

Versuchstechnische und geologische Einflussfaktoren beim CERCHAR-Abrasivitätstest (CAI)

R. PLINNINGER¹, H. KÄSLING¹, K. THURO² & G. SPAUN¹

¹ Dr. Ralf J. Plinninger, Dipl.-Geol. Heiko Käsling, Prof. Dr. Georg Spaun - Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie der Technischen Universität München

² Dr. Kurosch Thuro - Geologisches Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

Der CERCHAR-Verschleißtest hat sich als Modellversuch zur Untersuchung der Abrasivität von Festgesteinen in Mitteleuropa durchsetzen können. Der vorliegende Artikel stellt zusammenfassend die versuchstechnischen und geologischen Einflussfaktoren beim CAI dar und gibt Hinweise zu deren Berücksichtigung. Versuchstechnische Empfehlungen umfassen die Durchführung von 5 Einzelversuchen pro Prüfkörper, die alleinige Verwendung der vorgeschlagenen Stahlsorte sowie eine detaillierte, mikroskopische Auswertung der Verschleißfase unter dem Binokular. Für die Untersuchung stark inhomogene Gesteine wird eine Oberflächenformatierung der Prüfkörper mittels Gesteinssäge vorgeschlagen. Die an diesen „sägerauhen“ Oberflächen ermittelten CAI-Werte lassen sich mit Hilfe einer empirischen Umrechnungsformel mit den CAI bruchrauher Oberflächen vergleichen.

Testing conditions and geological factors influencing the Cerchar scratch test: In Western Europe the Cerchar scratch test is a very common testing procedure used for laboratory assessment of hardrock abrasivity. A wide variety of testing conditions and geological factors have been recognized to influence the test and the test result, the Cerchar Abrasiveness Index (CAI). The article presents some new findings based on a data set of 109 rock types. It emphasizes the use of the original steel quality for the testing needles and recommends 5 single test for every rock sample. A detailed evaluation of the needle wear flat should be made by microscopical analysis. For inhomogenous rock types sample preparation with diamond rock saws is recommended to achieve even rock surfaces. These values can be compared with standard CAI values achieved on rough surfaces by use of a empirical equation.“

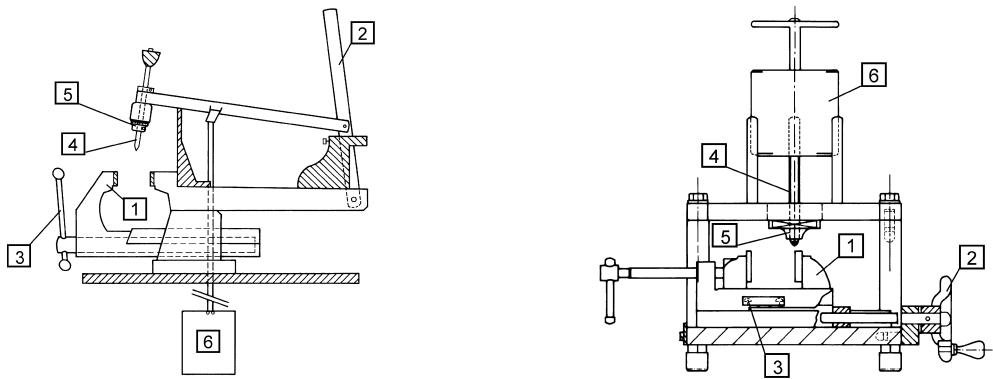
Einleitung

Bei der Gebirgslösung im Festgestein spielt neben der Löseleistung (d.h. Bohrgeschwindigkeit, Vortriebs- bzw. Schneidleistung) vor allem der Werkzeugverschleiß eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens. Der Abrasionsversuch nach den Prüfempfehlungen des CERCHAR (1986) hat als einer der wenigen Modellversuche in Mitteleuropa weite Verbreitung für Zwecke der Abrasivitätsbeurteilung von Festgesteinen gefunden. Er basiert auf einem Prüfstift definierter Eigenschaft und Geometrie, der bei konstanter Auflast über eine bestimmte Strecke eines handstückgroßen Prüfkörpers gezogen wird. Der CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) errechnet sich als Mittelwert über 2-5 Einzelversuche aus der Breite der am Stift entstandenen kegelstumpfförmigen Verschleißphase.

Versuchstechnische Einflussfaktoren

Prüfgeräte

Zur Versuchsdurchführung haben sich zwei generelle Konstruktionsprinzipien durchgesetzt, die nachfolgend als „CERCHAR-Gerät“ und „WEST-Gerät“ bezeichnet werden. Die ursprüngliche Versuchsanordnung (Abb. 1, links) besteht im wesentlichen aus einem Schraubstock zur Aufnahme der Probe sowie einem Prüfarm, an dessen Ende die Prüfspitzenaufnahme für den mit 70 N belasteten Prüfstift befestigt ist. Bei diesem Aufbau wird der Prüfstift mit Hilfe eines Hebels innerhalb von 1 sec über 10 mm der Prüfkörperoberfläche bewegt. Beim „WEST-Gerät“ (WEST, 1989, Abb. 1 rechts) wird innerhalb 10 sec die auf einem Schlitten eingespannte Probe unter dem statisch belasteten Prüfstift hinweggezogen. Trotz der Unterschiede in Aufbau und Versuchsdurchführung wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse beider Versuchsanordnungen identisch sind.



1+3 Schraubstock, 2 Handgriff,
4 Prüfstift, 5 Prüfstiftführung, 6 Gewicht

1 Schraubstock, 2 Handkurbel, 3 Schlitten
4 Prüfstift, 5 Prüfstiftführung, 6 Gewicht

Abb. 1: Testgeräte zur Ermittlung des CAI - Abrasivitätsindex nach CERCHAR, 1986 (links) und WEST, 1989: Fig. 1, S. 152 (rechts).

Prüfstifte – Geometrie und Materialeigenschaften

Im Gegensatz zur Prüfstiftgeometrie, die in der Prüfempfehlung eindeutig beschrieben und in dieser Form einheitlich verwendet wird, unterliegt die Materialqualität der von verschiedenen Bearbeitern eingesetzten Stahlstifte starken Schwankungen. Argumente, die für eine Abweichung von den empfohlenen Stahlsorten angeführt werden, umfassen z.B. Materialbeschaffungsprobleme (WEST, 1989) oder „bessere“ Prüfergebnisse bei wenig abrasiven Gesteinen (AL-AMEEN/WALLER, 1994). Da die Abnutzung zu einem erheblichen Teil von den Materialeigenschaften der Prüfspitze abhängt, ist festzustellen, dass jede Abweichung von den empfohlenen Materialeigenschaften zu zunächst nicht vergleichbaren Prüfergebnissen führt. Vergleichende Untersuchungen liegen derzeit hierzu nicht vor.

Prüfkörper – Oberflächenausbildung

Nach den Prüfempfehlungen soll der Versuch auf einer ebenen und „bruchrauen“ Oberfläche durchgeführt werden. Da bei einer ganzen Reihe ausgeprägt inhomogener Gesteine, z.B. Konglomeraten, grobkörnigen Graniten und Glimmerschiefern durch Bruch in der Gesteinsknacke oder mit dem Hammer keine prüffähige, ausreichend ebene Oberfläche zu erzielen ist, erschien es zielführend, auch den Einfluss unterschiedlicher Formatierungsverfahren (wie z.B. Sägen mit Diamantsäge, Anschleifen der Oberfläche mit Schleifpulver) zu untersuchen. Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen lässt sich folgern, dass die CAI-Werte „bruchrauher“ Prüfkörper linear um etwa 0,5 über denen von „sägerauhen“ Proben liegen (Gleichung 1, Abb. 2). Die zu Grunde liegende Regressionsgerade zwischen beiden Oberflächenrauhigkeiten ist gut bestimmt und zeigt eine gleichmäßige, von der Lithologie offensichtlich unabhängige Streuung. Unter Berücksichtigung der dargestellten Umrechnung lassen sich somit CAI-Werte verschiedener formatierter Prüfkörper vergleichen und damit insbesondere Gesteine bewerten, deren Untersuchung bisher aufgrund der ungeeigneten Oberflächenausbildung nicht möglich war.

Gleichung 1: Umrechnungsformel des CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) für Versuche auf sägerauhen Oberflächen.

$$CAI = 0,99 \cdot CAI_s + 0,48$$

mit: CAI CERCHAR-Abrasivitäts-Index (auf bruchrauher Oberfläche) []
 CAI_s CERCHAR-Abrasivitäts-Index (auf sägerauher Oberfläche) []

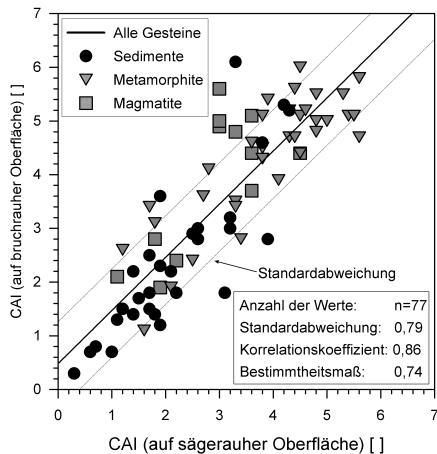


Abb. 2: CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI), aufgetragen sind die Ergebnisse auf gesägten und gebrochenen Gesteinoberflächen.

Prüfstrecke

Nach den Prüfempfehlungen ist die Länge der Prüfstrecke mit 10 mm definiert. Eine zunächst erwogene Verlängerung der Prüfstrecke sollte eine erhöhte Abnutzung und damit exaktere Ablesung des Prüfstiftes ermöglichen. Versuchsreihen mit unterschiedlich langen Prüfstrecken auf ansonsten identischen Probenkörpern bestätigten die Beobachtung von AL-AMEEN/WALLER (1994), dass rd. 70 % der Abnutzung bereits auf dem ersten Millimeter der Teststrecke erreicht werden. Auf den restlichen 9 mm findet nur noch geringe Abnutzung und damit auch eine unwesentliche Veränderung des CAI statt. Dies lässt einerseits eine Verlängerung der Prüfstrecke nicht sinnvoll erscheinen, wirft andererseits jedoch auch Fragen hinsichtlich der Repräsentativität der Versuchsergebnisse bei im Prüfkörpermaßstab stark inhomogen zusammengesetzten Gesteinen (z.B. Konglomeraten, Brekzien oder grobkörnigen Plutoniten) auf.

Auswertung

In den Prüfempfehlungen wird eine nicht näher spezifizierte mikroskopische Bestimmung der Prüfstiftabnutzung vorgeschlagen. Im vorliegenden Untersuchungsprogramm erfolgte die Auswertung mit Hilfe des Messokulars eines 50-fach vergrößernden Stereo-Mikroskops bei einer Ablesegenauigkeit von 0,02 mm. Nach den guten Erfahrungen mit dieser Methode erscheint die Anwendung stärkerer Vergrößerungen nicht sinnvoll. Die Ablesung mit einer nur 10-fach vergrößernden Meßlupe ist aufgrund der Ablesegenauigkeit von nur 0,1 mm (= 1 CAI) dagegen als zu ungenau zu bewerten. Aufgrund der teilweise recht unterschiedlichen Abnutzungsbilder der Prüfstifte wurde bei den Versuchen grundsätzlich das Verschleißbild erfasst und dokumentiert. Die Abnutzung der Prüfstifte ist bei besonders grobkörnigen Gesteinen teilweise so asymmetrisch oder unscharf abgegrenzt, dass keine Ablesung möglich ist. Pro Prüfstift sollten daher jeweils 2 Messungen senkrecht zueinander vorgenommen und die gemessene Abnutzung gemittelt werden.

Obwohl CERCHAR (1986) bei homogenen, feinkörnigen Gesteinsproben 2 bis 3 Einzelversuche für ausreichend hält und lediglich bei Proben mit Korngrößen > 1 mm 5 oder mehr Einzelversuche durchgeführt werden sollten, hat das Untersuchungsprogramm gezeigt, dass zur Erzielung aussagekräftiger Werte generell 5 Einzelversuche pro Gestein durchgeführt werden sollten.

Geologische Einflussfaktoren

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei der Quantifizierung geologischer Einflussfaktoren auf das Versuchsergebnis. Obwohl WEST (1989) den Äquivalenten Quarzgehalt als wesentlichsten geologischen Parameter des CAI darstellt, zeigt sich, dass eine Vielzahl darüber hinausreichender Faktoren den CAI beeinflussen. Die anhand von 109 Gesteinen mit großer Bandbreite (CAI-Werte zwischen 0,3 - 5,6) durchgeführten Untersuchungen, zeigen, dass WESTs Postulat nicht zutreffend

erscheint (Abb. 3). Ähnliche, von AL-AMEEN/WALLER (1994) postulierte Zusammenhänge zwischen CAI und Abrasiv Mineral Content konnten ebenso wenig nachvollzogen werden.

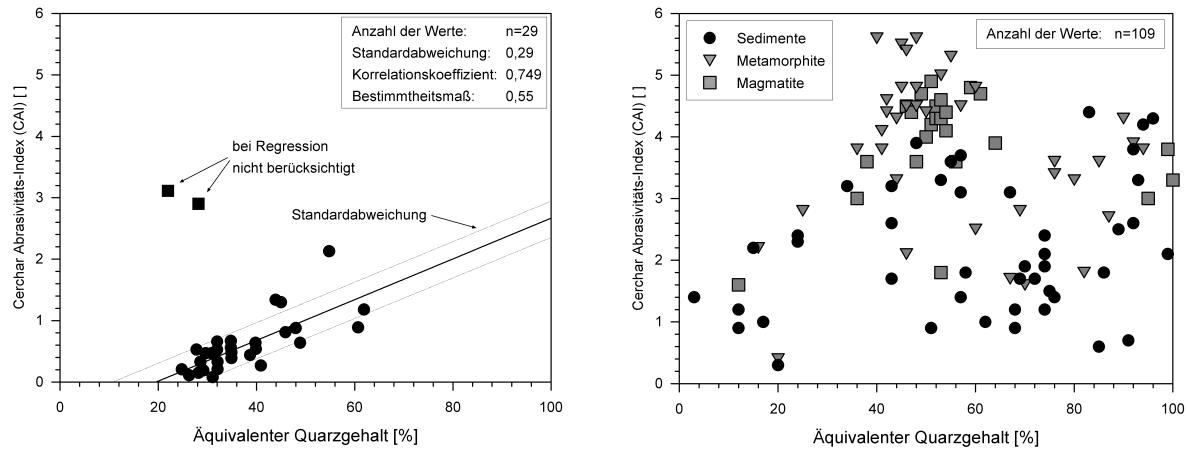


Abb. 3: CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) aufgetragen gegen den Äquivalenten Quarzgehalt. Links die Ergebnisse von WEST (1989, verändert), rechts die Ergebnisse der Untersuchungen an der TU München.

Bei Gegenüberstellung aller vorhandener Gesteinskennwerte stellte sich heraus, dass ein Produkt aus Gesteinsverformungsmodul und Äquivalentem Quarzgehalt am besten geeignet erschien, die Ergebnisse des CERCHAR-Tests in Zusammenhang mit „klassischen“ felsmechanischen Kennwerten zu setzen. Die mäßig bestimmte Korrelation (Abb. 4) gibt zur Vermutung Anlass, dass der CAI vorwiegend von der Festigkeit und Verformbarkeit des Gesteinsgefüges und der Einzelhärte der enthaltenen Mineralbestandteile bestimmt wird.

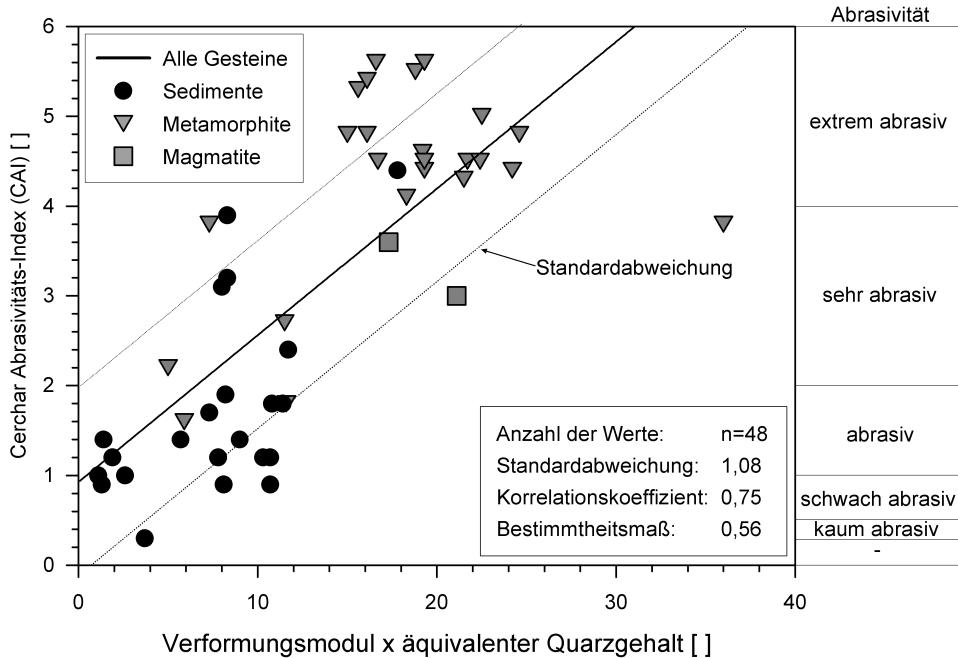


Abb. 4: CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) aufgetragen gegen das Produkt aus Verformungsmodul und Äquivalentem Quarzgehalt.

Zusammenfassung

Die an der TU München durchgeführten Untersuchungen an 109 Gesteinen haben bestätigt, dass beim CERCHAR-Abrasivitätstest eine Reihe versuchstechnischer Faktoren wesentlichen Einfluss auf den Abrasivitäts-Index CAI nehmen. Die Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfstifteigenschaften und die sorgfältige, mikroskopische Ablesung sind grundlegend für die Gewinnung repräsentativer Versuchsergebnisse. Für die Untersuchung stark inhomogener Gesteine wird die Formatierung sägerauher Pro-

ben vorgeschlagen und eine Umrechnungsformel für den Vergleich mit bruchrauen Prüfkörpern vorgestellt. Beim Vergleich mit „klassischen“ felsmechanischen Kennwerten zeigt sich, dass der CAI offenbar stark von der Verformbarkeit des Gesteins und der Härte seiner Einzelminerale beeinflusst wird.

Die Durchführung von Modellversuchen zum Zweck der Verschleißprognose ist vor allem in den 70er und 80er Jahren propagiert worden. Der CERCHAR-Abrasivitätstest ist aufgrund seiner Einfachheit in Mitteleuropa weit verbreitet. Die vorstehenden Ausführungen zeigen, dass wichtige versuchstechnische Rahmenumstände gut erfassbar sind und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden können. Zahlreiche Arbeiten, die sich mit der Übertragung von Modellversuchen auf reale Werkzeugverschleißraten beschäftigten (EWENDT, 1989; VERHOEF, 1997; BRULAND, 1998; PLINNINGER, 2002) zeigen jedoch, dass die Verschleißvorhersage nach Durchführung eines einfachen Modellversuches mit erheblichen Unsicherheiten belastet ist. Bezugnehmend auf diese Arbeiten ist ein Trend zu verzeichnen, der verstärkt in Richtung geotechnisch-mineralogischer Verfahren zur Verschleißuntersuchung zielt. Hierbei wird vorgeschlagen, aus „klassischen“ felsmechanischen Parametern (wie z.B. Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Äquivalentem Quarzgehalt, etc.) Prognoseindices wie Schimatzek-Index oder dem in PLINNINGER (2002) neu eingeführten Rock Abrasivity Index (RAI) zu errechnen.

Literatur

- AL-AMEEN, S.I. / WALLER, M.D. (1994): The influence of rock strength and abrasive mineral content on the Cerchar Abrasive Index.- Engineering Geology, 36: S. 293-301.
- BRULAND, A. (1998): Project report 13A-98 - Hard rock tunnel boring: Drillability Test methods.- 22 S., NTNU Trondheim, 1998.
- CERCHAR - CENTRE D' ETUDES ET RECHERCHES DE CHARBONNAGES DE FRANCE (1986): The Cerchar Abrasiveness Index.- 12 S., Verneuil (Eigenverlag).
- EWENDT, G. (1989): Erfassung der Gesteinsabrasivität und Prognose des Werkzeugverschleißes beim maschinellen Tunnelvortrieb mit Diskenmeißeln.- Bochumer geol. u. geot. Arbeiten, 33, 88 S., 27 Abb., 16 Tab., Diss. Ruhruniv. Bochum.
- KÄSLING, H. (2000): Der CERCHAR-Abrasivitätstest: Aussagekraft und Verbesserungsmöglichkeiten eines Indextests zur Bestimmung der Gesteinsabrasivität.- 47 S. 28 Abb., 9 Tab., 9 Anl., Dipl.-Arb. TU München (unveröffentl.).
- PLINNINGER, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein.- Münchener Geologische Hefte, Reihe B – Angewandte Geologie, 17, 147 S., 99 Abb., 36 Abb.
- VERHOEF, P.N.W. (1997): Wear of rock cutting tools.- 327 S., Rotterdam, Brookfield (Balkema).
- WEST, G. (1989): Technical Note - Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 26, 2: 151-160.