

Geotechnische Aspekte der Beprobung und Untersuchung veränderlich fester Gesteine

Ralf J. Plinninger
Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Deutschland

Georg Spaun
Salzburg, Österreich

Marion Nickmann
Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, Deutschland

Zusammenfassung

Veränderlich feste Gesteine bilden die prägende Gesteinsgruppe des tieferen Untergrunds in Süddeutschland. Sie stellen nicht nur in genetischer Hinsicht ein Zwischenglied zwischen den bindigen Lockergesteinen und Festgesteinen dar, sondern erfordern auch bei der Untersuchung für bautechnische Zwecke eine besondere Herangehensweise. Der vorliegende Beitrag fasst Erkenntnisse und Versuchsverfahren zur Erkennung und Klassifizierung veränderlich fester Eigenschaften zusammen und stellt Aspekte der besonderen Behandlung bei Probengewinnung, Transport, Lagerung, Formatierung und schließlich Prüfung derartiger Gesteinen vor.

1. Verbreitung veränderlich fester Gesteine in Süddeutschland

Veränderlich feste Gesteine, wie z.B. Mergelsteine, Ton-Schluffsteine oder tonig gebundene Sandsteine, sind im süddeutschen Schichtstufenland (u.a. in den Schichtfolgen von Rotliegendem, Trias und Jura), den Tertiärsenken (Molassebecken, Oberrheintalgraben) und den alpinen Schichtfolgen in

erheblichem Maße am Aufbau des tieferen Baugrunds beteiligt (Bild 1).

Die zutreffende Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften dieser Gesteine ist daher für die Planung, Vergabe und Ausführung von Baumaßnahmen im Tiefbau, Spezialtiefbau, Tunnel- und Stollenbau von wesentlicher Bedeutung.

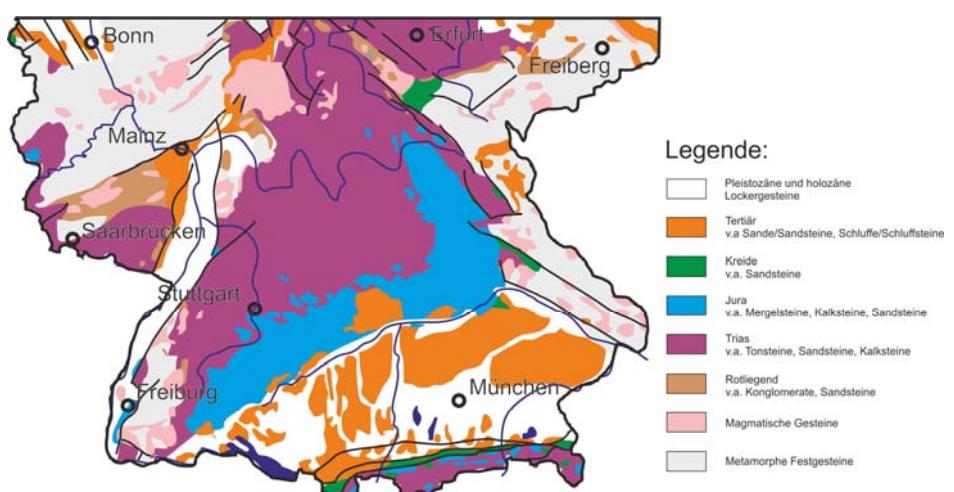


Bild 1: Geologische Übersichtskarte von Süddeutschland. In kräftigen Farben die Schichtfolgen mit nennenswertem Inventar an veränderlich festen Gesteinen (umgezeichnet nach der Geologischen Übersichtskarte von Deutschland 1: 1.000.000).

2. Stellung und Genese veränderlich fester Gesteine

Die Problematik bei der Beschäftigung mit den sogenannten „veränderlich festen“ oder „Halbfestgesteinen“ beginnt bereits bei der Definition dieser Begriffe, die sich in dieser Form in keiner der einschlägigen deutschen Normen (v.a. DIN EN ISO 14688 / 14689) findet. Im Zusammenhang mit dem Wasserlagerungsversuch wird in DIN EN ISO 14689-1; [2] lediglich die Eigenschaft der sog. „Veränderlichkeit“ beschrieben, die hier als Reaktion des Gesteins auf eine 24-stündige Wasserlagerung definiert ist.

Im allgemeinen Sprachgebrauch der Ingenieurgeologie und Geotechnik werden veränderlich feste Gesteine vor allem durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- **Festigkeit:** Veränderlich feste Gesteine sind Festgesteine im Sinne der DIN EN ISO 14689-1 und weisen einen deutlichen inneren Zusammenhalt auf, der sie von Lockergesteinen unterscheidet;
- **Sensitivität gegenüber Wasser:** Veränderlich feste Gesteine reagieren auf Veränderungen des Wassergehalts durch irreversible Schwächung des Mineralgefüges bis hin zur völligen Desintegration;
- **Bautechnisch relevante Reaktionszeit:** Die Veränderung bzw. Zerstörung erfolgt in einer bautechnisch relevanten, kurzen Zeitspanne von bis zu wenigen Jahren.

Hinsichtlich ihrer Eigenschaften nehmen die veränderlich festen Gesteine damit eine Zwischenstellung zwischen den (bindigen) Lockergesteinen und den (dauerhaft festen) Festgesteinen im engeren Sinne ein.

Bild 2 zeigt dabei auch die Problematik der Grenzziehung zwischen den drei Gesteinsgruppen auf, deren Eigenschaften durch die geologischen Prozesse der Diagenese, Metamorphose und Verwitterung sukzessive verändert und ineinander überführt werden können.

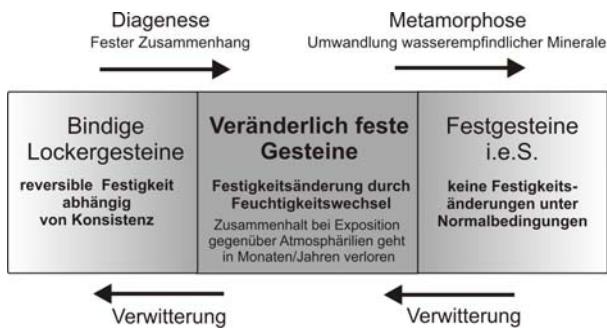


Bild 2: Stellung und Abgrenzung der veränderlich festen Gesteine (aus: [6]: Fig. 1, S. 158).

Lässt man Sonderfälle der veränderlich festen Gesteine, wie z.B. die sog. „Sonnenbrenner“-Basalte – hier wird die Reaktion durch Minerale der sog. Feldspatvertreter verursacht – außer Acht, so sind die Eigenschaften veränderlicher fester Gesteine und Grenzzustände

durch den Umwandlungsgrad der enthaltenen Schichtsilikate im Zuge ihrer Genese geprägt (Bild 3).

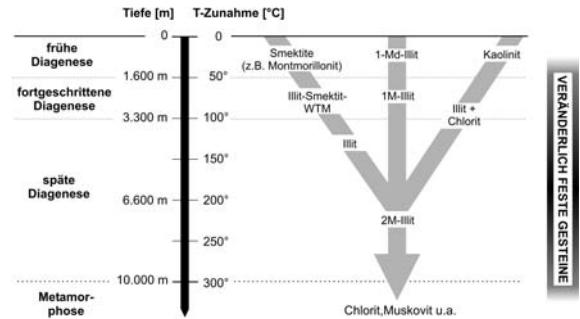


Bild 3: Stadien der Diagenese bindiger Lockergesteine und deren charakteristische Tonmineralumwandlungen (aus: [7], Abb. 8, S. 17).

Während der Diagenese und schließlich Metamorphose werden dabei die ursprünglich im Lockergestein abgelagerten Tonminerale zunächst in Illit und schließlich in nicht mehr wasserempfindliche Minerale der Glimmergruppe (v.a. Chlorit, Muskovit) umgewandelt.

Eine scharfe Grenzziehung zwischen bindigen Lockergesteinen und veränderlich festen Gesteinen ist genetisch nicht möglich (siehe auch Bild 3). In der Vergangenheit wurde daher hilfsweise oft auf die Einaxiale Druckfestigkeit zurückgegriffen, wobei als Obergrenzen für Lockergesteine meist Kennwerte zwischen 0,5 – 3,6 MPa genannt werden [7]. Da auch eindeutig als Lockergesteine anzusprechende Gesteine Festigkeiten bis rd. 5,0 MPa aufweisen können, stellt eine derartige, allein über die Festigkeit hergeleitete Grenze allerdings keine wissenschaftlich und baupraktisch befriedigende Lösung dar.

Die Grenzziehung zwischen veränderlich festen und dauerhaft festen Gesteinen ist in genetischer Hinsicht durch die Umwandlung der letzten Illitminerale in stabile Schichtsilikate bei rd. 350°C (entspricht einer Versenkungstiefe von immerhin rund 10 km) definiert. Ein derartiger Nachweis ist mineralogisch möglich, eine baupraktisch verwertbare Aussage kann aber nur dann getroffen werden, wenn tatsächlich keinerlei Illitminerale mehr festgestellt werden können. In allen anderen Fällen mit positivem Illitbefund bleibt eine Bewertung der potenziellen Veränderlichkeit offen.

3. Klassifizierung veränderlich fester Eigenschaften

Nachdem eine sichere Quantifizierung der Anfälligkeit für kurz- oder langfristig ablaufende Gefügeveränderungen mit Hilfe „herkömmlicher“ Kennwerte (wie z.B. Tonmineralanalysen oder Festigkeitsuntersuchungen) nur unzureichend möglich ist, stellen Indexversuche einen baupraktisch sinnvollen Lösungsansatz dar. Hierzu sind eine Vielzahl von Versuchsverfahren eingeführt worden, die hinsichtlich ihres Versuchsaufwands und Ergebnisses stark variieren. Im Folgenden soll ein knapper Überblick über einige der gebräuchlichsten Verfahren gegeben werden.

3.1 Wasserlagerungsversuch nach DIN EN ISO 14689-1

Durchführung: Beim sog. „Wasserlagerungsversuch“ gem. DIN EN ISO 14689-1: 2003 [2] (ehemals DIN 4022) wird ein intaktes Handstück für die Dauer von 24 Stunden vollständig in Wasser eingelegt und danach die ggf. stattgefundene Veränderung beschrieben. Daraus können gemäß Tabelle 1 fünf sog. „Grade“ der Veränderlichkeit abgeleitet werden.

Tabelle 1: Klassifizierung der Veränderlichkeit von Gesteinen unter Wasserbedeckung (aus: [2], Tabelle 4, S. 9)

Grad	Bezeichnung	Beschreibung
1	nicht veränderlich	keine Veränderung
2	veränderlich	Bildung von einigen Rissen oder Bröckeln von Teilen der Probenoberfläche
3		Bildung von vielen Rissen, Gestein zerfällt in kleine Stücke oder starkes Bröckeln der Probenoberfläche
4	stark veränderlich	Probe ist vollständig zerfallen oder Bröckeln fast der gesamten Probenoberfläche
5		Probe ist vollständig zerfallen oder in Brei übergegangen

Bewertung: Der baustellentaugliche Versuch ist schnell (1 Tag) durchführbar und setzt keine besondere Ausstattung voraus. Problematisch ist die schlechte Auflösung bezüglich des Langzeitverhaltens, d.h. in der als „Grad 1“ bezeichneten Klasse werden eine Vielzahl tatsächlich dauerhaft fester Gesteine, aber auch nur kurzfristig nicht veränderlicher Gesteine zusammengefasst. Eine langfristige Dauerhaftigkeit des Materials kann mit diesem Verfahren also nicht nachgewiesen werden.

3.2 Kombiniertes Verfahren nach NICKMANN

Durchführung: Bei der hier als „Nickmann-Prozedur“ bezeichneten Untersuchung nach [7] werden nacheinander 3 Wasserlagerungsversuche gem. DIN EN ISO 14689-1 und danach ein Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat gem. DIN EN 12370 [4] (ehemals DIN 52111) durchgeführt. Aus dem Verhalten kann gemäß Tabelle 2 auf sechs Veränderlichkeitsklassen (VK) geschlossen werden.

Tabelle 2: Klassifizierung der Veränderlichkeit von Gesteinen (nach [7], Tab. 29, S. 79)

VK	Bezeichnung	Beschreibung
0	nicht veränderlich	Keine Veränderung im modifizierten Wasserlagerungsversuch und Kristallisationsversuch
1	gering veränderlich	Keine Veränderung im modifizierten Wasserlagerungsversuch, Zerfall im Kristallisationsversuch
2	langsam veränderlich	Bei einfacher Wasserlagerung Abbrechen von Kluftkörpern bis max. 27,5 % der Ausgangsmasse, die dann weitgehend intakt bleiben oder bis zum 3. Wechsel Abbrechen von Aggregaten bis max. 50 % der Ausgangsmasse
3	mäßig schnell veränderlich	Bei erstmaliger Wasserlagerung Abbrechen von Kluftkörpern bis max. 54 % der Ausgangsmasse, die dann weitgehend intakt bleiben oder sukzessives Abbrechen von Aggregaten bis max. 2,5 % Restmasse
4	schnell und stark veränderlich	Bei erstmaliger Wasserlagerung Zerfall in Kluftkörper mit mindestens 12,5 % der Ausgangsmasse oder bis zum 3. Wechsel Zerfall in Aggregate bis 1% der Ausgangsmasse
5	unmittelbar und sehr stark veränderlich	Bei einmaliger Wasserlagerung unmittelbarer Zerfall in kleinstückige Aggregate mit < 25% der Ausgangsmasse, bis zum 3. Wechsel weitere Zerlegung

Bewertung: Der Versuch benötigt – abgesehen von einem Trockenschrank – keine besondere Ausstattung, ist aber im Vergleich zum reinen Wasserlagerungsversuch bereits als Laborversuchsverfahren anzusehen. Die Versuchsdauer ist mit rd. 2 Wochen nennenswert, dafür liefert das Verfahren eine sehr gute Auflösung sowohl des Sofort-, als auch des Langzeitverhaltens.

3.3 Siebtrommelversuch nach TP BF-StB T. C20

Durchführung: Beim sog. „Siebtrommel-Versuch“ – im angloamerikanischen Raum als „slake durability test“ bezeichnet – wird eine spezielle Versuchsausrüstung verwendet (Bild 4), in der die Proben sowohl einer mechanischen Beanspruchung (Rotation der Siebtrommeln), als auch einer Befeuchtung unterzogen werden. Der Versuch wird in der Regel mit sechs Versuchzyklen durchgeführt, zwischen denen die Proben immer wieder auf Massekonstanz getrocknet werden.



Bild 4: Versuchsausrüstung für den Siebtrommelversuch (aus Gerätekatalog der Fa. APS WILLE, Göttingen)

Für den Versuch liegt seit 2002 eine deutsche Versuchsempfehlung vor (Empfehlung Nr. 20 des DGGT-Arbeitskreises 3.3. Versuchstechnik Fels; [1]), die als Teil C der Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau TP BF-StB auch bauaufsichtlich eingeführt ist. Aus dem Masseverlust der Proben nach dem zweiten Zyklus wird der Zerfallsbeständigkeitsindex Id ermittelt und gemäß Tabelle 3 eine Zuordnung zu einer von insgesamt sechs Zerfallsbeständigkeits-Klassen getroffen.

Tabelle 3: Klassifizierung der Zerfallsbeständigkeit von Gesteinen im Siebtrommelversuch (aus: [1], Tabelle 2, S. 7).

Zerfallsbeständigkeits-Index Id [%]	Zerfallsbeständigkeit
> 98	zerfallsresistent
95 – 98	sehr hoch
85 – 95	hoch
60 – 85	mittel
30 – 60	niedrig
< 30	sehr niedrig

Bewertung: Das Verfahren basiert auf einer aufwändigen Spezialausrüstung und ist daher als reines Laborverfahren anzusehen. Das Langzeitverhalten veränderlich fester Gesteine kann sehr gut erfasst werden, das Sofortverhalten wird jedoch durch das anfängliche Trocknen der Proben bei 105°C

nen der Proben bei 105°C beeinflusst. Die Versuchsdauer für sechs Versuchzyklen beträgt rund 1 Woche.

4. Aspekte der Untersuchung veränderlich fester Gesteine

4.1 Untersuchungspraxis

Veränderlich feste Gesteine sind Festgesteine im Sinne der DIN EN ISO 14689-1 und können erhebliche Druckfestigkeiten (von bis zu rd. 80 MPa) erreichen. Dies bedingt, dass bodenmechanische Verfahren am intakten Gestein oft nicht anwendbar, bzw. meist auch nicht sinnvoll sind. Für die zutreffende Charakterisierung dieser Gesteine ist die Ermittlung felsmechanischer Parameter, wie z.B. Einaxiale Druckfestigkeit oder Spaltzugfestigkeit zielführender.

Wie bereits einleitend dargestellt, ist eine grundlegende Eigenschaft veränderlich fester Gesteine, dass ihre mechanischen Eigenschaften rasch und erheblich vom Feuchtegehalt und eventuellen Trocknungs- und Wiederbefeuchtungsvorgängen beeinflusst werden. Während dies für Kennwerte, die aus in-situ-Untersuchungen (z.B. Bohrlochaufweitungsversuche, o.ä.) ermittelt werden, nur von untergeordneter Bedeutung ist, hat dieser Umstand gravierende Auswirkungen auf im Labor ermittelte Kennwerte, da die Untersuchung hier in aller Regel mehrere Arbeitsschritte, u.a. Probenahme, Transport, Lagerung und Formierung, voraussetzt (Bild 5).

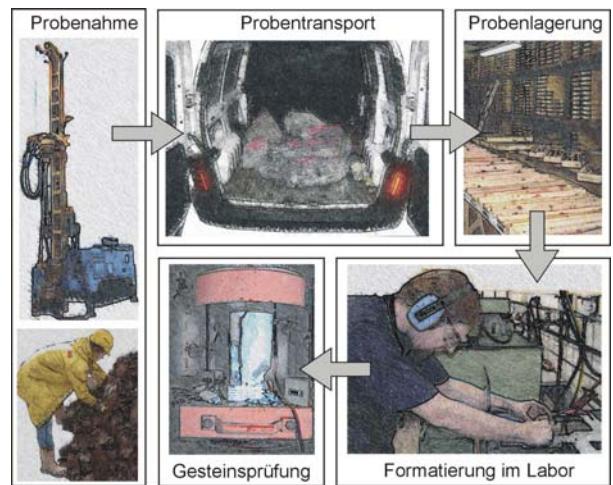


Bild 5: Schematische Darstellung der Bearbeitungsschritte bei der Prüfung von Festgesteinen (aus: [10], Bild 1, S. 309)

Wie Bild 5 zeigt, sind bei nicht fachgerechter Probenbehandlung ausreichend Möglichkeiten für eine Veränderung des Feuchtezustands gegeben, so dass eine Schwächung des Gesteinsgefüges vor der Prüfung stattfinden kann und die ermittelten Parameter damit unzutreffend (d.h. im Vergleich mit den tatsächlichen Eigenschaften meist zu niedrig) bestimmt werden.

Während dieser Umstand als „worst case“-Szenario für Fragen der Statik ggf. noch toleriert werden kann – die ermittelten Kennwerte liegen hierfür auf der „sicheren Seite“ – haben sich in der Vergangenheit zahlreiche Probleme bei Fragestellungen ergeben, bei denen zu niedrig ermittelte Kennwerte zu optimistische Ansätze nach sich zogen – insbesondere bei Fragen der Abbaubarkeit und Lösbarkeit.

Auch im Kontext statischer Fragestellungen sollte aber nicht verkannt werden, dass unzutreffend angesetzte Kennwerte Folgen für die Wirtschaftlichkeit der gewählten Bauverfahren und die Dimensionierung von Stützmitteln nach sich ziehen können.

Um möglichst repräsentative Aussagen für die maßgeblichen Gesteinseigenschaften ermitteln zu können, muss das Ziel einer fachgerechten Probenahme und Probenbehandlung sein:

- derartig reagierende Gesteine sicher zu erkennen,
- den natürlichen Feuchtegehalt bis zur Gesteinsprüfung nach Möglichkeit zu erhalten,
- und Trocknungs- / Wiederbefeuuchtungsvorgänge zu verhindern.

4.2 Probengewinnung

Die angepasste Behandlung von veränderlich festen Gesteinen, die für Laboruntersuchungen vorgesehen sind, beginnt bereits bei der Wahl der Probenahmehandik (Bild 6).



Bild 6: Übersicht über Kernbohrverfahren, ihren bohrtechnischen Aufwand sowie die mögliche Veränderung des Gefüges bei der Gewinnung veränderlich fester Gesteine.

Hierbei stellt das konventionelle Rotationskernbohren mit Wasserspülung und Einfach- oder Doppelkernrohr eine bohrtechnisch zwar einfach zu realisierende und ökonomische Lösung dar, wird jedoch aus Sicht der Verfasser den spezifischen Problemen bei der Gewinnung veränderlich fester Gesteine nicht gerecht. Da die Probe im Kernrohr während der gesamten Dauer eines Kernmarschs (rd. 30 min – 1 h) den Einflüssen der Wasserspülung ausgesetzt ist, findet hierbei zwangs-

läufig eine Veränderung des natürlichen Wassergehalts statt.

Besser geeignet sind Verfahren mit Mehrfachkernrohr und sog. „Inliner“ (bei denen der Kern unmittelbar nach dem Freischneiden in einem Kunststoffschatzrohr aufgenommen und so der Exposition gegenüber Wasser entzogen wird), oder sog. Rotations-Trockenkernbohr-Verfahren, bei denen von vorneherein auf Wasser als Kühl- und Spülmedium verzichtet wird.

Positive Erfahrungen liegen auch für die Beprobung mit Sonderproben (z.B. Kluft- oder Haufwerksproben aus frischen Anschnitten, Sondierstollen, o.ä.) vor, bei denen im Gelände kein Einsatz von Wasser erforderlich ist und daher keine weitere Veränderung zu erwarten ist (siehe [10]).

4.3 Probenahme und –transport

Der rasche Schutz der gewonnenen Proben muss grundsätzlich sowohl den Aspekt des mechanischen Schutzes berücksichtigen, als auch weiteres Befeuchten oder Austrocknen an der Atmosphäre verhindern. Die Forderungen der DIN EN ISO 22475 [3] zum Schutz von Felsproben der Kategorie A sind dabei praxistauglich und zielführend. Sie umfassen im Wesentlichen (Abs. 11.5.2, S. 58):

- Transport in horizontaler Ausrichtung,
- Lagerung in festen Probenbehältern,
- sofortiges Verschließen von Inlinern (siehe Bild 7),
- bzw. Versiegeln von Proben mit Wachs, Ummwickeln mit Folie, o.ä.
- Schutz gegen Erschütterungen, Stöße sowie gegen Hitze, Kälte und Temperaturwechsel, z.B. mit Sägespäne, Gummi, Styropor oder Urethanschaum.



Bild 7: Setzen einer Silikonplombe bei einer in einem Mehrfachkernrohr mit Inliner gewonnenen Tonmergelsteinprobe (Foto: Plinninger)

Jüngste Erfahrungen bei der Beprobung veränderlich fester Keupergesteine ([11], S. 174) zeigen jedoch, dass die Vorgaben der DIN EN ISO 22475 in der Praxis (immer noch) nicht vollständig umgesetzt werden.

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

4.4 Laboruntersuchung

Die Berücksichtigung der Veränderlichkeit bei der Gesteinsprüfung im Labor umfasst im Wesentlichen die Wahl geeigneter Untersuchungsverfahren sowie die schonende Formatierung der Proben, bei der Wasser als Kühls- und Spülmedium nicht oder nur äußerst sparsam verwendet werden sollte.

Als eindrucksvolles Beispiel dafür, dass bei entsprechend anfälligen Gesteinen der Einsatz von Wasser bei der Probenformatierung einen versuchsentscheidenden Einfluss ausüben kann, sind in den nachstehenden Bildern 8 und 9 die Ergebnisse zweier Punktlastversuche gegenübergestellt.

LEHRSTUHL FÜR ALLGEMEINE, ANGEWANDTE UND INGENIEUR-GEOLOGIE

POINT-LOAD-TEST

(Würfelfest)

Anlage PLT 12

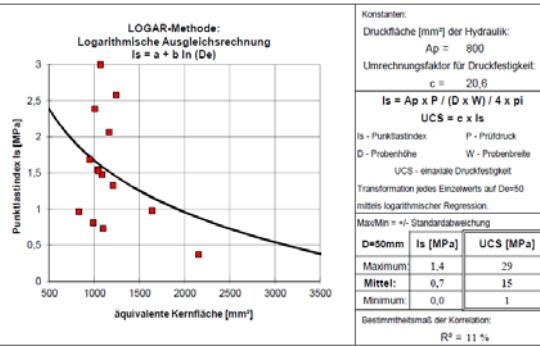
Projekt:	Tunnel Bad Wildbad	Gestein:	Rotliegend-Ton-Schluffstein
Entnahmest:	Haufwerk Stat. 434-436 m / SPAUN	Proben-Nr.:	WB Block 4
Bearbeiter:	Plininger	Datum des Tests:	02.03.1995

Gesteinsbeschreibung: dunkelrot gefärbter, schwach glimmeriger Oberflächen-Schluff-stein. Matrix tonig-schluffig. Nur vereinzelt größere (bis 3mm), weiße Quarz- und Feldspatbeschusste; schlecht gerader. Veränderlich fest; nach dem Sägen zerbrachen 5 Würfel bereits beim Einspannen.

Inhomogenitäten, Trennflächen: Größtkorn: 3mm
keine Schichtung erkennbar. Zahlreiche kleine, unorientierte Risse nach nassem Sägen sichtbar

Lagerung der Prüfkörper: trocken Wassergehalt: -

Nr.	P [MPa]	D [mm]	W [mm]	UCS (50) [MPa]	Nr.	P [MPa]	D [mm]	W [mm]	UCS (50) [MPa]
1	4	24,8	33,8	43,7	16				
2	4	34,8	28	38,3	17				
3	2	34,6	24,6	12,7	18				
4	2	37,3	34,5	11,2	19				
5	2	28,1	33,7	11,9	20				
6	1	39,4	42,9	4,5	21				
7	3	27,7	32,9	26,3	22				
8	2	29,3	27,8	13,1	23				
9	2	27,1	27,5	14,2	24				
10	2	28,3	29	13,1	25				
11	1	28,1	27,6	0,0	26				
12	1	26,7	32,2	0,0	27				
13	3	28	28,2	29,9	28				
14	1	23,8	27,3	0,0	29				
15				50					



Technische Universität München

Bild 8: Punktlastversuch 1 an mit Wasserspülung gesägten Würfeln (aus: [8]).

LEHRSTUHL FÜR ALLGEMEINE, ANGEWANDTE UND INGENIEUR-GEOLOGIE

POINT-LOAD-TEST

(Irregular Lump Test)

Anlage: PLT 13

Projekt: Tunnel Bad Wildbad
Entnahmest: Haufwerk Stat. 462,5 m
Bearbeiter: Plininger

Gestein: Rotliegend-Ton-Schluffstein
Proben-Nr.: WB Block 5
Datum des Tests: 28.03.1995

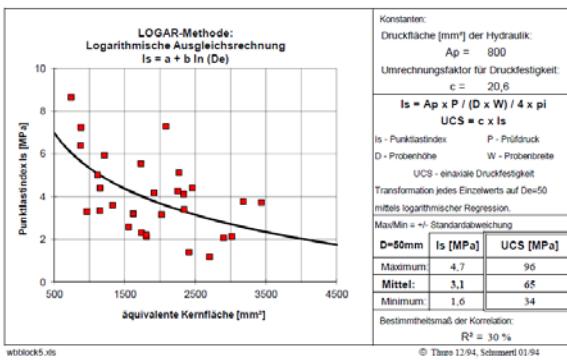
Gesteinsbeschreibung: Ton-Schluff-Stein des oberen Rotliegend. Dunkelrotes, kompaktes Gestein im oberen Bereich von blaugrau verfärbter Schichtfläche abgeschlossen. Veränderlich fest nach DIN 4022 T1. Formatierung mit Hammer.

Inhomogenitäten, Trennflächen: Größtkorn: 0,2 mm

Gestein von zahlreichen Harnischen durchzogen. Ungeschichtet, homogen-isotrop

Lagerung der Prüfkörper: trocken Wassergehalt: -

Nr.	P [MPa]	D [mm]	W [mm]	UCS (50) [MPa]	Nr.	P [MPa]	D [mm]	W [mm]	UCS (50) [MPa]
1	7,0	24,0	36,5	63,7	16	7,0	20,1	34,2	80,1
2	4,8	22,0	41,0	30,6	17	8,0	27,2	21,4	118,0
3	6,3	21,5	42,0	52,0	18	15,0	35,0	71,3	89,6
4	4,0	19,0	40,0	21,4	19	4,8	27,1	52,4	27,8
5	19,0	31,5	52,0	141,2	20	14,5	32,2	55,3	100,6
6	8,0	29,8	53,3	54,7	21	5,0	24,4	50,0	29,6
7	9,0	25,5	37,5	36,8	22	16,0	38,0	71,0	92,4
8	12,0	19,0	71,5	96,2	23	7,5	38,0	60,0	49,9
9	6,5	30,7	41,4	44,8	24	8,0	37,2	63,7	53,0
10	5,0	30,0	45,5	29,5	25	4,0	28,0	75,8	28,2
11	10,0	43,4	42,4	67,1	26	4,2	34,0	55,7	26,9
12	12,0	27,0	65,5	82,7	27	8,0	20,4	34,0	98,0
13	10,0	28,1	53,5	72,9	28	13,5	35,4	54,5	89,7
14	6,0	26,2	39,8	43,3	29	5,0	28,3	50,0	29,6
15	12,0	26,6	68,9	81,4	30				



© Thesis 12/94, Schmitt 01/94

Bild 9: Punktlastversuch 2, selbes Probenmaterial wie in Bild 8, Probenkörper trocken mit Hammer formatiert (aus: [8]).

Die Probekörper für beide Versuchsreihen wurden aus einer einzigen Probe (Haufwerksblock) eines massigen, roten Tonschluffsteins aus dem Oberen Rotliegenden im Nordschwarzwald hergestellt. Ein Test erfolgte an Würfeln, die mit einer wassergekühlten Gesteinssäge formatiert worden waren, der zweite Test verwendete trocken, nur mit dem Hammer formatierte Proben, sog. „irregular lumps“.

Die mit Wasser in Kontakt gekommenen Proben zeigten bereits nach dem Sägen auffällige Abplatzungen und Risse und zerbrachen teilweise beim Einspannen in die Prüfpresse. Der abgeleitete Schätzwert der Einaxialen Druckfestigkeit von rd. 15 MPa fiel entsprechend gering aus. Anders dagegen die trocken formatierten Proben, die alle prüfbar waren und eine Festigkeit von rd. 65 MPa erreichten. Dieser Festigkeitswert entsprach viel eher dem vor Ort beobachteten Verhalten dieses Horizonts, als der offensichtlich zu niedrig bestimmte Kennwert von 15 MPa.

Neben dem vollständigen oder teilweisen Zerfall der Probe können bei Änderung des Wassergehalts aber auch makroskopisch nicht erkennbare Veränderungen der mechanischen Eigenschaften auftreten. Für viele veränderlich feste Gesteine ist beispielsweise eine signifikante Abhängigkeit zwischen Einaxialer Druck-

festigkeit und Wassergehalt festzustellen, wobei Festigkeitsdifferenzen von bis zu 90 % zwischen trockenen und feuchten Proben bekannt sind (Bild 10).

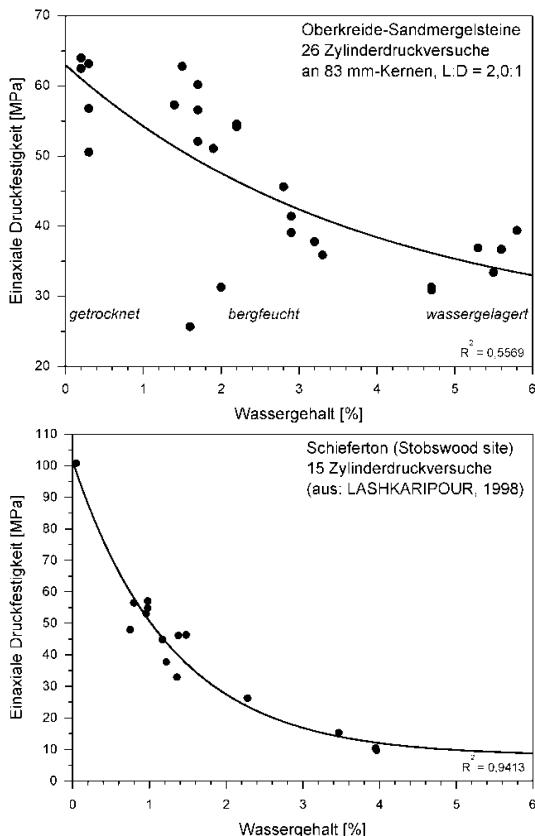


Bild 10: Zwei Beispiele für die Abhängigkeit der Einaxialen Druckfestigkeit vom Wassergehalt der Proben; oben: Prüfergebnisse an einem kretazischen Sandmergelstein (aus: [9]), unten Prüfergebnisse an einem Ton-schiefer (aus: [5]).

Besonders geeignet sind unter diesem Gesichtspunkt Versuchsverfahren, die mit geringen Anforderungen an die Probengeometrie auskommen und deren Probekörper trocken, also z.B. von Hand oder mit Hilfe einer Säge formatiert werden können. Dies trifft z.B. für den CERCHAR-Abrasivitätstest oder den Punktlastversuch zu, die beide auch an unregelmäßig geformten Handstücken durchgeführt werden können.

Bei anderen Versuchsverfahren, wie z.B. dem Einaxialen Druckversuch sind geometrisch exakte Probekörper Voraussetzung für die normgemäße Versuchsdurchführung. Auch hier können jedoch zur Erhaltung der ursprünglichen Gesteinseigenschaften Anpassungen vorgenommen werden, so dass z.B. angelieferte Kernproben trocken abgelängt und geschliffen werden. Dass eine derartige Vorgehensweise aufwändig, jedoch technisch möglich ist, zeigen die in dieser Form von NICKMANN durchgeführten Einaxialen Druckversuche an trocken formatierten, prismatischen Probekörpern ([7]: S. 47ff).

5. Schlussfolgerungen

Der Blick auf die geologische Karte zeigt, dass veränderlich feste, bzw. „Halbfestgesteine“ die prägende Gesteinsgruppe des tieferen Untergrunds in Süddeutschland darstellen. Diese Gesteine sind jedoch nicht nur in genetischer Hinsicht ein Zwischenglied zwischen bindigen Lockergesteinen und Festgesteinen - auch bei der Laboruntersuchung für bautechnische Zwecke wird eine besondere Herangehensweise im Grenzbereich zwischen Boden- und Felsmechanik erforderlich.

Um möglichst repräsentative Aussagen für die maßgeblichen Gesteinseigenschaften ermitteln zu können, muss es Ziel einer fachgerechten Probenahme und Probenbehandlung sein, derartig reagierende Gesteine sicher zu erkennen, den natürlichen Feuchtegehalt bis zur Gesteinsprüfung nach Möglichkeit zu erhalten und Trocknungs- / Wiederbefeuungsvorgänge zu verhindern.

Die Entnahme von Sonderproben, Bohrverfahren mit Mehrfachkernrohr und Inliner oder Rotations-Trockenkernbohr-Verfahren stellen angepasste Entnahmeverfahren dar, die die Exposition von zur Laboruntersuchung bestimmten Proben gegenüber Wasser reduzieren.

Bei Probenahme und Transport sind die Forderungen der DIN EN ISO 22475 [3] zum Schutz von Felsproben der Kategorie A umbedingt anzuwenden.

Bei der Laboruntersuchung schließlich sollten geeignete Untersuchungsverfahren ausgewählt und Wasser als Kühl- und Spülmedium bei der Formatierung nicht oder nur äußerst sparsam verwendet werden.

Besonders geeignet sind unter diesem Gesichtspunkt Versuchsverfahren, die mit geringen Anforderungen an die Probengeometrie auskommen und deren Probekörper trocken, also z.B. von Hand oder mit Hilfe einer Säge formatiert werden können. Auch bei anderen Versuchsverfahren können zur Erhaltung der ursprünglichen Gesteinseigenschaften Anpassungen vorgenommen werden, so dass z.B. angelieferte Kernproben trocken abgelängt und geschliffen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlung Nr. 20 des Arbeitskreises 3.3 "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Zerfallsbeständigkeit von Gestein - Siebtrommelversuch.- Bautechnik, 79, 2002: 2: S. 101-105, Ernst & Sohn, 2002.
- [2] DIN – Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 14689-1: 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, Berlin, 2003.
- [3] DIN - Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 22475-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006, Berlin, 2006.
- [4] DIN - Deutsches Institut für Normung: DIN EN 12370, Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung des Widerstandes gegen Kristallisation von Salzen; Deutsche Fassung EN 12370: 1999, Berlin, 1999.
- [5] Lashkaripour, G.R.: The effect of water content on the mechanical behaviour of mudrocks.- in: Moore, D.P. & Hungr, O. (eds.): Proceedings 8th International IAEG Congress 1998, Vancouver. Vol. I, Theme 1: New developments in site investigations: 289-305, Rotterdam, Brookfield, 1998.
- [6] Nickmann, M., Spaun, G. & Thuro, K.: Untersuchungen zur Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten. – In: Moser, M. (ed.): Veröffentlichungen von der 15. Tagung Ingenieurgeologie, 6.-9. April 2005: 157-164, Erlangen, 2005.
- [7] Nickmann, M.: Abgrenzung und Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten, Münchener Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe B: Ingenieurgeologie - Hydrogeologie – Geothermie, Band B12, 148 Seiten, 99 Abb., 40 Tab., 3 Anhänge, München, 2009.
- [8] Plinninger, R.J.: Meisterntunnel Bad Wildbad/Schwarzwald: Regionalgeologische und ingenieurgeologische Erkenntnisse im Zuge der Auffahrung des Innerstädtischen Entlastungstunnels. - 130 S., 69 Abb., 30 Tab., 4 Beil.; Dipl.Arb. und Dipl.Kart. TU München (unveröff.),
- [9] Dipl.Kart. TU München (unveröff.), München, 1997.
- [10] Plinninger, R.J., Bruelheide, Th. & Nickmann, M.: Geotechnische Aspekte der repräsentativen Beprobung von Festgesteinen.- geotechnik, 31, 4: 308 - 317, Essen, 2008.
- [11] Sieler, U.: Keuper als geotechnisches Material.- in: Moser, M. (ed.): Veröffentlichungen von der 15. Tagung für Ingenieurgeologie, Erlangen, 06.-09. April 2005: S. 173-177, Erlangen, 2005.