

## Schwierigkeiten und Probleme bei der Bestimmung physikalischer Laborwerte in der Felsmechanik

von E. Werthmann\*

Der innere Reibungswinkel und die Kohäsion sind in der Festigkeitslehre sehr wichtige Kennwerte. So ist es unerlässlich, für Standsicherheitsberechnungen bei Dämmen, Böschungen und Tunnelbauten diese beiden Parameter zu kennen.

Die Grundlagen zur Bestimmung der Kohäsion und des Reibungswinkels im Labor wurden zu allererst in der Erdbaumechanik entwickelt, wobei das Triaxgerät (Abb. 1) zur Untersuchung von Lockergesteinen entwickelt worden ist. Erst später wurde dann auch der Reibungswinkel und die Kohäsion bei Festgesteinen (Fels) bestimmt.

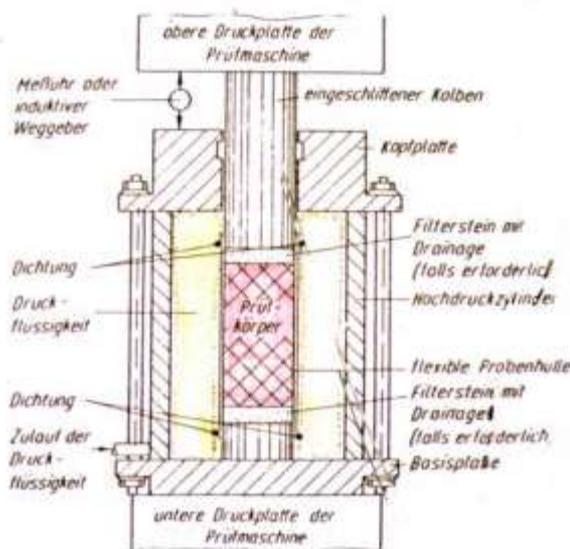


Abbildung 1: Triaxgerät

Allgemein ist die Bestimmung des Reibungswinkels und der Kohäsion im Erdbau mit dem Triaxgerät kein Problem, da in den allermeisten Fällen die Homogenität zwischen Natur und Laborproben gegeben ist. Dabei reichen in den allermeisten Fällen Triaxzellen mit einem Durchmesser von 100 mm aus, wobei Lockergesteine bis zu einem Größtkorn von 20 mm untersucht werden können. Bei größeren Lockergesteinen kann der Anteil über 20 mm abgetrennt werden, wobei dann die Werte, die sich aus dem Versuch ergeben, auf der sicheren Seite liegen.

Problematisch ist in den meisten Fällen die Bestimmung des inneren Reibungswinkels und der Kohäsion bei Gesteinsproben, da die Homogenitätsbedingung zwischen Natur und Probe nicht gegeben ist. Was nämlich beim Erdbau das Größtkorn ist, das ist in der Felsmechanik der Kluftkörper. Unter Kluftkörper versteht man jenen festigkeitshomogenen Gesteinsbereich, der durch das vorherrschende Kluftsystem begrenzt wird. Kluftkörper können im Fels oft sehr groß werden (von mehreren Dezimetern bis 1 Meter und mehr). Um gleiche Homogenitätsbedingungen zwischen Natur und Probe zu haben, müssten die Prüfkörper einen Durchmesser von 1 m oder mehr haben (Abb. 2).

\* Dr. Eckart WERTHMANN  
Leiter der TIWAG Baustoffprüf- und Überwachungsstelle  
A-6430 Ötztal/Bahnhof  
Gewerbestr. 4



*Abbildung 2: Homogenitätsbereich im Fels*

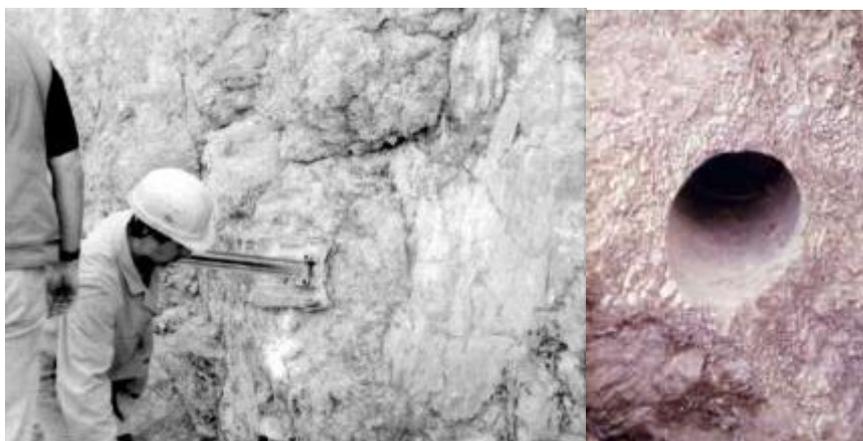
Die Gewinnung derartiger Probekörper ist nicht durchführbar. Nur sehr durchbewegte Gesteine wie Phyllite (Abb. 3), die Kluftkörper von einigen Millimetern bis Zentimetern haben oder Gesteine, welche keine merkbare plastische Verformung erlitten haben, können im Labor mit den üblichen Gesteinstriaxgeräten untersucht werden und diese Proben liefern dann auch wirklichkeitsnahe Ergebnisse.



*Abbildung 3: Phyllitgestein*

Um dennoch von Gesteinen mit größeren Kluftkörpern Rechenwerte zu erhalten, sollten bei derartigen Gesteinen vor allem Scherversuche an den ausgeprägtesten Kluftkörpern durchgeführt werden, da diese das schwächste Glied im Fels sind.

Derartige Klüfte treten sehr gut an Steinbrüchen zu Tage. Hier können mit Hilfe von gezielten Kernbohrungen senkrecht auf das Kluftsystem Bohrkernproben gewonnen werden (Abb. 4 und Abb. 5), welche die Kluft beinhalten, wobei Scherversuche mit verschiedenen Seitendrücken die Bestimmung der Schergeraden in der Kluft ermöglichen.



*Abbildung 4 und 5*

Mit der Bestimmung der Festigkeitseigenschaften des Klufkkörpers und der Erfassung der Scherfestigkeit in den maßgebenden Klüften ist dann eine ausreichende Bestimmung der Eigenschaften des gesamten untersuchten Felsbereiches gegeben. Durch die Bestimmung der Scherfestigkeiten und Kohäsion an Trennflächen (Klüften) kann auch die Standsicherheit von Gesteinsbereichen berechnet werden (Abb.6).

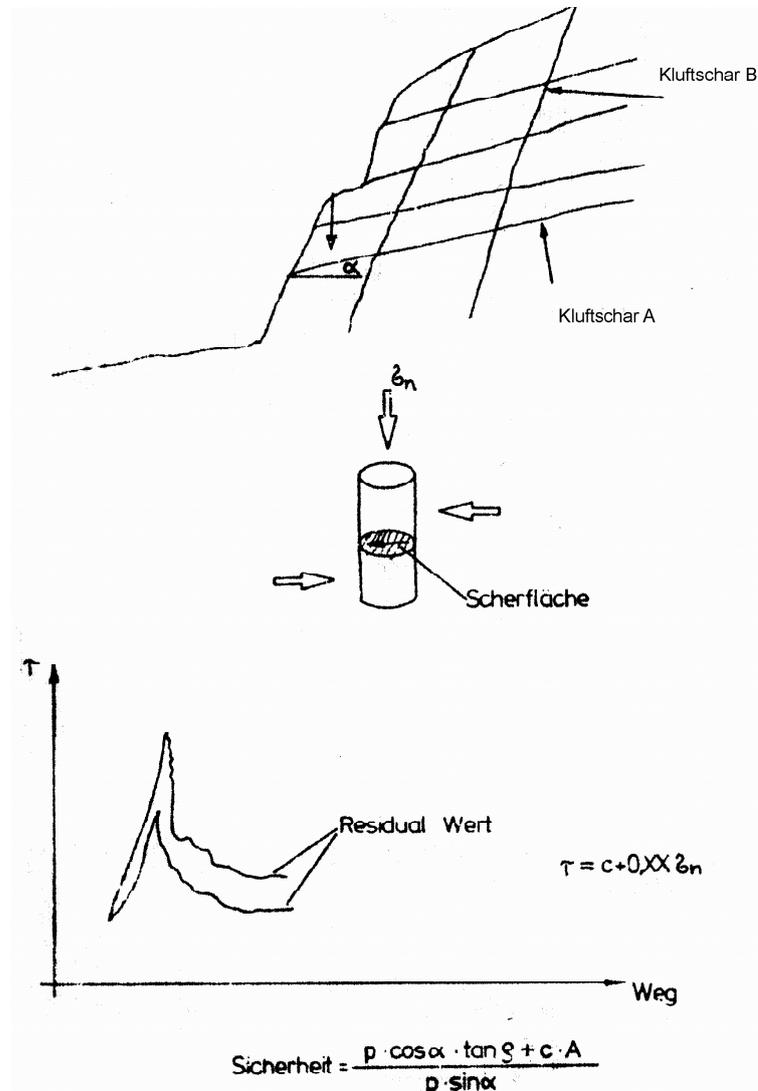


Abbildung 6

Neben den Problemen der Inhomogenität durch die Klufkkörper im Fels gibt es dann noch bei der Bestimmung des inneren Reibungswinkels und der Kohäsion das Problem der stofflichen Inhomogenität im Gestein. Diese rührt teilweise von der Entstehungsart der Gesteine her (Inhomogenität durch Sedimentation, gravitative Differentiation bei Tiefengesteine, Wiederverheilung von Klüften bzw. Auslaugung bei hydrothermalen und metamorphen Vorgängen) aber auch von der Durchbewegung der Gesteine (Faltenbildung und Einregelung von Kristallen) oder von den Abkühlungsbedingungen bei Gang- und Ergusssteinen. Alle diese Vorgänge der Einregelung können sehr gut mit der Dünnschliffmikroskopie erfasst werden (Abb.7 und Abb. 8). Diese Anisotropie im Gestein führt zu Problemen bei der Durchführung von Triaxversuchen. Wie die Abb. 9 zeigt, gibt es beim Triaxversuch nach der Moor'schen Spannungstheorie einen kritischen Winkelbereich, wenn Inhomogenitätsflächen eine geringere Kohäsion besitzen als der übrige Probenbereich. Dann kann es vorzeitig beim Triaxversuch zu einem Versagen der Probe kommen, weil die Inhomogenitätsfläche vorzeitig abgeschert wird noch bevor sich die Schubflächen beim Triaxversuch ausbilden können. Derartige Versuche führen zu falschen Ergebnissen.

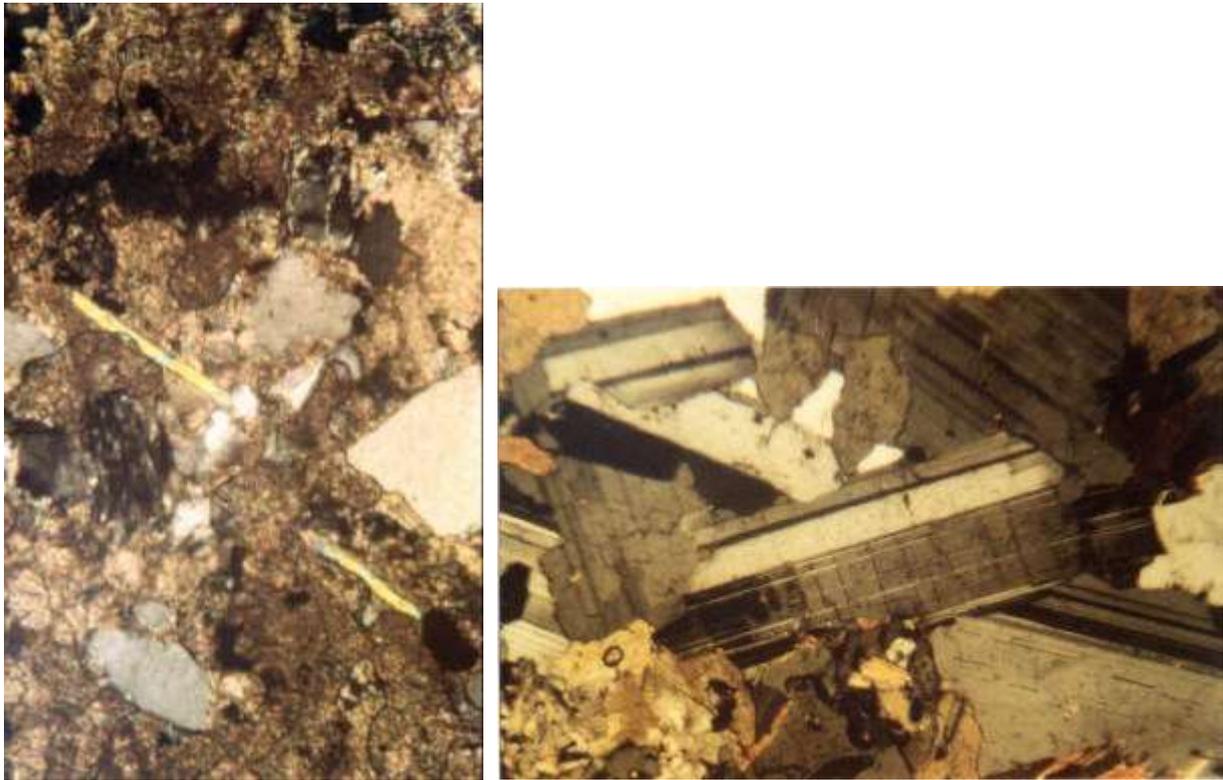


Abbildung 7 und 8: Dünnschliffbilder von Gesteinen

Dabei ist der kritische Winkelbereich (Abb. 9) vom inneren Reibungswinkel des Gesteins abhängig. Allgemein kann abgeleitet werden, dass Inhomogenitätsflächen, die 5 bis 45 ° zur Zylinderachse geneigt sind, eine Gefahr für das vorzeitige Abscheren darstellen. Daher muss bei jeder Probe genau untersucht werden, ob irgendwelche Haarrisse oder Gefügeflächen in diesem Winkelbereich liegen, die zu einem vorzeitigen Versagen der Probe führen könnten. In Abb. 10 wird vergleichend an Hand zweier Beispiele gezeigt, wie sehr sich der Winkel der inneren Reibung und die Kohäsion ändern kann, wenn eine Probe durch eine Inhomogenitätsfläche vorzeitig versagt. Derartige Fehlbestimmung durch schrägliegende Inhomogenitätsflächen in einer Gesteinsprobe sind auch vermutlich die Ursache für die in der Literatur so stark schwankenden Werte des inneren Reibungswinkels und der Kohäsion bei Gesteinen, die meist mineralogisch sehr einheitlich aufgebaut sind wie z.B. Karbonatgesteine.

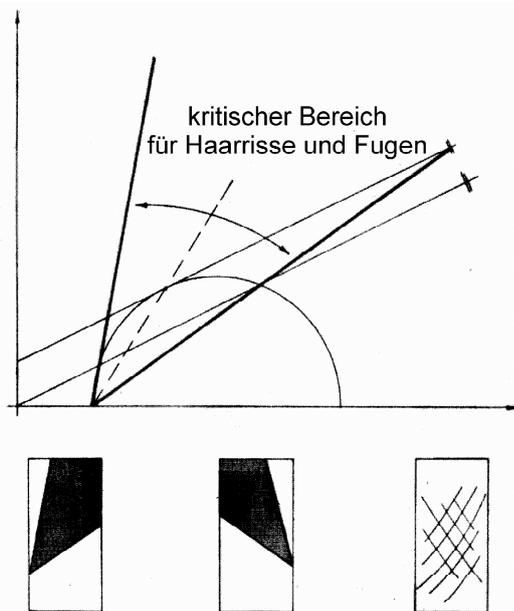


Abbildung 9

Im Gegensatz dazu streuen in der Literatur die Werte von tektonisch wenig beanspruchten Gesteinen wie Mergel und Sandsteine wesentlich geringer, obwohl Sandsteine mineralogisch gesehen, sehr verschiedenartig aufgebaut sein können (karbonatische oder quarzitische Sandsteine). Auch bei der Gewinnung von Bohrkernproben für Triaxversuche sollte nicht immer das Ziel der Bohrungen die Erfassung der stratigraphischen Abfolge sein, sondern es sollte auch die Bohrung so ausgerichtet sein, dass diese senkrecht oder parallel auf eine im Gestein vorherrschende Inhomogenitätsfläche (ss-Fläche, s-Fläche, Einregelungsfläche von Glimmermineralien usw.) eingebracht wird. Nur so können Werte im Labor bestimmt werden, welche auch repräsentativ sind. Es wäre daher sinnvoll, bei der Planung der Bohrungen schon das Prüflabor mit einzubinden.

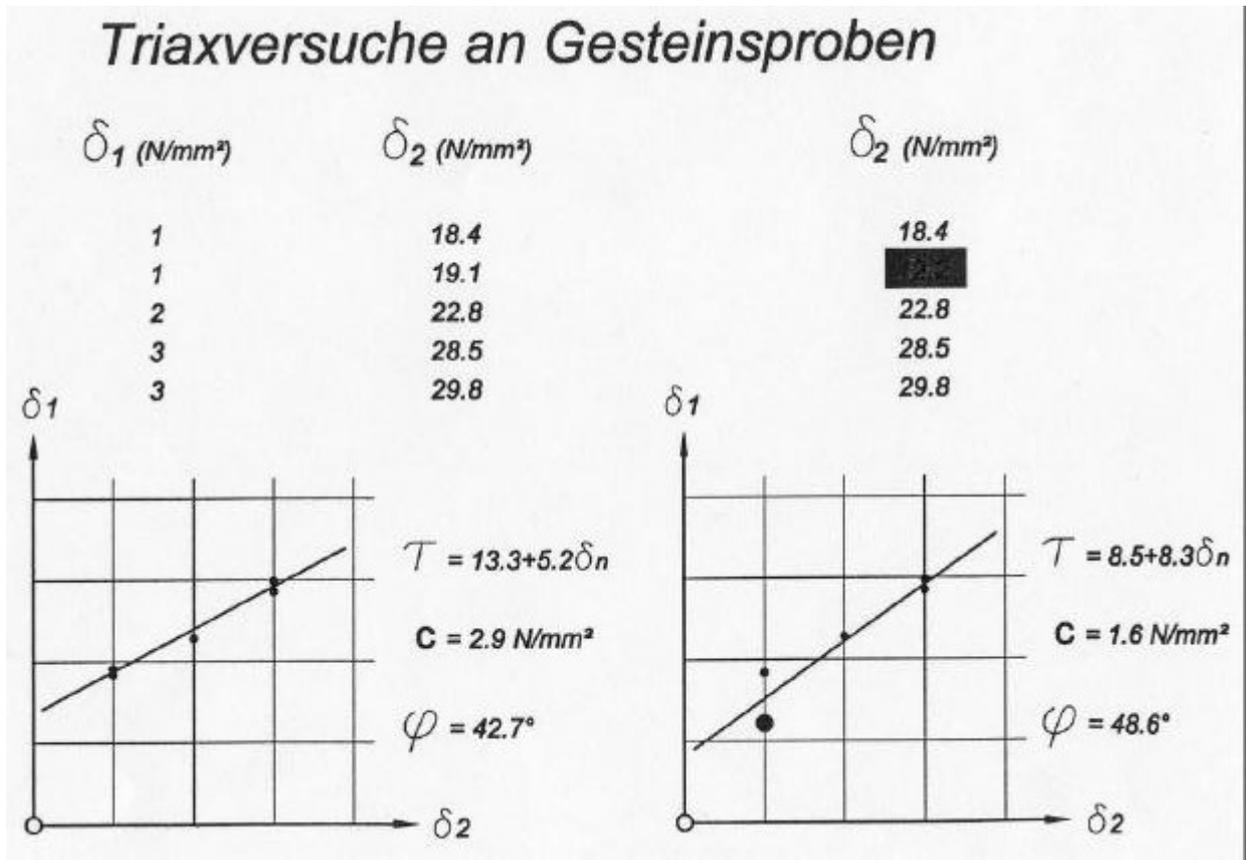


Abbildung 10