Dr.-Ing. habil. G. Meier
Oberschöna OT Wegefarth
http://www.dr-gmeier.de

Erfahrungen mit dem L_m-Wert zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Gebirgseigenschaften im Altbergbau *

Experience with the L_m-values for the qualitative determination of rock properties in abandoned mines

G. Meier, L. Halke, R. Wünsch, M. Speer

ZUSAMMENFASSUNG

Die Komplexauswertung von Bohrkernen im Fels ist ein wichtiger Bestandteil von ingenieurgeologischen Erkundungs-und Dokumentationsarbeiten für unterschiedlichste Aufgabenstellungen. Mit Hilfe des L_m-Wertes lassen sich weitere qualitative und quantitative Detailinformationen zur Gebirgsbeschaffenheit sowie zu altem Mauerwerk anhand von Bohrkernen gewinnen. An zwei Beispielen aus Altbergbaugebieten des Erzgebirges werden einige Ergebnisse zur qualitativen und quantitativen geotechnischen Kennwertermittlung vorgestellt und diskutiert. Der naturbedingte, tiefenabhängige Verwitterungs- und Auflockerungsgrad des Festgesteins im tages- sowie oberflächennahen Bereich werden anhand von Bohrkernen durch den L_m-Wert quantitativ und qualitativ deutlich widergegeben. Die Überprägungen durch Erzgänge, Gesteinswechsel, Störungen, altbergbauliche Grubenbaue und geodynamische Prozesse der unterschiedlichsten Art verändern ebenfalls die Größe des geotechnischen Kennwertes.

SUMMARY

The complex evaluation of drill cores is an important part of engineering geological investigation. Quantitative and qualitative detailed information of rock characteristics and furthermore old masonry can be obtained by a new evaluation method of drill cores - the Lm-value. Some results for qualitative and quantitative geotechnical parameter identification are presented and discussed using two examples from Erzgebirge Mountains. The natural and depth dependent weathering stage and also the decompaction of bedrock are clearly shown by the Lm-value. The overprinting of rocks by ore veins, changes in rock sequencm e, faults, abandoned mine structures and geodynamic processes also change the size of the Lm-value.

* Veröffentlicht in: Tagungsband 16. Altbergbau-Kolloquium, TU Clausthal, 10. bis 12.11.2016, S. 49 bis 57, Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen 2016

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. So liegt das Verhältnis von einer Bohrung mit einem Kerndurchmesser von ca. 10 cm zur Bewertungsfläche beispielsweise eines Eigenheimes von 10 x 10 m in einer Größenordnung von 1 zu 12.739. 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 sowie MOLEK [6] -Zerrüttungsgrad Z_G die anfallenden Bohrkernstücke mittels verschiedener Bewertungsverfahren zweck- und/oder materialorientierte ingenieurgeologische Kennwerte abzuleiten und vor allem für die quantitative sowie qualitative Beschreibung der Gebirgsbeschaffenheit zu nutzen.

Gegenüberstellungen dieser verschiedenen Methoden machen deutlich, dass sie ausnahmslos die unterschiedliche Zerstückelung der Bohrkerne 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 von weiteren Injektionsarbeiten. Als ein geeigneter Kennwert ist hierfür der bereits 1978 entwickelte L_m-Wert nutzbar [7], der nachfolgend an ausgewählten aktuellen Beispielen diskutiert wird.

2 Grundlagen zur Kennwertermittlung

Voraussetzung für die Anwendung dieses Parameters ist ein weitestgehend 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 ca. 90 bis 100 mm) gewählt werden, um vor allem eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Im Rahmen einer detaillierten, komplexen Bohrkernaufnahme sind neben den petrographischen, 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 die Größe von 1,0 m.

Die Erfassung der Parameter des Bohrregimes, wie z. B. Bohrfortschritt, Drehzahl, Andruck, aber auch Hohlraum, Spülungsverluste, Veränderung der Spülungsfarbe sowie sonstige Besonderheiten sind Bestandteil der kontinuierlichen, tiefenbezogenen Dokumentation durch die Bohrmannschaft. Die Bohrkerndokumentation sollte zeitnah durch einen eingewiesenen Geotechniker oder Ingenieurgeologen erfolgen.

Bei der Detailauswertung der Bohrkernstücke anhand der bisher bekannten Auswerteverfahren zeigte sich, dass insbesondere Schwächebereiche, wie Störungszonen oder geringfeste, weiche Einlagerungen nicht oder nur begrenzt erfasst 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. Denn es gilt auch hier der Grundsatz: Das schwächste Glied in der „Kette“ bestimmt die Festigkeitseigenschaften eines Gebirgsverbandes. Aufgrund dieser naturgegebenen Rahmenbedingung wurde ein gebirgsspezifischer Kennwert entwickelt, der auf diese geotechnisch wichtigen Gebirgseigenschaften reagiert. Dieser Parameter stellt das gewogene arithmetische Mittel von festgelegten Kernstückklassen dar und wird nach folgender Formel bestimmt:

$$L_m = \frac{(\sum X_1)\cdot k_1 + (\sum X_2)\cdot k_2 + \ldots + (\sum X_{20})\cdot k_{20}}{(X_1 + X_2 + \ldots + X_{20})} \quad \text{in cm} \tag{1}$$

$\Sigma X_1, \Sigma X_2, \ldots$ Summe der gemessenen Kernstücke der Klassen

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

Der L_m-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 petrographischen 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 kleinen Computerprogrammes lassen sich die Werte rationell ermitteln, graphisch darstellen und in die komplexe Bohrlochauswertung einfügen.

Zur quantitativen und qualitativen Zuordnung der ermittelten L_m-Werte wurden zahlreiche Gegenüberstellungen an Bohrkernen von kontaktmetamorph überprägtem Phyllit, Gneis und Granit aus dem Erzgebirge vorgenommen. Korrelationen ergaben sich auch von L_m-Werten zum Nachweis des Injektionserfolges. Auch bei quantitativen und qualitativen Bewertung der Kompaktheit von alten Fundamenten im altbergbaulich überprägten Gründungsbereich, beispielsweise an der St. Wolfgangskirche in Schneeberg [8], wurde das Bewertungsverfahren erfolgreich eingesetzt.

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse von den bisherigen Erfahrungen mit dem L_m-Wert zusammen gestellt.

Tab.1 : Quantitative und qualitative Gebirgsbewertung mittels L_m-Werten nach den bisherigen Erfahrungen

L_m-Wert [cm]	**Gebirgseigenschaften**
< 5	Mürbe, teils zersetzt, Verbruchbereich, sehr stark verwittert, sehr stark aufgelockert, sehr kleinklüftig, größere Gangzone, Hohlraumnähe
5,1 bis 10,0	Stark geklüftet, angewittert, stark aufgelockert, teils mürbe, verbruchartig lageverändert, hydrothermal teils zersetzt, kleinere Gangstrukturen
10,1 bis 15,0	Größtenteils kompakt, frisch, quarzreich, auf Klüften wenig angewittert, gering entfestigt
> 15,1	Kompakt, fest bis sehr fest, frisch, durch Klüftung unterschiedlich aufgelockertes Gefüge, quarzreich (Vergleich: Beton C 25/30 > 17,5 m)

3 Ausgewählte Praxisbeispiele

3.1 Bewertung eines alten Betonscherpfropfens im Schurfschacht 22

Bei Erkundungs- und Verwahrungsmaßnahmen von tagesnahen Altwismutbergbau im Gneis wurden Kernbohrungen zur Bewertung des Deckgebirges über Gangabbauen, Überhauen und Schächten niedergebracht. Insbesondere am Schurfschacht 22 bei Wolkenstein wurde eine ältere Betonplombe durch drei Kernbohrungen auf ihre Dauerstandfestigkeit und Eigenschaften des Verwahrungshorizontes sowie des Verwahrungskörpers überprüft (Abb.1 :). Aus der Verwahrungsdokumentation des Schurfschachtes ging hervor, dass die Betonplombe keine Widerlager gemäß derzeit gültiger Standardtechnologie besitzt. Aus diesem Grund wurden zwei rechtwinklig zueinander liegende Schrägbohrungen in den Betonkörper vorgesehen und danach eine senkrechte Bohrung in den Schachtzentrum gesetzt, was mit einer Sicherheitsbühne durchgeführt wurde.

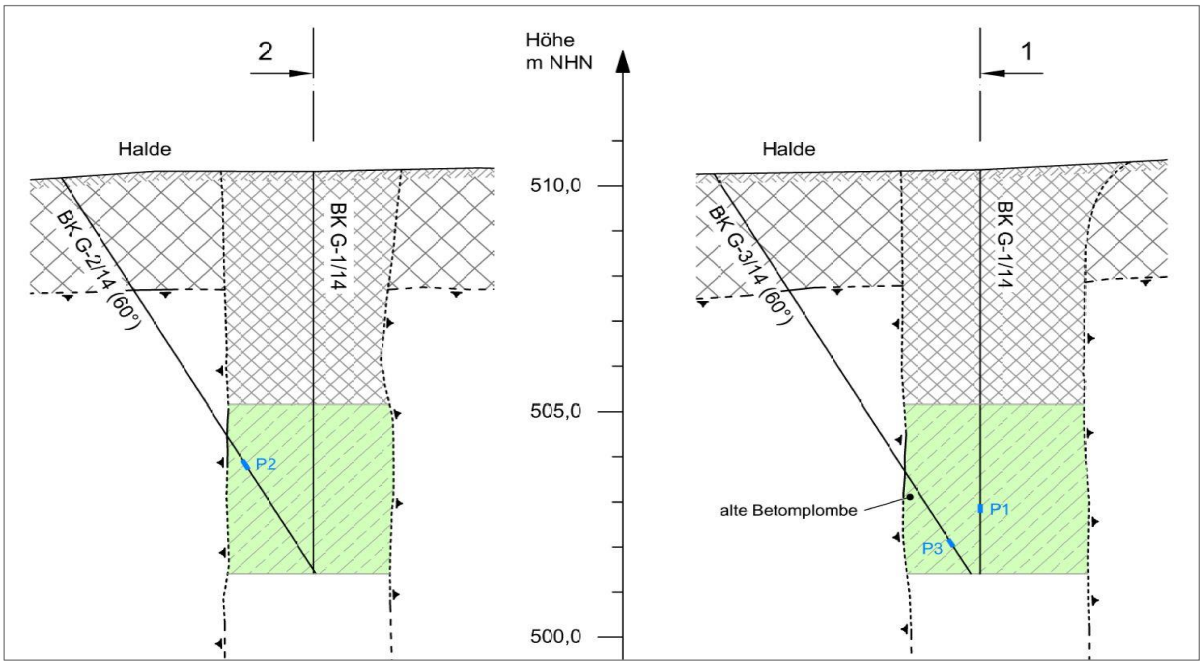

Abb.1 : Kreuzschnitte durch den Schachtkopfbereich vom Schurfschacht 22 mit Lage der Kernbohrungen

Die Bohrergebnisse sind in der Abb.2 : und Abb.3 : fotografisch festgehalten.

Der Gneis des Verwahrungshorizontes ist durch Frosteinwirkungen auf den Schachtstoß tiefgründig und kleinstückig zersetzt. Durch einziehende Wetter im Winter über Jahrzehnte reduzierte sich die Standfestigkeit des anstehenden Schiefergebirges (Eindringtiefe des Frostes ca. 50 cm bis zu einer Schachttiefe von ca. 6 bis 9 m).

Abb.2 : Schrägbohrung mit einer Neigung von 60° durch den Verwahrungskörper.

Abb.3 : Detailaufnahme von Abb. 2. Der anstehende Gneis im Bereich des Verwahrungshorizontes ist tiefgründig verwittert. Eine tragende, dauerhafte Verzahnung von Verwahrungshorizont und Verwahrungskörper fehlt.

Wie die Abb.3 : deutlich zeigt, muss anhand der Kernbohrungen eine ausreichende Verzahnung zwischen Gebirge und Betonplombe angezweifelt werden. Der Beton selbst wies durch Labortests eine qualitativ ausreichende Festigkeit auf (Mittelwert der Druckfestigkeit 36,3 N/mm^2). Durch Lotungen in der vertikalen Erkundungsbohrung wurde festgestellt, dass unter dem Verwahrungskörper ca. 18 m bis zu den Versturzmassen der Schurfschacht lufterfüllt war. Eine Nachverfüllung mit Beton führte zu einer grundlegenden, dauerhaften Stabilisierung

der Schachtröhre und dem Betonscherpfropfen sowie zu einer Langzeitstabilität der Schachtverwahrung.

3.2 Tagesnaher Gangbergbau unter einem Wohngebäude

Unter einem älteren Wohngebäude fällt mit ca. 60° ein Erzgang ein. Der Firsten-Stoß-Abbau des Uranbergbaues wird durch zwei tonnlägige Tagesschächte begrenzt, die bereits durch Betonscherpfropfen verwahrt waren. Der ca. 50 m lange Abbaublock wird außerdem durch ein etwa mittig angelegtes Überhauen und im Höchsten durch zwei Etagenstrecken vorgerichtet (Abb. 4).

Zur Klärung der bergbaulichen Situation und zur Überprüfung des vorliegenden markscheiderischen Risswerkes wurden an zwei gegenüberliegenden Hausseiten senkrechte Hammerbohrungen als Bohrraster niedergebracht. Mit diesen sollte das vorhandene Risswerk verifiziert und die genaue Lage der Etagenstrecken ermittelt werden. Zusätzlich wurde die Bohrlänge so angepasst, dass neben den Etagenstrecken auch der im Risswerk dargestellte Abbau erkundet werden konnte. Alle Bohrraster wurden annähernd rechtwinklig zur Streichrichtung angeordnet. Beim Antreffen von Hohlraum wurde die Videosonde eingesetzt.

Bei den Bohrungen an der nordwestlichen Gebäudeseite (Abb.4 :) wurde die Abbaufirste bei einer Tiefe zwischen 16 und 17 m angetroffen. Dies entspricht den im Risswerk dargestellten Höhenangaben. Eine feste Sohle wurde vereinzelt 2 bis 3 m tiefer erbohrt. Die im Abbau durchstoßenen Locker- bzw. Bergemassen hatten eine Mächtigkeit von 1,5 bis 2,5 m.

Aufbauend auf den Ergebnissen des nördlichen Bohrrasters konnte im südlichen Bohrraster die Abbaufirste in einer Tiefe zwischen 14 und 16 m nachgewiesen werden. Weiterhin konnte die Firste der südlichen Etagenstrecke in 10,0 m Tiefe durchbohrt werden. Das daraus rekonstruierte Gangeinfallen (Etagenstrecke – Grundstrecke) beträgt ca. 60°.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse konnte das mittlere Überhauen neu referenziert werden. Die Erkundungsbohrung auf das Überhauen wurde in Einfallrichtung mit einer Neigung von 70° niedergebracht. Bei einer Tiefe von 10,7 m wurde das Überhauen erbohrt. (Abb.5 :)

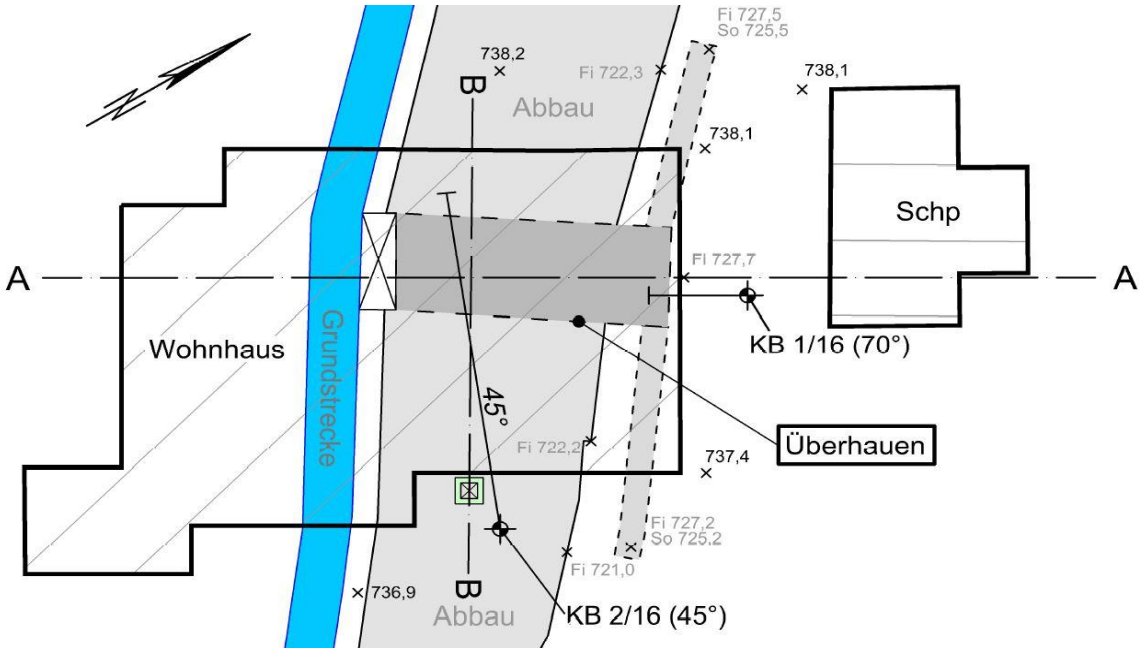

Abb.4 : Grundriss (vereinfacht) mit Schnittspuren A-A und B-B

In Streichrichtung des Ganges war in südlicher Richtung eine in Holzausbau stehende Strecke vorhanden. Mit einer Lichtquelle konnte eine direkte Sichtverbindung zur südlich des Hauses erbohrten Etagenstrecke nachgewiesen werden.

In der Abb.5 : und Abb. 6 sind die Ergebnisse von zwei Kernbohrungen dargestellt.

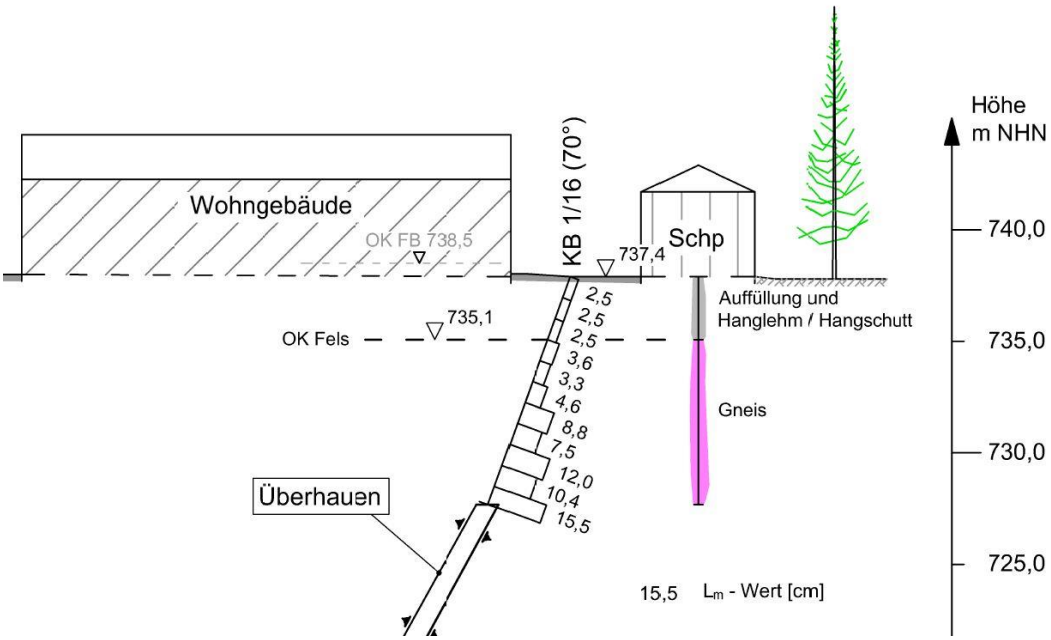

Abb.5 : Schnitt A - A mit Angaben zum L_m-Wert

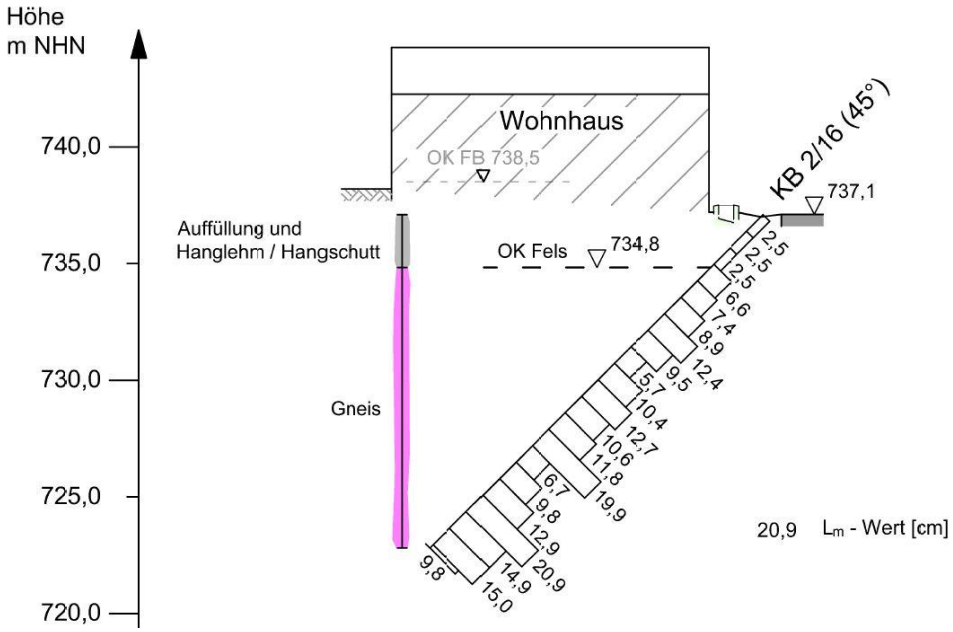

Abb.6 : Schnitt B - B mit Angaben zum L_m-Wert

Es zeigt sich im Trend deutlich, dass mit der Tiefe der Bohrung der L_m-Wert in den tagesnahen Felsschichten deutlich ansteigt. Werte über 10,0 cm verweisen auf einen weitestgehenden kompakten, tragfähigen Fels. Auflockerungseinflüsse durch Verbruchzonen und Hohlraumnähe sind nicht an den Bohrkernen und an den L_m-Werten zu erkennen. Dagegen heben sich der mit

der Tiefe abnehmende Verwitterungseinfluss und kleinere hydrothermale Gangzonen hervor. Im Rahmen der Erkundungsarbeiten konnten große Teile des verfügbaren markscheiderischen Risswerkes bestätigt oder entsprechend korrigiert werden. Insbesondere trifft dies auch für die Teufenverhältnisse zu.

Abb.7 : Schrägbohrung unter das Wohngebäude (Schnitt B - B)

Mit der Bohrung KB 1/16 wurde das Überhauen im Firstniveau der vorher erkundeten Etagenstrecke angetroffen. Dies deckt sich bis auf wenige Dezimeter mit den Angaben des Risswerkes.

Das anstehende Gebirge ist ein kompakter, quarzreicher, metamorpher Schiefer (Gneis), der eine hohe Dauerstandfestigkeit aufweist.

Im Ergebnis der komplexen Auswertung des markscheiderischen Altrisswerkes und der umfangreichen bohrtechnischen Erkundung mittels Hammerbohrungen sowie Kernbohrungen ergeben sich nach den derzeitigen Erkenntnisstand folgende Schlussfolgerungen:

- Alle abgeteuften Vollbohrungen haben stets sehr hartes Gebirge durchstoßen, was auch auf ein intaktes und standsicheres Deckgebirge verweist. Der Ausbissbereich des Ganges 53 befindet sich zwischen Gebäude und Garagen.
- Die vorliegenden Ergebnisse der Hammerbohrungen sind zu einem großen Teil deckungsgleich mit dem markscheiderischen Risswerk. Insbesondere konnten keine größeren Abweichungen im Firstbereich zwischen den Bohrungen und dem markscheiderischen Risswerk festgestellt werden.
- Die Videoaufnahmen in den erbohrten bergbaulichen Hohlräumen lassen keinen Verbruch erkennen. In den Etagenstrecken sind die Firsten standfest.
- Die Ergebnisse der beiden Kernbohrungen KB 1/16 und KB 2/16 verweisen als direkte Aufschlüsse aus geotechnischer Sicht, trotz vorhandener Gangstrukturen, auf eine bergbaulich unverritztes Deckgebirge. Die qualitative und quantitative Bohrkernbewertung mittels L_m-Wert widerspiegelt lückenlos den natürlichen, tagesnahen Gebirgsaufbau.
- Es liegen keine gebirgs- und deformationsspezifischen Indizien auf einen bergbaulichen Einfluss auf das Wohngebäude vor.

Im Rahmen der Sanierungsarbeiten wurden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Unter der Nutzung der noch unverfüllten Bohrungen sollte das Überhauen mit geeigneten Kies oder Schotter bis etwa 2 m unterhalb der Etagenstrecke verfüllt werden.
- Bis zum Abgang der Etagenstrecke sollte dann mit (noch) pumpfähigen Beton die Schotter/Kiessäule verschlossen werden.
- Mit lagestabilen, erhärtenden und pumpfähigen Versatz (z. B. sehr fließfähigen Beton) sind dann die noch offenen Etagenstrecken möglichst hohlraumfrei zu verfüllen.
- Alle noch unverfüllten Bohrlöcher sind hohlraumfrei mit Beton vollständig zu verschließen.

4 Quellenangaben

[1] DEERE, D. U.: Technical descripting of rock cores for engineering purposes. - Felsmech. und Ing.-Geol., Wien 1 (1963) 1 S. 18 bis 22

[2] HANSAGI, J.: A method of determining the degree of fissuration of rock. - Int. Rock Mech., Oxford 11 (1974) 10, S. 379 bis 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 bis 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-Untersuchungs-methoden in Subrosionsgebieten. - Z. angew. Geol., Berlin 29 (1983) 10, S. 497 bis 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 bis 483 Deutsche Gesellschaft f. Geotechnik e. V.

[9] MEIER, G.: Ein repräsentatives Verfahren zur ingenieurgeologischen Bohrkernauswertung im Fels in Altbergbaugebieten. - Tagungsband 12. Nat. Tag. f. Ing.-Geologie, Halle 1999, S.192 bis 1999