

Der Gesteinsabrasivitäts-Index RAI („Rock Abrasivity Index“) stellt eine im Jahr 2002 eingeführte Weiterentwicklung des Äquivalenten Quarzgehalts dar (PLINNINGER, 2002). In die Berechnung gehen der unter Verwendung der jeweiligen ROSIWAL'schen Schleifhärte zum äquivalenten Quarzanteil verrechnete modale Mineralbestand sowie die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins gemäß Gleichung [1] ein:

$$RAI = \sum_{i=1}^n A_i \cdot S_i \cdot UCS \dots \dots \dots [1]$$

Mit:

RAI Rock Abrasivity Index [-],
 UCS Einaxiale Druckfestigkeit [MPa]
 A_i Anteil der Mineralart [%],
 S_i Rosiwal-Schleifhärte [-],
 (bezogen auf Quarz = 100),
 n Anzahl aller Minerale [-].

Der höchste bisher bestimmte RAI liegt dabei bei rund 360 (ordovizischer Tafelbergquarzit aus Südafrika mit rund 360 MPa einaxialer Druckfestigkeit und rund 100 % Quarzgehalt), Werte bis maximal rund 400 erscheinen für bautechnisch relevante Gesteine möglich. Nach unten hin, am Übergang zu Lockergesteinen werden die minimal bestimmmbaren RAI-Werte nur technisch begrenzt – insbesondere durch die Möglichkeiten der Druckfestigkeitsprüfung.

Der RAI stellt in der vorliegenden Form einen einfachen und mit weit verbreiteten Kennwerten bestimmmbaren geologisch-geotechnischen Index dar. Er berücksichtigt den vor allem für den Abrasivverschleiß relevanten Gehalt schleißscharfer Minerale sowie die Festigkeit des Gefügeverbands, die sowohl für Abrasivverschleiß als auch für Verschleiß durch Sprödbruch relevant ist. Eine

Abrasivitätsbewertung in Festgestein mit dem „Rock Abrasivity Index (RAI)“ – Erfahrungen aus acht Jahren Anwendung



Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Ralf J. Plinninger,
 Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried

umfassendere Darstellung der Hintergründe enthält unter anderem PLINNINGER (2008).

Dabei ist festzustellen, dass die Verknüpfung mineralogisch-petrografischer und felsmechanischer Kennwerte zu einem komplexeren Indexwert selbst kein Novum darstellt. Mit dem SCHIMAZEK-Verschleißindex (SCHIMAZEK/KNATZ, 1970 und 1976), der aus Quarzgehalt, mittlerem Quarzkorndurchmesser und Gesteinszugfestigkeit ermittelt wird sowie dem modifizierten SCHIMAZEK-Verschleißindex nach EWENDT (1989), der als Eingangskennwerte den äquivalenten Quarzgehalt, den Punktlastindex I_{50} und die Quarzkorngröße verwendet, liegen vergleichbare Ansätze vor, deren Anwendbarkeit lediglich durch weniger verbreitete Festigkeitskennwerte (Spaltzugfestigkeit beziehungsweise Punktlastindex) sowie die aufwändig zu bestimmenden Korngrößenparameter eingeschränkt wird.

Versuchstechnik

Als Eingangsparameter für den RAI werden gemäß Definition der modale Mineralbestand sowie die einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit benötigt. In den nachstehenden Abschnitten soll auf die hierbei aktuell angewendeten Versuchsverfahren, versuchstechnischen Grundsätze und Einschränkungen sowie praxisorientierte Alternativen eingegangen werden.

Mineralbestandsanalyse im Dünnschliff

Zur Bestimmung des modalen Mineralbestands von Festgestein stellt die petrografische Dünnschliffanalyse ein altbewährtes Standardverfahren dar. Als Probenkörper für diese Analysen werden in der Regel etwa 25 μm dicke Dünnschliffe mit einer Standardgröße von 28 mm x 48 mm verwendet, sodass selbst kleine Handstücke oder TBM-Chips geeignete Probenkörper darstellen. Unter Zuhilfenahme von Sondermaßnahmen, wie Vakuumprägnierung oder wasserfreier Behandlung lassen

Der stetig zunehmende wirtschaftliche Druck im Verkehrswegebau führt zu einer steigenden Bedeutung von Untersuchungsverfahren zur Bewertung der Abrasivität von Festgestein. Für derartige Bewertungen ist eine Vielzahl methodisch differenzierender Ansätze denkbar. Der im Jahr 2002 eingeführte „Rock Abrasivity Index (RAI)“ stellt eine Weiterentwicklung des äquivalenten Quarzgehalts dar und wird aus diesem unter Einbeziehung der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit ermittelt. Durch die gute Verfügbarkeit der Eingangskennwerte und seine einfache Bestimbarkeit hat er eine zunehmende nationale und internationale Verwendung als Verschleißkennwert für Festgesteine gefunden. Der vorliegende Beitrag fasst Hintergründe der Abrasivitätsuntersuchung, Hinweise zu den zu Grunde liegenden Prüfverfahren sowie Erfahrungen und Klassifizierungen zu diesem Verschleißindex aus nunmehr acht Jahren Anwendung zusammen.

sich auch Dünnschliffe von veränderlich festen Festgesteinen technisch realisieren.

Die Dünnschliffanalyse selbst wird im petrografischen Mikroskop in einem Vergrößerungsbereich von etwa 5- bis 1000-facher Vergrößerung durchgeführt (Bild 1), wobei die rein qualitative Mineralidentifikation anhand der Mineralausbildung und der spezifischen optischen Eigenschaften ein grundlegendes Untersuchungsverfahren der Geologie und Petrografie darstellt. Einsatzgrenzen

der Dünnschliffanalyse ergeben sich insbesondere dann, wenn keine ausreichend großen Probenkörper zur Verfügung stehen, zum Beispiel bei Vollbohrungen mit Rollenmeißeln, oder wenn aufgrund der Feinkörnigkeit des Gefüges, wie bei Vulkaniten, chemischen oder feinkörnigen klastischen Sedimenten, keine zweifelsfreie Unterscheidung und Quantifizierung des Mineralinhalts mehr möglich ist.



Bild 1. Mineralbestandsanalyse im Dünnschliff mit dem petrographischen Mikroskop (Quelle: TU Graz/Bergmann).



Bild 2. Sandstein-Probekörper mit typischem Bruchbild nach einaxialem Druckversuch.

Mineralbestandsanalyse mit Röntgendiffraktometrie

Röntgendiffraktometrie und Dünnschliffanalytik stellen zwei methodisch grundsätzlich differierende Ansätze der Mineralbestimmung dar. Anders als bei der Mineralidentifizierung anhand optischer Eigenschaften, wie Eigen- und Interferenzfarbe, Pleochroismus, Mineralkornhabitus, Spaltbarkeit, und Relief, beruht die röntgendiffraktometrische Mineralbestimmung auf dem Effekt der Beugung von Röntgenstrahlung bei Auftreffen auf Einzelkristalle. Die vom Diffraktometer aufgezeichneten Reflexe werden heute standardmäßig PC-gestützt anhand von hinterlegten Eichkurven ausgewertet.

Aufgrund moderner Auswerteverfahren stellt die Mineralbestimmung mittels Röntgendiffraktometrie eine sehr gut reproduzierbare und aufgrund des hohen Automatisierungsgrads vom subjektiven Erfahrungsschatz eines Bearbeiters weitgehend unabhängige Methode dar. Die Röntgendiffraktometrie ist damit eine sinnvolle und wertvolle Alternative für die Mineralbestandsanalyse all jener Gesteine, an denen Dünnschliffanalysen nicht durchführbar sind.

Einaxialer Druckversuch

Die einaxiale Druckfestigkeit (UCS) stellt in der Ingenieurgeologie den gebräuchlichsten Parameter zur Beschreibung der Festigkeit intakter Festgesteine dar. Die Bestimmung der Druckfestigkeit im einaxialen Druckversuch (Bild 2) erfolgt im Bereich der Ingenieurgeologie und Felsmechanik im Wesentlichen gemäß der Neufassung der Empfehlung Nr. 1 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT, 2004).

Neben den normierten versuchstechnischen Parametern – wie Genauigkeit der Prüfeinrichtung und Verformungsaufzeichnung, Belastungsgeschwindigkeit und Prüfkörpergeometrie – stellen aber insbesondere auch geologische Faktoren – wie beispielsweise die Orientierung des Gesteinsgefüges bei anisotropen Gesteinsarten oder der Wassergehalt beziehungsweise dessen Veränderung bei veränderlich festen Gesteinen – relevante Einflussgrößen auf das Ergebnis der Druckprüfung dar. Diese Faktoren müssen daher nicht nur beim Versuch, sondern vielfach bereits bei der Planung und Durchführung der Probennahme entsprechend berücksichtigt werden (PLINNINGER et al., 2008).

Die hohen Anforderungen, die aus Gründen der Reproduzierbarkeit an Art und Anzahl der Probenkörper für einaxiale Druckversuche gestellt werden, geben vielfach auch die Anwendungsgrenzen dieses Verfahrens vor. Vielfach scheitert die Ermittlung repräsentativer Festigkeitskennwerte an einer nicht ausreichenden Menge geeigneter Proben mit entsprechender Größe und entsprechender Orientierung der Gefügeelemente (Schichtung, Schieferung).

Punktlastversuch

Sofern die Bestimmung der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit aus einaxialen Zylinderdruckversuchen nicht möglich ist, kann hilfsweise auch auf andere, mittelbare Festigkeitsprüfverfahren, wie Punktlastversuch und Rückprallhammer, zurückgegriffen werden, wobei die in der Fachwelt bekannten Erfahrungen zur Übertragung beachtet und die Ergebnisse stets als Schätzwerte der einaxialen Druckfestigkeit gekennzeichnet werden sollten.

Eines der sicherlich am häufigsten ersatzweise eingesetzten Verfahren stellt der Punktlastversuch („Point-Load-Test“) dar, der eine breite internationale Anwendung gefunden hat und für den eine überarbeitete Empfehlung Nr. 5 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. in Drucklegung begriffen ist. Ursprünglich als baustellentaugliche Feldmethode mit transportablen Prüfapparaturen konzipiert, hat vor allem die Weiterentwicklung der Auswertemethoden dazu geführt, dass insbesondere bei einer großen Anzahl von Einzelversuchen die statistische Aussagekraft der Ergebnisse der einer kleinen Serie von Zylinderdruckversuchen nahezu gleichzusetzen ist.

Die Hauptvorteile des Punktlastversuchs gegenüber dem Zylinderdruckversuch liegen in der Mobilität der Versuchsanordnung sowie der relativ freien Wahl der Prüfkörperform und -größe. Als Probenkörper können sowohl Bohrkerne („Diametral- und Axialtest“) als Würfel („Block Test“) als auch unregelmäßig geformte Hand-

stücke („Irregular Lump Test“) verwendet werden. Dies bietet die Möglichkeit, die Druckfestigkeit auch an Probenmaterial zu bestimmen, das sich zum Beispiel aufgrund der geringen Größe, des Zerbrechungsgrads oder aufgrund seiner Wassersensitivität nicht für den einaxialen Zylinderdruckversuch eignet.

Korrelationen mit anderen Kennwerten

Die im Laufe der Anwendung gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass sich der RAI bei Festgesteinen gut mit dem CERCHAR-Abrasivitätsindex CAI korrelieren lässt (Bild 3), der als Modellversuch mit vereinfachten Versuchskörpern zwar einen methodisch differierenden Ansatz darstellt (unter anderem PLINNINGER/RESTNER, 2008), aufgrund seiner relativ einfachen Bestimmbarkeit als Kennwert zur Beschreibung der Gesteinsabrasivität aber eine sehr weite Verbreitung gefunden hat.

Neben der empirischen, polynomischen Regression, die im Bild 4 dargestellt ist, stellt

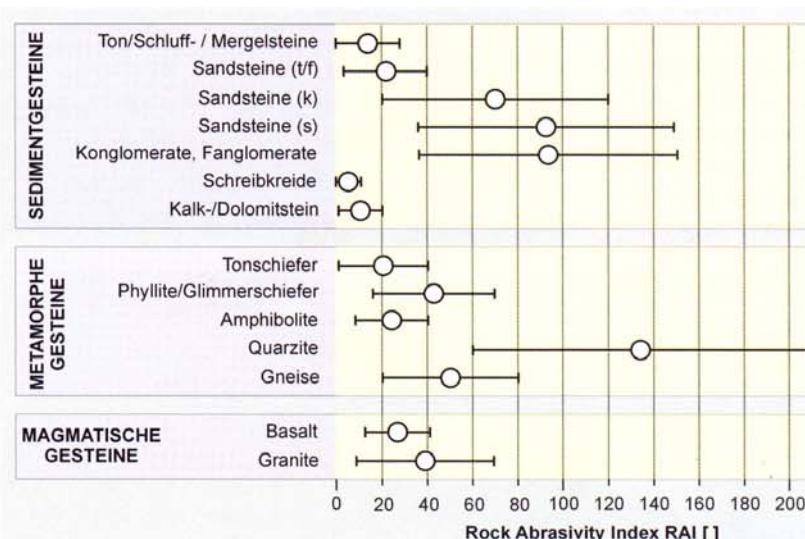


Bild 3. Gegenüberstellung des Rock Abrasivity Index RAI und des Cerchar Abrasiveness Index CAI anhand von 60 mit beiden Verfahren untersuchten Gesteinen.

Geotechnische Dokumentation
Gebirgslösungsberatung
Abrasivitätsuntersuchungen
Chancen- und Risikoberatung
Geotechnische Instrumentierungen
Geotechnische in-situ-Messungen
Felssicherungsberatung

Ihr Partner


www.plinninger.de

Dr. Ralf Plinninger, von der IHK Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Lösearbeiten im Fels, Kennwertermittlung und -bewertung

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

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

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

SCHUMACHER (2004) auch eine praxistaugliche, quadratische Korrelation gemäß Gleichung [2]:

$$CAI = 0,9 \cdot \sqrt[3]{RAI} \quad \dots \dots \dots [2]$$

Mit:

CAI CERCHAR Abrasivitäts Index [-],
RAI Rock Abrasivity Index [-].

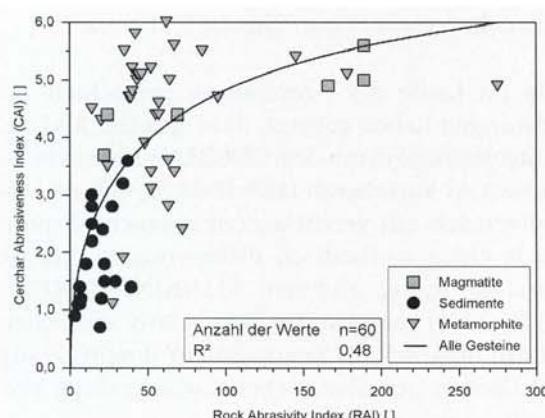


Bild 4. Erfahrungswerte des RAI für einige häufige Gesteine und Gesteinsarten.

Bild 5. Beispiel für die Prognose der Bohrkronenstandlänge von Stiftbohrkronen mit Durchmessern von 38 bis 45 mm in Abhängigkeit des RAI (PLINNINGER, 2002).

Tabelle 1. Klassifikation der Gesteinsabrasivität von Festgesteinen nach dem RAI.

RAI [-]	Klassifizierung (d)	Classification (e)
< 10	nicht abrasiv	not abrasive
10 - 30	schwach abrasiv	slightly abrasive
30 - 60	abrasiv	abrasive
60 - 120	sehr abrasiv	very abrasive
> 120	extrem abrasiv	extremely abrasive

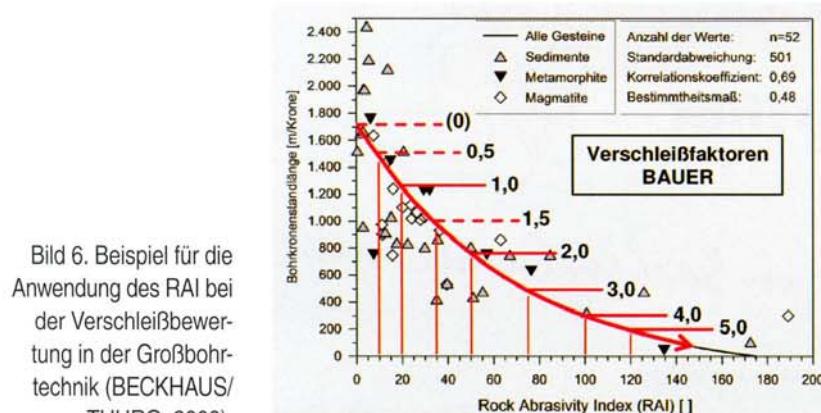
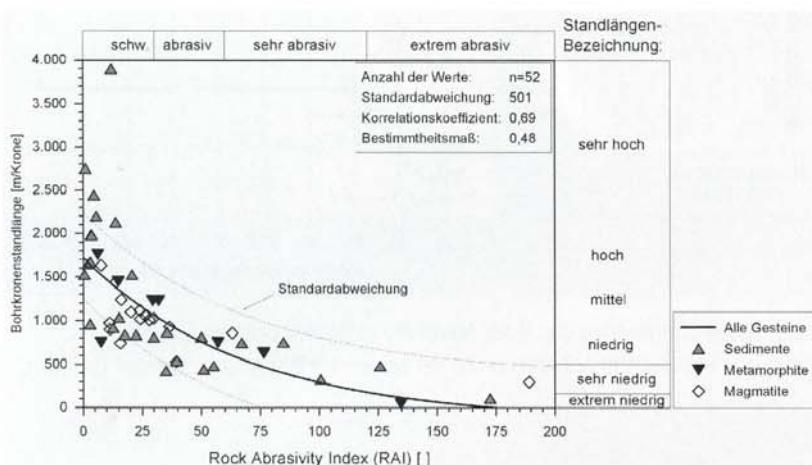


Bild 6. Beispiel für die Anwendung des RAI bei der Verschleißbewertung in der Großbohrtechnik (BECKHAUS/THURO, 2008).

Klassifizierung des RAI

Auf Basis der seit dem Jahr 2002 gemachten Erfahrungen sind im Bild 4 typische RAI-Werte für einige weit verbreitete Gesteinsarten dargestellt. Der Vergleich dieser Erfahrungswerte mit der anhand des Bohrkronenverschleißes von Stiftbohrkronen mit 45 mm Durchmesser aufgestellten begrifflichen Klassifizierung der Gesteinsabrasivität anhand des RAI gemäß Tabelle 1 zeigt, dass die hiermit ermittelten Begriffe gut in der Lage sind, die empirischen Erfahrungen, zum Beispiel meist „nicht bis schwach abrasiver“ Tonsteine/Mergelsteine oder „extrem abrasiver“ Quarzite, wiederzugeben beziehungsweise zahlenmäßig zu fassen.

Praktische Anwendung

Auf Basis von Verschleißerhebungen bei konventionellen Bohr-/Sprengvortrieben (PLINNINGER, 2002) wurde das im Bild 5 dargestellte Diagramm für die Bohrkronenstandlänge von Stiftbohrkronen mit Durchmessern von 38 bis 45 mm in Abhängigkeit des RAI entwickelt. Obwohl der RAI einige weitere wesentliche Einflussfaktoren, wie Korngrößeneinfluss und Einfluss der Kornrundung, vernachlässigt, hat sich dieses Diagramm als Grundlage für die Bewertung der Bohrkronenstandzeit in diesem Durchmesserbereich seitdem gut bewährt.

Die bisher ermittelten Extremwerte werden dabei durch ordovizische Quarzite repräsentiert, die bei RAI-Werten von rund 200 im Projekt PSW Goldisthal in Thüringen beziehungsweise bis zu 360 im Projekt Ngqura Harbour in Südafrika extremen Abrasivverschleiß an den eingesetzten Stiftbohrkronen mit Standzeiten von im Mittel rund 50 m je Krone mit einem Durchmesser von 45 mm beziehungsweise 150 m je Krone mit einem Durchmesser von 89 mm (nicht im Bild 5 enthalten) verursachten.

Während für den Rundschaftmeißelverschleiß von Teilschnittmaschinen und den Verschleiß von Disken bei Hartgestein-Tunnelbohrmaschinen bisher keine ausreichend umfangreichen Datensätze für eine Prognose veröffentlicht wurden, wurde für den Verschleiß von Bohrwerkzeugen bei Großbohrpfählen jüngst eine praxisorientierte Adaptierung des RAI vorgestellt (BECKHAUS/THURO, 2008, Bild 6). Der Rock Abrasivity Index dient dabei – neben anderen Kennwerten, die optional verwendet werden können – als Leitwert für die Zuordnung eines Festgesteins mit bekannter Abrasivität zu einer fünfstufigen Verschleißklasse, die dann in die unternehmensinterne Kosten- und Leistungsprognose eingeht.

Bei der Korrelation mit tatsächlichen Werkzeugstandlängen sollte jedoch stets berücksichtigt werden, dass die Ermittlung des RAI anhand einzelner Gesteinsproben durchgeführt wird,

während Bohrkronenstandzeiten als Mittelwerte über Homogenbereiche des Gebirges ermittelt werden. Der repräsentativen Ermittlung maßgeblicher Gesteins- und Gebirgseigenschaften und deren Variation sowie deren fachkompetenter Einschätzung kommt daher – vor allem vor, aber auch während der Bauausführung anspruchsvoller Verkehrswegebauten – bei Anwendung des Rock Abrasivity Index eine wesentliche Bedeutung zu, die die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten erfordert.

schinellen Tunnelvortrieb mit Diskennmeißeln. Bochumer geol. u. geot. Arbeiten, 33, Diss. Ruhruniv. Bochum.

PLINNINGER, R. J. (2002): *Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein.* Münchener Geologische Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie, B17.

PLINNINGER, R. J. (2008): *Abrasiveness assessment for hard rock drilling.* Geomechanik und Tunnelbau, Volume 1, S. 39-46.

PLINNINGER, R. J.; BRUELHEIDE, T.; NICKMANN, M. (2008): *Geotechnische Aspekte der repräsentativen Beprobung von Festgestein.* geotechnik 31, S. 308-317.

PLINNINGER, R. J.; RESTNER, U. (2008): *Abrasiveness testing, quo vadis? A commented overview of abrasivity testing methods.* Geomechanik und Tunnelbau, Vol. 1, S. 61-70.

SCHIMAZEK, J.; KNATZ, H. (1970): *Der Einfluss des Gesteinsaufbaus auf die Schnittgeschwindigkeit und den Meißelverschleiß von Streckenvortriebsmaschinen.* Glückauf 106, S. 274-278.

SCHIMAZEK, J.; KNATZ, H. (1976): *Die Beurteilung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen durch Schneid- und Rollenbohrwerkzeuge.* Erzmetall, 29, S. 113-119.

SCHUMACHER, L. (2004): *Auslegung und Einsatzbedingungen von Tunnelvortriebsmaschinen im Hartgestein.* Felsbau 22, S. 21-28.

Quellennachweis

BECKHAUS, K.; THURO, K. (2008): *Abrasivität von Lockergestein in der Großbohrtechnik – Versuchstechnik und praktische Erfahrungen.* 30. Baugrundtagung, 24.-27. Sept. 2008, Dortmund, S. 171-180.

DGTT (2004): *Neufassung der Empfehlung Nr. 1. des Arbeitskreises 3.3. „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Einaxiale Druckversuche an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern.* Bautechnik 81, H. 10, S. 825 - 834.

EWENDT, G. (1989): *Erfassung der Gesteinsabrasivität und Prognose des Werkzeugverschleißes beim ma-*

Jetzt abonnieren

geotechnik

**Zeitschrift für
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau,
Felsmechanik,
Ingenieurgeologie,
Kunststoffe in der
Geotechnik,
Umweltgeotechnik**

Organ der Deutschen Gesellschaft
für Geotechnik e.V. (DGTT)

4 Ausgaben jährlich DIN A4

Ich möchte geotechnik abonnieren

zum Jahresbezugspreis von 43 EUR

Nachlass für DGTT-Mitglieder 20 %

Ja, ich bin DGTT-Mitglied

zum Studentenpreis von 21,50 EUR
(Immatrikulationsbescheinigung ist beigefügt)



VGE
Verlag GmbH

Montebruchstraße 2 · 45219 Essen
Telefon +49 (0) 20 54 / 9 24-123
Telefax +49 (0) 20 54 / 9 24-149
E-Mail vertrieb@vge.de
Internet www.vge.de

ISSN 0172-6145

Name/ Vorname _____

Firma _____

Straße/ Hausnummer _____

PLZ/ Ort _____

Telefon/ Fax _____

Datum/ Unterschrift _____