

Eigenschaften teilgesättigter Böden

(Properties of partly saturated soils)

Erik Ludwig

Einleitung

Teilgesättigte Böden spielen in der geotechnischen Nachweisführung eine untergeordnete Rolle. Allerdings sind ein Großteil der in Mitteleuropa in-situ anzutreffenden Böden teilgesättigt. Die Bodenart zeichnet sich durch ein gleichzeitiges Vorhandensein von Luft und Wasser im Porenraum aus. Weiterhin ist eine sich ausbildende Saugspannung ψ charakteristisch, welche unter anderem für die Ausbildung einer kapillaren Steighöhe verantwortlich ist. Die Beziehung zwischen beiden Größen, die sogenannte Bodenwasserspannungskurve, ist nicht-linear und maßgeblich vom Korndurchmesser abhängig. Eine feinere Porenstruktur begünstigt dabei die Ausbildung hoher Saugspannungen, da der effektiv wirkende Kapillardurchmesser kleiner ist. In dieser Arbeit soll daher an verschiedenen Versuchsböden eine Bodenwasserspannungskurve aufgestellt werden. Weiterhin soll der Einfluss der Lagerungsdichte auf den Verlauf dieser Kurven untersucht werden. Zur Verfügung standen zwei enggestufte Sande und ein Sand-Schluff-Gemisch, siehe Abbildung 1.

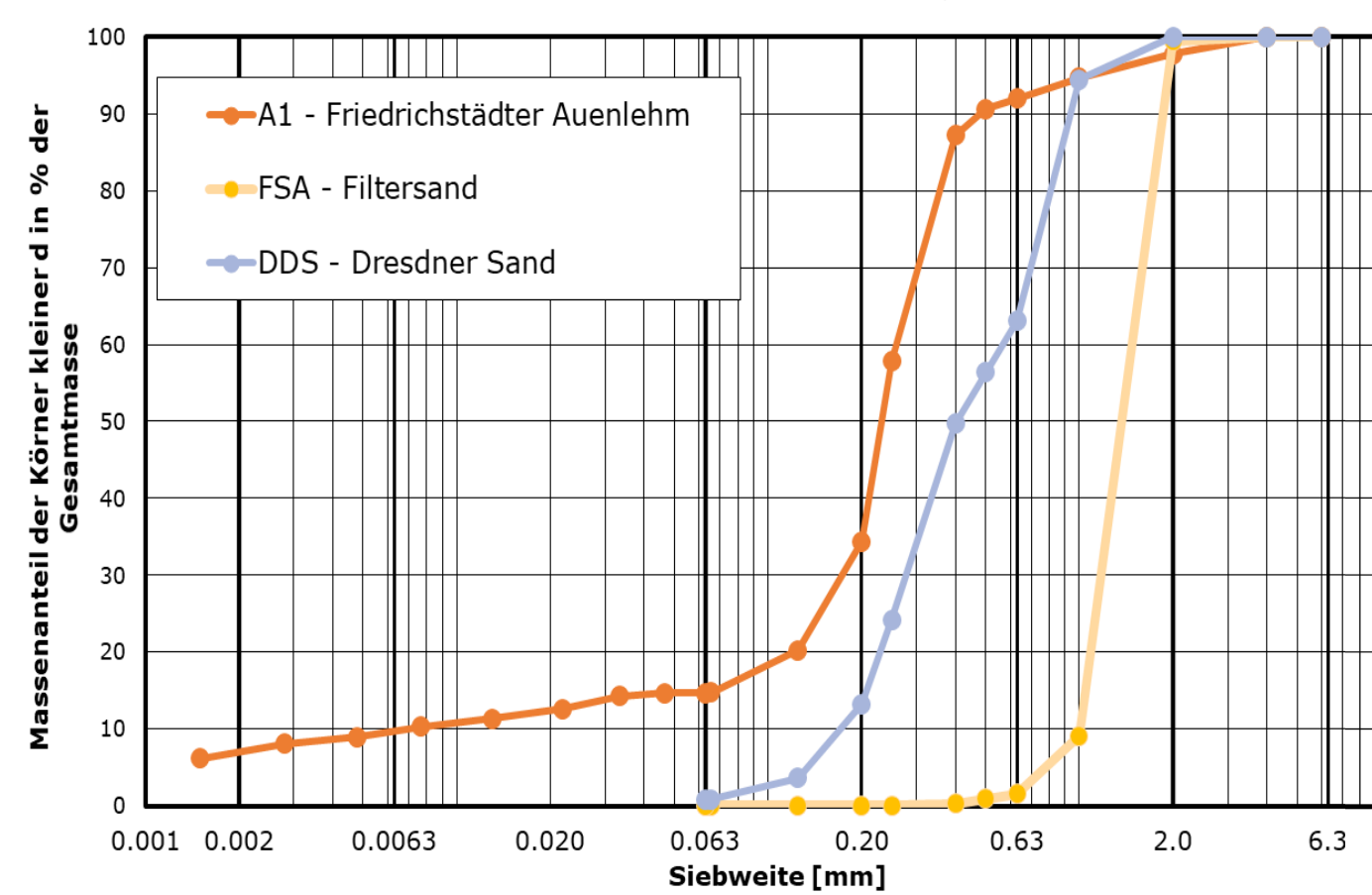


Abb. 1: Korngrößenverteilung der Versuchsböden

Tensiometerversuche

Der Tensiometerversuch ist ein Austrocknungsversuch, welcher neben dem Probenwassergehalt gleichzeitig die auftretenden Saugspannungen dokumentiert. Er wurde mit dem METER Hyprop 2 durchgeführt. Experimente wurden an allen Materialien bei einer lockeren und einer dichten Lagerung vorgenommen. Die Ergebnisse wurden aufbereitet, um genaue Aussagen über Saugspannungen, Wassergehalt, Volumenänderung und Verdunstungsverhalten zu erhalten. Anschließend konnten mit dem Rechenmodell nach van-Genuchten die Resultate approximiert werden. Die Beziehung ist dabei vom voll gesättigten Wassergehalt (θ_s), residuellem Wassergehalt (θ_r), sowie drei empirischen Formparametern (α , m , n) abhängig.

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m}$$

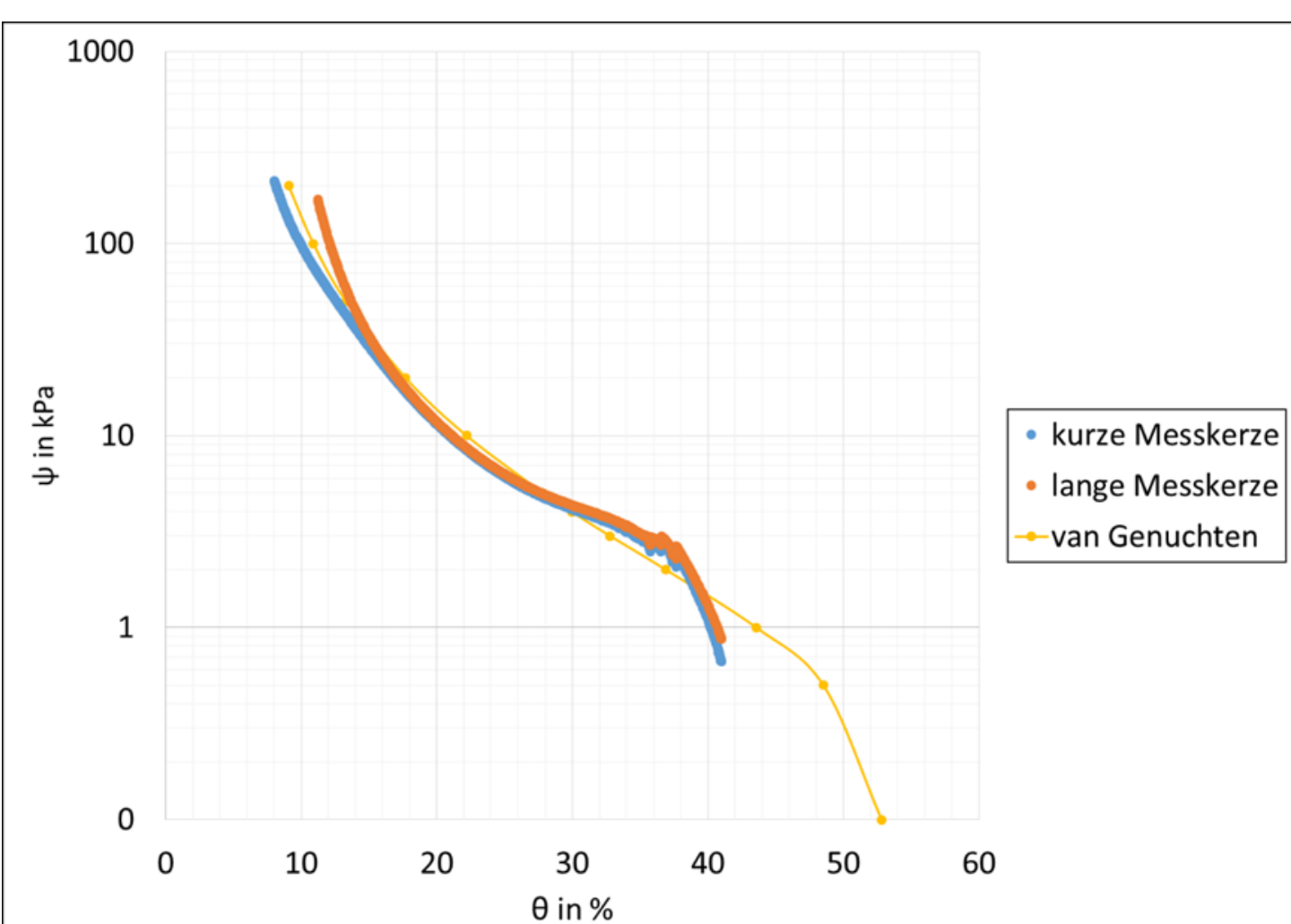


Abb. 2: Saugspannungs-Wassergehalts-Beziehung sowie van-Genuchten Kurven an einem locker gelagerten A1-Boden

Tabelle 1: Parameter der approximierten van-Genuchten-Funktion

	DDS, mittel dicht	DDS, dicht	FSA, locker	FSA, dicht	A1, sehr locker	A1, sehr dicht
l_D	0,45	0,75	0,23	0,68	0,11	0,85
θ_s	38,79	35,38	58,97	41,53	53,44	42,00
θ_r	1,59	1,53	1,42	1,76	3,44	7,26
α	0,62	0,40	3,50	1,90	1,10	0,27
m	0,63	0,71	0,63	0,73	0,29	0,50
n	2,7	3,4	2,7	3,7	1,4	2,0

Ein Vergleich der Bodenwasserspannungskurven der einzelnen Böden ist in Abb. 3 dargestellt.

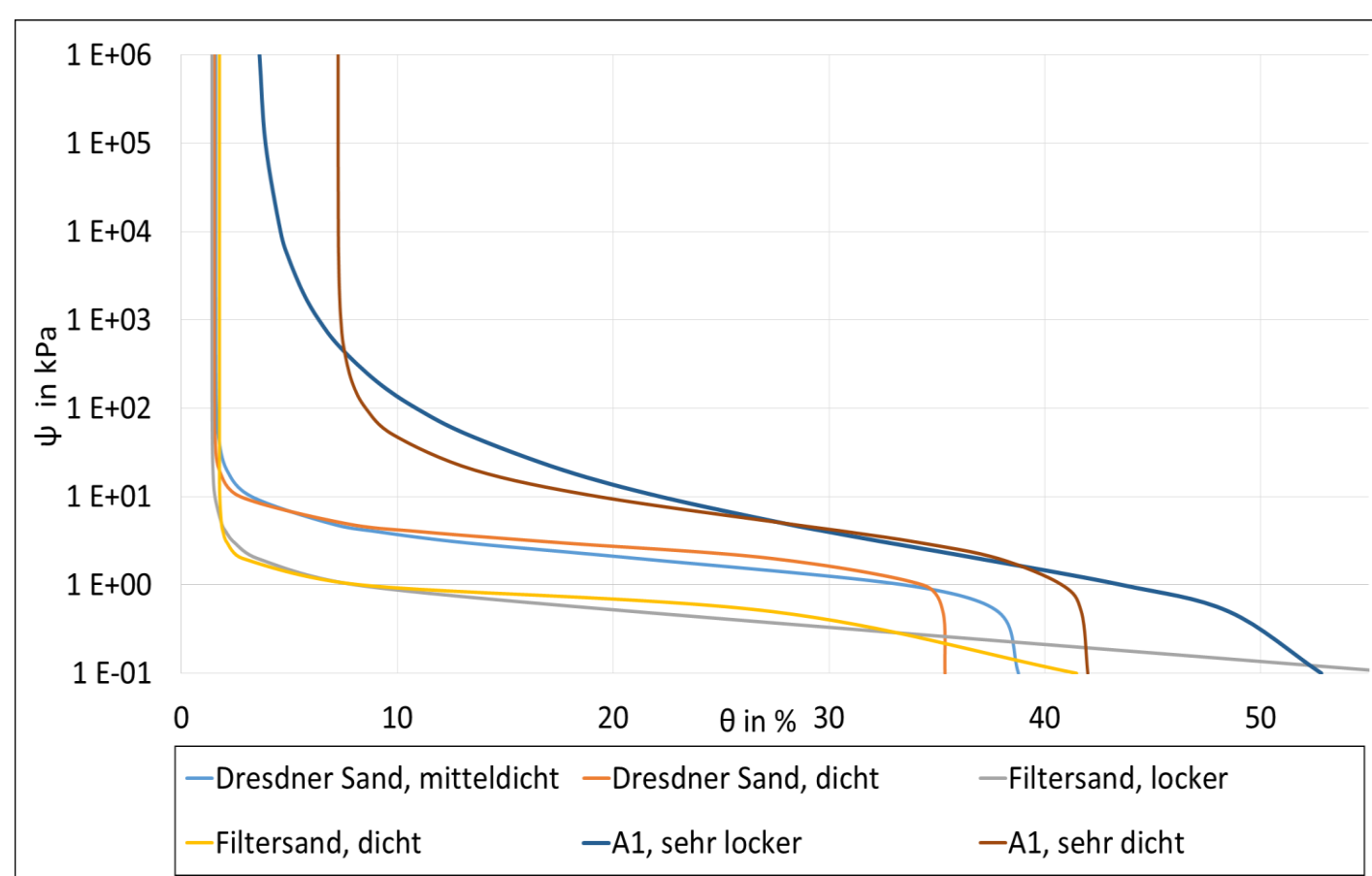


Abb. 3: van-Genuchten-Kurven der erhaltenen Messergebnisse

Die erhaltenen Messergebnisse konnten mit der Literatur verglichen werden und zeigten gute Übereinstimmungen. Der Einfluss der Korngrößenverteilung in Verbindung mit der Ungleichförmigkeit des Materials stellt sich gut sichtbar dar.

Allerdings hat die Lagerungsbedingung am Anfang einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Messkurven. So zeigen die Kurven eines Materials einen sehr ähnlichen Verlauf. Ursächlich dafür waren die auftretenden Saugspannungen, welche die Bodenmatrix verdichteten. Sie wirkten dabei wie zusätzliche Kornnormalspannungen. So erhöhten sich die effektiven Spannungen. Die Lagerungsbedingungen glichen sich in der Folge stark an, wodurch ähnliches Bodenverhalten in beiden Versuchen eines Bodenmaterials festgestellt wurde.

Großversuche

Saugspannungs-Wassergehalts-Beziehungen wurden auch in größerem Maßstab untersucht. Dazu wurden TDR-Messgeräte zur Erfassung des Bodenwassergehaltes eingesetzt. Diese messen die veränderte elektrische Impulslaufzeit, welche sich durch eine unterschiedliche Leitfähigkeit (Dielektrizität) des Materials bei verschiedenen Wassergehalten ergibt. Es handelte sich bei den Geräten um ein IMKO TIME Pico 32, das METER Teros 12 und da METER Teros 54.

Das Verfahren bedarf einer Kalibrierung für Bodenmaterialien. Die erhaltenen Kalibrierfunktionen dienten zur Auswertung des Großversuches. Die Bodendichte wurde dabei konstant gehalten.

Der Einsatz der TDR-Geräte ermöglichte es Wassergehaltsänderungen während des Versuches zu messen. Es fiel eine starke Abnahme der Wassergehalte mit der Zeit auf, vgl. Abb. 4. Dies ist auf Verdunstungen an der Probenoberfläche zurückzuführen. Auftretende Kapillarspannungen sogen das Wasser nach oben. Dabei wurde vor allem den unteren Bodenschichten eine große Menge Wasser entzogen.

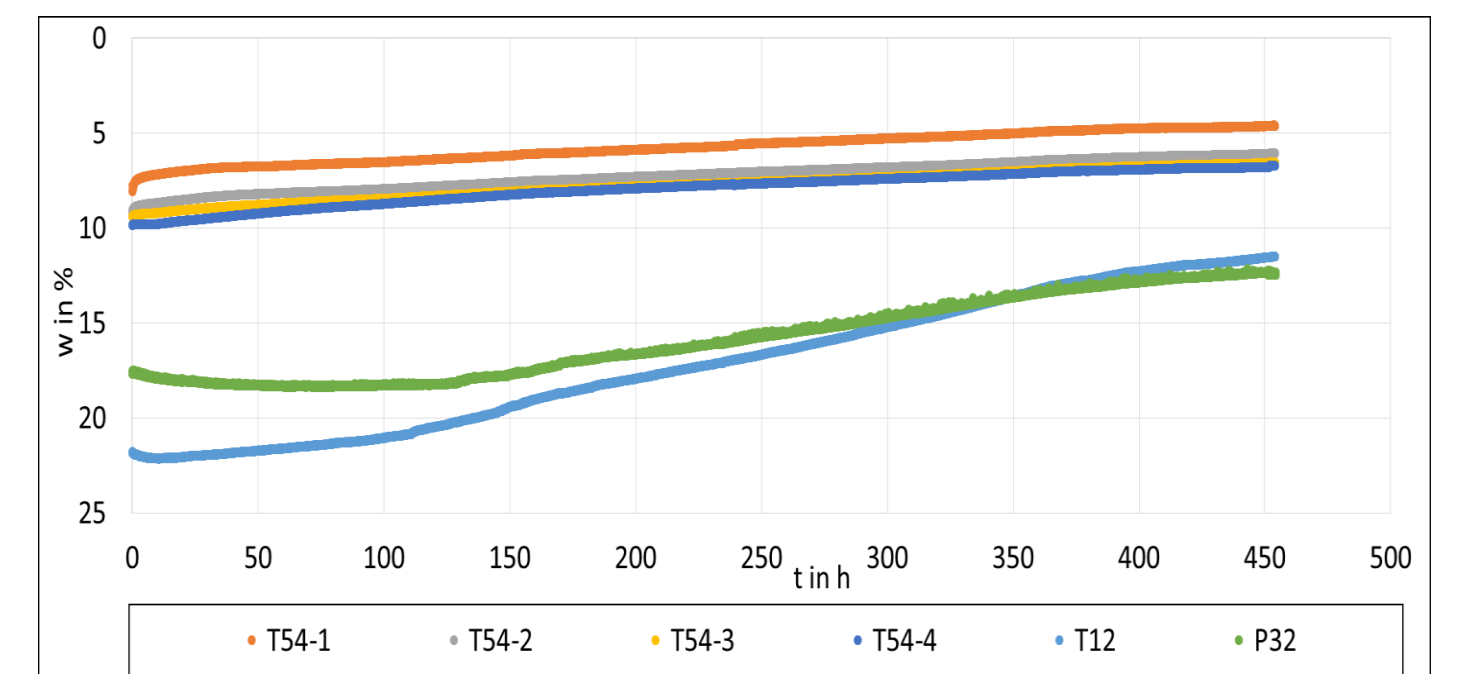


Abb. 5: Verlauf der Wassergehalte im Großversuch Dresdner Sand Die Höhen über Behälterboden sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Einbauhöhe der Geräte über Behälterboden im Großversuch Dresdner Sand

Gerät	T54-1	T54-2	T54-3	T54-4	T12	P32
Höhe [cm]	28,0	24,5	18,0	15,5	6,5	6,5

Die Bodenoberfläche lag dabei auf 30 cm Höhe.

Am Ende der Versuche wurden in verschiedenen Höhen Wassergehaltsproben genommen, um ein Bild von der Wasserverteilung im Experiment zu erhalten. Alle Böden zeigten eine Zunahme des Wassergehalts mit der Tiefe. Dabei zeigten sich starke Unterschiede zwischen den Materialien, welche wiederum auf die stark unterschiedlichen Korndurchmesser zurückzuführen waren. Die Struktur des Filtersandes war sogar so grob, dass sich nicht anhaftendes Wasser am Boden des Behälters sammelte, vergleiche blaue Kurve in Abb. 5.

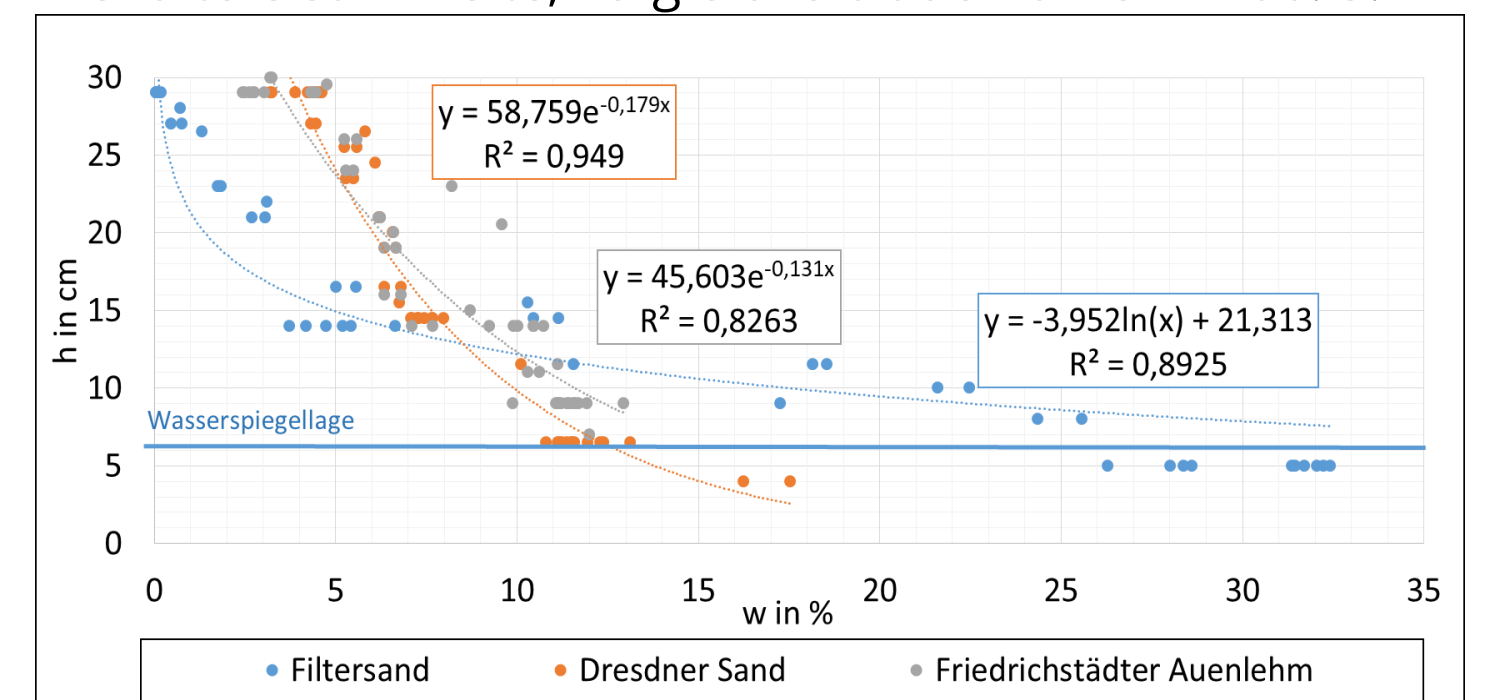


Abb. 6: Wassergehaltsprofile am Ende der Großversuche über die Höhe über Behälterboden

Die Porenstruktur der beiden „feineren“ Böden konnte das Wasser gut halten. Die Wasserverteilung stellte sich steiler dar. Selbst an der Oberfläche ist noch feuchtes Material zu finden. Die deutet auf die Ausbildung von Kapillareffekten hin, welche Wasser aus unteren Bodenschichten an die Oberfläche ziehen konnten, wo dieses verdunstete.

Zusammenfassung

Es konnte bestätigt werden, dass die Saugspannung die charakteristische Größe zur Beschreibung eines teilgesättigten Bodens ist. Korngrößenverteilung und Gleichförmigkeit beeinflussen ihre Ausbildung maßgeblich. Bei Austrocknung der Bodenproben wurde eine starke Zunahme der Saugspannungen beobachtet. Die Bodenmatrix verdichtete sich dabei signifikant. Anfängliche Lagerungsdichten sind allerdings zur Beurteilung der auftretenden Saugspannungen nur von geringer Wichtigkeit, da die Bodenverdichtung schnell zu sehr ähnlichen Lagerungsbedingungen in der Bodenmatrix führt.

Projekt
Projektarbeit

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

Wissenschaftliche Betreuung
Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe
Februar 2024