

# Erkundung von unterirdischen Hohlräumen in Karstgebieten und im Altbergbau durch hochauflösende bohrlochgeophysikalische Messverfahren

Jens Blumtritt

BLM Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH, Niederlassung München  
muenchen@blm-online.de

Tobias Heyn

BLM Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH, Niederlassung München  
muenchen@blm-online.de

Jean-Paul Crabeil

FLODIM S.A.R.L., Manosque  
flodim@wanadoo.fr

## ZUSAMMENFASSUNG

Baugeologische und baugrundrelevante Fragestellungen im Bereich von natürlichen Karstgebieten und anthropogenen Bergbaurelikten gewinnen in Zeiten steigenden Flächenbedarfs zunehmend an Bedeutung. Das Erfassen von Ausdehnung und Orientierung unterirdischer Hohlräume ermöglicht eine präzisere Abschätzung baugrundsichernder Maßnahmen im Bereich erdfallgefährdeter Gebiete. Im Zuge einer detaillierten Erkundung mit gezielten Bohrpunktansätzen ergibt sich die Einsatzmöglichkeit von modernen akustischen und optischen Untersuchungsmethoden, die eine quantitative Ermittlung von Hohlraumstrukturen zulassen und somit die Risiken in der Bewertung von anspruchsvollen Baugründen senken. An Fallbeispielen aus der Karsterkundung bzw. im Altbergbau wird der Einsatz hochauflösender Hohlraummessverfahren gezeigt. Diese erlauben eine dreidimensionale Betrachtung von Hohlräumen in ihrer Größe und Erstreckung. Mittels der Scannerverfahren sind deutlich exaktere Angaben zu den zu erwartenden Hohlraumvolumina möglich.

## 1 EINLEITUNG

Der gezielte Einsatz von Videokameras mit integriertem Laser hat sich vor allem für geotechnische Untersuchungen in Karstgebieten in den letzten Jahren bewährt. Im Ergebnis wurden eindrucksvolle optische Aufnahmen über die Lage und Ausbreitung von Verkarstungserscheinungen gewonnen. Die damit verbundenen Hohlraumstrukturen konnten aber nur grob in ihrer wahren Dimension vermessen werden, da die verwendeten Laser nur punktuelle Entfernungsmessungen erlaubten. Diese Diskrepanz zwischen hochauflösendem optischen Abbild und nur grobem Entfernungsraster wird durch den Einsatz von Hohlraumscannern, die nach dem Laser- bzw. Pulsehochprinzip arbeiten, beseitigt. Damit sind nun auch zusätzlich hochauflösende Aufnahmen unterhalb der Wasserspiegel bei optisch trüben Bohrlochfluid möglich.

## 2 HOHLRAUMBILDUNGEN

Hohlraumstrukturen im Untergrund können nach ihrer Entstehungsgeschichte klassifiziert werden. In der Praxis unterscheidet man Strukturen, die auf künstliche oder natürliche Weise entstanden sind. In letztere Kategorie fallen vor allem sämtliche Karsthohlräume und Erdfälle, die infolge von Lösungserscheinungen im Karbonat-, Sulfat- oder Chloridgestein entstanden sind bzw. Erdfälle, die durch Suffosions- bzw. Erosionsprozesse entstehen.

Neben diesen natürlichen Hohlräumen muss auch eine große Anzahl an künstlichen Hohlräumen, die vor allem als Relikt des Altbergbaus anzusehen sind, berücksichtigt werden.

Während Karsthohlräume insbesondere durch Trassenbauvorhaben der Bahn oder Straße in den Fokus rücken, ergeben sich die Probleme bei Altbergbauhohlräumen oft in innerstädtischen Gebieten, wo es in den letzten Jahren auch hin und wieder zu Tagbrüchen und Boden-

senkungen mit einhergehenden Schäden an Gebäuden und Infrastruktur gekommen ist.

Unabhängig von ihrer Entstehungsgeschichte ist bei allen unterirdischen Hohlräumen das jeweilige Gefährdungspotenzial für oberirdische Anlagen und Gebäude von vorrangigem Interesse. Hier kann der gezielte Einsatz geophysikalischer Methoden sowohl von der Oberfläche als auch vom Bohrloch wichtige Informationen liefern. Insbesondere Daten zur Lage, Ausdehnung und Erstreckung von Hohlräumen fördern den Informationszuwachs für Entscheidungen zur Gefährdungsabschätzung in solchen Gebieten sowie für evtl. notwendige Sanierungsaufwendungen.

### 3 RÄUMLICHE ERKUNDUNGSTECHNOLOGIEN IM BOHRLOCH

Die Ermittlung von Orientierungsmerkmalen von Gesteinsformationen und Gesteinszwischenräumen (Klüfte, Hohlräume) erfolgt je nach Erkundungsziel im Nah- oder Fernbereich einer Bohrung. Gilt es, Gefügemerkmale in ihrer Lage und Orientierung (Klüfte, Schicht- und Schieferflächen, Störungszonen) bzw. ihren Eigenschaften (Unterscheidung offene oder geschlossene Trennflächen, Kluffüllungen, Sprunghöhe, Genese) zu bestimmen, so werden Bohrlochscanner eingesetzt, die ein richtungsorientiertes Abbild der Bohrlochwand gewinnen und somit ein lückenloses Gegenstück zum oft unvollständigen Bohrkern generieren. Beispiele für orientierte Bohrlochwandaufnahmen zeigen die Abbildungen 3.1 und 3.2.

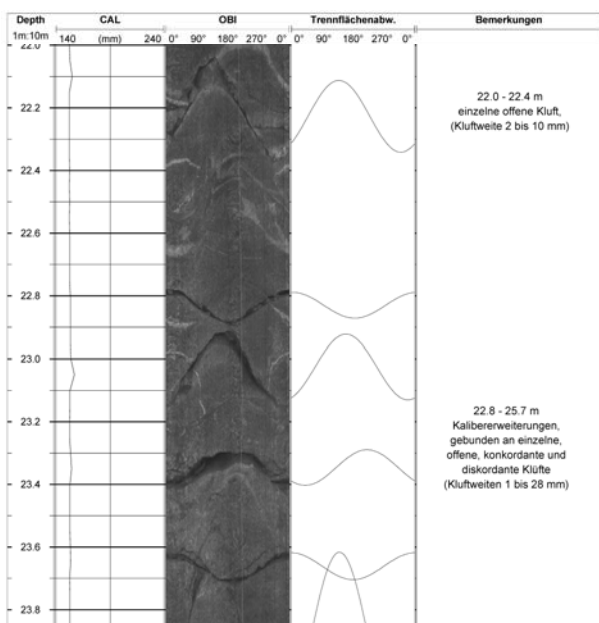


Abb. 3.1 Aufnahme von Wasser führenden Klüften durch orientierte optische Bohrlochscannerbefahrung

Mittels Aufnahmen eines akustischen Bohrlochscanners (Abb. 3.2) können zusätzlich zur Darstellung des Trennflächengefüges auch noch hochauflösende Bohrlochdurchmesser- bzw. Kaliberberechnungen, quantitativ für

Kaliberausbrüche < 1 m, durchgeführt werden. Diese Ergebnisse erlauben jedoch schon erste Aussagen zu Raumlage und Verlauf von Störungszonen oder Kluffsystemen, da im Gegensatz zur mechanischen Kalibermessung die Ermittlung des Bohrlochdurchmessers mit einem in 90° zur Bohrlochachse angeordneten Ultraschallmesskopf an 254 Messpunkten erfolgt.

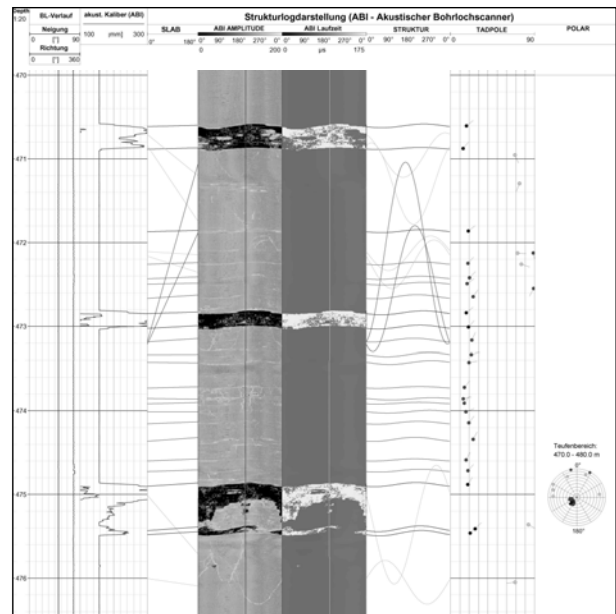


Abb. 3.2 Erkundung von Kluffsystemen durch eine orientierte akustische Bohrlochscannerbefahrung

Die als Strukturlogs gefahrenen Messsonden sind sowohl ober- als auch unterhalb eines Wasser- bzw. Spülungsspiegels einsetzbar und beruhen auf optischem bzw. akustischem Messprinzip. Aufgrund der geringen Laufwege der akustischen Wellen bzw. der geringen Distanz für die optische Aufnahme können diese Messverfahren bei konstanter Aufwärts- oder Abwärtsfahrt der Messsonden betrieben werden. Gilt es dagegen einen Bereich größerer Reichweite (z.B. Hohlraum) zu erkunden, so bedarf es einer fest positionierten Sonde im Bohrloch. In diesem Anwendungsfall werden Hohlraumscanner eingesetzt, die mittels Ultraschall- oder Laserimpuls größere Distanzen überwinden und damit quantitativ erfassen können. Der vordergründige Nachteil der Messaufnahme bei Stillstand der Sonde wird dadurch ausgeglichen, dass durch den Einsatz schwenkbarer Bauelemente (Schallkopf, Spiegel) ausgehend von einer Position ein größerer Hohlraumbereich vermessen werden kann. Durch die Überlappung der einzelnen Messwertaufnahmen sind Messungen in größeren Messpunktabständen realisierbar.

### 4 SCANNERMESSTECHNIK

Für die Vermessung von Hohlräumen kommen speziell konstruierte Scanner mit rotierendem Sondenkopf zum Einsatz. Man unterscheidet prinzipiell Scanner, die nach dem Laserprinzip und Scanner die nach dem Ultra-

schallprinzip arbeiten. Für flüssigkeitsgefüllte Hohlräume (Spülung, Wasser) wird der Sonarscanner eingesetzt (Abb. 4.1).

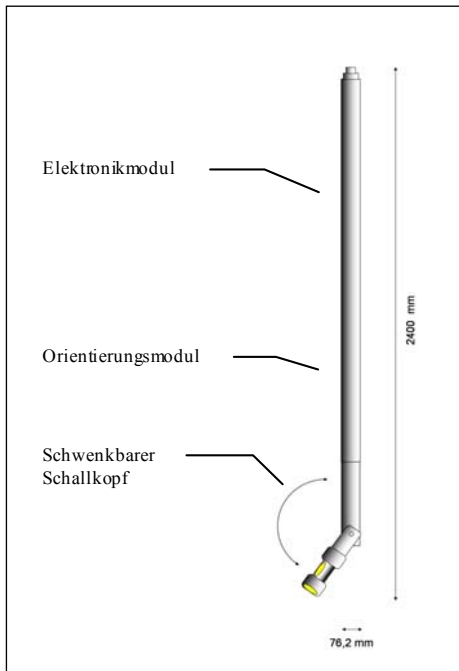


Abb. 4.1 Prinzipskizze Sonarscanner

Der Sonarscanner erlaubt die Vermessung von Hohlräumen bis in Entfernungen von ca. 200 m. Die Orientierung des Schallkopfes erfolgt dabei mittels Magnet- oder Kreiselkompass (Gyroscope). Bei Einsatz eines Gyrosopes sind auch Messungen im Einfluss von und durch Stahlverrohrungen hindurch möglich. Technische Details können dem folgenden Abschnitt entnommen werden.

**Technische Merkmale - Sonarscanner:**

Messsondentyp:	FLODIM
Wandler:	2 (lateral und axial)
Orientierung:	Flux Gate oder Gyroscope
Messbereich:	0,5 ... 200 m
Messschritte:	2°, 3°, 4°, 5°, 6°, 8° ... beliebiger Faktor zu 360°
Messbereich:	
Neigung:	0 - 90°
Azimut:	0 - 360°
Messgenauigkeit:	± 0,5 %, ± 2 m/s
Messauflösung:	± 0,1 %, ± 1 m/s

**Einsatzspezifikation - Sonarscanner:**

Länge:	2,44 m
Durchmesser:	76,2 mm
Masse:	45 kg
Temperatur:	max. 75 °C
Druck:	max. 40 MPa

Gilt es luft- oder gasgefüllte Hohlräume zu erkunden, so wird der Laserscanner eingesetzt (siehe Abb. 4.2).

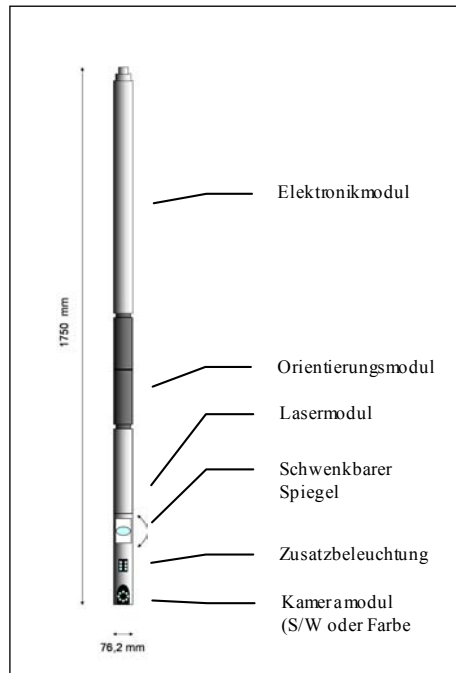


Abb. 4.2 Prinzipskizze Laserscanner

Der Laserscanner erlaubt die Vermessung von Hohlräumen bis in Entfernungen von 50 m. Die Orientierung erfolgt hier ausschließlich mittels Magnetkompass. Weitere technische Details sind im folgenden Abschnitt angegeben.

**Technische Merkmale - Laserscanner:**

Messsondentyp:	FLODIM
Laser:	Laser Klasse II 620 - 690 nm
Wandler:	2 (lateral und axial)
Orientierung:	flux gate Kompass, 0,1° Präzision
Messbereich:	0,15 - 50 m
Messbereich:	
Neigung:	0 - 90°
Azimut:	0 - 360°
Messgenauigkeit:	± 1,5 mm
Video:	CCD-Kamera, S/W LED-Beleuchtung
Foto:	Digital-Kamera, RGB

**Einsatzspezifikation - Laserscanner:**

Länge:	1,75 m
Durchmesser:	76,2 mm
Masse:	15 kg
Kabellänge:	300 m

## 5 MESSEINSÄTZE

### 5.1 BOHRLOCHBEDINGUNGEN

Aufgrund des Sondendurchmessers der Hohlraumsonden sind Bohrungen ab einem Durchmesser von 4“ befahrbar. Sie sollten temporär vor Versturz gesichert sein, z.B. mittels Hilfsverrohrung bis zur Hohlraumfirste. Dadurch können mehrere Bohrungen abgebohrt und später nacheinander vermessen werden. Bei extrem nachbrüchigem Gebirge (z.B. durch verstärkten Sedimenttransport im Grundwasser) kann auch eine Verrohrung über den gesamten, mit Wasser erfüllten Hohlraum installiert werden. Bei Einsatz einer 4“-PVC-Verrohrung ist in diesem Falle die gesamte Hohlraumstruktur in ihrer kompletten Erstreckung ermittelbar. Dies gilt jedoch nur bei flüssigkeitserfüllten Hohlräumen die mit dem Sonarscanner erkundet werden können. Auch Messungen im laufenden Bohrprozess bei sukzessivem Gestängerrückbau sind realisierbar.

### 5.2 FELDMESSUNGEN

Der Einsatz der Hohlraumscanner im Feld erfolgt mit geländegängigen, allradbetriebenen Bohrlochmessfahrzeugen oder alternativ mit tragbarem Messequipment. Somit sind neben der exakten Hohlraumvermessung auch Messungen zu gesteinsphysikalischen und hydrodynamischen Eigenschaften des Untergrunds bzw. geometrischen Eigenschaften der Bohrung innerhalb einer Messkampagne realisierbar.

Die Vermessung eines Hohlraumes erfolgt als Folge von stationären Messungen bei fest positionierter Messsonde. Aus dieser Position tastet der Scanner die Hohlraumwände in diskreten Winkelschritten (ca. 2-5°, je nach Auflösungsanforderung) sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung ab. Bei in ihrer Höherstreckung eher kleinen Hohlräumen, wie es z.B. alte Bergbaustollen darstellen, kann aus einer einzigen Position der gesamte Stollen vermessen werden. Für größere und unregelmäßigere Strukturen, wie Karsthöhlen oder Kavernen sind mehrere Sondenpositionen zur Ermittlung der Kontur des Hohlraumes erforderlich.

## 6 AUSWERTUNG VON HOHLRAUMVERMESSUNGEN

Erste Ergebnisse einer Hohlraumvermessung können bereits im Feld visualisiert werden. Beim Einsatz des Laserscanners geben die vorausgegangenen Foto- bzw. Videoaufnahmen dem Betrachter eine Impression des Untersuchungsobjektes. Die Ausbreitungsrichtung und die maximale Ausdehnung in dieser Richtung können vor Ort erkannt werden. Dies ist vor allem dann von wesentlichem Interesse, wenn aufgrund dieser Ergebnisse im Anschluss an die Messung weitere Bohrungen zur besseren Eingrenzung der Hohlraumstruktur geplant werden sollen.

## 6.1 OPTISCHE VISUALISIERUNGEN

Der Einsatz des Laserscanners beinhaltet stets die zusätzliche optische Aufnahme des Hohlraums mit Videokamera und Fotoobjektiv. Beide Aufnahmen sind nicht nur für die Wahl geeigneter Messpositionen des Scanners unerlässlich, sondern sie unterstützen auch den Geotechniker, sich eine bessere Vorstellung vom Hohlraum zu verschaffen.

Liegen die Farbfotos als Aufnahmen aller Richtungen der Hohlraumerstreckung vor, können diese für eine anschauliche Dokumentation des Hohlraumes zu einem Panoramabild zusammengesetzt werden. Das folgende Beispiel umfasst die Vermessung eines Altbergbaustollens in gebankten triassischen Karbonaten. In den Stollen wurde vorbereitend eine Kernbohrung (146 mm, 15 m) abgeteuft und eine temporäre 4“ Hilfsverrohrung bis zur Oberkante des Hohlraums eingebracht. Das Panoramabild zeigt eindrucksvoll einen Teil des alten Abbaustollens (Abb. 6.1).



Abb.6.1 Panoramaaufnahme eines alten Bergbaustollens

## 6.2 GRAFISCHE UND TABELLARISCHE DARSTELLUNGEN

Die Visualisierung der Ergebnisse einer Hohlraumvermessung erfolgt in mehreren grafischen und tabellarischen Darstellungen, in denen die exakten Ausmaße des Hohlraumes in den verschiedenen Ausbreitungsrichtungen zu entnehmen sind. Beispiele hierfür sind in den folgenden Abbildungen gegeben. Abb. 6.2 zeigt einen Vertikalschnitt durch einen Teil eines Abbaustollens, der sich in einer Teufe von ca. 20 m unter Gelände in Richtung Südwest erstreckt und dabei in seiner Teufen- und Höhenlage abfällt.

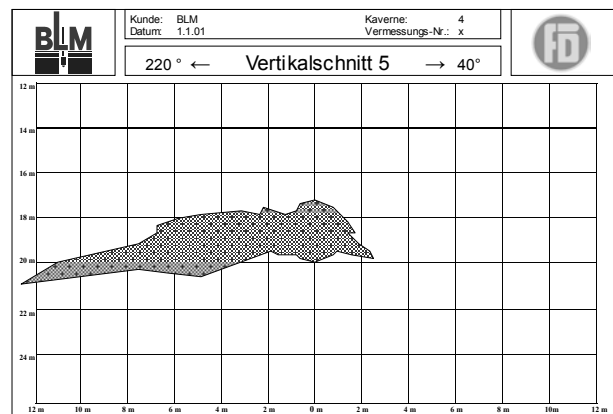


Abb. 6.2 Vertikalschnitt Altbergbaustollen

Neben Vertikalschnitten werden auch Horizontalschnitte in einzelnen Teufen dargestellt. In der folgenden Abbildung zeigt ein Horizontalschnitt dieses Abbaustollens in einer Teufe von 19,6 m die sehr exakte Ausbreitungsrichtung des Stollens (Südwest – Nordost). Er konnte in dieser Teufe auf einer Länge von über 26 m vermessen werden.

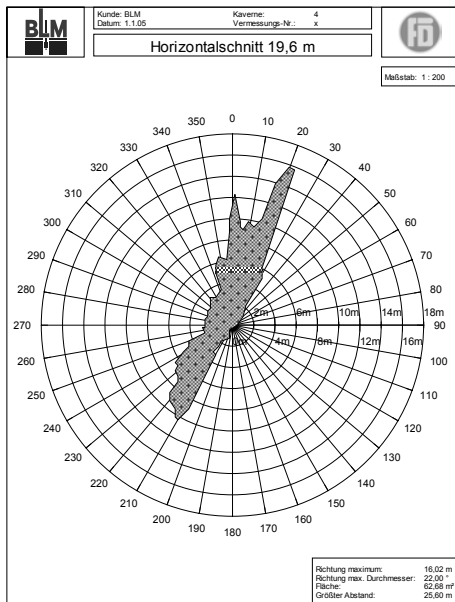


Abb. 6.3 Horizontalschnitt Altbergbaustollen

Die rechnerische Zusammensetzung und Integration aller Einzelschnitte erlaubt in der Zusammenfassung eine 3-dimensionale Darstellung vom Hohlraum zu erzeugen. Diese ist in ihrer Richtung frei rotierbar und darstellbar. Abbildung 6.4 zeigt die grafische Darstellung des Abbaustollens mit Blick aus Richtung Nord.

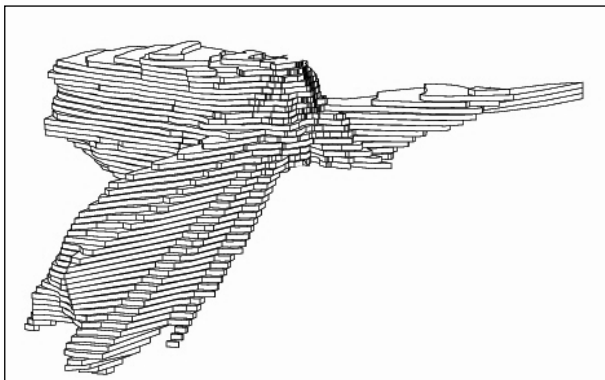


Abb. 6.4 3D-Darstellung des Abbaustollens

Alle Messergebnisse und Darstellungen liegen nach der Bearbeitung auch in digitaler Form vor und können in weiterführende Programmpakete zu Dokumentations- oder Berechnungszwecken übernommen werden.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die orientierte Aufnahme von Bohrungen ist durch den gezielten Einsatz von Bohrlochscannern möglich. Je nach Strukturgröße können von der Einzelkluft bis zum Karsthohlraum alle Formen sowohl oberhalb als auch unterhalb eines Wasserspiegels vermessen werden. Die Wahl zum Einsatz der geeigneten Messsonden sollte dabei stets im interdisziplinären Austausch zwischen dem Geotechniker des planenden oder betreuenden Ingenieurbüros und dem Geophysiker der Messservicefirma erfolgen. Mittels exakter Hohlraumvermessungen sind sowohl Gefährdungsabschätzungen sicherer realisierbar als auch Sanierungsplanungen besser kalkulierbar.

## LITERATUR

- [I] J.-P. CRABEIL (2005): FLODIM Firmenschrift Hohlraumvermessung mit Lasertechnik
- [II] J.-P. CRABEIL (2005): FLODIM Firmenschrift Hohlraumvermessung mit Sonartechnik
- [III] J. BLUMTRITT & T. HEYN (2004): Ermittlung der Lage und Ausbreitung von Karsthöhlräumen im Rahmen von Erkundungsarbeiten für unterirdische Verkehrswege mittels optischer Bohrlochbefahrungen, 5. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Ostfildern, S. 429ff
- [IV] J. BLUMTRITT & T. HEYN (2005): BLM Firmenschrift Hohlraumvermessung – der clevere Weg zur Dimension
- [V] S. FRICKE & J. SCHÖN (1999): Praktische Bohrlochgeophysik, ENKE, S.98f.
- [VI] H. PRINZ (1991): Abriss der Ingenieurgeologie, ENKE, S.124f.