

**DAS BERGSCHLAGPROBLEM BLEIBERG AUS DER SICHT
DER GEBIRGSMECHANIK**

von

Georg Feder

Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie;
Grundlagen der Rohstoffversorgung, Heft 8, Geotechnik
und Sicherheit im Bergbau - Bergschlagforschung, Seminar
in Bad Bleiberg am 7. und 8. Juni 1984, Wien 1985.

DAS BERGSCHLAGPROBLEM BLEIBERG AUS DER SICHT DER GEBIRGSMECHANIK

von Georg Feder

1. Allgemeines

Die mannigfaltigen Erscheinungsformen des Gebirgsschlages haben wohl das abrupte Freisetzen gespeicherter Verformungsenergien gemeinsam, nicht aber die Art der dabei auftretenden **Bruchmechanismen**.

So unterscheiden sich in ihrem Verhalten die Gebirgsschläge, bei denen die Schubbrüche dominieren ganz wesentlich von jenen, die in Form von Spaltbrüchen ablaufen.

Jede dieser Erscheinungsformen hat ihre freundlichen und bedrohlichen Komponenten. So wirkt sich bei dem, über abrupte **Schubbrüche** ablaufenden Typus, die Reibung der Bruchflächen energieverzehrend, und damit in der Gefährlichkeit mildernd aus. Andererseits haben die dabei auftretenden Schubbruchformen die Fähigkeit, tief in das Gebirge einzudringen, soferne von vorneherein auch Gefügeflächen geringerer Schubfestigkeit, sogenannte "Lösen" vorhanden sind. Der in der Steinkohle heimische Keilbruchmechanismus (Abb. 1) oder der bei sehr ungleicher Lösenreibung auftretende Schalenbruchmechanismus (Abb. 2) und deren Mischform (Abb. 3) sind typische Erscheinungsformen dieser Art. Die gefährliche Folge von solchen, tief in das Gebirge rasch eindringenden Bruchzonen, ist die Fähigkeit, große Mengen von Bruchmaterial in den Hohlraum hereinzquetschen und diesen eventuell auch völlig zu füllen.

Die von **Spaltbrüchen** hingegen dominierte Erscheinungsform des Gebirgsschlages ist in besonders sprödem Gebirge beheimatet. Sie wird im alpinen Bereich als "Bergschlag" bezeichnet, von den Bleiberger Knappen auch als "Detonation" - was bereits für sich spricht. Die Spaltbrüche treten dabei als hohlraumnahe Abschalungen auf. Bei einem solchen Bruchmechanismus setzt sich die Verspannungsenergie weitgehend direkt in Bewegungsenergie um, ohne daß sie durch Reibung oder

andere Einflüsse gebremst würde. Der durch die Brisanz der Erscheinung hervorgerufenen Gefährlichkeit steht erfreulicherweise mildernd das Phänomen gegenüber, daß Spaltbrüche (Abb. 4) nicht tief in das Gebirge vordringen können, weshalb die bewegte Felsmasse ein gewisses Ausmaß nicht überschreiten kann.

2. Der Spaltbruchmechanismus

Da die Bergschläge im Bereich des Bergbaues Bleiberg zweifellos dem Spaltbruchmechanismus folgen, soll vorerst auf diesen näher eingegangen werden:

Wenn man aus **triaxialen** Belastungsversuchen die Mohr-Coulomb'sche Bruchcharakteristik in der Weise bestimmt, daß man nach jedem Versuch den, der Bruchbeanspruchung entsprechenden Spannungskreis in Mohr'scher Darstellung zeichnet, so findet man näherungsweise eine gemeinsame Tangente an diese Kreise, die sogenannte "Schubbruchcharakteristik".

Der sich aus einem **einachsigen** Druckversuch ergebende Spannungskreis berührt bei einem zu Spaltbruch neigenden Gebirge diese Schubbruchcharakteristik nicht (1). Er ist dazu wesentlich zu klein (Abb. 5). Das heißt: bevor noch ein solcher Gebirgstyp bei geringer Querstützung σ_3 die zum Schubbruch führende Druckbeanspruchung $\beta_{1s_{ch}}$ erreichen kann, versagt er bei β_{1s_p} durch Spaltbruch. Dabei spaltet sich das Gebirge in Form von Rissen auf, die etwa parallel zur größten Hauptdruckspannung verlaufen (Abb. 6). Erst mit steigender Querstützung σ_3 schlägt der Bruchmechanismus dann auf das Schubbruchverhalten (Abb. 7) um.

Nicht jedes Gebirge neigt zum Spaltbruch (Abb. 6). Die Bereitschaft, in Form eines Spaltbruchmechanismus zu versagen, hängt vorwiegend von Mikrorissen ab, die in der Richtung der größten Hauptdruckspannungen bereits vorhanden sind oder durch Inhomogenitäten entstehen. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Inhomogenität steifer oder weicher ist als die Matrix - ob sie also z.B. ein hartes Korn oder eine Pore ist.

Aus dem Spannungsfeld um Gebirgshohlräume (Abb. 8) wissen wir, daß unter stark vertikalbetontem Primärdruck die Firste und Sohle vertikal aufreißen, als Folge der dort entstehenden horizontalen sekundären Zugspannungen (2). Den gleichen Effekt findet man bei einachsigen Druckversuchen an Schlackenbeton (3). Die im Vergleich zur Matrix weiche Schaum- schlacke wirkt ähnlich einem Hohlraum, weshalb auch hier unter vertikalem Druck über und unter dem Schaum- schlackenteilchen die Matrix mit vertikalen (also parallel zur Druck- kraft verlaufenden) Rissen entfestigt wird (Abb. 9).

Sind alle Inhomogenitäten klein, dann ist aber meist dafür deren Anzahl groß. Gleiches gilt für die, von ihnen verursachten Risse. Diese vereinigen sich bei steigender Belastung untereinander und führen schließlich zum abrupten druckkraftparallelen Durchreißen - dem Spaltbruch.

Sind die Inhomogenitäten steifer als die Matrix, dann kommt es zu Rissen, die ebenfalls in Richtung der Hauptdruckspannung verlaufen, jedoch nicht vom Korn ausgehen, sondern un- mittelbar neben dem Korn an diesem vorbeilaufen. Abb. 10 zeigt die Bruchstücke nach den einachsigen Druckversuchen eines Schlackenbetons und eines Kiesbetons, wobei sich zeigt, daß in beiden Fällen deren splitterförmige Gestalt im gleichen Sinn parallel zur Hauptdruckbeanspruchung ausge- richtet ist (3).

Zum Verhindern des Spaltbruches reicht im allgemeinen be- reits eine geringe Querdruckbeanspruchung σ_3 (Querstützung) aus (Abb. 5), welche dann das Entstehen von Mikrorissen im Keime verhindert. Das Versagen erfolgt dann bei höherer Be- lastung und als Schubbruch.

3. Das Bruchverhalten des Gebirges der Bleiberger Berg- schlagzonen

Wie erwähnt, genügt im allgemeinen eine geringe Querpres- sung, um den Spaltbruch zu verhindern und um dem Druckver- sagen des Gebirges den Schubbruchmechanismus aufzuzwingen, der dann infolge der Scherflächenreibung wesentlich weniger Energie in Bewegungswucht umsetzt. Es bestand daher zunächst

die Hoffnung, mit einem aktiven Ausbaustützdruck - z.B. mit Hilfe vorgespannter Stabanker - die dazu erforderliche radiale Querpressung aufbringen zu können.

Überraschenderweise zeigten die **Triaxialversuche** bei diesem Gebirge durchwegs Spaltbrüche. Nichteinmal bei einer Querpressung von 10 N/mm^2 (1000 t/m^2) trat das Umschlagen zum Scherbruchmechanismus ein (Abb. 11). Im Vergleich dazu liegt der größte technisch und wirtschaftlich herstellbare aktive Ausbaustützdruck mit 400 kN/m^2 in einer Größenordnung von nur 4 % dieses Wertes. Es mußte daher leider die Hoffnung, den Bergschlag durch einen Ausbaustützdruck **verhindern** zu können, fallen gelassen werden.

Eine zweite erstaunliche Überraschung brachten die Meßergebnisse aus **einachsigen** Druckversuchen. Die Versuche selbst mußten wegen des schlagartigen Bruchversagens querdehnungsgesteuert gefahren werden. Die Bergbau Forschung Essen hat uns freundlicherweise diese Versuche mit ihrem besonders dazu entwickelten Gerät durchgeführt, wofür auch an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Im allgemeinen lassen die einachsialen Druckversuche ein Verhalten erkennen, wie es in Abb. 12 dargestellt ist. Dabei wird zunächst das Volumen kleiner, und erst mit dem Anlaufen innerer Auflockerungen wird es wieder größer.

Ganz im Gegenteil dazu, zeigt im einachsigen Druckversuch das Gebirgsmaterial der Bleiberger Bergschlagzonen von vorneherein zunächst konstantes und schließlich zunehmendes Volumen (Abb. 13). Dies deutet darauf hin, daß diese Zonen bereits früher einen Teil ihres anfänglichen Verformungsvermögens verbraucht haben. Die der Volumskonstanz entsprechende Querdehnungszahl von 0,5 läßt ein extrem verdichtetes Gefüge vermuten oder bereits vorhandene Mikrorisse.

4. Die Bergschlagrichtung

Wenn also ein Verhindern des Bergschlages nicht möglich ist, so wirft sich sofort die Frage nach Schutzmaßnahmen auf, welche bei überraschendem Bergschlag die Mannschaft gegen hereingeschleudertes Felsmaterial abschirmen. Desgleichen

auch nach der eventuellen Anordnung von streckenparallel verlaufenden Entlastungskerbem, in deren Tiefstem ein so hoher dreiachsiger Druckspannungszustand herrscht, daß dort vielleicht entlastende, langsame Schubbrüche auftreten könnten.

Für die praktisch ausführbare Lösung beider Fragen wäre eine sichere Prognose erforderlich, aus welcher Richtung der Bergschlag zu erwarten ist. Im Regelfall des vertikal betonten Primärdruckes käme - wie das in Abb. 8 gezeigte Spannungsfeld erkennen läßt - der Bergschlag aus den Ulmen, da dort die Zonen größter einachsiger Druckspannung liegen. In Bleibergs Bergschlagzonen ist dies aber leider nicht der Fall. Bereichsweise sind dort die tektonischen Horizontalspannungen so hoch, daß Bergschläge ebenso aus der Firste (Abb. 14), der Sohle (Abb. 15) oder der Ortsbrust kommen. Auch konnte z.B. ein aus der Ulme kommender Bergschlag durch seine Folgewirkung dessen Fortpflanzung in den Firstbereich auslösen (Abb. 16).

Es läßt sich somit in den Bleiberger Bergschlagzonen keinerlei Einschränkung der Schlagrichtung erkennen, wodurch die Aufstellung von (mobilen) Prallwänden als Schutzmaßnahme oder die Anordnung von Entlastungskerbem sinnlos wird.

5. Schlagbremsender Ausbau

Unter dem beschriebenen Verhalten der Bleiberger Bergschlagzonen bleibt als gebirgsmechanische Maßnahme zu deren Absicherung noch der schlagbremsende Ausbau. Gedacht ist dabei an Gleitanker mit Verzug. Als Gleitanker werden zur Zeit die Schlitzrohr-Typen erprobt.

Nimmt man beispielsweise im Sinne von Abb. 13 für das Gebirge eine Festigkeit von $110 \text{ N/mm}^2 = 11 \text{ kN/cm}^2$ und eine Entspannungsdehnung von $1,5 \text{ ‰}$ an, so ergibt sich daraus je cm^3 Fels eine Entspannungsenergie e_E von

$$e_E = 11 \cdot 0,0015/2 = 0,008 \text{ kN cm/cm}^3$$

Bei einer mittleren Bruchzonentiefe des Bergschlages von 0,5 m und bei einer auf jeden Anker entfallenden Einflußfläche von 1 m^2 , kommen auf einen Anker $0,5 \text{ m}^3$ verspannten Gebirges und somit eine Entspannungsenergie E von

$$E_E = e_E \cdot 0,5 \cdot 10^6 = 4000 \text{ kN cm.}$$

Bei einem Ausziehwiderstand P_A des Ankers von 80 kN wäre

somit ein Bremsweg s von

$$s = E_E / P_A = 50 \text{ cm}$$

erforderlich.

Diese grobe theoretische Abschätzung zeigt, daß dieser Weg nicht ganz unrealistisch wäre, zumal zum Ankerbremsweg auch noch der vom Verzug gebotene Bremsweg dazukommt. Die Wirklichkeit ist jedoch wesentlich schwieriger, weil die Bohrarbeit und das Setzen von Anker und Verzug aus bereits abgesicherten Bereichen erfolgen muß.

Die Entwicklungsarbeiten in dieser Richtung sind noch nicht abgeschlossen.

6. Betriebliche Maßnahmen

Hierüber wird von Herrn Berginspektor Eckhard näher berichtet. Die bisherige Vorgangsweise, nach dem Abschlag die ungesicherte Zone über eine bestimmte Zeitspanne nicht zu befahren, ist zur Zeit noch immer die verlässlichste Maßnahme.

7. Bergschlagvorwarnung

Über die Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet wird Herr Dr. Hick berichten.

8. Zusammenfassung

Die Bleiberger Bergschlagzonen befinden sich in einem extrem spröden Gebirge, welches außerdem beachtlichen tektonischen Horizontalspannungen ausgesetzt ist. Die Gebirgsschläge laufen dort als Spaltbrüche ab und zeigen keine bevorzugte Richtung. Ein Verhindern des "Bergschlages" durch aktiv wirkenden Ausbaustützdruck, hat sich wegen der großen erforderlichen Kräfte als technisch nicht ausführbar erwiesen. Ein Abfangen des abgeschleuderten Materials mit Hilfe eines Gleitankerausbaues mit Gitterverzug wird zurzeit erprobt.

Literatur:

- (1) Feder, G.: Gebirgsverhalten infolge von Hohlräumbildungen. - Grundlagen der Rohstoffversorgung 5, 1 - 13, Wien 1980.
- (2) Feder, G.: Einführung zur Problematik der gebirgsmechanischen Meßtechnik. - Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 127, 89 - 93, Wien 1982.
- (3) Lusche, M.: Beitrag zum Bruchmechanismus von auf Druck beanspruchtem Normal- und Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge. Betonverlag Düsseldorf, 1972.

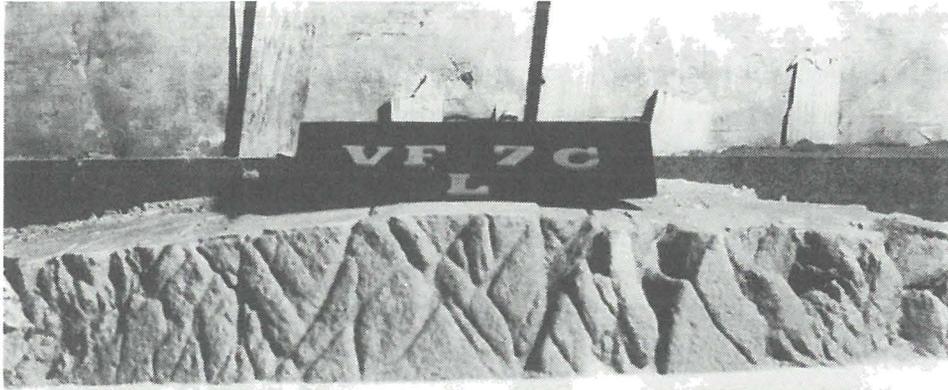


Abb. 1: Keilbruchmechanismus beim schlagartigen Ausquetschen einer Weichzone (Flöz) im Bereich eines Pfeilers. Modellaufnahme aus der Diplomarbeit J. Kogler des Institutes für Konstruktiven Tiefbau der Montanuniversität Leoben.

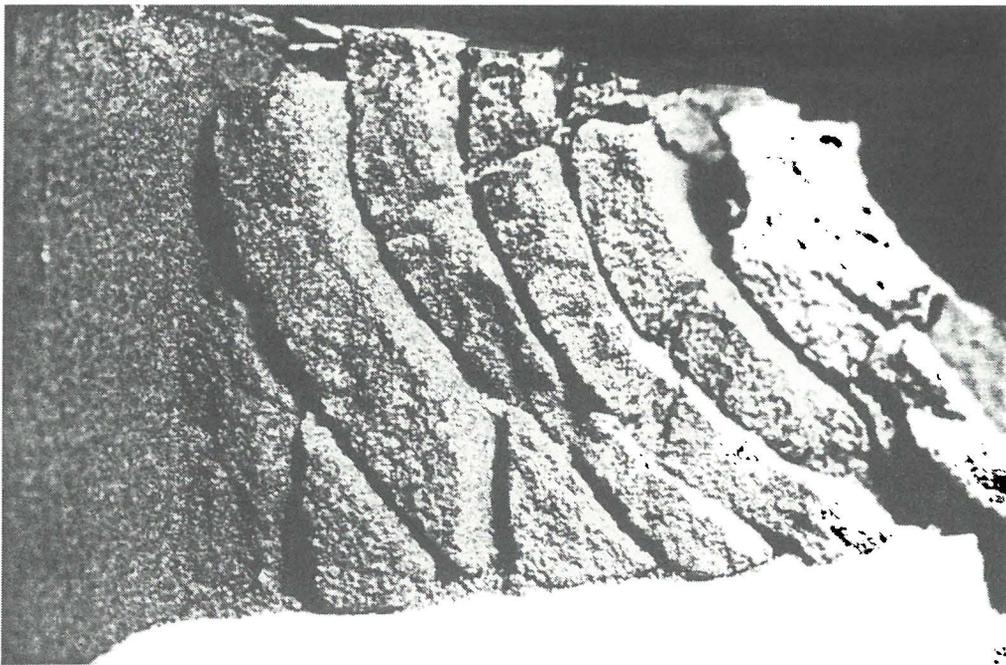


Abb. 2: Schalenbruchmechanismus unter ähnlichen Verhältnissen wie Abb. 1 aber mit größerer Reibung in den Lösen, insbesondere an der Firste.

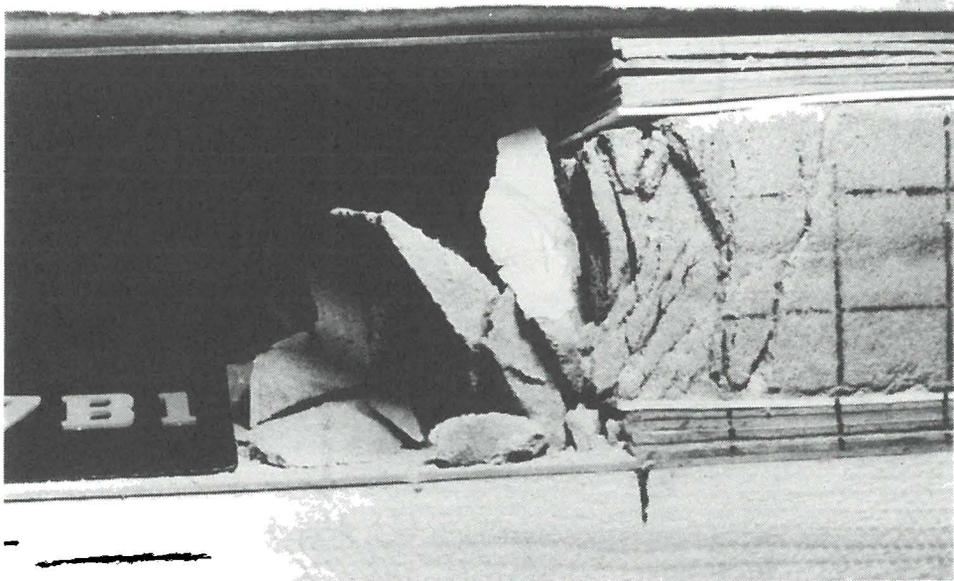


Abb. 3: Mischbruch: Nach anfänglichem Schalenbruch Übergang zum Keilbruchmechanismus



Abb. 4: Spaltbruchmechanismus: Scharfkantige, scherbenähnliche Bruchstücke, splintern geräuschvoll ab.

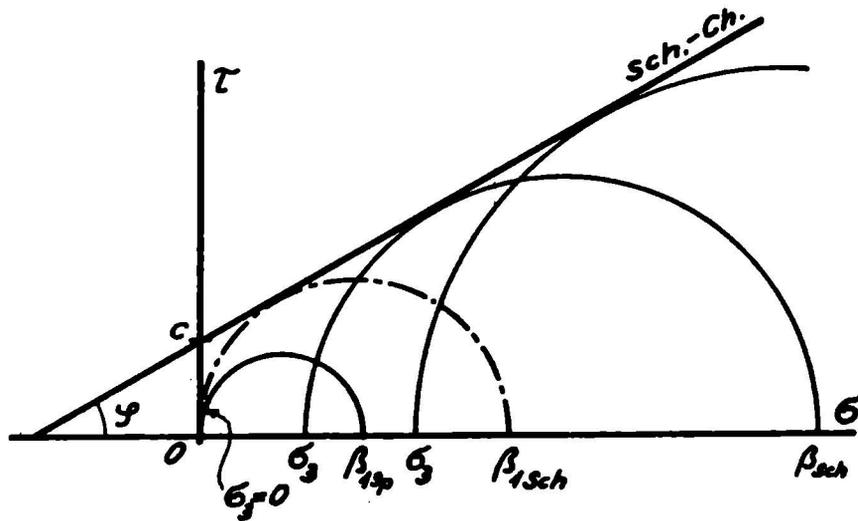


Abb. 5: Bruchspannungszustände bei Scher- und Spaltbruchversagen

- σ_3 Querstützende Spannung
- β_{1sp} Längsspannung bei Spaltbruchversagen und $\sigma_3 = 0$
- β_{1sch} Längsspannung bei Schubbruchversagen und $\sigma_3 = 0$
- Sch.-Ch. Schubbruchcharakteristik

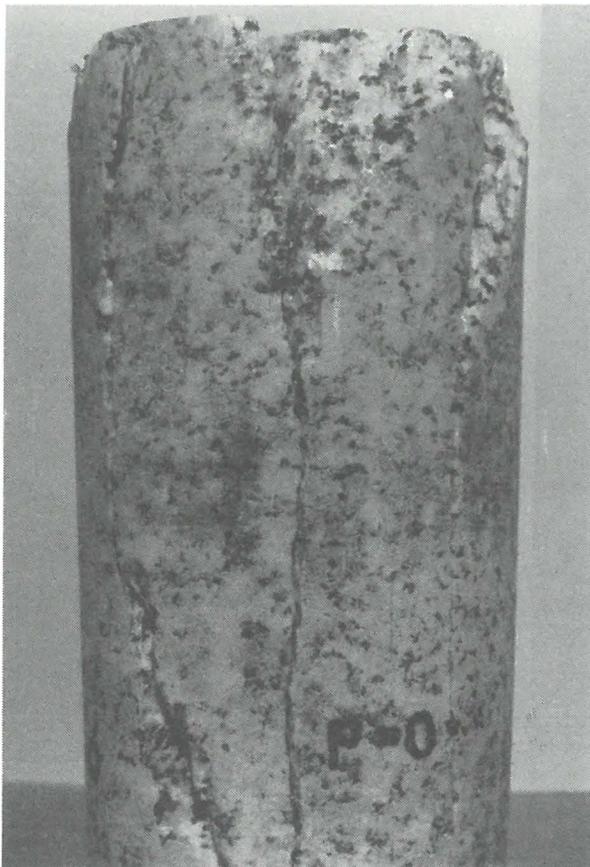


Abb. 6: Gesteinsprobe mit Spaltbruchversagen

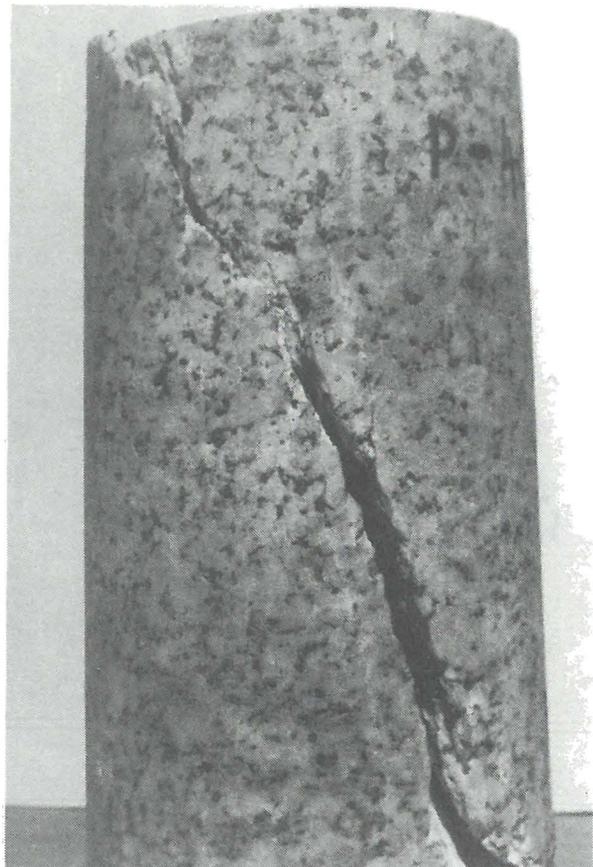
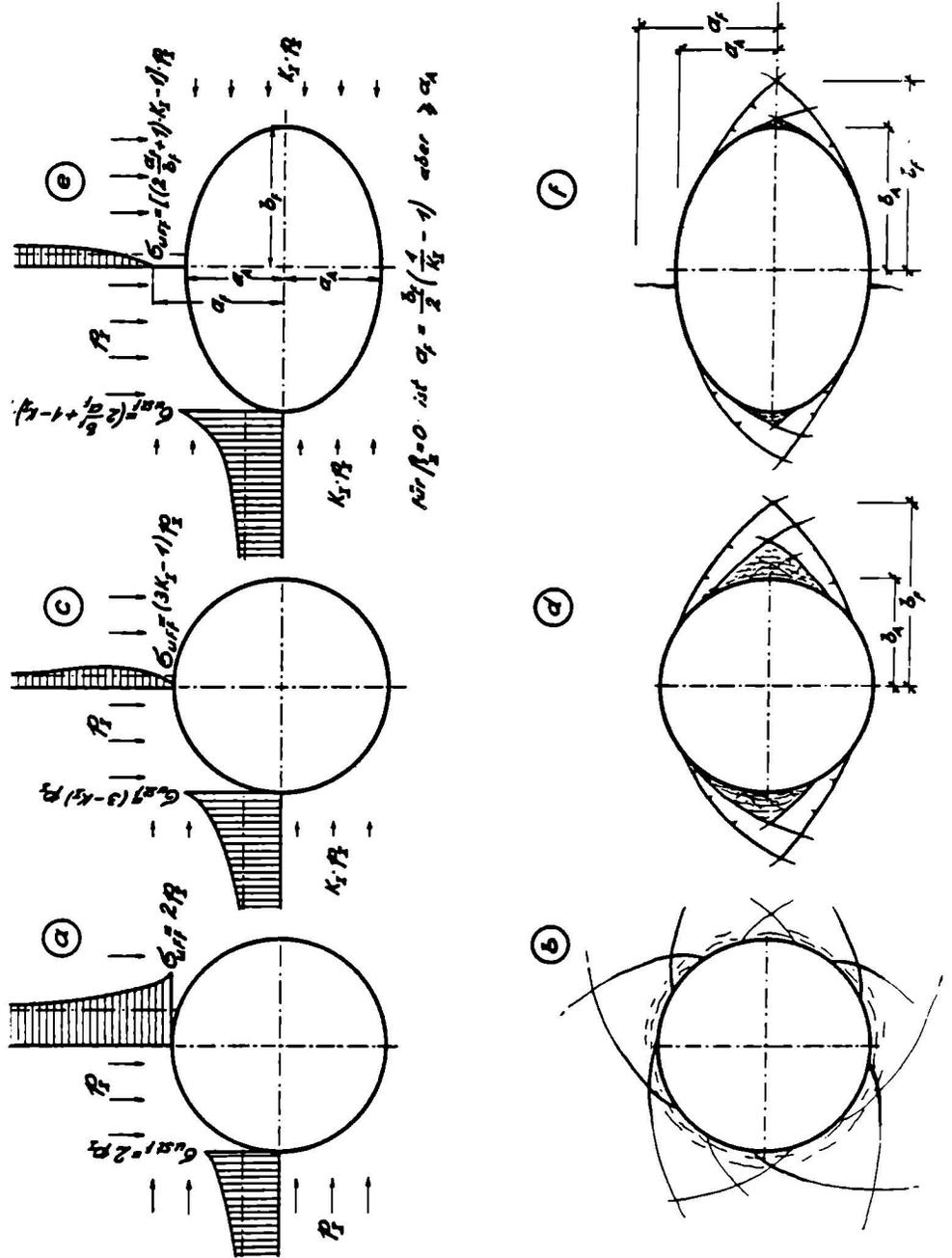


Abb. 7: Gesteinsprobe mit Schubbruchversagen

Abb. 8: Natürliche Gebirgsgewölbespannungen um Hohlräume (2)

- P_I Vertikaler Primärdruck
- $K_I \cdot P_I$ Horizontaler Primärdruck
- $\sigma_{u,Stf}, \sigma_{u,ff}$ Spannungen in Umfangsrichtung an der fest gebliebenen Kontur am Stoß bzw. First



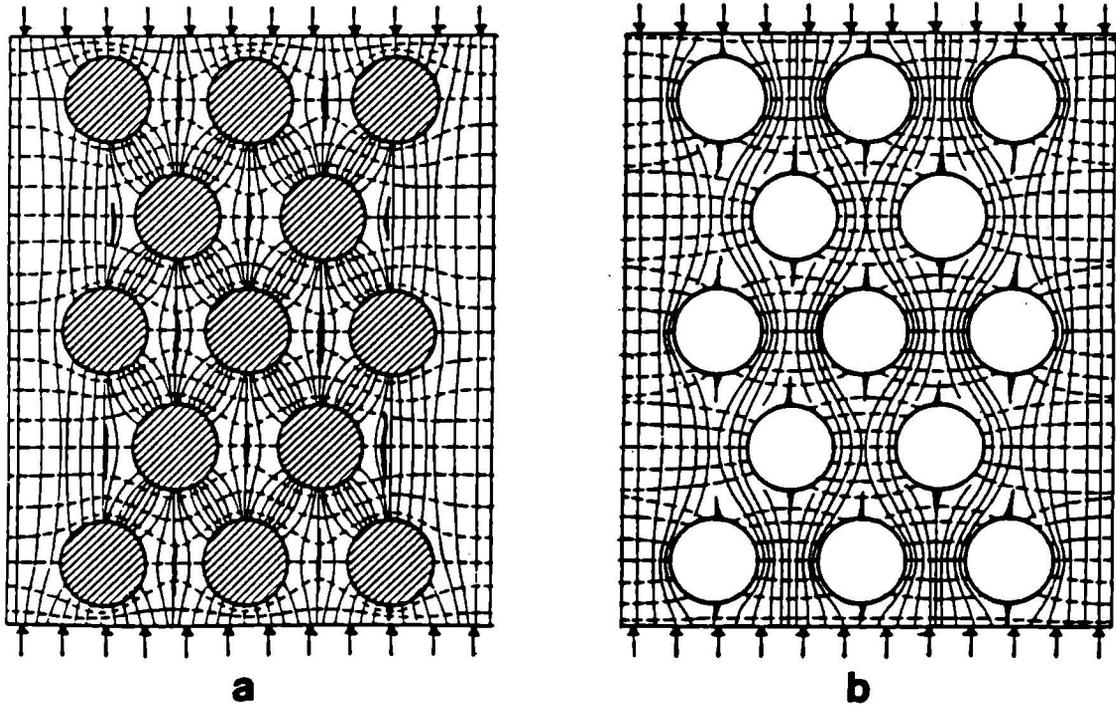


Abb. 9: Hauptspannungstrajektorien (3) und Mikrorisse an einachsig belasteten Proben

- a Korn härter als die Matrix (Kiesbeton)
- b Korn weicher als die Matrix (Leichtbeton)

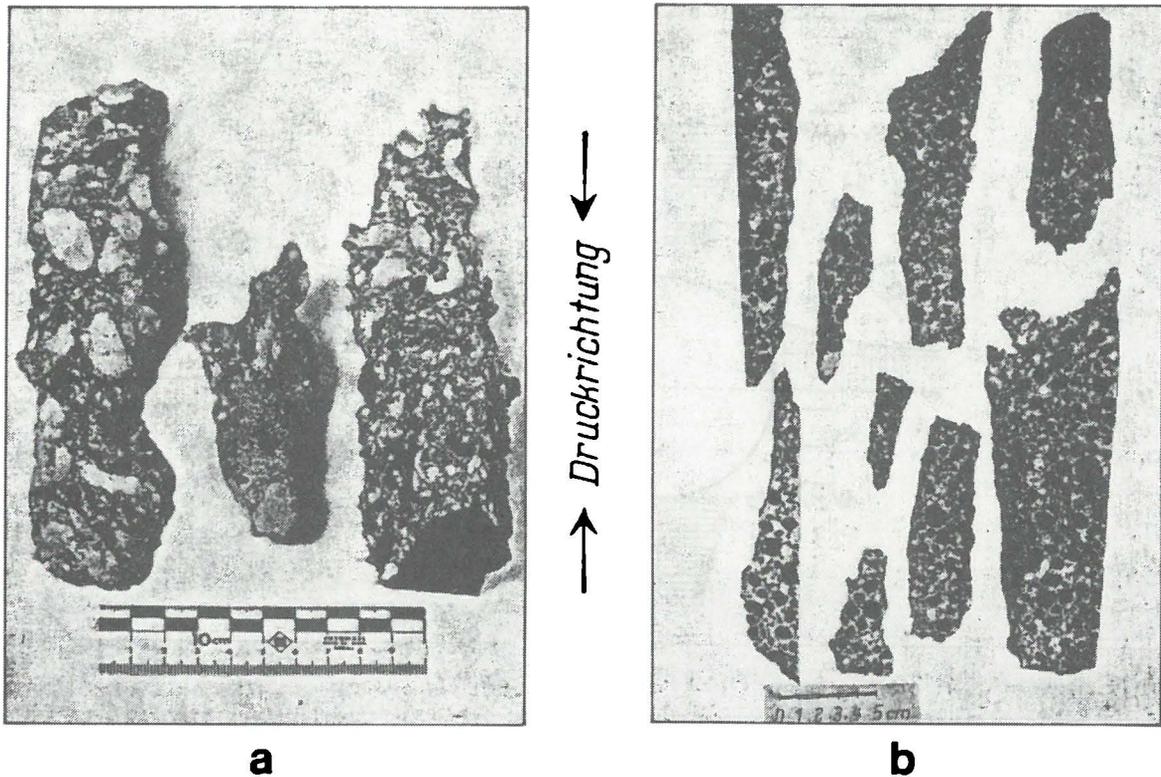


Abb.10: Bruchstücke von Kiesbeton (a) und Leichtbeton (b) nach einachsiger Belastung (3)

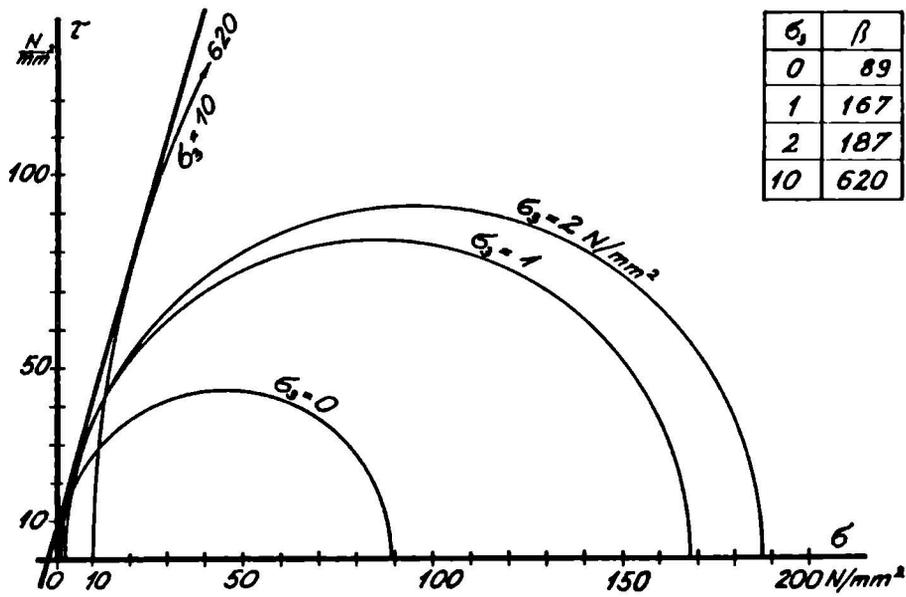


Abb.11: Ergebnisse von Triaxialversuchen an Proben aus den Bleiberger Bergschlagzonen
 σ_3 ... Querstützende Spannung
 β ... Bruchspannung in Längsrichtung

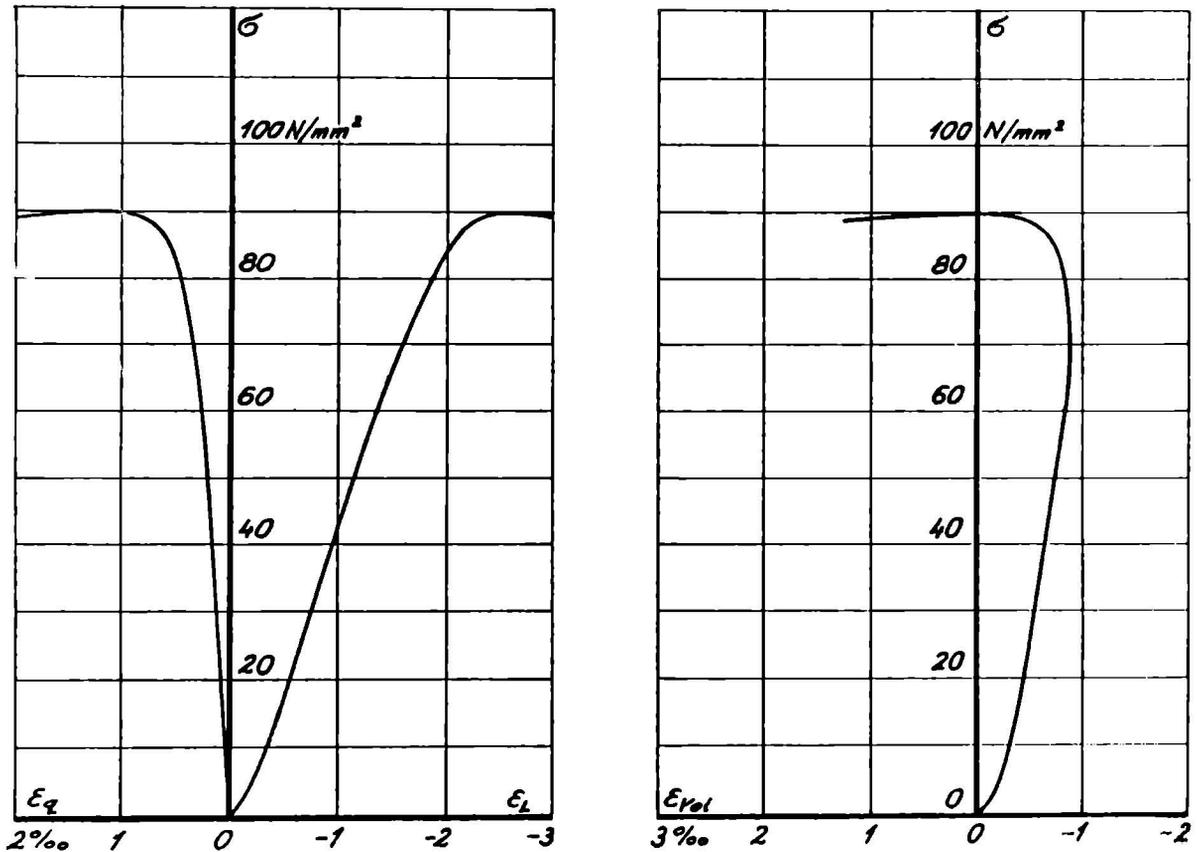


Abb.12: Das Verformungsverhalten bei normalen Gebirgseigenschaften
 ϵ_L ... Längsdehnung
 ϵ_q ... Querdehnung
 ϵ_{Vol} ... Volumsdehnung

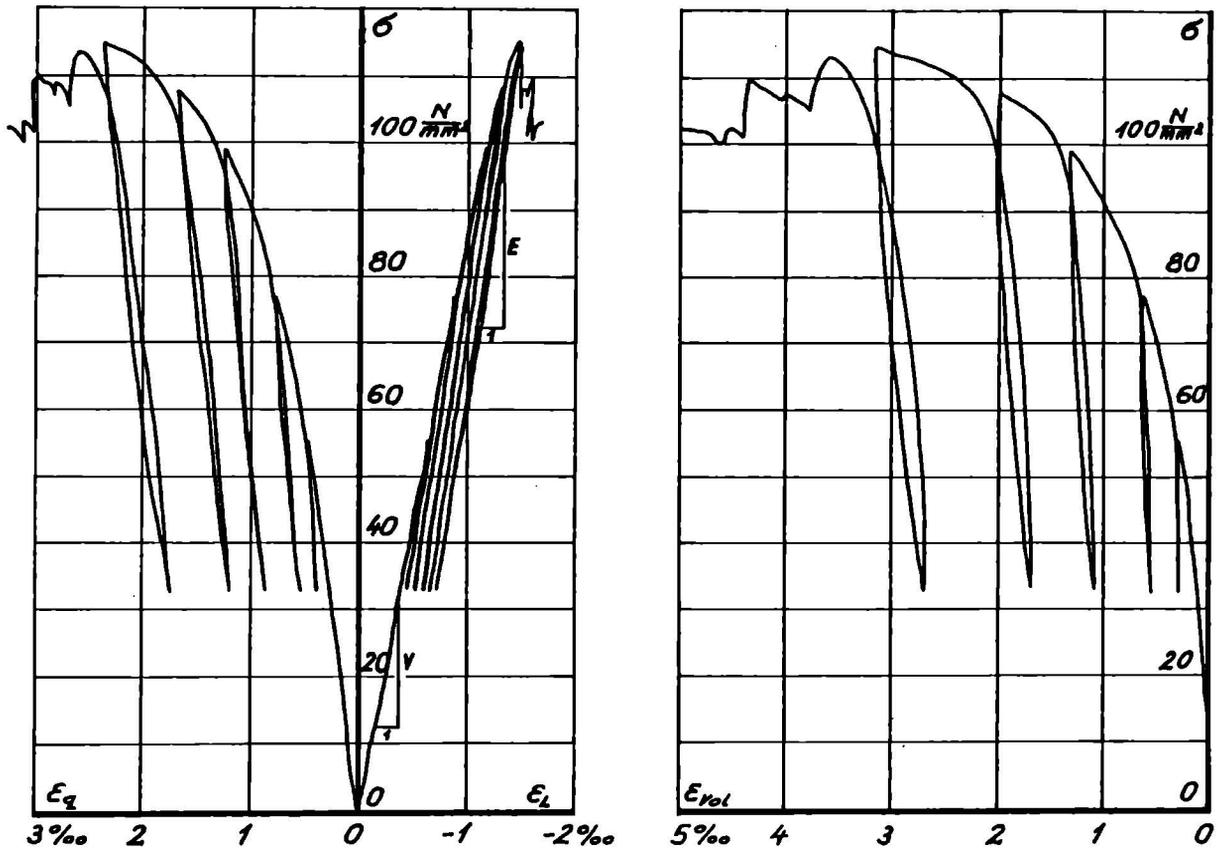


Abb.13: Das Verformungsverhalten im einachsigen Druckversuch bei Proben aus den Bleiberger Bergschlagzonen (Zeichenerklärung vgl. Abb. 12)

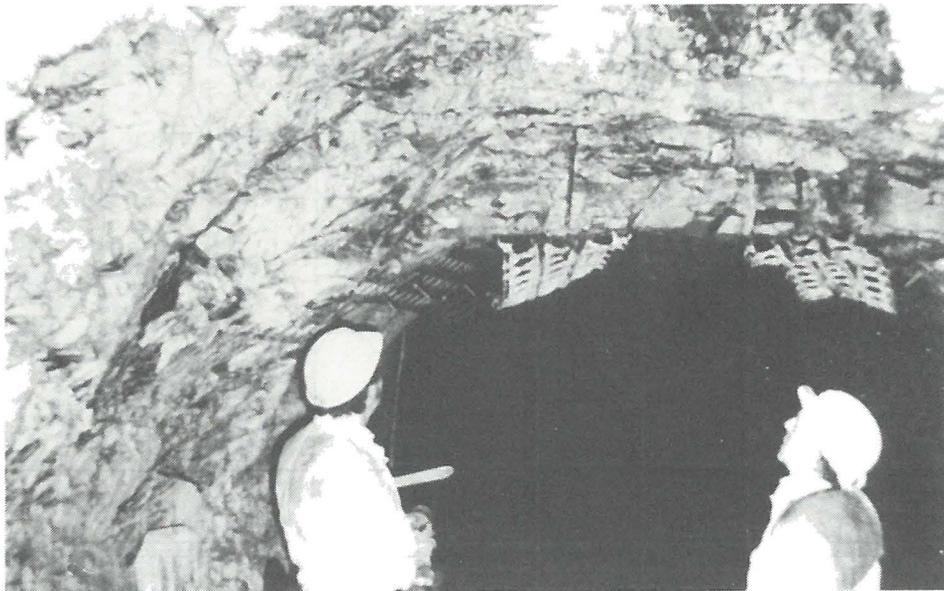
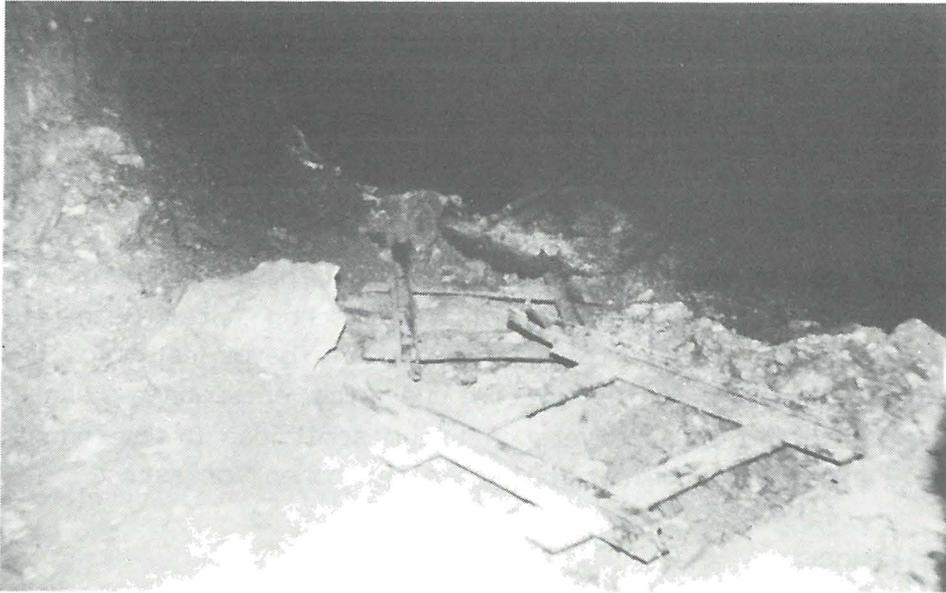
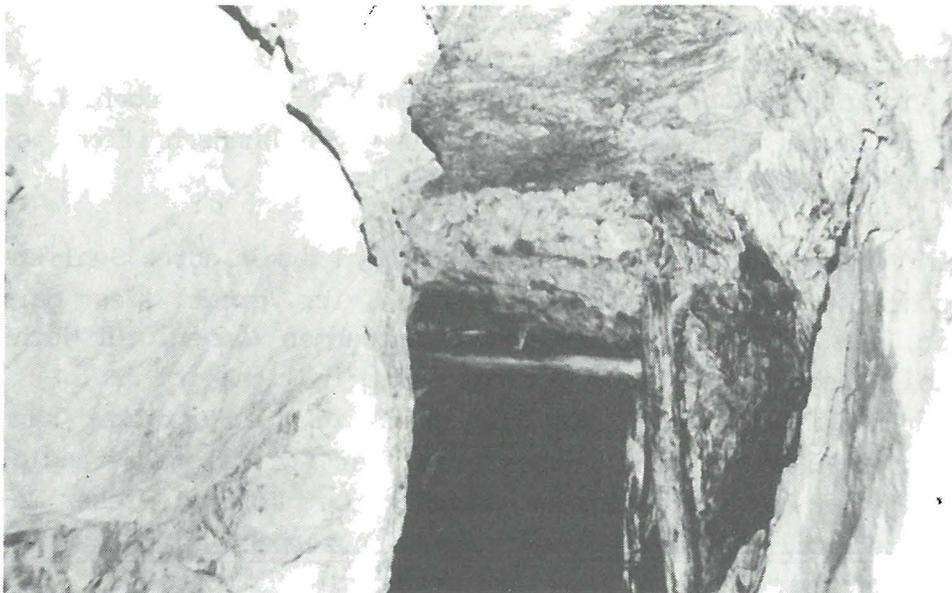


Abb.14: Angespaltene Randzone nach einem Bergschlag aus der Firste



**Abb.15: Mehrfach abgeschlagener Schienenstrang
nach einem Bergschlag aus der Sohle**



**Abb.16: Streckenquerschnitt nach einem Bergschlag
aus der Ulme, der sich in die Firste fortsetzte**

DISKUSSION

F. Kohlbeck:

Die gezeigten Ergebnisse der einachsigen Druckversuche stehen im Widerspruch zu dem erfahrungsgemäß zu erwartenden Verhalten von Gesteinsproben. Wie ist dies zu erklären?

G. Feder:

Die Proben stammen aus Blöcken aus den Bergschlagzonen. Dieses Gebirgsmaterial ist offenbar schon unter Beanspruchungen nahe der Bruchgrenze gestanden, bevor es durch den Streckenvortrieb gelöst wurde und sich entspannen konnte. Das Verhalten im Laborversuch trägt somit das Erscheinungsbild einer Wiederbelastung nach einer hohen Vorlast.

H. Wagner:

Es liegt hier das Problem der Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Gesteinsproben aus hochbeanspruchten Gebirgsbereichen vor. Vielfach sind die Gesteinsproben bereits unter Tage überbeansprucht worden und man bestimmt im Prüfversuch die Festigkeit einer vorbelasteten Probe. Sowohl die Festigkeit als auch das Last-Verformungsverhalten derartiger Proben entsprechen nicht dem einer intakten Gesteinsprobe. Die Unterschiede können sehr bedeutend sein. Die Orientierung und Anzahl der in der Gesteinsprobe vorhandenen Risse kann Aufschluß über die Vorgeschichte der Probe geben. Dies kann durch systematische Auswertung von Dünnschliffen geschehen, wobei man die Risse auszählt.

Im Vortrag wurde die Sicherung von Hohlräumen durch Schlitzrohranker (Splittsets) angeschnitten, ihr Vorteil liegt darin, daß sie große Querbewegungen aufnehmen können, ihr Nachteil liegt in der hohen Korrosionsempfindlichkeit.

Durch Einzementieren von Stabankern in die Rohranker kann man eine wesentliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und der Zugfestigkeit erzielen. Der Vorteil dieser Methode ist, daß keine zusätzlichen Ankerbohrlöcher gebohrt werden müssen. Im Allgemeinen werden die Stabanker in einer

Entfernung von zwei bis drei Streckendurchmesser vom Vortriebsort eingebracht, während die Rohranker unmittelbar nach dem Abschlag, d.h. in einer Entfernung von weniger als einem Streckendurchmesser eingebaut werden.

G. Feder:

Ein besonderes Problem stellt das Abreißen der Schlitzrohranker im Bereich der ersten 30 cm von der Lochmündung dar.

H. Wagner:

Ein Ausbau soll in der Lage sein, Verformungen aufzunehmen. Die konventionellen Ausbausysteme, wie sie im Tunnelbau zum Einsatz kommen, sind in bergschlaggefährdeten Bereichen ungünstig. Anker haben den Vorteil, unmittelbar auf das Gebirge zu wirken, sie können aber nur geringe Verformungen aufnehmen. Günstig sind jedoch Ankersysteme, die große Verformungen aufnehmen können. Hierher gehören z.B. nachgiebige, glatte Anker, die einzementiert werden. Der Nachteil glatter Ankerstangen ist der verhältnismäßig geringe Widerstand gegen Gebirgsbewegungen. Dieser kann bedeutend erhöht werden indem man die Ankerstangen lokal verformt. Bei Aufnahme der Belastung müssen diese verformten Ankerstangen den umgebenden Zementring gewissermaßen "zerspanen". Die Ankerzugkraft kann durch die Anzahl der verformten Ankerabschnitte beliebig verändert werden. Ein weiterer brauchbarer Verbundausbau besteht aus Ankern und Maschendrahtgewebe oder Ankern, die durch Seile miteinander verbunden werden bzw. Kombination der genannten Systeme.

R. von Velsen-Zerweck:

Die Anker sollen einen Zusammenschluß der Schichtpakete durch Reibschluß bewirken. Eine plötzliche Entspannung kann jedoch in vielen Fällen durch Ankerung nicht verhindert werden. Beispielsweise können zur "natürlichen" Entspannung durch Auswandern der Kohle die strebseitigen Stöße der beiden Abbaustrecken im Strebvorfeld im Bereich des Flözes vom Hangenden bis zum Liegenden gelüftet werden und es kann ständig ein Abstand von 0,3 m zwischen Kohlenstoß und Streckenstempel freigehalten werden. Eine Ankerung im Kohlenbergbau kann die Entspannung verhindern und so in der Folge zu Bergschäden führen.

G. Feder:

Dieser Einwand wäre voll berechtigt, würde es sich um ein Flöz und geschichtetes Begleitgebirge eines Kohlebergbaues handeln, wo der Gebirgsschlag als Schubbruchmechanismus im Sinne von Abb. 1 bis 3 zwischen Lösen abläuft. In den Bleiberger Bergschlagzonen ist hingegen das Gebirge eher richtungslos. Es kommt hier nicht zum Ausquetschen einer Weichschicht, sondern zum Absplittern von Schalenserien aus dem spröden Nahbereich des Ausbruchrandes. Beim Kohleflöz ist dessen (langsames) Ausquetschen erwünscht, weil die damit verbundene "plastische" Verkleinerung der Flözmächtigkeit die hohen vertikalen Druckbeanspruchungen in hohlraumfernere stabilere Bereiche umlagert. Eine Ankerung, die dieses Ausquetschen verhindert, wäre hier in Hinblick auf den Gebirgsschlag sicher fehl am Platz. Beim Bergschlag der Bleiberger Art gibt es das entspannende "plastische" Ausquetschen in dieser Form nicht, weil das Gebirge für den Schubbruch zu spröde ist. Der für sprödes Gebirge typische Spaltbruch bietet aber keine nennenswerte entlastende "Plastizierung" und daher auch keine entlastende Spannungsumlagerung, weshalb hier eine Ankerung unschädlich ist. Ihre Aufgabe wäre hier, wie bereits dargelegt: entweder die vorausgehenden Mikrorisse zu verhindern oder anderenfalls: die abgeschleuderten Spaltbruchkörper abzufangen.