

Tagungsband

12.-13. September

2023

Congress
Centrum Würzburg



- ▶ **23. Tagung für Ingenieurgeologie**
- ▶ **25. Symposium Felsmechanik und Tunnelbau**
- ▶ **4. Bodenmechanik-Tagung**
- ▶ **18. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik – FS-KGEO 2023**
- ▶ **10. Symposium Umweltgeotechnik**



Empfehlungen und Empfehlungsarbeit des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstech- nik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried
Dr.-Ing. Thomas Frühwirt, Technische Universität Graz
Dipl.-Ing. Thomas Mutschler, ehem. Karlsruher Institut für Technologie, Pfinztal

Der 1976 als „Arbeitskreis 19, Versuchstechnik Fels“ gegründete Arbeitskreis 3.3 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. erarbeitet Empfehlungen für felsmechanische Labor- und Feldversuche sowie Messungen im Gebirge und an geotechnischen Bauwerken. In diesen Empfehlungen werden Messprinzipien, die Anforderungen an Geräte sowie Vorgehensweisen für die Durchführung und Auswertung solcher Versuche und Messungen festgelegt. Damit soll erreicht werden, dass felsmechanische Versuchs- und Messergebnisse miteinander vergleichbar sind. In den ersten 45 Jahren seiner Tätigkeit hat der Arbeitskreis insgesamt 25 Empfehlungen publiziert, viele davon bereits in einer zweiten, aktualisierten Neufassung. Die Empfehlungen des AK 3.3 umfassen dabei sowohl thematische Neubearbeitungen, als auch in den nationalen Kontext übertragene internationale Normen und Empfehlungen. Viele der bisher veröffentlichten Empfehlungen sind im weiteren Normierungsprozess in DIN- und EN-Normen überführt worden. Die bis 2020 in der Zeitschrift „Bautechnik“ veröffentlichten Empfehlungen werden seit 2021 in der Fachzeitschrift „geotechnik“ veröffentlicht, ein Sammelband aller bisherigen Empfehlungen ist im Oktober 2022 im Verlag Ernst & Sohn erschienen. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Empfehlungen und die aktuelle Empfehlungsarbeit des AK3.3.

1 Aufgaben des AK 3.3

Der Arbeitskreis 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) hat innerhalb der Fachsektion „Felsmechanik“ die Aufgabe, Empfehlungen für die Durchführung von felsmechanischen Labor- und Feldversuchen sowie Messungen im Gebirge und an geotechnischen Bauwerken zu erarbeiten. In diesen Dokumenten werden Messprinzipien, die Anforderungen an Geräte sowie Vorgehensweisen für die Durchführung und Auswertung solcher Versuche und Messungen festgelegt. Damit soll erreicht werden, dass Versuchs- und Messergebnisse miteinander vergleichbar sind

2 Historie

Der Arbeitskreis wurde im Jahr 1976 als Arbeitskreis 19 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V. (DGEG) ins Leben gerufen. In der Folge der Umbenennung der DGEG in DGGT im Jahre 1994 wurden die Arbeitskreise neu gegliedert und zugeordnet. Seit 1995 ist der Arbeitskreis mit AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT benannt und gehört zur Fachsektion 3 „Felsmechanik“.

Der Arbeitskreis wird gemäß der Geschäftsordnung für Arbeitskreise der DGGT von einem Obmann geleitet. Bis dato haben folgende Fachkollegen den Arbeitskreis geleitet:

1976 - 1993	Prof. Dr. Arno Pahl
1993 - 1998	Prof. Dipl.-Ing. Axel Paul
1998 - 2020	Dipl.-Ing. Thomas Mutschler
seit 2020	Dr. Ralf Plinninger
	Stellvertreter: Dr. Thomas Frühwirt



Abbildung 2-1: Symbolische Darstellung des Tätigkeitsspektrums des AK 3.3, im Uhrzeigersinn: Probenahme im Gelände, Triaxialversuch in der Prüfanlage und Probekörper nach Durchführung von Spaltzugversuchen.

3 Aktuelle Zusammensetzung

Derzeit gehören dem Arbeitskreis 18 Mitglieder und 5 Gäste an. Die aktuelle Arbeit an einigen Empfehlungen wird darüber hinaus von 5 Sondergästen unterstützt, die ihre spezifische Expertise in die entsprechende Empfehlungsarbeit einbringen.

Die Mitglieder des Arbeitskreises bilden ein Kompetenzteam, das hinsichtlich seiner fachlichen Expertise ebenso wie bezüglich seiner beruflichen Erfahrung das Anwendungsgebiet des felsmechanischen Versuchswesens sehr weit abdeckt. Sie kommen aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften (Abbildung 3-1) und sind in Forschung und Lehre, in Fachbehörden sowie in Firmen mit der praktischen Umsetzung von geotechnischen Projekten oder der Herstellung von Versuchs- und Messeinrichtungen befasst (Abbildung 3-2).

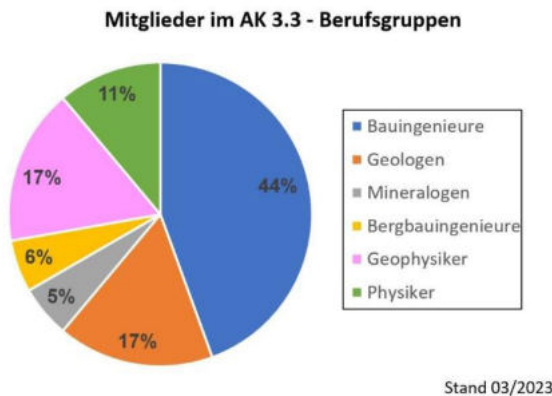


Abbildung 3-1: Im AK 3.3 vertretene Berufsgruppen.

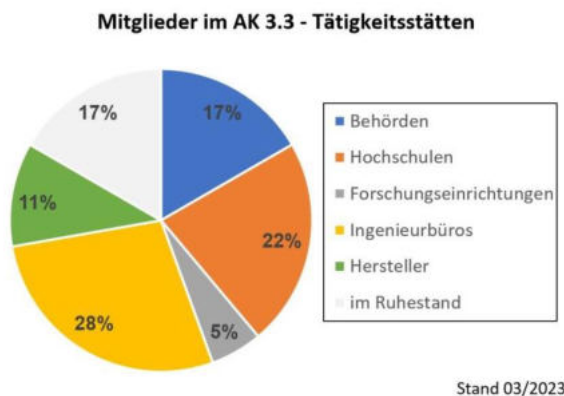


Abbildung 3-2: Tätigkeitsstätten der Mitglieder des AK 3.3.

Der AK 3.3 trifft sich turnusmäßig zweimal jährlich zu Plenarsitzungen. Untergruppen („Taskgroups“) richten darüber hinaus für die Erarbeitung entsprechender Empfehlungsvorlagen Spezialsitzungen im kleineren Kreis aus.

Der Arbeitskreis führt seine Kooperation mit den Normenausschüssen NABau 05.03.00 „Baugrund; Laborversuche“ und NABau 05.09.00 „Baugrund; Feldversuche“ sowie den Arbeitskreisen 1.11 „Verschleiß und Verklebung“, 2.10 „Geomesstechnik“ und 3.8 „Geotechnik in der Endlagerung radioaktiver Abfälle“ der DGGT fort und tauscht sich mit diesen aus. Die Kooperationen werden vom Umstand getragen, dass einzelne Mitglieder des AK 3.3 auch Mitglieder der kooperierenden Gremien sind.

4 Veröffentlichte Empfehlungen

Die Ursprünge der Empfehlungen des AK 3.3 lagen insbesondere in der Anfangsphase meist in den Empfehlungen der Kommission für Versuchsmethoden der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik, ISRM (Suggested Methods of the Commission on Testing Methods). Themen, für die ein praktischer Bedarf im Bereich der DGGT gesehen wurde, wurden herausgegriffen und Inhalte, die mit den nationalen Erfahrungen übereinstimmen, in die deutsche Sprache übersetzt. Abweichungen zu den Suggested Methods der ISRM rühren daher, dass dort entweder im nationalen Kontext nicht übliche Prozeduren beschrieben werden oder Vorgehensweisen, die im deutschsprachigen Raum den Stand der Technik repräsentieren, fehlen. Die Empfehlungen des Arbeitskreises 3.3 enthielten zudem in der Regel detailliertere Angaben als die Suggested Methods der ISRM.

In den Empfehlungen des AK 3.3 werden felsmechanische Feld- und Laborversuche zu etwa gleichen Teilen abgedeckt. Hydrogeologische Versuche werden bis dato nur in zwei Empfehlungen, Empfehlung Nr. 9: „Wasserdruckversuche im Fels“ und Empfehlung Nr. 26 (in Bearbeitung): „Untersuchung der Permeabilität von geringdurchlässigen Gesteinen“ behandelt (Abbildung 4-1).

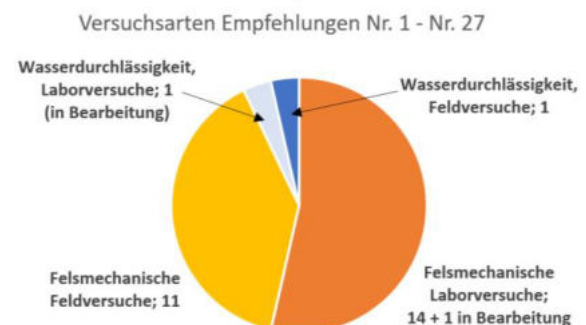


Abbildung 4-1: Inhaltliche Ausrichtung der bereits veröffentlichten und in Bearbeitung befindlichen Empfehlungen des AK 3.3.



In zunehmendem Maße werden Empfehlungen auf Basis der spezifischen Expertise im Arbeitskreis neu entwickelt. Diese Empfehlungen haben (noch) keine Entsprechung im internationalen Kontext.

5 Publikationen

5.1 Veröffentlichung der Empfehlungen

Von 1976 bis 2020 hat der Arbeitskreis 3.3 seine Empfehlungen in der Zeitschrift „Bautechnik“ veröffentlicht. Als Reaktion auf die Veränderung der Medienlandschaft, die fachliche Ausrichtung der Fachzeitschriften und den Status der „geotechnik“ als Organ der DGGT haben die Mitglieder des AK 3.3. im Rahmen einer außerordentlichen Sitzung im Januar 2021 beschlossen, die Empfehlungen des AK 3.3. nicht mehr in der Zeitschrift „Bautechnik“, sondern in der Zeitschrift „geotechnik“ zu veröffentlichen. Dies wurde erstmals mit Erscheinen der Empfehlung Nr. 25 in der Ausgabe 2/2021 der „geotechnik“ umgesetzt.

5.2 Sammelband (1. Auflage 2022)

In Zusammenarbeit mit dem Verlag Ernst & Sohn wurde im Herbst 2022 ein Sammelband mit allen bis dato veröffentlichten Empfehlungen Nr. 1 – Nr. 25 in Buchform veröffentlicht (Abbildung 5-1).

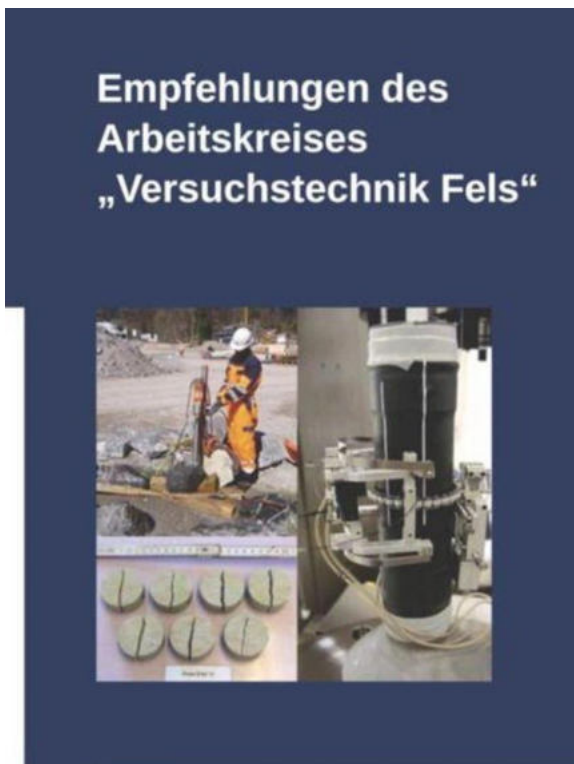


Abbildung 5-1: Buchcover des im Oktober 2022 im Verlag Ernst & Sohn erschienenen Sammelbands „Empfehlungen des Arbeitskreises Versuchstechnik Fels“.

Für den versierten Anwender stellt dieses Kompendium damit erstmals ein kompaktes Nachschlagewerk zur Verfügung. Darüber hinaus verbinden die Herausgeber mit der vorliegenden Buchveröffentlichung aber auch die Hoffnung, die Empfehlungsarbeit des AK 3.3 einem noch breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen und damit einen Beitrag zur interdisziplinären Zusammenarbeit in der Geotechnik und zur Lösung geotechnischer Aufgabenstellungen zu leisten.

6 Aktuelle Empfehlungsarbeit

Neben der Überarbeitung der teilweise überholten Empfehlungen Nr. 2 „*Dreiaxiale Druckversuche an Gesteinsproben*“ (1979) und Nr. 11 „*Quellversuche an Gesteinsproben*“ (1986) bearbeitet der AK 3.3 derzeit zwei neue Empfehlungen (E26, E27), die in den folgenden beiden Absätzen kurz vorgestellt werden sollen.

6.1 E26 - Permeabilität geringdurchlässiger Gesteine

Die Empfehlung Nr. 26 trägt den Arbeitstitel „*Bestimmung der Permeabilität geringdurchlässiger Gesteine im Labor*“. Derzeit ist geplant, die Empfehlung Nr. 26 in zwei Teilen zu veröffentlichen, wobei Teil 1 die Durchströmung mit Flüssigkeiten (stationäre / instationäre / oszillatorische Verfahren) und Teil 2 die Durchströmung mit Gasen (stationäre / instationäre Verfahren) behandeln soll.

Die Redaktion des ersten Teils der Empfehlung und die Koordinierung der insgesamt 12 Mitglieder umfassenden Taskgroup obliegen Fr. Dr. Duda (Ruhr-Universität Bochum).

Die neue E26 wird die Untersuchung von Gesteinen mit einer Permeabilität $< \text{rd. } 10^{-15} \text{ m}^2$ (entspricht einem k_f -Wert von $< 10^{-8} \text{ m/s}$) behandeln und stellt damit eine Ergänzung nationaler und internationaler Normen und Empfehlungen für Laborversuche an geringdurchlässigen Gesteinen dar.

Anders als die Mehrzahl der Empfehlungen des AK 3.3, die mechanische Fragestellungen im Kontext des Tief-, Tunnel- und Spezialtiefbaus zum Gegenstand haben, ist die Anwendung der Empfehlung Nr. 26 in den Bereichen Geothermie, Endlagerung radioaktiver Abfälle, Kavernenspeicherung, untertägige Deponierung, CO_2 -Sequestrierung und der Kohlenwasserstoffindustrie zu verorten. Die hier gewonnenen Kennwerte dienen z.B. der Abschätzung der Verlustleistung eines untertägigen Speichers, der Fähigkeit eines Endlagers zum Abführen freierwerdender Gase und Wärme, der Dauer einer vollständigen Rücksättigung, z. B. synthetischer Barrieren in einem atomaren Endlager, Projektierung und Bau von

Strecken- und Schachtverschlüssen im Bergbau oder der Ermittlung der Dichtigkeit von hangenden Schutzschichten über Hohlräumen.

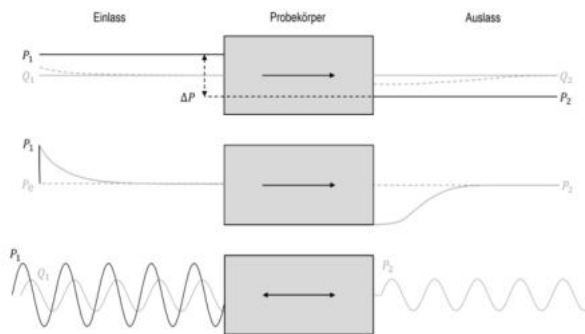


Abbildung 6-1: Beispielhafte, schematische Darstellung von einlassseitigen und auslassseitigen Randbedingungen stationärer (oben), transients (Mitte) und oszillatorischer (unten) Verfahren zur Bestimmung der intrinsischen Permeabilität.

Die in der Empfehlung Nr. 26 beschriebenen Versuche basieren im Grundsatz auf einer Prüfeinrichtung, in der ein zylindrische Probekörper über seine Endflächen vollflächig durchströmt wird (Abb. 6-1). Je nach Vorgabe des zeitlichen Verlaufs des Porendrucks werden drei Versuchverfahren beschrieben: stationäre, transiente und oszillatorische Verfahren (Abb. 6-2).

Empfehlung Nr. 26: Bestimmung der intrinsischen Permeabilität von geringdurchlässigen Gesteinen im Labor Teil 1: Bestimmung mit Flüssigkeiten		
Stationäre Verfahren	Transiente Verfahren	Oszillatorische Verfahren
ST1: Stationäres Verfahren mit Porendruck am <u>Auslass</u> ST2: Stationäres Verfahren ohne Porendruck am Auslass	TR1: Transientes Verfahren mit Gegendruck am Auslass TR2: Transientes Verfahren mit konstantem Porendruck am Einlass TR3: Transientes Verfahren ohne Gegendruck am Auslass	OS1: Oszillatorische Porendruckmethode OS2: Oszillatorische Porenflussmethode

Abbildung 6-2: Übersicht über die für E26 Teil 1 vorgesehenen Versuchverfahren und Versuchsoptionen.

6.2 E27 - Klassifizierung der Zerfallsneigung im kombinierten Trocknungs-Wiederbefeuchtungsverfahren mit Kristallisationsversuch

Die Empfehlung Nr. 27 trägt den Arbeitstitel „Klassifizierung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Trocknungs-Wiederbefeuchtungsverfahren mit Kristallisationsversuch“. In der Empfehlung wird ein Klassifizierungsversuch für veränderlich feste Gesteine aufgegriffen, der Ende der 2000er-Jahre an der TU München entwickelt wurde (Nickmann, 2009) und seither weite Anwendung in der Baupraxis gefunden hat.

Die Empfehlung wird in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis 5.1.5 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) bearbeitet, die gemeinsame Redaktion haben Fr. Dr. Nickmann (TU München), Hr. Baumgärtel (Obmann des AK 5.1.5 der FGSV) und Hr. Dr. Plinninger (Obmann des AK 3.3 der DGGT) übernommen.

Zielsetzung des Verfahrens ist die Charakterisierung und Klassifizierung von Gesteinen hinsichtlich deren Eigenschaft, auf Änderungen des Wassergehalts und/oder der Temperatur mit Festigkeitsreduzierung bis hin zum Zerfall zu reagieren. Diese Kenntnis ist sowohl für Probenahme, Transport, Herstellung der Probekörper und Prüfung derartiger Gesteine relevant, als auch für eine zutreffende Beurteilung geotechnischer und bautechnischer Fragestellungen, wie z. B. Standsicherheit, Lösen, Laden, Fördern, Aufbereiten, Zwischenlagern, Einbauen, Verdichten oder die Verwendung als Baustoff.

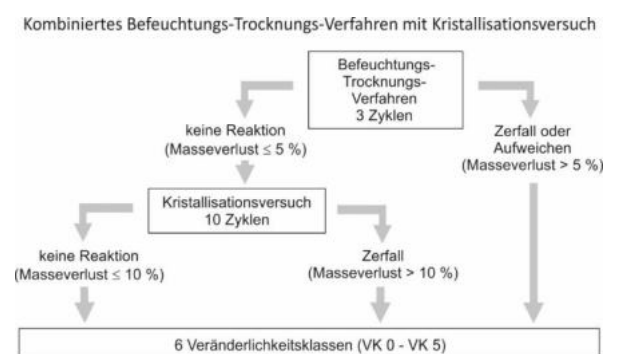


Abbildung 6-3: Ablaufschema des in der E27 behandelten Versuchsablaufs.

Das in der E27 beschriebene Verfahren (Abb. 6-3, 6-4) ergänzt die Versuchverfahren der 24-stündigen Wasserlagerung nach DIN EN ISO 14689 und des Siebtrommelversuchs nach DGGT-Empfehlung Nr. 20. Gegenüber dem einmaligen Wasserlagerungsversuch nach DIN EN ISO 14689 erlaubt das Verfahren auch eine Beurteilung von Gesteinen, die erst



nach vorhergehender Trocknung zerfallen oder die eine mittel- bis langfristige Zerfallsneigung aufweisen.

Gegenüber dem Siebtrommelversuch der DGGT-Empfehlung Nr. 20 zeichnet sich das Verfahren durch einen geringeren apparativen Aufwand aus. Zudem erfolgt keine zusätzliche mechanische Einwirkung auf die Probe.

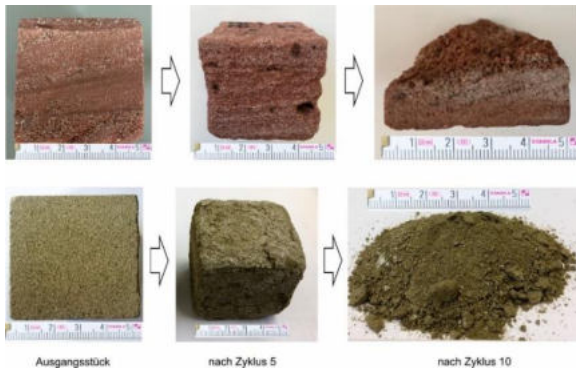


Abbildung 6-4: Beispiele für die Fotodokumentation des Kristallisationsversuchs an verschiedenen Sandsteinen, jeweils Anfangszustand und Zustand nach 5 bzw. 10 Zyklen.

7 Ausblick

Die Weiterentwicklung von Bauverfahren, Erkundungsanforderungen, Bauverträgen und Messtechnik in einem breit gefächerten Anwendungsspektrum, das von Bergbau über Tiefbau, Tunnelbau und Spezialtiefbau bis hin zur Lagerstättenerkundung, zur Geothermie und zur Erkundung von Speicher- und Endlagermöglichkeiten für Rohstoffe und Abfälle reicht, stellt hohe und ständig wachsende Anforderungen an Labor- und Feldversuche im Fels.

Der AK 3.3 wird sich dieser Entwicklungen auch in Zukunft annehmen. Im Rahmen der turnusmäßigen halbjährlichen Plenarsitzungen werden Anforderungen aus der Wirtschaft reflektiert, etablierte Versuchsverfahren im Fels hinsichtlich einer Bearbeitung als Empfehlung geprüft, sowie bestehende Empfehlungen modernisiert und überarbeitet.

Literaturverzeichnis

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (2022): *Empfehlungen des Arbeitskreises „Versuchstechnik Fels“*, 1. Auflage, 371 Seiten, Berlin: Ernst & Sohn.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN ISO 14689:2018-05: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels*, 37 Seiten, Berlin: Beuth Verlag.

Nickmann, M. (2009): *Abgrenzung und Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieur-geologischen Aspekten*. - Münchner Geologische Hefte, Reihe B, Heft 12, München.