

Anisotropie von Tonen in Wechsellagen von Sand

(Anisotropy of clays with interlayers of sand)

Erik Ludwig



Einleitung

In der bodenmechanischen Untersuchungspraxis werden in der Regel keinerlei Richtungsabhängigkeiten (Anisotropien) der Stoffparameter untersucht. Dabei ist jedoch bekannt, dass Kennwerte wie die Wasserdurchlässigkeit oder auch die undrainierte Scherfestigkeit eine Anisotropie aufweisen können. In der vorliegenden Arbeit sollte dieser Effekt an einem stark geschichteten Material heraus gearbeitet werden. Dazu wurden aus ungestörten Bohrproben durch Ausstechen Teilproben gewonnen, welche dann in Ödometer und UU-Triaxialversuchen weiter analysiert werden konnten. Dabei variierten die Ausstechrichtungen relativ zur Bodenschichtung, um den Einfluss des Ausstechwinkels zu untersuchen. Die Proben zeigten sich als Tone und Schluffe mit variierendem Grobkornanteil (Abb. 1).

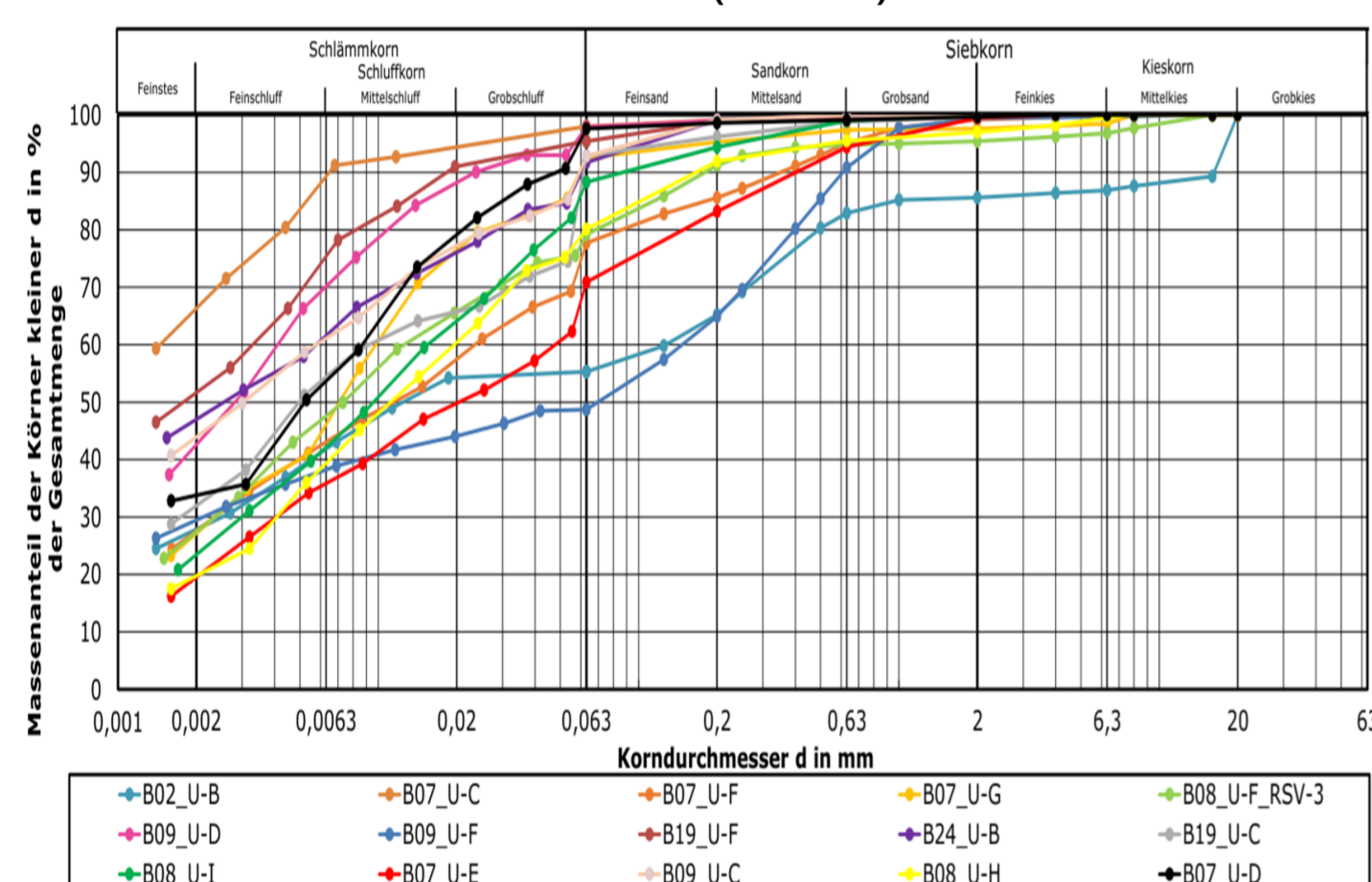


Abb. 1: Korngrößenverteilung aller Bohrkernproben

Das Probenmaterial zeichnete sich durch häufige Wechsel von Ton- und Sandlagen aus (Abb. 2). Es stellte sich als sehr inhomogen dar. Deshalb wurde eine Datenbank aller durchgeführten Versuche erarbeitet, um statistische Auswertungen erstellen zu können. Dabei sollten natürliche Schwankbreiten der bodenmechanischen Kennwerte des Homogenbereiches (Entnahmetiefen 18-22 m) aufgezeigt und untereinander verglichen werden.



Abb. 2: Schnitt durch eine Bohrprobe (h/b = 10/10 cm), Ton- (dunkel) und Sandlagen (hell) können gut unterschieden werden

Statistische Verteilungen

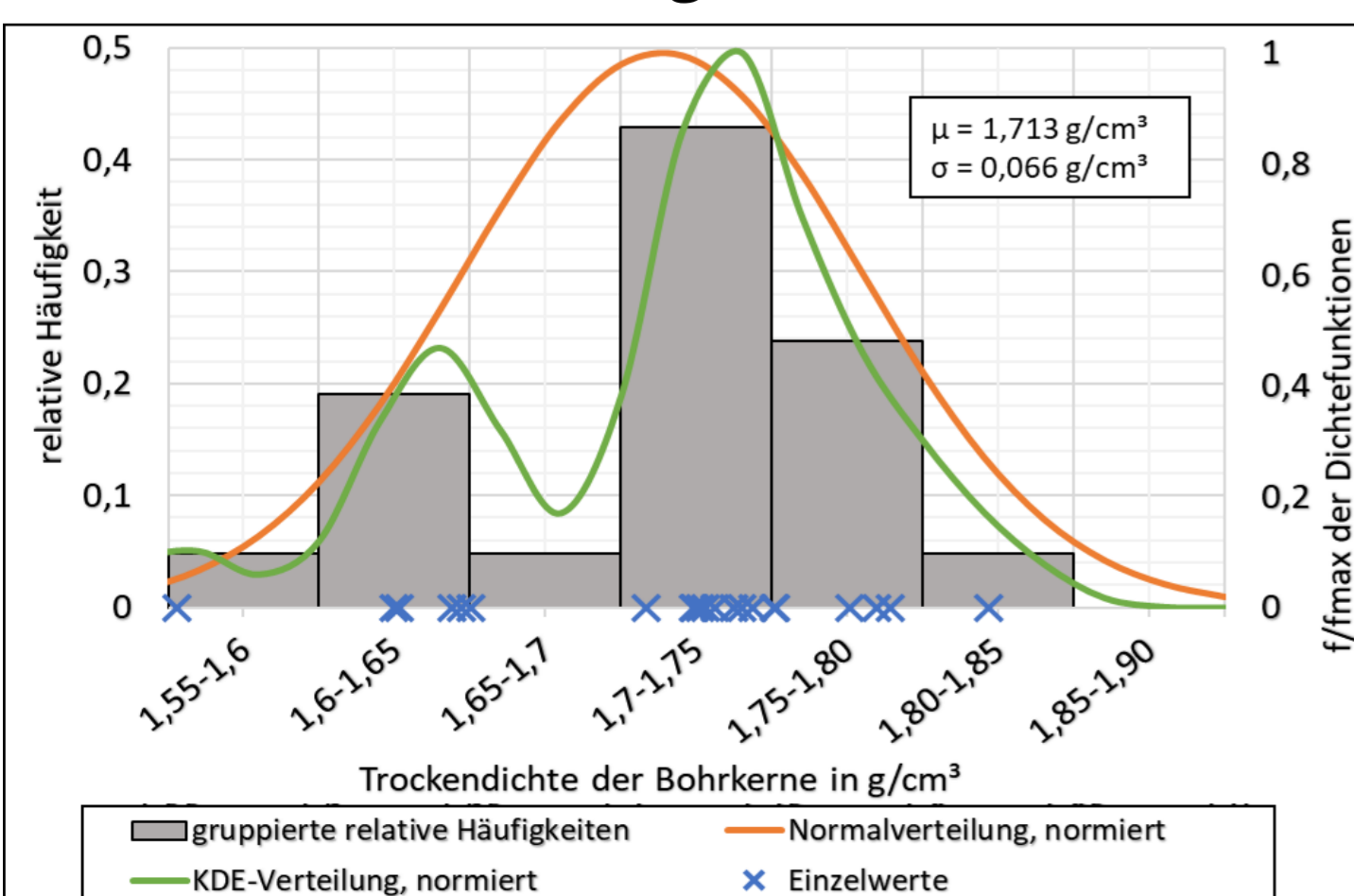


Abb. 3: Histogramm und normierte Verteilungsfunktionen am Beispiel der Trockendichte aller untersuchter Bohrkern (n = 21)

Aus den gesammelten Versuchsergebnissen wurden Histogramme generiert. Es wurden Normal- und KDE-Verteilungen (eine Art „geglättetes Histogramm“) verwendet, um den Verlauf der Histogramme nachzubilden. Dabei zeigten sich starke Unterschiede zwischen den Verteilungen (Abb. 3).

Ödometerversuche

Im Rahmen der Arbeit wurden Ödometerversuche an ungestörtem Material (Abb. 4: blau) mit unterschiedlichen Ausstechrichtungen (Abb. 4: v – vertikal, h – horizontal) durchgeführt. Weiterhin wurden aufbereite (Abb. 4: grün), sowie vorkonsolidierte Proben (Abb. 4: gelb) untersucht. Die Vorkonsolidierung erfolgte an aufbereitetem Material mit der in-situ Spannung. Weiterhin wurde ein Hochdrucködometerversuch (Abb. 4: rot) durchgeführt.

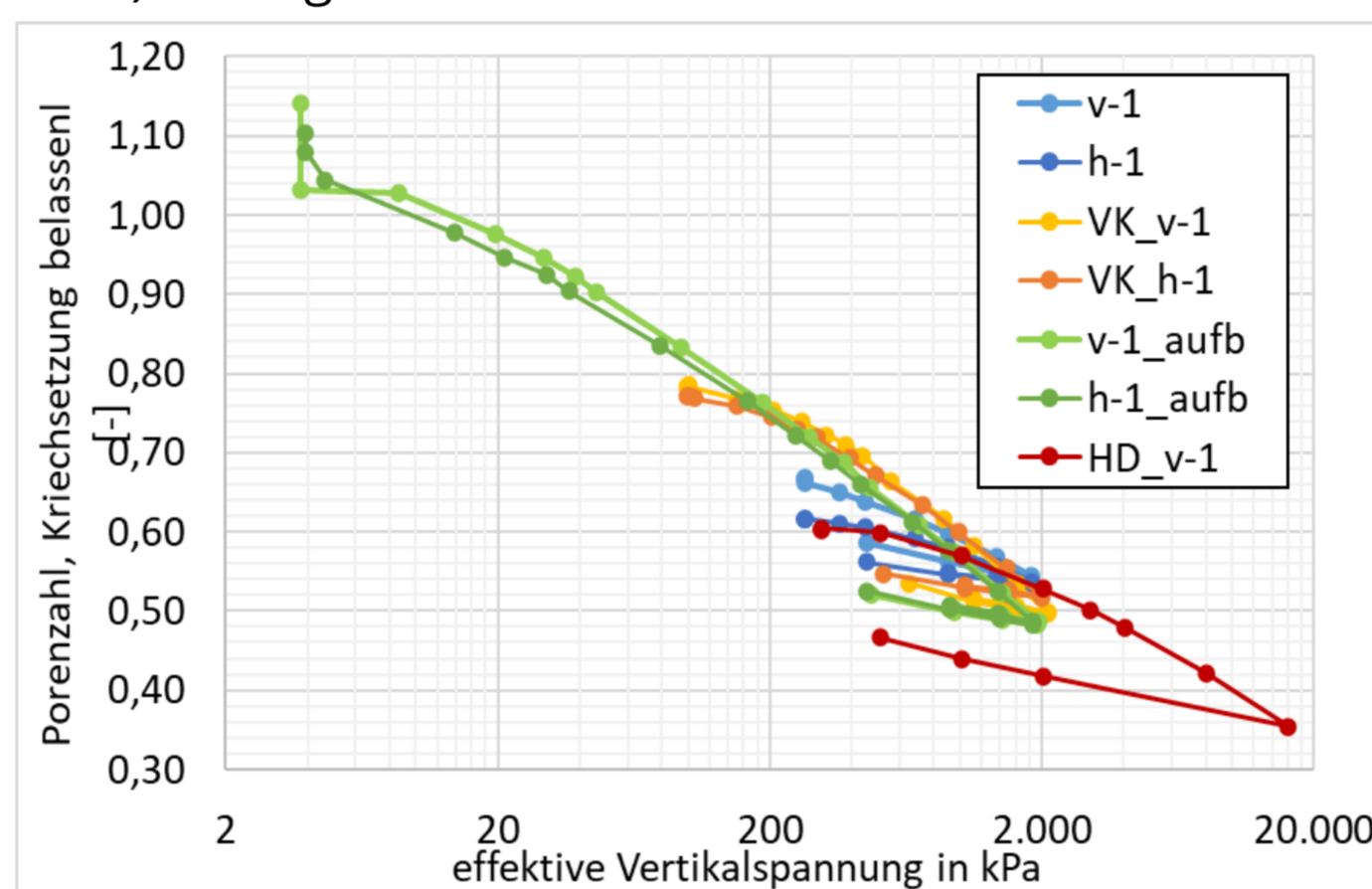


Abb. 4: Last-Porenzahl-Kurven ausgewählter Ödometerversuche an Bohrkern B07_U-G

Aus Abb. 4 lässt sich am ungestörten Material eine Überkonsolidation nachweisen. Dies zeigte sich vor allem an den unterschiedlichen Neigungen der Geraden im Belastungsbereich. Der Übergang von Über- zu Normalkonsolidation ist an den vorkonsolidierten Proben (gelb) gut nachvollziehbar. Die ungestört untersuchten Proben (blau) zeigten diesen klaren Übergang nicht, auch wenn eine Zunahme des Kurvenanstiegs bei hohen Spannungen (> 1000 kPa) beobachtet werden kann (blaue Linien). Jedoch wird nie eine Parallelität der Kurven erreicht. Es wird vermutet, dass die im Feld stattgefunden Bodenalterung (Langzeitkriechen und beginnende Zementierung der Körner) das Verhalten auch im normalkonsolidierten Bereich noch prägte.

Die Vorkonsolidierungsspannungen der ungestörten Proben wurden nach den Ödometerversuchen durch drei unterschiedliche Verfahren bestimmt (Abb. 5).

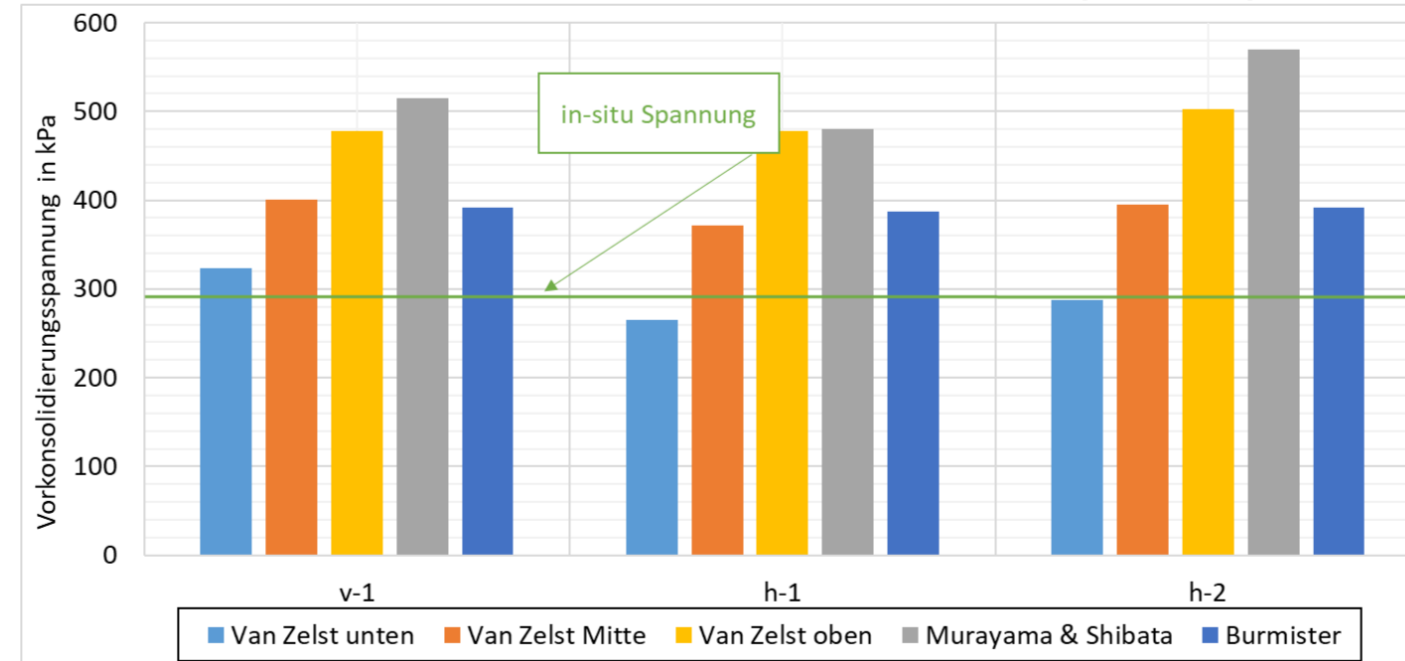


Abb. 5: ermittelte Vorkonsolidierungsspannungen - Probe B24_U-B
Die Ergebnisse zeigten sich in einem Bereich zwischen 300 und 500 kPa, was über der in-situ Spannung von 300 kPa liegt. Wahrscheinlich wurde der Boden bereits im Tertiär abgelagert und danach eiszeitlich überlagert.

Zur Herausarbeitung einer möglichen Anisotropie wurden die Ödometermodule der Bodenproben bei einer Vertikalspannung von 350 kPa untersucht (Abb. 6). Dabei fielen starke Streuungen der Versuchsergebnisse bei den Winkeln 0 und 90° auf. Dies ist ein Hinweis auf die große Bodeninhomogenität. Zustandsvariablen wie Trockendichte, Wassergehalt und Sättigungsgrad variieren von Probe zu Probe und haben damit einen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften.

Eine Abhängigkeit vom Ausstechwinkel kann hingegen nur bedingt beobachtet werden. Bei aktuellem Datenstand kann die Anisotropie somit weder bestätigt noch widerlegt werden.

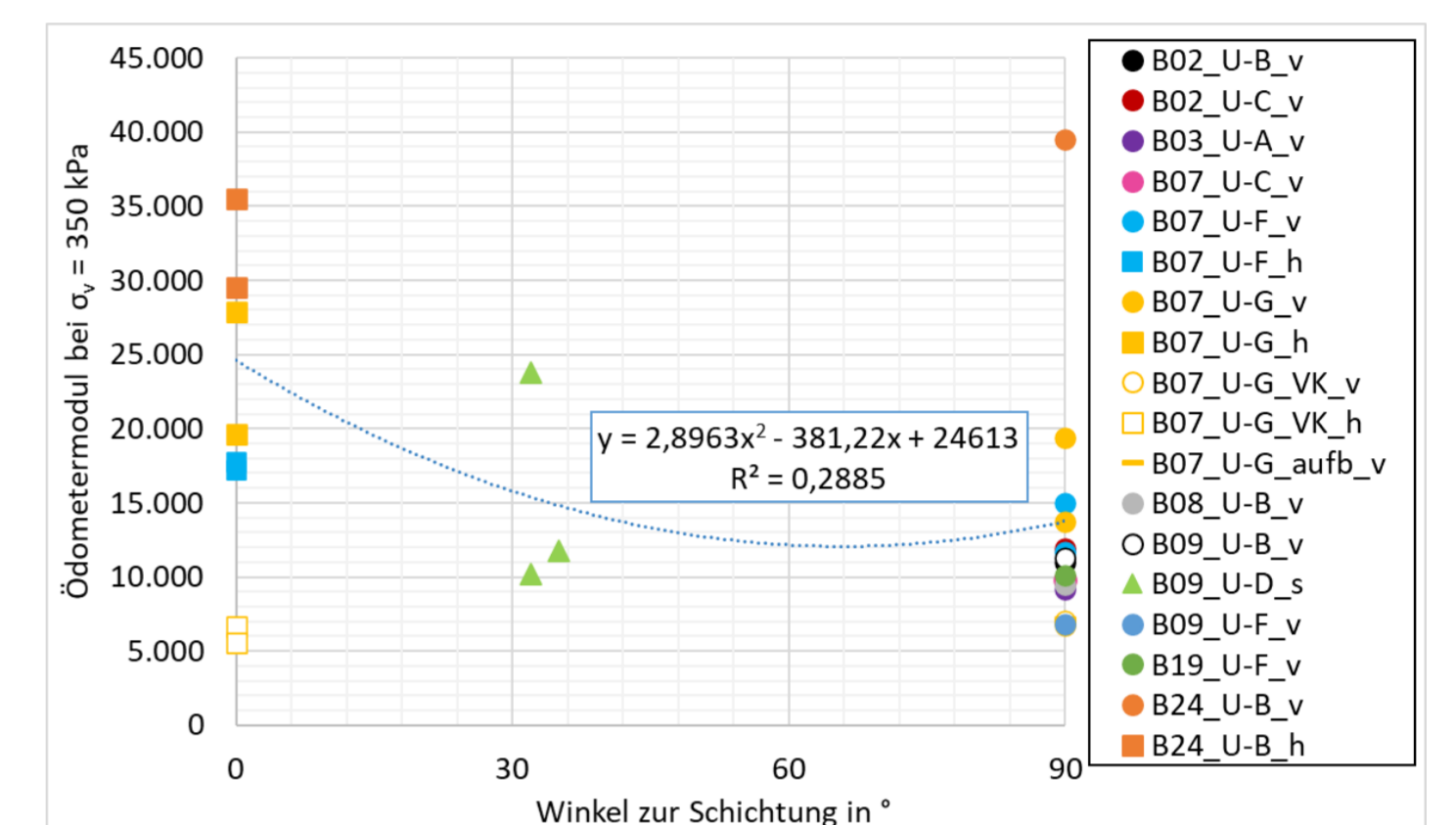


Abb. 5: Ödometermodul bei 350 kPa abhängig vom Ausstechwinkel

UU-Triaxialversuche

Die durchgeführten Triaxialversuche zeigten ein ähnliches Bild. Eine Anisotropie konnte nicht nachgewiesen werden.

Die wichtigsten Einflussparameter der undrainierten Scherfestigkeit zeigten sich als Trockendichte, Wassergehalt und Sättigungsgrad.

Bodeninhomogenität

Die natürlichen Schwankbreiten der Bodenparameter wurden mit dem Variationskoeffizienten bestimmt. Dieser ermittelt sich als Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert eines Kennwertes. Hohe Variationskoeffizienten stellen hohe Streubreiten eines Kennwertes dar.

Tab. 1: Variationskoeffizienten ausgewählter Kennwerte

Parameter	Stichprobenumfang	Variationskoeffizient [%]
Korndichte	15	0,458
Trockendichte an Bohrkernen	31	3,84
natürlicher Wassergehalt	107	17,27
undrainierte Scherfestigkeit	30	71,81

Die Variationskoeffizienten der untersuchten Kennwerte weichen stark voneinander ab (Tab. 1). Die Zustandsvariablen zeigen im Allgemeinen kleinere Schwankungen als die mechanischen (c_c , c_u) oder hydraulischen (k_f) Kennwerte.

Zusammenfassung

Die Arbeit konnte keine klaren Anisotropien im untersuchten Material aufzeigen. Der Boden stellte sich als zu inhomogen dar. So prägten vor allem die unterschiedlichen Dichten, Wassergehalte und die Überkonsolidation das Materialverhalten. Die gewonnenen Daten konnten in Histogramme umgesetzt werden. Es konnten jedoch aufgrund der hohen Versuchsanzahl die Variationskoeffizienten für viele Kennwerte für diesen Homogenbereich definiert werden. Diese können zur Abschätzung von Streubreiten von Kennwerten bei ähnlichem Boden (Sand-Ton Wechsellagerungen) verwendet werden.

Projekt

Diplomarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

Dezember 2024