

Bestimmung der effektiven Schereigenschaften im Labor (Determination of the effective shear properties using laboratory devices)

Sophie Heiland



Einleitung

Innerhalb dieser Studienarbeit wurde das effektive Scherverhalten von zwei unterschiedlichen Böden und Zuständen untersucht. Für die Untersuchung wurden Rahmenscher- und Triaxialversuche an aufbereiteten Proben und unter verschiedenen Spannungsbedingungen durchgeführt und daraus die Coulombsche Grenzgerade ermittelt. Die Ergebnisse zeigen ein unterschiedliches Scherverhalten der Böden, in Abhängigkeit der Bodenart und des Bodenzustands. Zudem wurden Grenzen und Probleme der Versuchsdurchführung und der Geräte aufgedeckt.

Versuchsböden und untersuchte Zustände

Der erste Boden ist ein grobkörniger Filtersand, dessen Zustand sich über die maximale und minimale Lagerungsdichte definiert. Demnach wurde das Scherverhalten an lockeren und an sehr dichten Proben untersucht.

Der zweite Boden ist ein feinkörniger technischer Kaolin, dessen Zustand sich über die Bodenkonsistenz ergibt. Die Versuche erfolgten an sehr weichen und an festen, normalkonsolidierten Proben. Dafür wurde der Boden zu einer Paste aufbereitet und unter sehr kleinen und hohen Spannungen vorkonsolidiert. Die ermittelten Eigenschaften beider Böden fasst Tab.1 zusammen.

Tab. 1: Eigenschaften der Versuchsböden

Filtersand (FS)		Technischer Kaolin (TK)	
$\rho_{d,min}$	1,380 g/cm ³	w_L	61,0 %
$\rho_{d,max}$	1,613 g/cm ³	w_P	36,7 %
Schüttwinkel ϕ	33,8°	I_P	24,3 %
Benennung und Bezeichnung	msa' CSa, Sand enggestuft (SE)	Benennung und Bezeichnung	cl* Si, Schluff ausgeprägt plastisch (UA)

Versuchsgeräte

Die verwendeten Versuchsgeräte sind schematisch in Abb.1 dargestellt.

Rahmenscherversuch (RSV)

Im RSV befindet sich die Bodenprobe in einer Scherbox, die in der Mitte in zwei separate Rahmen unterteilt ist. Die Rahmen sind starr und verhindern damit eine Querdehnung. Über Massestücke wird eine vertikale Normalkraft auf die Probe aufgebracht. Abscheren erfolgt unter einer konstanten Schergeschwindigkeit, indem sich der untere Rahmen gegen den Oberen bewegt. Dadurch entsteht eine erzwungene Scherfläche, deren Spannungen sich direkt aus den gemessenen Kräften ergeben.

Eine große Fehlerquelle im RSV ist der Einfluss der Seitenreibung, welcher zu einer falschen Einschätzung der Normalspannung führen kann. Dieser Einfluss korreliert mit dem Scherspalt zwischen den beiden Scherrahmen. Zur Untersuchung dieses Einflusses wurden mehrere RSV mit gleichen Bodenzuständen, aber mit unterschiedlichen Scherspaltöffnungen durchgeführt.

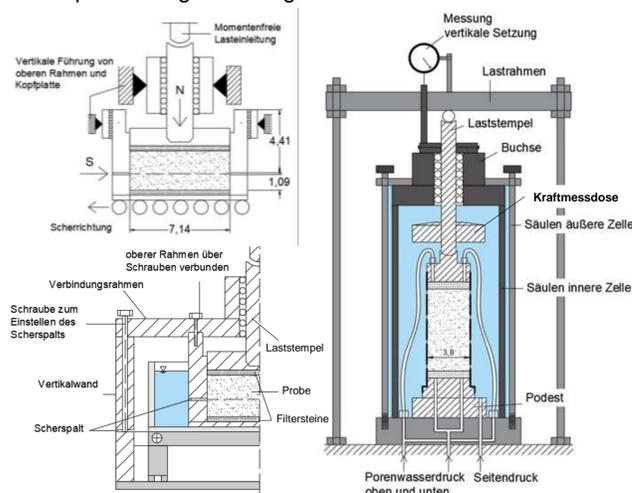


Abb. 1: Rahmenscherversuch (links) und triaxialer Kompressionsversuch als CU und CD-Versuche (rechts)

Triaxialversuch (TAV)

Im TAV befindet sich eine zylindrische Probe in einer mit Wasser gefüllten Triaxialzelle. Über das Wasser wird ein Seitendruck auf die Probe aufgebracht. Für eine volle Sättigung wird zudem meist ein Porenwasserdruck in der Probe erzeugt. Durch Aufbringung einer konstanten Axialdehnung wird die Probe bis zum Bruch abgescher. Dabei bildet sich eine freie Gleitfläche aus. Die Spannungen in dieser Fläche werden über das Bruchkriterium nach Mohr bestimmt.

Ergebnis Filtersand

Für den grobkörnigen Filtersand konnte festgestellt werden, dass das Dilatanzvermögen und die damit verbundene Peak-Scherfestigkeit mit abnehmender mittlerer Spannung p' und abnehmender Porenzahl e zunimmt. Resultierend ist die Beschreibung der Scherfestigkeit über eine Gerade nur für einen Sand gleicher Lagerung und in einem bestimmten Spannungsbereich gültig, da die beiden Scherparameter ϕ_p' und c' mit steigender Lagerungsdichte zunehmen.

Die Grenzgeraden des TAVs liegen nach Abb.2 (1) für beide Lagerungen unterhalb der Geraden des RSVs, da sich dort eine kleinere Kohäsion einstellt. Grund dafür ist, dass im TAV der Festigkeitszuwachs durch Dilatanz wesentlich geringer ist als im RSV. So ergibt sich nach Abb.2 (2) bei gleicher mittlerer Spannung p' eine Differenz zwischen den Ersatzreibungswinkeln¹ ϕ'^* von bis zu 4°. Woraus das geringere Dilatanzvermögen im TAV resultiert bleibt jedoch unbekannt.

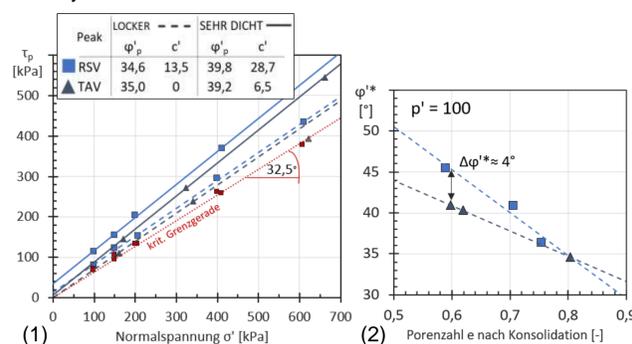


Abb. 2 (1) Grenzgeraden Filtersand; (2) erzeugte Ersatzreibungswinkel bei $p' = 100$ kPa

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Seitenreibung im RSV erst bei einem sehr großen Anfangsscherspalt eintritt. Durch starke Hebungen blockiert der obere Rahmen, sodass eine freie Vertikalbewegung nicht mehr gegeben ist. Dabei wurde beobachtet, dass die Scherfestigkeit um bis zu 10 % überschätzt wird.

Auf Grund von starker Ausbauchung in Probenmitte, erzeugt durch Endflächenreibung, ist der kritische Zustand im TAV nicht auswertbar. Der kritische Reibungswinkel mit 32,5° ergibt sich aus den Ergebnissen des RSVs. Dieser liegt leicht unterhalb des Schüttwinkels ϕ mit 33,8°.

Ergebnis technischer Kaolin

Die Peak-Scherfestigkeit des technischen Kaolins folgt über dem untersuchten Spannungsbereich einer Kurve, die mit größeren Spannungen abflacht. Die Beschreibung der Festigkeit über eine Gerade nach Coulomb ist nach Abb. 3 nur für kleinere Spannungsbereiche zutreffend. Innerhalb der Versuche mit den festen Proben machten sich Störfaktoren (z.B Materialverlust im RSV) bemerkbar, die zu einer Unterschätzung der Festigkeit veranlassen könnten.

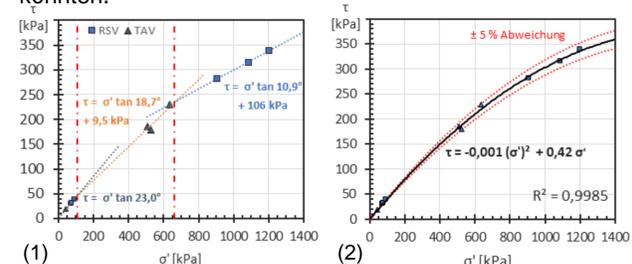


Abb. 3: Scherfestigkeit TK: (1) als Geraden in Bereichen; (2) als Kurve

Bei den Triaxialversuchen zeigte sich eine stark ausgeprägte Scherflächenbildung. Es wird vermutet, dass diese zu einem frühzeitigen Versagen mancher Proben führte. Zudem stellte sich heraus, dass die ödometrische Vorbelastung der festen Proben einen Einfluss auf die Festigkeit hat. Dabei versagte die Probe mit einer größeren Vorbelastung bei kleineren Scherspannungen, als die mit einer kleineren Vorbelastung. Es bleibt ungewiss, ob die ermittelten Festigkeiten aller festen Proben durch große Vorkonsolidationsspannungen beeinträchtigt wurden.

Beim RSV kam es während der Scherung zu starken Auspressungen von Probenmaterial aus dem Rahmen. Es kann nicht geklärt werden, inwieweit diese Störung die Scherfestigkeit beeinflusst. Da jedoch trotz unterschiedlicher Scherspaltweite sich immer ähnliche Festigkeiten ergeben, wird vermutet, dass der Scherspalt keine große Rolle spielt.

Untersuchung der Rahmenbewegung

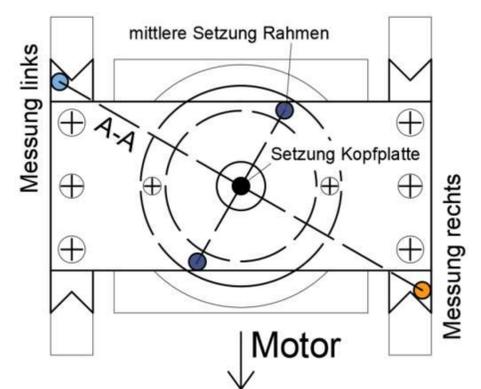


Abb. 4: Messeinrichtung zur Untersuchung der Rahmenbewegung (Draufsicht)

Des Weiteren wurde das Bewegungsverhalten im RSV zwischen dem oberen Scherrahmen und einer festen Probe des technischen Kaolins untersucht. Die Messung erfolgte über die Setzungen der Vertikalwände (Abb. 4). Dabei konnte festgestellt werden, dass mit dem Anheben der Wände direkte Setzungen auftreten, da sich ein Teil der Probe in den Scherspalt drückt. Zudem kommt es durch die Setzungen zu einer Verkippung des Verbindungsrahmens. Bei der anschließenden Scherung schließt sich der Scherspalt nicht komplett, da sich Probenmaterial zwischen den Rahmen befindet und kontinuierlich herausgedrückt wird. Die Verschiebung des Laststempels und des Scherrahmens sind nicht gleich, daher lassen sich allein aus der Messung der Laststempelbewegung keine Rückschlüsse auf den Scherspalt ziehen.

Zusammenfassung

Die ermittelte Scherfestigkeit der Böden entspricht einer gekrümmten Kurve. Beim Filtersand korreliert der Dilatanzwinkel mit der Peak-Scherfestigkeit. Die Inhomogenität der Triaxial-Proben des technischen Kaolins, welche durch die Vorkonsolidation verursacht wird, begünstigt eine Scherflächenbildung, die zu einer Scherung führt. Zudem führt im RSV die Auspressung von Bodenmaterial in der Scherspaltebene zu einer Störung. Insgesamt ist das Verhalten des Scherspalt im RSV nicht vollständig klar.

¹ Der Ersatzreibungswinkel ergibt sich aus dem maximalen Spannungsverhältnis $(\tau/\sigma)_{max}$ einer Probe

Projekt

· Diplomarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftlich Betreuung

Dipl.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

Juni 2020