



Ergebnisse eines Ringversuchs zur DGGT-Empfehlung Nr. 23 „CERCHAR-Versuch“

M.Sc. Tristan Lange, PG – Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried
Dr. rer. nat. Ralf J. Plinninger, PG – Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried
Prof. Dr. Andreas Henk, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, TU Darmstadt

Spätestens seit Referenzierung in den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen der VOB/C ist der CERCHAR-Abrasivitätsversuch in Deutschland als Standardverfahren zur Beschreibung der Abrasivität von Festgesteinen anzusehen. Der Versuch wird üblicherweise auf Basis der 2016 veröffentlichten Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT ausgeführt. Um die praktische Anwendbarkeit und den Wert dieser Empfehlung für eine einheitliche Versuchsdurchführung zu überprüfen, wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der TU Darmstadt ein CERCHAR-Ringversuch mit 17 felsmechanischen Laboren aus Deutschland und Österreich organisiert und als Präzisionsversuch nach DIN ISO 5725 ausgewertet. Es zeigt sich, dass der CERCHAR-Versuch nach DGGT Empfehlung Nr. 23 als grundsätzlich geeignetes Mittel zur Einschätzung der Abrasivität von Festgestein betrachtet werden kann. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte jedoch stets die Streuung der Messwerte berücksichtigt werden, die in erheblichem Maße von der Zusammensetzung und dem Gefüge des geprüften Gesteins abhängig ist. Diese Streuung lässt sich mit Hilfe der Ergebnisse des CERCHAR-Ringversuchs erstmals quantitativ fassen. Darüber hinaus können Empfehlungen zur weiteren Optimierung des Versuchsablaufs abgeleitet werden.

1 Abrasivitätsuntersuchung mit dem CERCHAR-Verfahren

Bei der Gebirgslösung im Festgestein spielt der Werkzeugverschleiß eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens, wobei die baugrundbezogenen Ursachen für Verschleiß unter dem Begriff der „Abrasivität“ zusammengefasst werden (PLINNINGER ET AL., 2002; PLINNINGER & ALBER, 2016).

Zum Zwecke der Untersuchung und Klassifizierung der Abrasivität von Festgesteinen wurde in Frankreich in den 1980er Jahren der sogenannte CERCHAR-Versuch entwickelt, ein Modellversuch auf Basis eines vereinfachten Versuchskörpers. Das Verfahren ist mittlerweile in Mitteleuropa als Standardverfahren anzusehen (PLINNINGER ET AL., 2002; PLINNINGER & ALBER, 2016) und wird auch im internationalen Kontext von einer „Suggested Method“ der International Society of Rock Mechanics (ISRM) behandelt (Alber et al., 2014).

Das Verfahren (siehe Abbildung 1-1) basiert auf einem Stahl-Prüfstift definierter Geometrie und Härte, der unter definierter Auflast über eine definierte Strecke über die Oberfläche einer Gesteinsprobe gezogen wird. Die dabei am Prüfstift entstehende Verschleißfase wird zur Ermittlung des CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) herangezogen.

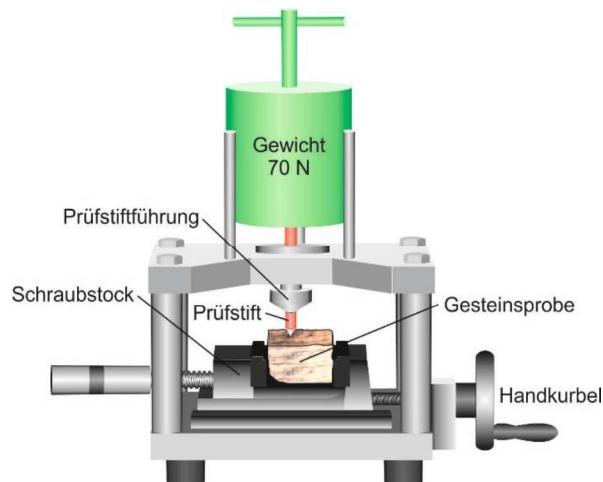


Abbildung 1-1: Typische Auslegung eines CERCHAR-Prüfgeräts.

Mit dem Erscheinen des Ergänzungsbands 2015 (DIN, 2015) zur Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) 2012 (DIN, 2012) wurde der CERCHAR-Versuch erstmals in den konkreten Untersuchungsumfang zur Beschreibung von Festgestein aufgenommen.

Da die hierin referenzierte französische Prüf norm AFNOR NF P 94-430-1 (AFNOR, 2000) wesentliche Erkenntnisse und Entwicklungen der letzten Jahre und Jahrzehnte nicht widerspiegelt und sich daraus weltweit z.T. unterschiedliche Ergebnisse an vergleichbaren Gesteinen ergaben (KÄSLING, THIELE & THURO, 2007), veröffentlichte der Arbeitskreis 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) 2016 die Empfehlung Nr. 23 „Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch“ (KÄSLING & PLINNINGER, 2016).

2 Auslegung des Ringversuchs

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des im vorliegenden Beitrag beschriebenen Ringversuchs war eine unabhängige Bewertung, ob die Anwendung des CERCHAR-Versuchs unter Berücksichtigung der Empfehlung Nr. 23 zu reproduzierbaren Ergebnissen führt.

2.2 Teilnehmer

Zur Validierung des CERCHAR-Verfahrens wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Angewandte Geowissenschaften (IAG) der TU Darmstadt (LANGE, 2018) von Juni 2017 bis Februar 2018 ein Ringversuch in Zusammenarbeit mit 17 Prüfinstituten aus Deutschland und Österreich durchgeführt.

Folgende Institute haben dankenswerterweise an dem Versuch teilgenommen:

Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried,
 Dr. Spang Ingenieurgesellschaft, Witten
 GMP, Würzburg
 LGA Nürnberg (TÜV Rheinland)
 RU Bochum, Ingenieurgeologie/Felsbau
 RWTH Aachen, Geotechnik
 RWTH Aachen, Mineral Resources Engineering
 TU BA Freiberg, Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau
 TU Darmstadt, Ingenieurgeologie
 TU München, Ingenieurgeologie
 TU München, Zentrum Geotechnik
 UniBW München, Bodenmechanik und Grundbau
 WBI, Weinheim
 Geoconsult ZT, Wals
 MU Leoben, Subsurface Engineering
 Sandvik Mining & Construction, Zeltweg
 TU Graz, Angewandte Geowissenschaften

2.3 Probenmaterial

Der CERCHAR-Ringversuch wurde unter Verwendung von vier verschiedenen Gesteinen durchgeführt (Abbildung 2-1):

- Kalkstein (Schillkalk aus den Meißner-Formationen des Oberen Muschelkalks, Tunnel Darmsheim, Baden-Württemberg);
- Sandstein (Mainsandstein aus dem Mittleren Buntsandstein, Steinbruch Remlingen, Bayern);
- Granit (Zweiglimmergranit des Mettener Intrusivkomplexes aus dem Oberkarbon, Bayern);
- Quarzit („Taunusquarzit“, Felsquarzit aus dem Devon, Taunusquarzitwerk Saalburg, Hessen).

Die gewählten Lithologien wurden einerseits unter dem Gesichtspunkt weitgehender Homogenität und Isotropie ausgewählt, zudem sollte die Bandbreite messbarer Abrasivitätsindices in einem möglichst breiten Spektrum abgedeckt werden.



Abbildung 2-1: Würfelförmige Probekörper der vier im CERCHAR-Ringversuch getesteten Lithologien (v.l.n.r.: Sandstein, Quarzit, Granit, Kalkstein).

Um potenzielle Oberflächeneffekte weitestgehend auszuschließen, wurden die Probekörper mit gleichmäßig sägerauen Oberflächen präpariert. Diese Vorgehensweise, die vom Standardfall der bruchrauen Oberflächenausbildung abweicht, ist von einer Sonderfallregelung der Empfehlung Nr. 23 abgedeckt.

Danach sind die an sägerauen Oberflächen ermittelten, scheinbar zu niedrigen Abrasivitätsindices, mit Hilfe eines linearen Korrekturfaktors zu berichtigen (KÄSLING & PLINNINGER, 2016). Da im vorliegenden



Fall dabei aber auch die Messfehler linear extrapoliert worden wären, wurden für die nachstehend beschriebenen Auswertungen die ermittelten Abrasivitätskennwerte in unkorrigierter Form verwendet.

2.4 Prüfvorgaben

Die teilnehmenden Labore erhielten mit dem Probekörper-Satz identische und eindeutige Prüfvorgaben entsprechend der DGGS-Empfehlung Nr. 23. Es sollten je Probekörper insgesamt fünf Einzeltests an unterschiedlichen, nummerierten Prüfoberflächen in definierter Richtung durchgeführt werden. Die Ergebnisse waren in Form eines vorab zur Verfügung gestellten Prüfprotokolls zu protokollieren und in anonymisierter Form zu übermitteln.

3 Auswertemethodik

Die statistische Auswertung des CERCHAR-Ringversuchs erfolgte unter drei verschiedenen Gesichtspunkten, die in den folgenden Absätzen umrissen werden.

Homogenität der Probekörper:

Zunächst wurde überprüft, inwieweit die Entscheidung, würfelförmige Probekörper zu untersuchen und fünf Einzelversuche an verschiedenen Flächen durchzuführen, die Ergebnisse des Ringversuchs beeinflusste. Dazu wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen aller Prüfoberflächen eines jeden Probenwürfels miteinander verglichen.

Laborübersicht:

Anschließend wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Labore für jede Gesteinsart grafisch dargestellt sowie die Schwankungsbreiten ermittelt. Dieser Auswerteschritt diente vor allem den am Ringversuch teilnehmenden Laboren zur Einschätzung ihrer Ergebnisse in Bezug auf die übrigen Versuchsteilnehmer.

Auswertung als Präzisionsversuch:

Der Ringversuch wurde zudem als Präzisionsversuch nach DIN ISO 5725 (DIN, 2002) ausgewertet. Dabei wurden Kennwerte ermittelt, welche die Präzision des CERCHAR-Versuchs unter Berücksichtigung der Empfehlung Nr. 23 beschreiben.

Hierzu wurde die Vereinbarkeit der Daten aller Labore unter Betrachtung der Mittelwerte und Standardabweichungen, getrennt für jede Gesteinsart, überprüft. Diese Überprüfung erfolgte mit Hilfe graphischer Vereinbarkeitsprüfungen (Mandels h-Statistik und Mandels k-Statistik) sowie numerischer Ausreißertests (Cochran-Test und Grubbs-Test).

Mit Hilfe der genannten Verfahren wurden statistische Ausreißer (außerhalb des 1 %-Signifikanzbereichs) sowie Fastausreißer (außerhalb des 5 %-Signifikanzniveaus) ermittelt. Im weiteren Verlauf der Auswertung wurden Fastausreißer beibehalten und Ausreißer eliminiert.

Als Ergebnis dieser statistischen Auswertung wurden die Präzisionsdaten des Verfahrens unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen ermittelt. Dabei wurde die Methodik auch auf einen versuchstechnisch bedingten Zusammenhang zwischen Mittelwert und Standardabweichung hin untersucht. Aufgrund der Verwendung natürlicher Gesteine und dem damit einhergehenden Fehlen anerkannter Bezugswerte zur Abrasivität dieser Probenmaterialien war eine Ermittlung der Richtigkeit im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

4 Ergebnisse und Interpretation

4.1 Homogenität der Probekörper

Zur Überprüfung der Homogenität der Probekörper wurden für jeden der Gesteinsprobekörper die ermittelten CAIs eines jeden Labors in Abhängigkeit der fünf geprüften Seiten des Probekörpers aufgetragen.

Nachstehende Abbildung 4-1 zeigt ein derartiges Beispiel für die Buntsandstein-Probe: Trotz einer gewissen Streuung der Einzelmesswerte einer jeden Seite decken sich die Mittelwerte aller Seiten des Sandstein-Probekörpers gut. Diese Einschätzung gilt äquivalent für alle geprüften Probekörper, wobei den geringsten Unterschied die Seiten des Kalkstein-Probekörpers aufweisen, gefolgt vom Quarzit-Probekörper, dem Sandstein-Probekörper und dem Granit-Probekörper.

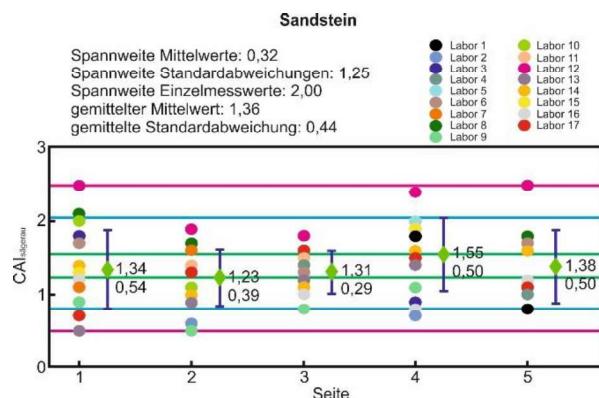


Abbildung 4-1: Darstellung der Versuchsergebnisse (CAI, sägerau Oberfläche) aller 17 Labore für die verschiedenen Seiten der würfelförmigen Sandstein-Probe.

Bezüglich der Homogenität der Prüfkörper kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Entscheidung hinsichtlich würfelförmiger Probekörper mit Einzelversuchen auf unterschiedlichen Seiten als sinnvoll betrachtet werden kann.

4.2 Vergleich der Prüfinstitute

Im Rahmen der sogenannten „Laborübersicht“ wurden die fünf Einzelmessergebnisse eines jeden (anonymisierten) Labors getrennt nach Gestein und in Abhängigkeit der Prüfoberfläche aufgetragen.

Nachstehende Abbildung 4-2 zeigt äquivalent zum vorherigen Auswerteschritt Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Spannweiten der Mittelwerte, Standardabweichungen und Einzelmessergebnisse für die Sandstein-Probe.

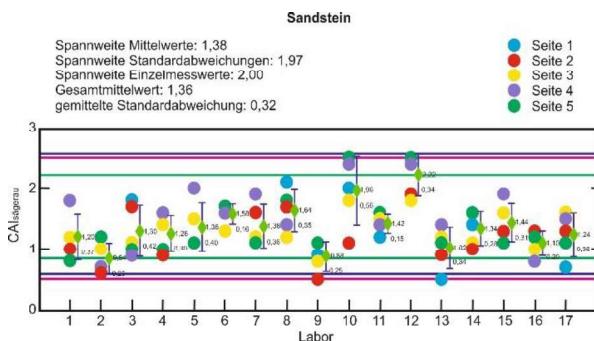


Abbildung 4-2: Darstellung der ermittelten CERCHAR-Abrasivitäts-Indices (CAI, sägerau Oberfläche) aller Labore für die Sandstein-Probe.

Im Falle des Sandsteins lassen sich die Mittelwerte der Labore 10 und 12 als erhöht und die Mittelwerte der Labore 2 und 9 als vergleichsweise gering erkennen. Zudem ist die Standardabweichung des Labors 10 erhöht.

4.3 Auswertung als Präzisionsversuch

Im Rahmen der Ausreißertests wurden drei Labore für jeweils eine einzelne Lithologie aufgrund ihrer Standardabweichungen als Ausreißer bestimmt, diese Daten fanden für die Bewertung der entsprechenden Gesteine weiterhin keine Berücksichtigung. Zusätzlich wurden drei Labore für jeweils eine einzelne Lithologie aufgrund ihrer Mittelwerte als Fastausreißer bestimmt, ihre Daten wurden beibehalten.

In Abbildung 4-3 sind die Prüfgrößen der Mandels k-Statistik für jedes Labor getrennt nach den Lithologien aufgetragen. Die blaue horizontale Linie entspricht dem Indikatorwert für ein Signifikanzniveau von 5 %, die rote horizontale Linie dem Indikatorwert für ein Signifikanzniveau von 1 %. Die Ergebnisse für den Quarzit der Labore 1 und 4 sowie für den Kalkstein des Labors 11 fallen durch hohe Standardab-

weichungen auf. Diese liegen oberhalb des kritischen Werts für das 1 %-Signifikanzniveau. Kein Labor zeigt extreme Standardabweichungen über alle Lithologien hinweg.

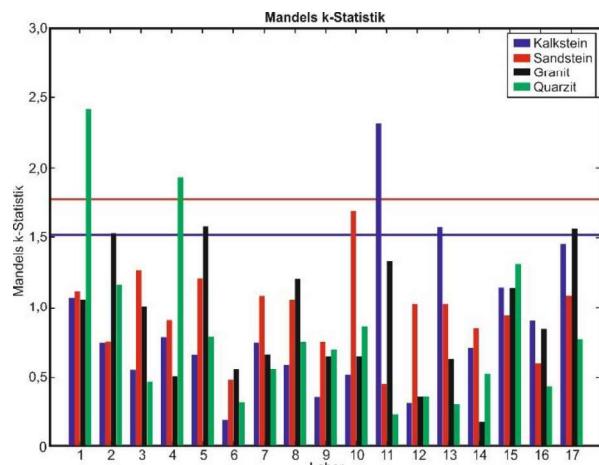


Abbildung 4-3: Darstellung der Vereinbarkeitsprüfgröße Mandels k-Statistik, welche die Standardabweichungen berücksichtigt. Die blaue Linie entspricht dem Indikatorwert für das 5 %-Signifikanzniveau, die rote Linie entspricht dem Indikatorwert für das 1 %-Signifikanzniveau.

Aus den Daten aller übrig gebliebenen Labore ergeben sich als Ergebnisse des CERCHAR-Ringversuchs die in Tabelle 1 dargestellten Mittelwerte und Standardabweichungen (Wiederholstandardabweichung s_r und Vergleichsstandardabweichung s_R). Darüber hinaus ist die jeweils zur Berechnung der Werte berücksichtigte Anzahl der Labore (p) angegeben.

Tabelle 1: Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse des Ringversuchs als Präzisionsversuch (CAI, sägerau Oberfläche).

Gestein	Mittelwert	s_r	s_R	p
Kalkstein	1,10	0,22	0,38	16
Sandstein	1,36	0,33	0,46	17
Granit	4,07	0,62	0,81	17
Quarzit	3,32	0,39	0,54	15

Für den Kalkstein und den Sandstein wird eine niedrige Abrasivität ermittelt, für den Quarzit eine hohe und für den Granit eine sehr hohe. In derselben Reihenfolge steigen auch die Standardabweichungen an, die für den Kalkstein, Sandstein und Quarzit rd. 0,5 CAI und darunter betragen und für die Granitprobe mit rd. 0,8 CAI merklich höher liegt.

Aufgrund der Ergebnisse des CERCHAR-Ringversuchs lässt sich eine funktionale Beziehung zwischen Mittelwert und Standardabweichung erkennen (Abbildung 4-4), d.h. eine zunehmende Standardabweichung mit zunehmender Abrasivität. Es lässt sich



jedoch nicht quantifizieren, ob dieser Zusammenhang allgemeingültig, d.h. versuchstechnisch bedingt ist, oder aber der im Ringversuch vorhandenen, spezifischen Inhomogenität der untersuchten Gesteine geschuldet ist. Da auf Basis der mineralogischen Zusammensetzung, der Korngröße sowie des Gefüges davon auszugehen ist, dass die Heterogenität der untersuchten Proben (Kalkstein < Sandstein < Quarzit < Granit) in selber Reihenfolge ansteigt, wie der ermittelte CAI, bietet auch eine rein geologische Deutung dieses Phänomens eine plausible Erklärung.

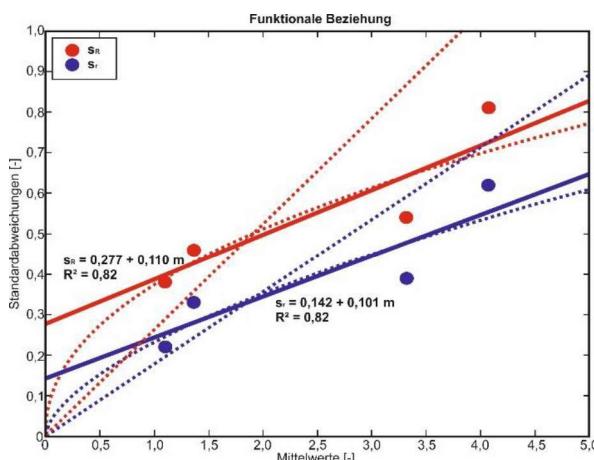


Abbildung 4-4: Überprüfung einer funktionalen Beziehung zwischen Gesamtmittelwert und Wiederholstandardabweichung s_r (blau) sowie Vergleichstandardabweichung s_R (rot). Die beste Annäherung liefern Geraden mit positivem y -Achsenabschnitt und entsprechend angegebenen Funktionsgleichungen sowie Bestimmtheitsmaßen (durchgängige Linien).

5 Optimierungspotenziale

Der Ringversuch hat für einige Details des CERCHAR-Versuchs Verbesserungspotenziale aufgezeigt, zu deren Verbesserung weitere Forschungsarbeiten und die Weiterentwicklung der Methoden sinnvoll erscheinen.

Wesentliche Ansatzpunkte für die Verbesserung der Versuchsergebnisse wäre eine Reduktion der Mehrdeutigkeiten bei der Ablesung der Verschleißfasen sowie die Erarbeitung eindeutigerer Kriterien und Methoden zur Abgrenzung und der Messung derartiger Verschleißformen. Die in der Empfehlung Nr. 23 dargestellten Beispiele der Verschleißfasen stellen idealtypische Abbildungen dar, welche so in der Realität selten auftreten. Viel häufiger treten unscharf abgegrenzte und insbesondere asymmetrische Verschleißfasen auf, so dass auch deren Berücksichtigung für die Auswertung wünschenswert ist.

In der Empfehlung Nr. 23 wird nicht explizit beschrieben, wie mit ungültigen Versuchen umzugehen ist.

Es besteht sowohl die Möglichkeit den Einzelmesswert zu verwerfen als auch den gesamten Prüfstift nicht mehr zu verwenden. Eine diesbezüglich eindeutige Formulierung sollte angestrebt werden.

Ein nicht zu vernachlässigendes Problem stellt die Korrelation zwischen bruchrauer und sägerauer Oberfläche dar. Der in der Empfehlung Nr. 23 berücksichtigte lineare Korrekturfaktor ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und wird mit Sicherheit nicht allen Gesteinen gerecht. Die Bestimmung mehrerer gesteinsspezifischer Korrekturfaktoren erscheint möglich, erfordert aber eine breitere Datenbasis.

6 Schlussfolgerungen

Auf Basis der vorgestellten Daten und Auswertungen wird der nach der Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGQT durchgeführte CERCHAR-Test als insgesamt geeignetes Verfahren zur Bewertung der Abrasivität von Festgestein bewertet, das reproduzierbare Ergebnisse liefert. Im Rahmen des CERCHAR-Ringversuchs kam es bei 17 teilnehmenden Laboren und bei Prüfung von je vier verschiedenen Gesteinsarten lediglich in drei Fällen zu einer Zurückweisung von Versuchsergebnissen aufgrund von Ausreißern.

Die im Rahmen des CERCHAR-Ringversuchs ermittelten Standardabweichungen dürfen dennoch nur bedingt als Präzisionsdaten verstanden werden, was auf die spezifische Inhomogenität der gewählten Proben zurückzuführen ist. Vielmehr liefern die Ergebnisse einen Eindruck, in welcher Größenordnung die Streuung von CAI-Werten sowohl in Abhängigkeit der Höhe der Abrasivität als auch der Inhomogenität des Probenmaterials liegen kann.

Auf Basis der Versuchsergebnisse ist zu vermuten, dass die Streuung mit der Zunahme dieser beiden Eigenschaften zunimmt. Für Gesteine bis zu einer hohen Abrasivität (gemäß Klassifizierung nach Empfehlung Nr. 23) und nicht allzu ausgeprägter Inhomogenität muss mit Vergleichstandardabweichungen von etwa einem halben CAI gerechnet werden. Bei höherer Abrasivität und vor allem höherer Inhomogenität kann die Streuung auch merklich darüber liegen. Generell problematisch kann die Untersuchung von grobkörnigen Gesteinen mit stark heterogener mineralogischer Zusammensetzung sein.

Im Rahmen des CERCHAR-Ringversuchs und der damit zusammenhängenden Masterarbeit wurden darüber hinaus einige Unschärfen der Versuchs-



durchführung und methodische Verbesserungspotenziale erkannt, auf die in Absatz 5 des vorliegenden Beitrags eingegangen wurde.

Die geschilderten Zusammenhänge liefern wichtige Erkenntnisse für den Baugrundgutachter. Mit Hilfe der Ergebnisse des CERCHAR-Ringversuchs kann erstmals abgeschätzt werden, inwieweit Streuungen der Abrasivitätseigenschaften in Prüfung und Beschreibung berücksichtigt werden müssen und zwar sowohl in Hinblick auf die dem CERCHAR-Versuch inhärenten, versuchstechnischen Streuungen, als auch hinsichtlich der geologisch bedingten, gesteinspezifischen Faktoren.

In diesem Kontext ist auch auf die vielfach praktizierte Klassifizierung der Abrasivität und die häufig nach derartigen Klassengrenzen gestaffelte Vergütung von Werkzeugverschleiß einzugehen. Insbesondere bei CAIs in der Nähe der jeweiligen Klassengrenzen oder bei inhomogenen Gesteinen können Streubreiten, wie die im vorliegenden Ringversuch aufgezeigten, eine ggf. überproportionale Rolle für bauvertragliche Fragestellungen spielen und den Sinn derartiger Vergütungsmodelle entstellen. Grundlegend muss hier hinterfragt werden, ob starre und zum Teil willkürlich festgelegten Grenzen der Aufgabenstellung einer fairen und angepassten Risikoverteilung gerecht werden.

Aus Sicht der Autoren sollten im Labor bestimmte Parameter, wie der CAI keinesfalls als „Wundermittel“ betrachtet werden, welche die komplexe Baugrundeigenschaft der Abrasivität auf eine einzige, alles beschreibende Zahl kondensieren können. Vielmehr stellen Laborversuche wie der CERCHAR-Test sinnvolle Werkzeuge dar, Einflussfaktoren im Bereich des Gesteinsmaßstabs mit einfachen Mitteln überprüfen und quantifizieren zu können, mit dem Ziel, dem Baugrundgutachter Kenngrößen für eine gesamthafte, alle Erkenntnisse aus der Gesteins- und Gebirgssituation integrierende Bewertung der verschleißrelevanten Baugrundeigenschaften zur Verfügung zu stellen.

Literaturverzeichnis

AFNOR – Association française de normalisation (2000): Détermination du pouvoir abrasive d'une roche –Partie 1: Essai de rayure avec une pointe (NF P 94-430-1). Paris: AFNOR.

Alber, M., Yarah, O., Dahl, F., Bruland, A., Käsling, H., Michalakopoulos T.N., Cardu, M., Hagan, P., Aydin, H. & Özarslan, A. (2014): ISRM Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR Abrasivity Test. In: Int. J. Rock Mech. &

Min. Sci. & Geomech. Abstr., 47 (2014), S. 261-266. Elsevier Verlag.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2002): DIN ISO 5725-2 – Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen; Teil 2: Grundlegende Methoden für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO 5725-2:1994 einschließlich Technisches Korrigendum 1:2002). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2012): VOB 2012 - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Gesamtausgabe 2012. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2015): VOB 2012 - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Ausgabe 2012, Ergänzungsband 2015. Berlin: Beuth-Verlag.

Käsling, H., Plinninger, R.J. (2016): Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Bestimmung der Abrasivität mit dem Cerchar-Versuch. Bau-technik 93, H 6, S. 409-415.

Käsling, H., Thiele, I., Thuro, K (2007): Abrasivitätsuntersuchungen mit dem CERCHAR-Test – eine Evaluierung der Versuchsbedingungen. Veröffentlichungen von der 16. Tagung für Ingenieurgeologie, 7.-10. März 2007, Bochum, S. 229-235.

Lange, T. (2018): Durchführung und Auswertung eines CERCHAR-Ringversuchs zur Validierung der Empfehlung Nr. 23 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGQT) e.V.. unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt, 130 Seiten.

Plinninger, R.J. & Alber, M. (2016): Abrasivitätsuntersuchung von Boden und Fels im Kontext der neuen VOB/C.- Bauingenieur, 91, 5: S. 200-207, Düsseldorf: Springer VDI.

Plinninger, R.J., Käsling, H. Thuro, K., Spaun, G. (2002): Versuchstechnische und geologische Einflussfaktoren beim CERCHAR-Abrasivitätstest. geo-technik 25, S 110-113.