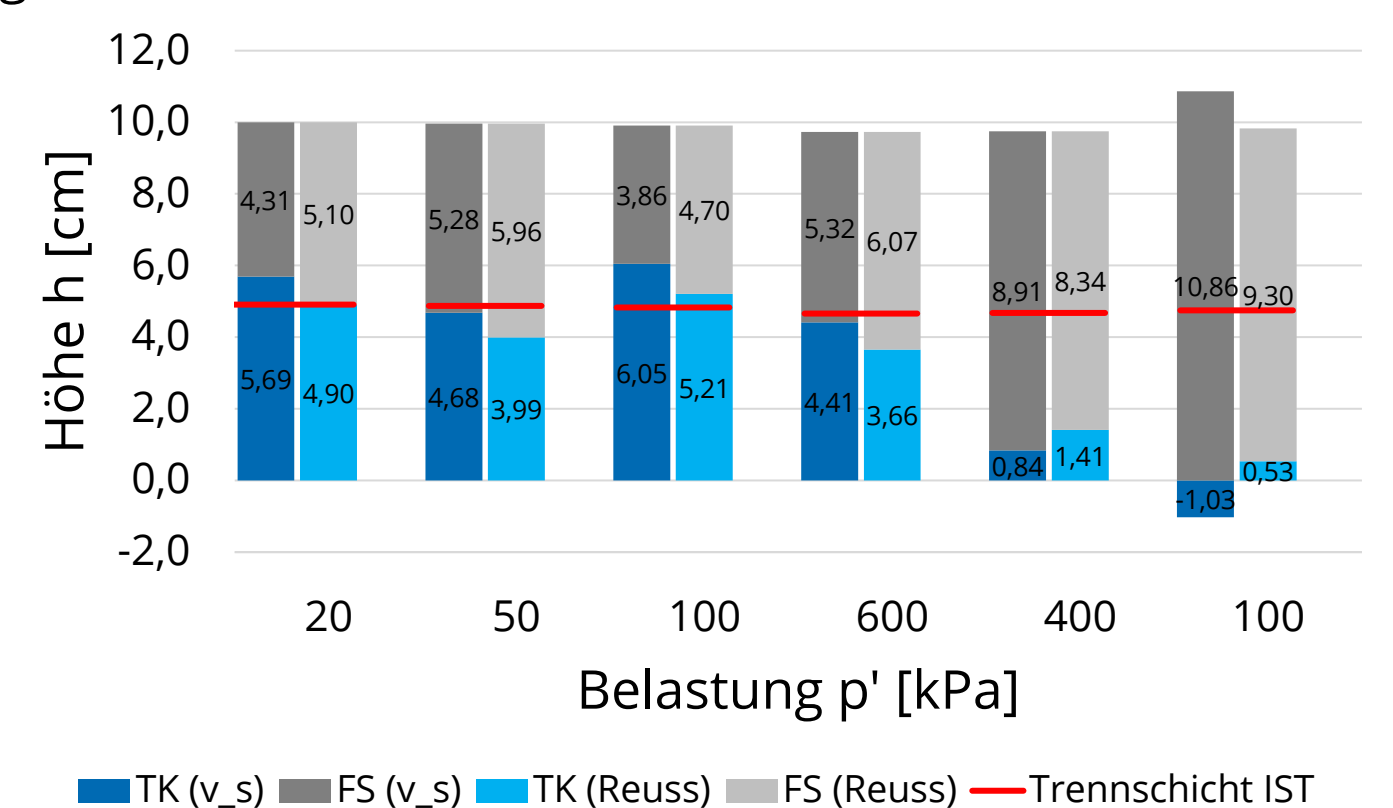


Abb. 6: Trennschichtermittlung

Zusammenfassung

Im Ergebnis dieser Arbeit kann festgestellt werden, dass der Bender-Element Versuch an inhomogenen Proben durchaus durchgeführt werden kann und die Ergebnisse, sowohl die der Scherwellengeschwindigkeiten als auch die der Schubmoduln, im zu erwartenden Bereich liegen. Zudem sind die Ergebnisse stark frequenzabhängig, so dass sich die Ergebnisse für die Trennschichtermittlung als relativ ungenau erwiesen haben.

Projekt
Diplomarbeit

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

Wissenschaftliche Betreuung
Dipl.-Ing. Johannes Welsch, TU Dresden

Abgabe
November 2021