



Geotechnische Aspekte der repräsentativen Beprobung von Festgesteinen



Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Dipl.-Geol. Thorsten Bruelheide, Dywidag International GmbH, München, Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Marion Nickmann, TU München, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie



Im Labor ermittelte felsmechanische Parameter, wie Druck-, Zug- und Scherfestigkeit, Verformungseigenschaften, Wassergehalt, Veränderlichkeit, Abrasivität und Petrographie, sind wesentliche Grundlage für die Charakterisierung von Festgesteinen. Ihre Bedeutung als Leitwerte für die Planung, Ausschreibung, Kalkulation und Ausführung von Gebirgslösungs- und Gebirgssicherungsmaßnahmen von Felshohlraumbauten (Stollen, Tunneln, Kavernen) führt dazu, dass entsprechende Untersuchungsprogramme integrale Bestandteile der Voruntersuchungs- und Bauausführungsphase sind.

Die Laborverfahren zur Ermittlung der Kennwerte, wie einaxiale und triaxiale Druckversuche, indirekte und direkte Zugversuche, Punktlastversuche, Abrasivitätstests oder Dünnschliffuntersuchungen, sind durch zahlreiche Versuchsempfehlungen und Normen internationaler (zum Beispiel EN/ISO, ISRM) und nationaler (zum Beispiel DIN, SIA, ÖNORM, DGGT) Organisationen reglementiert und führen in aller Regel zu reproduzierbaren Messungen.

Im Labor ermittelte felsmechanische Parameter sind wesentliche Grundlage für die Charakterisierung von Festgesteinen in der Planungs- und Realisierungsphase von Spezialtiefbaumaßnahmen, Stollen, Tunneln oder Kavernen im Fels. In Anbetracht einer stetig präziser werdenden Mess- und Prüftechnik ist der angepassten Probenahme im Feld eine immer größere Bedeutung für das Ergebnis der Laboruntersuchungen und damit auch der Planungsgrundlagen beizumessen. Dieser wesentliche Bereich wird derzeit von den gültigen Normen und Empfehlungen nur unzureichend abgedeckt, sodass unscharf definierte Begriffe wie „fachgerechte“ oder „repräsentative“ Beprobung häufig verwendete Worthülsen bleiben, die oft über die tatsächliche Problematik einer angepassten Probenahme hinwegtäuschen. Der vorgestellte Beitrag stellt auf Basis langjähriger Erfahrungen praxisorientierte Ansätze und Hintergründe der Probenahme und Probenbehandlung in Festgesteinen zusammen. Besonderes Augenmerk wird auf die angepasste Beprobung und Behandlung anisotroper und veränderlich fester Gesteine sowie Erfahrungen bei der Entnahme von Haufwerksproben gelegt.

In Anbetracht immer präziser werdender Messtechnik und aufwändiger Versuchsabläufe wächst der Einfluss einer den geotechnischen Fragestellungen und dem anstehenden Gebirge angepassten Probenahme auf das Ergebnis der Laboruntersuchungen. Gerade die wichtiger werdende Probenahme wird aber aus Sicht der Verfasser derzeit von den gültigen Normen und Empfehlungen nur unzureichend abgedeckt, sodass unscharfe Begriffe wie „fachgerechte“ oder „repräsentative“ Beprobung häufig verwendete Worthülsen bleiben, die oft über die tatsächliche Problematik einer repräsentativen Probenahme hinwegtäuschen.

Dieser Beitrag stellt vor dem Hintergrund der aktuellen Normen und Empfehlungen theoretische Grundlagen und praxisorientierte Lösungsansätze für die Probenahme und Probenbehandlung von Festgesteinen zusammen.

Vorhandene Regelwerke

Grundsätzliche Festlegungen der Probenahme in Boden und Fels werden im Eurocode 7, Teil 2 (EC7 T2): „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ dargestellt, dessen deutsche Fassung im Jahr 2007 als DIN EN 1997-2 in den Status einer deutschen Norm überführt wurde. Der Anwendungsbereich der DIN EN 1997-2 deckt sich weitgehend mit dem der DIN 4020, die derzeit parallel mit der Erarbeitung des nationalen Anhangs zu EC7 T2 einer Überarbeitung unterzogen wird.

Hinsichtlich der technischen Aspekte der Probenahme verweist EC7 T2 vor allem auf die im Jahr 2006 verabschiedete DIN EN ISO 22475-1: „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung“. Diese Norm ersetzt die DIN-Normen DIN 4021:1990-10, DIN 4022-2:1981-03 und DIN 4022-3:1982-05 sowie gemeinsam mit DIN EN ISO 14688-1:2003-01 und DIN EN ISO 14689-1:2004-04 die Norm DIN 4022-1:1987-09.

Für den Bereich der Natursteinindustrie werden Vorgaben für die Probenahme in DIN 52101:2005-06 „Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Probenahme“ zusammengefasst.

Technische Aspekte der Probekörpervorbereitung und Prüfung sind Gegenstand der gängigen Prüfeempfehlungen und Normen zur Durchführung der entsprechenden Laborversuche.

In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass die jüngst vom AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT herausgegebene Neufassung der Empfehlung Nr. 10 „Spaltzugversuch“ (LEPIQUE, 2008) und die unmittelbar vor der Veröffentlichung stehende Neufassung der Empfehlung 5 „Punkt-

lastversuche“ explizit Hinweise für definierte Prüfbedingungen bei anisotropen, also geschichteten oder geschieferten Gesteinen enthalten. Es gilt daher, diese Vorgaben bereits bei der Probenahme entsprechend umzusetzen.

Anforderungen an die Probenahme

Die grundlegende Anforderung an die Probenahmeplanung stellt EC7 T2 wie folgt vor (DIN EN 1997-2, Abschnitt 1): „Die Beschaffenheit und die Anzahl der Proben, die gewonnen werden sollen, müssen nach dem Ziel der Baugrunduntersuchungen, der Geologie im Planungsbereich, der Komplexität der geotechnischen Struktur und dem geplanten Bauwerk festgelegt werden.“

Abschnitt 5.2.2 der DIN EN ISO 22475-1 ergänzt: „Die Entnahmeverfahren, der Probentransport und die Probenlagerung sind auf der Grundlage der geforderten Probengüteklasse nach EN 1997-2 der geforderten Probenmenge und des geforderten Probendurchmessers sowie in Abhängigkeit von der Art der vorgesehenen Laborversuche auszuführen.“

Die konkreten Anforderungen an Art, Anzahl und Geometrie der Proben erwachsen dabei einerseits aus den technischen Anforderungen der Entnahme, Bearbeitung und Prüfung und andererseits aus den geotechnischen Anforderungen an die Repräsentativität der Ergebnisse.

Probengüte, Entnahmeverfahren und Probenformatierung

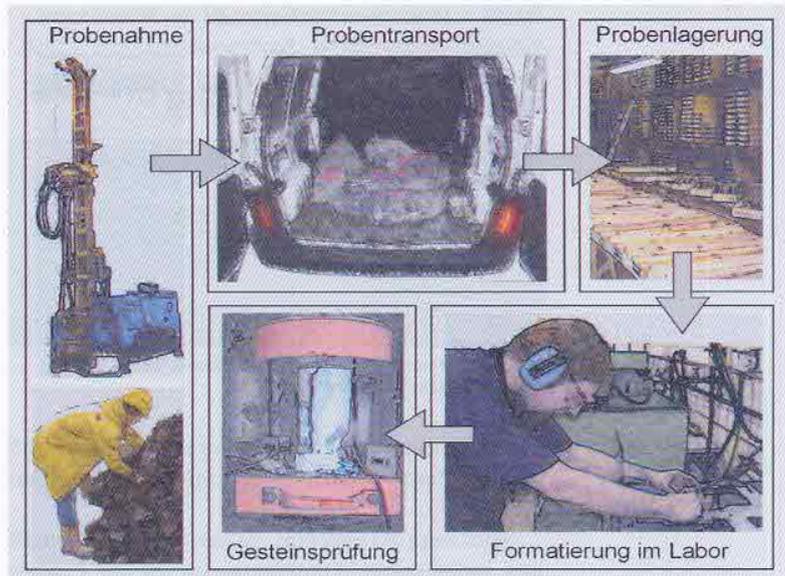
Gemäß EC7 T2 (DIN EN 1997-2) und DIN EN ISO 22475-1 werden für Festgesteine die drei Entnahmekategorien A, B und C unterschieden:

- ◇ Kategorie A – Proben mit keiner oder leichter Störung der Felsstruktur,
- ◇ Kategorie B – nicht oder leicht gestörte Felsproben bei ansonsten gestörtem Gebirge,
- ◇ Kategorie C – Proben mit völlig veränderter Felsstruktur.

Die in Abschnitt 7 der DIN EN ISO 22475-1 dargestellten Entnahmeverfahren umfassen für diese drei Kategorien im Wesentlichen:

- ◇ Für Proben der Kategorie A: Die Entnahme von Blockproben/Sonderproben, den Einsatz von Seilkernbohrverfahren mit Seilkern- oder Dreifachkernrohr sowie den Einsatz von Rotationskernbohrverfahren mit Dreifachkernrohr oder gegebenenfalls Doppelkernrohr,
- ◇ Für Proben der Kategorie B: Einsatz von Rotationskernbohrverfahren mit Einfachkernrohr,
- ◇ Für Proben der Kategorie C: Spülbohrverfahren mit Meißel, Rollmeißel, Spülbohrhammer oder ähnlichem.

Da in aller Regel für die in diesem Beitrag behandelten felsmechanischen Versuche Proben der Güteklasse C nicht ausreichend sind, beschränkt sich die Wahl des grundsätzlichen Entnahmeverfahrens in der Praxis auf die Entnahme von Kern- oder Blockproben.



Neben der Kenntnis des Probennahmeverfahrens sind profunde Kenntnisse über die vorgesehenen Versuche und den weiteren Bearbeitungsvorgang wesentliche Hintergrundinformationen für eine den Erfordernissen angepasste und der späteren Bearbeitung genügende Probenahme. Hierbei sind generell die fünf aufeinander folgenden Arbeitsschritte Entnahme, Transport, Lagerung, Probenvorbereitung („Formatierung“) und Prüfung zu unterscheiden, die jeder für sich das Prüfergebnis beeinflussen können (Bild 1).

Bild 1. Schematische Darstellung der Bearbeitungsschritte bei der Prüfung von Festgesteinen.

Repräsentativität der Proben

Unter „Repräsentativität“ wird in der Statistik die Übertragbarkeit der Ergebnisse einer Untersuchung an einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit verstanden. Eine Stichprobe ist dann repräsentativ, wenn sie als Teilmenge in allen relevanten Strukturmerkmalen und in den Proportionen der relevanten Strukturmerkmale zueinander die Struktur der Grundgesamtheit widerspiegelt, also ein verkleinertes Abbild derselben darstellt. Für die konkrete Aufgabenstellung führt Abschnitt 1 der DIN 52101 aus: „Zweck der Probenahme ist es, eine Teilmenge zu erhalten, die zur Ermittlung eines oder mehrerer Merkmale einer Grundgesamtheit geeignet ist. Es ist beabsichtigt, anhand dieser Teilmenge die durchschnittliche Beschaffenheit oder Abweichungen von der durchschnittlichen Beschaffenheit der Grundgesamtheit zu ermitteln.“

Neben den bereits angesprochenen technischen Anforderungen bereiten in der Praxis vorwiegend die aus der Repräsentativitätsanforderung der Beprobung erwachsenden Fragen zu Probenmenge und -verteilung Probleme.

Mit Tabelle W1 im Anhang W des EC7 T2 (DIN EN 1997-2) liegen dem Anwender erstmals pragmatische Richtwerte für die Anzahl notwendiger Einzelversuche (für Standardversuche, wie Einaxiale Druckversuche, Spaltzugversuche und Triaxialversuche) je Formation/Gebirgsart vor,

Tabelle 1. Empfohlene Mindestanzahl von Probekörpern (Einaxiale Druckversuche, Spaltzugversuche und Triaxialversuche) für eine Formation/Gebirgsart (Tabelle W1 aus Anhang W, des EC7 T2 (DIN EN 1997-2)).

Standardabweichung s der gemessenen Festigkeit	Vergleichbare Erfahrung			
	% des Mittelwerts	keine	mittlere	umfangreiche
$s > 50$		6	4	2
$20 < s < 50$		3	2	1
$s < 20$		2	1	0 ^a

^a nur gültig für sehr homogene Gesteinsarten mit umfangreicher Erfahrung aus der nächsten Umgebung

die als Funktion der Variabilität des Gesteins und vergleichbarer Erfahrungen angegeben werden (Tabelle 1).

Setzt man als gegeben voraus, dass sich gemäß den technischen Anforderungen an die Proben die Wahl der Probenahme in der Praxis auf die Entnahme von Bohrproben oder Sonderproben beschränkt, kann die derzeit übliche Vorgehensweise wie folgt zusammengefasst werden:

- ◇ Bei der Bohrbeprobung von der Oberfläche aus wird ein Mindestmaß an Repräsentativität gewährleistet, wenn der Bohrpunktabstand den Vorgaben des Anhangs B des EC7 T2 (DIN EN 1997-2) beziehungsweise DIN 4020 genügt und Bohrproben entnommen werden, die hinsichtlich Lithologie, Entnahmetiefe und Abstand zum Bauwerk übertragbare Ergebnisse erwarten lassen. Da der hohe Kostenaufwand dieser Aufschlussmaßnahmen in der Regel nur die Gewinnung sehr begrenzter Probemengen für ein und denselben geologischen Homogenbereich erlaubt, ist eine Beprobung nach statistischen Gesichtspunkten erfahrungsgemäß nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.
- ◇ Bei einer unmittelbaren Entnahme von Felsproben („Block- oder Sonderproben“) beispielsweise aus einem Steinbruch, Versuchsschacht oder dem Haufwerk eines laufenden Tunnel- oder Stollenvortriebs steht meist ein Überangebot an Proben zur Verfügung, sodass bei gleichzeitiger Beachtung geologischer Aspekte, wie Vergleichbarkeit der Lithologie und Verwitterungseinfluss, statistische Verfahren durchaus sinnvoll einsetzbar sind. In Anlehnung an die Vorgaben des FGSV-Merkblatts ZTVE-StB 94 (FGSV, 1997) ist beispielsweise die Anwendung eines hinsichtlich Probenahmeort, Probenahmezeitpunkt und Probenmenge definierten Prüfplans durchaus sinnvoll, um eine statistisch untermauerte Repräsentativität der Proben zu gewährleisten.

Neben der ausreichenden Abdeckung der Kennwerte innerhalb eines Homogenbereichs ist dabei darauf zu achten, dass auch eine dem Anteil und Auftreten des Gesteins angepasste Abdeckung der unterschiedlichen Homogenbereiche untereinander stattfindet. Eine bisweilen in der Vergangenheit

praktizierte, aus Sicht der Verfasser, sicherlich ungenügende Erfassung des baugrundbezogenen Risikos stellen jedenfalls Fälle dar, in denen im Zuge der Planung und Ausschreibung Homogenbereiche gebildet werden, denen keine oder nur unzureichende Kennwerte zugeordnet werden. Der Begriff der Repräsentativität wird in diesem Fall von vornherein ad absurdum geführt.

Geotechnische Aspekte der Probenahme

Probengröße und -geometrie

Bereits bei der Festlegung von Probenabmessung beziehungsweise -durchmesser und der Auswahl des Probentyps (Bohrkerne/Blockproben) in der Planungsphase müssen für eine fachgerechte Beprobung Inhomogenitäten, sogenannte „Maßstabeffekte“ und geometrische Effekte berücksichtigt werden. Viele der nachstehend für Einaxiale Druckprüfungen dargestellten Erfahrungen sind in dieser oder ähnlicher Form auch bei der Ermittlung anderer felsmechanischer Kennwerte zu berücksichtigen.

Maßstabeffekte beschreiben den Effekt differierender Kennwerte für verschiedene Betrachtungsmaßstäbe des Gesteins beziehungsweise Gebirges (THURO et al., 2001, THURO/PLINNINGER, 2001). Zahlreiche Autoren (unter anderen HOEK/BROWN, 1980, HAWKINS, 1998) führen Ergebnisse an, die den Schluss zulassen, dass die Untersuchung kleinerer Proben zu höheren Festigkeitskennwerten führt als bei größeren Proben. In den THURO et al. (2001) zugrunde liegenden Reihenuntersuchungen an homogen-isotropen Kristallingesteinen konnten derartige, klare Abhängigkeiten in einem üblichen Durchmesserbereich zwischen 45 und 110 mm jedoch nicht nachgewiesen werden. Es ist daher fraglich, ob derartige Effekte bei homogen-isotropen Gesteinen und für die hier betrachteten Standardversuchverfahren tatsächlich einen signifikanten Faktor darstellen.

Im Kontext der Maßstabeffekte ist auch die Fragestellung einzuordnen, ob Proben geprüft werden können, die von mechanisch wirksamen Trennflächen, wie Klüften und Schichtfugen, durchtrennt sind. Derartige Gefügeelemente können beispielsweise eine grundlegende Voraussetzung für Scherversuche an Trennflächen sein, mit denen repräsentative Ergebnisse für Gebirgseigenschaften ermittelt werden sollen. Proben zur Prüfung der intakten Gesteinseigenschaften müssen hingegen grundsätzlich frei von makroskopischen Rissen sein, an denen ein vorzeitiges Versagen bei Druck-, Zug-, oder Scherbeanspruchung eintreten kann (unter anderem PRINZ, 1997).

Im Gegensatz zu den kontroversen Ansichten zum Maßstabeffekt bei homogen-isotropen Gesteinen ist das Größenverhältnis zwischen Einzelkomponente und Probekörper bei makroskopisch stark inhomogenen Gesteinen, beispielsweise Grauwacken, Konglomeraten und porphyrischen

Gneisen, ein tatsächlich signifikanter Einflussfaktor. Im normativen Anhang W zu EC7 T2 (DIN EN 1997-2) wird folgende Faustformel ausgeführt: „Der Durchmesser des Probekörpers sollte im Verhältnis zum Größtkorn des Gesteins bei weichem Gestein mindestens 6:1 betragen. Vorzuziehen ist jedoch ein Verhältnis von 10:1.“

Die in Bild 2 dargestellten Ergebnisse zeigen beispielhaft den geometrischen Einfluss des „Schlankheitsgrads“ (Längen-Durchmesser-Verhältnis) auf die Prüfergebnisse des Einaxialen Druckversuchs bei Verwendung zylindrischer Proben.

Als weiterer geometrischer Effekt stellt der Formeffekt bei der durchaus üblichen Verwendung prismatischer und zylindrischer Probekörper einen weiteren relevanten Teilaspekt der Festigkeitsprüfung dar. Es können hierbei Erfahrungen herangezogen werden, die aus dem Bereich der Betonprüfung stammen (DIN EN 206) und die die scheinbar im Zylinder zu niedrig bestimmte Festigkeit quantifizieren.

Beprobung veränderlich fester Gesteine

Bei der Beprobung veränderlich fester Gesteine, wie Mergelsteinen, Tonsteinen und tonig gebundener Sandsteine, muss berücksichtigt werden, dass die mechanischen Eigenschaften und die Abrasivität derartiger Gesteine erheblich vom Feuchtegehalt und eventuellen Gefügeveränderungen durch Trocknungs-/Wiederbefeuchtungsvorgänge beeinflusst werden können (unter anderem LASHKARIPOUR, 1998, NICKMANN, 2007, NICKMANN et al., 2005, PLINNINGER, 2002, SIELER, 2005).

Jüngste Untersuchungen (NICKMANN, 2007) haben nachgewiesen, dass bereits „gering veränderliche“ Gesteine für Schwächungen des Gefüges bis hin zum vollständigen Zerfall durch Änderung des Wassergehalts anfällig sein können. So zeigen beispielsweise zahlreiche veränderlich feste Gesteine bei natürlichem Wassergehalt kaum eine Reaktion im Wasserlagerungsversuch nach DIN EN 14689-1, reagieren jedoch bereits nach einmaliger Trocknung auf einen erneuten Wasserzutritt mit spontanem Zerfall (Bild 3).

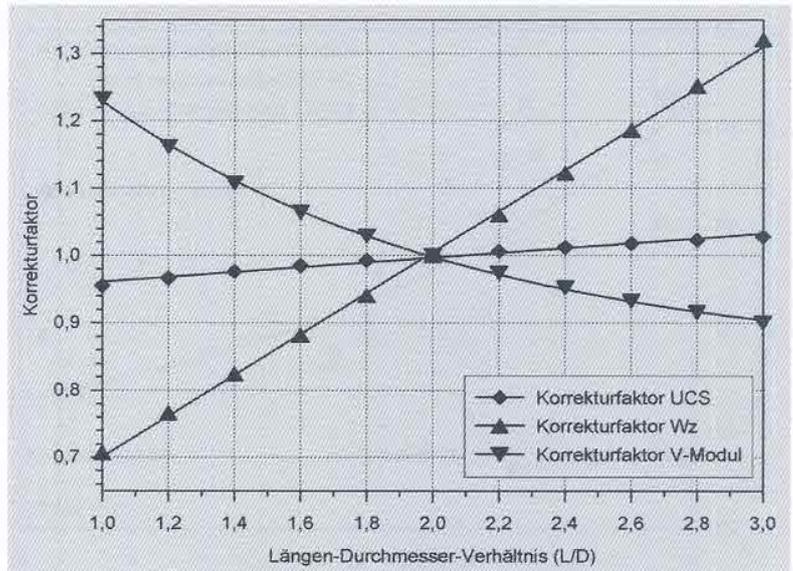


Bild 2. Abhängigkeit von Einaxialer Gesteinsdruckfestigkeit (UCS), Zerstörungsarbeit (Wz) und Verformungsmodul (V-Modul) vom Längen-Durchmesser-Verhältnis gebohrter Zylinder (THURO et al., 2001).

Bild 3. Beispiel für einen Trocknungs-Befeuchtungs-Versuch an einem Mergelstein, a) keine Reaktion des Gesteins bei einmaliger Wasserlagerung, b) Bruch in Einzelaggregate nach zweimaliger Trocknung und Wiederbefeuchtung (NICKMANN, 2007).

Ihr Partner

www.plinninger.de

in Sachen Geotechnik

- Geotechnische Dokumentation
- Gebirgslösungsberatung
- Abrasivitätsuntersuchungen
- Chancen- und Risikoberatung
- Geotechnische Messungen
- Felssicherung

Dr. Plinninger Geotechnik
 Geotechnische Dienstleistung und Forschung für
 Fels-/Tunnelbau, Geotechnik und Spezialtiefbau

Kirchweg 16 | D-94505 Bernried
 Tel.: +49-9905-7070-360
 Fax: +49-9905-7070-361

Mobil: +49-170-7823647
 e-mail: geotechnik@plinninger.de

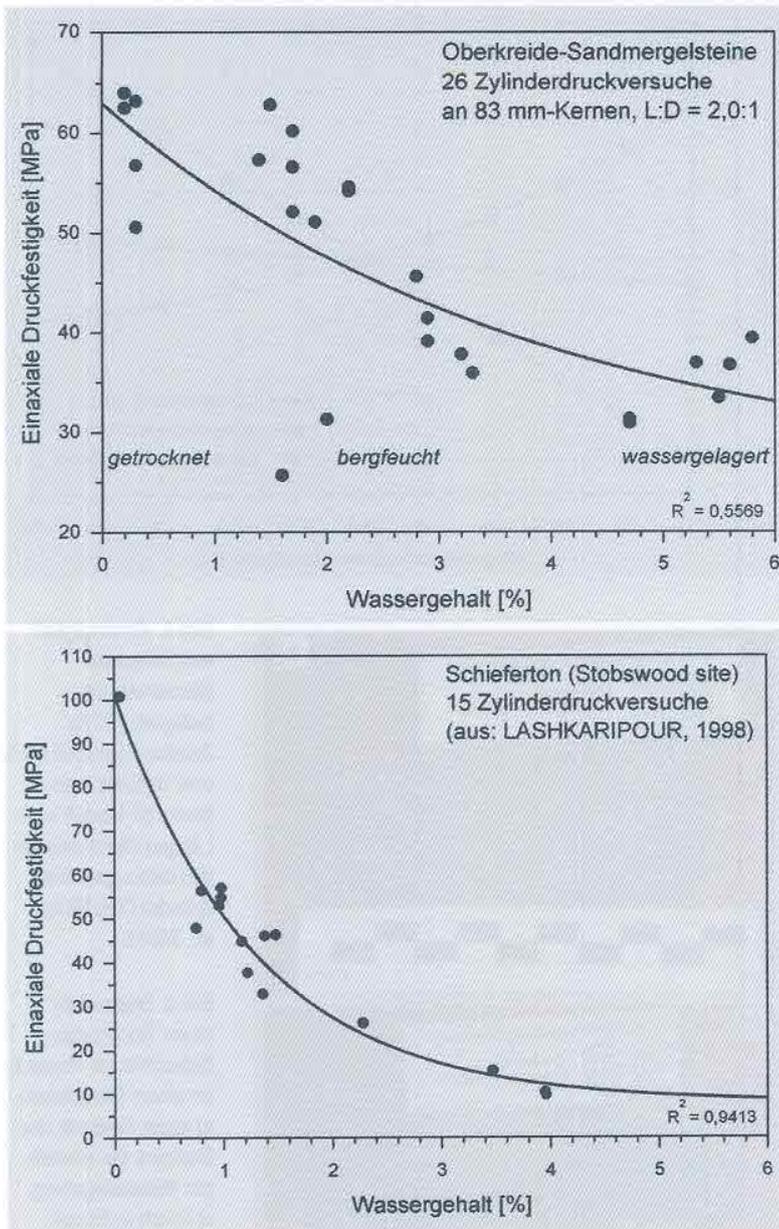


Bild 4: Zwei Beispiele für die Abhängigkeit der Einaxialen Druckfestigkeit vom Wassergehalt der Proben; oben: Prüfergebnisse an einem kretazischen Sandmergelstein (PLINNINGER, 2002), unten: Prüfergebnisse an einem Tonschiefer (LASHKARIPOUR, 1998).

Der Grund für dieses Verhalten ist vermutlich in der Ausbildung von Mikrorissen während der Trocknungsphase zu sehen, sodass bei der nachfolgenden Wiederbefeuchtung zusätzliche Wasserwegigkeiten im geschwächten Gestein eine effektive Befeuchtung und nachhaltige Zerstörung des Gesteins ermöglichen. Aufgrund dieser Beobachtungen empfiehlt NICKMANN (2007) zur Bestimmung der Veränderlichkeit eines Gesteins sowohl die Prüfung des naturfeuchten Materials als auch eine Untersuchung des Zerfallsverhaltens im Verlauf mehrerer Trocknungs-Befeuchtungs-Wechsel.

Neben dem vollständigen oder teilweisen Zerfall der Probe bei Änderung des Wassergehalts können bei diesen Gesteinen aber auch makroskopisch nicht erkennbare Einflüsse des Wassergehalts auf deren mechanische Kennwerte auftreten. So ist für viele veränderlich festen Gesteine eine signifikante Abhängigkeit zwischen Einaxialer Druckfestigkeit

und Wassergehalt festzustellen (Bild 4). Dieser Effekt ist zum Teil bereits bei Gesteinen mit geringer Veränderlichkeit zu beobachten (NICKMANN, 2007), zu denen neben den „klassischen“ veränderlich festen Gesteinen auch ursprünglich dauerhaft feste, jedoch angewitterte Gesteinsarten W1 nach ISRM (1978) zu zählen sind.

Bild 5 zeigt, dass der Festigkeitsfaktor F, der das Verhältnis der Einaxialen Druckfestigkeit bei natürlichem Wassergehalt im Vergleich zur Trockenfestigkeit beschreibt, innerhalb der Ton-Schluff-Steine bereits in Veränderlichkeitsklasse VK1 auf bis zu 75 % absinkt. Innerhalb der Sandsteine ist eine Reduzierung der Druckfestigkeit im feuchten Zustand ab Veränderlichkeitsklasse VK2 („langsam veränderlich“) zu beobachten, in der häufig eine Erhöhung des Tongehalts stattfindet. Für beide Gesteinsgruppen wurden in NICKMANN (2007) Festigkeitsänderungen von bis zu 90 % zwischen getrockneter und bergfeuchter Probe ermittelt, wobei oft auch mäßig veränderliche Gesteine (VK3) eine große Diskrepanz aufweisen.

Bei der Prüfung all dieser Gesteine würde eine einmalige Austrocknung, beispielsweise im Zuge der Probenahme, somit zu deutlich höheren Festigkeitswerten als im natürlichen Gebirgsverband führen. Ein mehrmaliger Wechsel aus Trocknung und Wiederbefeuchtung führt hingegen zum sukzessiven Zerfall und somit zu einer Reduzierung der Druckfestigkeit.

Um möglichst repräsentative Aussagen über das Gesteinsverhalten und Eigenschaften unter natürlichen Bedingungen zu ermitteln, muss das Ziel einer fachgerechten Probenahme und Probenbehandlung somit sein:

- ◇ derartig reagierende Gesteine sicher zu erkennen,
- ◇ den natürlichen Feuchtegehalt von Proben dieser Gesteine nach Möglichkeit zu erhalten und
- ◇ Trocknungs-/Wiederbefeuchtungsvorgänge während der gesamten Entnahme-, Transport- und Lagerungskette (Bild 1) zu verhindern.

Auch Anhang T zu EC7 T2 (DIN EN 1997-2) stellt fest: „Bei weichem Gestein (Sedimentgestein) ist die Behandlung der Proben besonders wichtig im Hinblick auf die Verformbarkeit, die Festigkeit und das Quellverhalten. Die Gesteinsproben für solche Versuche sollten im Feld so schnell wie möglich verpackt werden, nachdem sie aus dem Kernrohr gewonnen wurden. Schon kurzzeitige ungeschützte Lagerung kann den Wassergehalt und damit die Eigenschaften des Gesteins verändern.“

Die Art der Probenahme führt hier erfahrungsgemäß zu unterschiedlichen Einflüssen:

- ◇ Bei Blockproben, zum Beispiel großvolumigen, bergfeuchten Kluft- oder Haufwerksblöcken, ist eine Veränderung des Feuchtegehalts in der Regel nicht zu befürchten, sofern beim anschließenden Transport und der Probenformatierung auf die Erhaltung des natürlichen Wassergehalts geachtet wird. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass

gerade in stärker durchlässigen veränderlich festen Gesteinen, beispielsweise tonig gebundenen Sandsteinen oder Schluffsteinen, die ursprünglich im Grundwasserbereich liegen, eine relativ rasche „Teilaustrocknung“ des gesättigten Material im Zuge einer der Baumaßnahme voraussetzenden Grundwasserabsenkung erfolgen kann (NICKMANN, 2007).

- ◊ Vor allem bei mit Einfachkernrohr und Wasserspülung gebohrten Proben sind nennenswerte Veränderungen und Trocknungs-/Wiederbefeuchtungsvorgänge besonders in teilgesättigten Gesteinen der ungesättigten Gebirgsbereiche bereits während der Probenahme oft nicht zu verhindern. Die Verwendung von Mehrfachkernrohren oder der Einsatz von Luftspülung stellen hier sinnvolle, jedoch unter Umständen kostenintensive Optimierungsmöglichkeiten der Beprobung dar.

Die Einschätzung der Verfasser, dass diese durchaus relevanten Effekten immer noch nicht ausreichend beachtet werden, bestätigen auch jüngste Erfahrungen von SIELER (2005) für die Beprobung veränderlich fester Keupergesteine.

Es ist zu hoffen, dass mit der konsequenten Umsetzung der in DIN EN ISO 22475-1 geforderten, praktikablen Vorgaben zu Proben transport und Lagerung derartige Probleme weitestgehend der Vergangenheit angehören. Der hier geforderte Schutz von Felsproben der Kategorien A und B umfasst nach Abschnitt 11 der DIN EN ISO 22475 im Wesentlichen folgende Punkte:

- ◊ Lagerung in festen Probenbehältern,
- ◊ Sofortiges und vollständiges Umwickeln der Proben mit Folie, sofern diese nicht in Rohren („Inlinern“) gewonnen wurden,
- ◊ Schutz gegen Erschütterungen und Stöße sowie gegen Hitze, Kälte und Temperaturwechsel,
- ◊ Transport in horizontaler Ausrichtung.

Bei Proben der Entnahmekategorie A wird zusätzlich eine Polsterung und/oder Isolierung, beispielsweise mit Sägespänen, Gummi, Styropor, oder Urethanschaum, sowie ein Versiegeln mit Wachs oder ähnlichem vorgeschrieben (Bild 6).

Mit einer derartigen, normgemäßen Verpackung kann einer raschen Austrocknung während Transport und Lagerung entgegengewirkt werden, sie ist aber dennoch kein Ersatz für einen bei solchen Gesteinen notwendigen zügigen Ablauf von Transport, Probenformatierung und Probenprüfung.

Im Labor selbst sollte eine möglichst schonende Formatierung durchgeführt werden, bei der Wasser als Kühl- und Spülmedium nur äußerst sparsam verwendet werden sollte. Bei einigen Forschungsarbeiten wurden daher in Abweichung zu den üblicherweise verwendeten Zylinderproben auch vollständig trocken formatierte prismatische Proben (NICKMANN, 2007) verwendet. Dieses Vorgehen stellt aber sicherlich (noch) keinen Standard dar und ist mit zahlreichen technischen Problemen verbunden.

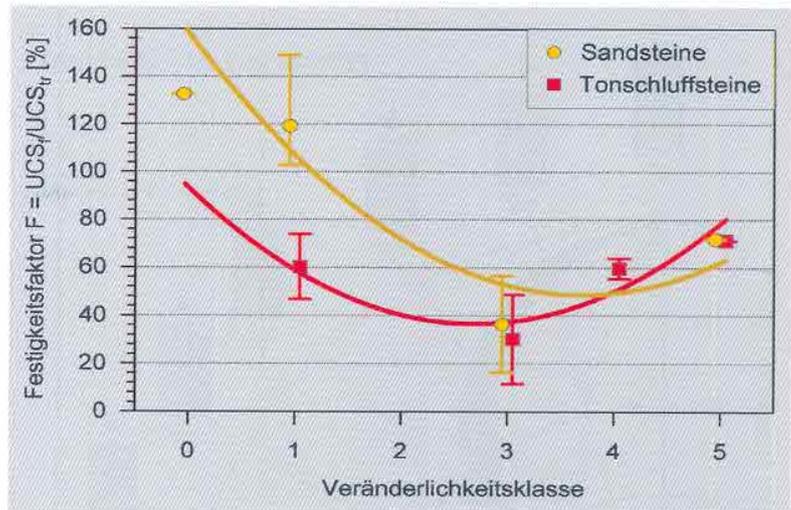


Bild 5: Festigkeitsänderung, ausgedrückt durch den Festigkeitsfaktor F, zwischen naturfeuchten und getrockneten veränderlich festen Gesteinen (Sandsteine, Tonschluffsteine).



Bild 6: Setzen einer Silikonplombe unmittelbar nach Probenauswahl bei einem veränderlich festen Mergelstein, der mittels Mehrfachkernrohr und Kunststoff-Inliner gewonnen wurde.

Beprobung anisotroper Gesteine

Der Begriff der Anisotropie beschreibt das unterschiedliche mechanische Verhalten eines Gesteins in verschiedenen Raumrichtungen. Besteht Grund zur Annahme, dass anisotrope Eigenschaften in bautechnisch relevanter Größenordnung vorliegen, schlagen zahlreiche Empfehlungen die Untersuchung von Probekörpern mit definierten Orientierungen hinsichtlich der Strukturelemente vor, üblicherweise rechtwinklig und parallel. Eine Extrapolation dieser Eckdaten aus ausschließlich schiefwinklig geprüften Proben ist aufgrund des gesteinspezifischen Grads anisotroper Effekte nur in Ausnahmesituationen möglich (Bild 7). Ziel einer angepassten Probenahme muss also die Gewinnung möglichst ideal orientierter Proben sein.

Bei Blockproben ist die Gewinnung eindeutig orientierter Proben in der Regel problemlos möglich, da bei der Formatierung im Labor eine mehr oder minder freie Orientierung des Probekörpers stattfinden kann und auch die bestimmenden Strukturelemente meist gut über den gesamten Probekörper verfolgbar sind.

In Anlehnung an Abschnitt 7.2.1 der DIN 52101 ist ergänzend zu empfehlen, erforderlichenfalls

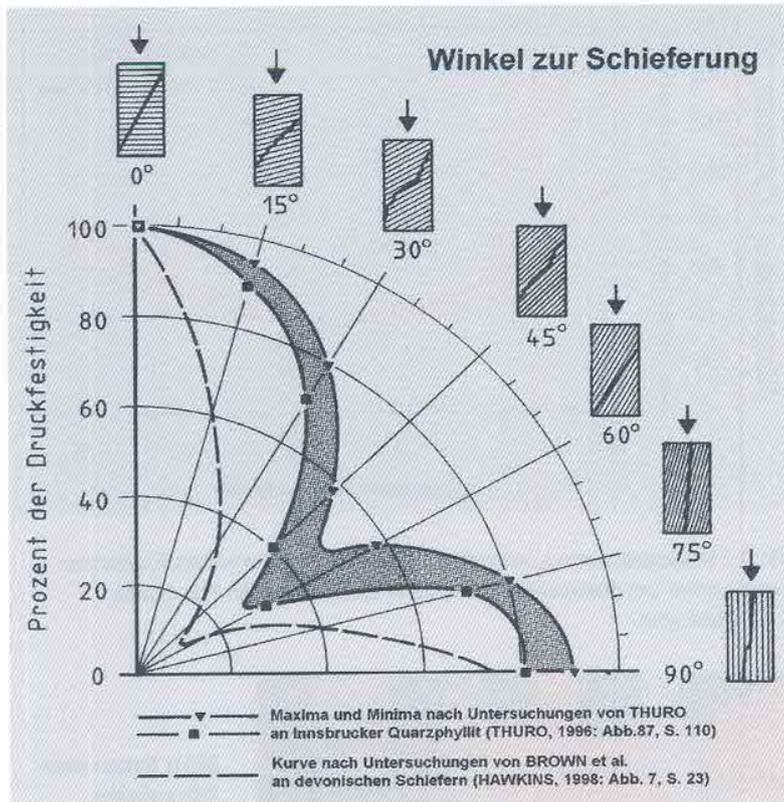
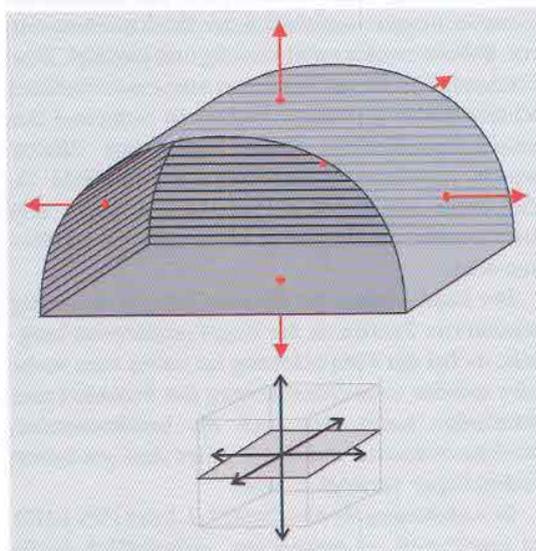


Bild 7. Beispiel für die Winkelabhängigkeit und Varianz der Einaxialen Druckfestigkeit bei ausgeprägt anisotropen Gesteinen (PLINNINGER, 2002).

ausgezeichnete Gefügerichtungen, die nicht ohne Weiteres erkennbar sind, an der Probe zu kennzeichnen.

Ist die orientierte Entnahme von Bohrproben bei horizontaler Schichtung/Schieferung technisch noch problemlos möglich (Bild 8), so stellt die Ausführung von in zwei Raumrichtungen geneigten Schrägbohrungen bei schiefwinkligem Einfallen zum Entnahmeort (Bild 8) eine technische Herausforderung an die Bohrmannschaft dar (Bild 9). Zusätzliche Probleme ergeben sich, wenn sich die Orientierung der Schichtung/Schieferung im Verlauf des Bohrlochs verändert – derartige Winkeldiskrepanzen sind meist auch durch Überbohren im Labor nicht mehr zu korrigieren.

Bild 8. Schematische Darstellung der Probleme bei der Gewinnung definiert orientierter Proben. Mit roten Pfeilen dargestellt mögliche Bohrrichtungen für Proben mit definierter Orientierung zur Schieferung/Schichtung.



Erfahrungen bei der Entnahme von Blockproben/Sonderproben

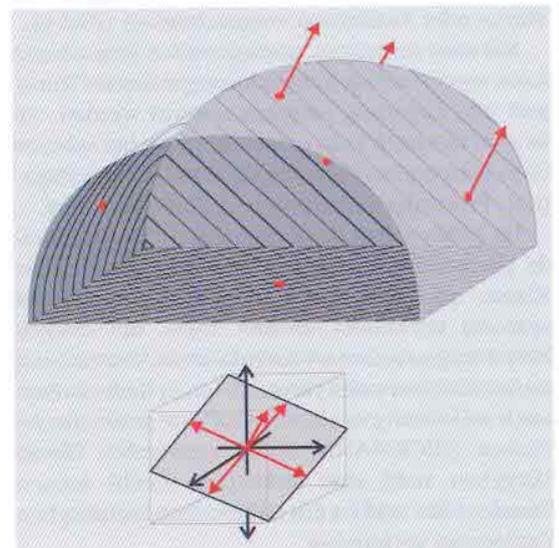
Vorgehensweise

Eine Entnahme von Blockproben oder Sonderproben in Anlehnung an Abschnitt 7.4 der DIN EN ISO 22475-1 ist meist problemlos möglich – zum Beispiel in Form von Kluffkörpern in natürlichen oder künstlichen (Schürfe, Untersuchungsschächte, Untersuchungsstollen, Böschungen, Steinbrüche) Aufschlüssen.

Auch bei in Ausführung befindlichem Felsaus-hub beziehungsweise Tunnel- oder Stollenvortrie-ben bietet sich diese Art der Probenahme dann an, wenn die Gebirgslösung nicht mit mechanischen Verfahren (Teilschnittverfahren, TBM) sondern mit konventionellen Verfahren (Baggervortrieb, Sprengvortrieb) erfolgt. Bei diesen Gebirgslösungs-verfahren werden bereits angelegte Trennflächen aktiviert beziehungsweise neue Flächen gebildet, sodass in Abhängigkeit vom Zerlegungsgrad eine Entnahme ausreichend großer Proben aus dem Haufwerk meist bequem möglich ist (Bilder 10 und 11).

Abschnitt 7.2.3 der DIN 52101 gibt praxis-taugliche Hinweise zur Entnahmeprozedur: „Die Probefläche müssen mindestens 30 cm x 20 cm x 20 cm groß sein. Bei grobkörnigem und großporigem Gestein sind sie entsprechend größer zu wählen. Die Probefläche sind möglichst vorsichtig zu lösen. Es sollten vorzugsweise Probefläche aus größeren Gesteinsblöcken entnommen werden, die von der Sprengung wenig beansprucht worden sind. Dabei ist darauf zu achten, dass ... die Probefläche ... keine vom Lösen herrührenden Haarrisse haben.“

Die Blöcke werden meist als Ganzes zur weiteren Bearbeitung ins Labor transportiert (Bild 10). Zur Minimierung des erforderlichen Transportraums können aber insbesondere bei homogen-isotropen und dauerhaft festen Gesteinen noch vor Ort Kerne mittels Betonkernbohrgerät gewonnen werden (Bild 11).



Diskussion der Repräsentativität

Hinweise darauf, dass eine Beprobung von Blockproben zu nicht repräsentativen Ergebnissen führt, finden sich weder in EC7 T2 (DIN EN 1997-2) noch DIN EN ISO 22475-1 oder DIN 52101. Dennoch wurde bei zahlreichen in der Vergangenheit ausgeführten Baumaßnahmen – meist im Zuge der projektbegleitenden Kennwerteermittlung – eine Vielzahl von Faktoren angeführt, um Ergebnisse an aus Haufwerk gewonnenen Blockproben wahlweise als Maxima oder Minima des aufgefahrenen Gebirges zu interpretieren. Ausschlaggebend für die Bewertung sind dabei nach Auffassung der Autoren meist weniger die Art und der Umfang zugrunde gelegter geotechnischer Daten als vielmehr die individuellen Zielsetzungen der Projektbeteiligten.

Während bei mittels Bagger aus dem Anstehenden gelösten Blockproben eine tendenzielle künstliche Beeinflussung sehr unwahrscheinlich ist, sind es am ehesten Blockproben aus Sprenghaufwerk, deren Repräsentativität kritisch geprüft werden muss. Empirische Erfahrungen mit Sprenghaufwerkbehebungen werden unter anderem von THURO (1998) geschildert. Folgende mit der Sprengwirkung zusammenhängende Einflüsse werden dabei angeführt:

- ◊ Die Sprengwirkung führt zu einer tendenziell selektiven Zerlegung des anstehenden Gesteins. Festere, kompaktere Partien bleiben im Sprenghaufwerk eher erhalten und sind im Vergleich zu stärker zerlegten oder weniger festen Gebirgsbereichen bei der darauf folgenden Probenahme eher als Blockproben geeignet.
- ◊ Durch die Sprengwirkung werden selbst in makroskopisch rissfreien Haufwerksblöcken Mikrorisse erzeugt, die eine tendenzielle Schwächung der Proben darstellen und damit zu tendenziell niedrigeren Festigkeitswerten führen.

THURO (1996) kommt auf Basis von vergleichenden Untersuchungen zu dem Schluss, dass sich beide Effekte im Mittel gegenseitig aufheben, weil bei vergleichenden Untersuchungen die Unterschiede immer im Bereich der normalen Streuung der felsmechanischen Kennwerte lagen. Auch eigene Erfahrungen aus Projekten, bei denen beide Probenahmetechniken parallel eingesetzt wurden (Bild 12), bestätigen die generelle Vergleichbarkeit von direkt aus dem Anstehenden gebohrten und aus Sprenghaufwerk gewonnenen Proben.

Für eine Blockbehebung – insbesondere bei laufenden Baumaßnahmen – spricht nach THURO (1996) neben wirtschaftlichen Aspekten, nämlich hohen Rüst- und Personalkosten und möglichen Behinderungen durch Kernbohrungen, unter anderem auch, dass Trennflächen bei Bohrungen im Vorhinein nicht erkennbar sind und daher die Ausbeute an rissfreien, ausreichend langen Gesteinszylindern tendenziell niedriger ausfällt als bei Blockbehebungen.



Bild 9. Entnahme von orientierten Kernproben in alpinen Molassegesteinen aus einem Tunnel heraus mittels rechtwinklig zur Schichtung ausgerichtetem Mehrfachkernrohr.

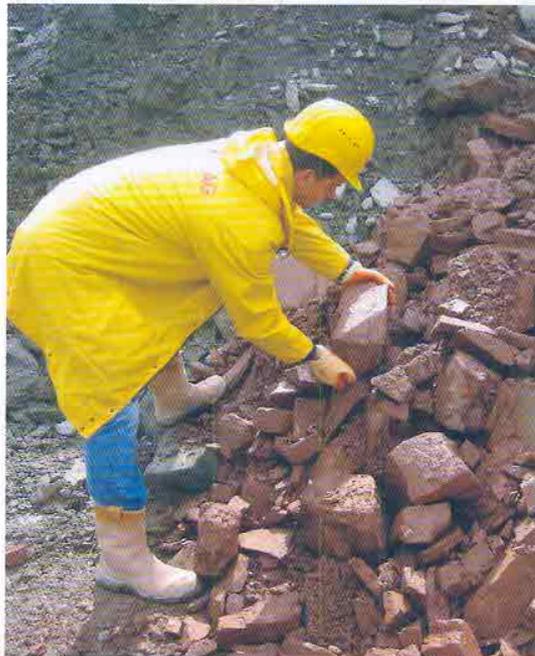


Bild 10. Entnahme frischer Tonschieferproben von Zwischendeponie bei einem Sprengvortrieb.



Bild 11. Entnahme von Kalkstein-Bohrproben mit Betonkernbohrgerät aus Kluttkörpern, die mittels Bagger aus dem Anstehenden gewonnen wurden.

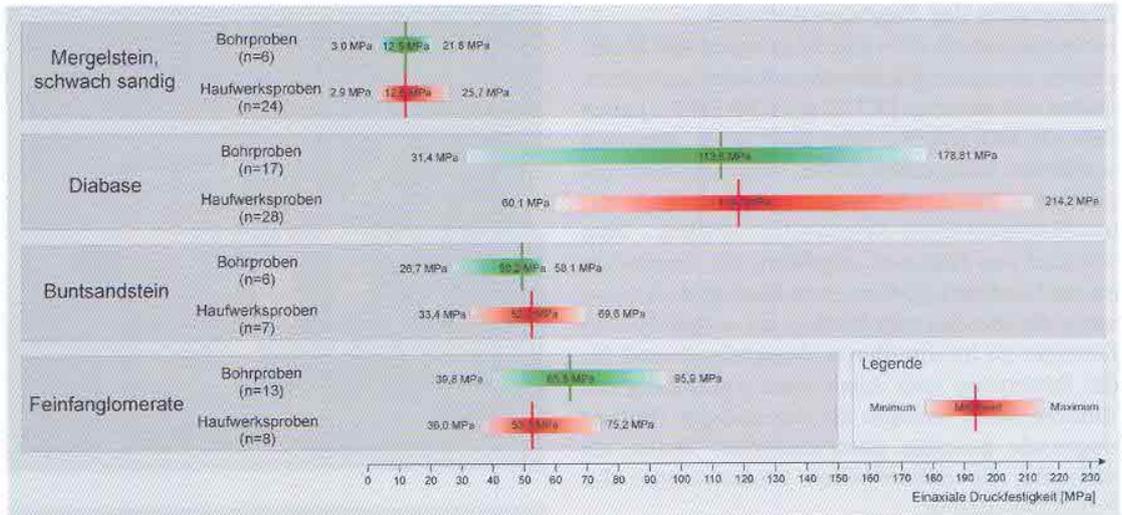


Bild 12. Direkter Vergleich einaxialer Gesteinsdruckfestigkeit von aus Haufwerks- und Bohrproben gewonnenen Probekörpern.

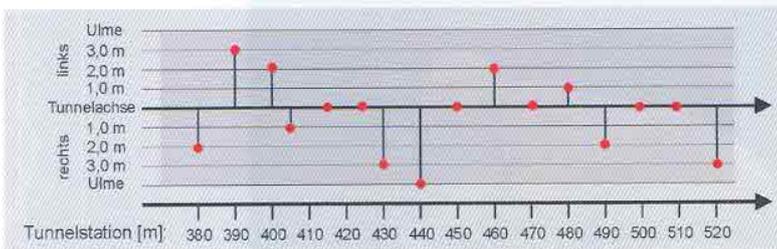


Bild 13. Ausschnitt eines vorlaufend erstellten Prüfplans zur Sprenghaufwerksbeprobung mit statistisch ermittelter Angabe der Probekörperentnahme (Station und Lage des Probekörpers bezüglich der Tunnelachse).

Umsetzung eines statistischen Prüfplans

Die Umsetzung sogenannter „statistischer Prüfpläne“ hat zum Ziel, eine mögliche subjektive Beeinflussung der Prüfergebnisse durch den Probenehmer dort wirksam zu minimieren, wo eine freie Wahl von Proben oder Probenahmelokalitäten möglich ist. Üblich ist dies beispielsweise im Straßenbau bei der Überwachung der Bodenverdichtung. Grundzüge eines derartigen als

Methode „M1“ bezeichneten Verfahrens werden beispielsweise in den ZTVE-StB 94 dargestellt (FGSV, 1997).

Ziel der Prüfung mit Prüfplan ist die Bewertung der Gesamtheit („Prüflos“) mithilfe von Stichproben, wobei die Prüfpunkte vor Probenahme nach Zufallsauswahlverfahren zu bestimmen sind. Eine entsprechende beispielhafte Umsetzung für einen Tunnelvortrieb ist in Bild 13 dargestellt.

Kennwerte, die auf diese Weise unter Anwendung eines statistischen Verfahrens gewonnen wurden, erheben – sofern andere relevante Einflussfaktoren entsprechend berücksichtigt wurden – einen hohen Anspruch auf Repräsentativität. Das statistische Verfahren empfiehlt sich daher insbesondere für bauvertragsrelevante Beweissicherungsuntersuchungen während der Bauausführung.

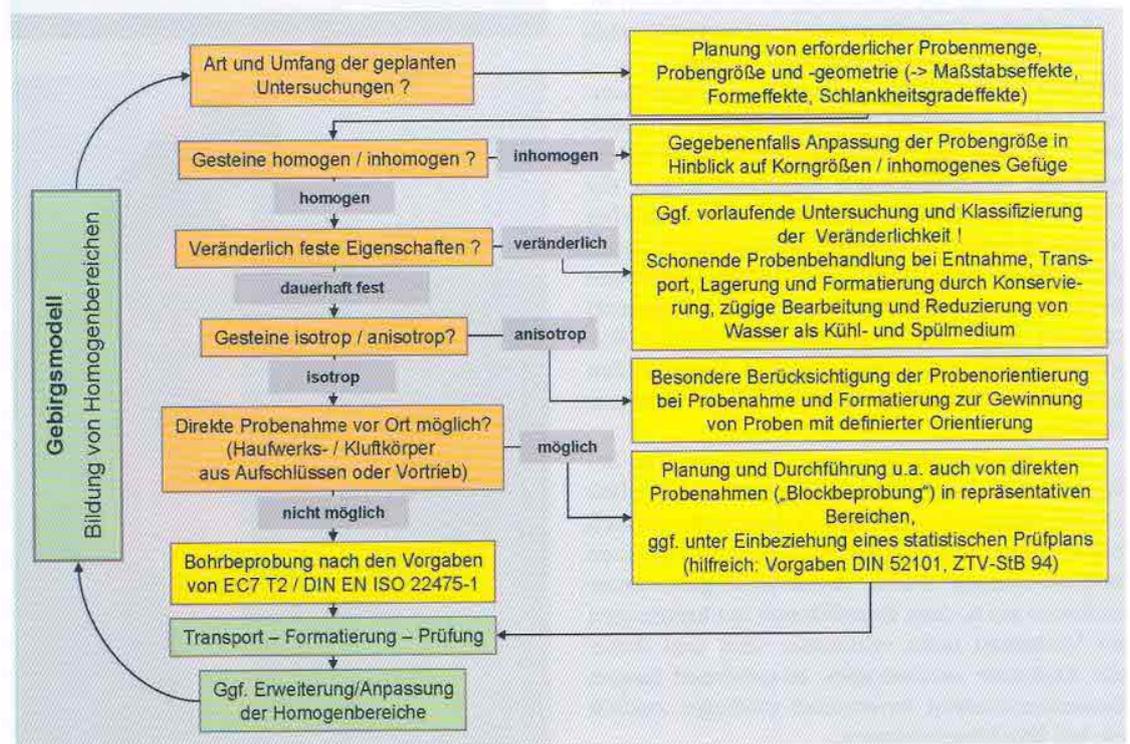


Bild 14. Entscheidungshilfe/ Flussdiagramm für die angepasste Probenahme von Festgesteinen.

Fazit

Auf Basis der vorstehend geschilderten Erfahrungen ist in Bild 14 ein schematisches Flussdiagramm dargestellt, das eine Arbeitshilfe für die Berücksichtigung wesentlicher geotechnischer Aspekte bei Probenahmekampagnen in Festgestein bietet. Das Diagramm kann dabei bei weitem nicht alle Aspekte berücksichtigen, die bei der individuellen Planung einer repräsentativen Beprobung und der damit zusammenhängenden geologisch-geotechnischen Modellbildung eine Rolle spielen.

Die Erarbeitung einer ersten Arbeitshypothese, die Bildung geologischer Homogenbereiche, die Interpretation der schließlich gewonnenen Kennwerte und die Validierung des geologischen Modells werden daher auch in Zukunft Aufgaben darstellen, welche die Fachkompetenz eines erfahrenen Ingenieurgeologen erfordern.

Quellennachweis

DIN 4020 (2003): *Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke*. Beuth Verlag GmbH.

DIN 52101 (2005): *Prüfverfahren für Gesteinskörnungen*. Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 206 (2001): *Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000*. Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 1997-2, Eurocode 7 (2007): *Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007*. Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 14689-1 (2004): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 14689-1:2003*. Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 22475-1 (2006): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006*. Beuth Verlag GmbH

FGSV (1997): *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau – ZTVE-StB 94*. Köln.

HAWKINS, A.B. (1998): *Aspects of rock strength*. Bull. Eng. Geol. & Environment, 57, S. 17-30.

HOEK, E.; BROWN, E.T. (1980): *Underground excavations in rock*. Institution Mining & Metallurgy, London: Chapman & Hall.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978): *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanical Abstr., 15, S. 319-368.

LASHKARIPOUR, G.R. (1998): *The effect of water content on the mechanical behaviour of mudrocks*. Moore, D. P.; Hungry, O. (eds.): *Proceed. 8th IAEG Congress 1998, Vancouver*. Vol. I, Theme 1: New developments in site investigations, S. 289-305, Rotterdam: Brookfield (Balkema).

LEPIQUE, M. (2008): *Empfehlung Nr. 10 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Indirekter Zugversuch an Gesteinsproben – Spaltzugversuch*. Bautechnik 9/2008, S. 623-627.

NICKMANN, M. (2007): *Abgrenzung und Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten*. Diss. TU München.

NICKMANN, M.; SPAUN, G.; THURO, K. (2005): *Untersuchungen zur Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten*. MOSER, M. (Hrsg.): *Veröff. 15. Tagung Ingenieurgeologie*, Erlangen, 06.-09. April 2005, S. 157-163.

PLINNINGER, R.J. (2002): *Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein*. Münchner Geol. Hefte, Reihe B, 17, München: Hieronymus.

PRINZ (1997): *Abriss der Ingenieurgeologie - mit Grundlagen der Boden- und Felsmechanik, des Erd-, Grund- und Tunnelbaus sowie der Abfalldeponien*. 3. Auflage, Stuttgart (Enke).

SIELER, U. (2005): *Keuper als geotechnisches Material*. MOSER, M. (ed.): *Veröff. 15. Tagung Ingenieurgeologie*, 06.-09. April 2005, Erlangen, S. 173-177.

THURO, K. (1996): *Bohrbarkeit beim konventionellen Sprengvortrieb*. Münchner Geol. Hefte, Reihe B, 1, München (Hieronymus).

THURO, K.; PLINNINGER, R.J.; ZÄH, S.; SCHÜTZ, S. (2001): *Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test*. in: SÄRKKÄ, P.; ELORANTA, P. (eds.): *Rock Mechanics – A Challenge for Society*. *Proceed. ISRM Eurock Sympos. 2001*, Espoo, S.169-174, Lisse: Balkema/Swets & Zeitlinger.

THURO, K.; PLINNINGER, R.J. (2001): *Scale effects in rock strength properties. Part 2: Point load test and point load strength index*. SÄRKKÄ, P.; ELORANTA, P. (eds.): *Rock Mechanics – A Challenge for Society*. *Proceed. ISRM Eurock Sympos. 2001*, Espoo, S.175-180, Lisse: Balkema/Swets & Zeitlinger.



TWO IN ONE!

B&C DYNAMISCHES KLEINSCHLEIBENMESSGERÄT

FÜR VERDICHTUNG UND TRAGFÄHIGKEIT

MIT LEICHTEM FALLGEWICHT

NEW! B&C

VON DEM ERFINDER DER AUSARBEITUNG DER DYNAMISCHEN DICHTMESSUNG

www.andreas-ltd.eu