

## GEBIRGSSPANNUNGEN UND BERGSCHLÄGE

von

Franz Kohlbeck und Adrian Eugen Scheidegger

---

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.



## GEBIRGSSPANNUNGEN UND BERGSCHLÄGE

von Franz Kohlbeck und Adrian Eugen Scheidegger

### Abstract

#### Rock stresses and rock bursts

The paper reviews the present-day state of the knowledge in the field of the rock bursts, particularly in connection with the stresses existing in mines. It is shown that the buildup and preparation of rock bursts depends on the prevailing stress field, on the geologic structure of the area, on the degree of homogeneity of the rock and on the creep properties of the material. The situation is explained on hand of the example of Bleiberg (Carinthia): The pattern of the regional stresses near Bleiberg was determined from joint orientation and in situ measurements. Determinations of the change of the stress pattern were attempted by means of strain gauges, with promising results. Regarding the predictability of rock bursts, only a general assessment of the probability, not however an exact prediction of the time and place of the latter, was shown to be possible at present.

"Gebirgsschlag" ist der Name, mit dem jeder plötzliche Felsbruch bezeichnet wird, der sich in explosionsartiger Weise ereignet (13). Ein Gebirgsschlag kann sich in der Größenordnung von einem kleinräumigen, schlagartigen "Auswurf" aus einer Wand bis zu einem großräumigen Zusammenbruch eines ganzen Grubenrevieres bewegen. Die schlagartige Auslösung kommt offensichtlich durch plötzliches Freiwerden einer beträchtlichen Energiemenge zustande.

Gebirgsschläge wurden in vielen Teilen der Welt beobachtet und beschrieben. Sie ereignen sich im Metallerz (28) und Kohleabbau (26, 36), ja sogar Salzbergwerken (33). So sind sie auch im alpinen Blei-Zinkerzbergbau bei Bleiberg eine Gefahr (23, 34, 35).

Da nicht alle Gebirgsschläge sichtbare Effekte hervorrufen, wird die Bestimmung des Zeitpunktes und Ortes ihres Eintretens meistens auf Grund der von ihnen ausgehenden seismisch-akustischen Signale bewerkstelligt. Die einschlägigen Methoden zu diesem Behufe wurden z.B. von Milne und White (19) mit Bezug auf ein Kohlenbergwerk in Alberta, von Cook (7) mit Bezug auf eine tiefliegende Goldmine in Südafrika, und von Bath und Wahlström (1, 37) mit Bezug auf einen schwedischen Eisenerzabbau beschrieben. Auf diese Weise können "Zeitserien" von Gebirgsschlägen gewonnen werden.

Zur Mechanik der Gebirgsschläge ist zu sagen, daß sie gemeiniglich als sich plötzlich ereignende Scherbrüche betrachtet werden (13). Diese entstehen in Folge von Spannungskonzentrationen, welche durch Spannungsumlagerungen bedingt sind, die durch den Abbau verursacht werden. Hier besteht dann eine gewisse Kontroverse, ob der First einer Strecke mechanisch eher als ein Gewölbe oder als ein Balken zu betrachten sei (4). Jedenfalls kann gesagt werden, daß sich ein Gebirgsschlag immer dann ereignet, wenn die durch den Bau der Strecke freigesetzte elastische Energie pro Zeiteinheit größer ist als die nichtexplosive Dissipationsrate dieser Energie, welche sich aus der Bewegung der Felsmassen in den entstandenen oder vergrößerten Hohlraum hinein ableitet (8).

Für den Ablauf des eigentlichen Bruchvorganges gibt es Hypothesen. So nimmt Nocke (20) an, daß die Vorgänge durch einen spontanen Entlastungsbruch im Liegenden eingeleitet werden; infolge der Bewegungen desselben verliert dann das Hangende seine feste Auflage und wird instabil. So entlädt sich die gespeicherte elastische Energie. Das dynamische Instabilitätsproblem wurde von Zubelewicz und Mroz (40) numerisch simuliert.

Das Verhältnis der mechanischen Vorgänge, die bei Gebirgsschlägen impliziert sind, führt einen sogleich auf allgemeine Bemerkungen mit Bezug auf Bergschlagrisiko und Vorhersage.

So ist es einmal klar, daß vorhandene hohe regionale neotektonische Spannungen das Auftreten von Gebirgsschlägen begünstigen. Das allgemeine Risiko für das Entstehen von Gebirgsschlägen muß daher als in den vorliegenden neotektonischen Bedingungen begründet angenommen werden. Eine Kenntnis der letzteren ist daher für jede Diskussion des Problems unerlässlich (26). Der zum Teil tektonisch und zum Teil durch das überlagerte Gestein bedingte Gebirgsdruck ist letztlich die Ursache der Gebirgsschläge (5). Die durch einen geplanten Abbau induzierten Spannungskonzentrationen können durch Rechnungen abgeschätzt werden. Dies kann mittels komplizierter numerischer Methoden bewerkstelligt werden (12).

Um zu einer eigentlichen Vorhersage von Gebirgsschlägen zu kommen, muß man darauf hinweisen, daß es Veränderungen im Spannungsfeld sind, die diese Ereignisse bedingen: Ein Zustand bleibt stabil, wenn er nicht irgendwie verändert ("gestört") wird. Solche "Störungen" können natürlich durch menschliche Aktivitäten wie Streckenvortrieb oder Abbau, aber auch durch primäre tektonische Vorgänge (Alpenhebung, Plattendrift) verursacht werden. Man wird also danach trachten, die Veränderungen des Gebirgsdruckes irgendwie festzustellen.

Man kann auch versuchen, Hinweise darauf zu erhalten, ob der Spannungszustand nahe an die Bruchgrenze hintendiert. Als solche Hinweise wurden gemeiniglich die Rate von kleinen seismoakustischen Emissionen betrachtet (2, 6, 22, 29, 39). Hierbei ist es aber gar nicht klar, ob ein Anwachsen dieser Rate eine Vergrößerung von Spannungskonzentrationen und damit der Gefahr, oder gar eine Vermehrung von Entspannungsvorgängen und damit eine Verringerung der Gefahr andeutet. Es wurden daher auch andere potentielle "Vorboten" von Gebirgsschlägen gesucht, wie der Konvergenzverlauf in Hohlräumen (30) und die zeitliche Änderung von Schwerebeschleunigungswerten (10). Solche Änderungen könnten durch Dilatanzerscheinungen vor einem Bruch verursacht werden. Wie bei der Erdbebenvorhersage sind aber solche "Vorboten" nicht sehr vertrauenswürdig. Eine einschlägige Vorhersage könnte nur auf einer direkten Kenntnis der lokalen Spannungen und Spannungsänderungen erhofft werden. Daher hat sich auch die Abteilung für Geophysik der Technischen Universität Wien mit solchen Fragen befaßt.

Zum Abschluß dieses allgemein einleitenden Kapitels sollte gesagt werden, daß eine Verhütung solcher Schläge ganz natürlich auf einer Verringerung der lokalen Spannungskonzentrationen bestehen sollte. Dies kann einerseits durch eine günstige Anlage der Hohlräume (13, 21, 38), andererseits durch Maßnahmen zur Entladung von Spannungskonzentrationen ("Destressing Techniques", "Entlastungssprengen") geschehen; - eine schon lang bekannte Methodik (3, 13, 32, 36). Das Problem ist dabei aber immer, die Spannungsverteilung vorherzusagen und zu überwachen. Das kann nur auf einer Basis der Kenntnis des stationären Spannungsfeldes und dessen Veränderungen geschehen.

## 1. Das stationäre Spannungsfeld

### 1.1 Allgemein

Als erstes ist also einmal eine Kenntnis des stationären Spannungsfeldes in einer Region von Nöten.

"Spannung" wird physikalisch durch einen symmetrischen Tensor beschrieben. Im Prinzip wäre somit eine Kenntnis von sechs Komponentengrößen notwendig, um den Spannungstensor an einem Punkt vollständig festzulegen. Leider ist diese Kenntnis oft nicht erhältlich, so daß man sich auf die Kenntnis eines Teils des Spannungstensors beschränken muß: Hierzu bieten sich in erster Linie die Hauptachsenrichtungen des Tensors an, welche in praxi in der Natur relativ leicht festzustellen sind.

### 1.2 In situ Messung der Spannung

Zur Bestimmung der Spannungen in einem Gebiet möchte man sich logischerweise direkter Messungen bedienen. Da man aber "Kräfte" prinzipiell nicht direkt messen kann, - messen kann man nur die durch eine Kraft verursachten Längenveränderungen an einem Körper (z.B. an der Feder einer Federwaage) -, müssen auch zu einer Spannungsmessung umständliche Anordnungen getroffen werden. Es bieten sich hierzu in erster Linie Entlastungsprozeduren an, mittels derer der Unter-

schied zwischen den Dimensionen einer Gesteinsprobe im ursprünglichen Gebirgsverband und jenen nach ihrer Entnahme aus diesem Verband (d.h. nach "Entlastung") gemessen werden. Aus diesem Unterschied kann dann, auf Grund der Elastizitätsgesetze, auf den ursprünglichen Spannungszustand geschlossen werden.

Solche Messungen wurden von Kohlbeck und Scheidegger (1981) in Bleiberg durchgeführt. Für die in 560 m Teufe gelegene Meßstelle beim Antoni Blindschacht ergeben sich für die größte und kleinste Druckspannung im Mittel 46 MPa bzw. 27 MPa, für die die in 236 m Teufe gelegene Meßstelle beim Rudolf Blindschacht 35 MPa bzw. 9 MPa (Siehe Abb. 1).

### 1.3 Berechnung von Spannungen

Die Wirkung des Eigengewichtes bei vorgegebenen elastischen Kennwerten kann mit Finite-Element-Rechnungen studiert werden. Da die elastischen Eigenschaften jedoch nur ungenügend bekannt sind, dienen solche Berechnungen weniger einer quantitativen als vielmehr einer qualitativen Beschreibung des durchschnittlichen Wertes der Spannungen. Abb. 2 und 3 zeigen Finite-Element-Berechnungen der Hauptnormal-Spannungen in einem N-S-Schnitt durch den Rudolf Schacht des Bergbaues Bleiberg für Poisson'sche Zahlen  $\nu = 0,2$  und  $\nu = 0,3$ . Von den Poisson'schen Zahlen abgesehen, sind die Spannungen insbesondere noch von den Randbedingungen stark abhängig. Auffallend sind jedoch die hohen Horizontalspannungen in Oberflächennähe, welche besonders für große Werte von  $\nu$  die Vertikalspannungen übertreffen. Dieses Ergebnis wurde durch die in situ-Spannungsmessungen bestätigt.

### 1.4 Einfluß des geologischen Baues

Bedingt durch den geologisch keineswegs einheitlichen Bau des Gebirges und durch die Inhomogenitäten innerhalb der Gesteine treten lokal große Schwankungen der Spannungen auf. Der Einfluß der Wechsellagerung zweier Gesteinsserien sei anhand der Abb. 4 erläutert. Zwei Gesteine A und B folgen in parallelen Schichten. Der Elastizitätsmodul E von

Gestein A sei größer, die Poisson'sche Zahl  $\nu$  kleiner als die von B. Bei Beanspruchung senkrecht zur Schichtung (Abb. 4a) ist die größte Spannung in allen Schichten gleich, die Stauchung  $\epsilon$  jedoch unterschiedlich. Bei Beanspruchung in Schichtrichtung und starrer Krafteinleitung (Abb. 4b) haben alle Schichten die gleiche Stauchung, Gestein A aber eine größere Maximalspannung als B (Kirschkerneffekt). Bei weicher Krafteinleitung (Abb. 4c) wirkt Material B spannungsausgleichend, wenn  $\nu$  gegen 0.5 strebt, gleichzeitig wird jedoch ein Seitendruck auf A erzeugt, so daß dort zusätzliche Biegespannungen entstehen, wenn A vom Rand nicht weiter abgestützt wird. Abb. 5 zeigt die Verhältnisse in Bleiberg in einem N-S-Schnitt durch den Rudolf Schacht. Hier stellen die dunkel eingetragenen Schiefer weiche Gesteine dar, welche auf die harten erzführenden Lager angrenzen.

#### 1.5 Bestimmung der Feldrichtung mit Kluftmessungen

Als ein relativ einfaches Mittel zur Bestimmung wenigstens der Hauptachsenrichtung des regionalen Spannungstensors hat sich die Analyse der Kluftstellungen in der Umgebung erwiesen. Klüfte sind kleine Brüche im Fels; man findet, daß sie im allgemeinen an einem Aufschluß in drei Scharen auftreten. Die Orientierungen der drei Kluftscharen werden dabei am besten aus den einzelnen Meßdaten durch ein statistisches Verfahren nach Kohlbeck und Scheidegger (14) ermittelt. Subvertikale Kluftscharen werden als Scherbruchflächen im lokalen Spannungsfeld, subhorizontale Klüfte als lithologisch bedingt angesehen. Nach der Mohr'schen Theorie schließen die Scherbruchflächen im kleineren Quadranten die größte, im größeren Quadranten die kleinste Druckspannung je als Bisektrix ein (24). Daher ist es möglich, die Hauptspannungsrichtungen aus einer statistischen Analyse der Kluftstellungen in einem Gebiet zu bestimmen.

Als Beispiel möge wieder die Umgebung von Bleiberg dienen. Kluftmessungen wurden insgesamt an siebzehn Stellen über Tag (A-Q) und an drei Stellen unter Tag (R,T,W) gemacht. Die Stellen über Tag sind auf der Karte von Abb. 1 eingetragen (bezeichnet mit den Buchstaben A-Q). Eine Beschreibung der Lokalitäten ist in Tab. 1 gegeben, wo auch das jeweils angetroffene Gestein genannt ist.

Die Daten wurden anschließend nach der üblichen Kohlbeck-Scheidegger-Methode (14) ausgewertet; die Resultate für die subvertikalen Scharen sind in Tab. 2 ausgeführt. Dabei gibt die erste Kolonne jeweils die Lokalisierung der Meßstelle(n), die zweite die Zahl der Messungen, die dritte und vierte die Orientierung (Azimut NE der Fallrichtung/Fallwinkel einschließlich der 90 % Vertrauensgrenze) der ersten und zweiten "bevorzugten" Vertikalkluftschär, die fünfte Kolonne den Winkel zwischen den zwei Kluftscharen, die sechste die Richtung (Azimut NE und Neigungswinkel) der größten ( $\mathcal{E}_4$ ) und die siebente der kleinsten ( $\mathcal{E}_3$ ) Druckspannung an. Eine Inspektion dieser Tabelle zeigt, daß generell die Meßresultate von der Villacher Alpe (Dobratsch) und vom Ebenwaldtal von denen des Erzberges (d.h. eigentlich der Umgebung von Bleiberg) verschieden sind.

Daher wurden Gruppen von Meßstellen gebildet, die als "Erzberg" (ABDEHLJ), "Villacher Alpe" (CFGNOPQ) und "Ebenwald" (KLM) bezeichnet wurden. Die Untertagemessungen wurden auch als Gruppe (RTW) ausgewertet. Die Resultate sind in Tab. 3 gegeben. Sie sind auch graphisch in der Abb. 1 eingetragen: Die Striche bedeuten jeweils die bevorzugten Streichrichtungen der Klüfte, die Pfeile die Hauptspannungsrichtungen.

Es ist klar, daß die Gruppe "Erzberg" einer Richtung entspricht, die als "normal europäisch" bezeichnet werden kann: Die Klüfte streichen mehr oder weniger NS und EW, die größte Druckrichtung liegt NW-SE (25), während die anderen Gruppen eine verdrehte Orientierung aufweisen. Möglicherweise hat die Nähe der entsprechenden Meßstellen zu den Gail- und Drautalstörungen etwas damit zu tun.

Schließlich wurden auch noch alle "Übertagklüfte" sowie alle Klüfte (über und unter Tag) als "Gruppen" ausgewertet. Die entsprechenden Resultate sind der Tab. 3 angefügt. Offensichtlich kommt in diesen regionalen Auswertungen die "europäische" Orientierung der Klüfte zur Geltung.

## 2. Aufbau und Ablauf der Bergschläge

Gebirgsschläge entstehen unter der Wirkung eines Spannungsfeldes auf das Gebirge, wobei durch Überschreiten eines kritischen Spannungszustandes Bruch eintritt. Als Bergschläge werden jedoch nur solche Brüche bezeichnet, welche sehr rasch ablaufen und bei denen durch plötzliche Entspannung des Gesteins Material in den Hohlraum geschleudert wird. Bei vorgegebenem Spannungsfeld wird der kritische Spannungszustand und der zeitliche Ablauf des Bruchvorganges durch die Gebirgseigenschaften bestimmt (Abb. 6). Im wesentlichen ergibt sich über die Mohr'sche Hüllkurve (Abb. 7) zu jeder kleinsten Hauptnormalspannung  $\sigma_3$  eine zulässige größte Hauptnormalspannung  $\sigma_1$ , bei deren Überschreiten Bruch eintritt. Die Größenordnung der tatsächlich vorhandenen Spannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  wird durch das regionale Spannungsfeld vorgegeben. Dieser Spannungszustand des unverritzten Gebirges wird durch den Vortrieb erheblich verändert. So ist der Spannungsvektor (eine Hauptnormalspannung) senkrecht zur Oberfläche immer null. Im Falle eines kreisförmigen Querschnitts bei der idealisierten Annahme eines homogenen isotropen Mediums ergibt sich nachfolgender Zusammenhang zwischen den Spannungen  $\sigma_{ik}$  im ungestörten und  $p_{TT}$  bzw.  $p_{\theta\theta}$  im gestörten Bereich ( $\sigma_{ik}$  in kartesischen Koordinaten,  $p_{ik}$  in Polarkoordinaten):

wobei  $a$  den Radius des Querschnittes  
 $r$  den Polarkoordinatenabstand zur Achse und  
 $\theta$  den Winkel des Radiusvektors mit x-Achse bedeutet.

Es ist zu ersehen, daß für  $\sigma_y > 3 \sigma_x$  Zugspannungen auftreten, und für  $\sigma_x = 0$  die Druckspannungen den 3-fachen Wert von  $\sigma_y$  erreichen können. Für andere Querschnitte treten zumeist noch ungünstigere Spannungskonzentrationen auf. Bei einem stark gerichteten äußeren Feld wie etwa in Bleiberg würde der kritische Spannungszustand auf Grund dieser Überlegungen der linearen Elastizitätstheorie schon bei verhältnismäßig geringen Spannungen erreicht werden.

Die elastischen Eigenschaften alleine beschreiben das Gebirgsverhalten nicht ausreichend, es sind vielmehr auch der zeitliche Aufbau und die Kriechvorgänge mit einzubeziehen. Je nach der Geschwindigkeit der Lastaufbringung kann ein Gestein mehr oder weniger große Verformungen bis zum Bruch aufnehmen (Abb. 8). Bei langsamer Lastaufbringung werden daher durch Kriechvorgänge Spannungsspitzen abgebaut und ein Bruch unter Umständen verhindert. Abb. 9 zeigt die Änderung der Spannung in der Umgebung eines kreisförmigen Querschnitts einer Strecke nach Gioda und Cividini (11).

Durch Kriechvorgänge werden die hohen Spannungen an der Oberfläche abgebaut, so daß eine plastische Zone um die Strecke entsteht, welche wesentlich zu deren Standfestigkeit beiträgt. Die größten Spannungen treten dadurch etwas hinter der Oberfläche auf, die Differenz ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) ist nun nicht mehr wesentlich größer als diejenige des ungestörten Gebirges. Die Höchstlast im Langzeitversuch liegt jedoch unter derjenigen bei rascher Belastung. Bei Belastung über der Zeitstandfestigkeit tritt daher durch Einsetzen der Kriechvorgänge nach einiger Zeit Bruch ein (siehe Abb. 10). Dieser Vorgang kann zumeist durch rechtzeitiges Setzen der Anker verhindert werden. Da die Gesteine selbst inhomogen sind, ist auch die Spannungsverteilung und somit  $\sigma_1 - \sigma_3$  innerhalb des Gesteins stark wechselnd (9, 16). Im Fall von Bleiberg ergaben sich in den Einzelwerten der in situ-Spannungsmessungen beim Antoni Blindschacht Differenzen von  $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$  bis 80 MPa, während der Mittelwert von  $\Delta\sigma$  bei 18 MPa lag.

Es besteht daher immer eine gewisse Wahrscheinlichkeit, daß sich ein, wenn auch kleiner, Gesteinskörper nahe dem Bruchzustand befindet. Auch bei konstantem äußeren Spannungsfeld gibt es daher ständig Brüche, welche als Schallemission

registriert werden können. Die räumliche Verteilung der Materialeigenschaften, also der Inhomogenitäten, ist jedoch völlig unbekannt, so daß sich nicht vorhersagen läßt, wann und wo ein Bruch eintritt.

Bei konstantem Spannungsfeld wird man jedoch eine Abnahme der Zahl der Spannungsauslösungen je Zeiteinheit erwarten, bei Erhöhung oder Veränderung des Spannungsfeldes etwa durch den Bergbau oder durch Tektonik ist mit einer Erhöhung der Bruchzahl zu rechnen.

### 3. Zeitliche Änderung des Spannungsfeldes

#### 3.1 Allgemein

Während die durch das Eigengewicht des Gebirges verursachten Spannungen, somit insbesondere die Vertikalspannungen, als weitgehend konstant angesehen werden können, bewirken Bergbautätigkeit und Tektonik eine zeitliche Änderung des Spannungsfeldes. Reichweite und Größe dieser Änderungen sind jedoch sehr unterschiedlich. Die Spannungsänderungen durch den Bergbau sind lokal sehr hoch, haben aber nur eine geringe Reichweite: Eine punktförmige Störung klingt mit der Entfernung  $r$  proportional zu  $1/r^3$ , eine lineare (z.B. eine Strecke) proportional zu  $1/r^2$  ab. Großflächige Spannungsänderungen wie die tektonischen treten jedoch in gleicher Stärke im ganzen Bergbaugebiet auf. Die Größe dieser Spannungsänderung ist jedoch sehr gering, so daß sie wegen ihres langsamen Anstieges direkt nur sehr schwer nachweisbar ist. Einen Zusammenhang zwischen Bergschlägen und Tektonik in Bleiberg hat Rainer (23), vermutet. Die Messung der Spannungsänderung durch die Bergbautätigkeit z.B. in Pfeilern wurde mit verschiedensten Meßgeräten in einigen Bergbauen bereits mit Erfolg durchgeführt. Im Tunnelbau sind Konvergenzmessungen bereits eine selbstverständliche Routine. In neuerer Zeit strebt man die vollautomatische Überwachung des gesamten Bergbaues mit gleichzeitigem Einsatz völlig unterschiedlicher Meßmethoden an (31). Am häufigsten werden hierbei Schallemissionsmessungen und Konvergenzmessungen durchgeführt. Messungen der elastischen Verformungen des Gesteins sind wegen der Kleinheit der Signale wesentlich schwieriger

auszuführen. Die speziell dafür entwickelten Meßgeräte sind daher auch äußerst kostspielig (18, 27). Diese Methoden sind jedoch die einzigen, die es gestatten, Aussagen über den kompletten Spannungstensor zu treffen.

### 3.2 Fall Bleiberg

Die Technische Universität Wien hat versucht, derartige Verformungsmessungen mit wesentlich einfacheren Methoden in Bleiberg auszuführen. Bei dieser Methode werden die Verformungen in einem Bohrloch mittels Dehnmeßstreifen gemessen und aus der Kenntnis der Elastizitätskonstanten die Spannungsänderungen rückgerechnet. Für die Durchführung der Messungen wurde ein äußerst genaues Meßsystem entwickelt, welches über Microcomputer gesteuert vollautomatisch Verformungen, Druck und Temperatur auf Cassette abspeichert. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt an der Technischen Universität Wien. Leider hat sich gezeigt, daß die käuflichen Dehnmeßstreifen nicht die erforderliche Langzeitstabilität besitzen, so daß nur wesentlich ungenauer als vorgesehen gemessen werden kann. Die Verbesserung dieser Meßzellen stellt nun das weitere Forschungsziel der Verfasser dar; Messungen wurden bisher beim Rudolf Blindschacht und in der Grube Stefanie durchgeführt. Während beim Rudolf Blindschacht ein großes Ereignis und mehrere kleinere spannungsändernde Ereignisse beobachtet wurden, zeigten sich bei Grube Stefanie keine plötzlichen Spannungsänderungen. Abb. 11 zeigt die stärkste beim Rudolf Blindschacht gemessene Spannungsänderung: Ein plötzliches Absinken der Spannung und ein entsprechend dem logarithmischen Kriechen erfolgender Wiederanstieg auf den alten Wert. Der gleichmäßige Anstieg der Meßwerte ist die Folge eines unerwünschten Driftens der Meßgeber. Ähnliche Messungen in Grube Stefanie (Abb. 12 gesamte Meßperiode und Abb. 13 Detail) zeigten trotz besserer Meßzelle bisher noch keine plötzlichen Spannungsänderungen.

#### 4. Schlußfolgerungen

Wir haben in dieser Arbeit einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Spannungen gegeben. Es wurde gezeigt, daß für das Zustandekommen eines Bergschlages sowohl das gesamte Spannungsfeld als auch elastische und inelastische Gesteinseigenschaften, der geologische Bau und der Grad der Homogenität des Gebirges sowie die Kriechvorgänge von Einfluß sind. Die Einzeleinflüsse wurden auf bekannte gebirgsmechanische Gesetze zurückgeführt und an Hand der Daten von Bleiberg erläutert. Der Verlauf des regionalen Spannungsfeldes in Bleiberg wurde an Hand neuerer Kluftrmessungen ermittelt und den bereits bekannten Daten aus in situ-Spannungsmessungen und Finite-Element-Rechnungen hinzugefügt.

Durch Kenntnis des Spannungsfeldes und der Gesteinsfestigkeit wäre es theoretisch möglich, Vorhersagen über Bergschläge zu treffen. Jedoch ist weder das eine noch die andere im Detail erfaßbar. Verändert sich das Spannungsfeld, so ändert sich die Wahrscheinlichkeit eines Gesteinsbruches. Wie man aus der Beobachtung von Erdbeben weiß, sind die Ereignisse auch an einer einzigen Herdfläche voneinander unabhängig, so daß sich auch aus langer Beobachtung der Beben kein Zeitpunkt für das nächste Beben ableiten läßt. Man muß sich daher mit Wahrscheinlichkeitsaussagen begnügen. Da sich die Bergschlaggefahr mit Vergrößerung der Differenz von erhöht, ist es naheliegend, das Spannungsfeld ständig zu beobachten. Dies kann durch Registrierung der Schallemission oder durch Messung der Verformungsänderungen des Gesteins erfolgen. Die Schallemissionsmessung hat den Vorteil, daß sie weitreichend ist und eine Lokalisierung von Spannungsänderungen nahe den Gesteinsfestigkeiten ermöglicht. Andererseits werden weniger spröde Materialien von den stärker auslösenden spröderen überdeckt und es kann überdies keine Aussage über den Spannungstensor gewonnen werden. Direkte Dehnungsmessungen sind dagegen lokal aufschlußreich. Solche Messungen der Änderung des Spannungsfeldes mit Dehnmeßzellen wurden beschrieben. Sie waren sehr vielversprechend. Trotzdem ist eine genaue Angabe von Zeit und Ort eines Bergschlages zum Zwecke der Warnung einer Mannschaft auf Grund der Inhomogenität des Gebirges aber noch nicht möglich.

## 5. Dank

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Untersuchungen wurden von der Bleiberger Bergwerks-Union AG vor Ort unterstützt. Sie wurden durch die Zuwendung finanzieller Mittel durch den Österreichischen Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung unter Projektnummer P 4785 ermöglicht, wofür die Autoren ihrem Dank Ausdruck geben möchten.

## Literatur:

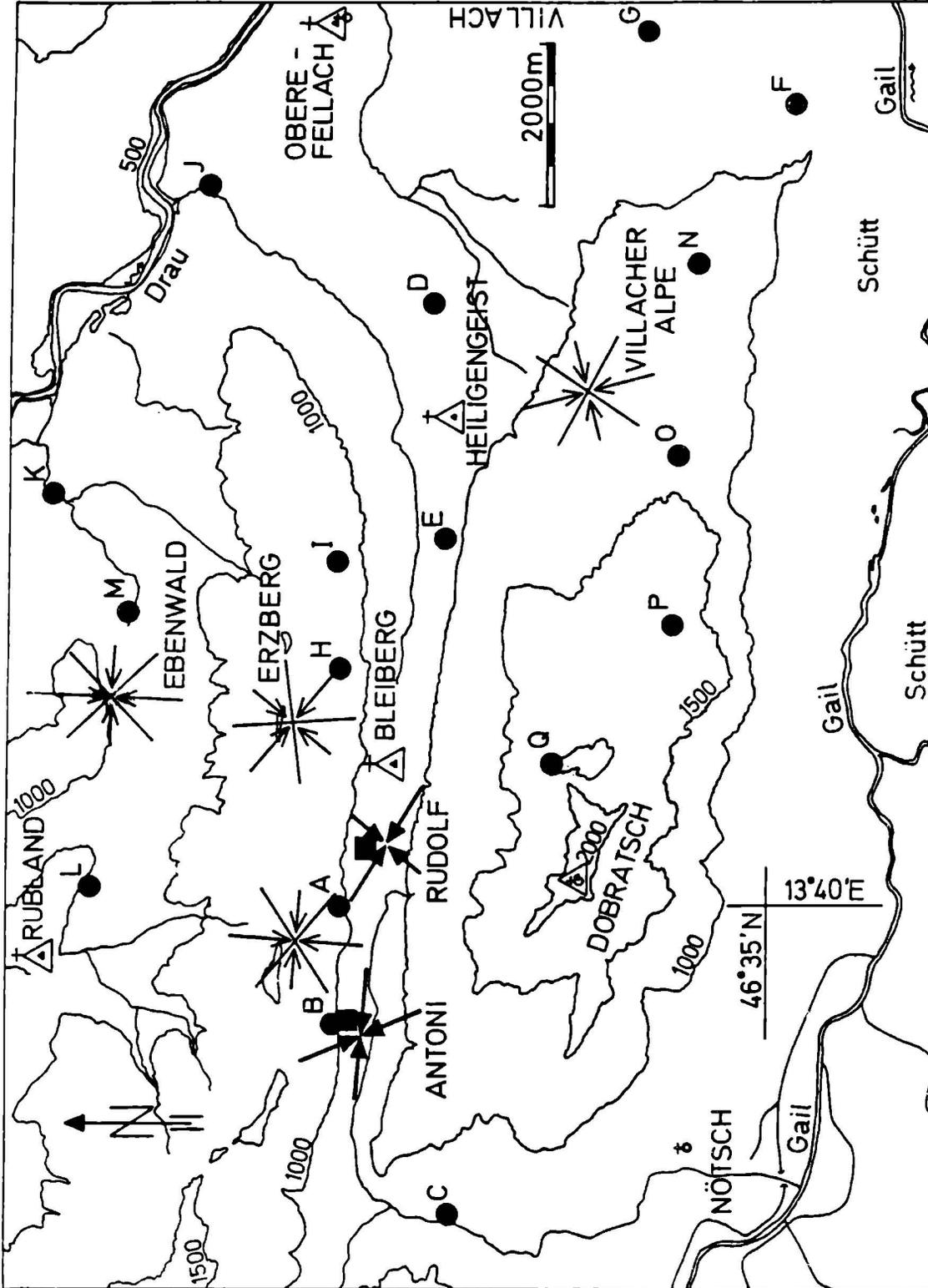
- (1) Bath, M., Wahlström, R.: A rockburst sequence at the Grängesberg iron ore mines in Central Sweden I-III. - Repts. Seismol. Inst. Uppsala 6-76 (59 p) 5-77 (36 p) 4-78 (40 p), 1976/78.
- (2) Baule, H.: Gebirgsschlaggeophysik - Seismoakustische Ortung von Entspannungsschlägen im Vorfeld eines Strebs. - Glückauf 113 (7), 360 - 362, 1977.
- (3) Blake, W.: Rock-burst research at the Galena Mine, Wallace, Idaho. - Tech. Progr. Rept. U.S. Bureau of Mines 39, 1 - 22, 1971.
- (4) Blake, W.: Rock-burst mechanics. - Quart. Colorado School of Mines 67 (1), 1 - 64, 1974.
- (5) Bräuner, G.: Gebirgsmechanik, Gesteinsbruch und Gebirgsschlag. - Glückauf 108 (3), 526 - 530, 1972.
- (6) Bräuner, G., Baule, H., Schluckebier, F.: Spannungsänderungen und seismische Aktivität im Vorfeld eines Strebs. - Glückauf 110, 825 - 830, 1974.

- (7) Cook, N.G.W.: The seismic location of rock bursts. - Proc. 5<sup>th</sup> Rock Mech. Symp., p 493 - 516, 1963.
- (8) Cook, N.G.W., Hock, E., Pretorius, J.P.G., Ortlepp, W.O., Salomon, M.D.G.: Rock mechanics applied to the study of rockbursts. Jour. South Afr. Inst. Min. Met. Eng. 66, 436 - 528, 1966.
- (9) Cyrul, T.: Notes on stress Determination in heterogenous Rocks. - Field Measurements in Geomechanics, Balkema, Rotterdam (1), 59 - 70, 1984.
- (10) Fajklewitz, Z.: Rock-burst forecasting and genetic research in coal mines by microgravity method. - Geophys. Prospect. 31, 748 - 765, 1983.
- (11) Gioda, G., Cividini, A.: Viscous behaviour around an underground opening in a two-phase medium. - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 18, 437-443, 1981.
- (12) Grouch, S.L., Fairhurst, C.: The mechanics of coal mine bumps and the interaction between coal pillars, mine roof and floor. - U.S. Bureau of Mines, Open File Rept. OFR, 53 - 73, 88 p.
- (13) Isaacson, E.: Rock pressure in mines. - 260 S., London: Mining Publ. Ltd., 1962.
- (14) Kohlbeck, F., Scheidegger, A.E.: On the theory of joint orientation measurements. - Rock Mechanics 9, 9 - 25, 1977.
- (15) Kohlbeck, F., Scheidegger, A.E.: Gebirgszustand und neotektonische Spannungen im Gebiet des Bergbaues von Bleiberg, Kärnten. - Rock Mechanics 14, 1 - 25, 1981.
- (16) Kohlbeck, F., Scheidegger, A.E.: Application of strain gages on rock and concrete. - Field Measurements in Geomechanics, Vol. 1, Balkema/Rotterdam, 197 - 207, 1984.

- (17) Kostelka, L.: Die Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth in Zeit und Raum. - Blei und Zink in Österreich, Naturhist. Museum Wien, F6, 8 - 14, 1972.
- (18) Mc Garr, A., Sacks, I.S., Linde, A.T., Spottiswoode, S.M., Green, R.W.E.: Coseismic and other short term strain changes recorded with Sacks-Evertson strainmeters in a deep mine, South Africa. - Geophys. J.R., astr.Soc. 70, 717 - 740, 1982.
- (19) Milne, W.G., White, W.R.H.: A seismic investigation of mine bumps in the Crowsnest Pass coal field. - Publ. Dominion Obs. Ottawa 18 (13), 678 - 685, 1958.
- (20) Nocke, H.: Eine Gebirgsschlaghypothese. - Glückauf 33 (1), 10 - 18, 1972.
- (21) Obert, L., Duvall, W.I.: Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock. - New York: J. Wiley & Sons, 1967.
- (22) Petuchov, I.M., Smirnov, V.A.: Geophysikalische Komplexuntersuchungen von Gebirgsschlägen auf den Schächten des Kisel Beckens. - Bergakademie 3, 129 - 134, 1967.
- (23) Rainer, H.: Gibt es Zusammenhänge zwischen Erdbeben und Gebirgsschlaghäufungen im Bergbau Bleiberg? - Rock Mech. 6, 91 - 100, 1974.
- (24) Scheidegger, A.E.: Principles of Geodynamics. - 3. Aufl., Berlin: Springer Verlag, 395 S., 1982.
- (25) Scheidegger, A.E.: The significance of surface joints. - Geophysical Surveys (Reidel) in press, 1984.
- (26) Shepherd, J., Rixon, L.K., Griffiths, L.: Outbursts and geological structures in coal mines, A review. - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 18, 267 - 283, 1981.

- (27) Shopland, R.C.: Portable 30 day Unattended System for Recording Earth Strain in a 66 dB Range. - IEEE Transactions on Geoscience Electronics, Vol. GE8, No. 4, 295 - 305, 1970.
- (28) Sibek, V., Simane, J., Buben, J.: Methods of research into rockbursts in the Czechoslovak Socialist Republic. - Proc. Intern. Conf. Strata Control and Rock Mech. New York, 420 - 433, 1964.
- (29) Simane, J., Sklenar, J., Hribernigg, H., Kostelka, L., Rainer, H.: Seismoakustische Untersuchungen zur Vorhersage von Gebirgsschlägen. - Berg- und Hüttenm. Monats-H. 118 (12), 375 - 384, 1973.
- (30) Siska, L.: Der Konvergenzverlauf als ein Maß für die Gebirgsschlaggefahr. - Glückauf Forsch.H. 28 (2), 57 - 65, 1967.
- (31) Stillborg, B., Pekkari, S., Pekkari, R.: An advanced rock mechanics monitoring system. - Field Measurements in Geomechanics 2, 1215 - 1227, 1984.
- (32) Thoma, K., Knoll, P., Menzel, W., Milde, H., Lorenz, G.: Zur Bekämpfung von Gebirgsschlägen beim Auffahren bergmännischer Hohlräume in Granit. - Bergakademie 21 (2), 73 - 78, 1969.
- (33) Thoms, R.L., Martinez, J.D.: Blowouts in domal salt. - Proc. 5<sup>th</sup> Internat. Symposium on Salt, Hamburg, 405 - 411, 1978.
- (34) Tschernigg, E.: Über Gebirgsschläge in den Kärntner Bleizinkerzlagerstätten. - Berg- und Hüttenm. Jb. 80 (3), 79 - 135, 1932.
- (35) Tschernigg, E.: Neuere Beobachtungen über Gebirgsdruckerscheinungen im alpinen Blei-Zinkerzbergbau. - Montan Ztg., Sonderausg. über Internat. "Fachtagung für Gebirgsdruckfragen im Bergbau und Tunnelbau, Leoben 1950", 103 - 113, 1950.

- (36) Velsen-Zerweck, R.V.: Gebirgsschlagverhütung. - 111 S, Essen: Verlag Glückauf, 1983.
- (37) Wahlström, R.: Determination of rockburst hypocenters. - Repts. Seismol. Inst. Uppsala, 6 - 77 (29 p), 1977.
- (38) Wittke, W.: A new design concept for underground openings in jointed rock. - Pub. Inst. Found. Eng. etc., University Aachen (1), 46 - 117, 1976.
- (39) Zhurkov, S.N., Kuksenko, V.S., Petrov, V.A., Savelyew, V.N., Sultanov, U.: On the problem of the prediction of rock fracture Bull. (Izv.) Acad. Sci. UdSSR, Earth Physics 13 (6), 11 - 18, 1977.
- (40) Zubelewicz, A., Mroz, Z.: Numerical simulation of rock burst processes treated as problems of dynamik instability. - Rock Mech. 16 (4), 253 - 274, 1983.



**Abb. 1: Planskizze der Umgebung von Bleiberg.** Über Tage Kluftheizstellen sind mit A-O bezeichnet, die Spannungsmessstellen befinden sich unter Tage bei Antoni- und Rudolfblindschacht, wo auch Klüfte (Stellen R, T, W) gemessen wurden. Die subhorizontalen in-situ gemessenen Hauptspannungen sind durch dicke Pfeile, die bevorzugten Kluftrichtungen für die Gebiete "Erzberg", "Villacher Alpe", "Ebenwald" und "Unter Tag" sind in den betreffenden Regionen durch Striche, die daraus abgeleiteten Hauptspannungsrichtungen durch dünne Pfeile angedeutet.

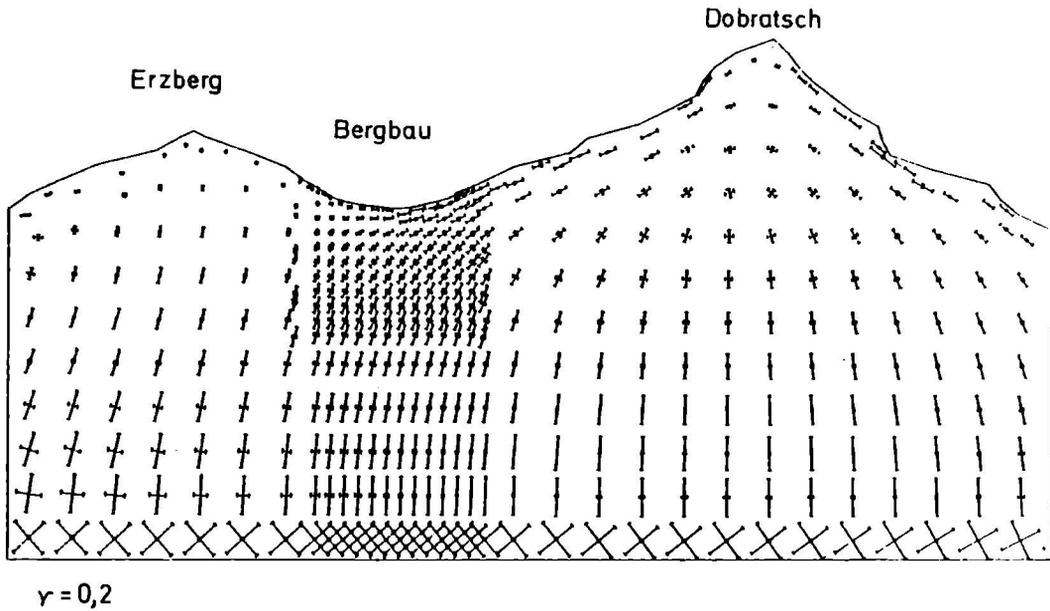


Abb. 2: Hauptspannungen aus dem Gewicht der Überlagerung für eine Poissonzahl  $\nu = 0,2$

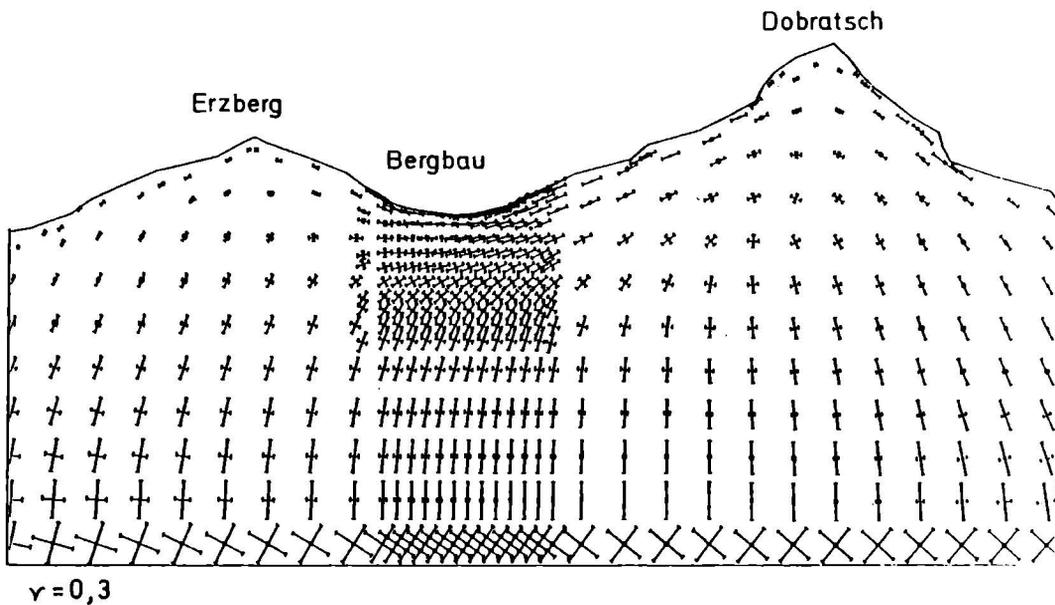


Abb. 3: Hauptspannungen aus dem Gewicht der Überlagerung für eine Poissonzahl  $\nu = 0,3$

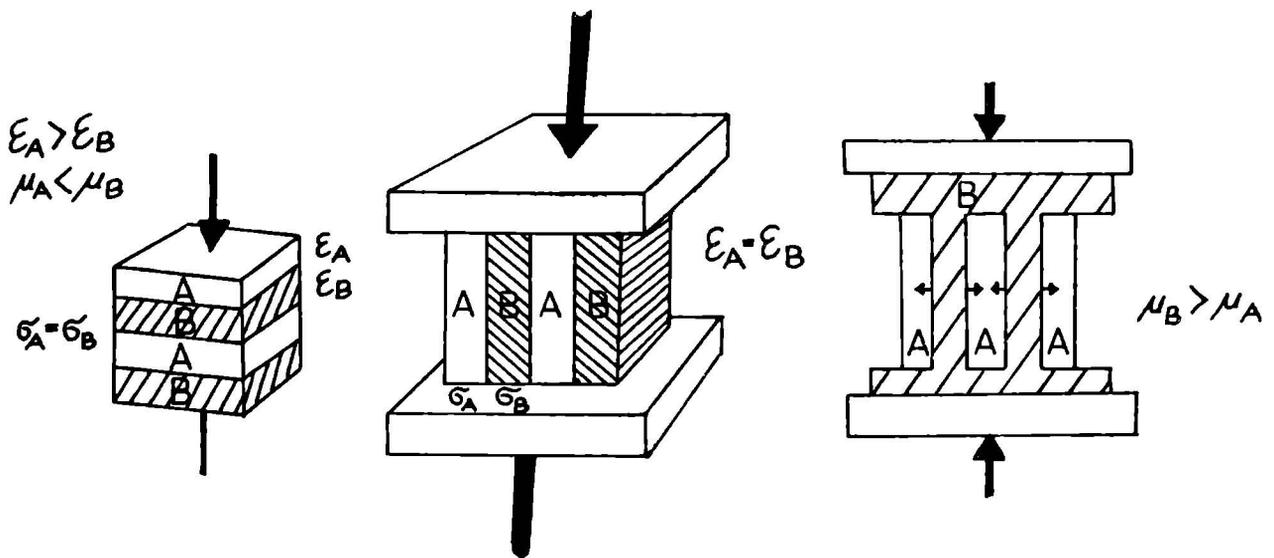


Abb. 4: Spannungen und Verformungen zweier Schichten mit unterschiedlichen elastischen Kennwerten in 3 Lastfällen

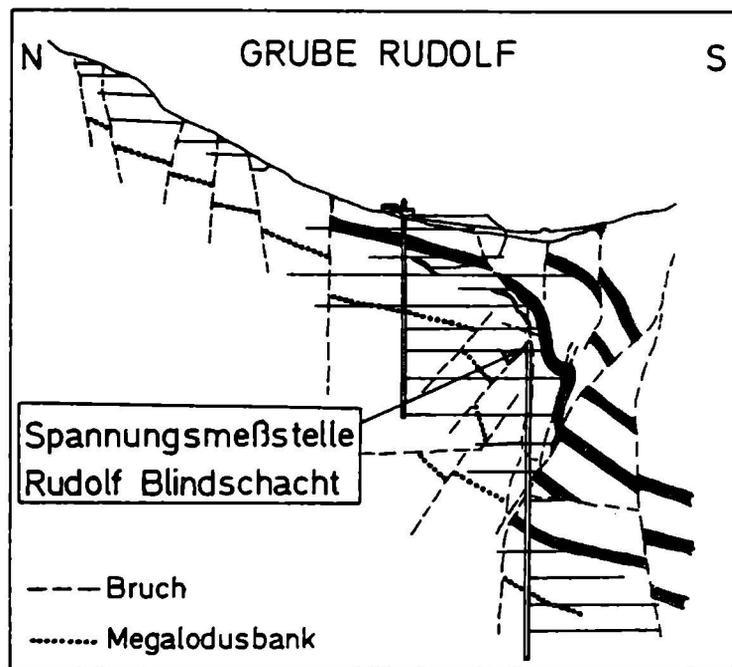


Abb. 5: N-S Profil der Grube Rudolf (modifiziert nach Kostelka 1972)

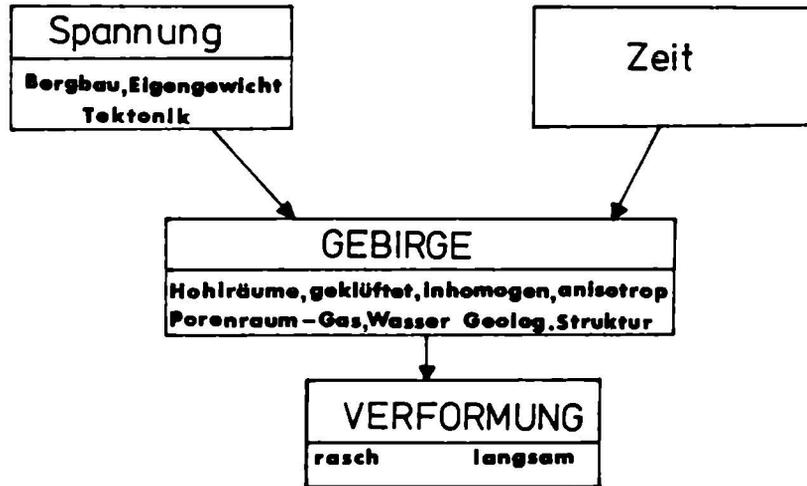


Abb. 6: Faktoren welche für den Eintritt von Bergschlägen maßgebend sind; schematisch

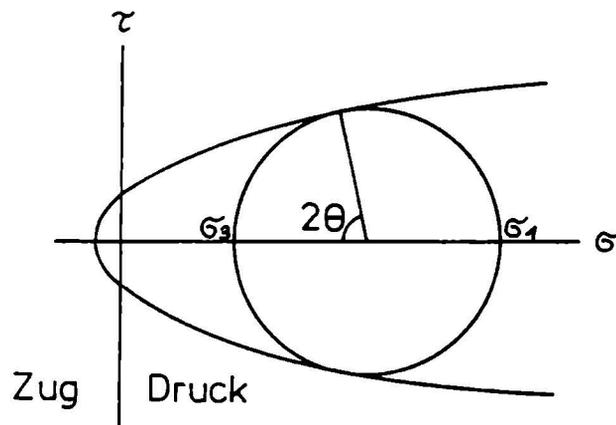


Abb. 7: Mohr'sche Hüllkurve und Hauptnormalspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  im Bruchzustand

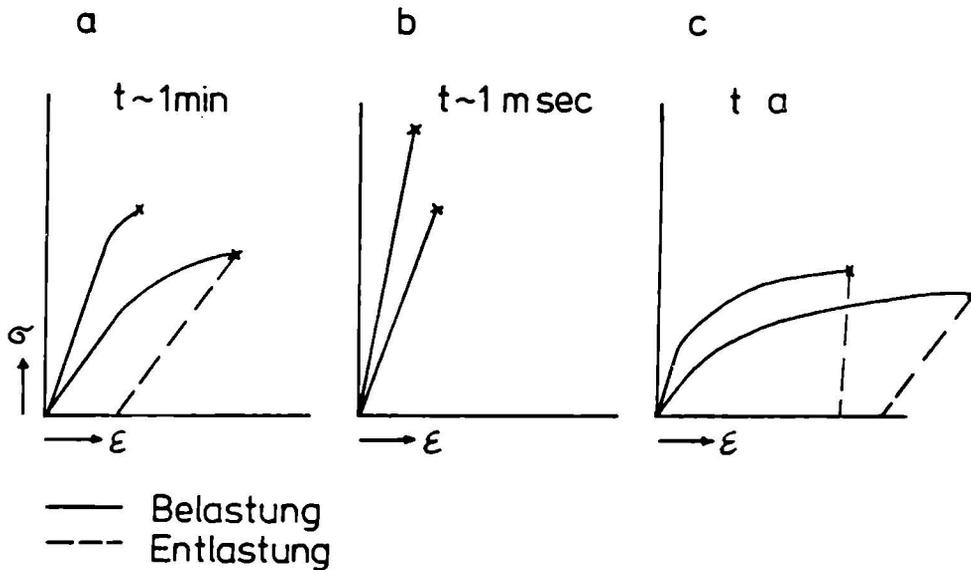


Abb. 8: Spannungs-Dehnungs-Diagramme zweier Materialien bei unterschiedlicher Versuchsdauer  $t$  im einachsigen Druckversuch

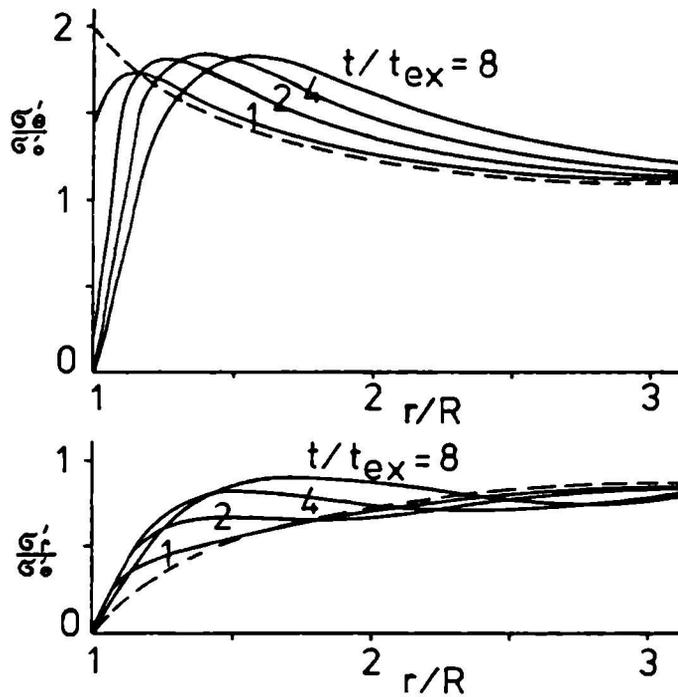
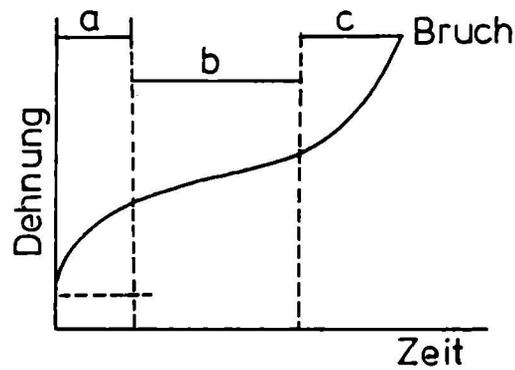
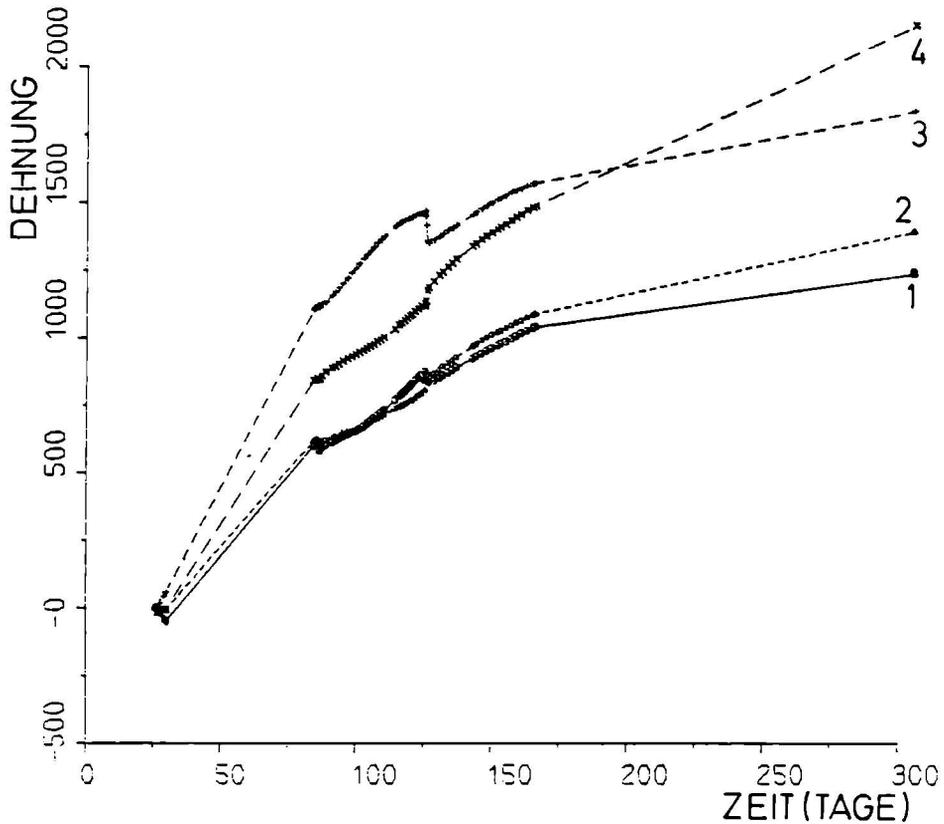


Abb. 9: Verlauf der Normalspannungen  $\sigma_\theta$  (Umfangsrichtung) und  $\sigma_r$  (Radialrichtung) um eine Strecke mit kreisförmigem Querschnitt (Radius  $R$ ) in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  vom Mittelpunkt mit der Zeit  $t$  als Parameter.  $t =$  Ausbruchsdauer. Nach Gioda und Cividini, 1981



- a primäres -
- b sekundäres Kriechen
- c tertiäres -

**Abb.10: Prinzipieller Verlauf des Kriechens bei konstanter Belastung oberhalb der Zeitstandfestigkeit**



**Abb.11: Verformungen einer DMS Rosette der Meßzelle bei Rudolf Blindschacht mit plötzlichem Abfall der Spannungen und anschließendem logarithmischem Anstieg**

Im übrigen könnte man den günstigsten Querschnitt dadurch erkennen, daß sich, falls eine Strecke nur teilweise und nicht vollständig einbricht, ja ein neuer stabiler Ring gebildet haben muß. Dieser Ring hat dann offensichtlich eine Querschnittsform, welche für die Standfestigkeit ausreichend ist.