

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
Fakultät Bauingenieurwesen

**Bestimmung bodenmechanischer Parameter  
nach fortgeschrittenen Methoden**

Determination of mechanical soil parameters using  
advanced methods

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität  
Dresden  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs  
(Dr.-Ing.) eingereichte

**Dissertation**

Vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Erik Schwiteilo

Geb. am 7. November 1984 in Dresden

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Ivo Herle

Prof. Dr.-Ing. Jens Engel

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Wehr

Tag der Einreichung: 15.12. 2016

Tag der Verteidigung: 13.06. 2017

## Kurzfassung

In der geotechnischen Praxis wird das Bodenverhalten meist unzureichend beschrieben. Berechnungsparameter, wie z.B. Steifemodul  $E_s$  oder Reibungswinkel  $\varphi'$ , sind in ihrer Anwendung auf bestimmte Randbedingungen beschränkt. Eine gedankenlose Anwendung der Auswertelgorithmen kann daher zu einer erheblichen Fehleinschätzung des Materialverhaltens einschließlich der Festigkeit führen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine weitestgehend allgemeine Beschreibung einer Herangehensweise für Auswertung und Interpretation von mechanischen Versuchen an Böden zu ermöglichen. Dafür werden Parameter eingeführt und vorgestellt, die das Verhalten des Bodens zustandsunabhängig beschreiben, wobei der Bodenzustand durch die Spannung und die Dichte (Porenzahl  $e$ ) definiert ist.

Zu Beginn wird das typische Bodenverhalten und die Standardauswertung in Kompressions- und Scherversuchen beleuchtet. Es werden Ergebnisse von Scherversuchen an drei verschiedenen feinkörnigen Böden vorgestellt. Bei zwei der Auswertungen können die Scherparameter  $\varphi'$  und  $c'$  nicht eindeutig bestimmt werden.

Um eine Grundlage für die fortgeschrittene Auswertung zu schaffen, werden Referenzzustände eingeführt, welche beim Einschätzen des Bodenverhaltens hilfreich sind. Als Referenzzustände werden der normalkonsolidierte (nicht vorbelastete) Zustand und der kritische Zustand betrachtet. Die Betrachtung der Referenzzustände bringt den Vorteil, dass die genutzten Bodenparameter unabhängig von Ausgangsspannung und -dichte der untersuchten Proben sind. Weiterhin wird das prinzipielle Bodenverhalten in Relation zu den Referenzzuständen beschrieben.

Basierend auf den eingeführten Referenzzuständen wird ein Auswertekonzept vorgestellt. In diesem werden mit Hilfe von Spannungsnormierungen Einflüsse aus Spannung und Dichte auf die Versuchsergebnisse zusammengefasst. Die am Anfang beschriebenen Beispielauswertungen werden über das eingeführte Auswertekonzept näher betrachtet. Es können dabei Teilversuche identifiziert werden, welche ein abweichendes Materialverhalten zeigen und deshalb bei der Bestimmung der Scherkennwerte  $\varphi'$  und  $c'$  nicht mit berücksichtigt werden sollten. Anhand von vorgestellten Korrelationen zu Indexeigenschaften können die bestimmten Parameter auf Plausibilität überprüft werden.

Für die Bewertung von Scherversuchen werden Vorschläge für Bewertungskriterien, basierend auf dem zuvor beschriebenen Konzept, gegeben. Mit Hilfe der vorgeschlagenen Kriterien können einzelne Teilversuche identifiziert werden, welche bei der Bestimmung der Scherparameter  $\varphi'$  und  $c'$  nicht mit berücksichtigt werden sollten. Dies wird an einem der Beispielböden verdeutlicht.

Zuletzt sind mögliche Fehleinschätzungen des Bodenverhaltens bei der Auswertung von Laborversuchen beschrieben. Hier werden zunächst Einflüsse auf die Definition der Referenzzustände gezeigt. Dabei werden Abweichungen, welche sich bei der Bestimmung der Porenzahl ergeben, untersucht. Außerdem wird der Einfluss der Neigung der sich einstellenden Gleitfläche bei Versagen einer Probe im Triaxialversuch untersucht. Es konnten hier Unterschiede in der Neigung von  $15^\circ$  festgestellt werden. Daraus abgeleitet, ergeben sich Unterschiede in den Schubspannungen auf der Gleitfläche. Im letzten Abschnitt wird auf den Einfluss der Probenkonsolidation vor dem Abscheren im Triaxialversuch eingegangen. Durch unterschiedliche Konsolidationsabläufe ließen sich Abweichungen in der maximalen Deviatorspannung  $q_{max}$  feststellen.

## Summary

In geotechnical practice the diverse behaviour of soil is usually described inadequately. Furthermore parameters, e.g. the stiffness modulus  $E_s$  or the friction angle  $\varphi'$ , are limited in its application to certain boundary conditions. A thoughtless application of the evaluation algorithms lead therefore to considerable errors in the predicted material behaviour, including the strength.

The object of this work is to generate a general description of an approach for the interpretation of mechanical tests on soil. Its descriptive parameters should be designated independently from the state of the soil. The state of the soil is described by the stress and density (void ratio  $e$ ).

In the beginning the typical soil behaviour and standard evaluation in compression and shear tests are described. Results of shear tests on three different fine grained soils are presented. In two of the presented test evaluations. The shear parameter  $\varphi'$  and  $c'$  could not be defined properly with the standard methods.

To provide a basis for an advanced evaluation of the shear test, reference states were introduced. These can be helpful to assess the soil behaviour. One of the reference states is the normal consolidated (not preloaded) state. Another one is described as the critical state. An advantage of using the reference states is, that the used soil parameters are independent of stress and density. There over the soil behaviour in relation to the reference states is described in principle.

Based on the introduced reference states an evaluation concept is presented. In addition, it is described how standardizations can be used to combine the influence of stress and density on test results. The previously introduced soil tests are re-evaluated with the described concept. Tests can be identified which show a divergent soil behaviour and therefore should not be considered in the definition of the shear parameter  $\varphi'$  and  $c'$ .

To assess shear tests, evaluation criteria based on the described evaluation concept are presented. Within this criteria single tests can be identified which should not be considered during the definition of the shear parameter. The assessment is illustrated on one of the reference soils.

In the end possible misjudgements during the evaluation of laboratory test are presented. First, influences on the described reference states are illustrated. Deviations resulting from the determination of the void ratio are investigated. In addition, the influence of the inclination of the failure surface of a sample in the triaxial test is examined. Here, a deviation in the inclination up to  $15^\circ$  was recognised. This results in differing shear stresses on the sliding surface. Finally, influences of the sample consolidation during a triaxial test are described. Due to different consolidation processes deviations in the maximum shear stress  $q_{max}$  were also recognised.