

**UNTERSUCHUNGEN ZUR GEBIRGSSCHLAGENSTEBUNG
IM KOHLENBERGBAU**

von

Gerhard Bräuner

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.

**UNTERSUCHUNGEN ZUR GEBIRGSSCHLAGENTSTEHUNG
IM KOHLENBERGBAU**

von Gerhard Bräuner

Gebirgsschläge bestehen, so lautet eine vergleichsweise einfache Erklärung, in einer abrupten Ausbreitung des Bruches um einen Grubenbau. Man kann eine solche Aussage auch erweitern oder vertiefen, etwa indem man die energetischen und die stofflichen Bedingungen zu präzisieren sucht, unter denen der Bruchvorgang gerade mit dieser extremen Heftigkeit abläuft oder unter denen er auf bestimmte Teile des Gebirges, wie im Kohlenbergbau auf das Flöz, beschränkt bleibt. Ganz nach Betrachtungsweise führt das zu mehr abstrakten, der mathematischen Analyse zugänglichen Konzeptionen oder zu pragmatischeren Vorstellungen, die auf eine unmittelbare technische Problematik gerichtet sind. Beides hat seinen Sinn und seine Berechtigung. Die nachfolgenden Ausführungen liegen mehr im Sinn der zweiten Richtung. Sie betreffen Beiträge zu den Fragen

1. wie sich das Bruchgeschehen im Hinblick auf einen kontinuierlichen Ablauf, also unter dem Aspekt einer vorbeugenden Gebirgsschlagverhütung, beeinflussen läßt sowie
2. ob die Gefahr der abrupten Bruchausbreitung an meßbaren Anomalien in den Gebirgsverformungen um den Grubenbau zu erkennen ist.

In dem ersten Teil wird über die Ergebnisse von Laborversuchen berichtet, im zweiten über Beobachtungen in der Grube.

Die Laborversuche (Abb. 1) werden an Kohlenproben von 5 bis 8 cm Seitenlänge ausgeführt, die man auf einer Presse unter hohen allseitigen Druck setzt, aber durch einen seitlichen Stahlrahmen am Zerbrechen hindert. Meist werden 100 t Drucklast aufgebracht, so daß sich 156 MPa Vertikaldruck ergeben. Das ist das zehn- bis zwanzigfache der einachsigen Druckfestigkeit der westdeutschen Steinkohle. Der Versuch besteht nun darin, daß man diesen hochkomprimierten Kohlenblock

durchbohrt, hier mit 11 mm Durchmesser, und die Presse dabei nicht nachpumpt. So entstehen gewisse Analogien zu einem Vortrieb unter hohem Gebirgsdruck. Die Spannungen um das Bohrloch erreichen allsogleich die Festigkeitsgrenzen, es setzen Bruchvorgänge ein und schieben Material in den Hohlraum, und erst wenn sich eine genügend große Bruchzone gebildet hat, hört der Materialfluß auf und das Bohrloch wird standfest. Der Druck geht dabei entsprechend zurück. Das eingedrungene Material wird durch den Bohrer fortlaufend abtransportiert und als Bohrmehl aufgefangen. Der Rückgang des Vertikaldruckes wird mit einem Bandschreiber aufgezeichnet; die Seitendrucke werden bei dieser Versuchsanordnung nicht gemessen. Der Versuch ist beendet, wenn der Kohlenblock bis zum anderen Ende durchbohrt ist und wenn der noch laufende Bohrer kein Kohlenklein mehr herausbringt.

Abb. 2 zeigt zwei exemplarische Versuchsergebnisse: waagrecht die Zeit, senkrecht den Pessedruck. Die Presse wurde so gesteuert, daß der Abstand zwischen den Widerlagern (und damit die Höhe der Probe) konstant blieb. Dies geschah, um das Versuchsergebnis möglichst frei von Eigenreaktionen der Presse zu halten. Die durchgezogene Linie gilt für eine Fettkohlenprobe aus dem Ruhrkarbon. Sie weist fünf Unstetigkeiten auf. Diese stufenförmigen Druckrückgänge treten schlagartig ein, sie sind mit einem Knall und einer meßbaren Erschütterung verbunden, und dabei kann der Bohrer von plötzlich eindringender Kohle festgeklemmt werden. Es treffen also, in diesem verkleinerten Maß und dem durch das Bohren nachgebildeten Grubenbau-Vortrieb, alle Merkmale des Gebirgsschlages zusammen: abruptes Materialeindringen, Entspannung und Erschütterung.

Die unterbrochene Linie in Abb. 2 zeigt das Entspannungsverhalten von Kohle aus einem Anthrazitflöz. Hier geht der Druck durchwegs kontinuierlich zurück, und schlagartige Reaktionen, Klemmwirkungen beim Bohren und Erschütterungen kommen nicht vor. Außerdem wird der Enddruck früher erreicht und hat ein niedrigeres Maß. Dabei ist die einachsige Druckfestigkeit des Anthrazits mit 15 MPa größer als die der untersuchten Fettkohle, für die sie nur 11 MPa beträgt. Aus einachsigen Druckversuchen läßt sich demnach nicht zuverlässig auf das Bruchverhalten unter hohem dreiaxsiem Druck schließen.

Zum Einfluß des Druckes: Bei den bisherigen Untersuchungen an Fettkohlenproben sind schlagartige Reaktionen erst ab 60 bis 80 MPa Pressendruck eingetreten (2). Auch bei dem Beispiel in Abb. 2 hören diese Vorgänge auf, sobald der Druck unter diese Grenzzone gesunken ist. Der Anthrazit wird möglicherweise erst unter wesentlich höheren Drücken schlagfähig; dies ist noch nicht systematisch untersucht worden. Unbekannt ist auch, ob es entsprechende Grenzwerte für den Seitendruck gibt, der sich bei der vertikalen Belastung aufbaut und der nur in wenigen Fällen gemessen werden konnte.

Es ist nun die Frage, welche Änderungen der Kohleneigenschaften die kontinuierliche Bruchausbreitung begünstigen. Für Steinkohle scheint in dieser Hinsicht das Tränken bis zur Wassersättigung gute Aussichten zu bieten. Bereits seit längerem ist bekannt, daß die Fähigkeit, elastische Energie im einachsigen Druckbereich zu speichern, mit zunehmender Feuchtigkeit zurückgeht (5). Im folgenden wird der Einfluß der Wassersättigung auf das gebirgsschlagartige Bruchverhalten unter höherem allseitigen Druck betrachtet.

Diesbezügliche Vergleiche finden an Kohlenproben statt, die von derselben Entnahmestelle (und derselben Bank) des betreffenden Flözes stammen, von denen ein Teil aber bis zu erfolgter Sättigung in Wasser gelegt wird. Der Wassergehalt nimmt dadurch beispielsweise von 2 bis 3 auf 4 bis 5 % zu.

In Abb. 3 ist ein solcher Vergleich dargestellt. Es handelt sich um Proben aus einem schlaggefährlichen Flöz, von denen die meisten ein schlagartiges Entspannungsverhalten gemäß der durchgezogenen Linie zeigen. Dagegen sind die getränkten Proben, von denen die unterbrochene Linie ein Versuchsergebnis wiedergibt, bisher ausnahmslos ohne dynamische Reaktionen geblieben. In dem vorliegenden Beispiel sind außerdem Enddruck und Entspannungsdauer deutlich verringert. Dies ist nicht allgemein der Fall. Oft sind die Entspannungslinien der normalfeuchten und der getränkten Kohle nahezu deckungsgleich. Abb. 4 zeigt eine solche Gegenüberstellung. Der Unterschied beschränkt sich hier auf das Vorhandensein bzw. Fehlen von schlagartigen Entspannungen. Dies aber ist das Entscheidende: die Umwandlung der abrupten, dynamischen Formen der Bruchausbreitung in die eines fließenden, eher quasistatischen Vorgangs.

So erfolgversprechend sich das Tränken in diesen Laborversuchen erweist - für die bergmännische Umsetzung bleibt noch das Problem, die nötigen Wassermengen in das unter Gebirgsdruck anstehende Flöz hineinzubringen. Dies erfordert langfristige Tränkungen aus Bohrlöchern, deren Lage und Länge eigens für diesen Zweck bemessen werden. Das Tränken größerer Flözteile zwecks Wassersättigung kann insgesamt monate- oder jahrelang dauern und wird deshalb auch als Langzeittränken bezeichnet (4).

Im Unterschied davon bezweckt das Hochdrucktränken im Flöz eine gewaltsame Erweiterung der Bruchzone, was einerseits nur einige Minuten dauert, andererseits aber auch höhere Drücke mit Anfangswerten um 400 bar erfordert. Das Hochdrucktränken soll schon bestehende, potentiell schlaggefährliche Druckkonzentrationen auflösen, das Langzeittränken soll dem Entstehen solcher Druckkonzentrationen überhaupt vorbeugen.

Unter Tage, im Nahbereich des Grubenbaus, scheint sich die unregelmäßige Ausbreitung der Bruchzone und die dabei entstehende Schlaggefahr in bestimmten Verformungsanomalien auszudrücken, vergleichbar vielleicht dem ungleichmäßigen Zustrom von Material bei den Bohrversuchen. Damit komme ich zu der Frage der Messungen zur Gefahrerkenntnis. An einem Meßbeispiel zeigte sich, daß im Gefahrfall der bankrechte Druck im Flöz fast linear mit den schichtparallelen Verformungen anstieg (1). Der Ablauf dieser Verformungen war anfangs langsamer als in den nichtgefährdeten Bereichen, später aber, dem steigenden Druck entsprechend, deutlich schneller. Da Verformungsmessungen im Gebirge erheblich leichter und unproblematischer als Druckmessungen sind, dürfte es interessieren, inwieweit sie allein - speziell bei Aufeinanderfolge von Verzögerung und Beschleunigung - zur Gefahranzeige geeignet sind. Dazu zwei Beispiele.

In dem soeben erwähnten Fall wurde eine Basisstrecke, auf die der Abbau zulief, 50 Tage lang beobachtet (Abb. 5). Dies geschah durch Messungen in beiden Kohlenstößen, aber auch durch einfaches Einmessen der Breite, woraus sich die fortlaufende Verengung ergab. Die Meßstellen waren in Abständen von 10 bis 20 m längs der Basisstrecke verteilt. Am 53. Tag

ereignete sich ein Gebirgsschlag in dem etwa 40 m langen Abschnitt mit den Meßstellen 1, 2 und 17. Wie man sieht, verläuft die Verengung in diesem Teil anfangs langsamer als in dem Rest der Strecke, obgleich man doch wegen der Nachbarschaft des alten Abbaus das Gegenteil erwartet hätte. Erst 7 bis 10 Tage vor dem Gebirgsschlag ändert sich das, und der Bereich der Meßstellen 1, 2 und 17 verengt sich nun schneller als die übrige Strecke. Abb. 6 zeigt statt der gesamten Verengung nur deren Zunahme in jeweils zwei Tagen (aus Direktmessung bzw. Interpolation). Dadurch wird die Tendenzwende etwas anschaulicher: die Zunahmen im gefährdeten Bereich sind bis zum 44. Tag kleiner, danach größer als im nicht betroffenen. Freilich läßt diese einfache Messung der Streckenbreite noch nicht erkennen, welchen Anteil jede der beiden Seiten daran hat. Dazu bedarf es der gesonderten Beobachtung jedes Stoßes. Im vorliegenden Fall kam der Gebirgsschlag aus dem Stoß auf der Seite des heranrückenden Strebs. Abb. 7 zeigt, wie sich in diesem Stoß die Längsdehnungen zwischen Mündung und Tiefstem von 8 bis 20 m langen Bohrlöchern entwickelt haben. An den Meßstellen 1 und 2, im Bereich und auf der Seite des späteren Gebirgsschlages, erkennt man anfangs die zurückbleibende und sodann die stärker beschleunigte Dehnung. Von dort rührt diese Anomalie also her. - Solche Extensometermessungen sind in Kohlenflözen zwar verhältnismäßig schwierig und fehleranfällig, aber der größere Aufwand ermöglicht eben auch differenziertere Informationen. Die Entscheidung, was und wieviel man messen soll, ist nicht immer leicht.

Bei dem zweiten Beispiel handelt es sich um einen Streb, in dem man den Vorschub des Kohlenstoßes und die Konvergenz gemessen hat (3). Dort geschah damals, Ende 1962, ein schwerer Gebirgsschlag, und es hatte bislang den Anschein, als seien aus den Meßergebnissen keine Gefahranzeichen zu erkennen. Ein Vergleich der längerfristigen Tendenzen führte aber zu einem ähnlichen Bild wie im vorigen Beispiel. Die Meßpunkte waren hier, in einem fortschreitenden Grubenbau, natürlich nicht ortsfest, sondern wurden nach jeweils 1 bis 2 m Strebfortschritt an gleicher Station im Streb wieder erneuert. So entstand jedesmal wieder eine Reihe mit neun Meßstellen. Abb. 8 zeigt für die 29-tägige Beobachtungszeit die halbtägige Strebkonvergenz im Mittel der Meßstellen 1 bis 7

sowie 8 und 9. Diese 12-Stunden-Konvergenz ist aus den teilweise auch etwas länger beobachteten Konvergenzen ermittelt, um einen einheitlichen Vergleichswert zu haben und gilt meist zugleich für eine Gewinnungsschicht mit rd. 1,4 m Abbaufortschritt. Der Gebirgsschlag kam aus dem Strebstoß an den Meßstellen 8 und 9, und zwar am 30. Tag. Die Konvergenz in diesem Strebteil wird erst in den letzten Tagen davor größer als im sonstigen Streb. Es ist ähnlich wie in dem ersten Beispiel: in der Nachbarschaft des alten Abbaufeldes sind die Verformungen nicht, wie normal, am größten, sondern vergleichsweise klein, und erst wenige Tage vor dem Gebirgsschlag kehrt sich der Unterschied um.

In Abb. 9 ist der Vorschub, die Auswanderung des Kohlenstoßes dargestellt, eine recht schwierig zu messende Größe (3). Die 12-Stunden-Werte sind hier von Meßreihe zu Meßreihe aufaddiert, was angesichts der großen Unterschiede eine bessere Übersicht bietet. Innerhalb der einzelnen Meßreihen ist die Streuung manchmal so groß, daß die Aussagekraft der arithmetischen Mittel zweifelhaft wird, aber die Tendenzunterschiede erscheinen immerhin bemerkenswert: etwa 2 Wochen vor dem Gebirgsschlag Zurückbleiben des Vorschubs an den Meßstellen 8 und 9, sodann stärkere Zunahme als im sonstigen Streb.

Die Analyse so verschiedener - wengleich verwandter - Gebirgsverformungen wie Streckenverengung, Längsdehnung, Strebkonvergenz und Flözvorschub deutet also auf die nämlichen Anomalien vor den beiden Gebirgsschlägen hin, obwohl einer davon aus einem stehenden und der andere aus einem fortschreitenden Kohlenstoß gekommen ist. Auch vor einigen anderen Gebirgsschlägen, die aber noch nicht genügend analysiert sind, scheint eine solche Abfolge von relativer Verzögerung zu relativer Beschleunigung zu bestehen. Es bleibt zu klären, unter welchen gebirgsmechanischen Bedingungen - etwa bezüglich der Belastungsgeschichte, der Abbausituation und auch der Gebirgsschlagart - dies als charakteristisch gelten kann. Wenn solche Beobachtungen einen Beitrag zur rechtzeitigen Gefahrerkenntnis leisten könnten, wäre man in der Gebirgsschlagbekämpfung einen Schritt weiter gekommen.

Literatur:

- (1) Bräuner, G.: Einige Gesichtspunkte der Gebirgsschlagverhütung. 6. Internationale Gebirgsdrucktagung, Banff (Kanada) 1977, Vortrag 1 - 8.
- (2) Bräuner, G.: Gebirgsdruck und Gebirgsschläge. Verlag Glückauf, Essen 1981.
- (3) Jahns, H.: Die Wirksamkeit des Entspannungsschießens in einem gebirgsschlaggefährdeten Flöz. Glückauf 1963, 1100 - 1109.
- (4) Leiteritz, H. und Seewald, H.: Möglichkeiten und Grenzen des Tränkens zur Verhütung von Gebirgsschlägen. Glückauf 1978, 700 - 705.
- (5) Szecówka, Z.: Die Veränderung einiger mechanischer Eigenschaften der Kohle infolge Erhöhung ihres Wassergehaltes. Arbeiten des Bergbauhauptinstitutes Nr. 568, Kattowitz 1972 (polnisch; deutsche Übersetzung unter Nr. St-7240 bei der Bergbau-Bücherei in Essen).

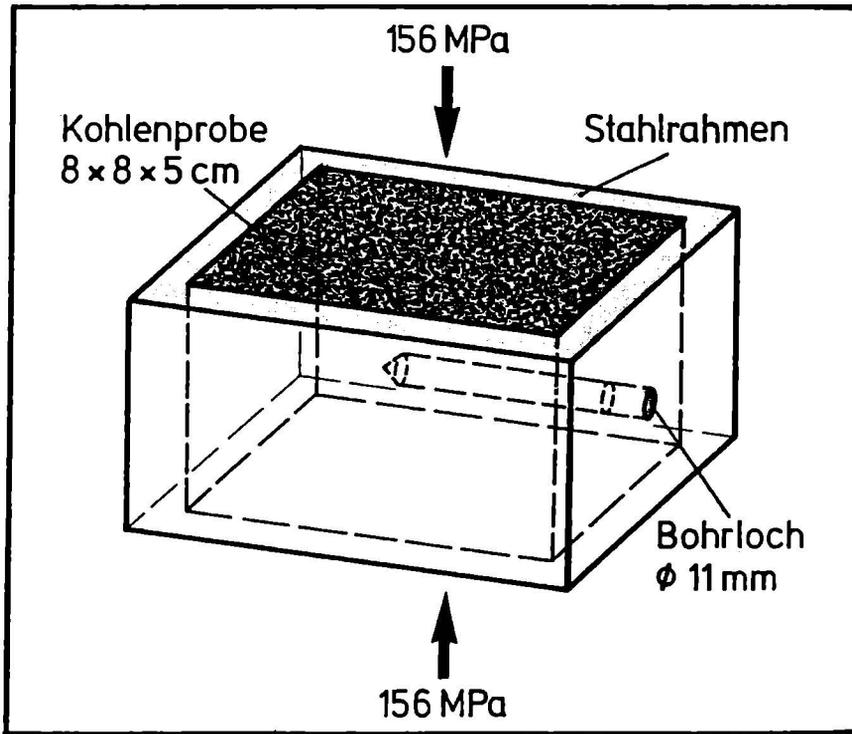


Abb. 1 Versuchsanordnung für das Bohren in Kohlenproben unter allseitigem Druck

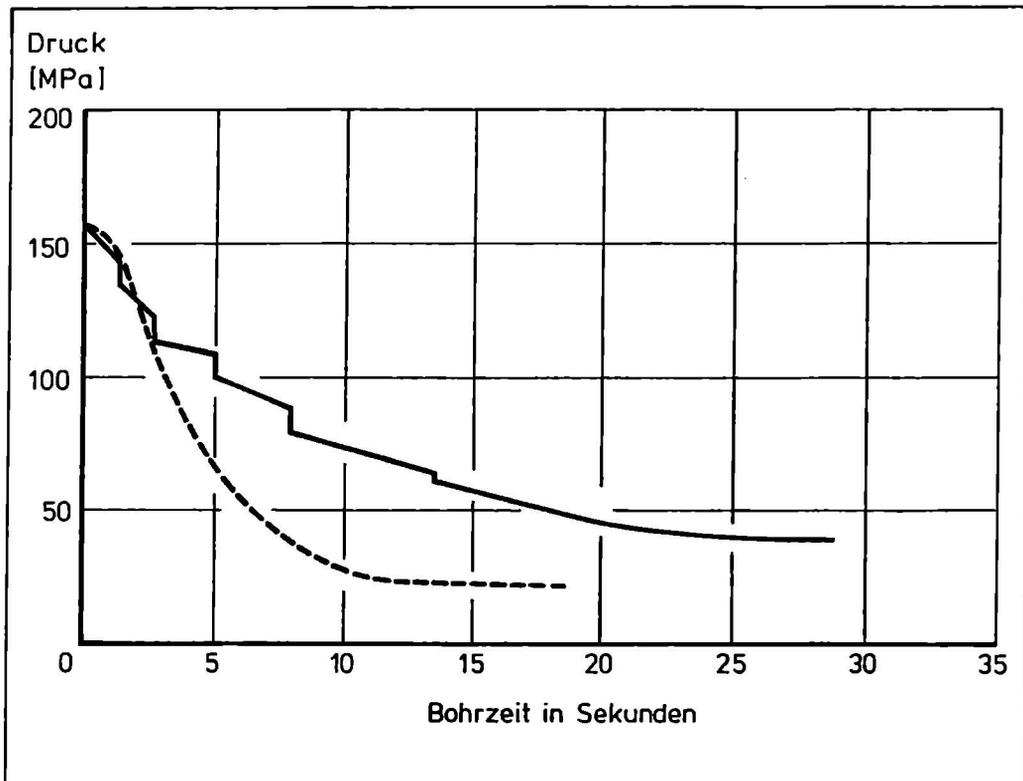


Abb. 2 Druckrückgang beim Anbohren verschiedener Kohlenarten

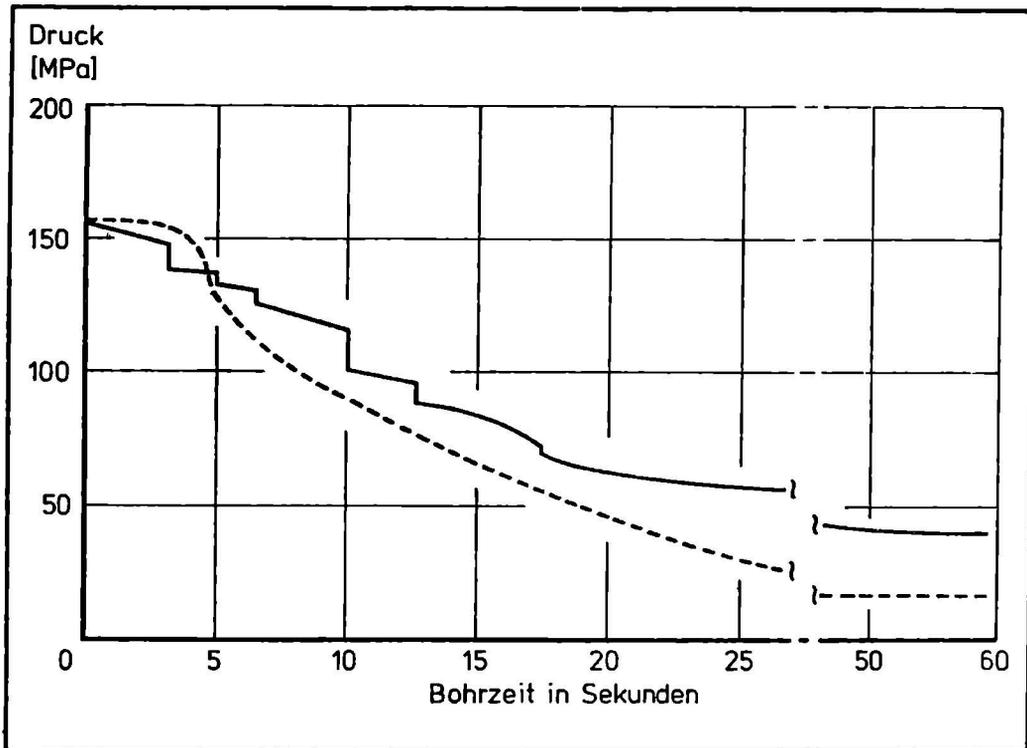


Abb. 3 Druckrückgang beim Anbohren getränkter und nicht getränkter Kohle (Beispiel 1)

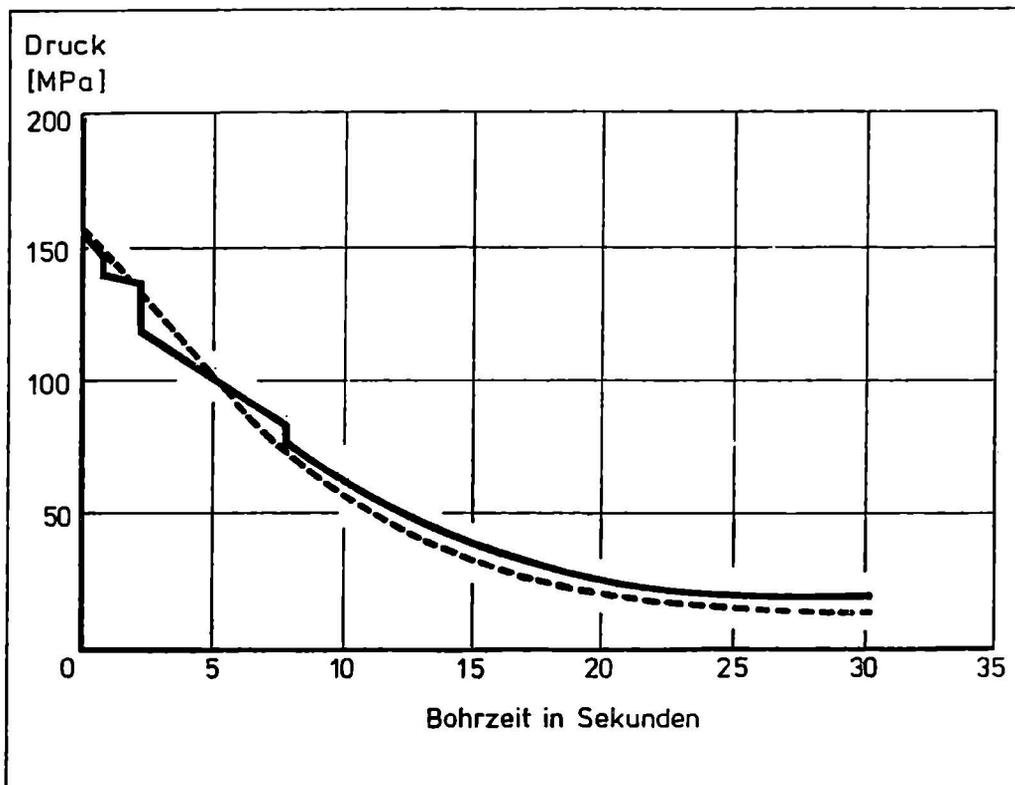


Abb. 4 Druckrückgang beim Anbohren getränkter und nicht getränkter Kohle (Beispiel 2)

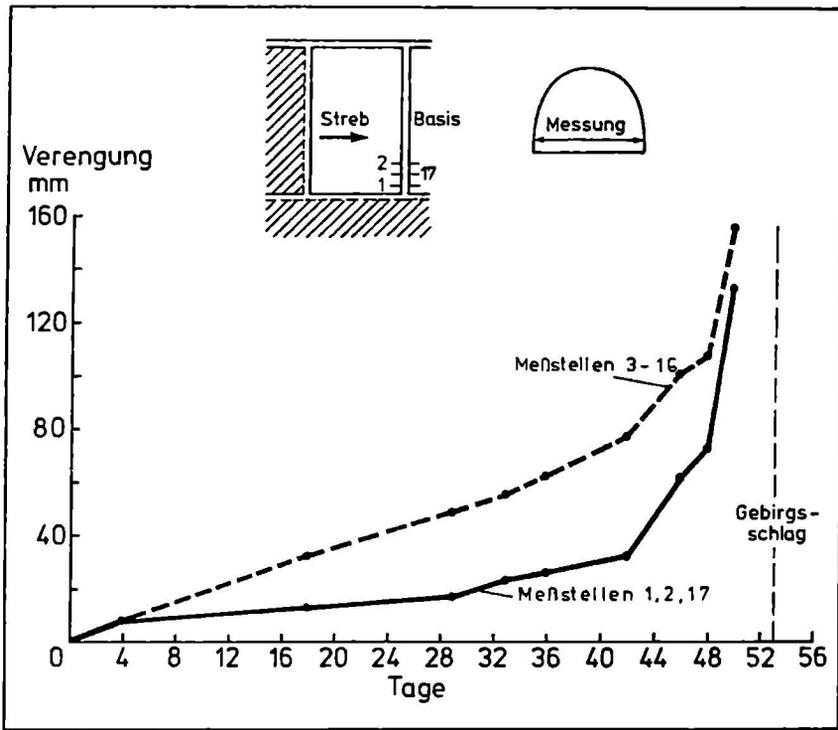


Abb. 5 Verengung einer Basisstrecke bei Abbau

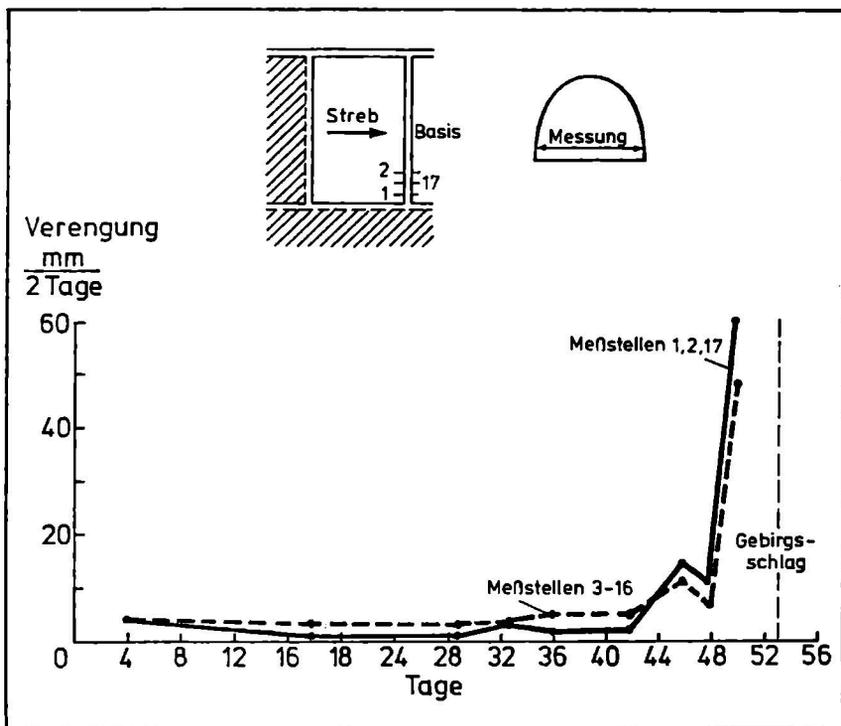


Abb. 6 Verengungszunahme, bezogen auf 2 Tage

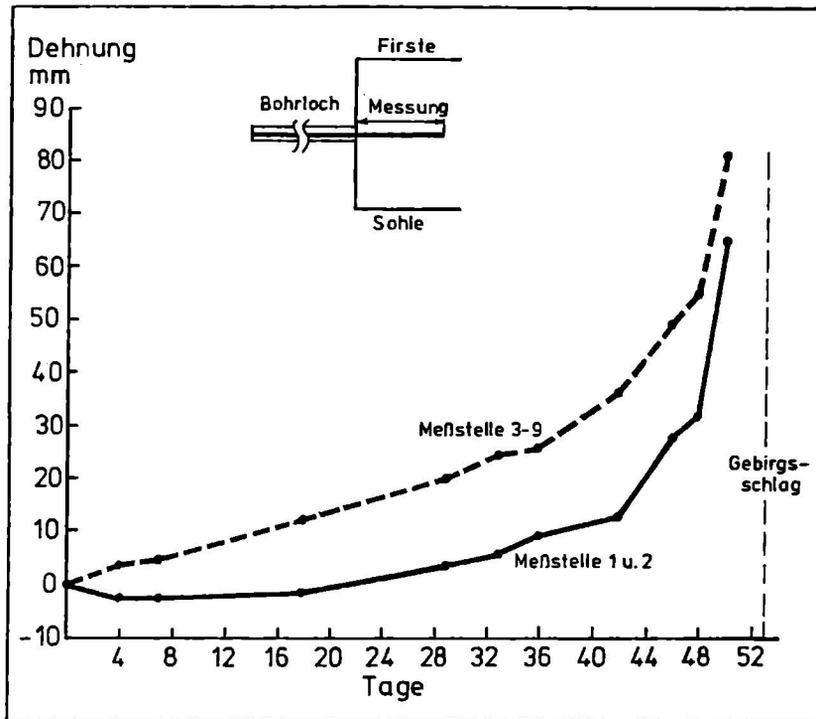


Abb. 7 Dehnungen im strebseitigen Stoß

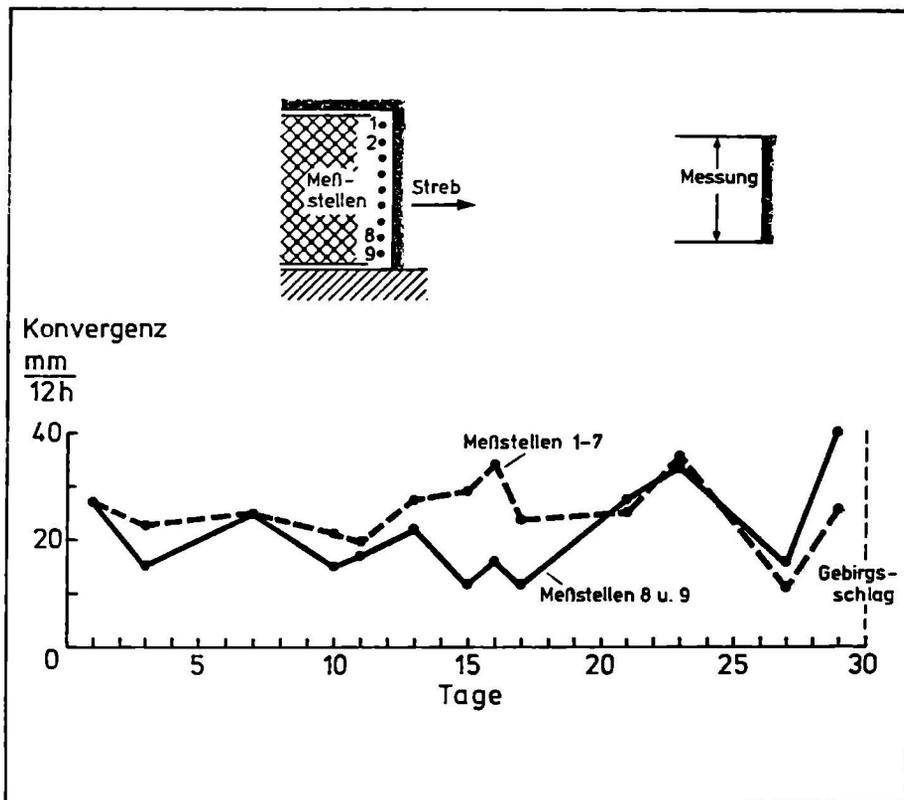


Abb. 8 Strebkonvergenz, bezogen auf 12 Stunden

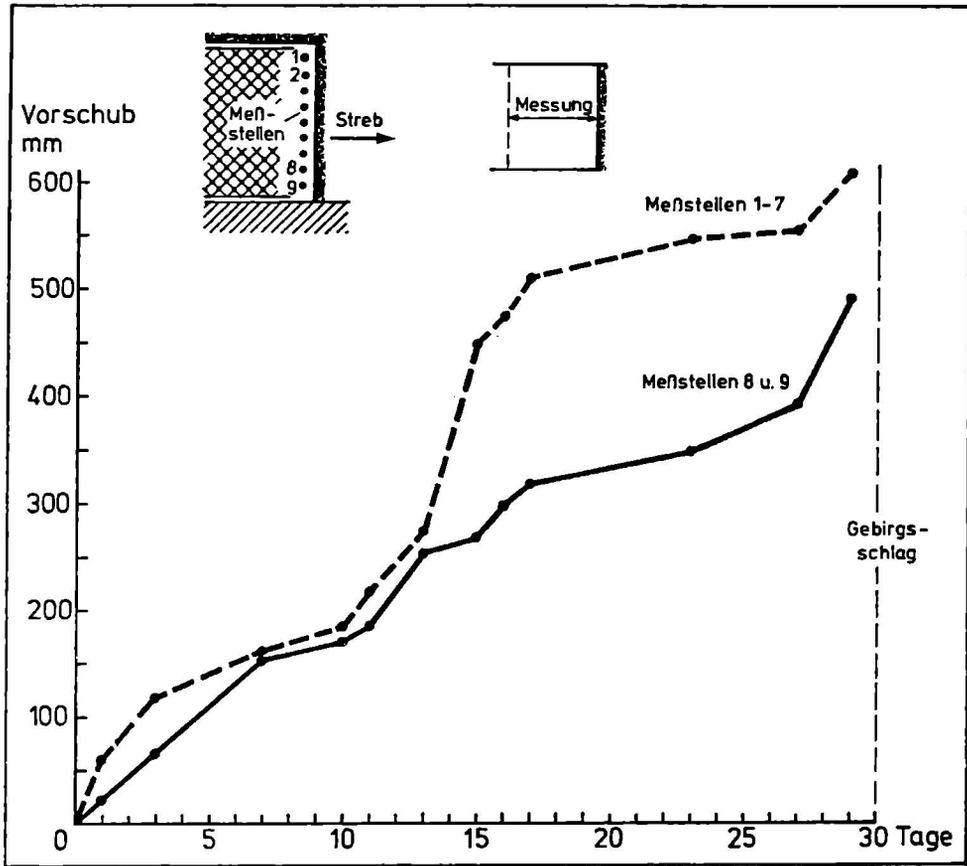


Abb. 9 Akkumulierter Vorschub des Strebstoes

DISKUSSION

G. Feder:

Es wurde als Mittel zur Bergschlagbekämpfung das Tränken des Gebirges mit Wasser erwähnt. Eckhard hat gesagt, daß in feuchten Bereichen keine Bergschläge auftreten. Ich schlage daher Versuche zur Gebirgstränkung vor, etwa Kurzzeittränkung über Bohrlöcher, in deren Tiefstes man Wasserpatronen einführt oder Kranzlöcher, die man mit Wasser füllt. Beim Schießen wird das Wasser in das Gebirge gedrückt.

G. Bräuner:

Man sollte dies prüfen.

Das Materialverhalten ändert sich durch Wasseraufnahme. Die Kluftwasserführung könnte durch Einpressen von Wasser erhöht werden, dies ist sicherlich einen Versuch wert. Unklar ist jedoch noch, wo das Wasser bleibt.

H. Wagner:

Wasserführende Klüfte in gebirgsschlagarmen Bereichen können auch andere Ursachen haben. Auch bei hoher Spannung können Klüfte wasserführend sein. Nicht wasserführende Klüfte können hohe Energiebeträge speichern, die im Falle einer lokalen Instabilität freigesetzt werden können.

H. Rainer:

Man wird versuchen müssen, in geschlossene Klüfte Wasser zu bringen, was besonders schwierig ist.

R. von Velsen-Zerweck:

Beim Tränken des Gebirges ist zu unterscheiden, zwischen

1. dem Vorrats- oder Langzeittränken mit relativ niedrigen Drücken und Wassermengen, in diesem Fall sind noch keine Klüfte vorhanden, das Wasser dringt in Poren ein, hierdurch kommt es zu einer Materialveränderung, man erhält eine Art Schmierwirkung; mit diesen vorbeugenden Entspannungsmaßnahmen können potentiell schlagfähige Flöze in den Zustand der Schlagunfähigkeit versetzt werden.

2. dem Entspannungstränken durch Wasser hohen Drucks, hierbei wird durch das Aufbrechen von Klüften der Stoß vorgeschoben und die Kohle aufgelockert, so daß es zu Spannungsumlagerungen kommen kann.

H. Rainer:

Wie kann man Klüfte bei "Bleiberger-Verhältnissen" aufbrechen, allenfalls doch nur durch Langzeittränken.