

Korrelation zwischen der Porenwasserdruckentwicklung in undrainierten und der Volumendehnung in drainierten Bedingungen für grobkörnige Materialien

Alina Charlotte Lachmann

Einleitung

In einem locker gelagerten Boden unter drainierten Bedingungen, bei dem das Wasser aus dem Porenraum abfließen kann, führt eine Scherbelastung zu einem Zusammenrutschen der Körner und einer Volumenänderung. Unter undrainierten Bedingungen mit konstantem Volumen führt die Tendenz zur Verdichtung des Bodens zu einem Aufbau von Porenwasserüberdrücken. Dies legt einen Zusammenhang zwischen dem Verhalten von Sanden unter drainierten und undrainierten Bedingungen nahe.

Zur Untersuchung dieses Zusammenhanges wurden vereinfachte zyklische Scherversuche mit dem am Institut für Geotechnik entwickelten PWD-Tester sowie drainierte Triaxialversuche an Proben unterschiedlicher Lagerungsdichten I_D durchgeführt.

Es wurden drei enggestufte Sande ähnlicher Korngrößenverteilungen (Abb. 1) mit unterschiedlichen Kornformen untersucht. Neben einem natürlichen Sand (Toyoura Sand, TS) wurden ein Glaskugel-Gemisch (GS) mit runden Körnern und ein Brechsand-Gemisch (BS) scharfen Kanten betrachtet.

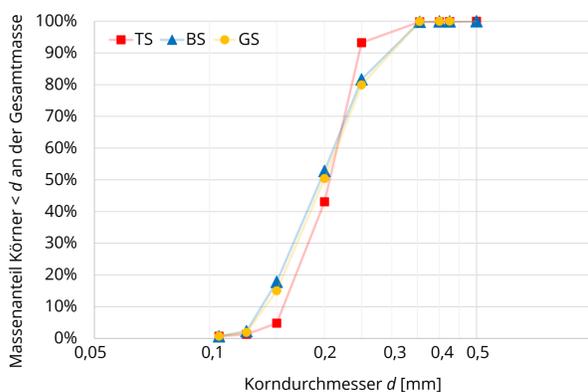


Abb. 1: Korngrößenverteilung der Versuchsböden.

Undrainierte und drainierte Versuche mit dem PWD-Tester

Undrainierte Versuche

Gesättigte und entlüftete Proben wurden unter Wasser eingebaut und mittels eines Fallrings unterschiedlich stark verdichtet. Nach einer Konsolidierung auf 60 kPa wurden die Proben bei einer Frequenz von 1 Hz mit einer Auslenkung von 2,4 mm mit geschlossener Drainage gesichert bis der Porenwasserdruck dem Umgebungsdruck entsprach.

Die während der Versuche gemessene Auslenkung wurde aufsummiert und auf die Probenhöhe bezogen, um γ_{sum} zu berechnen. Nach Normierung der Porenwasserdruckänderung wurde diese sowie γ_{sum} über der Durchschnittsbildung geglättet. Durch das Anlegen einer Sekante an die resultierende Kurve bei 40 % und

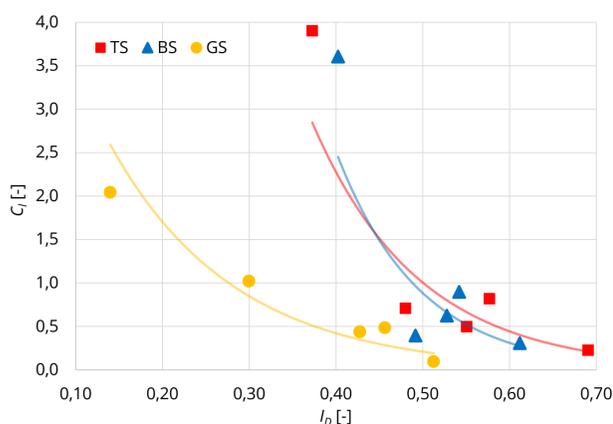


Abb. 2: Rate des Porenwasserdruckaufbaus C_f in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte I_D für die untersuchten Sande.

80 % Porenwasserdruckaufbau wurde der Anstieg der Sekante als C_f , der Rate des Porenwasserdruckaufbaus, bestimmt. C_f wurde in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte der konsolidierten Probe dargestellt und die Versuchsergebnisse mittels exponentieller Regressionen angenähert (Abb. 2).

Drainierte Versuche

Die Durchführung und Auswertung der drainierten Versuche erfolgten zur Vergleichbarkeit, soweit möglich, analog zu den undrainierten Versuchen. Unterschiede bei der Durchführung lagen in einer verringerten Scherfrequenz von 0,1 Hz, einer geöffneten Drainage sowie der Erfassung der Volumenänderung der Proben über Aufnahmen des Druck-Volumen-Reglers. Zur Auswertung wurde analog zu C_f ein neuer Kennwert v_f als Rate der volumetrischen Dehnungen eingeführt. Dazu wurden die volumetrischen Dehnungen auf den kleinsten Maximalwert der volumetrischen Dehnung aller Versuche normiert.

Die drainierten Versuche wurden außerdem hinsichtlich der axialen Dehnungen über einen nach selbem Konzept gebildeten Kennwert a_f ausgewertet. Insbesondere bei Brechsand zeigte sich ein abweichendes Verhalten der axialen Dehnungen im Vergleich zu den volumetrischen Dehnungen.

Undrainiertes und drainiertes Verhalten im Vergleich

Es lässt sich in Abbildungen 2 und 3 ein qualitativ ähnliches Verhalten erkennen.

Sowohl C_f als auch v_f nehmen mit zunehmender Probedichte ab. Glaskugeln wiesen in beiden Versuchen die geringsten bezogenen Lagerungsdichten I_D und die niedrigsten C_f und v_f -Werte auf. Auch Brechsand wies in beiden Versuchen einen ähnlichen Verlauf auf. Beim natürlichen Sand konnten sowohl C_f als auch v_f -Werte in ähnlicher Höhe wie bei Brechsand ermittelt werden, allerdings über unterschiedlich große Dichtebereiche. Dadurch verläuft die Regressionskurve bei den drainierten Versuchen deutlich steiler als bei den undrainierten.

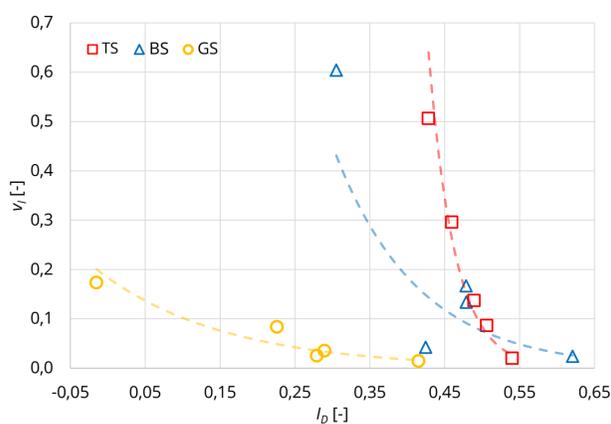


Abb. 3: Rate des volumetrischen Dehnungen v_f in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte I_D für die untersuchten Sande.

Drainierte Triaxialversuche

Der Probeneinbau erfolgte analog zu den Versuchen am PWD-Tester. Es wurden drei Versuche mit unterschiedlichen Dichten bei gleichen Spannungen durchgeführt. Die Scherung erfolgte mit 0,5 mm/min bis zu einem Scherweg von 20 mm.

Die Volumendehnung wurde in Abhängigkeit von der Axialdehnung abgebildet und auf den höchsten Minimalwert der volumetrischen Dehnungen aller Versuche normiert, um die Volumenvergrößerung während der Dilatanz zu betrachten. Analog zu C_f wurde die Rate der volumetrischen Dehnungen im Triaxialversuch t_f als Anstieg dieser Sekanten ermittelt.

Die t_f -Werte wurden in Abhängigkeit von ihrer bezogenen Lagerungsdichte dargestellt (Abb. 4). Es zeigte sich, dass die t_f -Werte mit zunehmender Dichte sowie mit zunehmender Rundheit der Körner abnehmen: Bei runderen Körnern ist eine geringere Scherbelastung erforderlich, um die gleiche volumetrische Dehnung zu erreichen, wie bei kantigeren Körnern.

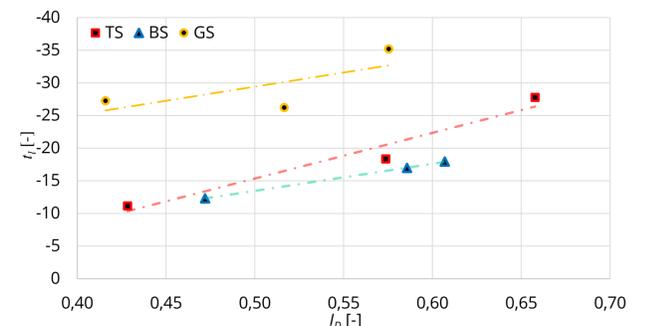


Abb. 4: Rate des volumetrischen Dehnungen t_f in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte I_D für die untersuchten Sande.

Vergleich der Dichteabhängigkeit der untersuchten Materialien

k -Werte (Abb. 5) wurden als Steigung der linearisierten Regressionsgeraden in den Versuchen mit dem PWD-Tester ermittelt und stellen die Dichteabhängigkeit von C_f , v_f und a_f dar. Bei den Triaxialversuchen wurden die k -Werte als Steigung der linearen Regressionskurve bestimmt.

Glaskugeln und Brechsand zeigten in allen Versuchen ähnliche k -Werte, während der natürliche Sand in den drainierten Versuchen deutlich höhere k -Werte aufwies.

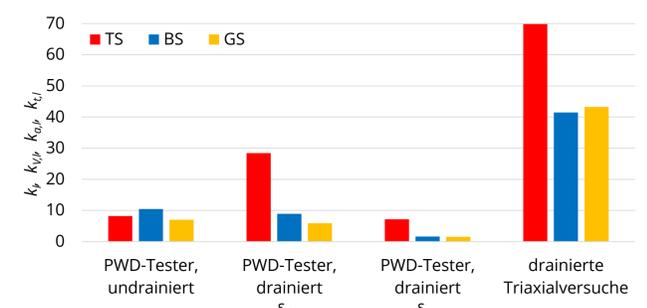


Abb. 5: Dichteabhängigkeiten in den durchgeführten Scherversuchen.

Zusammenfassung

In den durchgeführten Versuchen konnte eine Beziehung zwischen drainierten und undrainierten Bedingungen im PWD-Tester festgestellt werden. Die Auswertung der Rate des Porenwasserdruckaufbaus C_f sowie der volumetrischen Dehnungen v_f ergaben dabei qualitativ ähnliche Ergebnisse. Außerdem ergab sich für die durchgeführten drainierten Versuche für den natürlichen Sand eine deutlich größere Dichteabhängigkeit der Kennwerte v_f , a_f und t_f als für Brechsand und Glaskugeln.

In den drainierten PWD-Tester Versuchen ließ sich bezüglich der volumetrischen und axialen Dehnungen folgendes feststellen: Während sich natürlicher Sand und Glaskugeln teilweise ähnlich verhielten, zeigte Brechsand deutliche Unterschiede.

Projekt
Diplomarbeit

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

Wissenschaftliche Betreuung
Božana Bačić (M. Sc.)

Abgabe
10/2024