

FREIBERGER
FORSCHUNGSHEFTE

A 79

BERGBAU

KARLHEINZ BAUMANN

**Messungen der Detonationsgeschwindigkeit
mit Folgerungen
für die bergmännische Schießarbeit**

1958

ADEMIE-VERLAG BERLIN

FFH
A 79
b



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



XVI 1142^{A79}_b

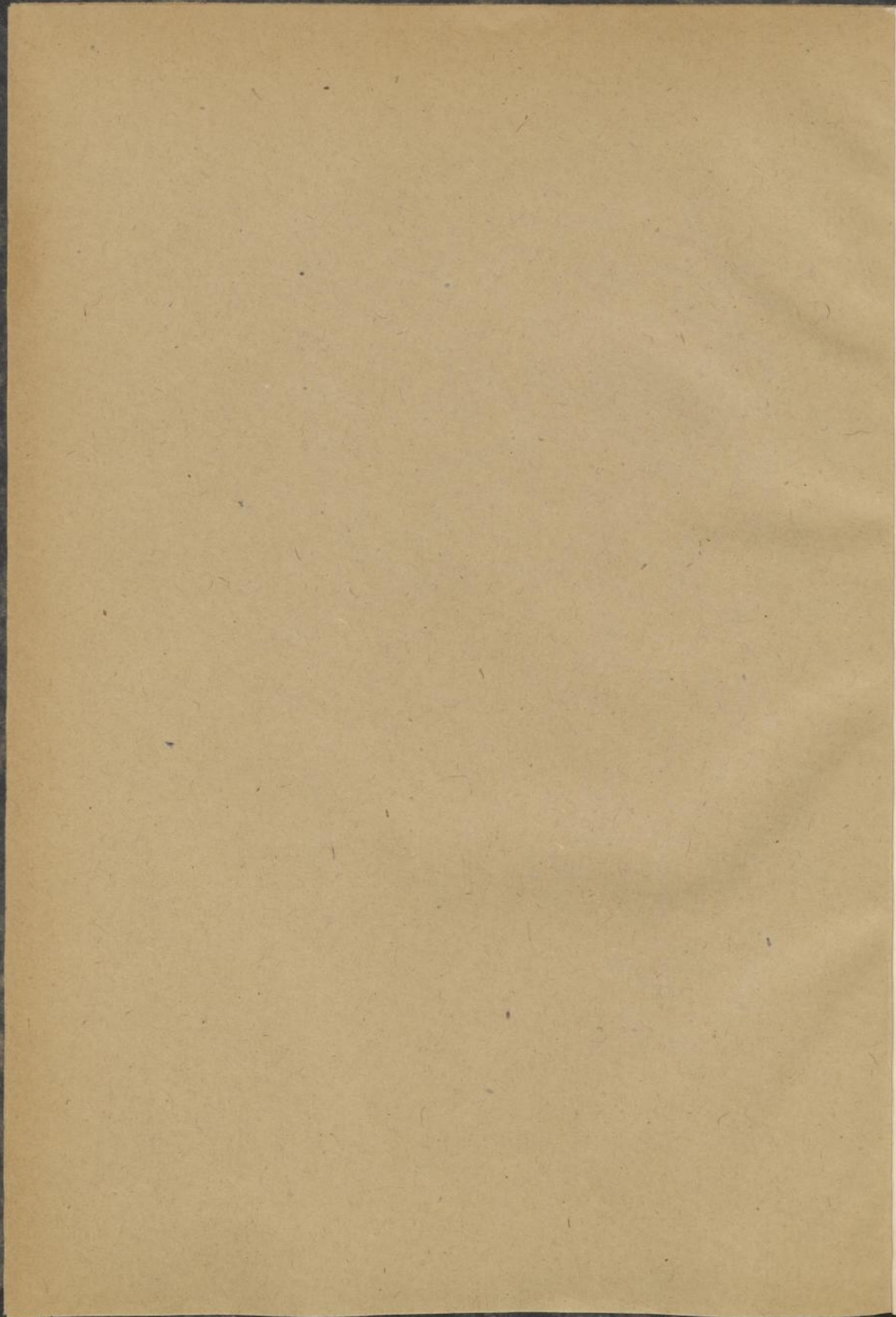
Bücher
Bergakademie
Freiberg



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XU XVI 1142 . A79B b



FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

A 79

A 79

BERGBAU

Messungen der Dehnungs- und Schrumpfungswerte

an Bergbauversuchsmodellen für die Bergbauverfahren Schieferung

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

A 79

BERGBAU

Messungen der Detonationsgeschwindigkeit mit Folgerungen für die bergmännische Schießarbeit

Von KARLHEINZ BAUMANN

1958

Akademie-Verlag · Berlin

Freib. Forsch.-H.	A79	S.1—56	13 Bilder	20 Tabellen	Berlin, März 1958
-------------------	-----	--------	-----------	-------------	-------------------

Von der Bergakademie Freiberg zur Erlangung der Würde
eines Dr.-Ing. am 5. 5. 1956 genehmigte Dissertation
Referent: Prof. Dr.-Ing. GEORG SPACKELER
Korreferent: Prof. Dr. phil. habil. WOLFGANG BUCHHEIM



XV7 7742 (A79) 6

80

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. H. Härtig. — Chefredakteur: Dipl.-Ing. R. W e n d l e r, Freiberg, Klubhaus der Bergakademie, August-Bebel-Straße 5 (Fernruf 24 97). — Verlag: Akademie-Verlag, GmbH, Berlin W 8, Mohrenstraße 39 (Fernruf 20 03 86), Postscheckkonto 350 21. — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Preis dieses Heftes: 5,— DM. Bestell- und Verlags-Nr. 2062/154/A 79. — Vertrieb: Für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel; für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland durch die Buchhandlung Kunst und Wissen, Inhaber Erich Bieber, Stuttgart-N, Hospitalstraße 33a; für das gesamte Ausland über den Buchhandel bei der Deutschen Buch-Export- und -Import GmbH, Leipzig C 1, Leninstraße 16 — Satz und Druck: VEB (K) Druckerei Hohenstein-Ernstthal, Schulstraße 6. III/12/20 1000/458. — Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 100/183/58 vom 18. 3. 58 des Ministers für Kultur, HV Verlagswesen, der Deutschen Demokratischen Republik. — Printed in Germany. — Alle Rechte vorbehalten.

(58.7170)

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	7
2 Erläuterungen zur Theorie der Sprengstoffumsetzung unter Berücksichtigung der Detonationsgeschwindigkeit	8
2.1 Die hydrodynamisch-thermodynamische Detonationstheorie	8
2.2 Der Einfluß der Detonationsgeschwindigkeit auf die Sprengstoffumsetzung und die Brisanz	8
3 Allgemeine und angewandte Methoden zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit	12
3.1 Allgemeine Methoden zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit	12
3.2 Angewandte Methode zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit	13
3.21 Beschreibung der Meßmethode	13
3.22 Auswertungsverfahren	14
3.23 Fehlerbetrachtungen	18
4 Messungen der Detonationsgeschwindigkeit unter verschiedenen Bedingungen	21
4.1 Vorversuche ohne Gesteinseinschluß	21
4.11 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Initiaalladungen	21
4.12 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronendurchmesser	25
4.13 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronenlänge	29
4.14 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der kumulativen Ladungen	31
4.2 Hauptversuche im Gesteinseinschluß	34
4.21 Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Bohrlochdurchmessers	34
4.22 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Ladesäulenlänge	38
4.23 Messungen zur Bestimmung des Einflusses von Hohlräumen	41
4.24 Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Besatzes	42
5 Folgerungen aus den Messungen der Detonationsgeschwindigkeit für die bergmännische Schießarbeit	45
5.1 Folgerungen aus den Vorversuchen ohne Gesteinseinschluß	45
5.11 Folgerungen aus den Messungen über den Einfluß der Initiaalladungen	45
5.12 Folgerungen aus den Messungen für die Größe des Durchmessers der Patronen	46
5.13 Folgerungen aus den Messungen für die Länge der Patronen	46
5.14 Folgerungen aus den Messungen über die Anwendungsmöglichkeiten der kumulativen Ladungen	46
5.2 Folgerungen aus den Hauptversuchen im Gesteinseinschluß	47
5.21 Folgerungen aus den Messungen über die Größe des Bohrlochdurchmessers	47
5.22 Folgerungen aus den Messungen über die Länge der Ladesäule	48
5.23 Folgerungen aus den Messungen über den Einfluß von Hohlräumen	48
5.24 Folgerungen aus den Messungen über den Besatz	49
6 Zusammenfassung	50
Literatur	51
Anlagen (Auswahl)	53

1 EINLEITUNG

Die Anwendung von Sprengstoffen im Bergbau soll so wirtschaftlich wie möglich erfolgen. Dies ist eine Forderung, die umfassende Kenntnisse über die Sprengstoffumsetzung und die Sprengstoffwirkung verlangt. Umsetzung und Wirkung von Sprengstoffen sind von mehreren Faktoren abhängig, von denen bisher einige durch Laborversuche bestimmt wurden.

Unter Bergbauverhältnissen führte Arnold [1] erstmalig nach Entwicklung einer für die Praxis geeigneten Apparatur Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten durch. Er stellte eine Abhängigkeit der Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffes Donarit 1 vom einschließenden Material fest. Aus diesen Messungen konnten Folgerungen über die Bemessung der Sprengstoffmenge, über das Einbringen eines Besatzes, über die Richtung der Sprengkapsel und über das Hohlraumschießen gezogen werden.

Diese Untersuchungen gaben die Anregung, durch weitere Messungen der Detonationsgeschwindigkeit in Reihenversuchen den Einfluß der Initiaalladungen, der Patronendurchmesser, der Patronenlänge und der kumulativen Ladungen zu bestimmen. Diese Messungen wurden zunächst ohne Einschluß der Ladungen als Freiluftversuche durchgeführt; der Einfluß der Bohrlochdurchmesser, der Ladesäulenlänge, der Hohlräume innerhalb von Ladungen und der Einfluß des Besatzes wurden sodann in verschiedenen Gesteinseinschlüssen untersucht. Die Versuche wurden fast ausschließlich mit dem Sprengstoff Donarit 1 und nur in einem Ausnahmefall mit dem Sprengstoff Chloratit 2 durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse dieser Messungen zusammengefaßt und ausgewertet. Dabei ergaben sich z. T. erhebliche Abweichungen von den in Laborversuchen gewonnenen Ergebnissen. Die Arbeit wurde am Institut für Bergbaukunde der Bergakademie Freiberg/Sa. auf Anregung und mit ständiger Beratung von Prof. Dr.-Ing. Spackeler durchgeführt. Die Untersuchungen sollen ein Beitrag zur Wirtschaftlichkeit und Sicherheit der Schießarbeit im Bergbau sein.

2 ERLÄUTERUNGEN ZUR THEORIE DER SPRENGSTOFFUMSETZUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER DETONATIONSGESCHWINDIGKEIT

2.1 Die hydrodynamisch-thermodynamische Detonationstheorie

Im Bergbau werden fast ausschließlich detonierende Sprengstoffe verwendet. Es wird daher im Nachstehenden die bedeutendste und bekannteste Theorie der Sprengstoffumsetzung, die hydrodynamisch-thermodynamische Detonationstheorie, betrachtet. Diese faßt die Detonation als Kopplung eines physikalischen Stoßvorganges mit einer chemischen Umsetzung auf.

Der Schlag einer Sprengkapsel ist analog dem aus dem Gebiet der Hydro-mechanik bekannten Verdichtungsstoß, dem Wasserschlag (Roth [2], S. 36). Der Stoß der Sprengkapsel muß energiereich sein, um die Trägheit des Sprengstoffes in der ersten Schicht zu überwinden. Dabei soll der Druck von normalen Verhältnissen auf 100 000 at und die Temperatur bis 5000°C steigen. Weiter wird durch Aktivierung der Moleküle eine Energie ausgelöst, die ihrerseits nun bei weiterer Zersetzung von Molekülen den Stoß durch den Sprengstoff fortleitet (Muraour [3], S. 43).

Durch die Umsetzung des Sprengstoffes entstehen gasförmige Reaktionsprodukte. Diese haben durch den hohen Druck und die hohe Temperatur eine höhere Dichte als der unzersetzte Sprengstoff. Daher strömen die Reaktionsprodukte, die sogenannten Schwaden, mit einer eigenen Geschwindigkeit W der Umsetzungsfront nach.

Die Detonationsgeschwindigkeit D ist nach Taylor [4], S. 72, gleich der Summe der Geschwindigkeit W und der Geschwindigkeit a des Schalles in den Schwaden, also

$$D = W + a,$$

wenn die Umsetzung ohne Energieverluste verläuft.

Die Fortleitung des Verdichtungsstoßes durch den Sprengstoff ist abhängig von dem Energieinhalt, der Dichte und der Art des Sprengstoffes sowie verschiedenen äußeren Einflüssen und kann eine maximale Geschwindigkeit annehmen, wenn alle Bedingungen optimal erfüllt sind.

Der Verdichtungsstoß ist weiterhin in der Lage, auch fremdartige Teilchen, die von ihm getroffen worden sind, zur Fortpflanzung der aufgenommenen Energie anzuregen. Dabei pflanzt sich der Stoß nicht mit gleicher Stärke fort, sondern läuft in einer Schallwelle aus [5].

Diese kurze Zusammenfassung der hydrodynamisch-thermodynamischen Theorie dürfte für die nachfolgenden Darlegungen genügen.

2.2 Der Einfluß der Detonationsgeschwindigkeit auf die Sprengstoffumsetzung und die Brisanz

Entgegen den früheren Auffassungen (Becker [6], S. 158) konnte inzwischen einwandfrei bewiesen werden, daß die Detonationsgeschwindigkeit keine konstante Größe ist. Nach Roth [2], S. 30, sind „minimale untere und besonders maximale obere Detonationsgeschwindigkeiten als Grenzschnelligkeiten für jeden Sprengstoff gegebener Dichte charakteristisch. Die Detonation mit oberer Geschwindigkeit ist vornehmlich durch große, brechende, brisante Wirkung, diejenige mit unterer Geschwindigkeit durch die treibende, mehr stückiges Material liefernde Wirkung

ausgezeichnet". Eine maximale Detonationsgeschwindigkeit stellt sich nur dann ein, wenn die Umsetzung des Sprengstoffes in der Detonationszone vollständig abläuft und ohne Energieverlust durch vorzeitige Expansion erfolgt. Zur unteren Geschwindigkeit ist von Roth angegeben, daß sie bis auf 1000 m/s abfallen kann. Unter dieser Geschwindigkeit ist kein Verdichtungsstoß mehr in der Lage, den Sprengstoff stabil zu durchlaufen. Neben der von Roth angeführten Abhängigkeit der Detonationsgeschwindigkeit von der vollständigen Umsetzung der Sprengstoffe sind folgende Faktoren von entscheidender Bedeutung:

- a) die Dichte des Sprengstoffes
- b) die Stärke und Art des Einschlusses
- c) der Durchmesser der Sprengstoffsäule
- d) die Stärke des Initialimpulses und
- e) die Verdämmung.

Hierzu sei im einzelnen angeführt:

Zu a)

Fast jeder Sprengstoff besitzt eine optimale Dichte (Urbanski [7], S. 281; Arnold [1], S. 10). Wird diese nicht eingehalten, so verringert sich die Detonationsgeschwindigkeit, wobei sogar die Detonationswelle abreißen kann. Dazu sagt Schmidt [8] auf Seite 145:

„Da der Detonationsdruck mit der Dichte ansteigt und dieser die Stoßwelle verursacht, wird mit Anstieg der Dichte der Anteil der durch die Stoßwelle fortgeführten Energie größer. Man kann durch Erhöhung der Dichte einen „schiebenden“ Sprengstoff zu einem „brisanten“ machen, wenn mit den Begriffen schiebend und brisant die auf die Schwaden bzw. auf die Druckstoßwelle fallenden Energieteile mit ihren Äußerungen bezogen werden.“

Zu b)

Über den Einfluß des einschließenden Materials berichtete Meyer [9]. Er stellte für einen Kalziumnitrat enthaltenden Sprengstoff von 27 mm ϕ

freiliegend	3250 m/s,
im Holzrohr von 1 cm Wandstärke	3430 m/s,
im Eisenrohr von 32 mm ϕ 3 mm Wandstärke mit Naht	3900 m/s und
im Eisenrohr von 32 mm ϕ 3 mm Wandstärke ohne Naht	4400 m/s

als Detonationsgeschwindigkeit fest.

Arnold [1] untersuchte den Einfluß des Gesteinseinschlusses. Die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit 1 ist nach seinen Versuchen in Luft 2934 m/s = 100 %, in Sand 106,5 %, in Ton 109,5 %, in Sandstein 117,0 %, in Kalkstein 115,7 %, in Granitporphyr 119,8 % und in Steinsalz 123,8 %.

Zu c)

Nach Bausch [10], S. 13, ist für die üblichen Sprengstoffe ein Durchmesser von — 25 mm nicht angebracht, wenn die Umsetzung nicht ungünstig verlaufen soll.

Zu d)

Es ist bekannt, daß eine Durchzündung des Sprengstoffes um so besser ist, je größer und stärker die Initialladungen sind. Auch von der Anordnung der Sprengkapsel und damit der Richtung des Initialimpulses ist die Detonationsgeschwindigkeit abhängig [9], wie nachstehende Tabelle zeigt.

Tabelle 1

	Sprengkapselboden	
	zur Ladesäule gerichtet	aus der Ladesäule weisend
Kalzit 27 mm \varnothing	Kapsel „vorwärts“	Kapsel „rückwärts“
freiliegend	3390 m/s	2260 m/s
32 mm Eisenrohr unverdämmt	4600 m/s	4090 m/s
32 mm Eisenrohr verdämmt	5260 m/s	5200 m/s

Zur Lage der Kapsel im Bohrloch ist zu bemerken, daß es aus Gründen der Schlagwettersicherheit richtig ist, diese am Bohrlochmund einzubringen. Wo dies nicht berücksichtigt werden muß, soll nach Meinung der Praxis bei stark keiligen Löchern die Sprengkapsel in das Bohrlochtiefste eingebracht werden. Nach Arnold [1], S. 58, hat die Lage der Sprengkapsel auf das Werfen der Vorgabe kaum einen Einfluß.

Zu e)

Der Einfluß des Besatzes auf die Detonationsgeschwindigkeit brisanter Sprengstoffe ist nicht überzeugend geklärt, da sich widersprechende Ergebnisse gegenüberstellen. Meyer [9] stellte eine Erhöhung der Detonationsgeschwindigkeit durch die Verdämmung fest (s. Tabelle 1).

Dagegen bestimmte Herlin [11] folgende Geschwindigkeiten:

	mit Besatz	ohne Besatz
Extradynamit	3690 m/s	4080 m/s
Sternterrit	1450 m/s	1680 m/s

Die geringere Detonationsgeschwindigkeit bei dicht verdämmten Schüssen führt er auf Stauchung des Sprengstoffes durch die Schwaden zurück.

Nach anderer einschlägiger Literatur wird Besatz empfohlen, da dadurch die Umsetzung der Sprengstoffe günstiger und die Ausnutzung besser sei. Beyling-Dreköpf [18] erwähnt (Seite 330), daß brisante Sprengstoffe um so besser detonieren, je fester sie im Bohrloch eingeschlossen sind.

Witte [13] stellte eine optimale Besatzlänge fest. Bei geringerer Länge fielen die Ausbauchungswerte eines Bleimörser. Auch Baumann [14] (S. 48) stellte die Abhängigkeit der Detonationsgeschwindigkeit von der Besatzlänge insoweit fest, als die Länge des Besatzes aus Steinsalzbohrmehl bis zu 30 cm keinen Einfluß ausübt; über diese hinaus wurde eine Minderung der Geschwindigkeit gemessen.

Für lange Bohrlöcher ist nach Arnolds [1] Untersuchungen (S. 51) im Salzbergbau ein Besatz bei brisanten Sprengstoffen aus detonationsphysikalischen Gründen nicht notwendig, da die Luft im unbesetzten Bohrloch den vordringenden Schwaden einen Widerstand entgegengesetzt und die Schwadenenergie zum Werfen der unbesetzten Vorgabe ausgenützt wird.

Nach diesen qualitativen Erörterungen der Detonationsgeschwindigkeit folgen quantitative Erfassungen. Fußend auf dem Impulssatz, wonach dem treibenden Druckunterschied das Produkt aus Masse und Geschwindigkeitszunahme entspricht, wird für den Detonationsdruck die Formel nach Becker (bei Mayrich-Sorm [15], S. 339 erwähnt) angegeben:

$$\Delta p = \rho_0 \cdot D \cdot W$$

Darin bedeuten:

- D = Detonationsgeschwindigkeit m/s
- W = Schwadengeschwindigkeit m/s
- ρ_0 = Dichte des Sprengstoffes g/cm³
- Δp = Detonationsdruck

Diese Formel erfaßt die Umsetzung kinetisch, indem D und W als die die Umsetzung charakterisierenden Größen enthalten sind. Der Detonationsdruck ist damit proportional der Dichte des Sprengstoffes, der Schwadengeschwindigkeit und der Detonationsgeschwindigkeit.

K a s t hat folgende Formel aufgestellt, wobei der sog. Brisanzwert als rechnerisch erfaßbare Größe für die Wirksamkeit der Sprengstoffe eingeführt wurde:

$$B = E \cdot D \cdot \rho$$

Es bedeuten:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| E = Energiegehalt des Sprengstoffes | kcal/kg |
| D = Detonationsgeschwindigkeit | m/s |
| ρ = Dichte des Sprengstoffes | g/cm ³ |
| B = Brisanzwert | kcal · m |
| | dm ³ · s |

In dieser Formel ist die Brisanz proportional der Energie je Volumeneinheit, der Detonationsgeschwindigkeit und der Dichte. Mit anderen Worten ist die Brisanz proportional der Arbeit je Volumeneinheit (Mayrich-Sorm [15], S. 339).

Zur Verdeutlichung der Bedeutung der Detonationsgeschwindigkeit auf die Umsetzung von Sprengstoffen wird das Bild 1, „Schematische Darstellung des Druck-Zeit-Verhaltens verschiedener Sprengstoffe nach Spackeler [16]“, gebracht.

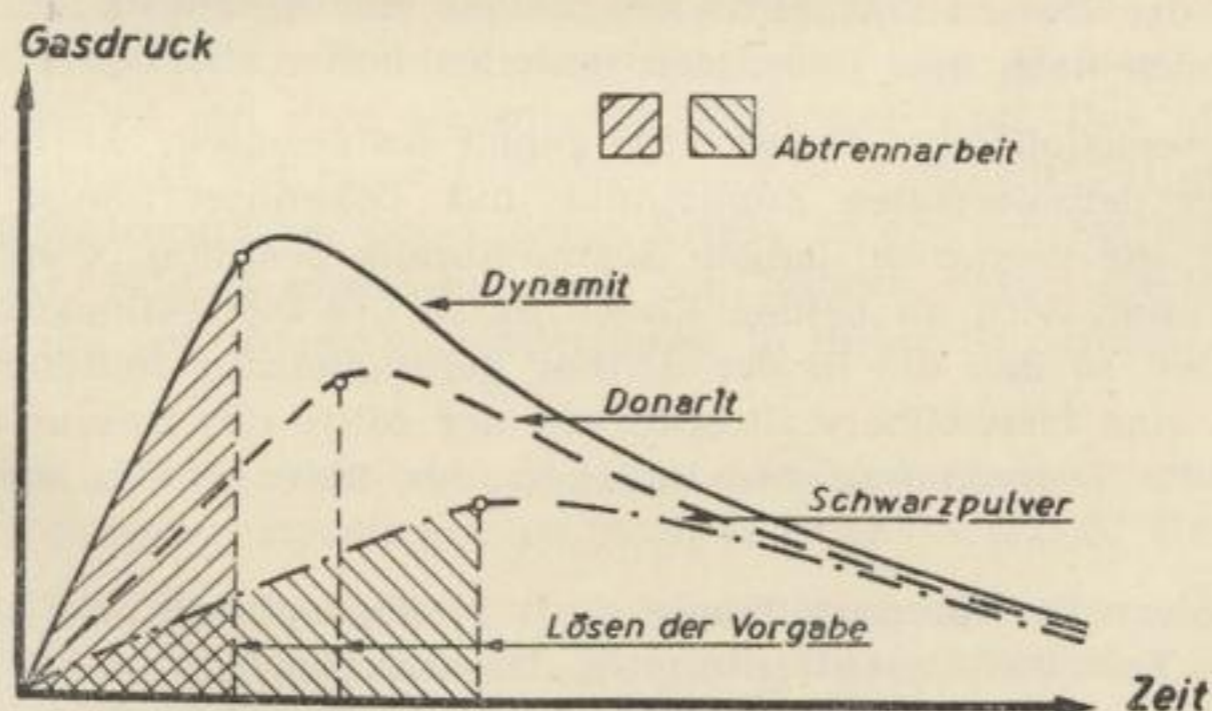


Bild 1. Schematische Darstellung des Druck-Zeit-Verhaltens verschiedener Sprengstoffe (nach Spackeler)

Die Detonationsgeschwindigkeit von Dynamit ist größer als die von Donarit und größer als die Umsetzungsgeschwindigkeit von Schwarzpulver. Damit ist die Umsetzungszeit von Dynamit kürzer als die von Donarit und die von Schwarzpulver. In der gleichen Reihenfolge wird das Gasdruckmaximum entwickelt, und in gleicher Reihenfolge erfolgt das Lösen der Vorgabe. Das Dynamit zeigt in Übereinstimmung mit dieser Darstellung stark brechende brisante Wirkung und das Schwarzpulver schiebende, nicht brisante Wirkung.

Über die Bedeutung des Druck-Zeit-Verhaltens bei der Detonation von Sprengstoffen sei Schmidt [8] (S. 148) erwähnt. Er vergleicht die schematischen Druck-Zeit-Kurven von Nitropenta und Sprenggelatine bei gleicher Dichte, bei annähernd gleicher Energiemenge und bei gleicher Gasmenge, aber verschiedener Detonationsgeschwindigkeit und kommt zu folgendem Schluß: „Der verschiedenen hohen Detonationsgeschwindigkeit entspricht notwendigerweise ein verschieden hoher Druck in der Front der Detonationswelle.“

Vorstehend wurde festgestellt, daß die Brisanz und auch der Detonationsdruck u. a. proportional der Detonationsgeschwindigkeit ist. Daher ist es gegeben, die Detonationsgeschwindigkeiten von Sprengstoffen unter dem Einfluß verschiedener, durch die bergbauliche Praxis gegebener Bedingungen als proportionale Größe zu messen.

3 ALLGEMEINE UND ANGEWANDTE METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER DETONATIONSGESCHWINDIGKEIT

3.1 Allgemeine Methoden zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit

Bei der Umsetzung von Sprengstoffen ist nur die Detonationsgeschwindigkeit meßtechnisch zu erfassen, nicht die Detonationstemperatur und der Detonationsdruck. Diese können lediglich angenähert rechnerisch bestimmt werden, da einer Messung dieser Größen bisher unüberwindliche Schwierigkeiten im Weg stehen.

Neben der Messung der Detonationsgeschwindigkeit werden einige Prüfmethoden in den Sprengstoffwerken angewandt. Diese Methoden geben einfach und schnell einen vergleichenden Überblick über sprengtechnische Eigenschaften der Sprengstoffe und werden daher für fabrikationsmäßige Reihenprüfungen verwendet.

Zur Messung der Detonationsgeschwindigkeiten von Sprengstoffen wurden Geräte entwickelt, die sich nach drei Prinzipien einteilen lassen (Selle [17]):

a) In eine Sprengstoffsäule werden in genau festgelegtem Abstand (Meßstrecke) die Enden einer detonierenden Zündschnur mit bekannter Länge und bekannter Geschwindigkeit, die vorher an langen Schnurstücken bestimmt wurde, gesteckt. Die detonierende Schnur wird an beiden Enden durch die Detonationsfront zeitlich verschieden gezündet, so daß die in der Schnur gegeneinander laufenden Detonationswellen sich um eine feststellbare Strecke von der Mitte der Schnur entfernt treffen. Hieraus wird die Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffes ermittelt (Dautriche 1906).

b) Eine detonierende Sprengstoffsäule wird photographiert, wobei der Film auf eine rotierende Trommel mit bestimmter Drehzahl gelegt ist. Die Detonationsgeschwindigkeit wird aus der Länge der detonierten Sprengstoffsäule sowie aus der Drehzahl der Trommel berechnet. Dazu gehören die optischen Chronographen von Le Chatelier (1883), von Dixon (1903) und Becker (1922).

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

c) In eine Sprengstoffsäule werden in genau festgelegtem Abstand Stromkreise eingeführt, die beim Detonationsvorgang eine Zeit-Registriervorrichtung auslösen. Nach diesem Prinzip arbeiten die Geräte: Le Boulagé-Zeitmesser (1885), Kondensator-Methode (1900), Pouillet-Schaltung (1924) und der Funken-Chronograph von Mettegang (1904).

Die unter a) erwähnte Methode nach Dautriche ist zwar sehr einfach, jedoch für Messungen in Bohrlöchern ungeeignet. Als Zündmittel ist die Schnur in der Lage, im Bohrloch die Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffes zu beeinflussen.

Die photographische Registrierung des Ablaufes der Detonation nach b) ist in Bohrlöchern aus offensichtlichen Gründen nicht anzuwenden.

Die Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit nach dem unter c) angeführten Prinzip ist in Bohrlöchern möglich. Für untertägige Messungen sind die angeführten Verfahren in ihrem apparatemäßigen Aufbau zu kompliziert und unbeweglich. Deshalb wurde vom Institut für Bergbaukunde der Bergakademie Freiberg unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Spackeler in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geophysik, Prof. Dr. phil. habil. Buchheim und der Firma Rentsch, Pirna-Copitz, ein neues Meßgerät entwickelt.

3. 2 Angewandte Methode zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit

3. 2 1 Beschreibung der Meßmethode

Das verwendete Gerät zur Messung der Detonationsgeschwindigkeiten von langgestreckten Sprengstoffladungen mußte den besonderen Verhältnissen der Untertagemessung angepaßt sein, d. h., es mußte genügend widerstandsfähig und leicht transportabel sein sowie bei jeder Messung Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit liefern. All dies wurde in dem entwickelten Gerät erreicht. Eine eingehende Beschreibung ist bei Arnold [1] und Rentsch [12] zu finden. Es sollen hier nur die zum Verständnis der nachstehend angeführten Untersuchungen notwendigen Erläuterungen gebracht werden.

In eine gestreckte Sprengstoffladung (Meßladung) werden in genau festgelegtem Abstand (Meßsondenentfernung) elektrische Leiter (Sonden) eingebracht. Dazu werden senkrecht zur Patronenachse Löcher mit einer Messingnadel von 1 mm ϕ gestoßen. In diese werden die Sonden eingeführt, die über Meßsondenleitungen und ein 5poliges Meßkabel mit dem Hauptgerät verbunden sind. Das Meßgerät besteht aus dem Registriergerät mit einer Bildschreiberöhre (Oszillograph) und dem Zusatzgerät, in das Thyatronröhren (schraffierte Kreise in der schematischen Darstellung der Meßapparatur, Bild 2) eingebaut sind. Die Röhren haben die Eigenschaft, sich nach ihrer Zündung von Spannungsänderungen in ihrem Stromkreis nicht beeinflussen zu lassen.

Das Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau der Sprengladung und der Meßapparatur mit den wichtigsten Bauelementen (nach Rentsch [12] S. 319).

Nach Zündung des Sprengstoffes mit üblichen Methoden oder mit einem in das Hauptgerät eingebauten Zündkreis erfolgt beim Durchlaufen der Detonationswelle durch die Sonden die Auslösung des Gerätes. Je nach Schaltungsart bestehen die Sonden aus einem Durchreißdraht oder aus zwei voneinander isolierten Kupferlackdrähten. Im ersten Fall wird der Stromkreis getrennt, im zweiten Fall werden die

20.1.1954

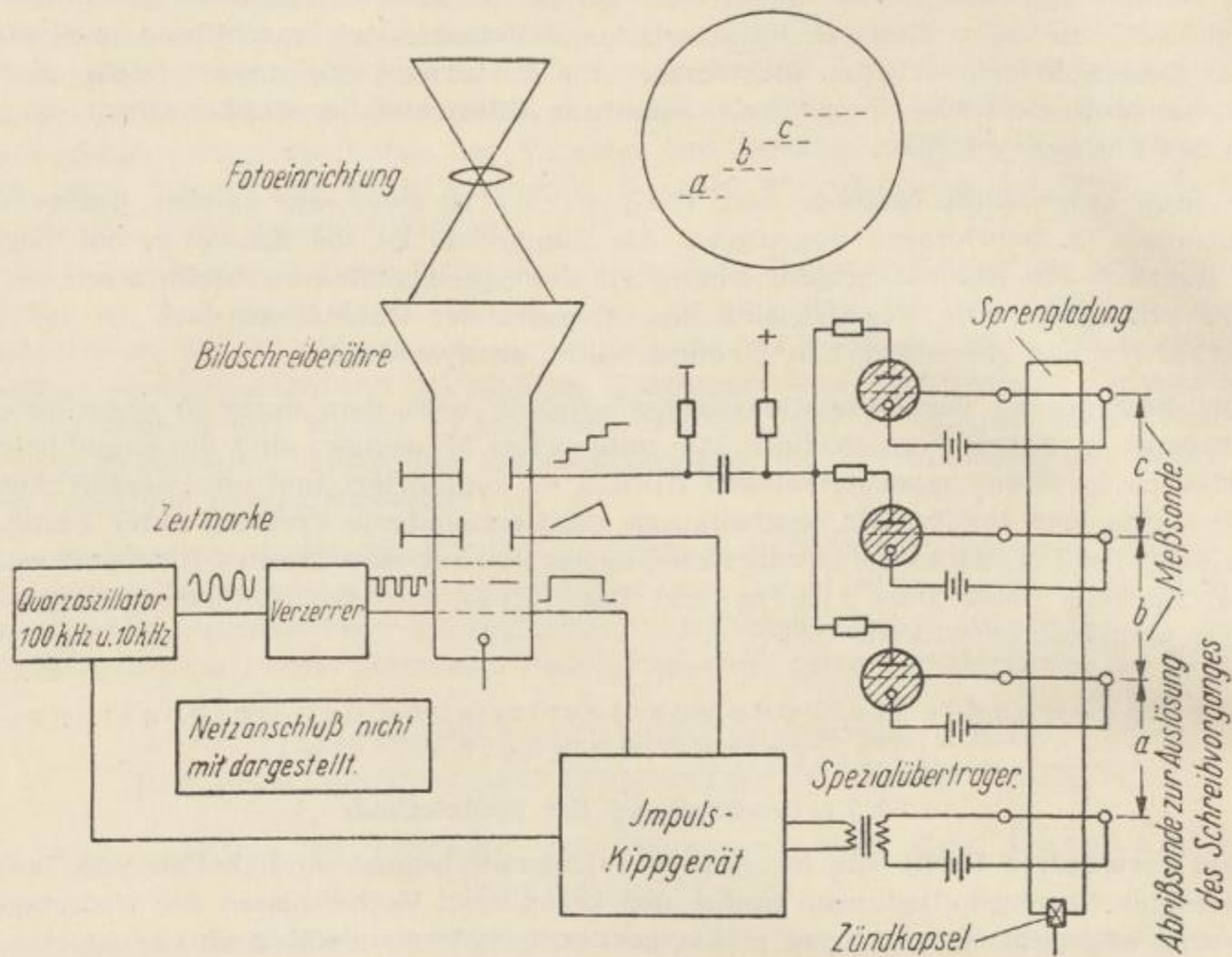


Bild 2. Schematische Darstellung der Apparatur zur Bestimmung von Detonationsgeschwindigkeiten

Sonden bei der Detonation kurz geschlossen. Die letzte Anordnung machte sich erforderlich, da bei Messungen mit Durchreißsonden im Salz störende Ionisationserscheinungen auftraten. Darüber berichten Arnold [1] und Rentsch [12]. Nach Einsatz der Kurzschlußsonden wurden einwandfreie Meßergebnisse erzielt (Baumann [14]).

Bei Auslösung der ersten Sonde beginnt der Elektronenstrahl des Oszillographen im Hauptgerät zu schreiben. Dieser wird beim Durchgang der Detonationswelle durch die 2., 3. und 4. Sonde jeweils gehoben, so daß ein Stufen-Oszillogramm entsteht. Der Elektronenstrahl wird durch eine geeignete elektronische Schaltung in Zeitmarken aufgelöst. Die Zeitmarken haben je nach Schaltungsart einen Wert von 10 oder 100 kHz, entsprechend einem Zeitwert von 10^{-4} und 10^{-5} s. Zum einwandfreien Arbeiten des Meßgerätes mußte netzseitig ein Spannungsstabilisator und ein Regeltransformator vorgeschaltet werden, um die erheblichen Spannungsschwankungen, die besonders im Grubenbetrieb auftraten, auszugleichen.

3.2.2 Auswertungsverfahren

Die Detonationsgeschwindigkeit wird bestimmt aus der Strecke zwischen den einzelnen Meßsonden, dem Meßsondenabstand und der Zeit zwischen dem Auslösen

Für die aus den Oszillogrammen errechneten Detonationsgeschwindigkeiten wird das arithmetische Mittel, sein mittlerer Fehler und der der Einzelmessung bestimmt. Bei einer größeren Anzahl von Meßwerten wird außerdem eine Untersuchung des Normalverteilungsverhaltens mittels Darstellung im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz durchgeführt. Der Vorteil dieser Auswertung liegt u. a. darin, daß die Ergebnisse unabhängig von zufälligen Streuungen entstehen und daß festgestellt werden kann, wieviel Einflüsse das Meßergebnis bestimmt haben. Hat nur ein Einfluß die Messungen beherrscht, dann nimmt ihre Häufigkeitsdarstellung im linearen Netz die Form einer Gaußschen Glockenkurve und im Häufigkeitsnetz die Form einer Hyperbel an. Wirken dagegen mehrere Faktoren auf die Messungen ein, dann überlagern sich mehrere Glockenkurven bzw. Hyperbeln. Hierzu wird auf die Arbeiten von D a e v e s [19 bis 21], F l e h m i g [22] und D o h m e n [23] verwiesen, die über angewandte Häufigkeitsauswertung berichten.

Die Auswertung ist in den Anlagen zu dieser Arbeit wiedergegeben, die nach folgenden Gesichtspunkten geordnet sind:

Die Ziffern I—XXVI geben die Versuchsreihen- und Anlagennummern an. Die Versuchsreihen werden im Nachstehenden auch als Versuche bezeichnet, da durch sie jeweils ein Versuchspunkt geklärt wird. Die Indices a, b, c und d geben die nachstehend beschriebenen Auswertungsstufen an. In den Anlagen XXVIII und XXIX sind die Ergebnisse aller Versuche zusammengestellt. Dieses Heft enthält die Anlagen Ia—d, XXVII, XXVIII und XXIX. Alle übrigen Anlagen sind in der Originalarbeit einzusehen, die in der Bibliothek der Bergakademie aufbewahrt wird.

In der Anlage a: Ergebnisse der Versuchsreihe sind sämtliche aus den Oszillogrammen errechneten Detonationsgeschwindigkeiten D_1 , D_2 und D_3 in der chronologischen Reihenfolge der Versuchsdurchführung angegeben. Dadurch ergab sich in einigen Versuchsreihen keine fortlaufende Reihenfolge der Schuß-(Bild)-Nummern. Dieser Ausdruck wurde gewählt, weil der Auswertung der einzelnen Schüsse vergrößerte Bilder der Oszillogramme zugrunde lagen.

Unter Vernachlässigung ungenau ermittelter Werte (Kennzeichnung: \sim) sowie der Werte, die offensichtlich auf Fehlmessung beruhen (die Herausstellung beider Werte erfolgt durch +), werden die arithmetischen Mittelwerte \bar{D} , die mittleren Fehler der arithmetischen Mittelwerte F und die mittleren Fehler der Einzelmessungen f wie nachstehend errechnet und in einer Tabelle herausgestellt. Mit

D = Detonationsgeschwindigkeit,

n = Anzahl der Meßwerte D und

$v = \pm$ Abweichung des Meßwertes von \bar{D}

ergibt sich:

$$\text{Mittlere Detonationsgeschwindigkeit: } \bar{D} = \frac{\sum D}{n}$$

$$\text{Mittlerer Fehler des arithm. Mittels: } F = \pm \left(\frac{\sum v^2}{n(n-1)} \right)^{1/2}$$

$$\text{Mittlerer Fehler der Einzelmessung: } f = \pm \left(\frac{\sum v^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

In dieser Anlage sind weiterhin die Patronenanordnungen durch einige nachstehende Symbole angeführt:

- 1 = Zahl der Patronen
 S = Schlagpatrone
 K = Sprengkapsel
 „3“ = Zahl der Patronen in der Meßladung
 H = Hohlraumpatrone

Hierzu ist anzuführen: Die Herausstellung der Begriffe Schlagpatrone und Sprengkapsel erfolgte, um dem Meßprinzip gerecht zu werden. Das Symbol S wird gebraucht, wenn die Sprengkapsel in einzelnen Patronen als Schlagpatrone verwendet wird. Das Symbol K wird benützt, wenn die Sprengkapsel in die erste Patrone einer in sich geschlossenen Meßladung eingesetzt wird.

Es bedeutet z. B.:

„K — 8“,

daß 8 Patronen die Meßladung bilden und daß die Sprengkapsel K am Anfang der Meßladung angeordnet ist. Dagegen bedeutet:

S — 3 — „6“,

daß der im Bohrlochtiefsten eingebrachten Schlagpatrone S drei normale Patronen und 6 Patronen der Meßladung folgen.

Es sei bemerkt, daß bei den Messungen die Patronen im Bohrloch nicht angestampft wurden, um die Versuche den Bedingungen der Praxis anzugleichen; denn das Anstampfen der Patronen ist nicht allgemein üblich. Es wird jedoch bei schweren Schüssen durchgeführt.

In der Anlage b: Verteilung der Meßwerte werden alle Meßwerte D_1 , D_2 und D_3 nach ihren absoluten Werten in Klassen eingeteilt, wobei sich die Häufigkeit der Meßwerte je Klasse ergibt. Z. B. beträgt in der Klasse 2100–2300 m/s (s. Anlage I_b) die Häufigkeit des Meßwertes D_1 zwei, des Meßwertes D_2 fünfzehn und die des Meßwertes D_3 acht.

Die Klassenbreite wird dem Umfang der Streuung der Meßwerte angepaßt und entspricht einem Vielfachen des Meßfehlers. Sie wird möglichst bei allen Versuchen gleich groß gehalten.

Für jede einzelne Klasse wird außerdem bei einigen Versuchen die Summe aller Meßwerthäufigkeiten als sog. Urverteilung ermittelt. Die Bildung dieser Urverteilung hat nur dort Berechtigung, wo die Gesamtzahlenmasse als einheitliche Größe angesehen werden kann, d. h., die einzelnen Meßwertgruppen müssen unter gleichen Bedingungen gewonnen worden sein.

Neben den absoluten Häufigkeiten der Meßwerte D_1 , D_2 und D_3 je Klasse sind auf dieser Anlage noch die entsprechenden Häufigkeitsprozente angegeben, um aus den einzelnen Prozenten je Klasse die Summenhäufigkeitsprozente ($\Sigma \%$) zu bilden. Diese ergeben sich durch Addition der Häufigkeitsprozente je Klasse.

In der Anlage c: Kurven im Häufigkeitsnetz sind die in Anlage b errechneten Häufigkeiten der einzelnen Meßwerte (D_1 , D_2 und D_3) über der jeweiligen Klassenmitte der in Klassen unterteilten Detonationsgeschwindigkeitsskala im absoluten Maßstab (rechte Ordinate) aufgetragen. Aus dieser graphischen Darstellung ist zu erkennen, inwieweit Normalverteilung der einzelnen Meßwerte vorliegt. Sie ist dann erreicht, wenn die Kurven im Häufigkeitsnetz die Form einer Hyperbel annehmen. Zeigen die Kurven der einzelnen Meßstrecken einen angenähert ähnlichen Verlauf, so kann daraus geschlossen werden, daß die Meßwerte dieser Meßstrecken unter gleichen Bedingungen gewonnen wurden. In diesen Fällen wurde die

Urverteilung gezeichnet. Die Urverteilungskurven machen besonders deutlich, daß teilweise Abweichungen von einer Normalverteilung nur auf zu geringe Zahlenmaße zurückzuführen sind.

In der Anlage d: Kurven im Wahrscheinlichkeitsnetz werden die in Anlage b errechneten Summenhäufigkeitsprozente der Meßwerte D_1 , D_2 und D_3 über dem oberen Klassengrenzwert (z. B. bei Klasse 1900—2000 m/s über 2000 m/s) aufgetragen. Auch diese graphische Darstellung läßt erkennen, ob Normalverteilung der Meßwerte vorliegt. Da die Abszisse im Wahrscheinlichkeitsnetz linear und die Ordinate nach dem Gaußschen Integral geteilt ist, nimmt die Summenhäufigkeitskurve im Falle einer idealen Normalverteilung die Form einer Geraden an. In den hier beschriebenen Kurven ist dieser Idealfall kaum erreicht. Es kann jedoch an der mehr oder weniger starken Knickung der Kurven abgelesen werden, inwieweit Annäherung an eine Normalverteilung vorhanden ist.

An Hand dieser Geraden können die jede Normalverteilung kennzeichnenden Größen, der Zentralwert C und die Grundstreuung g_S , wie nachfolgend beschrieben, bestimmt werden (s. hierzu die erläuternden Hinweise auf der Anlage I_d).

Die Zentralwerte der Meßwerte werden an der Ordinate bei 50 Summenhäufigkeitsprozent abgelesen und entsprechen bei rein Gaußscher Verteilung den arithmetischen Mittelwerten.

Die Grundstreuung g_S wird als die Hälfte der Differenz der durch die Ordinaten von 5 und 95 Summenhäufigkeitsprozent bestimmten Detonationsgeschwindigkeiten ermittelt. Die Detonationsgeschwindigkeiten betragen z. B. in Anlage I_d für die Meßwerte D_2 bei 5 und 95 Summenhäufigkeitsprozent (g_5 und g_{95}) 1925 m/s und 2485 m/s. Aus diesen Werten wird die Differenz, die $T_{90} = \text{Spanne}$, mit 560 m/s und daraus durch Halbierung dieser Spanne die Grundstreuung bestimmt:

$$\pm g_S = T_{90} : 2 = \pm 280 \text{ m/s}$$

Die Grundstreuung ist nach *D a e v e s* [19] für die Häufigkeitsauswertung deshalb als Streumaß gewählt, weil sie 90 % aller Werte umfaßt und damit eine Gaußsche Verteilung einwandfrei kennzeichnet.

Von dem in den Anlagen a angegebenen mittleren Fehler der Einzelmessung (f) unterscheidet sich die Grundstreuung (g_S) durch den Faktor 0,608 (*D a e v e s* [19]). Dies bedeutet z. B. für D_2 des Versuches I

$$\begin{aligned} f &= \pm 168 \text{ m/s} \\ g_S \cdot 0,608 &= \pm 280 \cdot 0,608 = \pm 170 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, daß die Genauigkeit der graphischen Methode der rechnerischen nicht nachsteht, wobei die graphische Fehlerermittlung durch die wesentlich schnellere Bestimmung besonders vorteilhaft ist.

3.23 Fehlerbetrachtungen

Nachdem im voranstehenden Abschnitt die Auswertung behandelt wurde, folgt nun eine Fehlerbetrachtung.

A r n o l d [1] stellte eine gestreckte Sprengstoffladung aus vier selbstgestopften Patronen von je 300 mm Länge durch Verbinden mit Überwurfhülsen aus Pappe her, wobei der Sprengstoff mit einer Dichte von $0,93 \text{ g/cm}^3$ von Hand eingerüttelt wurde.

B a u m a n n [14] verwendete neben Originalpatronen in Pappenhüllung auch die Versuchspatronen von *A r n o l d*.

Im Nachstehenden wird eine neue Methode zur Herstellung gestreckter Ladungen beschrieben. Dieses neue Verfahren beruht darauf, daß die Originalpatronen von 130 mm Länge mittels einseitig angespitzter Holzstäbchen von 3 mm ϕ und 300 mm Länge zusammengesetzt werden. Die Holzstäbchen sind nicht zentrisch in den Patronen, sondern axial am äußersten Patronenumfang unter der einhüllenden Papierschicht angeordnet. Zu jeder Patrone gehört ein Stäbchen, so daß z. B. bei einer Meßladung von 6 Patronen eine zusätzliche Verdichtung des Sprengstoffes durch das Volumen der Holzstäbchen von 12,7 cm³ angenommen werden muß.

Das Volumen der 6 Patronen beträgt 476 cm³.

Daraus ergibt sich eine Beeinflussung der Dichte der Sprengstoffe von 2,67 % unter Annahme, daß das Volumen der Holzstäbchen nur dem Sprengstoffvolumen entzogen wird. Es wird weiter dabei vorausgesetzt, daß die mit dem Volumenentzug verbundene Verdichtung des Sprengstoffes auf die gesamte Sprengstoffmenge wirkt. Wie die Beobachtungen bei den Versuchen zeigten, treiben die Holzstäbchen das umhüllende Papier jedoch leicht auseinander. Dennoch wird mit einer Beeinflussung der Dichte um 2,67 % gerechnet.

Nach Angaben des Sprengstoffwerkes Schönebeck beträgt die Normdichte von Donarit 1 0,9—1,05 g/cm³. Durch die Verdichtung mittels der Verbindungs-Holzstäbchen um 2,67 % verlagert sich die Dichte in einen Bereich von 0,92 bis 1,08 g/cm³.

Tabelle 2

Versuchs-Nr. Herstellungsart	Dim.	I Holzstäbchen	III Pappeinhüllung	IV Versuchspatronen
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	2730 \pm 117	3570 \pm 52	3620 \pm 155
$\pm f_1$	m/s	\pm 525	\pm 313	\pm 538
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2200 \pm 34	2380 \pm 24	2600 \pm 24
$\pm f_2$	m/s	\pm 168	\pm 152	\pm 78
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	2270 \pm 44	2450 \pm 26	2540 \pm 32
$\pm f_3$	m/s	\pm 190	\pm 154	\pm 90
C_1	m/s	2700	3510	3620
C_2	m/s	2210	2350	2590
C_3	m/s	2240	2390	2535
\bar{D}_1	%	100	131	133
\bar{D}_2	%	100	108	118
\bar{D}_3	%	100	108	112

Die verschiedenartig hergestellten Meßladungen werden in Tabelle 2 an Hand der Ergebnisse der Freiluftversuchsreihen I, III und IV miteinander verglichen. Dazu werden die arithmetischen Mittelwerte der Versuchsreihe I gleich 100 % gesetzt. Die Detonationsgeschwindigkeiten von Donarit 1, abhängig von der Meßladungart unter sonst gleichen Bedingungen, sind den Anlagen I, II und IV entnommen.

Durch die Pappenhüllung erhöht sich bei der gleichen Art von Patronen die Detonationsgeschwindigkeit auf 108 %. Bei Versuchspatronen nach Arnold ergeben sich Steigerungen der Detonationsgeschwindigkeit auf 118 bzw. 112 %.

Die mittleren Fehler der arithmetischen Mittelwerte und der Einzelmessungen steigen im entgegengesetzten Sinne an.

Bei der Darstellung der Meßwerte im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz kann nachgewiesen werden, daß nur bei Versuch I und IV eine annähernde Normalverteilung erreicht wird. Auch die Zentralwerte stimmen bei diesen Versuchen mit den arithmetischen Mittelwerten besser überein als bei Versuch III. Bei letzterem ist ein zweites Maximum ausgebildet. Dies weist darauf hin, daß auf die Detonationsgeschwindigkeit bei Versuch III ein zweiter Einfluß ausgeübt wird. Vermutlich kann er auf die zusätzliche Pappenhüllung zurückgeführt werden, die insbesondere im Bohrloch den Raum zwischen Patrone und Wandung verringert. Es lagert sich ein mehr oder weniger plastisches Material dazwischen, das mit seinem Verhalten auf die Detonationsgeschwindigkeit einen unbekanntem Einfluß ausübt. Dieser zusätzliche Einfluß mußte ausgeschaltet werden, um die Verhältnisse im Salzeinschluß untersuchen zu können, besonders, da angenommen wird, daß das Reflexionsvermögen des Salzes die Detonation wesentlich beeinflusst (Spackeler [24], Seite 156).

Die Auswertung der Versuche ergab, daß die Holzstäbchenmethode trotz der größeren Streuung der Meßwerte die gegebenen Verhältnisse am besten erfaßt, da bei dieser Methode ein zweiter, die Geschwindigkeit erhöhender Einfluß offensichtlich nicht vorhanden ist und da bei den Arnoldschen Versuchspatronen eine wesentlich höhere Geschwindigkeit gegenüber Originalpatronen erzielt wird. Die Holzstäbchenmethode wurde gewählt, weil die zwischen den Patronen und Bohrlochwandungen herrschenden Verhältnisse am besten untersucht werden können und weil sie die Verwendung von Originalpatronen ermöglichte. Die Meßergebnisse umfassen daher auch die fabrikationsbedingten Qualitätsschwankungen der Patronen. Die Versuche sind so den Bedingungen der bergmännischen Schießarbeit weitgehend angepaßt.

Bei der erwähnten Einführung der Meßsonden in die gestreckte Ladung wurde gesagt, daß die Sonden in genau festgelegtem Abstand eingebracht werden. Um die Abweichungen und damit mögliche Fehlerquellen auf ein Minimum zu reduzieren, wurde eine Lehre mit festen Meßsondenabständen hergestellt. Hierbei wird der Längenfehler $m_s = \pm 1$ mm bei einem Meßsondenabstand von 200 mm zu $m_s = 0,5$ % angenommen.

Ein weiterer, die Meßergebnisse beeinflussender Fehler m_f entsteht durch die Auswertung der Oszillogramme. Dieser Fehler wurde nach früheren Untersuchungen (Baumann [14], S. 18) zu $m_f = 2,8$ % ermittelt.

Es ergibt sich somit der Gesamtfehler der Messung nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz [25] zu:

$$m = \pm (m_f^2 + m_s^2)^{1/2} = \pm (2,8^2 + 0,5^2)^{1/2} = \underline{\underline{2,84\% \approx 3,0\%}}$$

Weitere Fehlerquellen sind:

a) Unregelmäßige Zeitmarkenausbildung, die von der Firma Rentzsch mit $1/100$ angegeben wird und vernachlässigt werden kann.

b) Verspätetes Auslösen der Sonden, wie aus den Ausführungen von Rentzsch [12], Seite 319 hervorgeht. Dieser Fehler hebt sich bei einer größeren Anzahl von Meßwerten auf.

c) Auswertungsfehler durch ungünstigen Zeitmarkeneinsatz. Die maximale Größe dieses Fehlers kann $0,5 \cdot 10^{-5}$ s bei einer Meßzeit von $10 \cdot 10^{-5}$ s, entsprechend 5%, betragen. Dieser mögliche Fehler beeinflußt nur die erste Meßstrecke, deren Werte daher mit einer gewissen Einschränkung zu bewerten sind.

d) Unterschiedliche Sprengstoffqualität. Um diesen Fehler möglichst gering zu halten, wurde für alle Versuche mit Donarit 1 nur Sprengstoff einer Herstellungsladung verwendet. Versuch XVI und XVII bilden Ausnahmen; es werden dort die Meßwertgruppen mit unterschiedlichem Sprengstoff getrennt ausgewertet.

4 MESSUNGEN DER DETONATIONSGESCHWINDIGKEIT UNTER VERSCHIEDENEN BEDINGUNGEN

4.1 Vorversuche ohne Gesteinseinschluß

Vorversuche zur Messung der Detonationsgeschwindigkeiten erfolgten auf dem Versuchsgelände des Sprengstoffwerkes Schönebeck/Elbe. Für diese Messungen wurden die oben beschriebenen Meßladungen rd. 50 cm über dem Erdboden auf zwei oder drei in die Erde geschlagenen Schienenstücken gelagert.

In fünf Versuchsreihen wurden die Messungen mit Einschluß der Ladungen in Stahlrohren durchgeführt.

4.1.1 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Initialladungen

Die Versuche zur Bestimmung des Einflusses der Initialladungen auf die Detonationsgeschwindigkeiten wurden mit verschiedenen Initiatoren und variiertem Patronendurchmesser als Freiluftschüsse durchgeführt.

Nachstehend folgt Tabelle 3 über die chemische Zusammensetzung der verwendeten Sprengkapseln mit ihren sprengtechnischen Eigenschaften sowie Angaben über die verwendete Pikrinsäure.

Die Pikrinsäure wurde in einer Versuchsreihe als Vorsatzkörper verwendet. In diesem Körper, einer Säule von 25 mm Außendurchmesser, 37 mm Länge und 30 g Gewicht war zentrisch eine Aussparung zur Aufnahme der Sprengkapsel angebracht. Die Detonationsgeschwindigkeit der Pikrinsäure liegt mit 7200 m/s weit über der Geschwindigkeit üblicher Gewerbesprengstoffe. Bei der gewählten Versuchsanordnung übt der Vorsatzkörper aus Pikrinsäure, mit der Kapsel Nr. 8 gezündet, eine besondere Initialwirkung auf die nachgeschaltete Sprengstoffsäule aus.

In Tabelle 4 sind die variierten Bedingungen der durchgeführten Versuche zusammengefaßt und die Ergebnisse der Messungen der Detonationsgeschwindigkeit als arithmetische Mittelwerte (\bar{D}) mit dem mittleren Fehler des Mittelwertes (F) und der Einzelmessung (f) angegeben. Die weiterhin angeführten Zentralwerte (C) dienen, wie schon oben erwähnt, zum Vergleich der arithmetischen Mittelwerte.

Tabelle 3

Kapsel	Hauptladung	Aufladung	Bemerkungen
Nr. 8	0,5 + 0,4 g Trinitrotoluol (Trotyl)	0,55 g Knall- quecksilber	Normal-Kapsel. Bleiblockausbauchung 650 cm ³
Standard	0,35 + 0,35 g Tetranitro- methylanilin (Tetryl)	0,55 g Knall- quecksilber	Laborkapsel für Vergleichsmessungen der Initialwirkung. Bleiblockausbauchung 820 cm ³
Nr. 3	0,2 g Trinitrotoluol	0,4 g Knall- quecksilber	Kapsel findet Ver- wendung bei der Prüfung der Über- tragungsfähigkeit von Sprengstoffen

Tabelle 4

Versuchs-Nr. Patronen-Durchm. Zündung (Kapsel)	mm	I 28 Nr. 8	VI 28 Standard	IX 28 Nr. 3
$\bar{D}_1 + F_1$	m/s	2730 ± 117	2750 ± 46	2260 ± 51
$+ f_1$	m/s	± 525	± 274	± 246
$\bar{D}_2 + F_2$	m/s	2200 ± 34	2140 ± 18	2290 ± 47
$+ f_2$	m/s	± 168	± 95	± 222
$\bar{D}_3 + F_3$	m/s	2270 ± 44	2150 ± 16	2450 ± 82
$+ f_3$	m/s	± 190	± 70	± 232
C ₁	m/s	2700	2845	2220
C ₂	m/s	2210	2125	2240
C ₃	m/s	2240	2135	2500

Tabelle 4 läßt erkennen, daß die Detonationsgeschwindigkeit in der ersten Meßstrecke der Versuche I und VI größer ist als die Geschwindigkeit in der zweiten und dritten Meßstrecke. Da außer der Brisanz der Sprengkapsel alle Versuchsbedingungen konstant gehalten wurden, ist diese Abweichung nur auf die Initial-

ladung zurückzuführen. Dies wird dadurch bestätigt, daß bei Verwendung einer schwachen Initiaalladung (Versuch IX) keine Geschwindigkeitsabweichung zwischen der ersten und den übrigen Meßstrecken festgestellt wurde. Daraus läßt sich folgern:

Bei Verwendung einer starken Initiaalladung wird die Detonationsgeschwindigkeit erhöht, jedoch nur in unmittelbarer Nähe der Kapsel.

Die Betrachtung der arithmetischen Mittelwerte der zweiten und dritten Meßstrecke ergibt weiterhin annähernde Übereinstimmung, wenn von D_1 des Versuches IX infolge geringer Meßwertanzahl abgesehen wird. Eine Darstellung der Meßwerte dieser Meßstrecken im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz zeigt annähernde Normalverteilung. Die daraus resultierende Übereinstimmung von arithmetischem Mittelwert mit dem Zentralwert ist, wie die Tabelle zeigt, auch annähernd erreicht, d. h., der arithmetische Mittelwert wird durch die Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsauswertung erhärtet.

Danach beträgt die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit-1-28-mm-Patronen in freier Luft bei einer größeren Entfernung von der Sprengkapsel rd. 2200 m/s.

Der arithmetische Mittelwert der ersten Meßstrecke zeigt größere Abweichungen vom entsprechenden Zentralwert, da keine Normalverteilung der einzelnen Meßwerte dieser Meßstrecke vorliegt. Dies weist darauf hin, daß die Detonationsgeschwindigkeit keinem einheitlichen Einfluß unterliegt. Der unter Abschnitt „Fehlerquellen“ (3.2.3) angeführte Auswertungsfehler kann u. a. Ursache für das anomale Verhalten der Meßwerte D_1 sein. Die Genauigkeit des arithmetischen Mittelwertes der ersten Meßstrecke ist daher geringer als die der zweiten und dritten; die deutliche Erhöhung der Detonationsgeschwindigkeit ist jedoch stets klar zu erkennen.

Eine Untersuchung der mittleren Fehler der Einzelmessungen zeigt größere Abweichungen in der ersten Meßstrecke der Versuche I und VI, in der auch erhöhte Detonationsgeschwindigkeit gemessen wurde. Die Fehler f aller Meßstrecken des Versuches IX sowie die der zweiten und dritten Meßstrecke der Versuche I und VI stimmen innerhalb eines Versuches annähernd überein. Sie sind um so kleiner, je stärker die Initiaalladungen sind. Es kann daher gefolgert werden:

Je stärker die Initiaalladung, um so geringer die Streuung der Detonationsgeschwindigkeit.

Nachstehend folgen Ergebnisse der Untersuchungen, die mit 25-mm-Patronen in freier Luft gewonnen wurden.

Die Werte der Tabelle 5 werden nachstehend im einzelnen besprochen: Die Versuche wurden mit der Kapsel Nr. 8 in einem Pikrinsäure-Vorsatzkörper (Versuch VII) durchgeführt, indem der Abstand M_0 zwischen Patronenanfang und der Abrißsonde bei dem Versuch VII zu 50 mm und bei dem Versuch VIII zu 230 mm festgelegt wurde.

Auch diese Ergebnisse lassen erkennen, daß die Detonationsgeschwindigkeit in der ersten Meßstrecke höher ist als in der zweiten und dritten. Die auffällig hohe Geschwindigkeit D_1 im Versuch VII wird auf die verstärkte Initialwirkung durch den Pikrinsäure-Vorsatzkörper zurückgeführt. Der verkürzte Abstand M_0 wirkt vermutlich in gleicher Weise. Daraus läßt sich folgern:

Je stärker die Initiaalladung, um so höher die Detonationsgeschwindigkeit, jedoch nur in unmittelbarer Nähe der Sprengkapsel.

Tabelle 5

Versuchs-Nr. Patronen-Durchm. Zündung (Kapsel)	mm	VII Nr. 8 in Pikrinsäure- Vorsatz-Körper	VIII Nr. 8
Abstand M_0	mm	50	230
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	2950 \pm 58	2490 \pm 87
$\pm f_1$	m/s	\pm 325	\pm 321
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	1990 \pm 18	2010 \pm 21
$\pm f_2$	m/s	\pm 104	\pm 171
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	1990 \pm 14	1920 \pm 22
$\pm f_3$	m/s	\pm 70	\pm 121
C_1	m/s	2877	2470
C_2	m/s	2008	2005
C_3	m/s	1992	1940

Die arithmetischen Mittelwerte in der zweiten und dritten Meßstrecke entsprechen auch hier wieder einander. Eine Darstellung dieser Meßwerte im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz zeigt besonders bei Versuch VII geringe Streuung und annähernde Normalverteilung. Die Werte des Versuches VIII streuen stärker und haben auch schlechteres Normalverteilungsverhalten. Trotzdem stimmen bei beiden Versuchen die Zentralwerte mit den arithmetischen Mittelwerten gut überein. Daraus kann gefolgert werden:

Die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit-1-25-mm-Patronen beträgt in freier Luft bei weiterer Entfernung von der Sprengkapsel rd. 2000 m/s.

Die arithmetischen Mittelwerte der ersten Meßstrecke zeigen keine so gute Übereinstimmung mit den entsprechenden Zentralwerten, da keine Normalverteilung vorliegt. Die Meßwerte D_1 verhalten sich also bei 25-mm-Patronen ebenso wie die bei 28-mm-Patronen. Die dort gezogenen Folgerungen gelten daher auch hier.

Eine Betrachtung der mittleren Fehler der Einzelmessung ergibt für die erste Meßstrecke wiederum größere Abweichungen von der zweiten und dritten. Die Fehler f_2 und f_3 des Versuches VII, bei dem durch Pikrinsäure-Vorsatzkörper die Brisanz der Sprengkapsel erhöht wurde, sind niedriger als die des Versuches VIII. Daraus läßt sich folgern:

Je stärker die Initialladung, um so geringer die Streuung der Detonationsgeschwindigkeit. Dies bestätigt die Folgerung, die aus den Versuchen mit 28-mm-Patronen gewonnen wurde.

Bergakademie
- Bücherel -
Freiberg i. Sa.

Abschließend wird festgestellt:

Aus den Versuchen VII und VIII mit Patronen von 25 mm ϕ ist wie nach den Versuchen I, VI und IX mit Patronen von 28 mm ϕ zu erkennen, daß die Höhe der Detonationsgeschwindigkeit von der Stärke der Initialladungen nur in ihrer unmittelbaren Nähe beeinflußt wird und daß die Streuung der Detonationsgeschwindigkeit in weiterer Entfernung von der Sprengkapsel bei einer stärkeren Kapsel geringer ist als bei einer schwachen.

4.12 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronendurchmesser

Die unter 4.11 beschriebenen Versuche lassen Rückschlüsse über die Wirkung verschieden starker Initialladungen zu. Unter anderem wurden die Detonationsgeschwindigkeiten, unbeeinflußt von den Initialladungen, in freier Luft ermittelt zu:

1. 28-mm-Patronen: rd. 2200 m/s
2. 25-mm-Patronen: rd. 2000 m/s.

Die Detonationsgeschwindigkeit von 28-mm-Patronen in freier Luft ist demnach um rund 10 % höher als die von 25-mm-Patronen unter gleichen Bedingungen.

Um die eigenen Meßergebnisse mit früheren Untersuchungen des Einflusses des Patronendurchmessers zu vergleichen, werden die Werte der Untersuchungen von B a u s c h [10], S. 14, herangezogen.

Tabelle 6

Sprengstoff	Patronen- durchmesser (mm)	Detonations- geschwindigkeit (m/s)	Einschluß	Zündung
Donarit 1	20	2815	ohne festen	Kapsel Nr. 6
Donarit 1	25	3050
Donarit 1	30	3800
Donarit 3	20	2615	..	Kapsel Nr. 1
Donarit 3	25	3000
Donarit 3	30	3550

Die Detonationsgeschwindigkeit für Donarit-1-25-mm-Patronen wurde nach den eigenen Versuchen in freier Luft mit rd. 2000 m/s und nach B a u s c h [10] ohne festen Einschluß mit 3050 m/s bestimmt. Dieser Unterschied von rd. 50 % der ermittelten Geschwindigkeit mußte vor weiteren Untersuchungen geklärt werden.

B a u s c h untersuchte ohne festen Einschluß der verwendeten Sprengstoffe. Da bekanntlich die früheren Messungen der Detonationsgeschwindigkeit mit Einschluß der Ladungen in Stahlrohren erfolgten, lag es nahe, Kontrollmessungen unter gleichen Bedingungen durchzuführen. Bei variiertem Patronendurchmesser mit gleichbleibendem Stahlrohrdurchmesser lassen sich weiterhin Folgerungen über den Einfluß des Patronendurchmessers bei gleichem Einschlußdurchmesser gewinnen.

1950
 -
 -
 -

Dazu wurden die Versuche XI bis XIV durchgeführt. Da nur eine beschränkte Anzahl von Rohren zur Verfügung stand, mußte auf eine graphische Darstellung der Meßergebnisse im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz verzichtet werden.

Zur Versuchsdurchführung ist zu bemerken:

Die verwendeten Stahlrohre, zum Teil erheblich korrodiert, hatten eine Länge von 1000 mm und eine Wandstärke von 3 mm. Ein Ende des Rohres war durch einen aufgeschweißten Deckel verschlossen. Die Zündung erfolgte vom offenen Rohrende. Die erste Messung der Detonationsgeschwindigkeit begann i. allg. 200 mm vom offenen Rohrende entfernt. Durch die Rohre waren in genau festgelegten Abständen Löcher von 1,0 mm ϕ gebohrt, durch die die Meßsonden eingeführt wurden.

Zur Berechnung der Ladedichte (g Sprengstoff je cm³ Bohrlochvolumen) wurde eine Dichte (Raumgewicht) des Sprengstoffes von 0,95 g je cm³ (nach Angaben des Sprengstoffwerkes I, Schönebeck/Elbe) zugrunde gelegt.

Damit ergeben sich die Ladedichten in Abhängigkeit vom Patronendurchmesser bei einem konstanten Stahlrohrdurchmesser von 40 mm zu folgenden Werten:

Patronendurchmesser	mm	20	25	30	35	40
Ladedichte	g/cm ³	0,24	0,37	0,54	0,73	0,95

Die Gesamtmittelwerte der Detonationsgeschwindigkeit betragen bei den entsprechenden Versuchsbedingungen:

Tabelle 7

Versuch	arithm. Gesamt- Mittelwerte \bar{D}_m (m/s)	Versuchsbedingungen	Ladedichte (g/cm ³)
XI	3 100 = 91 %	Stahlrohr 33 mm ϕ Originalpatronen 28 mm ϕ	0,68
XII	2 710 = 80 %	Stahlrohr 40 mm ϕ Donarit 1 25 mm ϕ	0,37
XIII	3 030 = 89 %	Stahlrohr 40 mm ϕ Donarit 1 28 mm ϕ	0,46
XIV	3 400 = 100 %	Stahlrohr 40 mm ϕ Donarit 1 gestopft Dichte (Raumgewicht) = 0,95 g/cm ³	0,95

Die Meßergebnisse von B a u s c h (Tabelle 6) sowie die eigenen Ergebnisse werden im Bild 4 graphisch wiedergegeben. Dabei sind die Detonationsgeschwindigkeit und die Ladedichte in Abhängigkeit vom Patronendurchmesser aufgetragen.

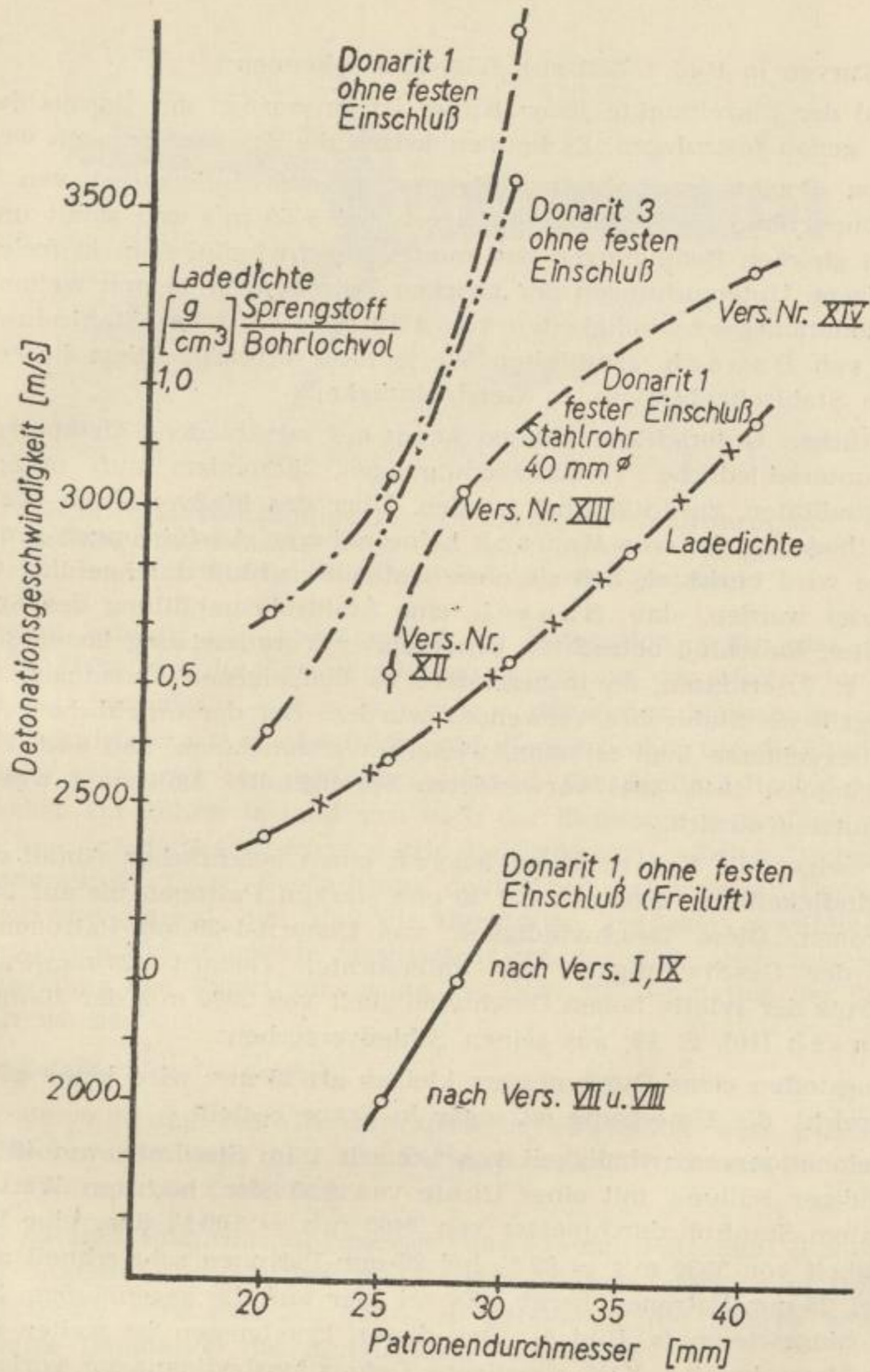


Bild 4. Abhängigkeit der Detonationsgeschwindigkeit vom Patronendurchmesser mit und ohne festen Einschluß

(Legende zu Bild 4)

Donarit 1	ohne festen Einschluß	nach Bausch [10]
Donarit 3 -	ohne festen Einschluß	nach Bausch [10]
Donarit 1 —————	ohne festen Einschluß (Freiluft)	eigene Messung
Donarit 1 - - - - -	(Stahlrohr 40 mm Ø) fester Einschluß	eigene Messung

Aus den Kurven in Bild 4 läßt sich folgendes erkennen:

Die Anzahl der Einzelpunkte jeder Kurve ist zu gering, um daraus den Verlauf einer Kurve genau festzulegen. Es können jedoch die Schlüsse gezogen werden:

a) Die von B a u s c h ermittelten Detonationsgeschwindigkeiten von Donarit-1-25-mm-Patronen ohne festen Einschluß liegen bei 3050 m/s und somit um rd. 50 % über den bei gleichen Bedingungen bestimmten Geschwindigkeiten in freier Luft mit 1980 m/s. Eigene Untersuchungen der gleichen Patronen im 40 mm weiten Stahlrohr ergaben Detonationsgeschwindigkeiten von 2710 m/s. Trotz des Stahlrohreinschlusses werden die von B a u s c h ermittelten Werte nicht erreicht. Diese liegen um 13 % über der im Stahlrohr bestimmten Geschwindigkeit.

Die beachtlichen Unterschiede können kaum auf verschiedene Meßmethoden, wohl aber auf unterschiedliche Versuchsbedingungen, besonders auf unterschiedliche Sprengstoffqualitäten, zurückgeführt werden. Über das Meßverfahren oder die Auswertungsmethode werden von B a u s c h keine näheren Ausführungen gemacht. Über die Versuche wird berichtet, daß sie ohne festen Einschluß durchgeführt wurden. Es kann vermutet werden, daß B a u s c h eine Stahlrohrumhüllung des Sprengstoffes nicht als festen Einschluß betrachtet. Unter dieser Voraussetzung lassen sich die Abweichungen z. T. erklären, da insbesondere zu den eigenen Messungen durch Korrosion angegriffene Stahlrohre verwendet wurden. Bei der erheblichen Abweichung der Versuchsergebnisse liegt es nahe, weiterhin anzunehmen, daß auch die Qualität des in den Jahren 1940—1944 verwendeten Sprengstoffes Donarit 1 wesentlich von der des benutzten abwich.

b) Weiter zeigen die Kurven von B a u s c h einen beachtlichen Abfall der Detonationsgeschwindigkeit von 3800 m/s bei 30 mm starken Patronen bis auf 2800 m/s bei 20-mm-Patronen. Diese Geschwindigkeit von Donarit-1-20-mm-Patronen liegt mit 20 % über der Geschwindigkeit der untersuchten Donarit-1-28-mm-Patronen mit 2200 m/s. Trotz der relativ hohen Geschwindigkeit von 2800 m/s der 20-mm-Patronen folgert B a u s c h [10], S. 13, aus seinen Schießversuchen:

Mit Sprengstoffen eines Durchmessers kleiner als 25 mm wird keine günstige Ausnützung erreicht, die Umsetzung ist sogar in Frage gestellt.

c) Die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit 1 im Stahlrohr von 40 mm ϕ hat bei vollständiger Füllung mit einer Dichte von 0,95 den höchsten Wert. Sie sinkt bei konstantem Stahlrohrdurchmesser von 3400 m/s = 100 % über eine Detonationsgeschwindigkeit von 3030 m/s = 89 % bei 28-mm-Patronen sehr schnell auf 2710 m/s = 80 % bei 25-mm-Patronen herab. Es sei hier auf die gegenläufige Tendenz der Ladedichte hingewiesen (s. Bild 4). Bei diesen Ergebnissen ist weiter zu beachten, daß in der Versuchsreihe XIV günstigere Detonationsbedingungen vorlagen, da der Sprengstoff nicht in einzelnen Patronen, sondern in einer geschlossenen Ladesäule eingebracht war.

In der Versuchsreihe XI (Originalpatronen mit 28 mm ϕ im Stahlrohr von 33 mm ϕ) wurde eine Detonationsgeschwindigkeit von 3100 m/s = 91 % bei einer Ladedichte von 0,68 g/cm³ gemessen. Dieses Ergebnis schließt sich nicht an die Versuchsreihen XII, XIII und XIV an. Trotz der Ladedichte von 0,68 liegt die Detonationsgeschwindigkeit nur wenig über der im Versuch XII mit einer Ladedichte von 0,40 ermittelten Geschwindigkeit. Dies kann auf die zu geringe Meßwertzahl zurückzuführen sein.

Bei dem Versuch XII mit 25-mm-Patronen und 40-mm-Stahlrohren wurden diese nicht vollständig, sondern nur auf $\frac{2}{3}$ ihrer Länge zerstört (s. Bild 5).

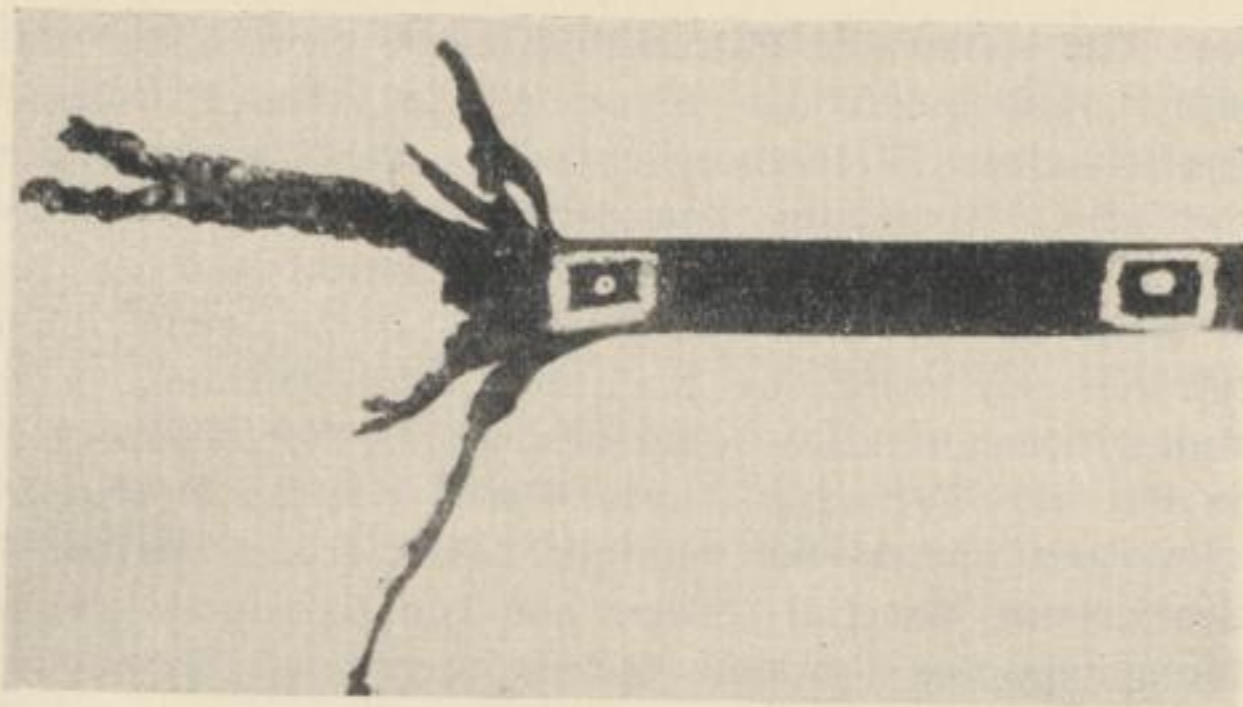


Bild 5. Unvollständige Zerstörung eines Stahlrohres mit einem Durchmesser von 40 mm durch verlangsamte Umsetzung von Donarit-1-25-mm-Patronen

Die Zündung erfolgte von links, wobei die Detonation gegen das geschlossene Rohrende lief. Dabei fiel die Geschwindigkeit – wie aus den Meßwerten D_1 , D_2 und D_3 (Anlage XII) hervorgeht – von 2900 m/s in der ersten Meßstrecke auf 2410 m/s in der letzten Meßstrecke. Auf dem Bilde sind die Bohrlöcher für die Sonden 3 und 4, die Meßstrecke M_3 begrenzend, kenntlich gemacht. Die Sonde 4 liegt dabei 5 cm vor dem Rohrboden. Im Rohrende fand sich nach der Explosion geringfügig verdichteter Sprengstoff und auf dem vom Rohr durch die Explosion gelösten Deckel stark verdichteter Sprengstoff. Diese Beobachtung deutet bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Meßergebnisse darauf hin, daß die Detonation bei den gewählten Versuchsbedingungen gegen das Rohrende geschwächt wurde, daß aber andererseits eine Druckwirkung über den Punkt hinausging, bei dem die Detonation des Sprengstoffes unterbrochen wurde.

Zusammengefaßt wird festgestellt:

Bei Verringerung des Durchmessers der Patronen und gleichbleibendem Stahlrohrdurchmesser fällt die Detonationsgeschwindigkeit in einem stärkeren Maße als die Ladedichte.

Bei 40 mm Stahlrohrdurchmesser und 25-mm-Patronen (Ladedichte 0,37) fällt innerhalb des Rohres die Geschwindigkeit stark zum Rohrende ab. Gleichzeitig wird eine nur teilweise Zerstörung des Rohres sowie unvollständige Detonation des Sprengstoffes beobachtet.

4.13 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronenlänge

Die Frage der günstigsten Patronenlänge ist seit langem sehr umstritten.

Aus zeitlichen und Sicherheitsgründen werden im Schachtbau die Sprengstoffladungen möglichst mit fertigen Laderöhren in die Bohrlöcher eingesetzt. Dagegen wird z. B. im Mansfelder Bergbau zur Schramherstellung mit Gelatine-Donarit-1-Patronen von 16 mm ϕ und 30–40 g Gewicht gearbeitet. Zur Verkürzung der Ladezeit streben verschiedene Werke des Kali-Bergbaues, besonders bei langen Bohrlöchern, größere Patronenlängen an. Dies wird begründet mit einer möglichen Leistungssteigerung durch Zeitersparnis beim Besetzen und durch höhere Brisanz des

Sprengstoffes, weil mit steigender Patronenlänge die Anzahl der Patronenstirnverschlüsse bei gleicher Ladesäulenlänge reduziert wird. Die Patronenstirnverschlüsse setzen der Detonation einen Widerstand entgegen, der bisher noch nicht gemessen wurde. Die praktische Auswirkung des verringerten Widerstandes der Patronen ohne Stirnverschlüsse ist von Morhenn [26] untersucht worden. Nach seinen Ergebnissen (S. 21) steigt die Sprengwirkung um 45—53 %, wenn die Ladesäule aus einer langen Patrone und nicht aus mehreren Einzelpatronen besteht. Diese Erhöhung der Sprengwirkung kann auf die besonderen Versuchsbedingungen zurückgeführt werden. Für die Versuche wurde Wetter-Nobelit B und Ammon-Gelit 3 verwendet. Der Bohrlochdurchmesser war nur 2 mm größer als der Patronendurchmesser. Das einschließende Material bestand aus Ton, der durch sein plastisches Verhalten für die Messungen des Ausdehnungsbestrebens von Gasen günstig ist.

Ziel der nachstehenden Untersuchung ist es, den Widerstand der Patronenstirnverschlüsse als Einfluß auf die Detonationsgeschwindigkeit zu bestimmen. Um u. a. diese Widerstände zu mindern, hat Arnold [1] den Sprengstoff in Hülsen von 300 mm Länge eingebracht.

Für die durchzuführenden Untersuchungen wurden die gleichen Arnoldschen Hülsen als einhüllendes Material verwendet.

Bei der Versuchsreihe V wurden die Enden der Patronen abgeschnitten und diese Patronen dicht aneinandergereiht in Pappe eingehüllt. Dadurch entstand eine geschlossene Sprengstoffsäule ohne die Detonation hindernde Verschlüsse.

Bei der Reihe III wurden Originalpatronen (mit Stirnverschlüssen) bei sonst gleichen Versuchsbedingungen verwendet.

Tabelle 8

Versuchs-Nr. Versuchs- bedingungen		III mit Stirnverschlüssen	V ohne Stirnverschlüsse	$\Delta \bar{D} \%$
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	3 570 \pm 52	3 900 \pm 68	109,2
$\pm f_1$	m/s	\pm 313	\pm 383	
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2 380 \pm 24	2 580 \pm 27	108,3
$\pm f_2$	m/s	\pm 152	\pm 163	
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	2 450 \pm 26	2 550 \pm 25	104,0
$\pm f_3$	m/s	\pm 154	\pm 113	
C_1	m/s	3 510	3 910	111,5
C_2	m/s	2 350	2 548	108,5
C_3	m/s	2 390	2 522	104,8

Der Vergleich beider Versuchsreihen muß den Einfluß der Stirnverschlüsse auf die Detonationsgeschwindigkeit erkennen lassen. Die Ergebnisse werden nachstehend mit der Geschwindigkeitszunahme $\Delta \bar{D}$ (%) angeführt, wobei die Detonationsgeschwindigkeiten des Versuches III zu 100 % angesetzt werden.

Zu Tabelle 8 sei bemerkt, daß die Geschwindigkeitszunahme $\Delta \bar{D}_1$ auf Grund der unter 4.11 gezogenen Folgerungen nicht zur Auswertung herangezogen werden kann. Die Geschwindigkeitszunahmen $\Delta \bar{D}_2$ und $\Delta \bar{D}_3$ betragen 8 % und 4 %. Diese stark voneinander abweichenden Ergebnisse sind nicht durch die mittleren Fehler der arithmetischen Mittel zu klären, da diese annähernd übereinstimmend rd. 1 % betragen.

Zur weiteren Untersuchung wurde deshalb die Darstellung im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz verwendet. Dabei ist zu erkennen, daß für die Meßwerte D_2 und D_3 kein Normalverteilungsverhalten vorliegt. Es fällt auch bei Versuch Nr. III die schlechte Übereinstimmung von Zentralwert C_3 mit dem arithmetischen Mittelwert \bar{D}_3 auf. Offensichtlich sind zwei Einflußgrößen vorhanden. Es kann — wie unter 3.23 schon vermutet — die in diesen Versuchsreihen angewandte Pappenhüllung einen besonderen Einfluß auf die Detonationsgeschwindigkeit ausüben. Weiterhin ist zu erkennen, daß die Kurven im Häufigkeitsnetz für die gleichen Meßwerte (D_2 und D_3) ausgeprägte Maxima aufweisen, und zwar

im Versuch III bei 2350 m/s und
im Versuch V bei 2500 m/s.

Die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen beiden Maxima beträgt rd. 6 %.

Dieser Wert gibt einen Anhalt für die Geschwindigkeitserhöhung, die bei Entfernung der Stirnverschlüsse erzielt wurde. Er liegt zwischen den Werten $\Delta \bar{D}_2$ und $\Delta \bar{D}_3$, zu deren Ermittlung sämtliche Meßergebnisse verwendet wurden. Die graphische Darstellung ermöglichte jedoch, die durch einen zweiten Einfluß bedingten Meßergebnisse weitgehend auszuschalten. Es sei aber betont, daß eine exakte Zahlenangabe erst möglich ist, wenn diese Versuche in weit größerer Zahl durchgeführt wurden. Trotzdem kann als annäherndes Ergebnis gebracht werden:

Bei Verwendung von Donarit-1-Patronen ohne Stirnverschlüsse mit 28 mm ϕ wird die Detonationsgeschwindigkeit gegenüber Patronen mit Stirnverschlüssen in freier Luft um rd. 6 % erhöht.

4.14 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der kumulativen Ladungen

Kumulative Ladungen werden durch Einfügen hohler Körper aus Metall oder Pappe in normale Sprengstoffladungen oder durch Formgebung während des Preßvorganges bei gepreßten Sprengstoffen hergestellt. Die Gesamtsprengstoffmenge wird um den Anteil des Hohlraumes reduziert.

Die Wirkung der kumulativen (auch Hohlkörper-)Ladungen ist schon seit ihrer Entdeckung durch Munroe im Jahre 1888 bekannt (Stettbacher [27], Seite 133 bis 135). Für militärische Zwecke wurden die kumulativen Ladungen erst im letzten Krieg wegen ihrer panzerbrechenden Wirkung weitgehend angewendet (Panzerfaust, Tankminen). Für gewerbliche Zwecke ist die Bedeutung ungeklärt. Zwar wird in verschiedener Literatur (z. B. Assonow [28], Abschn. 15, Seite 82—85) gerade die Eignung von kumulativen Ladungen für Knepperschießen empfohlen, sogar das

Bohren von Sprenglöchern wird mit diesen Ladungen in Betracht gezogen, jedoch haben diese Methoden noch nicht Eingang in das Schießwesen gefunden.

Die Wirkung erklärt Stettbacher [27] damit, daß bei normalen Patronen die Detonationswelle in Patronenrichtung verläuft. Bei kumulativen Ladungen schlagen die Detonationswellen, von den geneigten Flächen ausgehend, aufeinander und verstärken sich zu einer resultierenden Druckwelle.

Die Wirkung der kumulativen Ladungen sieht Assonow in einer Verbindung der zusammentreffenden Detonationswellen zu einem dichten Strahl. Diese Konzentrierung der Energie führt jedoch nicht zu einer Verstärkung der Gesamtenergie, obwohl die Detonationsgeschwindigkeit am Konzentrierungspunkt beachtlich erhöht wird.

Stettbacher [27] bezeichnet die Wirkung von Hohlkörperladungen als Hohlraumeffekt und gebraucht den Begriff kumulativ nur für die Effekte, die auf Gegenlaufzündung beruhen, z. B. für die verstärkte Detonationswirkung an dem Treffpunkt zweier Detonationswellen. Dies geschieht bei gleichzeitiger Zündung einer detonierenden Schnur an zwei entgegengesetzten Stellen.

Enthält eine gestreckte Sprengstoffsäule mehrere kumulative Ladungen, dann kann durch die oben erwähnte konzentrierte Weiterleitung der Energie die Brisanz erhöht werden.

Aus der Arbeit von Arnold [29] (Seite 87—89) ist zu ersehen, daß Hohlkörperladungen, im Bohrlochtiefsten innerhalb einer Sprengstoffsäule angeordnet, keinen Einfluß auf die Wirksamkeit des Sprengstoffes ausüben.

Nach Roth [2], Seite 45, ist die Anwendung des Hohlkörper-Schießverfahrens für die bergbauliche Praxis nicht gegeben. Jeder durchgeführte Versuch müsse fehlschlagen, weil ein guter Hohlraumeffekt nur bei Detonationsgeschwindigkeiten von über 7000 m/s auftreten könne. Diese Geschwindigkeit wird aber von gewerblichen Sprengstoffen gar nicht und von strategischen Sprengstoffen nur in seltenen Fällen erreicht.

Da nach Assonow [28] und den angeführten Quellen die Grenzen der Anwendung von Hohlkörperladungen ungeklärt sind, wird anschließend das Hohlkörperschießen mit dem gewerblichen Sprengstoff Donarit 1 untersucht.

Nach Assonow ist für Hohlkörper ein Verhältnis Durchmesser : Höhe wie 1 : 1,5 zu wählen. Daher wurde ein Hohlkegel mit 24 mm Grundkreisdurchmesser und einer Höhe von 36 mm verwendet, um diesen in Patronen von 28 mm Durchmesser einfügen zu können. Er wurde aus Pappe von 0,3 mm Stärke hergestellt.

Beim Versuch, die Hohlkörperladungen im normalen Patronierungsvorgang im Sprengstoffwerk herstellen zu lassen, ergaben sich Schwierigkeiten. Der in die Patronenhülsen hineingelegte Spitzkegel wurde während der Füllung der Patronen mit Sprengstoff und steigendem Druck deformiert, was bei der geringen Mantelstärke erklärlich ist. Um die geplante Versuchsreihe trotzdem durchzuführen, wurden die Stirnverschlüsse der normalen Patronen geöffnet und ein dem Kegel entsprechendes Sprengstoffvolumen entfernt. Darauf konnten die Kegel zentrisch in die Patronen eingesetzt werden.

Da es zweifelhaft war, ob sich der Hohlraumeffekt, die typische Stanzwirkung von kumulativen Ladungen, mit diesen Kegeln auch bei dem gewerblichen Sprengstoff Donarit 1 zeigen würde, erfolgte ein Vorversuch. Es wurden zwei Donarit-1-Patronen mit 28 mm ϕ auf der einen Seite mit einem Spitzkegel, auf der anderen mit der

normalen Kapsel Nr. 8 versehen und auf ein 3 mm starkes Stahlblech gestellt. Nach der Zündung waren auf dem Stahlblech die in Bild 6 dargestellten gestanzten Löcher zu erkennen. Zwischen diesen wurde eine normale Patrone Donarit 1 ohne Hohlkörper aufgebaut und gezündet. Hier ist keine Stanzwirkung zu erkennen.

Bei dem Durchschlagen eines 3 mm starken Stahlbleches unter den erwähnten Versuchsbedingungen ist die Stanzwirkung nicht vollständig ausgenützt, da eine unter dem Stahlblech angeordnete Stahlschiene stark eingedrückt war.

Auf dem Bild 6 sind weiter die Größenverhältnisse der Patronen und Hohlkörper deutlich gemacht.

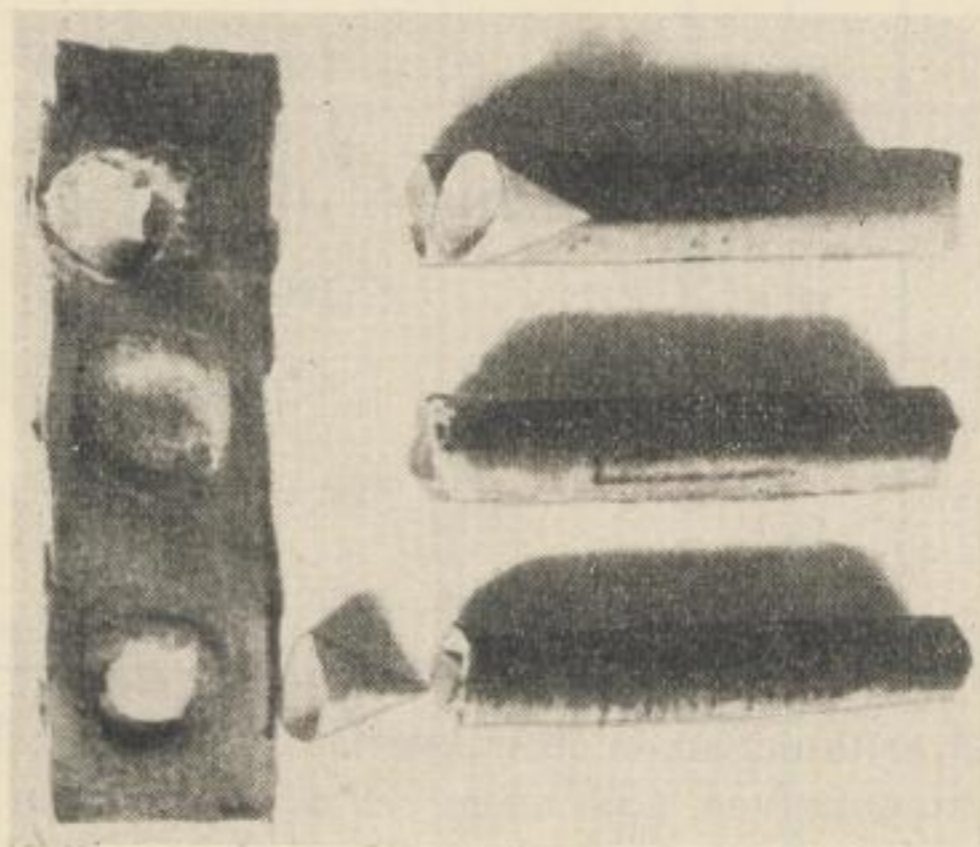


Bild 6. Prinzipielle Darstellung von kumulativen Ladungen mit ihrer Wirkungsweise

Nach diesem Vorversuch, der zeigte, daß kumulative Ladungen aus Donarit 1 mit Hohlkegeln aus Pappe Stanzwirkungen erzielen, wurden Messungen der Detonationsgeschwindigkeit in gestreckten Ladungen durchgeführt.

Die Herstellung der Meßladungen erfolgte, wie oben ausführlich unter 3.21 beschrieben. Die Ladungen wurden freischwebend aufgebaut.

Die Meßergebnisse dieses Versuches werden in Tabelle 9 mit denen der Versuchsreihe I verglichen.

Die arithmetischen Mittelwerte der zweiten und dritten Meßstrecke liegen, wie die Tabelle 9 zeigt, nicht wesentlich voneinander entfernt. Da auch die mittleren Fehler der arithmetischen Mittel und der Einzelmessung annähernd gleich sind, kann gefolgert werden:

Die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit-1-Patronen mit Hohlkörpern entspricht der Geschwindigkeit normaler Patronen, d. h. die Brisanz wird durch kumulative Ladungen nicht erhöht.

Die Kurven der Meßwerte D_2 und D_3 von Versuch XV zeigen im Gegensatz zu Versuch I keine Normalverteilung. Entsprechend weichen die Zentral-

Tabelle 9

Versuchs-Nr. Versuchsbedingungen		I Originalpatronen	XV Originalpatronen mit Hohlkörper
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	2730 \pm 117	2260 \pm 38
$\pm f_1$	m/s	\pm 525	\pm 221
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2200 \pm 34	2320 \pm 34
$\pm f_2$	m/s	\pm 168	\pm 200
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	2270 \pm 44	2160 \pm 36
$\pm f_3$	m/s	\pm 190	\pm 193
C_1	m/s	2700	2223
C_2	m/s	2210	2275
C_3	m/s	2240	2105

werte von den arithmetischen Mittelwerten stärker ab. Beides weist darauf hin, daß die kumulativen Ladungen bei der gewählten Versuchsanordnung keinen einheitlichen Einfluß ausüben. Die dem kumulativen Schießen eigentümliche Wirkung liegt also in anderen als den hier zu prüfenden Fragen.

4.2 Hauptversuche im Gesteinseinschluß

Die nachfolgenden Messungen wurden im Jüngeren Steinsalz und im Hartsalz durchgeführt. Sie erfolgten unter Anwendung der oben beschriebenen Meßmethode, wobei die Meßladungen z. T. in werfenden und auch z. T. in nichtwerfenden Bohrlochern eingesetzt wurden.

4.21 Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Bohrlochdurchmessers

Unter 4.12 wurde festgestellt, daß die Detonation von 25-mm-Donarit-1-Patronen im 40 mm weiten Stahlrohr nicht einwandfrei verläuft. Die Detonationsgeschwindigkeit fiel auf einer Strecke von 60 cm um rd. 500 m/s, und der Sprengstoff detonierte nicht restlos bis an das Ende der Ladesäule durch, d. h., der Einschluß-Durchmesser beeinflußt somit die Detonation maßgeblich. Um diesen Einfluß zu bestimmen, wurden nachfolgende Versuchsreihen XVIII, XIX, XX, XXIV durchgeführt (siehe auch Anlage XXIX).

Sprengstoff:	Donarit 1
Einschluß:	Hartsalz (Merkers/Rhön)
Patronenart und Größe:	Originalpatronen 25 mm ϕ
Zündung:	Kapsel Nr. 8
Herstellungsverfahren (der Meßladung):	Holzstäbchenverbindung

Bohrlochdurchmesser: 30, 34, 38 und 50 mm
 Bohrlochlänge: 2,0 m
 Besatz: ohne
 Patronenanordnung: S — 3 — „6“

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefaßt.

Tabelle 10

Versuchs-Nr.		XVIII	XX	XIX	XXIV
Bohrloch- durchmesser	mm	30	34	38	50
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	3190 \pm 71	2780 \pm 96	2560 \pm 71	2950 \pm 92
$\pm f_1$	m/s	\pm 465	\pm 663	\pm 543	\pm 469
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2970 \pm 49	2840 \pm 81	2640 \pm 74	2720 \pm 103
$\pm f_2$	m/s	\pm 329	\pm 555	\pm 491	\pm 523
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	3020 \pm 56	2710 \pm 86	2690 \pm 105	2720 \pm 198
$\pm f_3$	m/s	\pm 342	\pm 499	\pm 614	\pm 817
C_1	m/s	3255	2665	2530	2828
C_2	m/s	3005	2915	2700	2780
C_3	m/s	3055	2775	2770	2750

Die arithmetischen Mittelwerte \bar{D}_1 , \bar{D}_2 und \bar{D}_3 der vorstehenden Tabelle sind auf Bild 7 über dem Bohrlochdurchmesser aufgetragen. Daraus ist ersichtlich, daß die Detonationsgeschwindigkeit bei einem Bohrlochdurchmesser von 30 mm am höchsten ist, mit zunehmendem Bohrlochdurchmesser (34 und 38 mm) abfällt und bei einem Durchmesser von 50 mm schwach ansteigt.

Im Bild 7 wurde auf eine Angabe der Streuung verzichtet, um die Übersichtlichkeit nicht zu mindern. Aus den Fehlerangaben der Tabelle ist jedoch zu ersehen, daß die mittleren Fehler des arithmetischen Mittels F_2 und F_3 mit zunehmendem Bohrlochdurchmesser steigen, d. h., die Genauigkeit der Mittelwerte nimmt mit fallender Detonationsgeschwindigkeit ab. Ebenso verhalten sich die mittleren Fehler der Einzelmessungen. Sie sind am geringsten bei einem Durchmesser von 30 mm, am höchsten bei einem Durchmesser von 50 mm und liegen bei den Durchmessern von 34 und 38 mm weit näher an den Werten von Versuch XXIV (50 mm Durchmesser) als an denen von Versuch XVIII (30 mm Durchmesser). Es ist also festzustellen, daß bei 30 mm Bohrlochdurchmesser nicht nur die höchste Geschwindigkeit, sondern auch die geringste Streuung vorliegt.

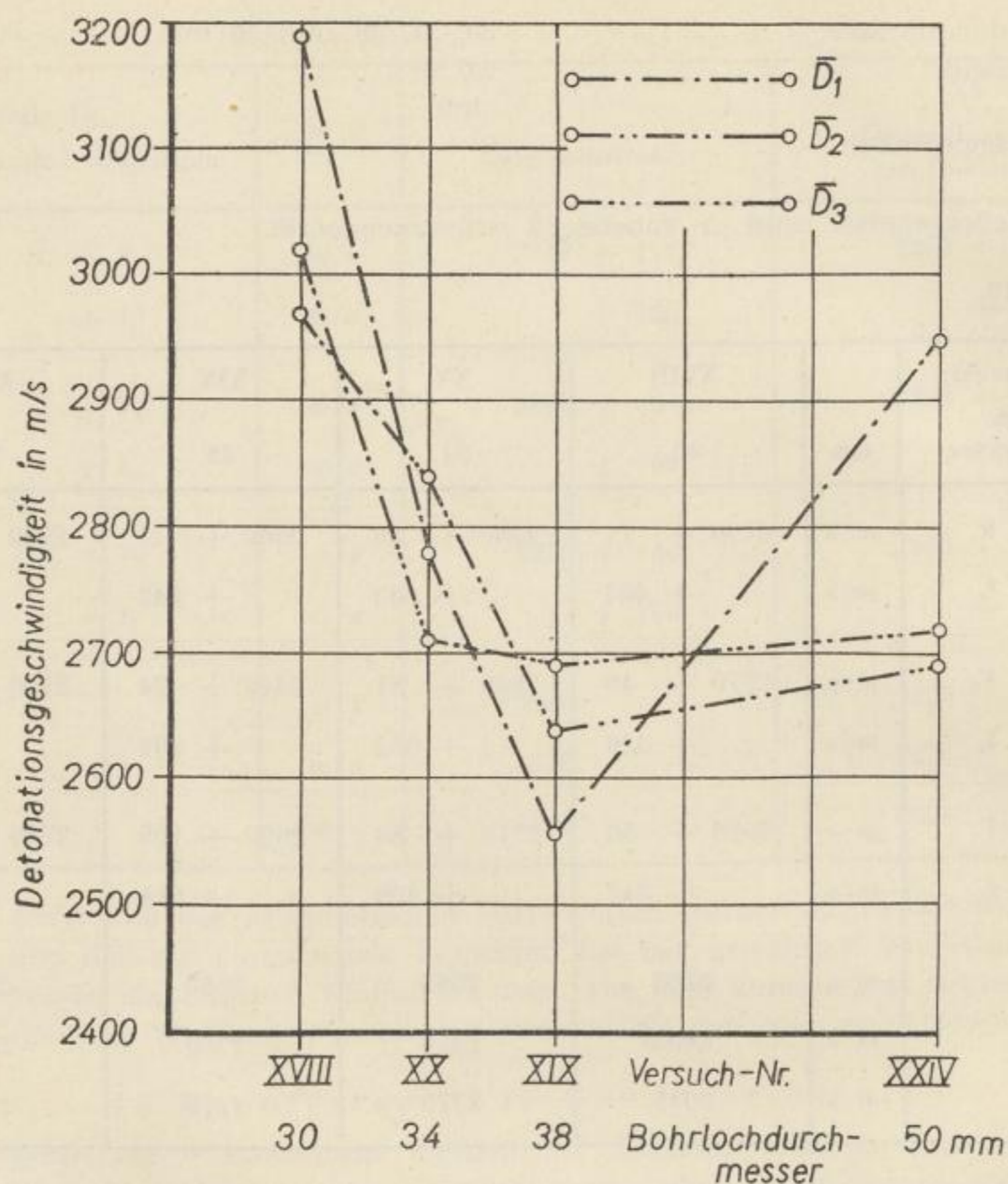


Bild 7. Detonationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Bohrllochdurchmesser (Donarit 1, Patronendurchmesser 25 mm, Hart-salz) nach den Versuchen XVIII, XIX, XX, XXIV

Trotz dieser relativ geringen Streuung liegen auch bei 30 mm Bohrllochdurchmesser die mittleren Fehler der Einzelmessung wesentlich über denen, die bei Freiluftversuchen ermittelt wurden (z. B. bei Versuch III rd. 100—200 m/s). Daraus läßt sich ersehen, daß bei Untertageversuchen die Schußzahl gegenüber Freiluftversuchen erhöht werden muß, um einigermaßen exakte Zahlenangaben zu machen.

Die größere Streubreite der Untertageversuche wird auch in den Darstellungen im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz deutlich. Diese Darstellungen weisen für die Kurven D_1 , D_2 und D_3 keine Normalverteilung auf. Bei der im Häufigkeitsnetz eingetragenen Urverteilung zeigen sich Ansätze zu einer Normalverteilung, so daß vermutlich bei größerer Meßwertzahl auch für die Einzelmesswerte Normalverteilung zu erwarten ist.

Da für D_1 , D_2 und D_3 keine Normalverteilung vorliegt, stimmen die Zentralwerte mit den arithmetischen Mittelwerten nicht überein.

Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.

Eine weitere Versuchsreihe XXII wurde mit 28-mm-Patronen und 38-mm-Bohrlöchern im Hartsalz ohne Besatz und der Patronenanordnung S — 3 — „6“ durchgeführt. Die Patronen der Meßladungen mußten aus verschiedenen Sprengstoffkisten und damit verschiedenen Herstellungschargen entnommen werden. Es ergaben sich folgende Detonationsgeschwindigkeiten:

Tabelle 11

Versuchs-Nr. Bohrloch- ϕ Patronen- ϕ	mm mm	XVII ₁ 38 28	XVII ₂ 38 28	XVII ₃ 38 28	XVII ₄ 38 28	XVIII 30 25
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	2990 \pm 244	2830 \pm 80	3250 \pm 156	3840 \pm 159	3190 \pm 71
f_1	m/s	\pm 691	\pm 254	\pm 623	\pm 526	\pm 465
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2650 \pm 145	2820 \pm 72	3000 \pm 127	3030 \pm 99	2970 \pm 49
f_2	m/s	\pm 410	\pm 249	\pm 539	\pm 329	\pm 329
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	2640 \pm 311	2460 \pm 88	2920 \pm 217	3020 \pm 165	3020 \pm 56
f_3	m/s	\pm 822	\pm 289	\pm 895	\pm 466	\pm 342

Die Ergebnisse der Versuchsreihe XVII lassen einen Vergleich mit Reihe XVIII zu. In diesem Versuch wurden Patronen von 25 mm ϕ in Bohrlöchern von 30 mm ϕ verwendet. Der Versuch ergibt, daß die Detonationsgeschwindigkeiten D_1 , D_2 und D_3 des Versuches XVIII fast immer über denen des Versuches XVII liegen, obwohl die mittleren Fehler der arithmetischen Mittel infolge geringer Meßwertanzahl im Vergleich zu den anderen Versuchen relativ hoch sind. Daraus läßt sich folgern:

Die Detonationsgeschwindigkeit von
 Patronen mit 25 mm ϕ in Bohrlöchern von 30 mm ϕ
 ist nicht niedriger als die von
 Patronen mit 28 mm ϕ in Bohrlöchern von 38 mm ϕ .

Dazu wurden praktische Versuche auf dem Kaliwerk „Ernst Thälmann“ in Merkers/Rhön mit 25-mm- und 28-mm-Patronen durchgeführt. Die Durchmesser der Bohrlöcher wurden zu 32 mm und 36 mm gewählt.

Der Durchmesser von 32 mm für die 25-mm-Patronen wurde deshalb verwendet, weil in der Praxis die Differenz zwischen Patronen- und Bohrlochdurchmesser von 5 mm zu gering ist. Die Wahl des Bohrlochdurchmessers von 36 mm für die 28-mm-Patronen wurde dadurch bestimmt, daß im Kalibergbau dieser Durchmesser in der Regel verwendet wird. Die Vorgabe und die Patronenzahl jedes Schusses konnten in beiden Versuchsreihen gleich gehalten werden. Trotz der bei 25-mm-Patronen um 25 % verringerten Sprengstoffmenge je Bohrloch gegenüber 28-mm-Patronen wurde einwandfreies Werfen der Vorgaben und Sätze in diesem Versuchsfalle erreicht.

Abschließend wird festgestellt:

Die Detonationsgeschwindigkeit ist abhängig vom Bohrl Lochdurchmesser. Sie ist am höchsten bei dichtestem Einschluß und fällt mit zunehmendem Bohrl Lochdurchmesser ab, wobei die Streuungen zunehmen.

4.2.2 Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Ladesäulenlänge

Die Frage der möglichen Ladesäulenlänge und damit der Bohrl Lochlänge ist umstritten. Im allgemeinen wird heute mit Donarit 1 ungern über Ladesäulenlängen von 5 m hinausgegangen. Wird der besser übertragende Sprengstoff Chloratit 2 verwendet, so nimmt man ohne Bedenken Bohrlöcher von 8 m Länge. Im Zuge einer erhöhten Wirtschaftlichkeit sind jedoch noch größere Längen erwünscht. Die Praxis begründet diese Grenzen mit der Behauptung, daß der Impuls der Initialladung nicht ausreichend sei und daß die Patronenstirnverschlüsse hemmen sowie Bohrmehl zwischen den einzelnen Patronen die Detonation lösche.

Die nachstehend beschriebenen Versuche sollen einen Beitrag zur Klärung dieses Problems bringen. Sie wurden in werfenden und nicht werfenden Bohrlöchern durchgeführt. Unter nicht werfenden Bohrlöchern sind solche zu verstehen, die senkrecht in den Stoß, d. h. wirkungslos gebohrt worden waren. Werfende Bohrlöcher verlaufen parallel zum Stoß und werfen i. allg. die Vorgabe ab.

Die Versuchsreihen XIX, XXI, XXII und XXIII wurden in nicht werfenden Bohrlöchern durchgeführt und unterlagen folgenden weiteren Bedingungen:

Sprengstoff:	Donarit 1
Einschluß:	Hartsalz (Merkers/Rhön)
Patronenart und Größe:	Originalpatronen 25 mm ϕ
Zündung:	Kapsel Nr. 8
Herstellungsverfahren (der Meßladung):	Holzstäbchenverbindung
Bohrl Lochdurchmesser:	38 mm
Bohrl Lochlänge:	2,0 m; 2,5 m (Versuch XXII), 3,5 m (Versuch XXIII)
Besatz:	ohne
Patronenanordnung:	variiert

(Weitere Einzelheiten der Versuche wie Meßwerte, Patronenanordnungen, Berechnung der arithmetischen Mittel, Darstellung im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz siehe Anlagen a—d der Versuche.)

Tabelle 12 (S. 39) enthält die Meßergebnisse dieser Versuche.

Auf Bild 8 sind die in Tab. 12 aufgeführten Ergebnisse graphisch dargestellt. Die Detonationsgeschwindigkeiten \bar{D}_1 , \bar{D}_2 und \bar{D}_3 sowie die aus ihnen gebildeten gewogenen Mittelwerte ($\bar{D}_{\text{gew.}}$) sind als Funktion der Ladesäulenlänge, also der Sprengstoffstrecke, aufgetragen. Die Lage der Meßstrecken im Bohrl Loch ist durch die Patronenanordnung bestimmt, z. B. bedeutet S—8—„6“, daß nach der im Tiefsten eingebrachten Schlagpatrone S acht Einzelpatronen und dann die geschlossene Meßladung „6“ mit sechs Patronen folgt. Über dem Mittelpunkt der Meßstrecken einer Meßladung ist die jeweils ermittelte Geschwindigkeit aufgetragen.

Tabelle 12

Versuchs-Nr.		XXI	XIX	XXII	XXIII
Patronen-anordnung		K — „6“	S — 3 — „6“	S — 8 — „6“	S — 16 — „6“
Mittelpunkt der Meßstrecken	cm	40	92	157	261
$\bar{D}_1 \pm F_1$	m/s	2840 \pm 155	2560 \pm 71	2600 \pm 191	2820 \pm 98
$\pm f_1$	m/s	\pm 536	\pm 543	\pm 604	\pm 490
$\bar{D}_2 \pm F_2$	m/s	2500 \pm 157	2640 \pm 74	2870 \pm 274	2780 \pm 111
$\pm f_2$	m/s	\pm 544	\pm 491	\pm 910	\pm 458
$\bar{D}_3 \pm F_3$	m/s	2980 \pm 190	2690 \pm 105	3270 \pm 168	2800 \pm 189
$\pm f_3$	m/s	\pm 465	\pm 614	\pm 476	\pm 627
$\bar{D}_{\text{gew.}}$	m/s	2730	2610	2880	2810

Bild 8 zeigt, daß die Detonationsgeschwindigkeit über der Ladesäulenlänge keinen einheitlichen Verlauf hat, wohl aber eine steigende Tendenz aufweist. Dabei kommt den Versuchen XIX und XXIII infolge größerer Meßwertanzahl größere Genauigkeit zu als den Versuchen XXI und XXII. Dies äußert sich insbesondere im mittleren Fehler der arithmetischen Mittelwerte (s. Tabelle 12).

Aus allen Versuchen ist an Hand der mittleren Fehler der Einzelmessungen und bei Versuch XIX und XXIII an Hand der graphischen Darstellungen im Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsnetz die große Streubreite mit rd. 500—600 m/s zu erkennen. Sie entspricht jedoch der unter 4.21 für Untertage-Versuche festgestellten Streubreite.

Ein Ansteigen der Detonationsgeschwindigkeit mit der Ladesäulenlänge bei 25-mm-Patronen- und 38-mm-Bohrlochdurchmesser ist erstaunlich. Im allgemeinen meidet man im Bergbau, wie eingangs erwähnt, zu lange Ladesäulen, um ein Abreißen der Detonationswelle zu vermeiden.

Zur Deutung des erhaltenen Ergebnisses wird die Versuchsreihe XVI herangezogen, bei der werfende Bohrlöcher verwendet wurden. Sie ist durchgeführt worden, um den Einfluß von Bohrmehlbesatz auf die Detonationsgeschwindigkeit zu untersuchen. Auch in dieser Versuchsreihe wurden die Patronenanordnungen und die Bohrlöchlängen variiert. Die Versuchsbedingungen weichen insofern von den oben angegebenen ab, als Patronen mit 23 mm ϕ und Bohrlöcher von 36 mm ϕ verwendet wurden. Auch war das einschließende Material nicht Hartsalz, sondern Steinsalz und der eingebrachte Besatz Steinsalzbohrmehl mit rd. 50 cm Länge. Diese Versuche wurden in einer im Abbau stehenden Firste eines Steinsalzwerkes unter äußerst schwierigen und für die Messung ungünstigen Bedingungen durchgeführt, so daß im Durchschnitt bei täglich sieben Schüssen nur rund zwei auswertbare Oszillogramme gewonnen wurden.

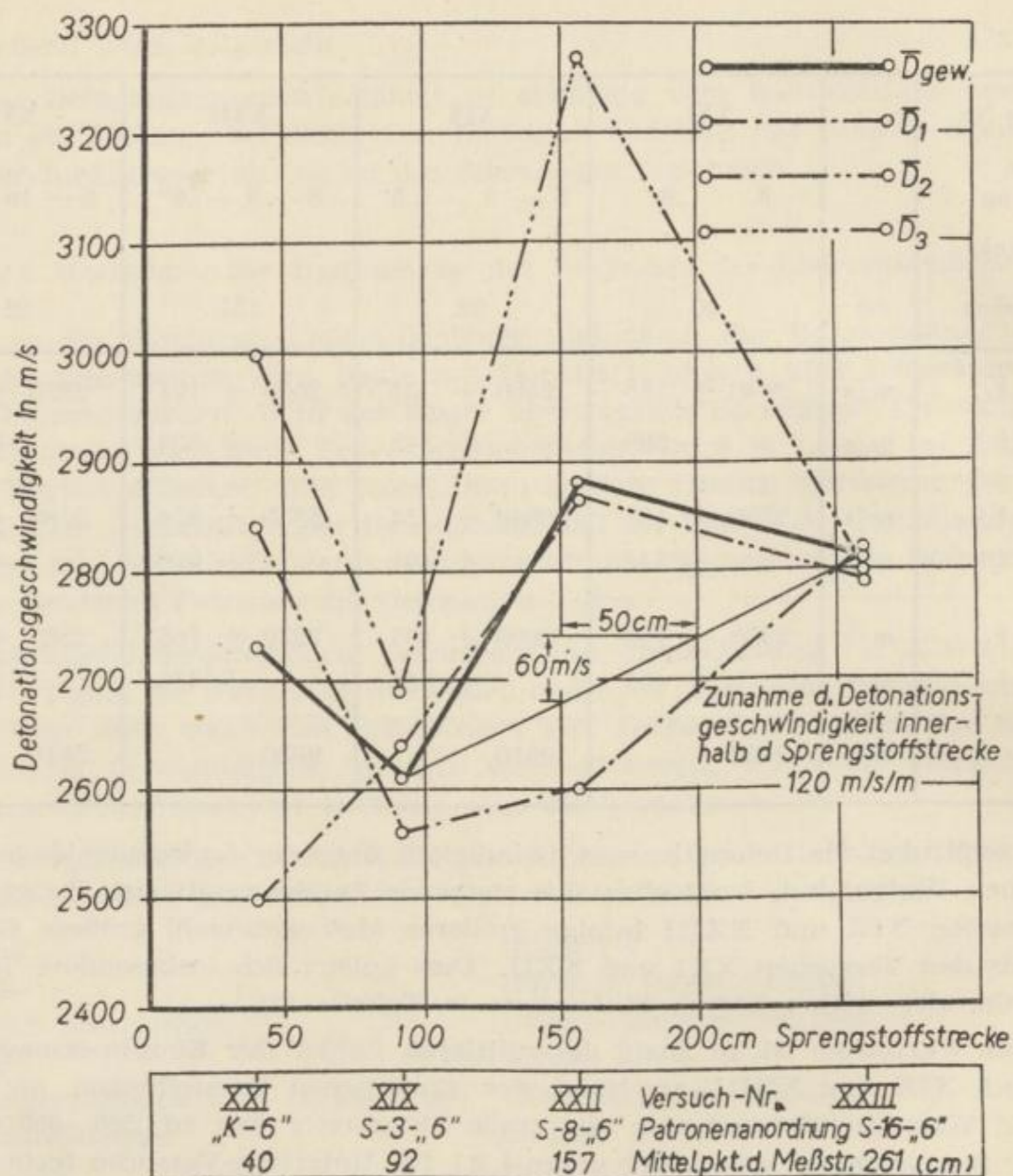


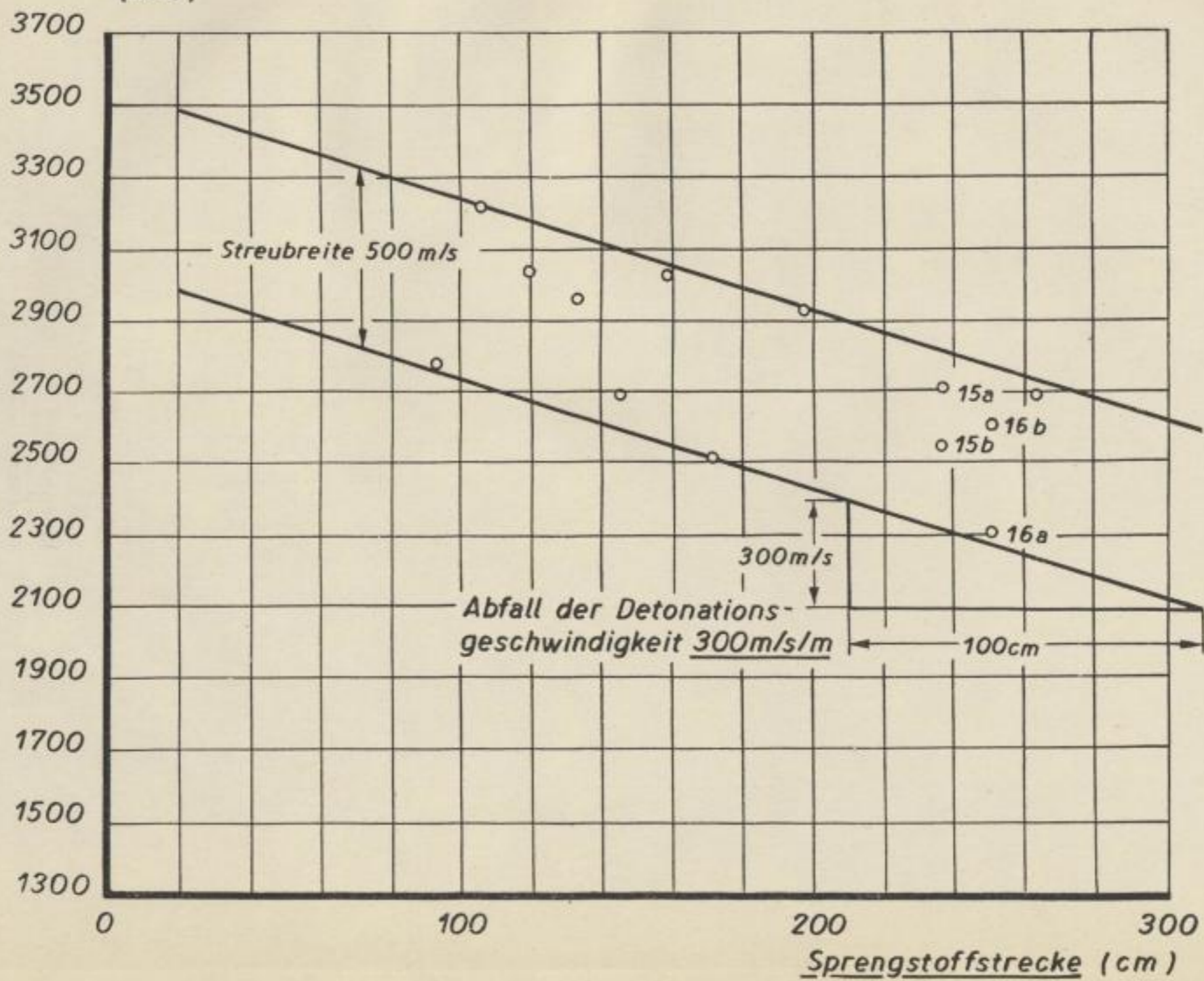
Bild 8. Detonationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Ladesäulenlänge (Donarit 1, Patronendurchmesser 25 mm, Hartsalz, Bohrlochdurchmesser 38 mm) nach den Versuchen XIX, XXI, XXII, XXIII

Die Ergebnisse der Messungen über die Wirkung des Besatzes werden unter 4.2.3 näher erläutert. Es sei hier nur der Geschwindigkeitsverlauf entlang der Ladesäule (siehe Bild 9) beschrieben.

Zum Bild 9 sei erwähnt: Aus den Meßergebnissen der Versuchsreihe XVI (s. Anlagen XVI_{a1} — XVI_{a3}) wurden die Mittelwerte der Detonationsgeschwindigkeiten gebildet. Die Meßwerte der letzten Meßstrecke (D₃) zeichnen sich durch eine stark fallende Tendenz aus. Dies kann nur auf die Wirkung des Besatzes aus Steinsalzbohrmehl zurückzuführen sein.

Die Meßwerte der ersten Meßstrecke unterliegen starken Streuungen. Diese erheblichen Streuungen können nicht nur durch die besonderen Bedingungen dieser Mes-

Detonationsgeschwindigkeit (\bar{D}_2^*)
(m/s)



Kurven-Nr. ^{xx}	(3)	4	5	6	(7)	(8)	9	11	15a/b	16a/b	17
Schwerpunkt der Meßstrecke M_2 : (cm)	92	105	118	131	144	157	170	196	235	248	261

\bar{D}_2^* = Arithmetisches Mittel der in der Meßstrecke M_2 gemessenen Detonationsgeschwindigkeit

^{xx} Der Kurven-Nr. entspricht die Anzahl Patronen zwischen Schlagpatrone und Meßladung

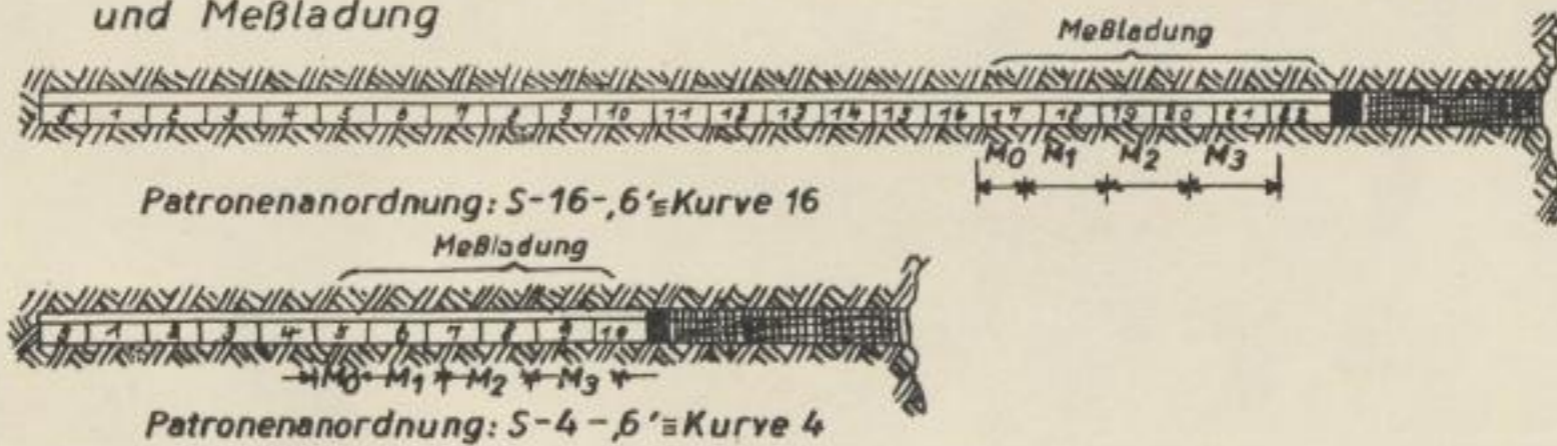


Bild 9. Detonationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Ladesäulenlänge (Donarit 1, Patronendurchmesser 28 mm, Steinsalz, Bohrlochdurchmesser 36 mm, Steinsalz-Bohrmehl-Besatz) nach Versuch XIV

Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



sungen, sondern auch (s. 3.23) durch ungünstigen Zeitmarkeneinsatz und darauf zurückzuführende falsche Auswertung der Oszillogramme sowie durch verspätetes Auslösen der Abrißsonde verursacht sein.

Der Meßwert D_2 unterliegt nicht diesen Einflüssen, so daß der Geschwindigkeitsverlauf entlang der Ladesäule an Hand dieser Werte untersucht wird. Auch in diesem Bild sind, wie im Bild 8, die Detonationsgeschwindigkeiten über den Meßstreckenmittelpunkten aufgetragen.

Eine Annäherung an den tatsächlichen Geschwindigkeitsverlauf ist durch eine Ausgleichgerade möglich. Danach beträgt der Abfall der Detonationsgeschwindigkeit rd. 300 m/s je m Sprengstoffstrecke (s. Bild 9). Dieses Ergebnis steht dem oben erhaltenen entgegen. Die daraus zu ziehenden Folgerungen werden unter 5.22 eingehender dargestellt.

Zum Schluß seien die Ergebnisse der Untersuchungen des Einflusses der Ladesäulenlänge auf die Detonationsgeschwindigkeit wiederholt:

Donarit-1-25-mm-Patronen in 38 mm weiten, nicht werfenden Bohrlöchern zeigen einen Anstieg der Detonationsgeschwindigkeit um 120 m/s je m Sprengstoffstrecke.

Donarit-1-28-mm-Patronen in 36 mm weiten, werfenden Bohrlöchern lassen einen Abfall der Detonationsgeschwindigkeit um 300 m/s je m Sprengstoffstrecke erkennen.

4.23 Messungen zur Bestimmung des Einflusses von Hohlräumen

Hohlräume werden in der Ladesäule beim sogenannten Hohlraumschießen eingeschaltet, um die Wirkung des eingesetzten Sprengstoffes zu schwächen, bzw. um die Wirkung auf eine größere Bohrlochlänge zu verteilen. Diese Schießmethode ist im Kalibergbau weit verbreitet, was auf die günstigen, von Arnold [1] (S. 42/43) untersuchten Übertragungsbedingungen zurückzuführen ist. Arnold stellte mit Donarit 1 fest, daß die Geschwindigkeit in den ersten 15 cm Hohlraum gleich der Detonationsgeschwindigkeit in einer Sprengstoffsäule ist. Nach dieser Hohlraumstrecke nimmt die Geschwindigkeit in weiteren Hohlräumen sehr stark ab. Es ergab sich aus den Untersuchungen von Arnold, daß im Sprengstoff mit Hohlräumen die Detonationsgeschwindigkeit wesentlich niedriger ist als in einer Ladesäule ohne Hohlraum.

Beim Hohlraumschießen ist die Länge des möglichen Hohlraumes abhängig von der Übertragungsfähigkeit des eingesetzten Sprengstoffes. Daher wird z. B. mit Donarit 1 nach Arnold [29] (S. 46/50) und nach eigenen Beobachtungen in der Praxis die Hohlraumlänge zur sicheren Übertragung der Detonation kaum über 20 cm gewählt, während bei dem Sprengstoff Chloratit 2 die Hohlraumlänge bis zu 50 cm erhöht werden kann. In Sonderfällen, z. B. am Mund eines 5 m langen Bohrloches bei Fächer-schießen im Werra-Gebiet, werden zwar 3—4 Donarit-1-Patronen einzeln mit Abständen bis zu 80 cm eingebracht. Diese Länge der Hohlräume ist nur am Bohrlochmund gerechtfertigt, wie aus den Untersuchungen von Arnold [29] hervorgeht.

Vorstehend wurde gesagt, daß Chloratit 2 größere Längen Hohlraum überträgt als Donarit 1. Es lag nahe, nachdem Arnold das Hohlraumschießen mit Donarit 1 untersucht hat, dieses mit Chloratit 2 durchzuführen. Nachstehend folgen die Versuchsbedingungen:

Sprengstoff:	Chloratit 2
Einschluß:	Jüngeres Steinsalz (Staßfurt)
Patronenart und Größe:	Originalpatronen 28 mm ϕ
Zündung:	Kapsel Nr. 8
Herstellungsverfahren (der Meßladung):	Pappeinhüllung
Bohrlochdurchmesser:	36 mm
Bohrlochlänge:	2 m
Besatz:	ohne
Patronenanordnung:	variiert

In Tabelle 13 sind die Patronenanordnungen der durchgeführten Versuche und die mittleren Detonationsgeschwindigkeiten \bar{D}_1 , \bar{D}_2 und \bar{D}_3 (Einzelergebnisse Anlage XXVI 1—4a) angegeben.

Tabelle 13

Versuchs-Nr.	Patronenanordnung	Detonationsgeschwindigkeit		
		\bar{D}_1	\bar{D}_2	\bar{D}_3
XXVI ₁	— S — H — „3“	500	520	730
XXVI ₂	— S — 4 — H — „5“	760	1400	2670
XXVI ₃	— S — 4 — H — 1 — H — „3“	200	394	—
XXVI ₄	— S — 7 — H — 1 — H — „3“	350	450	—

Aus den Patronenanordnungen dieser Tabelle ist Lage und Anzahl der Hohlräume H mit jeweils einer Länge von 13 cm innerhalb der Ladesäule zu erkennen. Unter Berücksichtigung der Patronenanordnung ergibt sich folgendes:

1. Die Detonationsgeschwindigkeit von Chloratit 2 nimmt nach Hohlräumen zu.
2. Die Detonationsgeschwindigkeit von Chloratit 2 beträgt nach Hohlräumen je nach ihrer Länge 200 bis 760 m/s und liegt damit unter der von Roth [2] angegebenen minimalen Geschwindigkeit von 1000 m/s.
3. Die Geschwindigkeit ist um so höher, je mehr Patronen zwischen Schlagpatrone und Hohlraum angeordnet sind und um so niedriger, je länger die eingebrachten Hohlräume sind.

4.24 Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Besatzes

Der Einfluß des Besatzes auf die Detonationsgeschwindigkeit ist ungeklärt (s. 2.2). Herlin [11] und Baumann [14] stellen fest, daß die Detonationsgeschwindigkeit in einem verdämmten Loch geringer ist als in einem unverdämmten.

Versuche von Arnold [1] und Meyer [9] brachten jedoch umgekehrte Ergebnisse. Die zuerst angegebenen können auf ungünstige Versuchsbedingungen, z. B. Stauchen der Sprengstoffsäule und damit Verdichtung des Sprengstoffes beim Einbringen des Besatzes, zurückgeführt werden.

Detonationsgeschwindigkeit
(m/s)

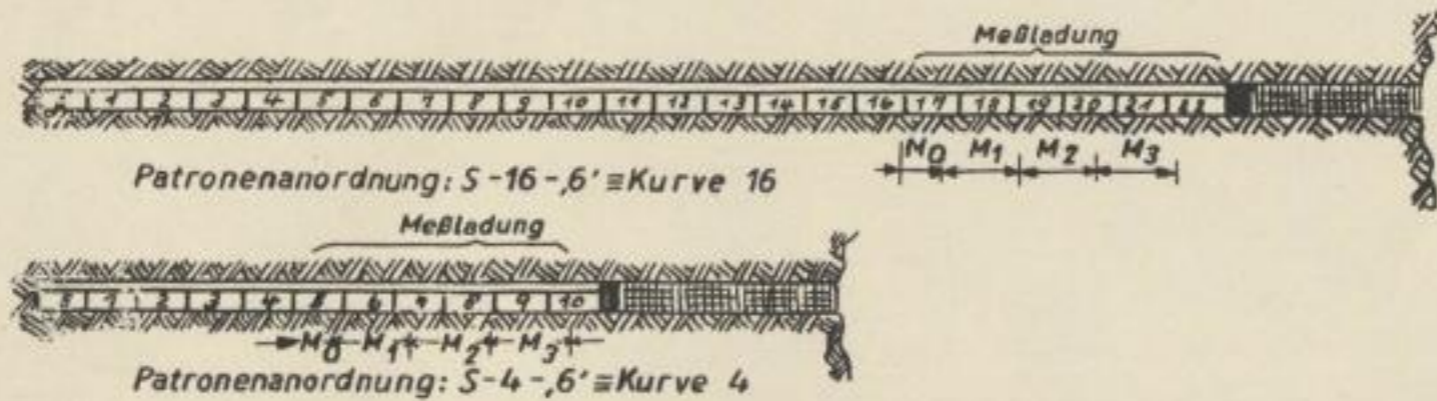
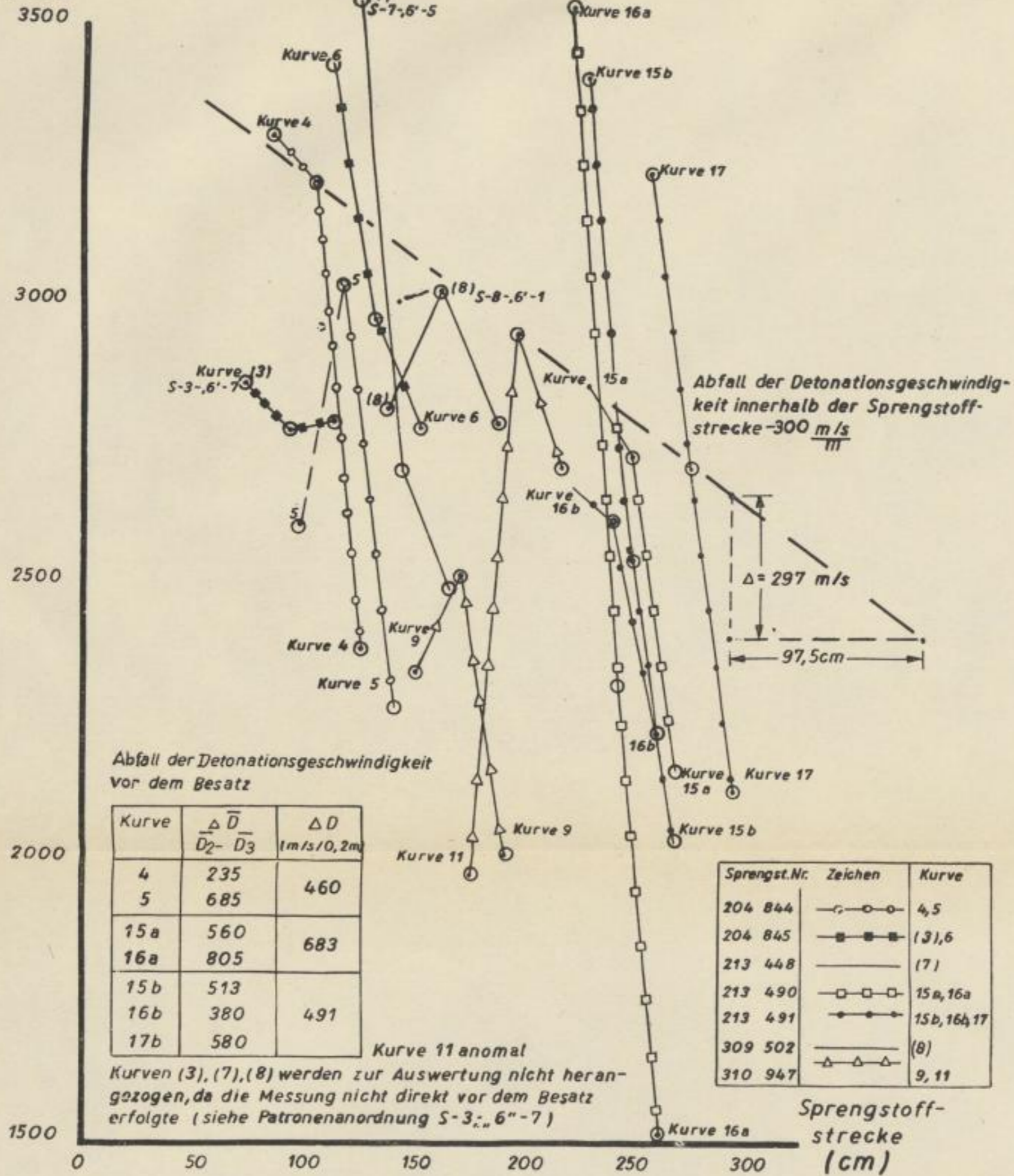


Bild 10. Verlauf der Detonationsgeschwindigkeit beim Schießen mit Besatz (Donarit 1, Patronendurchmesser 28 mm, Steinsalz, Bohrlochdurchmesser 36 mm, Steinsalz-Bohrmehl-Ersatz) nach Versuch XIV

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Es wurde deshalb die Versuchsreihe XVI angesetzt, wobei mit einem Pfropfen, der an einem Draht oder Strick gehalten wurde, dem einzubringenden Besatz das notwendige Widerlager gegeben wurde. Der eingesetzte Pfropfen entspricht dem früher häufig gebrauchten Schußsicherungspfropfen. Er wurde bei den Versuchen nach der letzten Patrone in das Bohrloch geschoben. Nach Anspannen des Drahtes konnte der Besatz kräftig angestampft werden, ohne die Patronen zu stauchen.

Nachstehend folgen die Versuchsbedingungen:

Sprengstoff:	Donarit 1 (aus versch. Chargen)
Einschluß:	Steinsalz (Angersdorf/Saale)
Patronenart und Größe:	Originalpatronen 28 mm ϕ
Zündung:	Kapsel Nr. 8
Herstellungsverfahren:	Holzstäbchenverbindung
Bohrlochdurchmesser:	36 mm
Bohrlochlänge:	variiert
Besatz:	Steinsalzbohrmehl in vier Hülsen von rd. 20—25 cm Länge und Schußsicherungspfropfen
Patronenanordnung:	variiert

Die Einzelmeßergebnisse dieser Versuchsreihe werden in Bild 10 dargestellt und sind den Anlagen XVI_{a1} —XVI_{a3} zu entnehmen.

Wie unter 4.2.2 erwähnt, konnte diese Versuchsreihe nicht nach dem Häufigkeitsverfahren ausgewertet werden.

Bei der Versuchsreihe XVI wurden zwei Versuchsbedingungen variiert, indem unterschiedliche Patronenanordnungen gewählt sowie die Sprengstoffe aus verschiedenen Herstellungschargen entnommen wurden. Durch die größere Zahl einzelner Versuchspunkte kann ein qualitativer Schluß gezogen werden, wenn auch die quantitative Bestimmung Mängel zeigt.

Auf Bild 10 sind die Mittelwerte der Detonationsgeschwindigkeit in jeder Meßstrecke über der Ladesäulenlänge aufgetragen. Da die Meßladung „6“ fast immer als letzte in das Bohrloch eingebracht wurde, konnte die Detonationsgeschwindigkeit vor dem Besatz gemessen werden. Auf Bild 10 ist eine Tabelle angegeben über den Abfall der Detonationsgeschwindigkeit ($\Delta \bar{D}$) vor dem Besatz. Dieser Abfall beträgt rd. 500 m/s je 20 cm Sprengstoffstrecke und wurde gemessen als Differenz der mittleren Detonationsgeschwindigkeiten \bar{D}_2 und \bar{D}_3 in den Meßstrecken M_2 und M_3 .

Die Messungen lassen nicht nur den Abfall der Detonationsgeschwindigkeit vor dem Besatz erkennen, sondern sie zeigen auch, wie unter 4.2.2 ausgewertet, den Abfall der Detonationsgeschwindigkeit innerhalb der gesamten Ladesäule.

Die Feststellung, daß die Detonationsgeschwindigkeit in Bohrlöchern bei verschiedenen Patronenanordnungen um 500 m/s je 0,2 m Sprengstoffstrecke vor einem fest eingebrachten Besatz aus Steinsalzbohrmehl abfällt, entspricht den Ergebnissen von Herlin.

Nachstehend sei eine weitere Versuchsreihe, die Versuchsreihe XXV, mit ihren Meßergebnissen besprochen. Sie wurde im Hartsalz des Werra-Gebietes in nicht-wirkenden Bohrlöchern durchgeführt, wobei die Löcher mit Lehm von 0,5 m Länge verdämmt wurden.

Versuchsbedingungen:	
Sprengstoff:	Donarit 1
Einschluß:	Hartsalz (Merkers/Rhön)
Patronenart und Größe:	Originalpatronen 25 mm ϕ
Zündung:	Kapsel Nr. 8
Herstellungsverfahren:	Holzstäbchenverbindung
Bohrlochdurchmesser:	38 mm
Bohrlochlänge:	2 m
Besatz:	Lehm-Besatz von 50 cm Länge (XXV)
Patronenanordnung:	S — 3 — „6“

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sowie die zum Vergleich herangezogenen Ergebnisse des Versuches XIX lauten:

Tabelle 14

Versuchs-Nr.	Besondere Versuchsbedingungen	Detonationsgeschwindigkeit (m/s)		
		$\bar{D}_1 \pm F_1$ $\pm f_1$	$\bar{D}_2 \pm F_2$ $\pm f_2$	$\bar{D}_3 \pm F_3$ $\pm f_3$
XXV	Lehm-Besatz	2760 \pm 82 \pm 504	2710 \pm 77 \pm 480	2690 \pm 109 \pm 609
XIX	ohne Besatz	2560 \pm 70 \pm 543	2640 \pm 74 \pm 491	2690 \pm 105 \pm 614

Die Mittelwerte der Detonationsgeschwindigkeiten \bar{D}_1 , \bar{D}_2 und \bar{D}_3 stimmen in der letzten Meßstrecke überein, in der mittleren Meßstrecke liegen die Mittelwerte im Fehlerbereich, während in der ersten Meßstrecke die Abweichungen größer sind.

Da die Mittel \bar{D}_2 und \bar{D}_3 voneinander nicht abweichen, kann gefolgert werden:

Bei der gewählten Versuchsanordnung (Donarit-1-Patronen mit 25 mm ϕ in 38 mm weiten, 2,0 m langen Bohrlöchern im vollen Hartsalzstoß mit Lehm-Besatz von 50 cm Länge) wird die Detonationsgeschwindigkeit vom Besatz nicht beeinflusst.

Unter Berücksichtigung der Messungen von Arnold [1], Meyer [9], Herlin [11] und Baumann [14] kann angenommen werden, daß die Art und Länge des Besatzes die Beeinflussung der Detonationsgeschwindigkeit hervorruft.

Den Einfluß verschiedener Besatzarten untersuchte Pohl [29]. Er stellte in einem Stahlrohr den statischen Druck zur Aufhebung der Reibung verschiedener Besatzarten fest. Dabei ergab sich, daß stark reibendes Material, wie z. B. Sand, den höchsten Druck und weniger reibender Besatz, z. B. Lehm, den geringsten Druck aufnimmt. Für Material mit geringer Kohäsion, wie z. B. Kalksteingrus mit Sand, stellte Pohl einen „wirksamen Druck“ von 2000 kg/cm² bei Besatzlängen von 30 cm fest.

Es lag nun nahe, die Ergebnisse von Pohl in Gesteinseinschluß mit dem hier verwendeten Steinsalzbohrmehl und Lehm sowie mit dem von Arnold verwendeten Gips zu überprüfen. Dazu wurde im Institut für Bergbaukunde der Bergakademie

Freiberg der statische Druck zur Aufhebung der Reibung bestimmt. Im Steinsalzbohrloch von 20 cm Länge nimmt eine Besatzsäule aus

Lehm	3—4 kg/cm ²
Gips	14—15 kg/cm ²
Steinsalzbohrmehl	19—20 kg/cm ²

auf. Diese Ergebnisse in Verbindung mit den Messungen der Detonationsgeschwindigkeit weisen darauf hin, daß das Druckaufnahmevermögen des Besatzes für die festgestellte Beeinflussung der Detonationsgeschwindigkeit herangezogen werden muß.

Es ist zu vermuten, daß neben dem Reibungsverhalten die elastischen Eigenschaften des Besatzes die Beeinflussungen der Detonationsgeschwindigkeit verursachen.

Abschließend lassen sich die Ergebnisse aus den Versuchsreihen XVI und XXV folgendermaßen zusammenfassen:

Besatz aus Steinsalzbohrmehl mit rd. 50 cm Länge setzt die Detonationsgeschwindigkeit im letzten Teil der Ladesäule herab, wenn aus dem Bohrlochtiefsten gezündet wird.

Lehm als Besatz mit 50 cm Länge beeinflußt die Detonationsgeschwindigkeit dagegen nicht.

5 FOLGERUNGEN AUS DEN MESSUNGEN DER DETONATIONSGESCHWINDIGKEIT FÜR DIE BERGMÄNNISCHE SCHIESSARBEIT

5.1 Folgerungen aus den Vorversuchen ohne Gesteins- einschluß

5.1.1 Folgerungen aus den Messungen über den Einfluß der Initialladungen

Nach den Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten von Donarit 1 in freier Luft zur Bestimmung des Einflusses der Initialladungen ergibt sich nach dem Abschnitt 4.1.1 folgendes: Je stärker die Initialladungen sind, um so höher ist die Detonationsgeschwindigkeit in dem Bereich, der der Kapsel am nächsten liegt. Da in diesem Bereich im allgemeinen die erste Meßstrecke liegt, deren Ergebnisse besonders von Zeitmarkenfehlern beeinflußt werden, kann das Ergebnis nur qualitativ sein. Über den Bereich hinaus (in der zweiten und dritten Meßstrecke) strebt die Detonationsgeschwindigkeit einem Wert zu, der unabhängig von der Art und Stärke der Initiierung ist.

Die Streuungen der Detonationsgeschwindigkeiten zeigen in dem unbeeinflussten Bereich Unterschiede. Je brisanter das Zündmittel ist, um so geringer sind die Streuungen; z. B. betragen die Streuungen, die mittleren Fehler der Einzelmessung der Detonationsgeschwindigkeiten von Donarit-1-25-mm-Patronen bei Zündung mit Pikrinsäure $f_1 = \pm 104$ m/s und $f_3 = \pm 70$ m/s (Versuchsreihe VII) und bei Zündung mit der Kapsel Nr. 8 $f_2 = \pm 171$ m/s und $f_3 = \pm 121$ m/s (Versuchsreihe VIII). Aus den Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten kann für die bergmännische Schießarbeit daher empfohlen werden:

Bei weniger brisanten Sprengstoffen ist mit einer brisanten Zündung die Detonation einer Sprengstoffsäule zu verbessern.

5.12 Folgerungen aus den Messungen für die Größe des Durchmessers der Patronen

Nach den in Abschnitt 4.12 beschriebenen Versuchen ist die Detonationsgeschwindigkeit in freier Luft von Donarit-1-28-mm-Patronen um rd. 10 % höher als die der Patronen mit 25 mm ϕ .

Eine weitere Versuchsreihe zur Untersuchung der Abhängigkeit der Detonationsgeschwindigkeit vom Patronendurchmesser, jedoch bei gleichbleibendem Durchmesser des Stahlrohres, brachte folgende Ergebnisse:

Die Detonationsgeschwindigkeit von Donarit 1 mit 40 mm ϕ liegt um 11 % über der Geschwindigkeit von Patronen mit 28 mm ϕ und um rd. 20 % über der von 25-mm-Patronen. Bei Verwendung von 25-mm-Patronen zeigte sich, daß bei einer Ladedichte — 0,4 die sichere Detonation nicht gewährleistet wird. Für die bergmännische Schießarbeit ist aus diesen Versuchen zu folgern:

Die Detonationsgeschwindigkeit wird mit abnehmendem Patronendurchmesser geringer.

25-mm-Patronen detonieren nur bedingt sicher.

5.13 Folgerungen aus den Messungen für die Länge der Patronen

Im Abschnitt 4.13 wurde über die Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten zur Bestimmung des Einflusses der Patronenlänge berichtet. Bei diesen Messungen ist eine Steigerung der Detonationsgeschwindigkeit um rd. 6 % festgestellt worden, wenn offene, d. h. Patronen ohne Stirnverschlüsse mit 28 mm ϕ verwendet werden. Diese Erhöhung der Detonationsgeschwindigkeit ist beachtlich. Da offene Patronen aus gewerblichen Sprengstoffen für praktische Zwecke nicht hergestellt und verwendet werden können, ist eine teilweise Ausnützung der möglichen Geschwindigkeitssteigerung nur bei Verwendung längerer Patronen gegeben.

Aus den eigenen Untersuchungen und denen von M o r h e n n [26] ergibt sich, daß bei Verwendung von Patronen mit größerer Länge als bisher (+ 13 cm) die Brisanz erhöht wird. Die Handhabung der Praxis, bei schweren Schüssen die Patronenstirnverschlüsse zu entfernen, ist demnach aus sprengtechnischen Gründen gerechtfertigt. Die Sicherheit der Schießarbeit verlangt jedoch, daß diese Maßnahme unterbunden wird.

Für die bergmännische Schießarbeit ist somit zu folgern:

Patronen größerer Länge erhöhen die Brisanz und die Sprengstoffwirkung.

5.14 Folgerungen aus den Messungen über die Anwendungsmöglichkeiten der kumulativen Ladungen

Die sogenannten kumulativen Ladungen wurden nach der einschlägigen Literatur (S t e t t b a c h e r [27], S. 133—135) bisher ausschließlich für strategische Zwecke verwendet. R o t h [2] sagt (S. 15), daß „sich der Hohlraumeffekt nur dort behaupten konnte, wo ein . . . örtlicher punkt- oder linienförmiger Trenneffekt sicher erzwungen werden soll.“ Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode im Bergbau sind nach A s s o n o w [28] nicht ausreichend untersucht.

Aus den unter 4.14 angeführten Versuchen kann gefolgert werden, daß durch Donarit-1-28-mm-Patronen mit Hohlkörpern Stanzwirkungen (Hohlraumeffekte) zu

erzielen sind. Weiterhin wurde festgestellt, daß die Detonationsgeschwindigkeit durch den Einsatz von Hohlkörperpatronen in gestreckten Ladungen nicht erhöht wird.

Von der Schießmethode mit kumulativen Ladungen ist jedoch eine gewisse Richtwirkung der Sprengstoffenergie zu erwarten. Die von den Hohlkörperflächen nach dem Innern des Hohlräumtes schlagenden oder hervorbrechenden Detonationsfronten verstärken sich zu einer Resultierenden. Daher kann die von den Sprengstoffkörpern ausgehende radiale Energie-Abstrahlung in Richtung der Sprengstoffsäule konzentriert werden.

Für die bergmännische Schießarbeit kann gefolgert werden:

Kumulative Ladungen in Donarit-1-Patronen erzielen Stanzwirkungen und können daher für besondere technische Sprengungen, z. B. Raubarbeiten, angewendet werden.

In gestreckten Ladungen ist jedoch der Einsatz von kumulativen Ladungen nicht zu empfehlen.

Der durch Hohlkörperladungen mögliche Richteffekt kann für den Bergbau von Interesse sein und muß Gegenstand weiterer Untersuchungen bleiben.

5.2 Folgerungen aus den Hauptversuchen im Gesteins- einschluß

5.2.1 Folgerungen aus den Messungen über die Größe des Bohrlochdurchmessers

Aus den unter 4.2.1 angeführten Messungen über den Einfluß des Bohrlochdurchmessers wurde festgestellt, daß die Detonationsgeschwindigkeit sehr stark vom Bohrlochdurchmesser abhängig ist. Die Detonationsgeschwindigkeit von 25-mm-Patronen ist bei einem Bohrlochdurchmesser von 30 mm am höchsten und die Streuung am geringsten. Bei größeren Durchmessern des Bohrloches fällt die Geschwindigkeit, und die Streuungen nehmen zu.

Vergleichende Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten von 25-mm-Patronen in 30 mm weiten Bohrlöchern zeigten, daß diese nicht niedriger sind als die Detonationsgeschwindigkeiten von 28-mm-Patronen in 38-mm-Bohrlöchern.

Bei einem Vergleichsschießen wurde festgestellt:

Der Sprengstoff Donarit 1 läßt sich im Hartsalz mit 25-mm-Patronen in 32-mm-Bohrlöchern mit gleichem Sprengeffekt einsetzen wie 28-mm-Patronen in 36-mm-Bohrlöchern. Die Patronenzahl wird hierbei nicht verändert, so daß bei diesen Versuchen eine Sprengstoffersparnis von 25 % erreicht wurde.

Für die bergmännische Schießarbeit läßt sich aus den Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten in verschieden weiten Bohrlöchern und aus praktischen Schießversuchen folgern:

Bei gegebenem Patronendurchmesser sind die Bohrlochdurchmesser ersterem anzupassen, um die Detonation mit möglichst hoher und wenig streuender Geschwindigkeit fortzuleiten. Beim Einsatz von Patronen geringeren Durchmessers ist der Durchmesser des Bohrloches auf eine optimale Größe herabzusetzen.

Für den Werra-Kalibergbau kann der Einsatz von 25-mm-Donarit-1-Patronen in 32-mm-Bohrlöchern empfohlen werden.

5.2.2 Folgerungen aus den Messungen über die Länge der Ladesäule

Die Messungen der Detonationsgeschwindigkeiten zur Untersuchung des Einflusses der Ladesäulenlänge (s 4.2.2) brachten folgende Ergebnisse:

Bei Donarit-1-25-mm-Patronen in 38 mm weiten, wirkungslosen Bohrlöchern im Hartsalz steigt die Detonationsgeschwindigkeit um 120 m/s je m Sprengstoffstrecke. Dagegen ist mit Donarit-1-28-mm-Patronen in 36 mm weiten, werfenden Bohrlöchern im Steinsalz ein Abfall der Detonationsgeschwindigkeit um 300 m/s je m Sprengstoffstrecke festgestellt worden.

Nach den unter 4.1.2 erwähnten Messungen im Stahlrohreinschluß (Versuch XII) ist ein Abfall der Detonationsgeschwindigkeit mit zunehmender Ladesäulenlänge bei extremen Patronen- und Bohrlochdurchmessern festgestellt worden. Dagegen steigt nach den unter 4.2.1 beschriebenen Untersuchungen die Detonationsgeschwindigkeit (Versuch XXIV) bei unwirksamen Schüssen und extremen Patronen- und Bohrlochdurchmessern.

Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, daß im vollen Stoß andere Detonationsbedingungen vorliegen als im werfenden Stoß.

Es ist zu vermuten, daß im werfenden Bohrloch eine gewisse Expansion der Schwaden vor Abschluß der Detonation eintritt, während im vollen Stoß eine Expansion nicht möglich ist. Im ersten Fall wird die Detonation von der Schwadenfront nicht unterstützt, im zweiten Fall dagegen erfolgt eine Verstärkung. Nach Obengesagtem ist ein Abreißen der Detonation bei langen Ladesäulen und schwacher Vorgabe denkbar.

Das Ergebnis, wonach in werfenden Bohrlöchern die Detonationsgeschwindigkeit eine fallende Tendenz zeigt, wird benützt, um die maximale Ladesäulenlänge zu bestimmen. Zur Berechnung wird eine Anfangsdetonationsgeschwindigkeit von rd. 3000 m/s für Donarit 1 im Steinsalz angenommen (nach Bild 10 sowie nach Baumann [14], S. 41). Nach Roth [2], S. 30, sind als untere Geschwindigkeit 1000 m/s anzunehmen. Die Differenz zwischen der oberen und der unteren Geschwindigkeit beträgt 2000 m/s. Bei Zugrundelegung des ermittelten Abfalles der Detonationsgeschwindigkeit von 300 m/s je m Sprengstoffstrecke wird die maximale Ladesäulenlänge zu 6,7 m bestimmt.

Für die bergmännische Schießarbeit ist aus diesem Ergebnis zu folgern:

Mit Donarit-1-28-mm-Patronen in 36 mm weiten, werfenden Steinsalzbohrlöchern darf die Ladesäule nicht über 6,7 m und damit die Bohrlochlänge nicht über 7,5 bis 8 m erhöht werden, ohne die Gefahr einer unvollständigen Detonation hervorzurufen. Bei längeren Bohrlöchern ist es angebracht, durch zusätzliche Initiatoren, wie Sprengkapseln oder hochbrisante Patronen (nach 5.1.1) die Detonation neu einzuleiten.

5.2.3 Folgerungen aus den Messungen über den Einfluß von Hohlräumen

Unter 4.2.3 wurde an Hand der durchgeführten Messungen festgestellt, daß die Detonationsgeschwindigkeit von Chloratit 2 nach Hohlräumen ansteigt. Dieses Ergebnis zeigt, daß Chloratit 2 zum Hohlraumschießen gut geeignet ist, im Gegensatz zu Donarit 1, der nach Messungen von Arnold nach Hohlräumen fallende Tendenz zeigt.

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

Wird nach der Schlagpatrone eine größere Anzahl von Patronen und dann der Hohlraum angeordnet, so überwindet die Detonation den Hohlraum besser.

Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß die Größe der freiwerdenden Energie bei der Umsetzung auf die Übertragung Einfluß nimmt.

Die Detonationsgeschwindigkeit von Chloratit 2 liegt nach 1—2 Hohlräumen von je 13 cm zwischen 200 und 700 m/s. Diese niedrige Geschwindigkeit äußert sich in stark schiebender Wirkung und erklärt die Verbreitung, die dieser Sprengstoff in Verbindung mit dem Hohlraumschießen gefunden hat. Aus den Meßwerten ist die Folgerung möglich, daß Chloratit 2 eine Umsetzung mit niedriger Geschwindigkeit in eine Umsetzung mit hoher Geschwindigkeit umwandelt.

Die für Chloratit 2 ermittelten Geschwindigkeiten beim Hohlraumschießen entsprechen etwa der Umsetzungsgeschwindigkeit von Schwarzpulver. Daher konnte der Kalibergbau vor Einführung des Sprengstoffes Chloratit 2 mit dem Schwarzpulver über Jahrzehnte gute Ergebnisse erzielen. Für die bergmännische Schießarbeit läßt sich aus diesen Versuchen folgern:

Für Hohlraumschießen ist Chloratit 2 besser geeignet als Donarit 1.

Beim Hohlraumschießen mit Chloratit 2 wird eine stark schiebende Wirkung erzielt.

5.24 Folgerungen aus den Messungen über den Besatz

Unter 4.24 war festgestellt worden, daß Besatz aus Steinsalzbohrmehl in einer Länge von rd. 50 cm die Detonationsgeschwindigkeit im letzten Teil der Ladesäule, also kurz vor dem Besatz, herabsetzt, wenn die Zündung im Bohrlochtiefsten erfolgt. Die Versuche wurden im Steinsalz mit werfender Vorgabe und Patronen mit 28 mm ϕ sowie Bohrlöchern von 36 mm ϕ durchgeführt. Dagegen konnte mit Lehmbesatz der gleichen Länge, jedoch im vollen Hartsalzstoß, keine Beeinflussung der Detonationsgeschwindigkeit festgestellt werden. Diese Versuche wurden mit 25-mm-Patronen in 38 mm weiten Bohrlöchern durchgeführt.

Auch diese Ergebnisse bringen keine einwandfreie Klärung des Besatzproblems. Es stehen sich die einleitend (Seite 10) erwähnten gegenteiligen Auffassungen gegenüber. Aus den Messungen der Detonationsgeschwindigkeit und dem festgestellten Verhalten der verschiedenen Besatzarten gegenüber statischen Drücken kann vermutet werden, daß jedes Besatzmaterial eine optimale Länge besitzt. Wird diese überschritten, dann fällt die Detonationsgeschwindigkeit. Bei geringerer Besatzlänge ist eine unvollständige Ausnützung der Sprengstoffenergie zu erwarten.

Für die bergmännische Schießarbeit ist zu folgern:

Besatz aus Steinsalzbohrmehl kann bis zu einer Länge von 30 cm und Besatz aus Lehm bis zu einer von 50 cm eingebracht werden.

Da bei Zündung vom Bohrlochmund eine Beeinflussung der Detonationsgeschwindigkeit durch den Besatz nicht erwartet werden kann, ist die Zündung vom Bohrlochmund zu empfehlen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer Einführung in die Aufgabenstellung wurde die Detonationstheorie sowie der Einfluß der Detonationsgeschwindigkeit auf die Umsetzung von Sprengstoffen und die Brisanz behandelt.

Es wurden die Methoden zur Messung der Detonationsgeschwindigkeit unter besonderer Berücksichtigung der bei dieser Arbeit angewandten beschrieben. Wegen relativ hoher Streuung der Einzelmeßwerte wurden die Versuche durch eine Vielzahl von Meßwerten erhärtet und in einigen Fällen mit Hilfe der graphischen Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsmethode auf Normalverteilung untersucht.

Die durchgeführten Messungen zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit unter verschiedenen Bedingungen wurden ausführlich erläutert und mit anderen, den einzelnen Versuchsbedingungen entsprechenden Sprengstoffuntersuchungen verglichen.

Für die bergmännische Schießarbeit ergaben sich nachstehende Erkenntnisse:

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Initialladungen wurde gefolgert, daß bei Donarit 1 mit einer brisanten Zündung die Gefahr des Abreißen der Detonation durch Verringerung der Streuung der Detonationsgeschwindigkeit vermindert wird. Eine Erhöhung der Detonationsgeschwindigkeit durch eine stärker brisante Sprengkapsel war nur in unmittelbarer Nähe der Sprengkapsel festzustellen.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronendurchmesser wurde gefolgert, daß die Detonationsgeschwindigkeit von 25-mm-Donarit-1-Patronen bei freiliegenden Ladungen geringer ist als die von 28-mm-Patronen. Bei Einschluß der Ladungen in Stahlrohre zeigte sich eine Abhängigkeit von der Ladedichte. Die Detonationsgeschwindigkeit verringerte sich bei gleichem Bohrlrohrdurchmesser mit kleiner werdendem Patronendurchmesser. Sinkt die Ladedichte unter einen bestimmten Wert, z. B. für 25-mm-Patronen unter 0,4, dann ist eine sichere Detonation nicht mehr gewährleistet.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Patronenlänge wurde gefolgert, daß Patronen größerer Länge die Detonationsgeschwindigkeit und damit die Sprengwirkung erhöhen. Die Handhabung der Hauer, die Patronenstirnverschlüsse bei schweren Schüssen zu entfernen, wäre daher vom sprengtechnischen Standpunkt aus zu vertreten, muß jedoch aus Sicherheitsgründen unbedingt unterbleiben.

Aus diesen Gründen wird die Herstellung längerer Patronen empfohlen, wobei zusätzlich eine Verkürzung der Ladezeit erreicht wird.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses kumulativer Ladungen wurde gefolgert, daß durch diese bei Donarit-1-Patronen keine Erhöhung der Detonationsgeschwindigkeit erzielt wird, obgleich sie typische Stanzwirkungen hervorrufen. Ob dadurch ein Richteffekt erzielt werden kann, müßte durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Bohrlochdurchmessers wurde gefolgert, daß dieser möglichst gering zu wählen ist, um die Detonation mit hoher und wenig streuender Geschwindigkeit fortzuleiten. So ergaben 25-mm-Patronen im 30 mm weiten Bohrloch annähernd die gleiche Detonationsgeschwindigkeit wie 28-mm-Patronen im 38 mm weiten Bohrloch. Bei praktischen Schießversuchen wurde festgestellt, daß bei gleicher Patronenzahl mit 25-mm-Patronen in 32 mm weiten Bohrlöchern gleiche Sprengwirkung erzielt wurde wie bei 28-mm-Patronen in 36 mm weiten Bohrlöchern.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses der Ladesäulenlänge wurde gefolgert, daß diese für Donarit 1 maximal 6,7 m betragen kann. Bei größeren Ladesäulenlängen müssen zusätzliche Sprengkapseln eingeschaltet werden.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses von Hohlräumen wurde gefolgert, daß Chloratit 2 zum Hohlraumschießen besser geeignet ist als Donarit 1, obwohl die unmittelbar hinter Hohlräumen gemessene Umsetzungsgeschwindigkeit der des Schwarzpulvers entspricht. Im Sprengstoff nimmt sie mit der Entfernung vom Hohlraum wieder zu und nähert sich der ursprünglichen Detonationsgeschwindigkeit.

Aus den Messungen zur Bestimmung des Einflusses des Besatzes wurde gefolgert, daß im Bohrloch ein Besatz aus Steinsalzbohrmehl von 50 cm Länge die Detonationsgeschwindigkeit herabsetzt, ein Besatz aus Lehm gleicher Länge jedoch keinen Einfluß auf die Detonationsgeschwindigkeit ausübt. Laborversuche zeigten unterschiedliches Druckaufnahmevermögen und unterschiedliche Kompressibilität verschiedener Besatzarten. Dies ist bei der bergmännischen Schießarbeit zu berücksichtigen, und die Zündung ist bei verdämmten Schüssen vom Bohrlochmund durchzuführen.

LITERATUR

- [1] ARNOLD: Untersuchungen über das Verhalten der Detonationsgeschwindigkeit beim Schießen in verschiedenen Gesteinen. Dissertation, Freiberg 1953.
- [2] ROTH: Verbrennung, Initiierung, Detonation und Explosion. Nobelhefte, März 1954, 2. Heft, 20. Jg., S. 29–46.
- [3] MURAOUR: Poudres et explosifs. Presses Universitaires de France, Paris 1947.
- [4] TAYLOR, I.: Detonation in condensed explosives. Oxford, Clarendon Press, 1952.
- [5] AHRENS: Wirkungen bei der Detonation von Sprengkörpern. Z. f. Sch. u. Sprw. 1943, S. 157–177.
- [6] BECKER: Physikalisches über feste und gasförmige Sprengstoffe. Z. f. techn. Physik 1922, Nr. 5, S. 152–159.
- [7] URBANSKI: Einiges über das Verhalten der Sprengstoffe im Bohrloch. Oberschles. Berg- und Hüttenmännischer Verein, 65. Jg., 1926, Heft 4.
- [8] SCHMIDT: Über die Energie und Arbeitsfähigkeit von Explosivstoffen. Z. f. Sch. u. Sprw. 1935, S. 33.
- [9] MEYER: Explosionswellen und ihr Einfluß auf die Wirkungsweise von Sprengstoffen. Nobelhefte 1933, Heft 1, S. 43.
- [10] BAUSCH: Bohr- und schießtechnische Gesichtspunkte für die Festlegung des wirtschaftlichsten Bohrloch- und Patronendurchmessers. Sprengtechnik 1952, Heft 1, 2.
- [11] HERLIN: Über Brisanz. Z. f. Sch. u. Sprw. 1913.
- [12] RENTSCH: Anwendung neuerer elektronischer Meßmethoden im Bergbau. Nachrichtentechnik, 3. Jg. 1953, Nr. 7, S. 318–320.
- [13] WITTE: Sprengstoffverwendung im Kohlenbergbau. Z. d. Oberschles. Berg- und Hüttenmännischen Vereins 1926, S. 206–223.
- [14] BAUMANN: Messung der Detonationsgeschwindigkeit. Diplom-Arbeit, Freiberg 1953.
- [15] MAYRICH und SORM: Über die Brisanz und ihre Entwicklung. Z. f. Sch. u. Sprw. 1935, S. 295 bis 299, S. 337–341.

- [16] SPACKELER: Vorlesung Bergbaukunde 1951. Bergakademie Freiberg.
- [17] SELLE: Über die Ermittlung der Detonationsgeschwindigkeiten von Sprengstoffen. Z. f. Sch. u. Sprw. 1937, S. 181.
- [18] BEYLING-DREKOPF: Sprengstoffe und Zündmittel. Springer-Verlag, Berlin 1936.
- [19] DAEVES: Rationalisierung durch Großzahlforschung. Verlag Stahl Eisen mbH., Düsseldorf 1952.
- [20] DAEVES und BECKEL: Großzahlforschung und Häufigkeitsanalyse. Weinheim/Bergstraße, Verlag Chemie 1948.
- [21] DAEVES und BECKEL: Auswertung durch Großzahlforschung. Berlin, Verlag Chemie 1944.
- [22] FLEHMIG: Die Auswertung von Meßergebnissen mit Hilfe der Häufigkeitsanalyse. Glückauf 89 (1953), Heft 13/14, S. 310—317.
- [23] DOHMEN: Beispiele für die Anwendung der Häufigkeitsanalyse im Bergbau. Glückauf 89 (1953), Heft 17/18.
- [24] SPACKELER: Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaues. Wilhelm Knapp, Halle/S. 1950.
- [25] Hütte, Bd. 1, 27. Auflage, 1944, S. 191—192.
- [26] MORHENN: Ergebnisse von Sprengstoffversuchen und Betrachtungen über die Detonation von Sprengstoffen in Bohrlöchern in bergbaulichen Betrieben. Nobelhefte 1954, Heft 1, S. 1—23.
- [27] STETTbacher: Spreng- und Schießstoffe. Rascher Verlag, Zürich 1948.
- [28] W. A. ASSONOW: Schießarbeiten (deutsch). Verlag Ugletechisdat 1953.
- [29] ARNOLD: Untersuchungen über den Einfluß des Besatzes. Freiberg, Diplom-Arbeit 1949.
- [30] POHL: Statische Untersuchungen über den Widerstand von Besatzmaterial, Kohle und Erz 1939, S. 364—368.

Anlagen I, XXVII, XXVIII, XXIX

(Die übrigen Anlagen können in der Originalarbeit eingesehen werden, die in der
Bibliothek der Bergakademie aufbewahrt wird)

Ergebnisse der Versuchsreihe

Donarit 1, Freilnit, Originalpatronen 28 mm \varnothing , Kapsel Nr. 8, Holzstäbchenverbindung

Schuß- (Bild) Nr.	Patronenanordnung	Meßsondenabstand (cm)				Detonationsgeschwindigkeit (m / s)			Bemer- kungen
		M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	D ₁	D ₂	D ₃	
S	„K — 8“	10	30	30	30				
1						1240 +	5560 +	1979 +	
2						—	~ 2000 +	~ 2142 +	
3						~ 2142 +	~ 2142 +	~ 2142 +	
4						2233	—	—	
5						1981	2139	2010	
6						2036	2078	1540 +	
7						2397	2385	2412	
8						2132	2128	2265	
9						2048	~ 121	2375	
10						~ 2142 +	~ 2142 +	~ 2142 +	
11						3100	2128	2030	
12						—	2142	—	
13						2692	2167	—	
14						3000	2180	—	
15						—	2030	2220	
16						4640 +	1648 +	2125 +	
17						~ 3530 +	~ 2070 +	—	
18						2610	2088	2040	
19						~ 3160 +	~ 2140 +	~ 2310 +	
20						2728	1776	2300	
21						3308	2165	—	
22						3462	2113	2072	
23						2323	2105	2188	
24						2358	2222	2185	
25						~ 2730 +	~ 2140 +	~ 2140 +	
26						~ 3160 +	~ 2140 +	~ 2220 +	
27						~ 2860 +	~ 2220 +	~ 2220 +	
28						~ 3530 +	~ 2140 +	~ 2310 +	
29						~ 3160 +	~ 2220 +	~ 2220 +	
30						~ 3160 +	~ 2310 +	~ 2140 +	
32						3642	2180 +	—	
33						2430 +	—	—	
34						3268	2295	2355	
82						3120	2378	2382	
83						3245	2245	2140	
84						~ 7500 +	2265	2260	
85						10000 +	2592	2565	
86						4260 +	2456	2720	
87						3955 +	2170	2165	
88						3008	2455	2492	

Erklärung der Symbole:

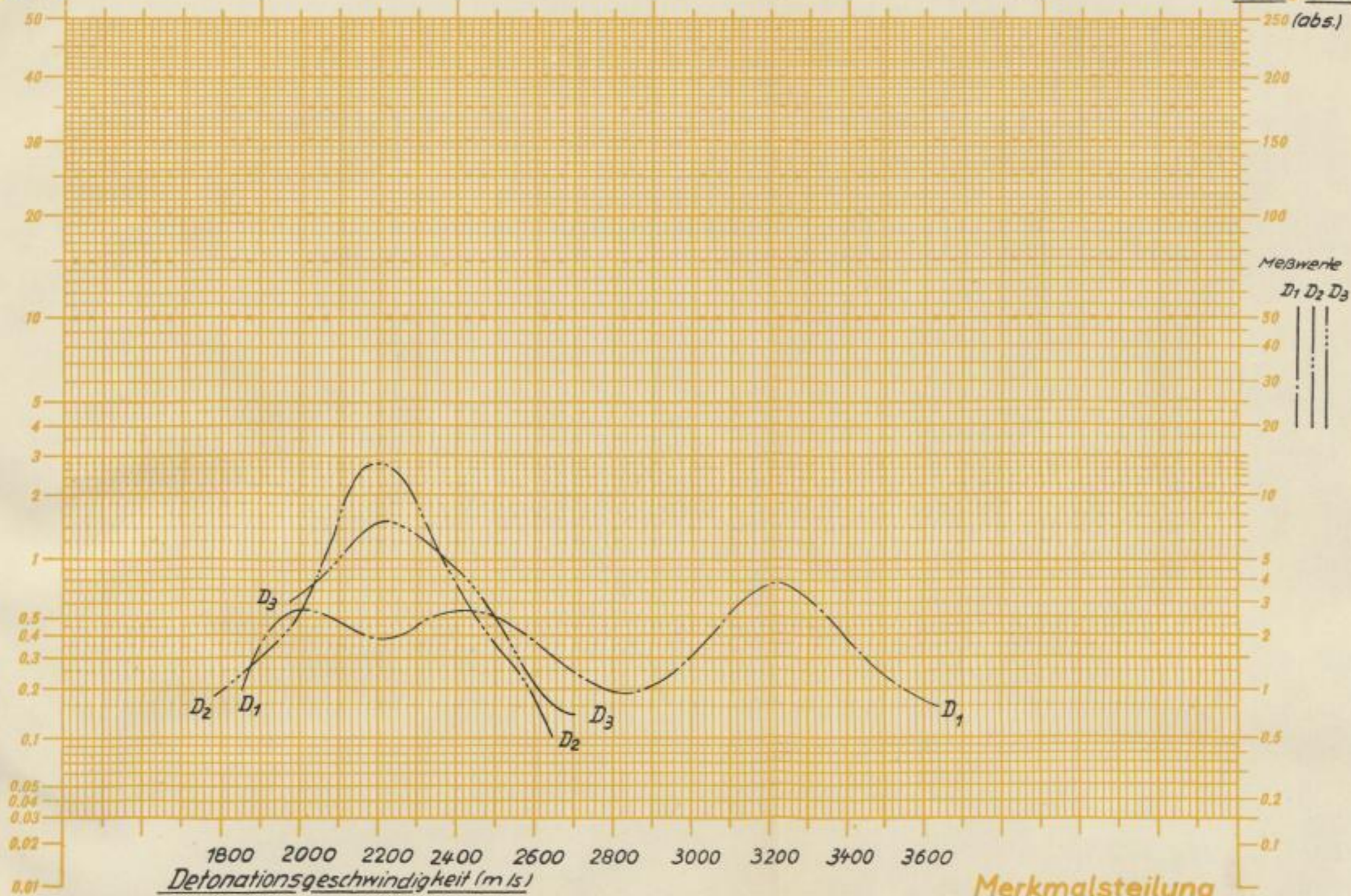
- I = Zahl der Patronen
- S = Schlagpatrone
- K = Sprengkapsel
- „3“ = Zahl der Patronen in der Meßladung
- H = Hohlraumpatrone
- + = Meßergebnis wurde nicht berücksichtigt

54691	52823	43176	Summe
20	24	19	Anzahl der Meßwerte
2734,55	2209,96	2272,4	Mittelwert
2730	2200	2270	
+ 117	+ 34	+ 44	F
+ 525	+ 168	+ 190	f

Häufigkeits%

Anlage Ic

Häufigkeit: f



Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

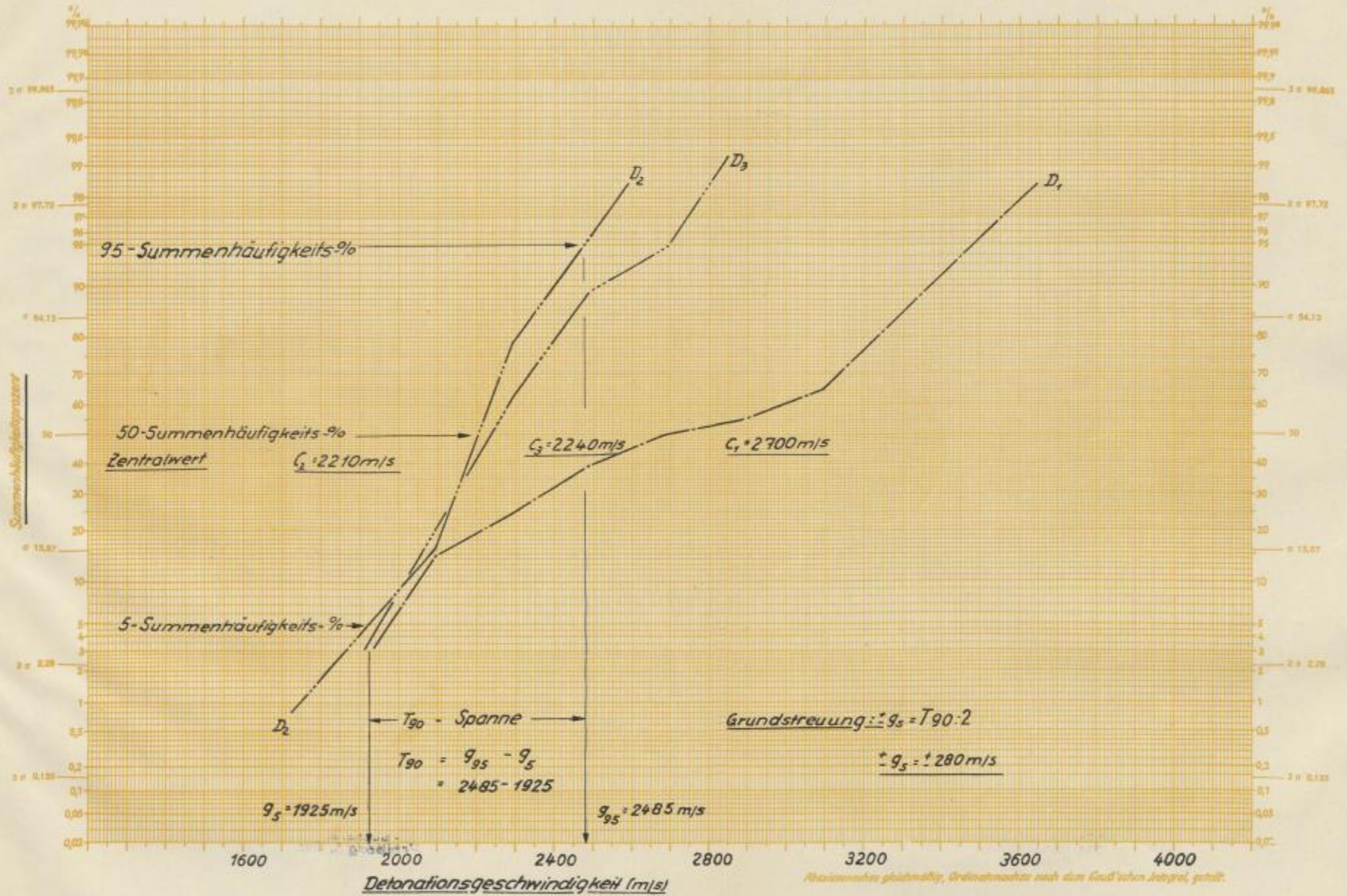


SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG





Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Verteilung der Meßwerte

Klasse: m/s	Klassen- mitte m/s	Ur- ver- teilung	D ₁		D ₂		D ₃				
			%	Σ %	%	Σ %	%	Σ %			
1700—1900	1800	1	—	—	1	4,17	4,17	—	—	—	
1900—2100	2000	10	3	15	3	12,50	16,67	4	21,05	21,05	
2100—2300	2200	25	2	10	15	62,50	79,17	8	42,11	63,16	
2300—2500	2400	12	3	15	4	16,67	95,84	5	26,32	89,48	
2500—2700	2600	4	2	10	1	4,17	100,01	1	5,26	94,74	
2700—2900	2800	2	1	5	—	—	—	1	5,26	100,00	
2900—3100	3000	2	2	10	—	—	—	—	—	—	
3100—3300	3200	4	4	20	—	—	—	—	—	—	
3300—3500	3400	2	2	10	—	—	—	—	—	—	
3500—3700	3600	1	1	5	—	—	—	—	—	—	
Summe:		63	20	100	—	24	100,01	—	19	100,00	—

Sprengstoffanalysen von Donarit 1

	Sprengstoff- nummer	Sprengstoffzusammensetzung (%)				Dichte (g/cm ³)
		Wasser- lösl.	Toluol- lösl.	Rückstand	Wasser- gehalt	
Versuche I, III-VI, XI-IX, XIII-XV	Sonder- mischung 000 405/12	78,4	19,1	2,3	0,2	0,92
Versuche II, VII VIII, XII	Sonder- mischung 000 401/2	78,7	18,6	2,5	0,2	0,90
Versuche XVI	204 844/5 213 488, 91 309 502 310 947	79,9 80,0 — —	17,5 17,5 — —	2,5 2,4 — —	0,1 0,1 — —	0,91 0,90 — —
Versuche XVII ₁ XVII ₂ XVII ₃ XVII ₄	376 973 377 141 377 108 377 096	79,7 79,7 79,7 79,7	17,9 17,9 17,9 17,9	2,3 2,3 2,3 2,3	0,1 0,1 0,1 0,1	0,91 0,91 0,91 0,91
Versuche XVIII-XXV	Sonder- mischung 000 01, 40	79,1	18,6	2,2	0,1	0,92
Normwerte nach Angaben des Sprengstoffwerkes I, Schönebeck		78—80	17—19	2,5—3	0,2—0,4	0,90—1,05

Sprengstoffanalysen von Chloralit 2

Versuch XXVI	17933— 21202	90,0— 90,4	7,7— 8,1	1,5— 2,0	0,2— 0,3	1,15— 1,25
--------------	-----------------	---------------	-------------	-------------	-------------	---------------

Detonationsgeschwindigkeitsmessungen

Anlage XXVIII

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

Vorversuche ohne Gesteinseinschluß

Versuchs-Nr.	Sprengstoff	Einschluß	Patronenart und -größe	Zündung	Herstellungsverfahren (der Meßladung)	Messondenabstand (cm)				Anzahl der Meßwerte			Detonationsgeschwindigkeit (m/s)						Mittlerer Fehler des arithm. Mittels $\pm m/s$			Mittlerer Fehler der Einzelmessungen $\pm m/s$			Versuchs-Nr.
						M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	nD ₁	nD ₂	nD ₃	Arithm. Mittelw.			Zentralwert			F ₁	F ₂	F ₃	f ₁	f ₂	f ₃	
													D ₁	D ₂	D ₃	C ₁	C ₂	C ₃							
I	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	10	30	30	30	20	24	19	2730	2200	2270	2700	2210	2240	117	34	44	5.5	168	190	I
III	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	Pappeinhüllung	10	30	30	30	36	40	35	3570	2380	2450	3510	2350	2390	52	24	26	313	152	154	III
IV	Donarit 1	ohne, Freiluft	Versuchspatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	—	10	30	30	30	12	11	8	3620	2600	2540	3850	2590	2535	155	24	32	538	78	90	IV
V	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing ohne Stirnverschlüsse	Kapsel Nr. 8	Pappeinhüllung	10	30	30	30	31	36	21	3900	2580	2550	3910	2548	2522	68	27	25	383	163	113	V
VI	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Standard-Kapsel	Holzstäbchenverbindung	10	30	30	30	35	29	20	2750	2140	2150	2845	2125	2135	46	18	16	274	95	70	VI
VII	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 25 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8 in Pikrinsäure Vorsatzkörper	Holzstäbchenverbindung	5	25	25	25	31	32	24	2950	1990	1990	2877	2008	1992	58	18	14	325	104	70	VII
VIII	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 25 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8 M ₀ = 230 mm	Holzstäbchenverbindung	23	20	20	20	18	33	31	2500	2010	1920	2470	2005	1940	87	21	22	371	171	121	VIII
IX	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 3	Holzstäbchenverbindung	5	25	25	25	23	22	8	2260	2290	2450	2220	2240	2500	51	47	82	246	222	232	IX
XI	Donarit 1	Stahlrohr 33 mm \varnothing	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	—	20	25	25	25	7	8	4	3400	3000	2900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XI
XII	Donarit 1	Stahlrohr 40 mm \varnothing	Originalpatronen 25 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	—	20	25	25	25	7	7	5	2900	2820	2410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XII
XIII	Donarit 1	Stahlrohr 40 mm \varnothing	Originalpatronen 28 mm \varnothing	Kapsel Nr. 8	—	20	25	25	25	4	5	4	3030	2960	3100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XIII
XIV	Donarit 1	Stahlrohr 40 mm \varnothing	Sprengstoff gestopft	Kapsel Nr. 8	—	20	25	25	25	9	9	8	3200	3520	3490	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XIV
XV	Donarit 1	ohne, Freiluft	Originalpatronen 28 mm \varnothing mit Hohlkörpern	Kapsel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	10	20	20	20	34	34	29	2260	2320	2160	2223	2275	2105	38	34	36	221	200	193	XV

Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Detonationsgeschwindigkeitsmessungen

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

Hauptversuche im Gesteinseinfluß

Versuchs-Nr.	Sprengstoff	Einschluß	Patronenart und -größe	Zündung	Herstellungsverfahren der Metallladung	Hohllochdurchm.	Hohllochlänge	Besatz Patronenaufschüttung	Meßwertensatz				Anzahl der Meßwerte			Detonationsgeschwindigkeit (m/s)			Mittlere Fehler des artikul. Mittels			Mittlere Fehler der Einschleusung			Versuchs-Nr.			
									M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	n ₀	n ₁	n ₂	Zentralwert			F ₁	F ₂	F ₃	f ₁	f ₂	f ₃				
									Artikul. Mittelwert			Mittelwert			C ₁	C ₂	C ₃	F ₁	F ₂	F ₃	f ₁	f ₂	f ₃					
XVI	Donaat 1	Jüng. Steinsalz (Angersdorf/Saale)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	rd. 2,2	mit Bohrerkl. variiert	10	20	20	20	Ergebnisse siehe Anlage XVIa, - XVIc												XVI			
XVII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	8	8	7	2500	2580	2640	Sprengstoff verschiedener Herstellungschargen	244	143	211	191	410	522	XVII		
XVII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	10	12	11	2520	2520	2400		80	72	88	254	249	259	XVII		
XVII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	16	18	17	2250	2000	2220		156	127	217	123	539	828	XVII		
XVII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	11	11	8	2840	2020	2020		189	99	165	226	229	406	XVII		
XVIII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	30	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	43	44	37	2190 ←←← 2000 →→→	2470 →→→	2020 →→→		2053	2005	2053	71	46	56	465	229	242
XIX	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	36	44	24	2560 ←←← 2020 →→→	2640 →→→	2090 →→→	2530	2700	2770	71	74	105	543	401	614	XIX
XX	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	34	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	48	47	24	2790 ←←← 2777 →→→	2840 →→→	2710 →→→	2665	2915	2773	96	81	86	662	585	409	XX
XXI	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz „K - B“	10	20	20	20	12	12	6	2540 ←←← 2773 →→→	2500 →→→	2090 →→→				155	187	190	536	344	465	XXI
XXII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	10	11	8	2600 ←←← 2913 →→→	2820 →→→	2270 →→→				191	274	168	104	910	476	XXII
XXIII	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,5	ohne Besatz S - 10 - „B“	10	20	20	20	23	17	11	2820 ←←← 2800 →→→	2780 →→→	2800 →→→	2870	2620	2000	98	111	189	490	428	627	XXIII
XXIV	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	30	2,0	ohne Besatz S - 3 - „B“	10	20	20	20	26	26	17	2550 ←←← 2786 →→→	2720 →→→	2790 →→→	2628	2780	2780	92	103	198	409	323	817	XXIV
XXV	Donaat 1	Bartsalz (Merkers/Werra)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	36	2,0	mit Lehm S - 3 - „A“	10	20	20	20	28	29	21	2760 ←←← 2730 →→→	2710 →→→	2690 →→→	2780	2800	2870	82	77	109	504	480	600	XXV
XXVI	Chlorat 2	Jüng. Steinsalz (Stollberg)	Originalpatronen 25 mm ∅	Kapuel Nr. 8	Holzstäbchenverbindung	20	rd. 2,0	- S - H - „B“ - S - 4 - „B“ - 3“ - S - 4 - H - 1 - „H“ - 2“ - S - 7 - H - 1 - H - „B“	2 5 8 5	8 5 5 8	8 20 10 10	8 20 10 10	8 2 1 1	8 2 1 1	8 2 — —	500 760 200 350	220 1400 390 480	720 2670								XXVI		

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Günter Seidler
Buchbinder
Freiberg / Sa.
Wappenhausstr. 6



