

**BETRÄGE ZUR ERFASSUNG UND BEHERRSCHUNG HYDRO-
LOGISCHER VERHÄLTNISSE IM ALPINEN HARIGESTEINS-
BERGBAU UNTERTAGE**

von

Peter F. Weiß

Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie;
Grundlagen der Rohstoffversorgung, Heft 7, Geotechnik
und Sicherheit im Bergbau - Wasser und Bergbau, Seminar
in Bad Aussee vom 9. bis 11. Mai 1983, Wien 1984.

**BEITRÄGE ZUR ERFASSUNG UND BEHERRSCHUNG
HYDROLOGISCHER VERHÄLTNISSE IM ALPINEN
HARTGESTEINSBERGBAU UNTERTAGE**

von

Peter F. Weiß

Die wesentlich bergmännischen Sicherheitsrisiken entstehen aus der Begegnung mit dem Gebirge, welches zwar zum überwiegenden Teil, aber eben nicht ausschließlich, aus Materie im festen Aggregatzustand besteht, daneben aber auch wechselnd hohe Anteile im gasförmigen oder flüssigen Zustand enthält.

Aus der festen Phase kommen jene Gefahren, welche sich aus Steinfall oder der Anwesenheit von Staub ergeben. Die Gase werden gefährlich, wenn sie nicht atembar, toxisch oder explosiv sind.

Die flüssige Phase - und hier sprechen wir von Wasser - kann besonders gefährdend sein, wenn sie spontan auftritt - sei es als reines Wasser, sei es als Wasser-Feststoffgemisch in der Form von Schwimmsanden oder von "Muren". Dieser hierzulande gut verstandene und recht gebräuchliche Spezialausdruck bezeichnet das, was sonst häufig, aber weniger exakt beschreibend, Schlammeinbruch genannt wird.

Es fällt allgemein schwer, die Risiken, welche aus der Konfrontation mit der "flüssigen Phase des Gebirges" entstehen können, rechtzeitig und richtig zu determinieren. Dies erscheint umso verwunderlicher, als doch menschliche Kultur und Zivilisation seit jeher mit dem nassen Element auf Gedeih und Verderb verbunden waren. Oder liegt es etwa daran, daß wir - sowohl bei der naturwissenschaftlichen Beobachtung als auch bei der technischen Berechnung - zu sehr gewohnt sind, in den Kategorien der Festkörperphysik zu denken?

Unfälle, deren Ursachen in den natürlichen Gegebenheiten des Gebirges zu suchen sind, wurden und werden, auch bei voller

fachlicher Kompetenz und Objektivität der Untersuchenden, zunächst oft als unvorhersehbar und damit als ein durch höhere Gewalt hervorgerufenes Ereignis eingestuft. Meist umfangreiche und langwierige Analysen des Ereignisses und der weiteren Umstände machen es in der Folge aber dann doch möglich, Risikofaktoren zu definieren, sie durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren und somit die Gefahrensituation "vorhersehbar" und vermeidbar zu machen.

"Aus Schaden wird man klug". Die folgenden Ausführungen mögen auch in diesem Sinne verstanden werden.

Ein sehr kompetenter Fachmann, mit jahrzehntelanger Erfahrung aus seiner Tätigkeit in einer großen internationalen Bergbaugesellschaft, - befragt, was man gegen die Gefahren des Wassers im Bergbau tun könne, antwortete: "Keep the water away from the mine, and wherever you have it in the mine, keep it moving".

1. EIGENSCHAFTEN UND VERHALTUNGSWEISEN VON WÄSSERN

In kinematischer Hinsicht kann man Bergwässer beschreiben als:

aufsteigend (z.B.: juvenil oder artesisch),

stehend oder quasi stehend überall dort, wo es in wasserführenden Schichten (aquifer) durch Permeabilitätsbarrieren zu Stauungen kommt (z.B.: Speicherwasser oder Grundwasserseen, Öldome) oder

absteigend, wie es uns etwa in einem feuchten Grubengebäude auf Schritt und Tritt begegnet.

Im Hinblick auf das Auftreten kann man von permanent oder spontan auftretenden Wässern sprechen. Permanente Wasseraustritte gehören zum bergmännischen Alltag, wir sprechen sie als Gebirgsfeuchtigkeit, Tropfwasser, flächenhafte Austritte,

Wasserfäden oder Quellen an, die recht oft ein bestimmtes Stück "mit dem Bergbau mitgehen". Ihr erstmaliges Auftreten muß durchaus nicht mit dem Zeitpunkt der Herstellung des Grubenraumes in Verbindung stehen, es kann auch die Folge einer Fernwirkung sein.

Kommt es im Zuge der bergmännischen Aktivitäten zu spontanen Wasseraustritten, so handelt es sich dabei wohl vor allem um solche Wässer, die vorhin als "stehend" oder "quasi stehend" bezeichnet wurden, - sei es, daß bei Vortriebsarbeiten Wasseransammlungen in natürlichen Hohlräumen oder wasserführenden Horizonten, wie etwa Karbonate oder Sande, angefahren werden, sei es, daß sich in Hohlräumen, die erst durch bergmännische Tätigkeit geschaffen wurden - Wasseransammlungen bildeten. Zu solchen Hohlräumen zählen nicht nur Stollen und Schächte, sondern auch solche, die durch die Geometrie des Abbauverfahrens bedingt sind, wie etwa beim Magazinsbau oder Blockbruchbau, aber auch ganz allgemein der Alte Mann, das Bruchfeld, sowie Bergehalden und Klärteiche. Charakteristisch für diese Wässer ist, daß der Ort ihres Austrittes in das Grubengebäude in der Regel stationär bleibt, daß der Zufluß mit der Zeit fast oder ganz aufhört und eine Wiederholung erst nach Herstellung der ursprünglichen Bedingungen in Frage kommen kann. Entsprechend den geschilderten Bildungsbedingungen kann es sich um riesige Wassermengen handeln, bei deren spontanem Austritt in das Grubengebäude die physikalischen Parameter Q, v, p voll in Richtung auf die Entstehung einer akuten Gefahrensituation wirksam werden. Alles was als Wasser-, Schwimmsand- oder Schlammereinbruch in die Geschichte der Grubenunglücke eingegangen ist, verdankt seine Entstehung den eben geschilderten Umständen.

2. UNTERSUCHUNG DER HYDROLOGISCHEN VERHÄLTNISSE

Die genaue Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse und deren Einbeziehung in die Planung und Durchführung bergmännischer Arbeiten trägt entscheidend dazu bei, bereits bestehende Wasseransammlungen erkennbar, sowie die Bildung weiterer

Ansammlungen im Zuge der bergmännischen Tätigkeit vermeidbar zu machen und so das Risiko auf ein tragbares Minimum zu reduzieren.

Die Darstellung der Bergwasserverhältnisse als Funktion der mineralogischen, petrologischen, geologischen und felsmechanischen Parameter setzt aber auch die eingehende Kenntnis des Wasserkreislaufes und des Wasserhaushaltes im fraglichen Gebiet voraus. Um herauszubekommen, wann, wo, wieviel Wasser welcher Qualität vorhanden ist, hinterfragen die hydrologischen Untersuchungsmethoden den Zustand der Wasserproben in physikalischer und chemischer Hinsicht. Neben den natürlich stets gefragten Werten für die Menge und der Schüttung werden p , T , elektrische Leitfähigkeit und Radioaktivität als die wichtigsten physikalischen, der pH-Wert, die Wasserhärte sowie der Gehalt an bestimmten Metall-, Alkali- und Erdalkali-Ionen und Spurenelementen als wichtigste chemische Parameter untersucht.

Wir haben es ja, abgesehen von den für unsere Betrachtungen unbedeutenden juvenilen Wässern stets mit Niederschlagswässern zu tun, welche entweder versickern, das Gebirge durchströmen, dabei vielleicht auch mit dem Bergbau in Berührung kommen und früher oder später zu Tage treten, um sich dann mit dem anderen Teilstrom zu vereinigen, welcher an der Erdoberfläche abrinrend spätestens in den Weltmeeren verdunstet, während ein dritter Teil des Niederschlages sofort verdunstet oder auf dem Umwege über die Pflanzen- und Tierwelt für eine Weile aus dem Kreislauf ausscheidet. Schon der Niederschlag selbst unterliegt starken zeitlichen und örtlichen Schwankungen - letzteres auch hinsichtlich der Höhenlage, was gerade in unseren Gegenden nicht übersehen werden darf - so daß konkrete Aussagen nur anhand exakter Langzeitmessungen gemacht werden können. Auch für die Anteile an Verdunstung, Oberflächenabfluß und Versickerung lassen sich erst recht keine Angaben machen, es sei denn anhand der Ergebnisse eines ausgedehnten Meßprogramms. Dies umsomehr, als die genannten Teilströme des Wasserkreislaufes, nämlich Verdunstung, Oberflächenabfluß und Versickerung in Abhängigkeit von den an Ort und Stelle gegebenen Parametern, als da sind Klima, geografi-

sche Lage, morphologische Verhältnisse, Pflanzendecke, Gesteins-, Gebirgs- und Gefügeverhältnisse in jeder beliebigen Relation zueinander stehen können.

2.1 Hydrogeologische Kartierung

Die Grundlage für alle derartigen Untersuchungen bildet jedenfalls eine hydrogeologische Kartierung sowohl Ober- als auch Untertage. Hierbei werden alle auftretenden Wässer nicht nur nach ihrer örtlichen Lage erfaßt, sondern auch bereits erste Daten über Q, T, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit aufgenommen und durch entsprechende Signaturen dargestellt. Als Arbeitsunterlage für obertägige Kartierungen wird man eine Geländekarte geeigneten Maßstabes heranziehen. Darauf sind neben den bereits erwähnten hydrologischen Daten zu erfassen: Die Lage der Bergwerksanlagen (Tagebaue, Halden, Grubengebäude), besondere morphologische Erscheinungen wie offene Bergschründe, Zerrspalten, Bergstürze, Hinweise auf Art und Dichte der Pflanzendecke sowie natürlich alle wesentlichen Daten aus der geologischen Kartierung einschließlich der bekannten Gefügedaten.

Untertägige Kartierungen basieren selbstredend auf Grubenkarten und werden sinngemäß vorgenommen. Bei der hydrologischen Kartierung empfiehlt es sich, auch mengenmäßig nicht erfaßbare Wässer, welche als Flächenfeuchtigkeit, Tropfwasser oder kleine Rinnsale an Klüften auftreten, getrennt auszuweisen. Durch periodische Kontrolle festgestellte Veränderungen - gerade dieser in geringen Mengen zusitzenden Wässer - vermögen, sich anbahnende größere Veränderungen der hydrologischen Situation schon frühzeitig erkennbar zu machen.

2.2 Messung der Niederschlagsmengen

Die Niederschlagsmessung erfolgt mittels der allgemein üblichen Totalisatoren.

Bei ihrem Einsatz ist zu beachten:

- In Einzugsgebieten mit großen Höhenunterschieden müssen wegen der - in Abhängigkeit von der Höhenlage stark unter-

- schiedlichen - Niederschlagsmengen mindestens zwei oder mehrere Meßgeräte in verschiedenen Höhenlagen aufgestellt werden. Die Anlagen sollen möglichst windgeschützt aufgestellt werden und sind gegen Beschädigungen durch Weidevieh sowie gegen unbefugten Zutritt von Menschen zu schützen. Bei längeren Meßintervallen muß der Inhalt mit Weißöl gegen Verdunstung, im Winter jedenfalls mit Frostschutzmittel gegen Gefrieren geschützt werden.
- Die Messung der Schüttung von Gerinnen aller Art kann auf verschiedene Weise erfolgen. Soweit es die zu messenden Schüttungsmengen zulassen, sollte man unbedingt danach trachten, die Gesamtmenge messend zu erfassen.
 - Für geringe Schüttungsmengen sind Kübel und Stoppuhr allemal noch die zweckmäßigsten Geräte, sofern es sich um Übersichtsmessungen handelt oder einigermaßen konstante Schüttung vorausgesetzt werden darf.
 - Meßwehre oder Meßpegel sind weitere einfache Hilfsmittel, ihr Nutzen ist allerdings oft gering, gemessen an den meist recht aufwendigen Arbeiten für deren Aufstellung und Eichung.
 - Für länger andauernde Meßprogramme sollte man daher den Aufwand für selbstschreibende Geräte (manchmal eignen sich auch Wasseruhren) nicht scheuen. Sie allein bieten ausreichende Gewähr für zuverlässige Meßergebnisse, ständige Wartung vorausgesetzt. Die Gefahr der Verschlammung darf nicht übersehen werden, in Gebirgslagen scheidert zudem eine permanente Messung häufig an der Vereisung während der langen Frostperioden.

2.3 Messung der Wassertemperaturen

Messungen der Wassertemperatur (mit 0,1°C Genauigkeit) sind überall problemlos durchzuführen. Unter Berücksichtigung von

Tagestemperatur, Saisonmittel, Jahrestrend, langjähriger Durchschnittstemperatur und geothermischer Tiefenstufe sind daraus Hinweise auf Höhenlage des Einzugsgebietes, Eindringtiefe der Wässer in den Untergrund und Verweildauer zu erhalten.

2.4 Messung der elektrischen Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit, gemessen in S/m bei 20°C, vermag eine erste Orientierung zu geben über die Zusammensetzung der durchflossenen Gesteine und damit auch über die Ausdehnung des Einzugsgebietes. Vergleichswerte aus petrologisch und hydrologisch bekannten Verhältnissen müssen herangezogen werden.

Die als Prospektionsmethode bekannte Messung der Leitungen kann ebenfalls dazu beitragen, sowohl hydrologische als auch petrologisch-geologische Fragestellungen zu beantworten. Die für die Untersuchung in Frage kommenden Leitungen sind natürlich entsprechend den petrochemischen Verhältnissen des Einzugsgebietes auszuwählen. So kann etwa bei gegebener Wechselagerung von Karbonaten mit karbonatarmen Gesteinen oder bei Existenz verschiedener Karbonate (z.B.: Kalkstein mit Dolomit und/oder Magnesit) durch Messung der Wasserhärte getrennt nach Ca .. und Mg .., bzw. des HCO_3 -Gehaltes recht gut zur Aufklärung der Wasserwege und der Verweildauer oder in umgekehrter Interpretation zur Aufklärung der geologischen Situation beigetragen werden.

2.5 Messung von Isotopen

Die Isotopen Deuterium D, bzw. H_2 und Sauerstoff O_{18} sind die wichtigsten stabilen Isotope für hydrologische Aussagen. Als Teil des Wassermoleküls sind sie in den Wasserkreislauf eingebaut. Sie werden als Umweltisotope bezeichnet. Ihre Konzentration wird in ‰-Abweichung von einem Standard angegeben, welcher als "mean ocean water standard" bezeichnet wird. Wann immer das Wasser seinen Zustand durch Kondensation oder Ver-

dunstung ändert, tritt eine Isotopenfraktionierung ein, da die schwereren Isotope eine Anreicherung in der liquiden Phase erfahren. Die Fraktionierung im Falle einer Kondensation hängt von der Temperatur ab, wobei einer niedrigeren Kondensationstemperatur eine Abreicherung an Isotopen entspricht. Dadurch stehen sich ein Breiteneffekt, Zeiteffekt und Höheneffekt gegenüber, welcher letzterer in Gebirgslagen gute Aussagekraft besitzt. Die Ergebnisse (s.a. Abb.1) geben Hinweise auf die Höhenlage des Einzugsgebietes, die Temperatur des Niederschlages (Jahreszeit) und somit auch indirekt über den zurückgelegten Weg und die Verweildauer.

Zur Altersbestimmung des Niederschlages eignet sich besonders das Isotop Tritium T, bzw. H_3 . Dieses radioaktive Wasserstoffisotop ist ebenfalls in den natürlichen Wasserkreislauf eingebunden. Es wird in "Tritium units" gemessen und besitzt eine Halbwertszeit von 12,3 Jahren. Der T-Gehalt des Niederschlages wurde durch die im Jahre 1952 begonnenen atmosphärischen Nuklearversuche stark erhöht und erreichte 1963 etwa die tausendfache Konzentration des natürlichen Hintergrundes. Seit dieser Zeit fiel der T-Gehalt zunächst stark, seit dem Anfang der 70er Jahre nur mehr mäßig ab (Abb.2).

Durch die in Abb.3 wiedergegebenen Messungen konnten einige, auf relativ engem Raume austretende Grubenwässer altersmäßig differenziert werden. So ist das Wasser der Quelle "WU" offensichtlich vor den ersten Nuklearversuchen als Niederschlag gefallen, also vor mehr als 25 Jahren vor der Beprobung, während die Wässer der übrigen beprobten Quellen darnach, aber zu deutlich unterscheidbaren Zeitpunkten als Niederschlag gefallen sind.

2.6 Markierungsversuche

Markierungsversuche werden bekanntlich dazu unternommen, um den Verlauf der Wasserwege, die Verweildauer und eine allfällige Vermischung genauer zu erkunden. Als Tracer kommen Farben wie Uranine oder Rhodamine, Salze wie Natrium- oder Kaliumchlorid sowie radioaktive Substanzen in Frage. Bei der

Auswahl der Tracer müssen die Eigenheiten der Einsatzorte berücksichtigt werden. In Abb.4 sind einige Meßergebnisse dargestellt. Die Werte der Quelle 7 z.B. deuten auf geringe Verweildauer und geringe bis gar keine Vermischung hin, jene der Quelle 5 hingegen lassen auf starke Vermischung mit Wässern, welche bei dem Markierungsversuch nicht erfaßt wurden, schließen, wobei gleichzeitig eine längere Verweildauer festzustellen ist.

Hydrologische Untersuchungen zum Thema "Wasser im Bergbau" müssen in der Regel als Langzeit-Meßreihen durchgeführt werden. Kosten- und Zeitaufwand können beträchtlich sein. Man sollte daher von Anfang an Fachleute - etwa der hydrologischen Landesdienste oder einschlägiger Institute - zu Rate ziehen. Sorgfältige Interpretation im Hinblick auf die bergmännischen Fragestellungen werden die vielschichtigen Zusammenhänge im System Bergwasser - Gebirge - Bergbau erhellen, sie begünstigen die richtige Auswahl eines Maßnahmenkataloges für die Lösung der anstehenden Fragen und bieten auch eine Ergebniskontrolle. Doch muß auch stets danach gefragt werden, welches Maß an Genauigkeit den Ergebnissen zuzumessen ist. Schon wegen der klimatischen Bedingungen in Gebirgslagen werden die einzelnen Anteile des Wasserkreislaufes nur größenordnungsmäßig erfaßt und auch exakte Einzelergebnisse haben wegen der sich im Bergbau stetig verändernden Bedingungen meist nur relativ kurze Zeit Gültigkeit.

Wenn man anhand von Messungen und Beobachtungen, ähnlich wie vorstehend skizziert, die hydrologischen Verhältnisse rund um einen Bergbau erkundet hat, dann ist man in der Lage, diese Parameter mit jenen des Gebirges und der Technik in Beziehung zu setzen.

3. BEZIEHUNGEN ZWISCHEN GEBIRGSPARAMETERN, TECHNISCHEN PARAMETERN UND DEM BERGWASSER

In der folgenden Tabelle wird versucht, die Beziehungen zwischen Gebirgsparametern, technischen Parametern und dem Bergwasser darzustellen.

Wesentliche Einwirkungen

Parameter	des Wassers durch	auf das Wasser hinsichtlich
MINERALOGIE	lösen, umwandeln (Hohlräume, Karst)	chem. und physikal. Eigenschaften
PETROLOGIE (Porenvolumen, Permeabilität, Gesteinsfestigkeit)	Gesteinsfeuchtigkeit (entfestigen, quellen, fließen)	Ausmaß der Versickerung, Wasserwege, Strömungs- verhältnisse, Speicherung
GEOLOGIE (Streichen, Fallen, Mächtigkeit, Überlagerung)		wie oben und Einzugsgebiet
GEBIRGSMECHANIK (Gefüge, Reibungs- winkel, Gebirgs- festigkeit)	wie oben	
MORPHOLOGIE	Erosion (Talzuschub)	Einzugsgebiet Abfluß an der Oberfläche
Klima		Niederschlag-, Menge - zeitl. Ver- teilung
AUS- U. VORRICHTUNG	Wechselseitige Beziehungen zwischen bestimmten Gebirgsparametern, dem Grubenzuschnitt und den hydrologischen Parametern (Wasserlösung)	
ABBAUTECHNIK (Abbauverfahren, Abbaurichtung, Versatz)	Verschlechterung der Gebirgsparameter be- wirkt weitere Ein- engung der Auswahl	Änderung der hydrologischen Parameter infolge des Abbaufortschrittes (auch: gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der hydr. Verhältnisse möglich)
Ausbau	Korrosion, Auswaschung Spannungsverteilung	Wasserwegigkeit (Dichtungsmaßnahmen, vorgespannte Anker, abschlauchen)
Ausrüstung	Korrosion, Abrasion, elektr. Leitfähigkeit (E-Vorschriften, Sprengstoffe)	
Organisation	Wechselseitige Beziehungen zwischen hydrologischen Parametern (v,Q,p) und Arbeiterhythmus (Arbeits- zeit, Abzugsplan) Faktor Zeit!	

3.1 Talzus Schub als Funktion der Gebirgsfeuchtigkeit.

In Regionen mit anhaltender Schneedecke bleibt der Niederschlag während der Frostperiode weitgehend an Ort und Stelle gebunden. Verdunstung, Oberflächenabfluß und vor allem aber Versickerung nehmen stark ab. Daraus folgt eine deutliche Abnahme der Gebirgsfeuchtigkeit in den oberflächennahen Regionen. Dies trifft im Falle unseres Beispiels für die Zeit von Oktober bis April zu, in dieser Zeit fallen aber meist mehr als 50 % des Jahresniederschlags. Am Beginn der warmen Jahreszeit steht die nur wenige Wochen dauernde Periode der Schneeschmelze, wodurch es zu einem schnellen und starken Anstieg der Gebirgsfeuchtigkeit durch Versickerung kommt. Die Abbildungen 6 und 7 geben Meßergebnisse aus dem Bereich eines Talzushubes in einem bereits teilentfestigten Glimmerschiefer wieder und zeigen die Abhängigkeit aller Bewegungsparameter von der Gebirgsfeuchtigkeit. Hohe Feuchtigkeit führt zu Verringerung des Reibungswinkels, Verflachung der Bewegungsbahn um etwa 5° , Orientierung der Fließrichtung parallel zur Hangneigung und maximalen Fließgeschwindigkeiten, mit Spitzen von mehr als 100 % über dem Jahresdurchschnitt. Geringe Feuchtigkeit hat Erhöhung des Reibungswinkels, eine steilere Bewegungsbahn, Drehung der Bewegungsrichtung um 30° bis 45° in die Richtung des Gesteinseinfallens und minimale Fließgeschwindigkeiten zur Folge. Die Fortführung dieser Messungen hat dann auch die Änderung des Fließverhaltens in Abhängigkeit vom Zustand des Gefüges unter Beweis gestellt. Mit zunehmender Entfestigung des Gebirges trat nämlich eine Vergleichmäßigung der Bewegung, nun nur mehr in Richtung der Hangneigung, ein.

3.2 Zusammenhänge zwischen geologischen Parametern, morphologischen Erscheinungen und dem Einfluß von Wasser.

Aus dem in Abb.5 wiedergegebenen Luftbild sind selbst für den mit den örtlichen Gegebenheiten nicht voll vertrauten Betrachter einige interessante Details erkennbar:

- Tektonik, (stark ausgeprägte Überschiebungsbahn entlang der Talfurche) und eiszeitliche Gletschererosion bestimmen die primäre morphologische Gestaltung.
- Überschreitung des natürlichen Böschungswinkels an den Hängen des Trogtales löst Talzusub aus, welcher bis in die Gipfelregion hinaufreicht (Doppelkamm).
- In Bereichen höherer Gebirgsfestigkeit bleiben die steilen Hänge weitgehend erhalten.
- Die morphologischen Konturen deuten die Grenzen des Wassereinzugsgebietes gut an.
- Durch Eintragung geologischer Daten, (Streichen, Fallen, Gefügeorientierung, Gesteinsabfolge) läßt sich ferner abschätzen, ob und gegebenenfalls wo die Grenzen des Wassereinzugsgebietes nicht mit den morphologischen Konturen übereinstimmen oder als Folge der bergbaulichen Einwirkungen in Zukunft eine Änderung erfahren können.

3.3 Bildung und Verhalten von gefährlichen Wasser-Feststoffgemischen (Muren).

Nach dem heutigen Stande des Wissens kann man dazu allgemein folgendes aussagen:

Muren bestehen aus:

- mindestens 30 % Wasser,
- mindestens 20 % Feinstkorn unter 75 μ , welches dank seiner Korngröße, Kornform und Oberflächenspannung dazu neigt, in Verbindung mit Wasser eine emulsionsartige Trübe zu bilden. Die theoretische Wichte einer solchen "Schwereflüssigkeit" beträgt etwa 1,54 g/cm³. Ferner

- bis zu ca. 50 % Grobkorn. Darunter ist Lockermaterial beliebiger Art und Form zu verstehen, auch die Siebkennlinie darf in weiten Grenzen variieren. Je feiner und gleichmäßiger das Korn, umso "besser"; aber bei entsprechendem Gesamtvolumen werden auch große Felsbrocken mitgenommen, welche die Erosionskraft noch weiter erhöhen.

Als Voraussetzung für die Entstehung von Muren muß zunächst Lockermaterial in nennenswerter Menge vorhanden sein. Das zur Aufnahme des Wassers notwendige Porenvolumen ist dann praktisch immer gegeben, denn selbst bei hohem Feinkornanteil oder in leicht verdichtetem Zustand liegt das Porenvolumen über 30 %. Haufwerk, wie es bei der bergmännischen Gewinnung anfällt, hat meist 40 und mehr % Porenvolumen.

Wenn dieses Lockermaterial nicht schon von vorneherein den kritischen Feinstkorngehalt von mindestens 20 % enthält, so muß solches so in der Umgebung vorhanden sein, daß es durch Wasser herantransportiert werden kann.

Schließlich muß Wasserzufluß herrschen.

Begünstigend für das Zustandekommen von Muren ist es, wenn das Lockermaterial wenigstens teilweise wasserundurchlässig umhüllt ist. Solche Bedingungen sind im Bergbau untertage häufig gegeben, wie in Abbauhohlräumen beim Magazins- oder Blockbruchbau und in Grubenräumen aller Art. Es geht aber auch ohne solche Umhüllungen, wie jene Muren beweisen, die an Berghängen in tiefem Hangschutt entstehen, ohne daß die Massen von vorneherein wassersperrend umhüllt sind. Dies besorgt dann das Wasser selbst, indem es das mitgeführte Feinstmaterial bei Verringerung der Fließgeschwindigkeit wieder ablagert und sich so sukzessive selbst einsperrt.

Wenn die genannten Voraussetzungen gegeben sind, bedarf es nur mehr der Überwindung der Scherfestigkeit der "Wandung", entweder durch weiteren Druckaufbau im Inneren, (durch Bergwasserdruck, Porenwasserdruck oder Belastung) oder durch Abbau des Scherwiderstandes an einer Stelle der Wandung, (wie es im Bergbau etwa durch Entnahme von Material beim Hereinge-

winnen, Wegfüllen oder Abziehen der Fall ist), um die Mure zum Ausbruch zu bringen. Dabei kommt es durch die Druckdifferenz zur spontanen Beschleunigung, die Masse verhält sich "quasi thixotrop", indem sie schlagartig vom "festen" in den "flüssigen" Zustand übergeht. Die entstehende "Schwerertrübe" entwickelt eine unglaubliche Erosions- und Transportkraft, mit ihrer Wichte von bis zu 2.000 kg/m^3 ist sie in der Lage, schwerste Gegenstände zu bewegen und mit ihrer Wucht Häuser zum Einsturz zu bringen. Dies läuft in Sekundenschnelle ab, denn schon beim ersten Strömungswiderstand kehrt sich der Prozeß um, die Transportkraft läßt nach, die Sedimentation beginnt, das Lockermaterial bleibt mit ganz geringem Böschungswinkel liegen und nur das Wasser rinnt - fast schon ohne Gewalt - ab, die Mure ist tot!

3.4 Zusammenhänge zwischen Klima, Wasserhaushalt und bergbaulicher Tätigkeit.

Die Zusammenhänge zwischen Klima und Niederschlag sind bekannt. In dem Diagramm in Abb.8 ist der Niederschlag jedoch nicht - wie sonst üblich - in mm, sondern zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Abfluß, nach Umrechnung auf das gesamte Einzugsgebiet und unter Berücksichtigung der Beobachtungszeitabschnitte von jeweils 7 Tagen, in l/s ausgedrückt. Dadurch werden die Zeit-Mengenrelationen zwischen Niederschlag und Abfluß deutlich. Während der obertägige Abfluß unmittelbar nach Beginn der Schneeschmelze stark zunimmt, um bereits nach etwa einem Monat wieder auf normale Mengen zurückzugehen, nimmt der untertägige Abfluß erst einen Monat nach Einsetzen der Schneeschmelze etwas zu, um aber dann fast drei Monate auf diesem Niveau zu bleiben.

Allgemein ist auszusagen, daß während des dargestellten Beobachtungszeitraumes ca. 28 % untertage und ca. 37 % obertage abgeflossen sind. Der Rest des Gesamtniederschlages von ca. 35 % wurde nicht erfaßt oder fiel der Verdunstung anheim. Aus anderen Messungen konnte man jedoch ablesen, daß die Verdunstung keinesfalls über 20 %, wahrscheinlich eher bei 15 % liegt, so daß der Gesamtfehler der Beobachtung bei 20 %

liegen dürfte. Im Hinblick auf die angewandten Meßverfahren - Obertage war wegen der Vereisungsgefahr der Einsatz eines Permanentenschreibers nicht möglich - wußte man aber, daß die nach heftigeren Niederschlägen auftretenden kurzzeitigen Spitzenwerte des obertägigen Abflusses nicht erfaßt worden waren, so daß der festgestellte Meßfehler diesem Bereich zuzuordnen war. Ein weiteres, in dem dargestellten Diagramm nicht enthaltenes Meßergebnis hat gezeigt, wie sehr das Ausmaß der Versickerung durch die Folgewirkungen der bergbaulichen Tätigkeit beeinflusst wird:

Während im unberührten Gelände (Pflanzendecke und Gebirge unversehrt) nicht mehr als etwa 7-15 % versickerten, waren es im unmittelbaren Bergbauschadensgebiet (bei totaler Entfestigung des Gebirges und völligem Fehlen der Pflanzendecke) bis zu 70 %.

Über das insgesamt vom Bergbau beeinflusste Gebiet gemessen, liegt das Ausmaß der Versickerung je nach Intensität der bergbaulichen Tätigkeit zwischen 30 und 50 %. Da in diesem Gebiet die flächenhafte Versickerung nicht verhindert werden kann, ist dadurch bereits die Größenordnung erkennbar, innerhalb welcher einerseits Maßnahmen zur obertägigen Ableitung und andererseits solche zur untertägigen Ablenkung der Sickerwässer wirksam werden müssen.

3.5 Zusammenhänge zwischen Bergwasser und Gewinnungstechnik.

Hier seien einige Möglichkeiten aufgezeigt, wie "angepaßte Bergtechnik" angewendet werden kann, um jene Bergwässer, deren Zutreten in den Grubenraum nun einmal nicht verhindert werden kann, in Zonen geringerer potentieller Gefährdung abzulenken oder wenigstens möglichst sicher zu sammeln und abzuleiten. Abb.9 stellt einen vereinfachten Querschnitt durch einen im Hinblick auf die Bergwassersituation besonders gestalteten Blockbruchbau dar. Der am bergseitigen Kontakt befindliche "Schlitz" wurde vorauseilend im Teilsohlenbruchbau hergestellt, blieb während der Hauptphase des Abziehens des Blockes mit geschossenem Haufwerk - welches die Funktion

eines Filters hatte - gefüllt und wurde erst dem Block nach-eilend abgezogen. Auf diese Weise konnten die hauptsächlich von der Bergseite zusitzenden Wasser rechtzeitig, vollständig und kontrolliert abgeleitet werden. Das als Summe über alle Abzugstrichter dieses Blocks aufgetragene Ergebnis der Wasserlösung zeigt dies deutlich. Abb.10 zeigt in vereinfachter grundrißlicher Darstellung den zeitlichen Zusammenhang zwischen der Abzugstätigkeit im Block und der örtlichen Verlagerung des Wasserandranges, wie er durch einen besonders daraufhin abgestellten Abzugsplan erzielt werden konnte. Mit Hilfe dieses für die gesamte Lebensdauer eines Blocks konzipierten, computerunterstützten Abzugsplanes können für alle Füllstellen (in der Praxis 40 und mehr) arbeitstäglich oder für jeden anderen beliebigen Zeitraum Produktionsvorgaben errechnet werden. Dabei werden jeweils mehr als 30 produktionstechnisch und im Hinblick auf die Vermeidung gefährlicher Ansammlungen von Wasser-Feststoffgemischen sicherheitstechnisch relevante Parameter berücksichtigt.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen den letzten Entwicklungsstand für die Konzeption der Abbauvorrichtung im Blockbruchbau. Durch Weglassen der Seitenwände werden die Abzugstrichter (Abb.11) zu Abzugsgräben (Abb.12), welche sich über die gesamte Abbaumächtigkeit erstrecken. Dadurch wurde allein von der Geometrie her die Gefahr der Aufstauung von murenbildenden Massen so gut wie beseitigt. In den Sohlen der Abzugsgräben sind überdies Entwässerungsbohrlöcher angeordnet. Die Sohlen der Abzugsgräben liegen um einige dm tiefer als jene der Abbauförderstrecken, so daß die aus dem Bruch zusitzenden Wasser gefahrlos abgeleitet werden können, ohne die dem Produktionsbetrieb dienenden Grubenräume zu durchfließen.

3.6 Wasserschüttung als Funktion der Arbeitsorganisation.

Zur Erläuterung diene Abb.13, welche die arbeitstäglich gemessene Wasserschüttung aus einem Blockbruchbau darstellt. Die Unterbrechungen deuten die Arbeitsstillstände an den Wochenenden an. In der Regel hat die Schüttung am Wochenanfang einen niedrigen Wert, erreicht gegen Wochenmitte ihren

Höchstwert, um dann gegen Wochenende wieder abzusinken. Die Schüttung "atmet" dem Arbeitsrhythmus entsprechend. Es ist dies ein eindeutiger Hinweis darauf, daß an den arbeitsfreien Tagen die Wasserwege durch Feinstkornsedimentation allmählich verstopft werden und in der Folge gewisse Aufstauungen von Wasser erfolgen. Dieses fließt erst wieder ab, nachdem die Verstopfungen nach Wiederaufnahme der Arbeit durch Materialentnahmen beseitigt wurden.

Es muß in diesem Zusammenhang auf den besonders hohen Stellenwert hingewiesen werden, welchen der zeitliche Ablauf, - der "Faktor Zeit" -, innehat. Ob es sich nun um eine Vorentwässerung oder um die Hintanhaltung der Bildung von gefährlichen Wasseransammlungen oder Muren handelt, immer liegt der Schlüssel zum Erfolg in der richtigen zeitlichen Abstimmung! Das Wasser im Bergbau fließend zu halten ist in erster Linie eine Frage des zeitlichen Unterlaufens der Bildung von Aufstauungen.

4. SCHLUSSWORT

Wann und wo immer der Mensch in die Erdkruste eingreift, stellt ihn das System "Gebirge und Wasser" vor neue, oft gefahrenträchtige Situationen. Man braucht gar nicht an Extremsituationen zu denken, auch in unseren gemäßigten Breiten und bei unserem, wie wir oft meinen, überdurchschnittlich hohen Stand des Wissens und der Technik spannt sich ein vielfältiger Bogen bitterer Erfahrungen zwischen Lengede und Longarone. Leider scheint es so zu sein, daß es auch jetzt noch nicht immer gelingt, rechtzeitig aus Erfahrung klug zu werden, denn sonst dürften sich beispielsweise Murenausbrüche aus Hängen, welche durch menschlichen Eingriff destabilisiert wurden, oder Schlammausbrüche aus Klärteichen, welche von menschlicher Hand angelegt wurden, nicht wiederholt haben.

Die angeführten praktischen Beispiele unterstreichen aufs neue, daß wir die Naturgewalten nicht bezwingen müssen, um sie zu beherrschen, sondern daß es vielmehr darauf ankommt, ihre Gesetzmäßigkeiten durch angepaßte Technik unseren Zielen dienlich zu machen.

Literaturhinweise:

Clar, E. u. Weiß, P.: Erfahrungen im Talzuschub des Magnetbergbaues auf der Millstätteralpe. - Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 110, 447-460, Wien 1965.

N.N.: Untersuchungsbericht des Institutes für Geothermie und Hydrogeologie. - Unveröffentlichter Bericht, Forschungszentrum Graz, Graz 1978/80.

N.N.: Gutachtliche Äußerungen in Niederschriften der Berghauptmannschaft Klagenfurt. - Unveröffentlichte Niederschriften, Radenthein 1978.

Weiß, P.F.: Development System for Block Caving Under Severe Conditions. - Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York 1981.

Weiß, P.F., Fettweis, G.B., Moschitz, I.M., Olsacher, A. and Riedler, H.: Relevant Factors for Development and Draw Control of Block Caving. - Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York 1981.

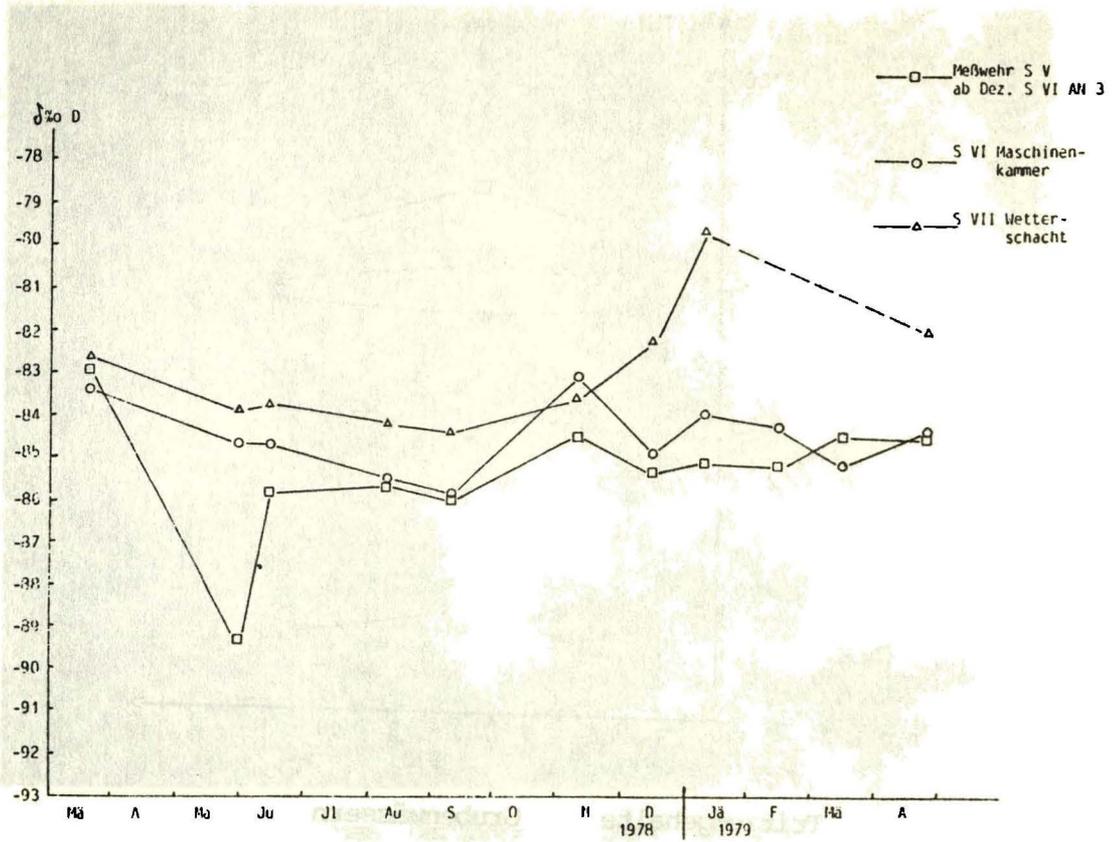


Abb.1: Deuterium - Jahresgang von Wässern

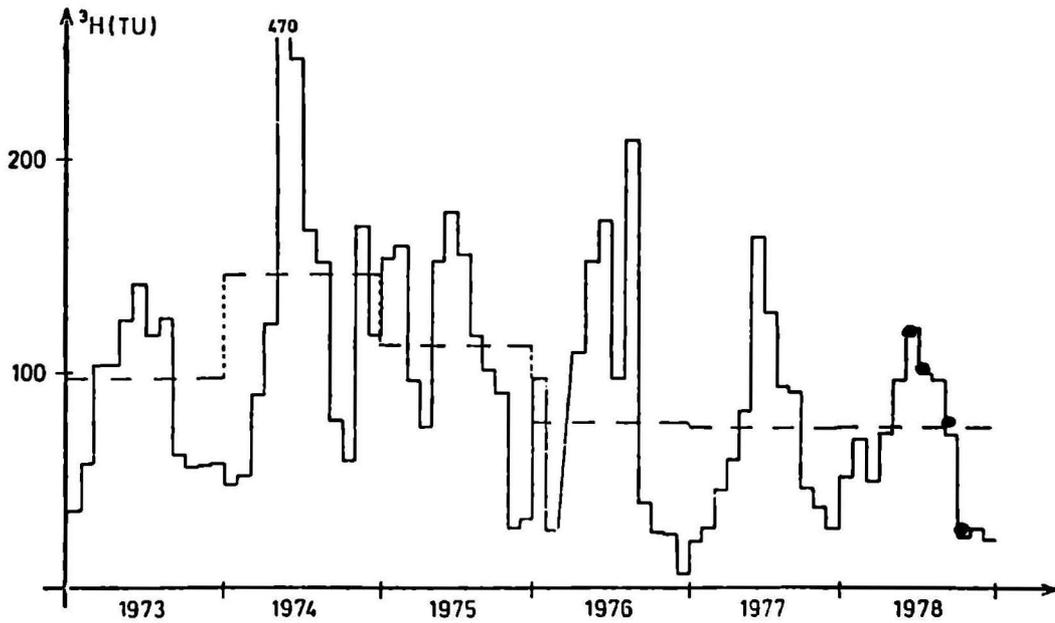


Abb.2: Tritiumwerte im Niederschlag der Stationen St.Peter am Katschberg (strichliert Jahresmittel) und Monatsmittel Bergbau Radenthein (Kreise).

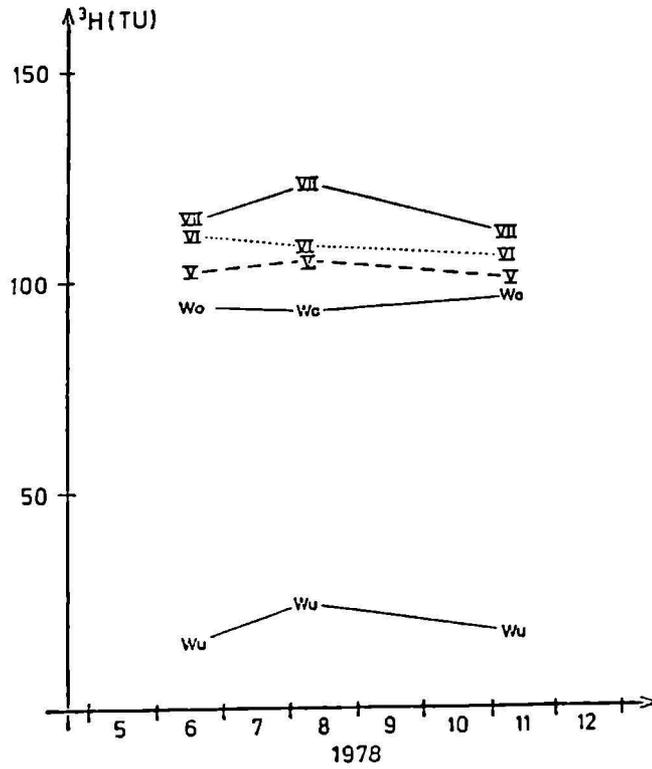


Abb.3: Tritiumgehalte von Grubenwässern

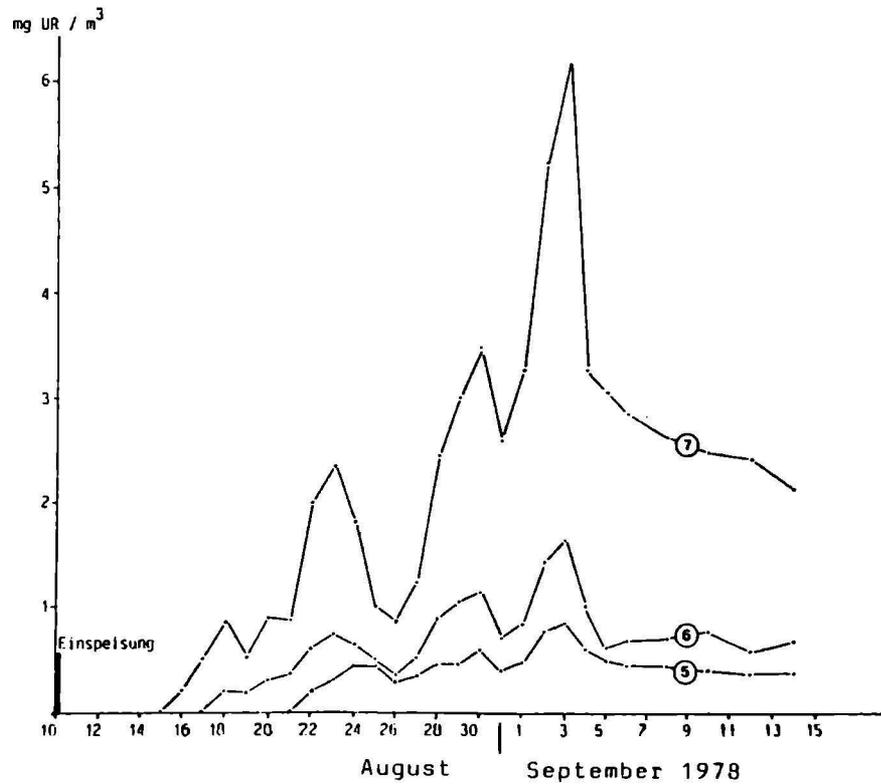


Abb.4: Zeit - Konzentration - Kurven des Uranindurchganges in den Quellen 5, 6 und 7



Abb.5: Luftbild eines Bergbaubereiches in alpinem Gelände (Vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien, Zl. L 61 178/84)

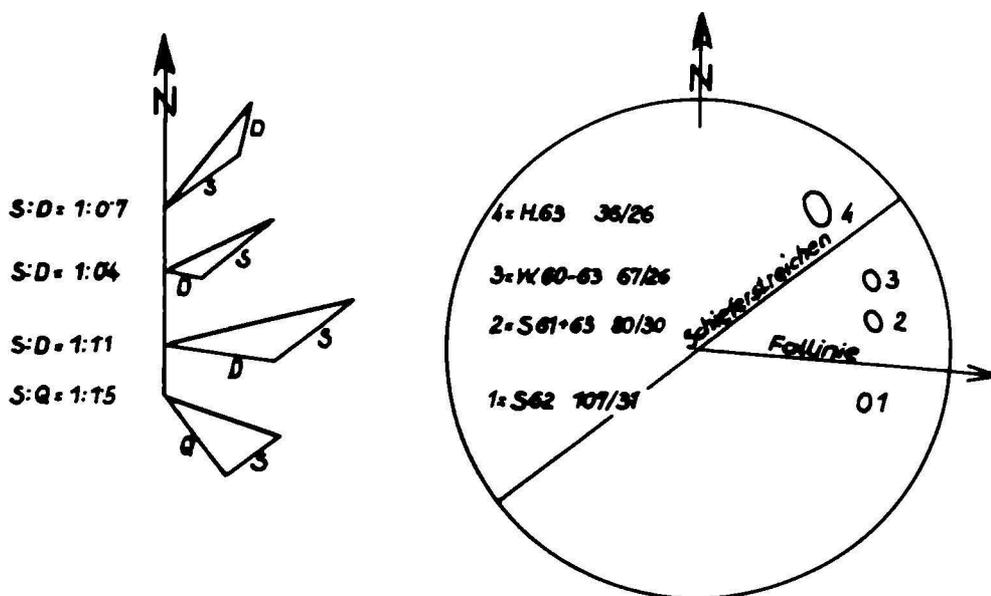


Abb.6: Richtungsmaxima, obere Meßlinie

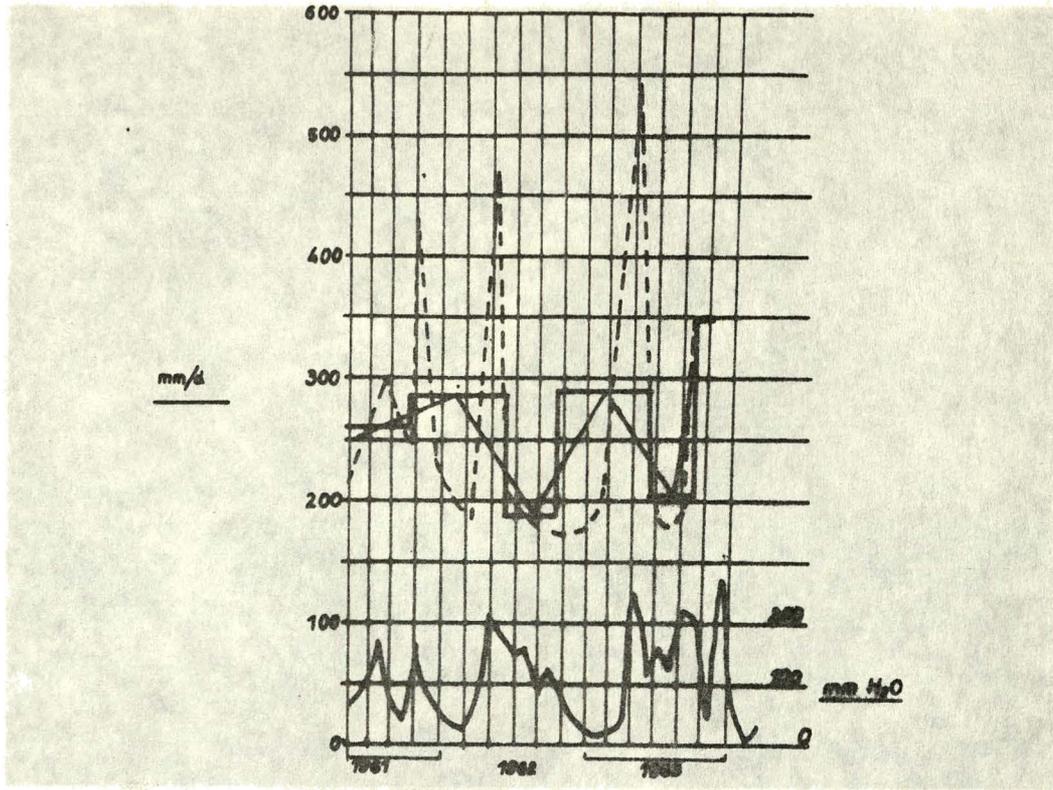


Abb.7: Möglicher Zusammenhang zwischen Gebirgsfeuchtigkeit und Bewegungsgröße

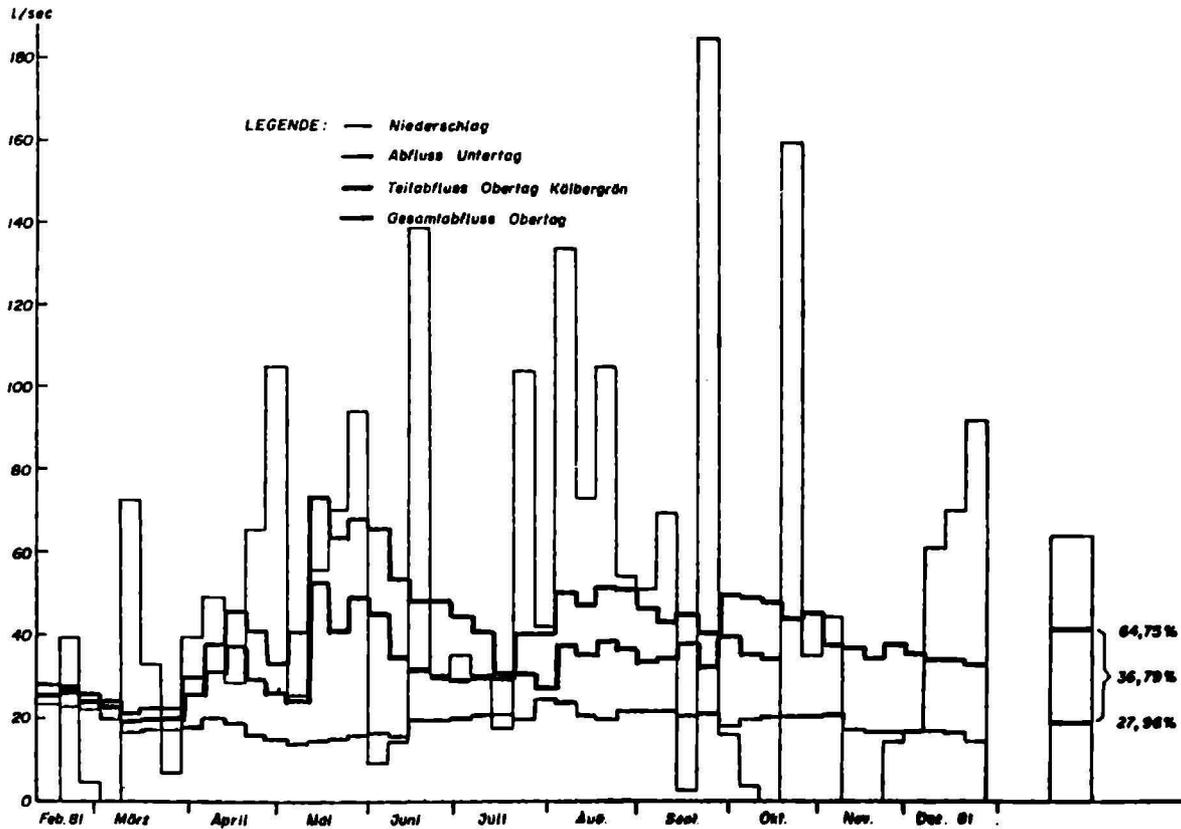


Abb.8: Wasserhaushalt

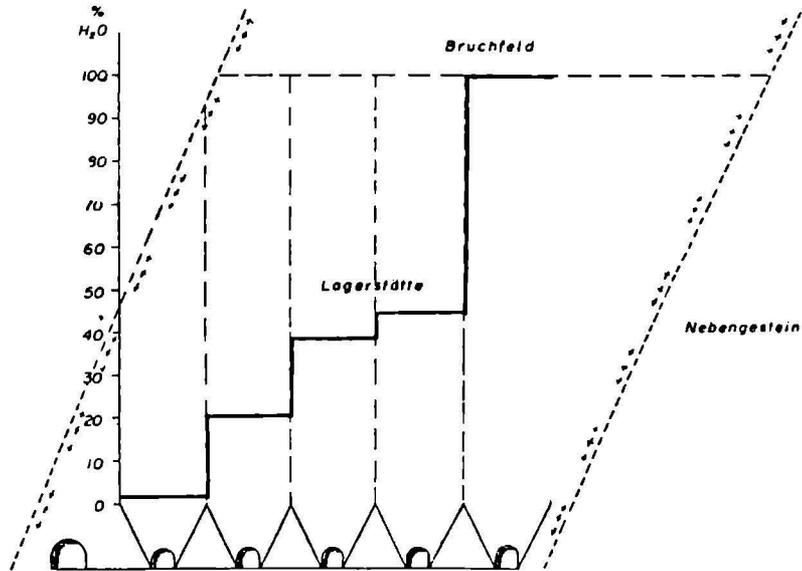


Abb.9: Lenkung des Wasserabflusses durch gezielte abbautechnische Maßnahmen im Blockbruchbau (5. Juli 1979)

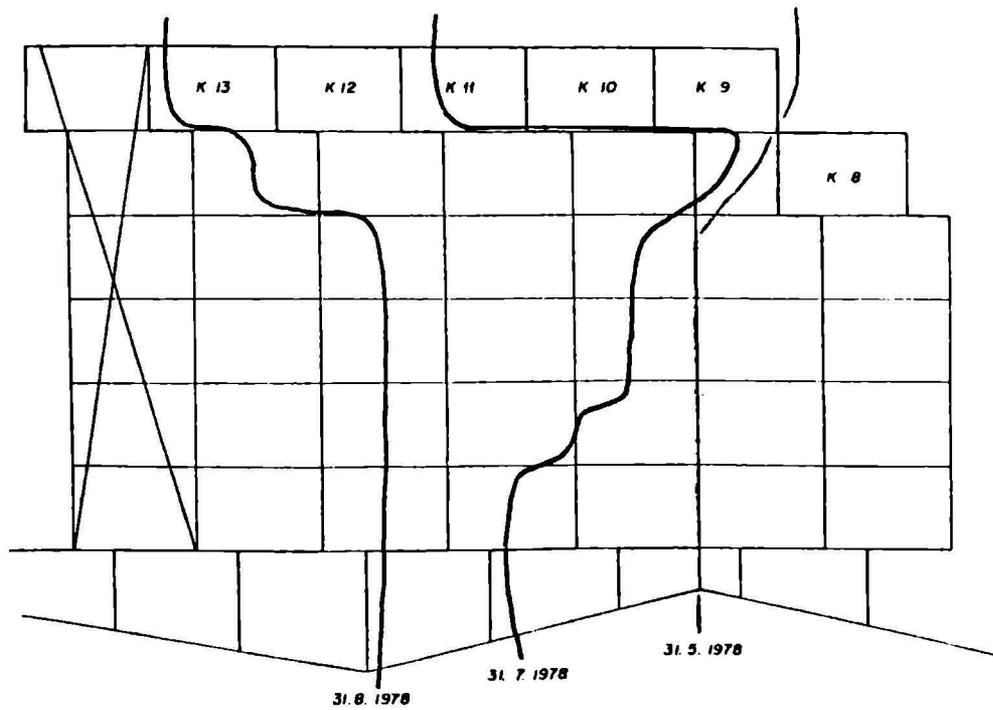


Abb.10: Abhängigkeit des Wasserzuflusses vom Abbaufortschritt

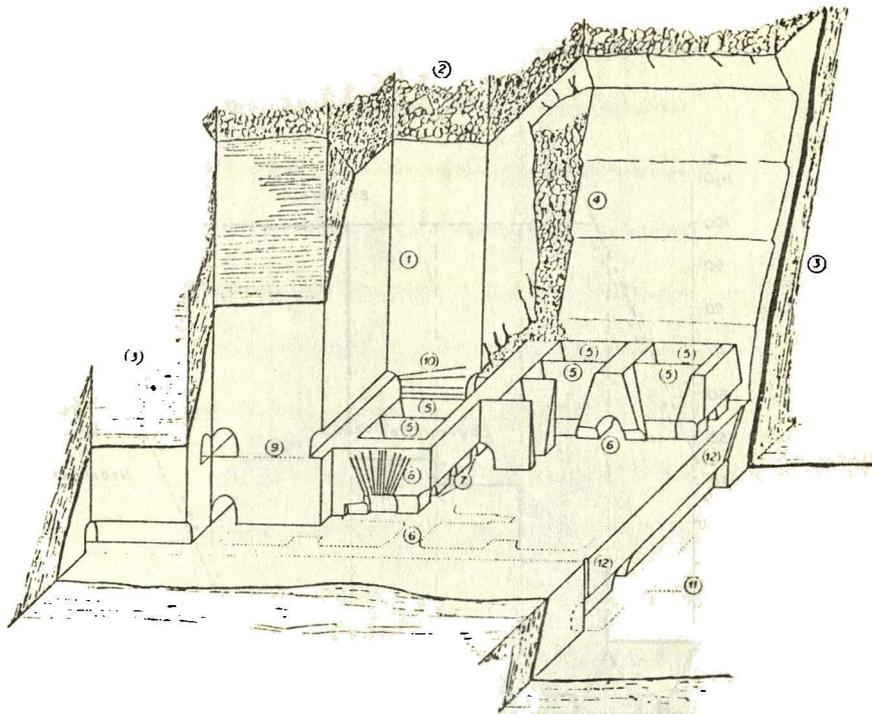


Abb.11: Abbauvorrichtung alter Art

(Erläuterung: 1 Lagerstätte, 2 Bruchfeld, 3 Hangend und Liegend, 4 Schlitz, 5 Abzugstrichter, 6 Abbauförderstrecke, 7 Füllorte, 8 Fächerbohrung zur Herstellung der Trichter, 9 Streckensystem für das Einschießen, 10 Fächerbohrung für das Einschießen, 11 Entwässerungstrecke, 12 Entwässerungsbohrlöcher)

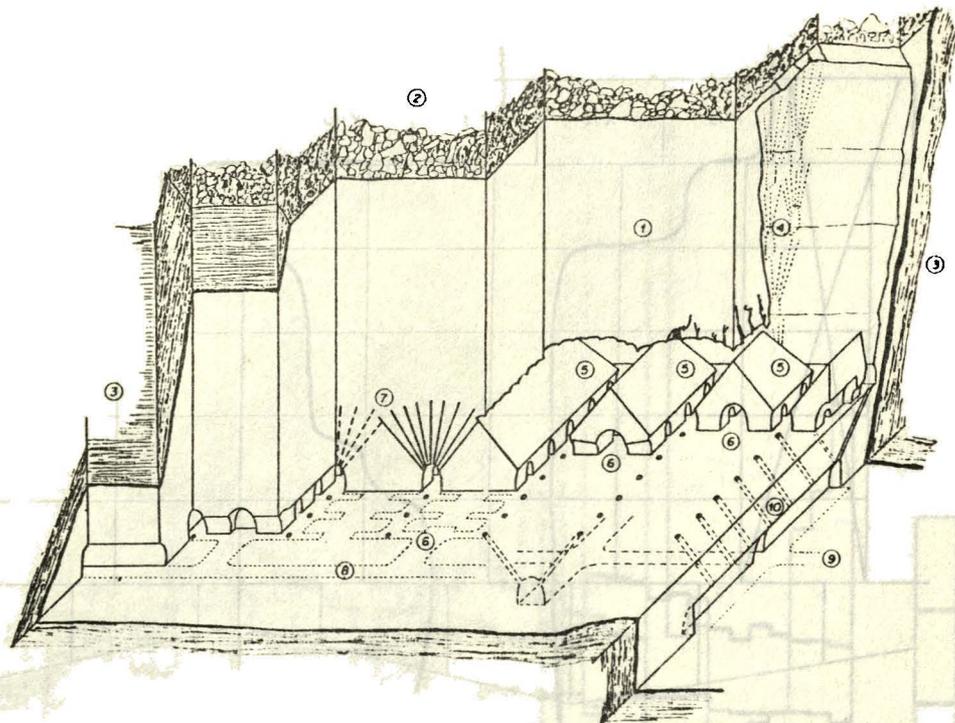
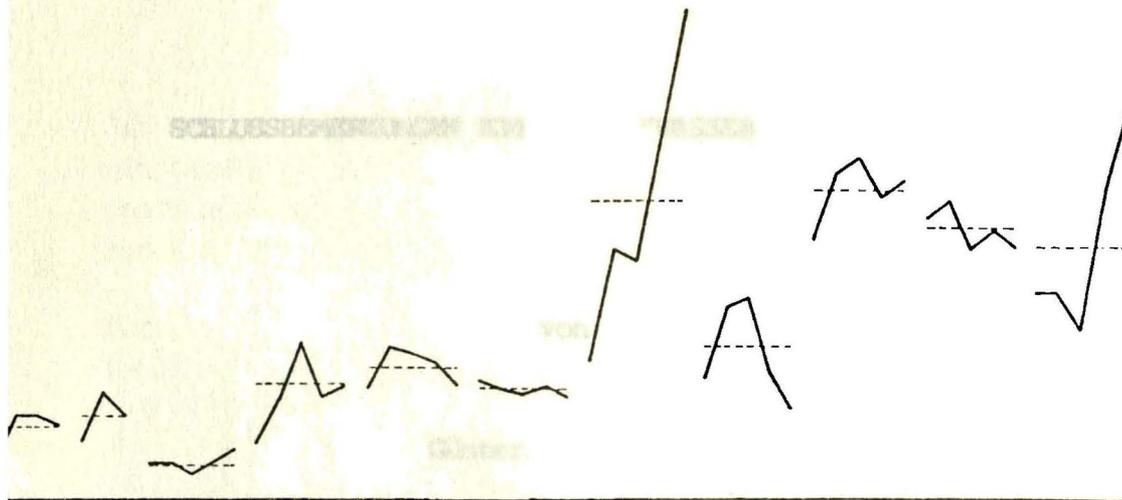


Abb.12: Abbauvorrichtung neuer Art

(Erläuterung: 5 Abzugsgräben, 7 Herstellen der Abzugsgräben, 8 Förderstrecke, 9 Entwässerungstrecke, 10 Entwässerungsbohrstrecke, 11 Entwässerungstrecke, 12 Entwässerungsbohrlöcher)



**Abb.13: Abhängigkeit der Schüttung von Arbeitszeit und
Arbeitsorganisation**