

## **Ein repräsentatives Verfahren zur ingenieurgeologischen Bohrkernauswertung im Fels in Altbergbaugebieten\***

---

### **Zusammenfassung**

Die Komplexauswertung von Bohrkernen im Fels ist ein wichtiger Bestandteil der ingenieurgeologischen Erkundungsarbeiten der unterschiedlichsten Aufgabenstellungen. Mit Hilfe eines neuen Auswerteverfahrens von Bohrkernen ( $L_m$ -Wert) lassen sich weitere qualitative und quantitative Detailinformationen zum Untergrund sowie zu altem Mauerwerk gewinnen. Anhand von Beispielen aus Altbergbaugebieten des Erzgebirges werden einige Ergebnisse vorgestellt.

### **Summary**

The complex evaluation of rock cores is an important part of the geological engineering investigation. With a new evaluation method for cores ( $L_m$ -Value), quantitative and qualitative detailed information of the underground and old walls can be obtained. Some results from former mining areas in the Erzgebirge are present.

### **1 Problemstellung**

Der Einsatz von Kernbohrungen im Fels als direktes Aufschlußverfahren ist nach wie vor eine tragende Säule bei der ingenieurgeologischen Erkundung für die unterschiedlichsten Aufgabenstellungen. Bei der Baugrunderkundung im Festgestein, der Bewertung von alten Fundamenten, aber auch bei Untersuchungsarbeiten in Altbergbaugebieten nehmen Kernbohrungen einen hohen informativen Stellenwert ein. Erhebliche Probleme ergeben sich dabei durch die nadelstichartige Eigenschaftsbewertung des Gebirges anhand des relativ kleinen Bohrkernes und ihre daraus abgeleitete Repräsentanz für einen größeren, dreidimensionalen Gebirgsabschnitt. In der zurückliegenden Zeit versuchten verschiedene Autoren, wie z. B. DEERE [1] - RQD-Index, HANSAGI [2] - Gebirgsfaktor C, BARTON, LIEN & LUND [3] - Rock mass quality Q, MÜLLER [4] und MÖBUS [5] – Klüftigkeitsziffer  $k$  und MOLEK [6] -Zerrüttungsgrad  $Z_G$  die anfallenden Bohrkernstücke mittels verschiedener Bewertungsverfahren zweck- und/oder materialorientierte ingenieur-

---

\* Veröffentlicht in: Berichte 12. Nat. Tagung f. Ing.-Geol., Halle 1999, S. 192-199

geologische Kennwerte abzuleiten und vor allem für die quantitative und qualitative Beschreibung der Gebirgsbeschaffenheit zu nutzen.

Gegenüberstellungen dieser verschiedenen Methoden machen deutlich, dass sie ausnahmslos die unterschiedliche Zerstückelung der Bohrkernstücke tendenziell wiedergeben. Erhebliche Abweichungen treten dabei im Detail auf. Besonders bei Ingenieurbauwerken, ingenieurgeologischen Untersuchungen für Gründungen der unterschiedlichsten Art einschließlich an historischen Bauwerken oder Hohlraumortungen und Deckgebirgsbewertungen im Altbergbau spielen oft Eigenschaftsunterschiede im Kleinbereich eine entscheidende Rolle. Auch Bohrkernanalysen vor und nach Verfestigungsinjektionen gestatten dabei Aussagen zum Injektionserfolg und geben Schlußfolgerungen zur Notwendigkeit weiterer Verpreßarbeiten. Als ein geeigneter Kennwert ist hierfür der bereits 1978 entwickelte  $L_m$ -Wert nutzbar [7], der nachfolgend vorgestellt und dessen Ergebnisse diskutiert werden sollen.

## 2 Kennwertermittlung

Voraussetzungen für die Anwendung dieses Parameters sind ein vollständiger Bohrkern, der im allgemeinen nur mit Diamantbohrkrone und Doppelkernrohr in einem möglichst schonenden Bohrprozeß gewonnen werden kann. Für ein Untersuchungsobjekt sollte möglichst ein gleichbleibender Kerndurchmesser ( $> 60$  mm, optimal 90 bis 100 mm) gewählt werden, um vor allem eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Im Rahmen einer detaillierten, komplexen Bohrkernaufnahme sind neben den petrografischen, mineralogischen und strukturgeologischen Eigenschaften insbesondere die Bohrkernstücklängen auf 0,5 cm-Genauigkeit und bezogen auf den Bohrmarsch zu dokumentieren. Als eine günstige Bezugs- und Berechnungslänge eignet sich in vielen Fällen der Betrag von 1,0 m.

$$L_m = \frac{(\sum x_1) \cdot k_1 + (\sum x_2) \cdot k_2 + \dots + (\sum x_{20}) \cdot k_{20}}{x_1 + x_2 + \dots + x_{20}} \text{ in cm}$$

$\sum x_1, \sum x_2$       Summe der gemessenen Kernstücke der Klassen

$k_1, k_2$       Mittellängen der Klassen, d.h. 2,5; 7,5; 12,5 cm usw.

Die Erfassung der Parameter des Bohrregimes, wie z. B. Bohrfortschritt, Drehzahl, Andruck, aber auch Hohlraum, Spülungsverluste, Veränderung der Spülfarbe sowie sonstige Besonderheiten sind Bestandteil der kontinuierlichen, teufenbezogenen Dokumentation durch die Bohrmannschaft.

Bei der Detailauswertung der Bohrkernstücke anhand der bisher bekannten Auswerteverfahren zeigte sich, dass insbesondere Schwächebereiche, wie Störungszonen oder geringfeste Einlagerungen nicht oder nur begrenzt herausgehoben werden oder sogar unberücksichtigt bleiben, da sie oft vollständig oder teilweise auch bei schonendstem Bohrprozess dezimiert werden. Für die ingenieurgeologischen Aufgabenstellungen zum jeweiligen Untersuchungsobjekt sind aber vor allem diese Bereiche von eminenter Bedeutung. Aufgrund dieser Situation wurde ein Kennwert entwickelt, der „sensibel“ auch auf diese geotechnisch wichtigen Gebirgszonen reagiert. Dieser Parameter stellt das gewogene arithmetische Mittel von festgelegten Kernstückklassen dar und wird nach rechtsstehender Formel bestimmt.

Der Wert ergibt sich aus 5-cm-Klassen der einzelnen Kernstücklängen und bezieht sich hier auf eine Auswerteeinheit von 1,0 m Länge. Die 5-cm-Klasse erhält die Differenz zwischen der Summe aller Kernstücke  $> 5$  cm und der Auswerteeinheit.

In Abhängigkeit von der petrografischen und tektonischen Gebirgssituation lassen sich die Auswerteeinheiten variieren, jedoch sollte die Betrachtungslänge nicht zu groß gewählt werden, um Details nicht durch die Mittelwertbildung zu unterdrücken.

Anhand der Klassenbildungen ergeben beispielsweise für eine Auswerteeinheit von 1,0 m Länge als geringster Wert 2,5 cm, der Maximalbetrag erreicht 97,5 cm.

Mit Hilfe eines verfügbaren Computerprogrammes lassen sich die Werte rationell ermitteln, grafisch darstellen und in die komplexe Bohrlochauswertung einfügen.

### **3 Diskussion von ausgewählten Ergebnissen**

Bei der ingenieurgeologischen Erkundung der Gründungsverhältnisse der St. Wolfgangskirche in der Bergstadt Schneeberg (Erzgebirge) traf man sehr oberflächennahe Grubenbaue des Silberbergbaus im unmittelbaren Kirchenbereich an [8]. Mittels Kernbohrungen wurden Säulenfundamente sowie die Gründungs- und Untergrundsituation erkundet. Unter einer geringmächtigen Verwitterungsdecke oder Aufschüttung stehen quarzitische Phyllite an, die kontaktmetamorph überprägt sind. Mehrere hydrothermale Erzgänge, die teilweise das Nebengestein zersetzen, durchtrennen den Gebirgsverband. Hier wurden auch die alten, unbekannteren Grubenbaue erbohrt. In der Abbildung 1 ist ein typisches Bohrprofil dargestellt.

Ein Vergleich der verschiedenen Kernauswerteverfahren an einer Erkundungsbohrung zwischen den RQD-,  $Z_G$ - und  $L_m$ -Werten hebt recht deutlich die unterschiedlichen Reaktionen der mittleren Kernstücklängen auf den Kurvenverlauf hervor (Abb. 2).

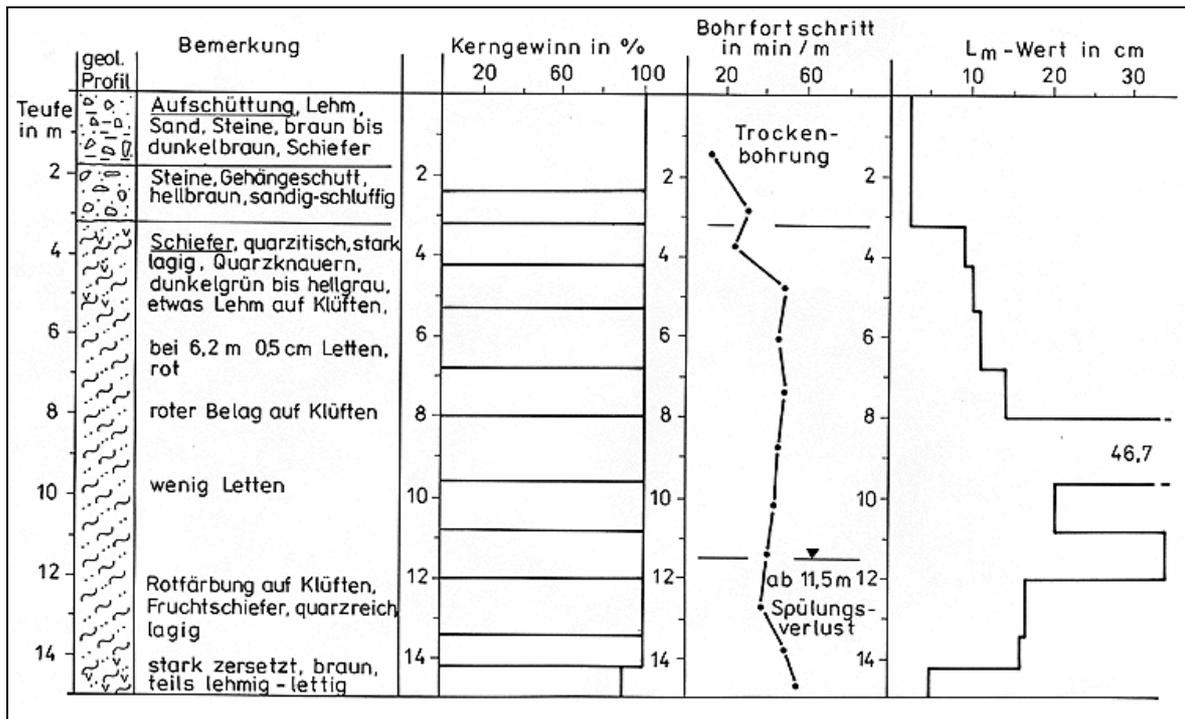


Abb. 1: Typisches Bohrprofil im Kirchenbereich. Im Bohrlochtiefsten wird Gang- und Hohlraumnähe angezeigt, was durch die Abnahme des L<sub>m</sub>-Wertes deutlich hervortritt

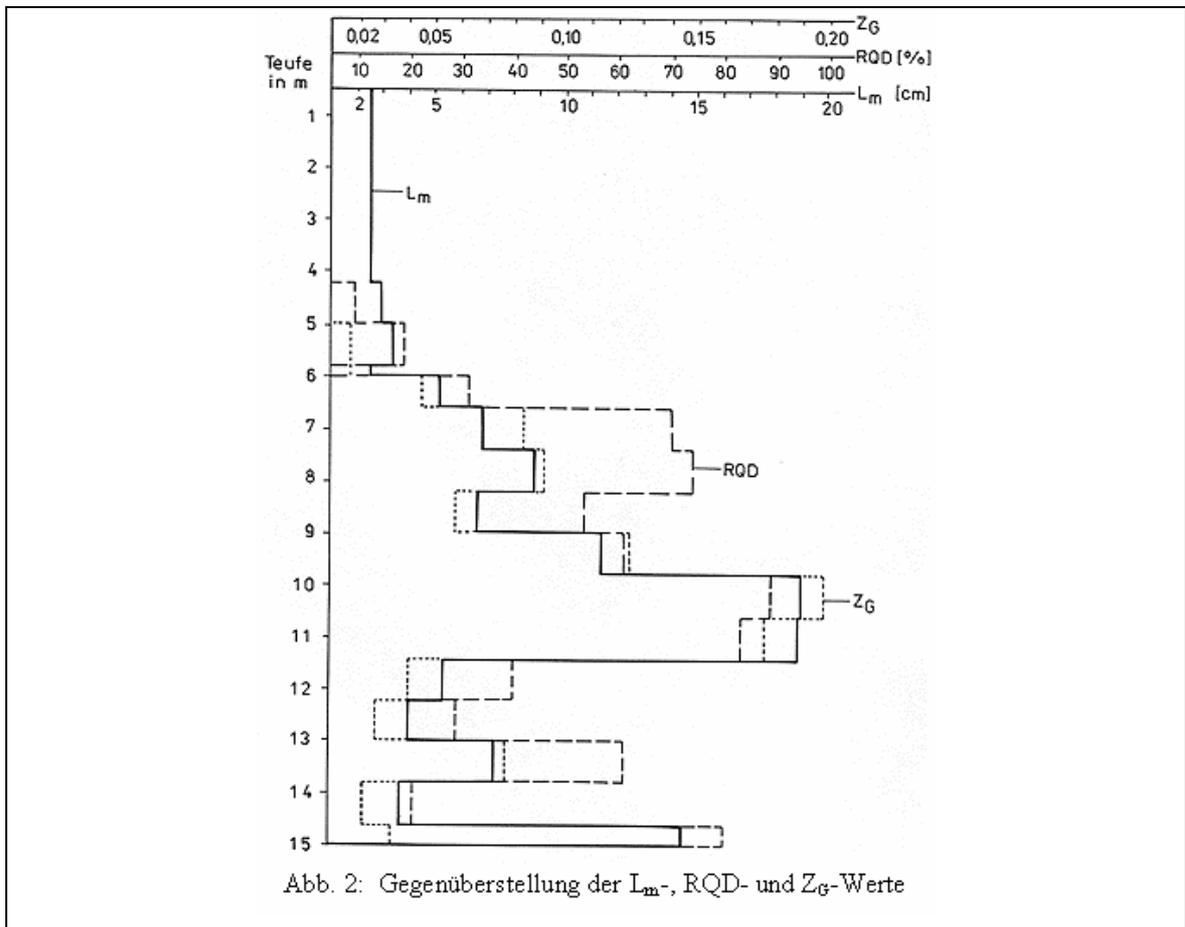


Abb. 2: Gegenüberstellung der L<sub>m</sub>-, RQD- und Z<sub>G</sub>-Werte

Abb. 2: Gegenüberstellung der L<sub>m</sub>-, RQD- und Z<sub>G</sub>-Werte

Trotz gleichem Bohrkern schwanken die Einzelwerte erheblich. Detailanalysen zeigen aber, dass der  $L_m$ -Wert „sensibler“ auf die Gebirgsverhältnisse reagiert und insbesondere Schwächezonen besser wichtet.

$L_m$ -Wertanalysen an Bohrkernen durch alte kalkgebundene Natursteinfundamente zeigten recht deutlich die vorherrschende Inhomogenität des Mauerwerkes auf. Mit Hilfe von Zementinjektionen wurde das Fundament und der Baugrund von Stützen im Kirchenschiff verfestigt und homogenisiert. Als typischer Trend des  $L_m$ -Wertes mit der Tiefe bei erfolgreicher Injektion im tagesnahen Gebirgsbereich einschließlich Fundament konnte eine relativ ausgeglichene Zunahme der mittleren Kernlänge beobachtet werden (Abb. 3). Eine Korrelation der mittleren  $L_m$ -Werte für die alten Fundamente der Stützen ergab eine verwertbare Abhängigkeit für die Einschätzung notwendiger Verpreßmengen (Abb. 4).

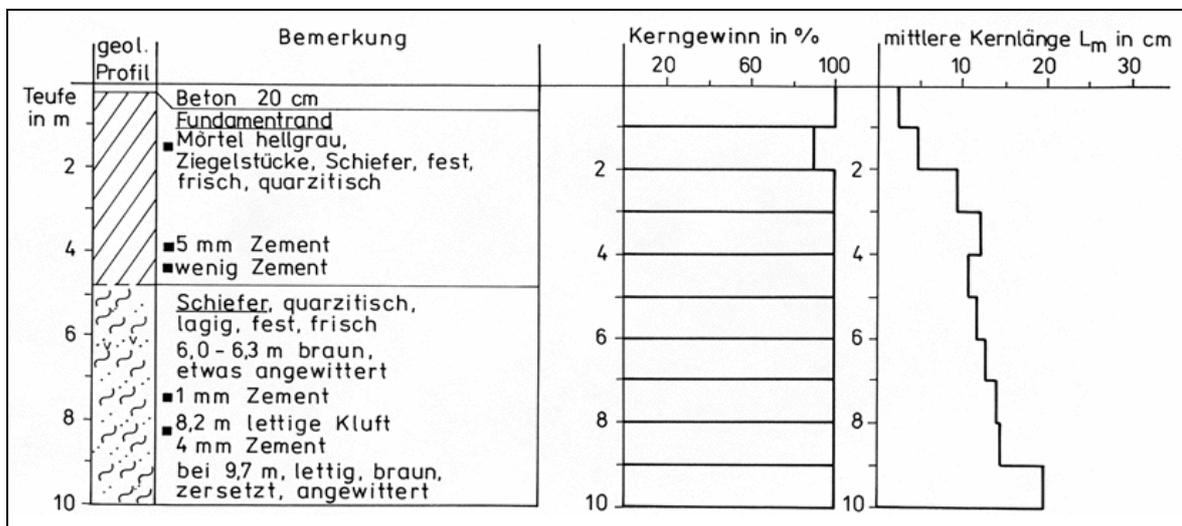


Abb. 3: Kontrollbohrung nach der Zementinjektion im Fundamentbereich einer Stütze im Kirchenschiff

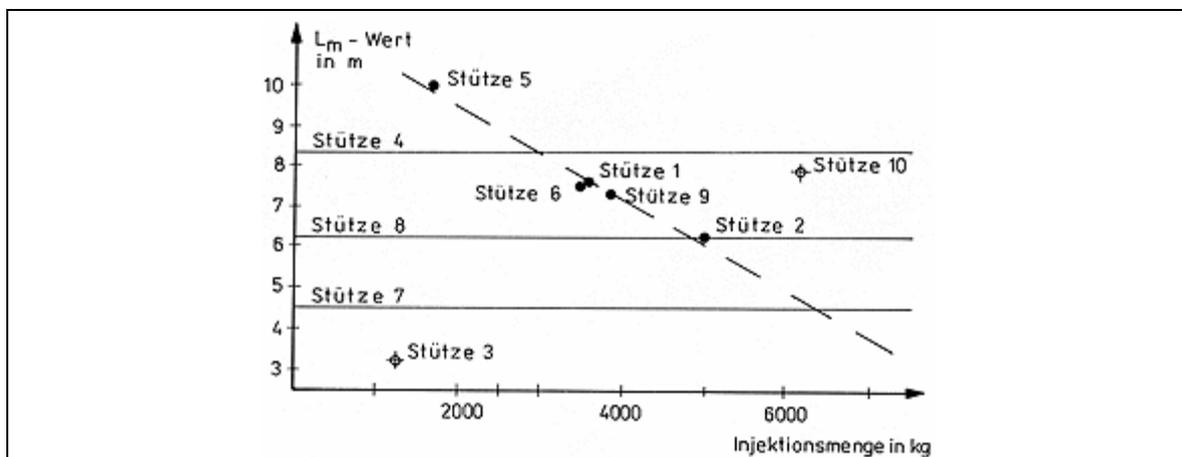


Abb. 4: Gegenüberstellung von  $L_m$ -Wert und Injektionsmenge an den 10 Stützen

Als Grundlage einer Vergleichbarkeit müssen stets die Randbedingungen gleich gehalten werden, was bei den Säulen 3 und 10 (Abb. 4) nicht vorlag. Die Säulenfundamente 4, 7 und 8 wurden nicht verpresst. Anhand der hier ermittelten unterschiedlichen  $L_m$ -Werte für diese Säulen sind jedoch erhebliche Aufnahmeunterschiede an Zementsuspension zu erwarten. Der inhomogene qualitative Aufbau des Mauerwerkes zeigte sich deutlich an den dokumentierten Bohrkernen.

Unter Einbeziehung von ca. 300 Bohrkernmetern konnte anhand von  $L_m$ -Werten für das vorliegende metamorphe Gestein die in der Tabelle 1 zusammengestellte quantitative und qualitative Gebirgsklassifikation vorgenommen werden.

Zur Bewertung der Gebirgsbeschaffenheit im Bereich einer Deformationszone über tieferliegendem Altwismutbergbau im Johannegeorgenstädter Revier wurden Kernbohrungen im Phyllit bis 25 m Tiefe gebohrt (Abb. 5).

Die Zerstückelung des Deckgebirges tritt durch die etwa gleichbleibenden  $L_m$ -Werte deutlich hervor. Tendenziell ist jedoch in einem durch Bergbau ungestörten Gebirge eine Zunahme des  $L_m$ -Wertes mit der Tiefe typisch.

In der Abbildung 6 ist dieser Sachverhalt auch im Eibenstocker Granit, trotz angetroffener Bergbaustrecke, deutlich zu erkennen.

Eine Analyse der  $L_m$ -Werte von ca. 450 Bohrmeter im Granit in Teufenbereichen von der festen Felsoberfläche bis in etwa 25 m Tiefe zeigt die in der Abbildung 7 dargestellte Verteilungskurve. Die an eine Gauß'sche Normalverteilung angelehnte Häufigkeitsverteilung macht deutlich, dass bei einem  $L_m$ -Wert von  $> 10,0$  cm zwar geklüfteter (im dm-Bereich), jedoch frischer, gering entfestigter, sehr gut tragfähiger Granit ansteht.

Tabelle 1: Qualitative und quantitative Gebirgsbewertung mit Hilfe des  $L_m$ -Wertes für einen kontaktmetamorph überprägten Phyllit des Erzgebirges

<b><math>L_m</math>-Wert [cm]</b>	<b>Gebirgseigenschaften</b>
< 5,0	Mürbe, teils zersetzt, Verbruchbereich, sehr stark verwittert, sehr stark aufgelockert, sehr kleinklüftig, Gangzone, Hohlraumnähe
5,1 - 10,0	Stark geklüftet, angewittert, stark aufgelockert, teils mürbe, verbruchartig, hydrothermal teils zersetzt, lagig, kleinere Gangstrukturen
10,1 - 15,0	Teils kompakt, frisch, quarzreich, auf Klüften wenig angewittert, gering entfestigt
> 15,1	Kompakt, fest bis sehr fest, frisch, durch Klüfte unterschiedlich aufgelockertes Gefüge, quarzreich, (zum Vergleich Beton B 25 $> 17,5$ cm)

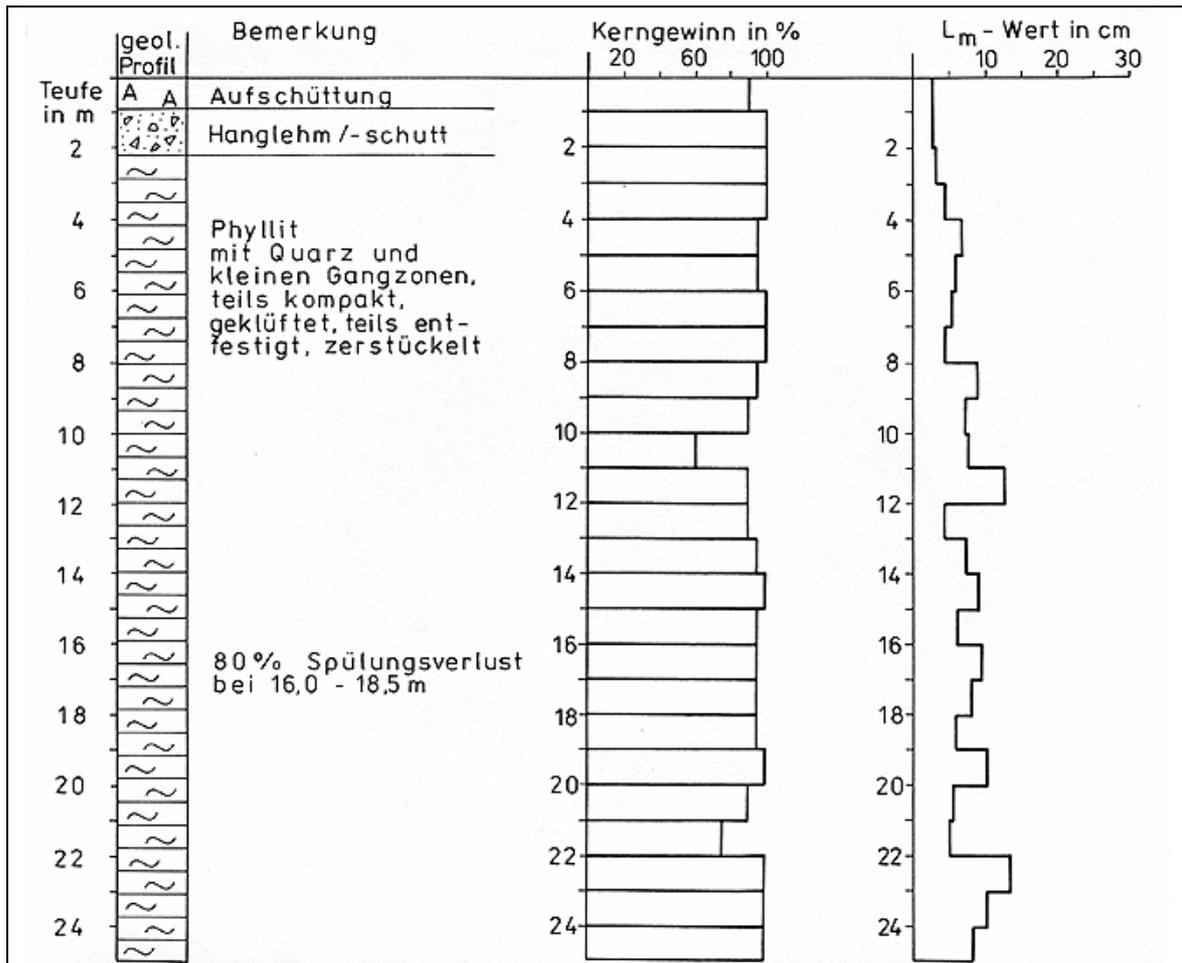


Abb. 5: Profil einer Kernbohrung über einer Deformationszone des Altwismutbergbaus

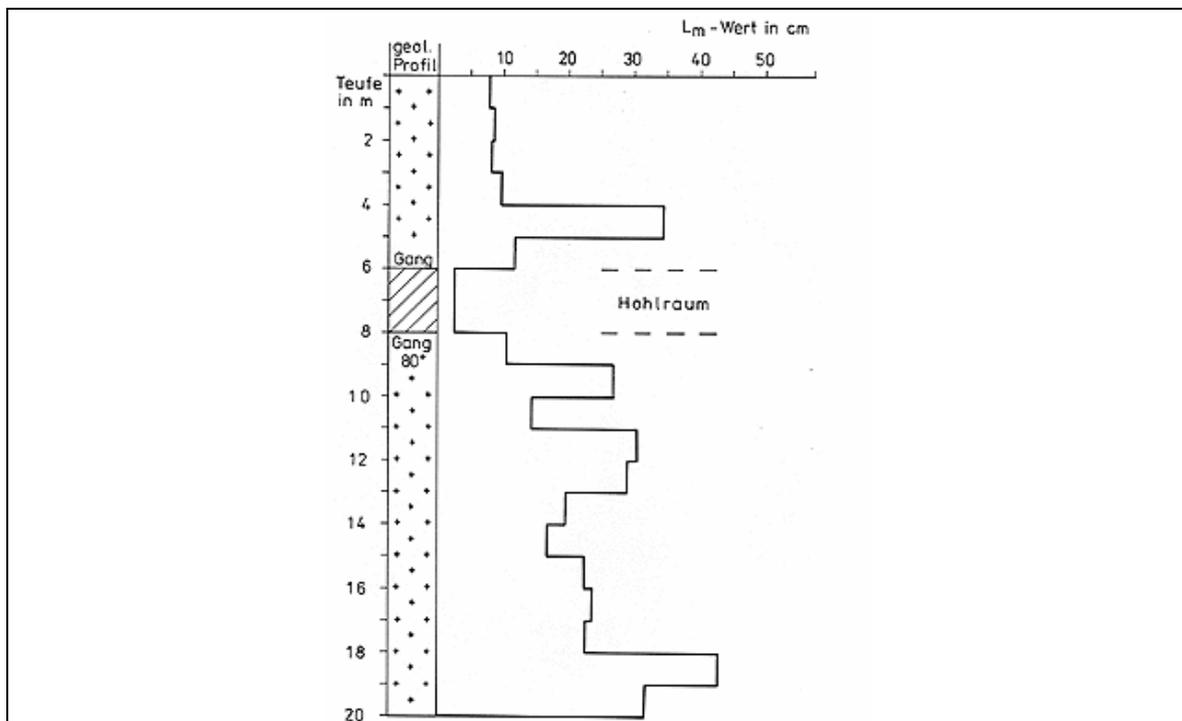


Abb. 6: Abhängigkeit des L<sub>m</sub>-Wertes von der Tiefe im Granit, gestört durch eine Bergbaustrecke

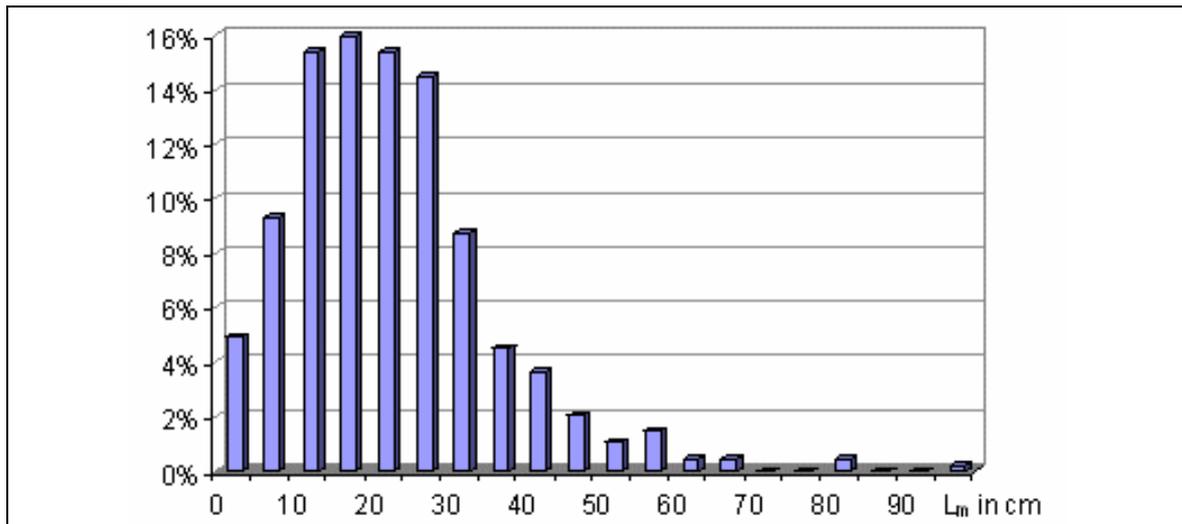


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung von  $L_m$ -Werten im oberflächennahen Granitgebirge

#### 4 Schlußfolgerungen

Anhand von Kernbohrungen im Fels lässt sich ein  $L_m$ -Wert ermitteln, der einen repräsentativen Parameter des Gebirgsverbandes darstellt. Gegenüber vergleichbaren Kennwerten spiegelt er wirklichkeitsnaher die durchteuften Gebirgsschichten wider, da er die Eigenschaftsunterschiede im Gebirge, Kernverluste und weiche lehmig-sandige Zonen „sensibel“ anzeigt. Voraussetzungen für den Einsatz und die Vergleichbarkeit der Kernauswertemethode ist ein schonendes Bohrverfahren, möglichst vollständiger Kerngewinn und ein optimaler Bohrkern Durchmesser.

Folgende wesentlichen Gebirgsfaktoren nehmen Einfluss auf den  $L_m$ -Wert:

- Petrographie, Lagerungsverhältnisse, Tektonik
- Verwitterungsgrad des Gesteins
- Tiefe
- Bergbaulich bedingte Auflockerungen, z. B. Deformationszonen, Abbaunähe
- Eigenschaftsverteilungen, insbesondere Festigkeitsunterschiede, im Mauerwerk, Versatzkörper u. ä.

Die Einsatzmöglichkeiten des  $L_m$ -Wertes lassen sich wie folgt eingrenzen:

- Teufenabhängige qualitative und quantitative Beschreibung der natürlichen Gebirgsbeschaffenheit, wie Zerrüttungen, tektonische Beanspruchungen, Gangstrukturen, Verwitterung
- Deckgebirgsbewertungen über tagesnahen Hohlräumen einschließlich Dauerstandssicherheit und Tragfähigkeit
- Bewertung von Mauerwerksqualitäten insbesondere von historischen Fundamenten sowie von Verteilungen von Festigkeiten in verfüllten Hohlräumen mit erhärtendem Versatz

- Eingrenzung und Bewertung des Injektionserfolges, Einsatz zur Injektionskontrolle sowie zu Festlegungen von notwendigen Nachinjektionen

Die Einsatzmöglichkeiten des materialbezogenen  $L_m$ -Wertes zur Klassifizierung des Gebirgsverbandes in vertikaler (tiefenbezogener) und horizontaler Ausdehnung sind sehr vielschichtig und der jeweiligen Aufgabenstellung flexibel anpassbar. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber auch, dass ein hoher Erkenntnisgrad nur durch eine komplexe ingenieurgeologische Interpretation aller verfügbaren Informationen erreicht werden kann, was vor allem auch bei der Suche und Bewertung von tagesnahen Hohlräumen im Festgestein zutrifft. Die Anwendung des  $L_m$ -Wertes unterstützt dabei grundsätzlich eine quantitative räumliche Gebirgsbeschreibung und damit auch eine repräsentative Ausgliederung von Homogenbereichen im Fels.

## Verweise

- Online-Formular zur Berechnung der  $L_m$ -Werte  
<http://www.dr-gmeier.de/onlineartikel/oa0006form.htm>

## Literatur

- [1] DEERE, D. U.: Technical describing of rock cores for engineering purposes. - Felsmech. und Ing. geol., Wien 1 (1963) 1 S. 18 - 22
- [2] HANSAGI, J.: A method of determining the degree of fissuration of rock. - Int. Rock Mech., Oxford 11 (1974) 10, S. 379 - 388
- [3] BARTON, N.; LIEN, R.; LUND, J.: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. - Rock Mech., Wien 6 (1974) 4, S. 189 - 236
- [4] MÜLLER, L.: Der Felsbau, Bd. I. - Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag 1963
- [5] MÖBUS, G.: Methodik der tektonischen Bearbeitung des Kernmaterials von Bohrungen. - Freib. Forsch. H., R C 372, Leipzig (1982), 160 S.
- [6] MOLEK, H.: Aussagemöglichkeiten strukturgeologischer Bohrkern-Untersuchungsmethoden in Subrosionsgebieten. - Z. angew. Geol., Berlin 29 (1983) 10, S. 497 - 502
- [7] MEIER, G.: Grundsätze von Bergsicherungsarbeiten im Gangbergbau. - Wiss.-Techn. Info.-Dienst, Gesell. f. Umwelt- u. Wirtschaftsgeologie mbH i. G. Berlin 32 (1991) RA, H. 1, 69 S.
- [8] MEIER, G.: Geotechnische Erkundung und Sanierung von Relikten des tagesnahen Silberbergbaus im Gründungsbereich der St. Wolfgangskirche in Schneeberg / Sachsen. - Vorträge der Baugrundtagung 1994 in Köln, S. 477 - 483 Deutsche Gesellschaft f. Geotechnik e. V.