

# Einfluss der Gerätetechnik bei Rahmenscherversuchen auf den Reibungswinkel und die Kohäsion

Marie-Karoline Standke

## Einleitung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Gerätetechnik auf die Scherparameter beim Rahmenscherversuch analysiert. Dazu standen zwei unterschiedliche Geräte der Firma Geomation GmbH

- Geomation ESD 5.2a
- Geomation ESD 10.5a

und vier Geräte der PERO Gesellschaft für Mess- und Steuertechnik mbH

- PERO I, II und IV
- PERO III mit zusätzlichen Normalkraftmessdosen zur Verfügung.

Es wurden 3 verschiedene Böden untersucht. Zum einen stand Indener Ton (TM) zur Verfügung. Zum anderen zwei Sande, Dresdener Sand (SE) und Filtersand (SE).

## Rahmenscherversuch

Der Rahmenscherversuch dient der Ermittlung der effektiven Scherparameter  $\phi'$  und  $c'$ . Dazu wird die Bodenprobe in eine Scherbox eingebaut. Diese besteht aus zwei einzelnen Scherrahmen, vgl. Abbildung 1. Die Bodenprobe wird durch eine Normalkraft  $N$  belastet. Während der Scherphase greift zusätzlich eine Horizontalkraft  $T$  am unteren Scherrahmen an. Dazu ist der untere Scherrahmen horizontal beweglich auf einem Schlitten gelagert. Der obere Scherrahmen hingegen ist in horizontaler Richtung festgehalten. Durch die zwei Scherrahmen ist die Scherzone bereits vorgegeben, weshalb diese Versuche auch als direkte Rahmenscherversuche bezeichnet werden.

Um die Böden mittels der Mohr - Coulombschen Grenzbedingung auswerten zu können, wurde eine Versuchsreihe von mindestens drei Teilversuchen unter unterschiedlichen Normalspannungen (100, 200, 400 und 1200 kPa) durchgeführt.

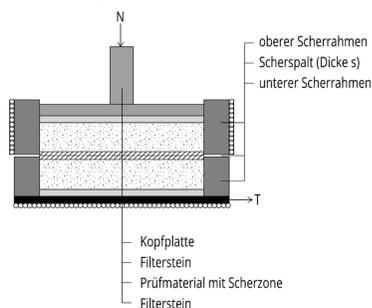


Abb. 1: Prinzipskizze eines Rahmenschergerätes

Die Ergebnisse des Rahmenscherversuches können durch Wandreibungseffekte beeinflusst werden. Dies tritt bei vertikal unbeweglichen Scherrahmen auf, wobei die Normalkraft in der Scherzone  $\sigma_{N2}$  über Reibungskräfte  $R$  erhöht bzw. verkleinert werden, s. Abb. 2. Damit kann die bekannte Normalkraft  $\sigma_{N1}$ , welche direkt unter der Kopfplatte wirkt, nicht mehr für die Bestimmung von  $\phi'$  und  $c'$  verwendet werden.

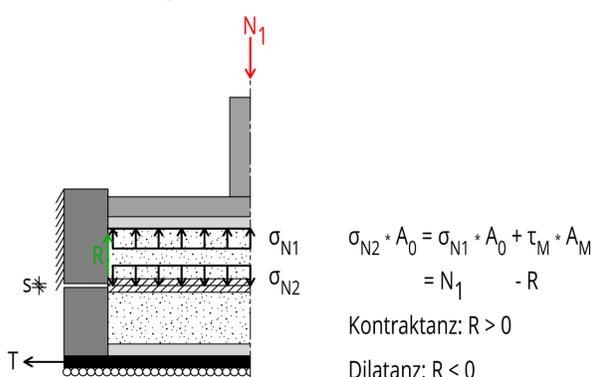


Abb. 2: Wandreibungseffekte bei kontraktantem und dilatantem Setzungsverhalten der Bodenprobe bei festem oberem Scherrahmen

## Gerätetypen

Beim PERO III Gerät wird der obere Scherrahmen in vertikaler Richtung immer festgehalten, wodurch Reibungskräfte zwischen Boden und Scherrahmenwand entstehen. Allerdings wird mit Normalkraftmessdosen die auf den oberen Scherrahmen wirkende Reibungskraft  $R$  gemessen und es kann die Normalspannung  $\sigma_{N2}$  korrigiert werden, vgl. Abb. 2.

Bei den Gerätetypen PERO I, II, und IV wird dem entgegengewirkt, in dem der obere Scherrahmen vertikal beweglich gelagert wird. Jedoch ist die Bewegungsfreiheit in beide Richtungen eingeschränkt. Sobald das Maximum erreicht wird, entstehen auch bei diesem Gerät Wandreibungskräfte, welche jedoch nicht wie beim PERO III Gerät gemessen werden.

Bei den beiden Geomationsgeräten hingegen ist lediglich die Bewegungsfreiheit des oberen Scherrahmens in Hebungsrichtung gegeben. In Setzungsrichtung werden die Wandreibungseffekte weder gemessen noch verhindert.

## Ergebnisse der RSV

Da sowohl Sand als auch normalkonsolidierter Ton in der Theorie keine Kohäsion aufweisen, wurde hier auf die Auswertung von  $c'$  verzichtet. In der Projektarbeit hingegen wurde die Kohäsion mitberücksichtigt.

### Filtersand

Der Filtersand wurde dicht in die Scherbox eingebaut. Dabei schwankte die bezogene Lagerungsdichte zwischen 74,9 % und 98,2 %. Die Versuche ergaben für den Filtersand einen Reibungswinkel von 47,3°. Die Ergebnisse der einzelnen Geräte lagen dabei sehr dicht beieinander und liegen zwischen 46,3° und 48,6°. Für die kritische Scherfestigkeit wurde im Mittel ein Winkel von 33,7° ermittelt ( $\Delta 2^\circ$ ). Im Vergleich ergab sich im Schüttkegelversuch ein Reibungswinkel von 33,2°.

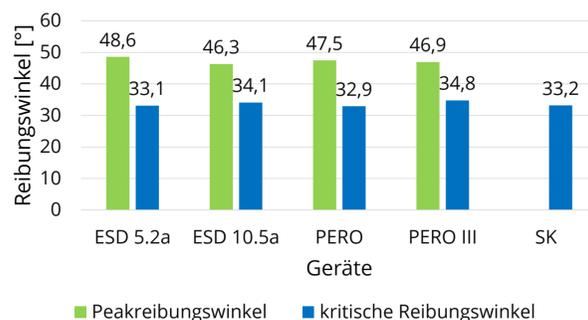


Abb. 3: Reibungswinkel des Filtersandes ( $c' = 0$  gesetzt)

### Dresdener Sand

Der Dresdener Sand wurde locker eingebaut, wobei die bezogene Lagerungsdichte  $I_D$  zwischen -3,4 % und 10,6 % schwankte. Bei locker gelagerten Böden stellt sich im Scherspannungs - Scherweg Diagramm eher ein Plateau als ein ausgeprägter Peak ein. Daher wurden in Abbildung 4 lediglich die kritischen Reibungswinkel dargestellt. Die Werte lagen dabei zwischen 31,9° und maximal 33,7° und ergaben im Mittel 32,5°. Der Schüttkegelversuch lag somit knapp 2° darunter.

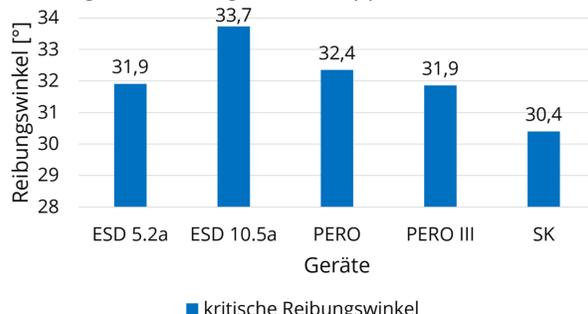


Abb. 4: Reibungswinkel des Dresdner Sandes ( $c' = 0$  gesetzt)

### Indener Ton

Die Peakreibungswinkel schwanken im Vergleich zu den kritischen Reibungswinkeln kaum. Denn dieser feinkörnige Boden verhielt sich ähnlich dem Dresdener Sand, wodurch sich im Scherspannungs - Scherweg - Diagramm ein Plateau ohne ausgeprägten Peak ergab.

Dabei wurde der Indener Ton mit einer Konsistenzzahl zwischen -0,49 und -0,73 eingebaut und konsolidiert.

Die Ergebnisse des Indener Tones wiesen eine deutlich höhere Abweichung zwischen den einzelnen Geräten auf. Die ermittelten Peakreibungswinkel liegen zwischen 21° und 24°. Die Abweichung der kritischen Reibungswinkel ist etwas höher und beträgt bis zu 4°. Da die kritischen Reibungswinkel zwischen 19° und 23° schwanken. Die Ursache ist, dass sich bei den großen Scherwegen des kritischen Zustandes, der Scherspalt wieder geschlossen hat. Im Peakzustand hingegen konnte anhand der Kopfplattenbewegung keine vollständige Schließung des Scherspalt beobachtet werden.

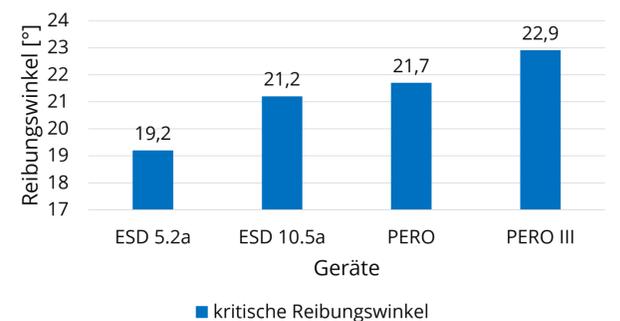


Abb. 5: ermittelte Reibungswinkel Indener Ton ( $c' = 0$  gesetzt)

## Zusammenfassung

Die 4 verwendeten Geräte zeigen beim sich dilatant verhaltenden Filtersand Ergebnisse die bis ca. 2° im Reibungswinkel ( $c' = 0$ ) variieren. Auch beim locker eingebauten Dresdener Sand ergaben sich für die vier Reibungswinkel Unterschiede bis zu 2°. Beim feinkörnigen Material Indener Ton konnte eine Differenz zwischen größtem und niedrigstem Reibungswinkel von fast 4° bestimmt werden.

Für die Sande zeigte sich, dass mit allen 4 Geräten ähnliche Ergebnisse ermittelt werden konnten. Die Differenzen können aus Streuungen im Einbauzustand herrühren. Denkbar wären aber auch Einflüsse aus der Maschinenteknik selbst (Eigenreibung, Kalibrierung, Kräfteerzeugung), die jedoch in dieser Arbeit nicht näher untersucht worden sind.

Vor allem an den Ergebnissen des Indener Tones kann der Wandreibungseffekt beobachtet werden. So erfährt der feinkörnige Boden große Setzungen, wodurch es zu einer Schließung des Scherspalt kommen kann. Hier ergibt das einzige Gerät, welches diesen Effekt in der Auswertung berücksichtigen kann (PERO III), auch einen höheren Reibungswinkel. Verallgemeinert zeigt dies, dass der Effekt der Wandreibung einen Einfluss haben kann, der insbesondere bei großen volumetrischen Verformungen in der Probe auch die effektiven Scherparameter beeinflusst.

**Projekt**  
Projektarbeit

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

**Wissenschaftliche Betreuung**  
Markus Uhlig, TU Dresden  
Matthias Pamler, Geomation GmbH

**Abgabe**  
Februar 2021