

Praktische Aspekte der Abrasivitätsuntersuchung und Verschleißprognose mit den Cerchar-Abrasivitätstest (CAI)

Practical Aspects of abrasivity investigation and tool wear prediction
using the Cerchar Scratch Test (CAI)

Dipl.-Geol. Dr. Ralf J. Plinninger¹, Dipl.-Geol. Heiko Käsling² & Prof. Dr. Kurosche Thuro²

Zusammenfassung

Bei der Gebirgslösung im Festgestein spielt neben der Löseleistung vor allem der Werkzeugverschleiß eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens. Der Abrasionsversuch nach CERCHAR (1986) hat als Laboruntersuchungsverfahren weite Verbreitung für die Abrasivitätsbeurteilung von Festgesteinen gefunden und wird heute von zahlreichen Geräteherstellern, Prüfinstituten und Forschungseinrichtungen als kostengünstige und einfach durchführbare Prüfmethode eingesetzt. Der Beitrag stellt zusammenfassend das Verfahren und relevante versuchstechnische und geologische Einflussfaktoren vor und gibt Hinweise und Empfehlungen zur Aussagekraft des Testverfahrens für die praktische Verschleißprognose.

Keywords: Cerchar-Versuch, CAI, Gesteinsabrasivität, Werkzeugverschleiß, Versuchstechnik

Abstract

The choice of an economic excavation method and estimations on excavation rates and wear costs are challenging tasks in various stages of a hardrock underground project. In addition to various other relevant parameters for predicting excavation rate and tool wear, the CERCHAR scratch test and the derived parameter, the CERCHAR Abrasiveness Index (CAI), represent one of the most common testing procedures for the laboratory research of hardrock abrasivity worldwide. The easy-to-use test features a steel needle of defined geometry and quality, which is scratched for a length of 10 mm over the broken surface of a rock sample. The CAI value is then calculated from the diameter of the resulting wear flat and can be used as a index value for estimating tool wear rates. This paper is intended to give a current state-of-the-art overview of CERCHAR testing and interpretation of CAI values.

Keywords: Cerchar Test, CAI, Rock Abrasivity, Tool Wear, Testing Techniques

1 Einführung

Bei der Gebirgslösung im Festgestein spielt neben der Bohr-, Fräsen- oder Schneidleistung vor allem der Werkzeugverschleiß eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens. Der Abrasionsversuch nach den Prüfempfehlungen des CERCHAR (CENTRE D' ETUDES ET RECHERCHES DE CHARBONNAGES DE FRANCE, 1986) hat in Mitteleuropa weite Verbreitung für Zwecke der Abrasivitätsbeurteilung von Festgesteinen gefunden.

Der Versuch basiert auf einem definierten Prüfstift, der bei konstanter Auflast über 10 mm eines Prüfkörpers gezogen wird (Fig. 1). Der CERCHAR Abrasivitäts-Index (CAI) errechnet sich als Mittelwert über 2-5 Einzelversuche aus der Breite der am Stift entstandenen kegelstumpfförmigen Verschleißphase.

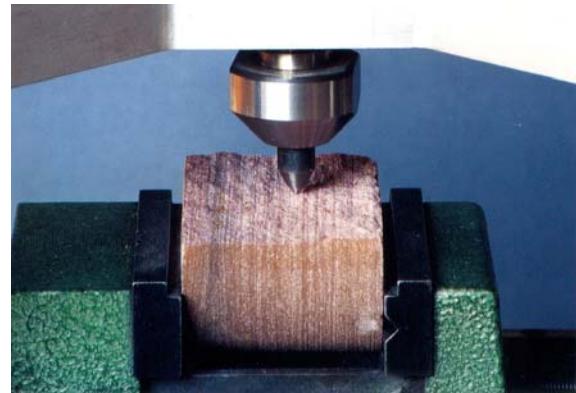


Fig. 1: Beispiel für einen Cerchar-Versuch: Der Prüfstift wird auf einer Strecke von 10 mm über die bruchraue Oberfläche der Gesteinsprobe gezogen.

Fig. 1: Example for Cerchar-Test: The steel needle is scratched over the rough rock surface for a distance of 10 mm.

1 Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, IFB Eigenschenk GmbH für Geotechnik und Umweltschutz,
Mettener Straße 33, 94469 Deggendorf, mail@eigenschenk.de

2 Dipl.-Geol. Heiko Käsling & Univ.-Prof. Dr.rer.nat.habil. Kurosche Thuro, Technische Universität München,
Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Arcisstraße 21, 80290 München, heiko.kaesling@tum.de & thuro@tum.de

Testgeräte

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind vor allem zwei Typen von Prüfgeräten in Gebrauch: Das auf der ursprünglichen Prüfempfehlung (CERCHAR, 1986) beruhende, sogenannte „CERCHAR-Gerät“ (Fig. 2, oben) und das sogenannte „West-Gerät“, das 1989 von WEST vorgestellt wurde (Fig. 2, unten).

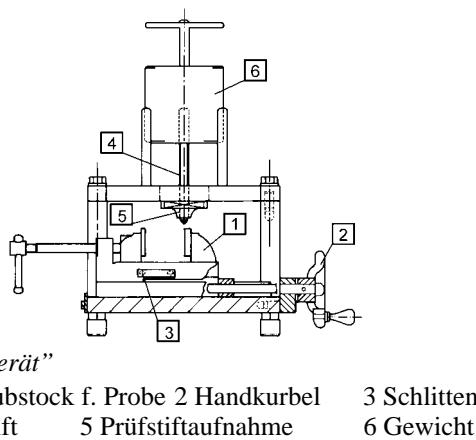
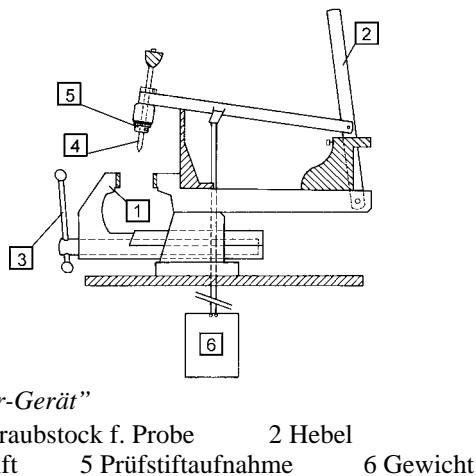


Fig. 2: Prüfgeräte für den CERCHAR-Versuch.
Fig. 2: Testing setups for CERCHAR testing.

Die ursprüngliche Versuchsanordnung besteht im wesentlichen aus einem Schraubstock zur Aufnahme der Probe sowie einem Prüfarm, an dessen Ende die Prüf spitzenaufnahme 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“ 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.

Prüfstifteigenschaften

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 der empfohlenen Stahlhärte von HRC 54-56 angeführt werden, umfassen z.B. Materialbeschaffungsprobleme (WEST, 1989) oder „bessere“ Prüfergebnisse bei wenig abrasiven Gesteinen (AL-AMEEN & WALLER, 1994). In Folge dieser Abweichungen werden CAI-Versuche derzeit weltweit mit variierenden Stiftqualitäten von HRC 40-43 oder HRC 54-56 durchgeführt.

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.

Oberflächenbeschaffenheit der Proben

Nach den Prüfempfehlungen soll der CAI-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 Gesteinsknaeke oder mit dem Hammer keine prüffähige, ausreichend ebene Oberfläche zu erzielen ist, wurde an der TU München (KÄSLING, 2000) der Einfluss unterschiedlicher Formatierungsverfahren (wie z.B. Sägen mit Diamantsäge, Anschleifen der Oberfläche mit Schleifpulver) in Reihenversuchen untersucht.

Die in Fig. 3 dargestellten Daten zeigen eine gute Korrelation zwischen CAI-Werten von Proben mit sägerauhen und bruchrauen Gesteinoberflächen.

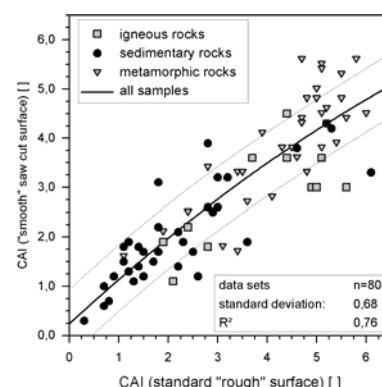


Fig. 3: Vergleich der CAI-Werte von Tests an Magmatiten, Metamorphiten und Sedimentgesteinen mit verschiedener Oberflächenrauhigkeit.

Fig. 3: Comparison of CAI-values, derived from tests on igneous, metamorphic and sedimentary rocks with different surface roughness.

Bemerkenswert erscheint die Abflachung der Regressionskurve mit steigender Gesteinsabrasivität (steigendem CAI), die als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass mit zunehmender Abrasivität bruchraue Gesteinoberflächen deutlich höhere CAI erreichen, als identische Proben mit sägerauher Oberfläche.

Der praktische Wert dieser Untersuchungen besteht in der Möglichkeit, unter Zuhilfenahme dieser Vergleiche auch sägerauhe Oberflächen testen und werten zu können und damit insbesondere Gesteine untersuchen zu können, deren Prüfung im CERCHAR-Versuch bisher aufgrund der ungeeigneten Oberflächenausbildung nicht möglich war.

Prüfstreckenlänge

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 (Fig. 4). Auf den restlichen 9 mm findet nur noch geringe Abnutzung und damit auch eine unwesentliche Veränderung des CAI statt.

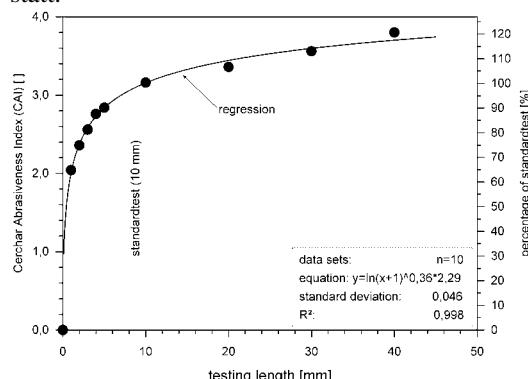


Fig. 4: Zusammenhang zwischen Prüfstreckenlänge und CAI bei homogenem Gestein.

Fig. 4: Plot of CAI versus testing length.

Dieses Ergebnis lässt eine Verlängerung der Prüfstrecke nicht sinnvoll erscheinen, lässt jedoch den Schluss zu, dass eine Variation der Prüfstreckenlänge im Bereich von ± 0.5 mm sich nicht nennenswert auf das Ergebnis des Versuchs auswirkt.

Anzahl der Einzelversuche

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, zeigen die Prüferfahrungen, dass zur Erzielung aussagekräftiger Werte generell 5 Einzelversuche pro Gestein durchgeführt werden sollten.

Auswertung der Abnutzung

In den Prüfempfehlungen wird eine nicht näher spezifizierte mikroskopische Bestimmung der Prüfstiftabnutzung vorgeschlagen.

Während die Ablesung mit einer nur 10-fach vergrößernden Messlupe aufgrund der Ablesegenauigkeit von nur 0,1 mm (= 1 CAI) als zu ungenau zu bewerten ist, wurden gute Erfahrungen mit einer Auswertung mit Hilfe des Messokulars eines 50-fach vergrößernden Stereo-Mikroskops gemacht. Die Ablesegenauigkeit dieses Verfahrens beträgt 0,02 mm.

Da die Abnutzung der Prüfstifte bei besonders grobkörnigen Gesteinen z.T. asymmetrisch oder unscharf abgegrenzt ausgebildet sein kann sollten jeweils 2 Messungen senkrecht zueinander vorgenommen und die gemessene Abnutzung gemittelt werden.

Geologisch-geotechnische Zusammenhänge

Obwohl WEST (1989) den Quarzgehalt als wesentlichen 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) durchgeföhrten Untersuchungen, zeigen, dass WESTs Postulat nicht zutreffend erscheint (Fig. 5). Ähnliche, von AL-AMEEN & WALLER (1994) postulierte Zusammenhänge zwischen CAI und Abrasive Mineral Content konnten ebenso wenig nachvollzogen werden.

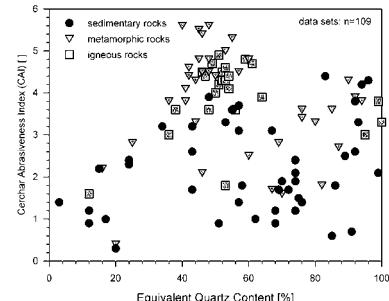
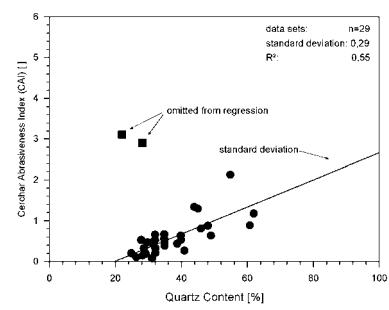


Fig. 5: Zusammenhang von CAI und Äquivalentem Quarzgehalt. Oben die Grafik nach West (1989), darunter die Ergebnisse des Untersuchungsprogramms an der TU München.

Fig. 5: Plot of CAI and equivalent quartz content, above referring to West (1989), below the results of the TUM testing programme.

Bei Gegenüberstellung aller erhobenen 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 dargestellte, mäßig bestimmte Korrelation in gibt zur Vermutung Anlass, dass der CAI vorwiegend von der Festigkeit und Verformbarkeit des Gesteinsgefüges und der Einzelhärte der enthaltenen Mineralbestandteile bestimmt wird.

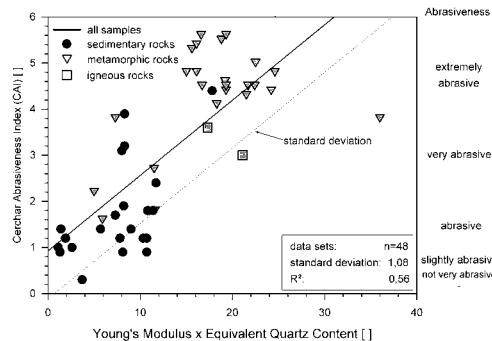


Fig. 6: Zusammenhang von CAI und einem Produkt aus Äquivalentem Quarzgehalt und Verformungsmodul.

Fig. 6: Cerchar Abrasiveness Index (CAI) plotted against a product of Young's Modulus and Equivalent Quartz Content.

Verschleißbewertung mit dem CAI

Für zahlreiche Gebirgslöseverfahren, z.B. für den Verschleiß von 45mm-Stiftbohrkronen, Rundschaftmeisseln und Einringdisken, sind mittlerweile empirische Zusammenhänge zwischen Gesteinsabrasivität (CAI) und spezifischem Werkzeugverschleiß ermittelt und publiziert worden. Nachstehende Diagramme geben einen Einblick in diese Relationen, die als praxistaugliche Erfahrungssammlungen Hilfestellung für eine schnelle und kostengünstige Verschleißbeurteilung geben.

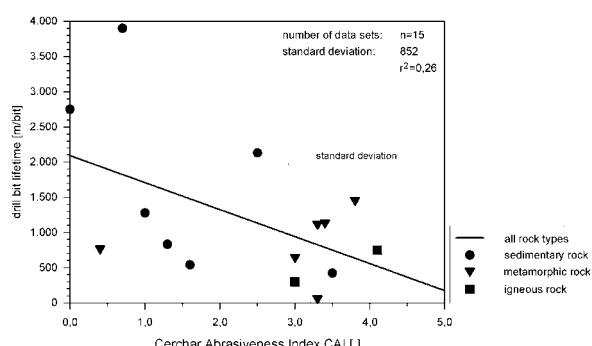


Fig. 7: Zusammenhang zwischen Bohrkronenverschleiß [m/Krone] von 45mm-Stiftbohrkronen und CAI.

Fig. 7: Correlation of 45mm button bit lifetime [m/bit] and CAI.

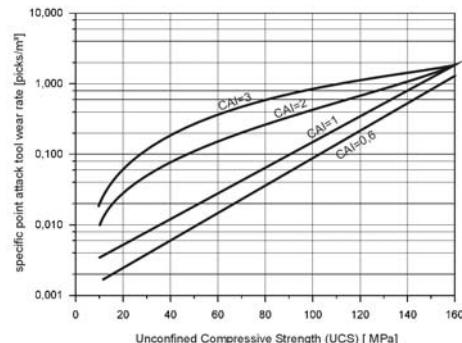


Fig. 8: Zusammenhang zwischen spezifischem Rundschärfmeißelverschleiß [$\text{Meißel}/\text{m}^3$] und CAI (Voest Alpine).

Fig. 8: Correlation of point attack pick consumption [picks/m^3] and CAI (Voest Alpine)

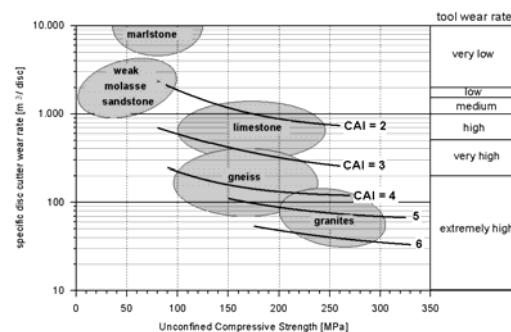


Fig. 9: Zusammenhang zwischen TBM-Einringdiskenverschleiß [m^3/Disk] und CAI (Maidl, Schmid, Ritz & Herrenknecht, 2001).

Fig. 9: Correlation of TBM cutter life [m^3/disc], UCS and CAI for some common rock types (Maidl, Schmid, Ritz & Herrenknecht, 2001)

Schlußbetrachtung

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 (siehe u.a. PLINNIGER, 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.) Prognoseindizes wie Schimatzek-Index oder dem Rock Abrasivity Index (RAI) zu errechnen und insbesondere Einflussfaktoren des Gebirges in einem mehrere Maßstabsebenen umfassenden Untersuchungsprogramm zu berücksichtigen.

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.
- Cerchar - Centre d' Etudes et Recherches de Charbonnages de France (1986): The Cerchar Abrasiveness Index.- 12 S., Verneuil.
- Käsling, H. (2000): Der Cerchar-Abrasivitätstest: Aussagekraft und Verbesserungsmöglichkeiten eines Indextests zur Bestimmung der Gesteinsabrasivität (translated title: The Cerchar Scratch Test: Value and possibilities for improvement of a index test for rock abrasivity).- 47 p., diploma thesis TU Munich (unpublished).
- Maidl, B., Schmid, L., Ritz, W. & Herrenknecht, M. (2001): Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein. – 350 p., Ernst & Sohn.
- Plinninger, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein.- *Münchener Geologische Hefte, Reihe B – Angewandte Geologie*, 17, 147 p.
- Plinninger, R.J., Käsling, H., Thuro, K. & Spaun, G. (2003): Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value.-*International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 2: 259-263, (Elsevier).
- Thuro, K. & Plinninger, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Leistungs- und Verschleißparametern im Tunnelbau (translated title: Classification and prediction of excavation and tool wear parameters in tunnelling).- in: DGGT (ed.): *Taschenbuch für den Tunnelbau 2003*, 27: 62-126, Essen (Glückauf).
- West, G. (1989): Technical Note - Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling.- *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 26, 2: 151-160.