

Die hydraulischen Eigenschaften von Böden

(The hydraulic Properties of Soils.)

Mireia Pally

Einleitung

Der Wasserzustand im Boden beeinflusst maßgeblich das mechanische Verhalten von Baugrund. Insbesondere in ungesättigten Böden führen Änderungen von Wassergehalt und Saugspannung zu Veränderungen von Tragfähigkeit, Verformung und Durchlässigkeit. Aktuelle klimatische Entwicklungen mit zunehmenden Wechseln zwischen Trocken- und Feuchtperioden verstärken diese Effekte zusätzlich.

Ziel der Arbeit ist die experimentelle Untersuchung der hydraulischen Eigenschaften von Böden, sowie der Zusammenhänge zwischen Wassergehalt, Saugspannung und mechanischem Verhalten. Hierzu wurden drei Bodenmaterialien mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung untersucht: ein gemischtes Material (A), dessen Sandfraktion (B) sowie dessen Feinkornfraktion (C). Die Untersuchungen erfolgten jeweils in lockerer (L) und dichter (D) Lagerung. Zur Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften wurden Durchlässigkeitsversuche zur Ermittlung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit sowie Tensiometerversuche zur Aufnahme der Wasserretentionskurven durchgeführt. Ergänzend wurde ein eigener Versuchsstand entwickelt, der es ermöglicht, den kapillaren Wasseraufstieg sowie die damit verbundenen Setzungen in einer Bodensäule zeitlich aufgelöst zu beobachten.

Steigodynamik - Entwicklung eines eigenen Versuchsstandes

Zur Untersuchung des kapillaren Wasseraufstiegs sowie der damit gekoppelten Volumenänderungen wurde ein eigener Versuchsstand entwickelt. Dieser basiert auf einer transparenten Bodensäule mit integriertem Filterstein und kontrollierter Wasserzufuhr, wodurch der kapillare Aufstieg des Wassers zeitlich aufgelöst beobachtet werden kann. Gleichzeitig wird die Setzung der Bodenoberfläche gemessen, sodass hydraulische und mechanische Prozesse direkt miteinander verknüpft werden können.

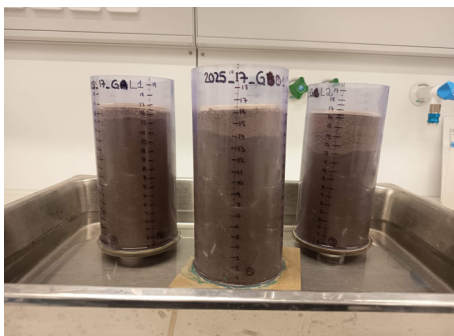


Abb. 1: Steighöhenversuch an locker gelagertem Bodenmaterial (A)

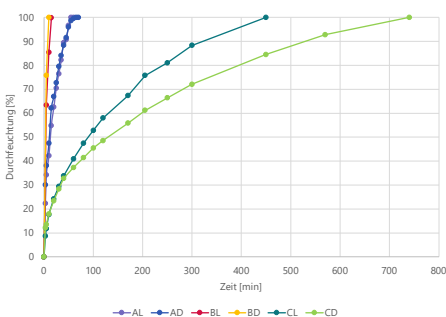


Abb. 2: Diagramm des Steighöhenversuchs an durchlässigem Filterstein

Die zeitliche Entwicklung der Durchfeuchtung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Materialien und Lagerungszuständen. Grobkörnige Materialien (B) erreichen bereits nach kurzer Zeit hohe Durchfeuchtungsgrade, was auf die hohe Durchlässigkeit und geringe kapillare Bindung zurückzuführen ist.

Gemischtes Korn (A) zeigt ein intermediäres Verhalten, bei dem sowohl die Geschwindigkeit der Durchfeuchtung zwischen den grob- und feinkörnigen Materialien liegt. Die Unterschiede zwischen lockerer und dichter Lagerung sind dabei moderat ausgeprägt.

Feinkörnige Materialien (C) weisen hingegen eine deutlich verlangsamte Durchfeuchtung auf. Dies ist auf die kleineren Porenradien zurückzuführen. Besonders auffällig ist, dass dichte Lagerungen eine langsamere Durchfeuchtung zeigen, während lockere Lagerungen schneller reagieren. Dies ist anders als bei den anderen Materialien, bei denen eine dichte Lagerung die Ausbildung von Fließwegen unterstützt. Bei so dichtem Material hemmt die Porengröße den Wassertransport.

Insgesamt verdeutlicht der Versuch den grundlegenden Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Kapillarität: Während grobkörnige Böden durch hohe Durchlässigkeit eine schnelle Wasserbewegung ermöglichen, bestimmen feinkörnige Böden durch kapillare Kräfte die langfristige Wasserverteilung im Boden.

Tensiometerversuche

Zur Bestimmung der Wasserretentionskurven wurden Tensiometerversuche sowohl im Labor mit dem HYPROP 2 als auch ergänzend mit Feldtensiometern durchgeführt. Das HYPROP-2-System basiert auf dem Verdunstungsverfahren, bei dem zwei Tensiometer in unterschiedlichen Höhen die Saugspannung während der Austrocknung erfassen und so die Wassergehalt-Saugspannungs-Beziehung bestimmen. Die Auswertung erfolgte mittels des Verfahrens nach van Genuchten.

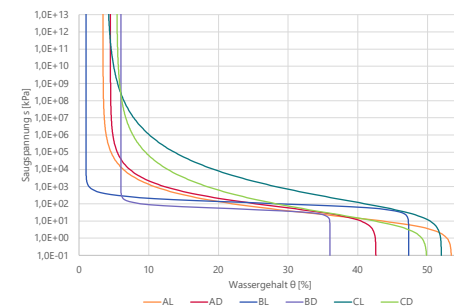


Abb. 3: Ermittelte Van-Genuchten-Kurven der verschiedenen Materialien

Feinkörnige Böden weisen höhere Saugspannungen bei gleichem Wassergehalt auf und können Wasser stärker binden als grobkörnige Materialien. Zudem zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Lagerungsdichte: Dichter gelagerte Proben entwickeln aufgrund kleinerer Porenradien höhere Saugspannungen.

Zur Einordnung der Laborergebnisse wurden ergänzend digitale und manuelle Feldtensiometermessungen an einer größeren Bodensäule durchgeführt, um die Übertragbarkeit der im Labor bestimmten Retentionskurven auf größere Flächen zu bewerten.

Die Messungen zeigten, dass die mit dem HYPROP 2 ermittelten Zusammenhänge grundsätzlich bestätigt werden, insbesondere hinsichtlich der grundsätzlich auftretenden Phasen einer Tensiometermessung. Gleichzeitig traten im Feld zeitliche Verzögerungen im Messverlauf auf. Dies verdeutlicht, dass Retentionskurven zwar eine geeignete Beschreibung des Wasserzustands liefern, jedoch nur eingeschränkt direkt auf komplexe Feldbedingungen übertragen werden können.

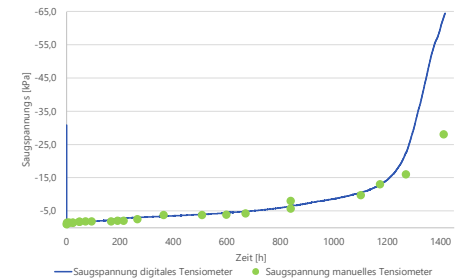


Abb. 4: Vergleich von digitalem und manuellem Feldtensiometer an locker gelagertem Sandmaterial B

Durchlässigkeitsversuche

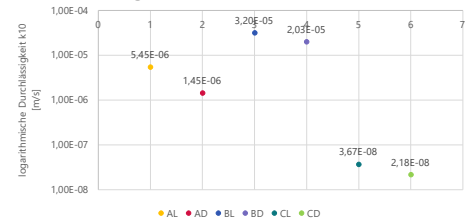


Abb. 5: Ermittelte Durchlässigkeiten der Materialien und Lagerungen.

Die Durchlässigkeitsversuche an vollständig gesättigtem Material zeigen, dass die hydraulische Leitfähigkeit maßgeblich von Korngrößenverteilung und Lagerungsdichte beeinflusst wird. Grobkörnige Materialien weisen deutlich höhere Durchlässigkeiten auf als feinkörnige Böden, während eine dichtere Lagerung zu einer Reduktion führt.

Ein direkter Zusammenhang zwischen Retentions- oder Durchfeuchtungskurven lässt sich jedoch nicht herstellen, da gesättigte Böden grundsätzlich durchlässiger sind als teilgesättigte und eine Durchfeuchtung schneller abläuft als eine Austrocknung. Dennoch liefern die Durchlässigkeiten aufgrund ihrer Abhängigkeit von Korn- und Porengröße sinnvolle Richtwerte zur Einordnung der Böden im Vergleich zu den anderen Versuchen.

Ergebnisse

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass hydraulische Eigenschaften von Böden wesentlich durch Korngrößenverteilung und Lagerungsdichte bestimmt werden. Während die Retentionskurven den Wasserzustand im Boden beschreiben, ermöglicht der Steighöhenversuch eine direkte Beobachtung des kapillaren Wassertransports und der damit verbundenen mechanischen Reaktionen. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass kapillare Prozesse zu messbaren Setzungen führen und somit eine direkte Kopplung zwischen hydraulischem und mechanischem Verhalten besteht. Die Durchlässigkeit bestimmt dabei vor allem die Geschwindigkeit des Wassertransports, während Retention und Kapillarität die Wasserbindung und Verteilung im Boden kontrollieren. Der entwickelte Steighöhenversuch stellt somit eine geeignete Methode dar, um diese gekoppelten Prozesse experimentell zu erfassen und liefert einen wichtigen Beitrag zum Verständnis des Verhaltens ungesättigter Böden.

Projekt

Projektarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Sebastian Ullmann, TU Dresden

Abgabe

März 2026