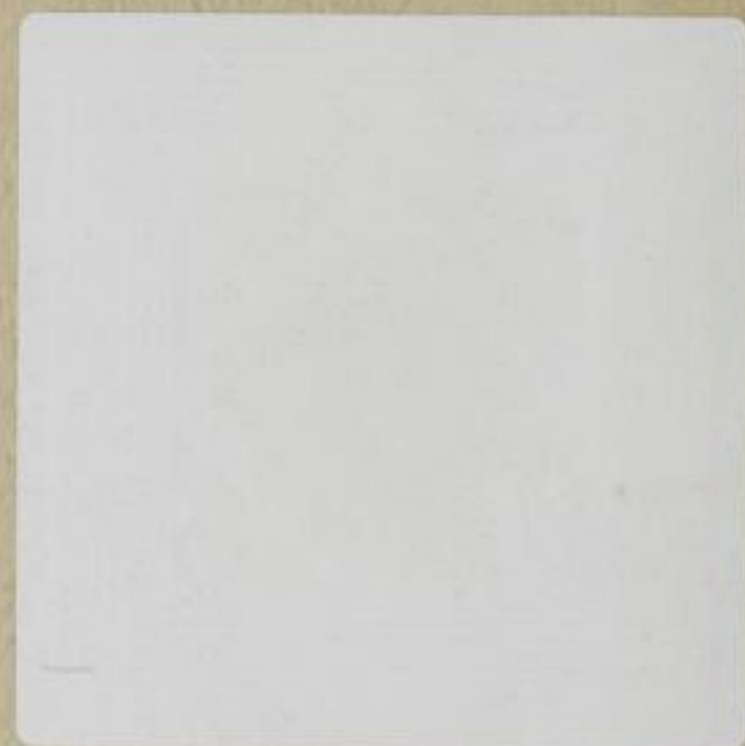


DISSERTATION

H. Pforr

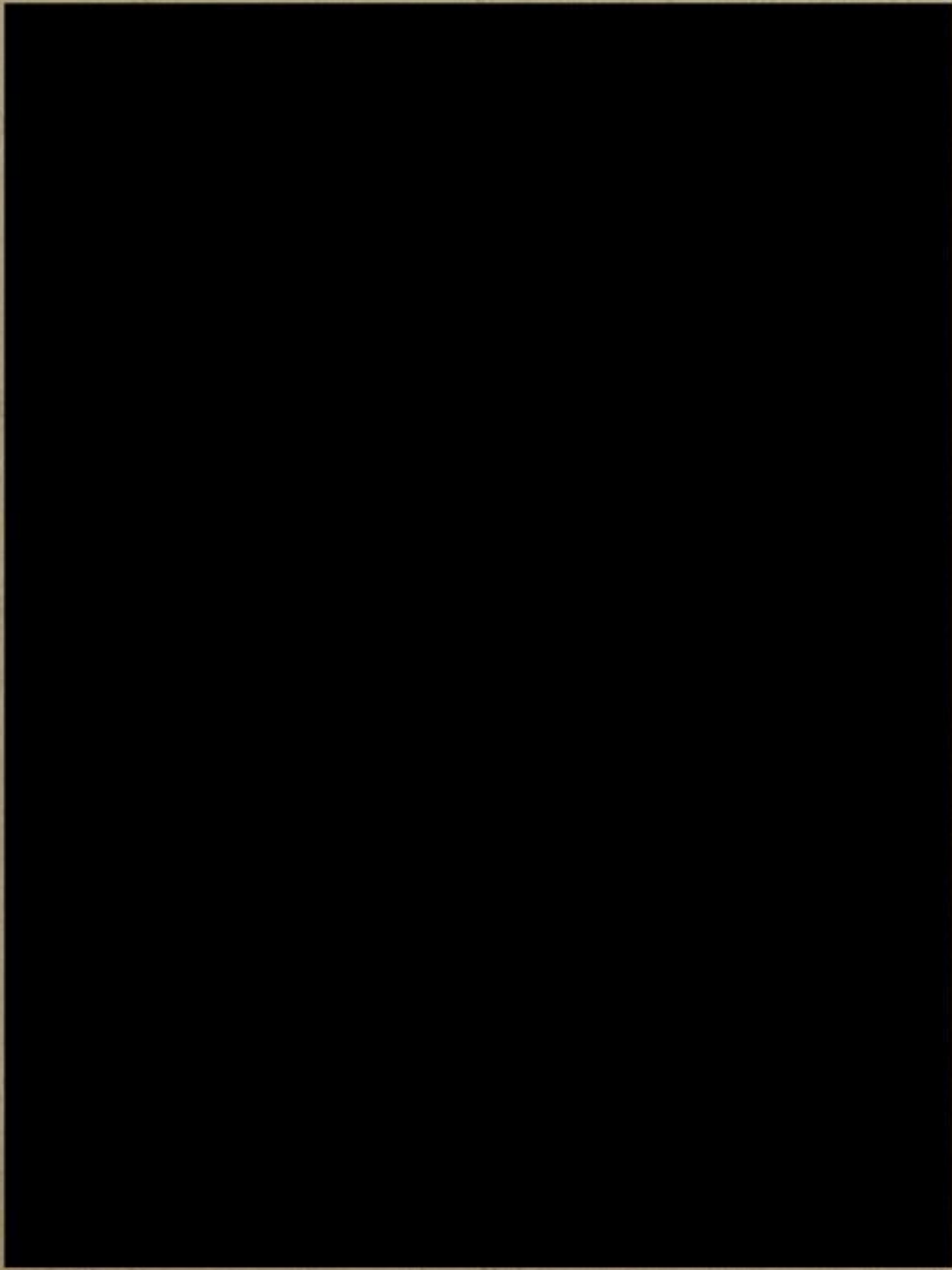
64.888 a 4^o



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



64 . 888 / 14 .



U n t e r s u c h u n g e n z u r G e b i r g s -
s c h l a g g e f ä h r l i c h k e i t v o n
G e s t e i n e n d e s K a l i b e r g b a u s

Von der Fakultät für Bergbau der Bergakademie
Freiberg genehmigte Dissertation zur Erlangung
des Grades eines Doktor-Ingenieurs, eingereicht von

Dipl.-Ing. Herbert Pforr, Freiberg/Sa.

Eingereicht am: 5.11.1963

Mündliche Prüfung am: 6.2.1964

Öffentl. Verteidigung am: 6.2.1964

Referent: Prof. Dr.-Ing. W. Gimm,
Direktor des Instituts für Bergbaukunde
der Bergakademie Freiberg

Korreferent: Prof. Dr.-phil. O. Meißer,
Direktor des Instituts für Angewandte
Geophysik der Bergakademie Freiberg

Bücherei
* Bergakademie *
Freiberg i. Sa.

64.888 a

4°

o

Vorwort

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Untersuchungen wurden auf Anregung von Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Gimm im Auftrage der VVB Kali am Institut für Bergbaukunde der Bergakademie Freiberg durchgeführt.

Infolge des meistens umfangreichen Meßaufwandes konnten die Serienversuche im Labor nicht von einer Person allein durchgeführt werden. Der Verfasser wurde vor allem von den damaligen Studierenden M. Witzel, R. Karl, A. Enderlein und G. Griesche unterstützt, die über Teilergebnisse in Form von Melde- und Diplomarbeiten berichtet haben (Literatur 25 - 28).

Wertvolle Hilfe wurde von einigen Kaliwerken (VEB Kali-kombinat "Werra", Kaliwerke "Deutschland" und Staßfurt) bei der Gesteinsprobenahme und der Anfertigung chemisch-mineralogischer Analysen gewährt. Das Institut für Elasto- und Plastomechanik der Technischen Universität Dresden stellte die moderne Prüfmaschine ZD 40 Mp zur Verfügung. Der VEB Schwingungstechnik und Akustik, Dresden, ermöglichte uns die Ausleihe verschiedener Meßgeräte für seismoakustische Versuche.

Für die erwiesene Unterstützung danke ich allen Beteiligten. Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Gimm, durch dessen ständige Hilfe die Untersuchungen ermöglicht und wesentlich gefördert wurden. Schließlich gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-phil. O. Meißer für die Betreuung des geophysikalischen Teils der Versuche.

Freiberg, November 1963

H. Pforr

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Titelblatt	I
Vorwort	II
Inhaltsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
2. Theorie der Gesteinszerstörung	4
3. Aus der Theorie der Gesteinszerstörung abgeleitete Schlußfolgerungen für die eigenen Versuche	8
4. Einfluß verschiedener Belastungsbedingungen auf das Bruchverhalten von Salzgesteinen anhand von Vorversuchen	11
4.1 Plötzliche Änderung des Belastungscharakters	11
4.2 Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf das Bruchverhalten der Gesteine	12
5. Wahl der Untersuchungsmethoden für die Ermittlung von relativen Kennziffern der Gebirgsschlaggefährlichkeit	20
6. Ermittlung von Kennziffern zur Beurteilung der Gebirgsschlaggefährlichkeit von Gesteinen des Kalibergbaus	24
6.1 Schlaggefährlichkeitsgrade der untersuchten Gesteine	25
6.1.1 Beschreibung der für die Serienversuche angewandten seismoakustischen Methode	25
6.1.1.1 Beschreibung der Meßgeräte und Maschinen	25
6.1.1.2 Meßprinzip	30
6.1.2 Vorversuche zur Eichung der Meßanordnung	32

	Seite	
6.1.2.1	Eichung des Integrierverstärkers	33
6.1.2.2	Ermittlung des Übertragungsmaßes der Tonbänder	34
6.1.2.3	Kontrolle des Stürpegelabstandes	34
6.1.2.4	Kugelfallversuch zur Eichung der Gesamteinrichtung.	36
6.1.3	Auswerteprinzip	38
6.1.4	Serienversuche mit der seismokustischen Methode	44
6.1.4.1	Angaben über Art, Herkunft, Größe, Form und Anzahl der untersuchten Proben	44
6.1.4.2	Versuchsbedingungen	47
6.1.4.3	Ergebnisse (relative freiwerdende Energie und Druckfestigkeit)	48
6.1.5	Auswertung der Versuchsergebnisse	48
6.1.5.1	Einfluß des Schlankheitsgrades bzw. der Endflächenschmierung	49
6.1.5.2	Einfluß der Probengröße	50
6.1.5.3	Einfacher und komplexer Schlaggefährlichkeitsgrad	53
6.2	Bestimmung des elastischen Anteils der Verformung	59
6.2.1	Versuche an Gesteinen des Kalibergbaus und Ergebnisse	60
6.2.2	Auswertung und Vergleich mit Schlaggefährlichkeitsgraden	61
7.	Abschließender Vergleich der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Praxis	64
7.1	Typische Zerstörungen und Bodenerschütterungen bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen	64

	Seite
7.2 Vergleich der Laborergebnisse mit den Zerstörungen in der Praxis und mit bisherigen Hypothesen über Gebirgsschläge	68
8. Mögliche Schlußfolgerungen für die Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr im Kalibergbau	71
8.1 Gebirgsschlaggefährlichkeit verschiedener stratigrafischer Horizonte	71
8.2 Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr beim Kammerbau im Kalibergbau	75
8.3 Hypothese über Ursachen und Mechanismus von Gebirgsschlägen im Kalibergbau	76
9. Zusammenfassung	78
10. Literaturverzeichnis	
11. Bildverzeichnis (zum Bildband)	
12. Tabellenverzeichnis (zum Tabellenband)	

1. Einleitung

Zu Beginn der in dieser Arbeit zu beschreibenden Untersuchungen gab es für die im deutschen Kalibergbau stattgefundenen Gebirgsschläge und Firstzusammenbrüche verschiedene Erklärungsversuche, die sich zum Teil in wesentlichen Punkten widersprechen. Als strittiger Punkt galt vor allem die "schlagende Schicht", die als Energiequelle anzusprechen ist. Man kann diese Meinungen in folgende drei Gruppen unterteilen:

1. Eine biegungssteife, hochelastische Schicht als Haupthangendes biegt sich übermäßig durch und bewirkt durch ihren Bruch eine hammerschlagähnliche Zerstörung der Salzpfeiler des Grubengebäudes. Als solche Schicht wurde entsprechend der Lehrmeinung nach SPACKELER [1] der Hauptanhydrit angesehen, der das Haupthangende des Flözes "Staßfurt" bildet (Bild 1).
2. Dieser Lehrmeinung steht die Ansicht KEGELS [2] entgegen, nach der das jüngere Steinsalz (Bild 1) als "schlagende Schicht" bei den Gebirgsschlägen im Flöz "Staßfurt" gewirkt haben soll.
3. Während SPACKELER und KEGEL die "schlagende Schicht" in einer Hangendschicht suchen, sprechen HÖFER [3] sowie GIMM und PFORR [4] von einer Wechselwirkung zwischen Hangendem und dem Verformungs- bzw. Bruchcharakter der Salzpfeiler. Es wird für möglich gehalten, daß die carnallitisch ausgebildete Salzlagerstätte bzw. die Carnallitpfeiler selbst der Energielieferant bei Gebirgsschlägen ist.

Als am 8.7.1958 in der Kaligrube Merkers der erste schwere Gebirgsschlag im Kalibergbau der DDR auftrat, der nicht wie bisher zum Flöz "Staßfurt" gehörte, stand die Fachwelt noch weitgehend unter dem Einfluß der angeführten Lehrmeinung,

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, appearing as several lines of a paragraph.

Third block of faint, illegible text, continuing the main body of the document.

Fourth block of faint, illegible text, located in the lower half of the page.

Fifth block of faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a conclusion or footer.

nach der es in der Grube Merkers - wie überhaupt im Werrakalirevier - gar nicht zu einem Gebirgsschlag hätte kommen dürfen. Fehlt in den Haupthangendschichten des Werragebietes doch der Hauptanhydrit bzw. eine Schicht, der man ähnliche Eigenschaften zuschreiben könnte!

In Anbetracht der Widersprüche zwischen den Meinungen bezüglich der "schlagenden Schicht" einerseits und den neueren praktischen Erfahrungen im Werragebiet andererseits wurde dem Verfasser die Aufgabe zuteil, die wichtigsten Gesteine des Kalibergbaus bezüglich ihrer prinzipiellen Schlaggefahrlichkeit zu untersuchen und nach Möglichkeit zu klassifizieren.

Es konnte sich bei der Kompliziertheit des Fragenkomplexes selbstverständlich vorerst nur um Laborversuche an Gesteinsproben handeln. Die Untersuchungen sind also als ein erster Beitrag zur Einschätzung der Schlaggefahrlichkeit zu betrachten, der sich grundsätzlich nur auf das Gestein, nicht aber auf den Verband bezieht.

Trotz dieser methodisch bedingten begrenzten Aussagefähigkeit der Laboruntersuchungen waren von vornherein für den Fall des Gelingens der Versuche einige für die Praxis wichtige Ergebnisse zu erwarten, so vor allem:

- a) Eine erste Klassifizierung der Kalilagerstätten der DDR in prinzipiell gebirgsschlaggefahrliche und nicht gefährliche.
- b) Aus dieser Klassifizierung sich ergebende Schlußfolgerungen bezüglich der Abbauverluste (es wird allgemein Kammerbau mit stehenbleibenden Pfeilern angewandt). Solche prinzipiellen Schlußfolgerungen können bereits zu einigen wesentlichen Forderungen führen, die sowohl für die Grubensicherheit als auch für die Wirtschaftlichkeit des Abbaues einer Kalilagerstätte von Bedeutung sein können. So werden die Abbauverluste in solchen Gruben oder Feldesteilen, in denen entsprechend der

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text in the upper middle section.

Third block of faint, illegible text in the middle section.

Fourth block of faint, illegible text in the lower middle section.

Fifth block of faint, illegible text in the lower section.

Klassifizierung der Gesteine lediglich einfache, relativ allmähliche Zusammenbrüche ohne wesentliche Energieabgabe zu erwarten sind, von vornherein niedriger sein können als in Fällen, in denen mit echten Gebirgsschlägen, d.h. plötzlichen Zerstörungen des Grubengebäudes unter Freiwerden beträchtlicher Energiemengen, zu rechnen ist.

In der vorliegenden Arbeit wird über Laboruntersuchungen an Gesteinen des Kalibergbaus berichtet. Untersucht werden Gesteine der Kaliflöze "Staßfurt", "Thüringen" und "Hessen" (verschiedene Carnallitarten und Hartsalz) sowie Hangendgesteine (Hauptanhydrit, Werrasteinsalz und Buntsandstein). Es werden die Erfahrungen von erstmalig für den Zweck der Schlaggefährlichkeitsermittlung von Salzgesteinen eingesetzten Methoden sowie die damit erzielten Ergebnisse mitgeteilt. Vor allem werden ermittelt:

- a) Druckfestigkeit
- b) Zahlenwerte für die Bruchheftigkeit der Gesteine, die mittels einer seismoakustischen Methode ermittelt werden (Schlaggefährlichkeitsgrade)
- c) Elastischer Verformungsanteil (Elastizitätsgrad).

Es wird gezeigt, welche der erprobten Untersuchungsmethoden zur Einschätzung der Schlaggefährlichkeit der Gesteine geeignet erscheinen. In diesem Zusammenhang werden Vergleiche mit makroskopischen und seismischen Beobachtungen bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen durchgeführt, um daraus einige Gesichtspunkte für die praktische Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr im Verband abzuleiten. Bergtechnische gebirgsschlagbegünstigende Faktoren werden dabei nicht berücksichtigt. Sie wurden bereits in einer früheren Arbeit von Gimm und Pforr [4] ausführlich behandelt.

2. Theorie der Gesteinszerstörung

Die Ursachen der bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen beobachteten Zerstörungen des Gesteinsverbandes (Pfeiler oder Firste) sind - genau genommen - unbekannt. Man kann sich eine ungefähre Vorstellung über wesentliche Einflußfaktoren verschaffen, wenn man ein bestimmtes Gestein unter verschiedenen äußeren Bedingungen im Labor untersucht. Dann wird man erkennen können, welche Bedingungen beispielsweise erforderlich sind, um ein Gestein so zu zerstören, wie es nach Gebirgsschlägen oder Zusammenbrüchen in der Regel vorgefunden wird.

Um derartige Vergleiche anstellen zu können, sind einige Erkenntnisse aus der Theorie der Gesteinszerstörung erforderlich, weshalb diese im folgenden in ihren Grundzügen angeführt sei.

Die Theorie der Gesteinszerstörung, auf die hier Bezug genommen wird, wurde im Jahre 1961 von KVAPIL [5] ausführlich begründet.

Danach kann man die natürlichen Zerstörungsformen in drei Gruppen einteilen:

1. Zerstörung durch Zerklüften
2. Zerstörung durch Zersplittern
3. Zerstörung durch Plastizität

Da für Gebirgsschläge Zerstörung durch Zersplittern und für Firstzusammenbrüche Zerstörung durch Zerklüften charakteristisch ist, sollen ausschließlich diese beiden Zerstörungsformen an dieser Stelle behandelt werden. Ausgangspunkt der Betrachtungen über den Mechanismus der Gesteinszerstörung ist die sehr wichtige Erkenntnis, daß man nicht von Gesteinseigenschaften schlechthin sprechen darf, sondern vom Gesteinsverhalten unter bestimmten äußeren Bedingungen. Nur für be-

stimmte Bedingungen sind bestimmte Gesteinseigenschaften gesetzmäßig. Grundsätzlich gilt, sofern man von ein und demselben Gestein ausgeht, daß die Gesteinseigenschaften eine Funktion der äußeren Bedingungen sind.

KVAPIL [5] untersucht die Hauptfaktoren, von denen die mechanischen und physikalischen Gesteinseigenschaften abhängig sind:

- A. Art und Größe der Belastung bzw. Spannung
- B. Geschwindigkeit der Belastungs- bzw. Spannungsänderung (Zeitfaktor)
- C. Einfluß der Strahlungsenergie (z.B. Wärme und γ -Strahlen).

Die Sprödigkeit eines Gesteins ist eine Funktion der genannten Faktoren A - C. Sofern sich die Bedingungen genügend ändern, hört das Gestein auf, spröde zu sein (z.B. Erwärmung eines bei Zimmertemperatur spröden Glaskörpers). Umgekehrt kann durch geeignete Kombination dieser Faktoren auch ein normalerweise nicht spröder Stoff spröde werden. (z.B. Carnallitgestein durch Steigerung der Belastungsgeschwindigkeit).

Die höchste Form des Sprödbruchs ist die Zerstörung durch Zersplittern, die erreicht werden kann durch

- a) hohe Be- oder Entlastungsgeschwindigkeit
- b) Änderung der Belastungsart bzw. des Verformungscharakters (Änderung des Spannungszustandes).

In beiden Fällen wird das Gestein schlagartig in kleine Teilchen mit einem relativ hohen Feinkorn zerstört.

Bild 2 zeigt schematisch den Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit v_b auf den Verformungs- und Zerstörungscharakter. Mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit (steigt in der Reihenfolge der Indizes) nimmt die Neigung zum Zersplittern

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, appearing to be a list or numbered items.

Third block of faint, illegible text, continuing the list or narrative.

Fourth block of faint, illegible text, possibly a sub-section or a specific entry.

Fifth block of faint, illegible text, continuing the list or narrative.

Sixth block of faint, illegible text, possibly a sub-section or a specific entry.

Seventh block of faint, illegible text, continuing the list or narrative.

zu.

Je höher die Belastungsgeschwindigkeit, um so schneller wird beim Überschreiten der Bruchgrenze - die übrigens mit der Belastungsgeschwindigkeit ebenfalls steigt - die akkumulierte potentielle Spannungsenergie in Arbeit umgewandelt. Das heißt, daß Gesteine mit bestimmten petrografischen Eigenschaften bei genügend hoher Belastungsgeschwindigkeit in die Lage versetzt werden, schlagartig zu Bruch zu gehen.

Es gilt hierbei zu beachten, daß dabei nicht die ganze potentielle Energie in Arbeit zur Zerstörung durch Zersplittern umgewandelt wird, sondern stets ein Teil für Begleiterscheinungen verbraucht wird, z.B. Zerstörung durch Zerklüften oder Rückverformung.

Bei Auftreten der extremen Form der Zerstörung durch Zersplittern wird in der Regel auch gleichzeitig die weniger intensive Zerstörung durch Zerklüften beobachtet. Das bedeutet, daß in den weniger zerstörten Gesteinspartien die kritischen Belastungsbedingungen noch nicht erreicht wurden.

Die Gesteinszerstörung durch Zersplittern kann außer durch Erhöhung der Belastungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit der Spannungsänderung) auch durch schnelle Änderung des Spannungszustandes oder durch Kombination beider Bedingungen hervorgerufen werden. In jedem Falle ist das Ergebnis der Zerstörung dasselbe, nämlich intensive Gesteinszerstörung mit teilweiser Pulverisierung.

Der Einfluß der Änderung des Belastungs- bzw. Deformationscharakters auf das Energiespeichervermögen ist

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

in Bild 3 dargestellt. Es wird das Schema eines Ionenkristalls betrachtet, der aus zwei positiven und zwei negativen Ionen besteht. Die symbolischen Belastungsfälle und die ihnen entsprechenden Verformungsgrade sind mit I bis V gekennzeichnet. Die schraffierten Flächen stellen die potentiellen Energiemengen dar, die das Gestein jeweils an der Elastizitätsgrenze zu akkumulieren vermag. Wird der Belastungs- bzw. Spannungszustand zum Beispiel von Symbol I (allseitig gleichmäßige Belastung) in Symbol V verändert (z.B. plötzliche Entlastung in einer Belastungsrichtung), so wird das Speichervermögen an potentieller Spannungsenergie wesentlich kleiner (negative Deformation). Das bedeutet, daß beim Übergang von Symbol I auf Symbol V Energieüberschuß besteht. Gleichzeitig wird bei dieser Änderung (negative Deformation) die Festigkeit kleiner. Es kommt zur Zerstörung durch Zersplittern unter Freigabe von potentieller Energie.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

3. Aus der Theorie der Gesteinszerstörung abgeleitete
Schlußfolgerungen für die eigenen Versuche

Grundlage für Schlußfolgerungen aus der Theorie der Gesteinszerstörung in Hinsicht auf die bevorstehende Aufgabe, die Neigung der Gebirgsschlaggefährlichkeit von Gesteinen zu untersuchen, muß vor allem das in der Praxis beobachtete Zerstörungsbild sein. Unter Hinweis auf Kapitel 7 dieser Arbeit und der ausführlichen Beschreibung der Zerstörungserscheinungen bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen von GIMM und PFORR [4, Kapitel 2] sowie SPACKELER/GIMM/HÜFER/DUCHROW [6] seien hier nur kurz folgende Beobachtungen angeführt:

Der unterschiedlichen Intensität der Zerstörungsvorgänge in Hartsalzgruben und in Carnallitgruben wird durch Einführung von verschiedenen Begriffen Rechnung getragen, nämlich Firstzusammenbrüche und Gebirgsschläge.

- 1) Firstzusammenbrüche ereigneten sich zweimal in der Hartsalzgrube Schierstedt (Flöz Staßfurt). Darunter werden großräumige Zusammenbrüche des Grubengebäudes verstanden, bei denen die Pfeiler sowie die Firste (angebaute Hartsalzbank, Decksteinsalz und Grauer Salzton, vgl. Bild 1) durch Zerklüften zerstört werden. Der Zerstörungsvorgang geht relativ langsam vor sich (Tage bis Monate) und es werden nur geringe Energiemengen frei.
- 2) Im deutschen Kalibergbau haben bisher 8 echte Gebirgsschläge in den Flözen "Staßfurt", "Thüringen" und "Hessen" stattgefunden. Im Gegensatz zu den Firstzusammenbrüchen (Hartsalz) ereigneten sich die Gebirgsschläge stets in carnallitisch ausgebildeten Flözen oder Flözteilen. Stets wurden die Carnallitpfeiler zerstört, wobei der maximale Zerstörungsgrad, nämlich Zerstörung durch Zersplittern, erreicht wurde.

Die Gebirgsschläge unterscheiden sich außerdem durch wesentlich kürzere Zeitdauer und weitaus stärkere Energieabgabe von den Firstzusammenbrüchen.

Die makroskopischen Beobachtungen in den Bruchfeldern von Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen haben folgende Erkenntnisse gebracht:

Durch Zerklüften wurden zerstört:

- a) Hartsalz
- b) Sylvinit
- c) Steinsalz.

Durch Zersplittern wurden zerstört:

- a) Fast reiner Carnallit (weißer Carnallit)
- b) Trümmercarnallit.

Die angeführten Beobachtungen bezüglich des unterschiedlichen Zerstörungsgrades führen zu der Forderung, daß die Laborbedingungen bei den Schlaggefährlichkeitsuntersuchungen so gewählt werden müssen, daß zumindest der Carnallit durch Zersplittern zerstört wird. Nach der beschriebenen Theorie der Gesteinszerstörung können zu diesem Zwecke zwei Wege eingeschlagen werden:

- a) die Belastungsgeschwindigkeit erhöhen oder
- b) den Spannungszustand plötzlich ändern.

Der dritte Faktor, nämlich Einfluß der Strahlungsenergie, speziell der Temperaturerhöhung, wurde vorerst aus den Betrachtungen ausgeschieden, obwohl auch diese Frage besonders für den Carnallit von gewissem Interesse ist. Die bergmännisch interessierende Temperaturspanne liegt bei etwa 20 - 35°C. Im vorliegenden Fall wurde jedoch lediglich bei Zimmertemperatur gearbeitet.

In verschiedenen Vorversuchen bzw. durch Auswertung der Literatur über Druckversuche an Salzgesteinen wurde zunächst überprüft, inwieweit sich die Gesteine des Kaliberg-

baus bei Änderung der angeführten zwei Bedingungen unterschiedlich verhalten.

Es wurden im einzelnen folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Versuche an Carnallit- und Steinsalzwürfeln mit plötzlicher Änderung des Belastungscharakters, d.h. plötzliche Entlastung des vorher allseitig belasteten Probewürfels (entspricht etwa dem Übergang von Symbol I auf Symbol V in Bild 3).
2. Auswertung der Literatur über Druckversuche an Salzgesteinen und eigene Druckversuche bei verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten, im extremen Fall Schlagversuche mittels Freifallgerät.

Über die wesentlichen Ergebnisse dieser Versuche sei im folgenden berichtet.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

4. Einfluß verschiedener Belastungsbedingungen auf das Bruchverhalten von Salzgesteinen anhand von Vorversuchen

Zum Studium des prinzipiellen Einflusses der Änderung äußerer Bedingungen auf den Bruchcharakter verschiedener Gesteine des Kalibergbaus wurden einfache Modellversuche und Druckversuche unter gleichzeitiger Auswertung von entsprechenden Literaturangaben durchgeführt.

4.1 Plötzliche Änderung des Belastungscharakters
=====

Mit einer Modellvorrichtung, die in den Bildern 4 und 5 abgebildet ist, läßt sich ein bestimmter Fall der plötzlichen Änderung des Belastungscharakters nachbilden. Die Bedingungen entsprechen etwa dem Übergang von Symbol I in Symbol V in Bild 3.

Wenn durch diese Spannungszustandsänderung der Überschuß an potentieller Spannungsenergie groß genug ist, wird der ursprünglich allseitig belastete Probewürfel durch Zersplittern zerstört. Ist der Energieüberschuß bei Änderung des Belastungscharakters dagegen nicht groß genug, entsteht lediglich Zerstörung durch Zerklüften bzw. es tritt noch gar keine Zerstörung ein. Die erwähnte plötzliche Änderung des Belastungscharakters wurde im vorliegenden Fall durch plötzliche Beseitigung einer Stahlwand des Stahldrucktopfes erreicht, nachdem die verwendeten Salzprobekörper (Trümmercarnallit aus dem Flöz "Thüringen" und Mittleres Werrasteinsalz) in jedem Falle bis zu einem gleichhohen Betrag unter allseitig gleicher Spannung gehalten worden waren. Die Last auf dem von oben in den Stahldrucktopf eindringenden Stempel betrug jeweils 600 kp/cm^2 .

Das Ergebnis dieser Demonstrationsversuche ist in den Bildern 4 und 5 wiedergegeben. Daraus geht hervor, daß bei den gewählten Bedingungen

- a) nur der Carnallit durch Zersplittern zerstört wird (schlagartige Zerstörung), während
- b) das Steinsalz noch nicht zerstört wird (gilt auch für Hartsalz und Sylvinit).

4.2. Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf
=====

das Bruchverhalten der Gesteine
=====

Zur Orientierung über die Druckfestigkeitswerte einiger wichtiger Gesteine des Kalibergbaus wurden serienmäßig Druckversuche durchgeführt, deren mittlere Ergebnisse in Tabelle 1 angegeben sind. Die Versuchsbedingungen wurden dabei etwa konstant gehalten. Die zylindrischen Proben wurden aus großen, aus dem Flöz gebohrten Gesteinsblöcken oder aus Bohrkernen geologischer Tiefbohrungen durch Dreharbeit hergestellt. Der Schlankheitsgrad (Verhältnis von Höhe zu Durchmesser des Probezylinders) war stets 1,0. Der Durchmesser schwankte zwischen etwa 60 und 100 mm. Die Endflächen waren nicht geschmiert und auch nicht besonders angeraut. Die Belastungsgeschwindigkeit wurde in etwa konstant gehalten (Bereich $5 - 10 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$).

Nach der so ermittelten Druckfestigkeit haben die untersuchten Gesteine folgende Reihenfolge (fallende Tendenz):

1. Anhydrit
2. Steinsalz
3. Hartsalz
4. Sylvinit
5. Carnallit.

Der Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit wurde in gewissen Grenzen untersucht und das in Bild 6 dargestellte Ergebnis erhalten, das sich mit dem im Bild 2 gezeigten Schema prinzipiell deckt. Erwähnenswert ist der steilere Anstieg bei Carnallit.

Die in Bild 6 angegebenen Belastungsgeschwindigkeiten reichten offensichtlich aus, um bei den Gesteinen Anhydrit, Sandstein und Carnallit teilweise Zerstörung durch Zersplittern hervorzurufen. In welchem Maße das Gestein anteilig durch Zersplittern zerstört worden ist, konnte nur nach Augenschein beurteilt werden. Um ein exakteres Maß für den zersplitterten Feinkornanteil zu bekommen, wurden von den zerstörten Proben Siebanalysen angefertigt und die Anteile fünf verschiedener Kornfraktionen ermittelt. Leider waren die Ergebnisse im allgemeinen nicht befriedigend, vermutlich wegen des starken Verwachsungsgrades der Salzgesteine. In Einzelfällen konnte durch Vergleich petrografisch ähnlicher Gesteinsproben ein gewisser Einfluß der Steigerung der Belastungsgeschwindigkeit auf die Neigung zum Zersplittern festgestellt werden. In Bild 7 sind die Kornfraktionsanteile von zwei Steinsalzproben miteinander verglichen, die bei sehr unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten zerstört wurden. Legt man die Grenze zwischen Zerstörung durch Zersplittern bzw. Zerklüften bei 10 mm Korngröße fest, so zeigt sich an diesen Beispielen, daß durch eine Steigerung der Belastungsgeschwindigkeit von etwa 2 auf etwa $150 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ die Neigung zum Zersplittern wächst. Der Anteil der Kornfraktionen $\leq 10 \text{ mm}$ wird dabei um 13 % größer, der Anteil der Fraktion $> 10 \text{ mm}$ verringert sich dagegen um ca. 60 %. Je größer die Belastungsgeschwindigkeit, desto intensiver wird also die Zerstörung!

Diese Erfahrung wurde auch bei Schlagversuchen bestätigt, bei denen die Belastungsgeschwindigkeit im Vergleich zu den unter einer Hydraulik-Pressen durchgeführten Druckversuchen extrem hoch lag (annähernd freier Fall eines Fallgewichtes auf den Probekörper).

Leider erlaubten auch die bei den Schlagversuchen (konstante Fallenergie) durchgeführten Siebanalysen keine allgemeingültigen Aussagen bezüglich unterschiedlicher Neigung verschiedener Gesteine zur Zerstörung durch Zersplittern.

Die Schlagversuche wurden daher mit anderer Zielsetzung weitergeführt. Es wurde die Fallenergie nicht mehr konstant gehalten, sondern solange variiert, bis die kritische Fallenergie ermittelt war. Selbstverständlich wurde jeder Probekörper nur für einen einmaligen Versuch verwendet, auch wenn der kritische Bereich noch nicht erreicht worden war.

Unter "kritischer Fallenergie" wird diejenige Energiemenge verstanden, bei welcher ein Gestein gerade zerstört wird. Daß bei den dynamischen Belastungsbedingungen hierbei die Zerstörung durch Zersplittern erfolgte, ergibt sich aus den bisherigen Ausführungen.

Durch Ermittlung der kritischen Fallenergie sollte überprüft werden, ob bei den untersuchten Gesteinstypen die gleiche Reihenfolge bestehen bleibt wie bei den erwähnten Druckversuchen. Gleichzeitig wurde die während der Schlagbeanspruchung der Probe auftretende Kraft mittels elektrischer Kraftmeßdose gemessen.

Die Art und Herkunft der für die Schlagversuche verwendeten Gesteine ist in Tabelle 2 angegeben. Diese Gesteine wurden zu zylindrischen Platten mit Durchmessern von 130 mm (1. Serie) und 70 mm (2. Serie) sowie einer Plattenstärke von 20 mm bearbeitet und in stählerne Ringe eingepreßt. Die ummantelte Gesteinsplatte wurde, wie in Bild 8 zu erkennen ist, durch zwei gegenüberliegende Stahlbolzen von 25 mm Durchmesser durchstanzt.

Die Ergebnisse der Schlagversuche sind in Bild 9 dargestellt. Die im Moment der Schlagbeanspruchung (gilt für die Nähe des kritischen Bereichs der Fallenergie) gemessene Kraft zeigt in großen Zügen ähnlichen Verlauf wie die kritische Fallenergie E_{krit} , für die zusammenfassend folgende Reihenfolge der Gesteine gilt:

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, continuing the document's content.

Third block of faint, illegible text, appearing as a distinct section.

Fourth block of faint, illegible text, possibly a list or detailed notes.

Fifth block of faint, illegible text, continuing the main body of the document.

Sixth block of faint, illegible text, showing further progression of the text.

Final block of faint, illegible text at the bottom of the page.

	Gestein	E_{krit} (kpm)	Gesteinsgruppen
1	Carnallit	12,0	VIII
2	Hartsalz, Syl- vinit und Steinsalz	40,8	III, IV, V, VI, VII
3	Anhydrit	57,4	II
4	Sandstein	62,2	I

Es kann festgestellt werden, daß die für die kritische Fallenergie ermittelte Reihenfolge der Gesteine sich grundsätzlich mit derjenigen der Druckfestigkeit deckt.

Sehr aufschlußreich für die durchzuführenden Schlaggefahrlichkeitsuntersuchungen waren makroskopische Beobachtungen, die während der Durchführung von Druckversuchen gemacht werden konnten. Sie beziehen sich auf den Bruchcharakter der Gesteine, d.h. auf deren Bruchheftigkeit. Bei bestimmten Belastungsgeschwindigkeiten wurden verschiedene Gesteine mit ausgesprochener Bruchheftigkeit zerstört, d.h. die Proben gingen schlagartig unter Freigabe von Energie zu Bruch. Andere Gesteine zeigten dagegen "sanften" Bruchcharakter und wurden langsam zerstört.

Es konnte auch festgestellt werden, daß die Bruchheftigkeit keine "konstante Eigenschaft" des Gesteins ist, sondern sich erst von einer gewissen Höhe der Belastungsgeschwindigkeit an zeigt. Ein markantes Beispiel hierfür ist der Carnallit.

Aus Literaturangaben (RODATZ [7], SCHMIDT [8], HÖFER und PICKERT [9]) sowie eigenen Beobachtungen bei Druckversuchen läßt sich folgende Einteilung bezüglich der Bruchheftigkeit einiger Gesteine des Kalibergbaus treffen:

Bruchcharakter bei Belastungsgeschwindigkeiten $> 1 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$	
Schlagartiger Bruch	allmählicher Bruch
1. Carnallit	1. Steinsalz
2. Hauptanhydrit	2. Sylvinit
3. Kaipit	3. Hartsalz

Von den Gesteinen mit schlagartigem Bruch ist der Carnallit als Pfeilermaterial von besonderem Interesse. Dieses Gestein wurde früher oft als ungefährliches, nicht sprödes Gestein betrachtet. Diese Meinung beruhte vor allem auf Beobachtungen in Grubenbauen, wo die Carnallitpfeiler sich stärker als Hartsalz- oder Sylvinitpfeiler verformten. Die Hohlräume im Carnallit wuchsen in extremen Fällen förmlich zu. Daß diese Ansicht falsch ist bzw. nur für ganz bestimmte Belastungsbedingungen gilt, hat Schmidt [8] bereits 1943 am Beispiel eines Druckversuchs gezeigt. Dabei wurde ein Probekörper aus fast reinem Carnallit verwendet, bei dem die Belastungsgeschwindigkeit anfangs "langsam" und später "wesentlich schneller" gewählt wurde (genauere Angaben fehlen leider). Insgesamt verformte sich diese Carnallitprobe 1,6 %. Bis zur Erhöhung der Belastungsgeschwindigkeit waren davon bereits 1,3 % erreicht (überwiegend "plastische" Verformung). Die Probe wurde schlagartig zerstört.

Von HÖFER und PICKERT [9] wurden diese Versuche sinngemäß fortgesetzt und erweitert. Sie untersuchten das Verformungs- und Bruchverhalten von Carnallit aus Flöz "Stauffurt" und wählten dazu folgende Bedingungen:

- a) dauerstandsähnliche Belastung (Kriechversuche)
- b) Belastungsgeschwindigkeit $v_b = 2 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$.

Die wesentlichen Ergebnisse in dem hier interessierenden Zusammenhang sind:

1. Bei Kriechversuchen werden die Carnallitproben allmählich und ohne Schlagerscheinungen zerstört.
2. Beim Druckversuch mit $v_b = 2 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ tritt der Bruch plötzlich ein, wobei Teile der Carnallitproben unter knallartigen Geräuschen zwei bis drei Meter von der Prüfmaschine weggeschleudert werden.
3. Im Spannungs-Stauchungsdiagramm zeigen die dauerstandsartig belasteten Proben relativ starke plastische Verformungen (Endverformung 3,3 - 3,6 %), während die mit $v_b = 2 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ beanspruchten Proben nahezu lineares Ansteigen der Verformungskurve aufweisen (Endverformung nur 1,2 %).

Aus den angeführten Beispielen geht Überzeugend der laut Theorie der Gesteinszerstörung zu erwartende starke Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf das Bruchverhalten der Gesteine hervor.

Es gibt den makroskopischen Beobachtungen bei Druckversuchen im Labor und vor allem in Bruchfeldern von Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen nach jedoch offensichtlich Unterschiede im Bruchverhalten verschiedener Gesteine. Diese Unterschiede können folgendermaßen demonstriert werden:

Man darf mit Recht annehmen, daß in einem engbegrenzten Feldesteil benachbarte Pfeiler gleich oder doch ähnlich belastet werden, wenn sich beispielsweise ein Gebirgsschlag in diesem Feldesteil ereignet. Unter vereinfachter Annahme dürfte gelten, daß die durch den Schlag zerstörten Pfeiler im Prinzip entweder mit gleichgroßer Belastungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit der Spannungsänderungen) oder aber durch dieselbe Änderung des Belastungscharakters zerstört wurden. Die Beobachtungen nach Gebirgsschlägen zeigen aber, daß es trotz dieser im wesentlichen gleichartigen Belastungsbedingungen dichtbenachbarte Gesteine gibt, die durch Zersplittern zerstört wurden und solche Gesteine, die nur eine Zerstörung durch Zerklüften aufweisen. Instruktive Beob-

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

achtungen in diesem Sinne konnten in den Bruchfeldern des Gebirgsschlages Merkers vom 8.7.1958 gemacht werden. Das hat vor allem seinen Grund darin, daß bei diesem Schlag zwei übereinanderliegende Flöze mit unterschiedlicher petrographischer und fazieller Ausbildung betroffen wurden. Das untere Flöz "Thüringen" war hier vorwiegend carnallitisch ausgebildet, das obere Flöz "Hessen" hatte dagegen überwiegend Hartsalzausbildung. Grundsätzlich war Carnallit durch Zersplittern, Hartsalz dagegen durch Zerklüften zerstört. Dieses unterschiedliche Bruchverhalten unter praktisch gleichen äußeren Bedingungen konnte noch augenscheinlicher erkannt werden, wenn ein und derselbe Pfeiler aus verschiedenen Gesteinsschichten zusammengesetzt war, z.B. Hartsalz und Carnallit. Das Fazit der makroskopischen Feststellungen in den Gebirgsschlagfeldern Merkers ist in Tabelle 3 angegeben.

Im folgenden ~~sie~~ durch Vergleich der Zerstörungsbilder von Pfeilern einerseits und Druckproben andererseits das erwähnte unterschiedliche Bruchverhalten von Carnallit und Hartsalz nochmals illustriert. Damit soll gleichzeitig bewiesen werden, daß durch genügend große Belastungsgeschwindigkeit (bei konstantem Belastungscharakter) die in der Praxis an Pfeilern beobachteten Zerstörungsbilder prinzipiell im Labor an Druckprobekörpern nachgeahmt werden können. Diese Erkenntnis ist für die Wahl der Versuchsbedingungen bei den später zu behandelnden Schlaggefährlichkeitsuntersuchungen von Bedeutung.

Es wurden zylindrische Proben aus Hartsalz und Carnallit mit Schlankheitsgrad 1,0 bei konstanter Belastungsgeschwindigkeit für jede Gesteinsart von etwa $7 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ zerstört. Bild 10a zeigt eine derartig zerstörte Hartsalzprobe und Bild 10b vergleichsweise dazu einen beim Firstzusammenbruch zerstörten Hartsalzpfeiler.

Eine unter gleichen Bedingungen zerstörte Carnallitprobe ist auf Bild 11a abgebildet. Eine Ansicht eines durch Gebirgsschlag typisch zerstörten Carnallitpfeilers ist als Bild 11b beigelegt.

Der Vergleich innerhalb einer Gesteinsart zeigt, daß die gewählten Laborbedingungen ausreichen, um typische, in der Praxis beobachtete Zerstörungsbilder nachzuahmen. Werden dagegen die beiden Gesteinsarten miteinander verglichen, offenbart sich erneut der unterschiedliche Zerstörungsgrad zwischen Hartsalz (Zerstörung der Zerklüften) und Carnallit (Zerstörung durch Zersplittern).

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

5. Wahl der Untersuchungsmethoden für die Ermittlung von relativen Kennziffern der Gebirgsschlaggefährlichkeit

Aus den vorangegangenen Ausführungen über die Theorie der Gesteinszerstörung, den angeführten Vorversuchen zur Demonstration des Bruchverhaltens einiger Gesteine des Kalibergbaus sowie den Beobachtungen über das Bruchverhalten der Gesteine bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen ergeben sich folgende prinzipielle Möglichkeiten, die Neigung zur Zerstörung durch Zersplittern bzw. die Gebirgsschlaggefährlichkeit im Labor zu untersuchen

- a) durch Vergrößern der Belastungsgeschwindigkeit
- b) durch plötzliche Änderung des Belastungscharakters.

Mit Rücksicht auf eine nicht zu komplizierte Versuchsanordnung hat der Verfasser den erstgenannten Weg gewählt und die Belastungsgeschwindigkeit in den Grenzen von 1 bis $60 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ variiert. Das ist ein Bereich, in dem entsprechend den in Kapitel 4 angegebenen Ergebnissen der Carnallit bereits durch Zersplittern zerstört wird. Die Temperatur wurde mit Zimmertemperatur etwa konstant gehalten.

Es soll versucht werden, mit den vorgesehenen Laborversuchen die Schlaggefährlichkeit der Gesteine zu klassifizieren, d.h. Schlaggefährlichkeitsgrade zu ermitteln, deren Definition im Verlauf der Arbeit noch zu erarbeiten ist.

Für die Wahl der Untersuchungsmethode ist es notwendig, sich über die wichtigsten, die Schlaggefährlichkeit von Gesteinen bestimmenden Faktoren klar zu werden. Dazu gehören:

1. Größe der beim Gesteinsbruch freiwerdenden Energie
2. Verhältnis der freiwerdenden Energiemenge zur Druckfestigkeit der Gesteine
3. Änderung der freiwerdenden Energie bei Änderung der Belastungsgeschwindigkeit oder des Belastungscharakters (Energiezuwachsrate).

Aus dieser Aufzählung ergibt sich die Forderung, durch Laborversuche folgende Größen oder zumindest repräsentative relative Werte dafür zu messen:

- a) freiwerdende Energie (Maß für die Bruchheftigkeit)
- b) Druckfestigkeit
- c) Energiezuwachsrate (bei steigender Belastungsgeschwindigkeit).

Einer prinzipiellen Anregung von DENKHAUS [10] folgend, wurde zur Messung von relativen Werten für die freiwerdende Energie zunächst eine apparativ einfache Methode eingesetzt. Dabei wurde eine bei Druckversuchen gemachte Beobachtung ausgenutzt, wonach Proben mit ausgeprägter Bruchheftigkeit beim Bruch die beweglichen Teile der Prüfmaschine in ruckartige Schwingungen versetzen. Es galt nun, diese Schwingungen zu messen und gleichzeitig zu überprüfen, ob die Spitzenamplituden repräsentative Werte für die Bruchheftigkeit (freiwerdende Energie) darstellen.

Ohne auf definierte Verhältnisse Wert zu legen (z.B. wurde auf die Übersteuerungskontrolle verzichtet), wurden mit einer aus piezoelektrischem Schwingungsaufnehmer KD 2, Tonbandgerät "Smaragd" und Dreischleifenoszillografen bestehenden Apparatur erste Testversuche gefahren. Der Schwingungsaufnehmer war unmittelbar neben der Druckprobe mit Wachs an den beweglichen Pressentisch angekoppelt (normaler Druckversuch). Die Versuche erbrachten den Beweis, daß die verschieden starke Bruchheftigkeit mit diesem seismoakustischen Prinzip meßtechnisch erfaßt werden kann. Darüber hinaus wurde durch entsprechende Messungen an zwei, auf hydraulischem und mechanischen Prinzip arbeitenden Druckprüfmaschinen durch Vergleich der Quadrate der Spitzenamplituden für verschiedene Gesteine der Beweis erbracht, daß die repräsentativen Unterschiede in der Bruchheftigkeit unabhängig vom Prüfmaschinentyp erhalten bleiben.

In Tabelle 4 sind die an einer mechanischen Presse mit "KD 2" und "Smaragd" ermittelten Amplitudenquadrate für

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Sandstein, Anhydrit, Carnallit und Hartsalz angegeben. Während die Werte von bruchheftigen Gesteinen 80 - 100 % erreichen, fällt das Gestein mit sanftem Bruchcharakter (Hartsalz) mit nur 11 % stark ab (Die Prozentangaben beziehen sich auf das Gestein mit der größten Amplitude!). Diese prinzipiellen Unterschiede zwischen den untersuchten Gesteinen wurden auch bei den gleichartigen Messungen an einer hydraulischen Zugdruckprüfmaschine erhalten.

Nach dieser Überprüfung der grundsätzlichen Eignung des seismoakustischen Prinzips war der Weg für die Serienversuche an sich frei.

Es bestanden jedoch noch Bedenken bezüglich der Ermittlung von absoluten Werten für die freiwerdende Energie, deren Kenntnis zweifellos sehr wünschenswert ist. Unter freiwerdender Energie versteht man, wie auch aus den vorangehenden Ausführungen hervorgeht, die gespeicherte potentielle Energie, die im Moment des Bruchs als überschüssig frei wird. Die Energie in diesem Sinne wird aber bei der angewandten Versuchsmethode nicht erfaßt. Durch die Druckplatten, deren Unterlage und die Gesteinsprobe wird im Prinzip das System Hangendes - Pfeiler - Liegendes nachgeahmt. Die gemessene Energie ist als potentielle Energie aufzufassen, die bis kurz vor dem Bruch über die Probe auf den Pressentisch übertragen wird. Beim Probenbruch wird diese durch das Ausschwingen des Pressentisches in kinetische Energie umgewandelt. Die gemessene Schnelle v_f bzw. die daraus ermittelte kinetische Energie, die im folgenden als relative freiwerdende Energie bezeichnet wird, ist jedoch charakteristisch für die Art des Bruchs. Dadurch ist die Berechtigung gegeben, die gemessene Energiegröße als relative Größe stellvertretend für die freiwerdende Energie heranzuziehen.

Hierzu seien im folgenden noch einige Einzelüberlegungen angeführt.

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mostly illegible due to fading and bleed-through.

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mostly illegible due to fading and bleed-through.

Main body of handwritten text on the page. The text is very faint and largely illegible, appearing to be bleed-through from the reverse side. It seems to contain several paragraphs of text.

- 1) Würden alle untersuchten Gesteine durch Zersplittern zerstört werden, müßte die Auslenkung des Pressentisches (bzw. sämtlicher beweglicher Teile der Prüfmaschine) der Druckfestigkeit σ_D proportional sein, d.h. die gemessene Energie müßte σ^2 proportional sein. Das ist aber offensichtlich nicht der Fall, wie die Werte in Tabelle 4 zeigen. Beispielsweise hat Hartsalz mit einer Druckfestigkeit von ca. 300 - 400 kp/cm² eine wesentlich kleinere Auslenkung als Carnallit, der eine Druckfestigkeit von nur etwa 100 - 150 kp/cm² aufweist.
- 2) Bei bestimmter Belastungsgeschwindigkeit gibt es offensichtliche Unterschiede im Bruchverhalten der Gesteine (z.B. wird Carnallit durch Zersplittern, Hartsalz dagegen nur durch Zerklüften zerstört). Beim Zerklüften wird das Gestein allmählich, beim Zersplittern dagegen plötzlich zerstört. Im Gegensatz zum Zersplittern wird beim Zerklüften die Schwingung der Pressenunterlage \pm verhindert. Wird das Gestein im extremen Fall "plastisch" zerstört, geht die Pressenunterlage allmählich in ihre Nullage zurück, wodurch überhaupt kein Ausschlag gemessen werden kann (z.B. bei Steinsalz).

Während der Messungen mit der angeführten seismoakustischen Apparatur wurde aus der Literatur (BITSCH/FEDOTOV [11]) eine auf anderem Prinzip arbeitende Methode zur Ermittlung relativer Werte der Schlaggefährlichkeit bekannt. Als Maß für die Schlaggefährlichkeit gilt der bei bestimmten Bedingungen ermittelte elastische Verformungsanteil (Elastizitätsgrad E^0). Da sich die mitgeteilten Erfahrungen auf Kohlenproben bzw. Kohlenflöze beziehen, wurden derartige Versuche in das eigene Meßprogramm mit aufgenommen, um spezielle Werte für Gesteine des Kalibergbaus zu erhalten, die gleichzeitig zu Vergleichszwecken mit den Ergebnissen der seismoakustischen Methode dienen sollen.

Die Aufgabe der Bergakademie ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen der Bergbaukunst zu erforschen und zu lehren, die Bergbauingenieure zu bilden und die Bergbauverwaltung zu unterstützen.

Die Bergakademie ist eine staatliche Einrichtung, die dem Reichsminister für Bergbau unterstellt ist. Sie hat ihren Sitz in Freiberg i. Sa. Die Aufgaben der Bergakademie sind: 1) die wissenschaftliche Erforschung der Bergbaukunst, 2) die Ausbildung der Bergbauingenieure, 3) die Unterstützung der Bergbauverwaltung.

Die Bergakademie ist eine staatliche Einrichtung, die dem Reichsminister für Bergbau unterstellt ist. Sie hat ihren Sitz in Freiberg i. Sa. Die Aufgaben der Bergakademie sind: 1) die wissenschaftliche Erforschung der Bergbaukunst, 2) die Ausbildung der Bergbauingenieure, 3) die Unterstützung der Bergbauverwaltung.

6.1. Schlaggefährlichkeitsgrade der untersuchten Gesteine =====

Für den Begriff "Schlaggefährlichkeitsgrad von Gesteinen" gibt es bisher keine international anerkannte Definition. Infolge des komplexen Charakters der bei Gebirgsschlägen mitwirkenden Faktoren ist es natürlich auch nicht einfach, eine allgemeingültige Definition zu finden. Die in diesem Abschnitt vom Verfasser vorgelegten Definitionsvorschläge können daher auch nur für die begrenzten und im einzelnen angeführten Laborbedingungen Gültigkeit haben. Daß die gewählten Laborbedingungen ausreichen, um eine prinzipielle Übereinstimmung mit den Zerstörungen in der Praxis zu erzielen, wurde bereits erwähnt.

6.1.1. Beschreibung der für die Serienversuche angewandten seismoakustischen Methode

Unter Anwendung des bereits bei den Vorversuchen beschriebenen seismoakustischen Prinzips (Druckversuch mit Messung der beim Gesteinsbruch auf die Prüfmaschine übertragenen Schwingungen) wurden mit verbessertem Gerätepark unter Anstrengung möglichst gut definierter Verhältnisse die Serienversuche begonnen. Zur Durchführung dieser Versuche konnte die beim Institut für Elasto- und Plastomechanik der TU Dresden stationierte hydraulische Zugdruckprüfmaschine ZD 40 Mp verwendet werden. Verschiedene Geräte, insbesondere ein Meßmagnetbandgerät und ein damals neu entwickelter Integrierverstärker wurden vom VEB Schwingungstechnik und Akustik, Dresden, zur Verfügung gestellt.

6.1.1.1. Beschreibung der Meßgeräte und Maschinen

Auf eine ausführliche Beschreibung der für die seismoakustischen Laborversuche verwendeten Maschinen und Geräte kann im allgemeinen verzichtet werden, da es sich meistens um

Die ...

Die ...

Die ...

...

Die ...

...

Die ...

...

bereits langerprobte und daher gut bekannte Geräte handelt. In Kurzform soll im folgenden versucht werden, für die spezielle Aufgabenstellung wesentliche Eigenschaften der Geräte und Maschinen herauszustellen. Von allen Meßgeräten sind in den Bildern 12 und 13 Ansichten beigelegt. Die Bilder zeigen gleichzeitig die Schaltschemen.

Zugdruckprüfmaschine ZD 40 Mp

Sämtliche Versuche zur Ermittlung relativer Werte für die freiwerdende Energie wurden als einachsige Druckversuche an der Zugdruckprüfmaschine ZD 40-Mp des VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig durchgeführt (Bild 14). Die Prüfmaschine ist mit drei Lastbereichen (0 - 4, 0 - 20 und 0 - 40 Mp) ausgerüstet, die stufenlos regelbar sind.

Ein beachtlicher Vorteil dieser Maschine im Vergleich zu älteren Bauarten ist die eingebaute Konstanthaltevorrichtung, mit der etwa konstante Belastungsgeschwindigkeiten eingehalten werden können. Die Lastanstiegsgeschwindigkeit (kp/s) wird an einer Stellschraube des eingebauten Transformators eingestellt. Leider ist diese Einstellungsmöglichkeit im unteren Bereich relativ ungenau, so daß die niedrigste eingestellte Belastungsgeschwindigkeit im allgemeinen $1 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ nicht überschritt. Die höchste Geschwindigkeit ergab sich mit Rücksicht auf den Querschnitt der größten Proben zu maximal $32 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Größere Geschwindigkeiten wurden mit Handsteuerung und Zeitkontrolle erreicht, jedoch ist diese Methode relativ ungenau.

Da für die Auswertung der Versuche die Masse der beweglichen Teile der Prüfmaschine bekannt sein mußte, wurde diese mit einem geeichten Kraftmeßbügel bestimmt:

$m = 508,4 \text{ kg}$ (Normalbetrieb)

$m' = 525,2 \text{ kg}$ (gilt für alle Versuche mit Verformungsmessung).

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

Faint, illegible section header or title.

First paragraph of faint, illegible text.

Second paragraph of faint, illegible text.

Third paragraph of faint, illegible text.

Fourth paragraph of faint, illegible text.

Fifth paragraph of faint, illegible text.

Schwingungsaufnehmer KD 2

Zur Aufnahme der beim Gesteinsbruch an die beweglichen Teile der Prüfmaschine abgegebenen Schwingungen wurde der in Bild 15 abgebildete und in Bild 16 im schematischen Schnitt dargestellte piezoelektrische Schwingungsaufnehmer KD 2 verwendet. Die Herstellerfirma ist METRA Meß- und Frequenztechnik, Radebeul. Durch Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes können mit diesem Aufnehmer die mechanischen Schwingungen als elektrische Spannungen gemessen werden. Als Wandler dient eine Piezoscheibe (piezoelektrischer Barium-Titanat-Keramik-Dickenschwinger), die zusammen mit einer seismischen Masse in einem resonanzfreien Metallgehäuse untergebracht ist. Die abgegebene elektrische Spannung ist der Kraftwirkung und damit der Beschleunigung a proportional. Für die Auswertung der Messungen wird die Empfindlichkeit B_a des Aufnehmers benötigt, die durch Eichversuch aus dem Verhältnis von Leerlaufspannung U_L zur anliegenden Beschleunigung a gefunden wird:

$$B_a = \frac{U_L}{a} \quad (\text{mV} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2) \quad (1)$$

Die für vorliegende Untersuchungen wichtigen Vorteile des Schwingungsaufnehmers sind (nach ERLER [12]):

- a) Es wird kein fester Gegenpunkt benötigt, so daß der Aufnehmer für die Messungen am beweglichen Pressentisch geeignet ist (vgl. Bild 15).
- b) Der Aufnehmer zeichnet sich durch einen relativ großen Frequenzbereich von 5 - 5000 Hz aus.
- c) Die Eigenresonanz liegt weit über dem Meßfrequenzbereich.
- d) Der Aufnehmer ist in seinem Aufbau einfach und für robusten Betrieb geeignet.

Integrierverstärker IV 1

Der Integrierverstärker IV 1 ist eine Entwicklung des VEB Schwingungstechnik und Akustik, Dresden. Er dient als Anschlußgerät zum Aufnehmer KD 2, um die von ihm abgegebene Beschleunigung a durch einfache Integration in Geschwindigkeit v_f umzuwandeln ($v_f = \int a dt$). Gleichzeitig kann durch die hierbei mögliche Wahl der Verstärkung einer Unter- bzw. Übersteuerung begegnet werden.

Die wichtigsten Teile des Integrierverstärkers sind zwei Integrierstufen, von denen jede aus einem Widerstand und einem Kondensator besteht. Der Aufbau des Gerätes ist in Bild 17 erläutert.

NF- Oszilloskop EO 1/76 Ta

Das Oszilloskop dient zur optischen Direktkontrolle der Aussteuerung (Unter- bzw. Übersteuerung) der Spannung zwischen Integrierverstärker und Bandgerät. Das Gerät wurde vom VEB Technisch-Physikalische Werkstätten, Thalheim/Erzgeb., hergestellt.

Meßmagnetbandgerät M 5 M - Telefunken

Für die Auswertung der Messungen ist es in vieler Hinsicht vorteilhaft, wenn eine Speicherung der Anzeigen möglich ist. Im vorliegenden Fall ist eine Speicherung notwendig, weil es sich um einen sehr schnell ablaufenden und jeweils nicht wiederholbaren Vorgang handelt (Bruch einer Gesteinsprobe, deren Herstellung kostspielig und oft sehr zeitraubend ist).

Das Meßmagnetbandgerät M 5 M von Telefunken bot sich mit verschiedenen Vorteilen (im Vergleich zum handelsüblichen Tonbandgerät "Smaragd") an:

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist eine Darstellung der Geschichte der Bergbauwissenschaften in Deutschland. Sie ist in drei Teile gegliedert: I. Die Anfänge des Bergbaus, II. Die Entwicklung des Bergbaus bis zum 18. Jahrhundert, III. Die Bergbauwissenschaften im 19. Jahrhundert.

Die Anfänge des Bergbaus

Der Bergbau hat eine sehr alte Geschichte. Er ist schon in den ältesten Zeiten bekannt. In Deutschland wurde er zuerst in den Erzgebirgen betrieben. Die ersten Bergbauarbeiten waren die Gewinnung von Kupfer, Eisen und Silber.

Die Entwicklung des Bergbaus bis zum 18. Jahrhundert

In der Zeit von der Renaissance bis zum 18. Jahrhundert erlebte der Bergbau in Deutschland eine bedeutende Entwicklung. Die Gewinnung von Eisen wurde immer wichtiger. Die Erfindung des Schmelzofens ermöglichte die Gewinnung von Roheisen. Die Erfindung des Dampfmaschinen machte den Bergbau noch produktiver.

Die Bergbauwissenschaften im 19. Jahrhundert

Im 19. Jahrhundert wurden die Bergbauwissenschaften als eigenständige Disziplin etabliert. Die Bergbauwissenschaften beschäftigen sich mit der Gewinnung von Mineralen aus der Erde.

- a) Die Aufnahme- und Wiedergabeverstärkung arbeitet amplituden- und phasentreu, wodurch eine Verfälschung der Meßwerte bezüglich Betrag und Phase nicht auftreten kann.
- b) Der Bereich, in dem die Ausgangsspannung U_A der Eingangsspannung U_E proportional ist, ist größer als beim Typ "Smaragd".
- c) Die untere Grenzfrequenz des Übertragungsbereichs liegt wesentlich niedriger als beim Typ "Smaragd".
- d) Der Eingangswiderstand liegt mit 1000 Ohm relativ günstig.
- e) Es kann zweispurig aufgespielt werden.

Meßverstärker M 60

Der Meßverstärker M 60 von METRA Meß- und Frequenztechnik, Radebeul, dient zur Verstärkung der vom Tonband abgegebenen und auf einem Dreischleifenoszillografen aufzuzeichnenden Spannungen. Die in sechs Stufen von je 10 dB einzustellende Verstärkung V_u gilt nur bei Betrieb mit einem Abschlußwiderstand von 600 Ohm.

Die Umrechnung von Dezibel (dB) in dimensionslose Größen erfolgt nach der Beziehung

$$V_u \text{ [dB]} = 20 \lg \frac{U_A}{U_E} \quad (2)$$

Die Umrechnungswerte sind in Tabelle 5 angegeben.

Röhrenvoltmeter MV 1

Das Röhrenvoltmeter MV 1, hergestellt in den Werkstätten für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik Clamann & Grahnert, Dresden, wurde für verschiedene Eichversuche eingesetzt, wo es auf große Genauigkeit der Spannungsmessungen ankam.

1) Die ...
2) Die ...
3) Die ...
4) Die ...

Die ...
Die ...
Die ...

Die ...
Die ...
Die ...

Tonfrequenzgenerator GF 2

Der Tonfrequenzgenerator (Hersteller wie bei Röhrenvoltmeter) diente zum Aufspielen eines Pegeltons auf jedes Tonband zur Ermittlung des Übertragungsmaßes U .

Dreischleifenszillograf

Der vom Meßgerätewerk Zwönitz hergestellte Dreischleifenszillograf mit Universalregler (Grundgerät Typ GG 112 und Einsatzgerät Typ BG-135-56) wurde zur Aufzeichnung der vom Bandgerät abgegebenen Spannungen verwendet. Es wurde bei Herstellung der Oszillogramme mit der Meßschleife MST 5 gearbeitet. Die Zeitmarke wurde mit 50 Hz geschrieben.

Terzfilter TZF

Das dreiteilige Terzfilter des VEB Werk für Fernmeldewesen, Berlin, wurde zur Anfertigung von Frequenzanalysen (Frequenzspektrum der Tonbandregistrierungen) eingesetzt. Dem Gerät kann ein Abschlußwiderstand von 600 Ohm zugeschaltet werden. Die auftretende Dämpfung D muß bei der Eichung des Versuchsystems bzw. bei der Auswertung berücksichtigt werden.

6.1.1.2. Meßprinzip

Bei Beschreibung der einzelnen Geräte geht bereits ein gewisser Zusammenhang über die durchgeführten Messungen hervor. Im folgenden wird das Meßprinzip noch einmal ausführlich geschildert (Bilder 18 und 19).

Zylindrische Gesteinsprobekörper werden unter einer hydraulischen Prüfmaschine zügig bis zum Bruch belastet. Die je nach Gesteinstyp, Probenform, Probengröße, Belastungsgeschwindigkeit und Einspannungsverhältnissen während des Probenbruchs

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Untersuchung über die Entwicklung der ...

Ergebnisse der Untersuchung

Die Untersuchung wurde durchgeführt von ... Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Tabelle zeigt die Entwicklung der ...

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Untersuchung die Entwicklung der ...

Literaturverzeichnis

Die folgenden Quellen wurden bei der Untersuchung herangezogen: ...

an die beweglichen Teile der Prüfmaschine übertragenen Erschütterungen werden mit dem piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmer KD 2 aufgenommen und in elektrische Spannungen umgewandelt. Der Aufnehmer ist mit Spezialwachs unmittelbar neben der Probe an die untere Preßplatte, die zum System der beweglichen Prüfmaschinenteile gehört, angekoppelt. Dadurch werden nur die Schwingungen in Richtung der wirkenden Druckkraft erfaßt. Es werden nur die im Moment des Hauptbruchs der Probe an das bewegliche System abgegebenen Schwingungen gemessen.

Da die Bruchheftigkeit der untersuchten Gesteinstypen sehr unterschiedlich ist, muß durch richtige Wahl der Verstärkung eine entsprechende Anpassung vorgenommen werden. Diese Funktion übernimmt der Integrierverstärker. In Vorversuchen wird die zu erwartende Amplitude für jeden Gesteinstyp festgestellt. Die günstigste Wahl der Verstärkerstufe wird durch Aussteuerungskontrolle überprüft. Dazu dient ein zwischen Aufnehmer und Magnetbandgerät geschaltetes Oszilloskop, auf dessen Bildschirm Kontrollstreifen aufgeklebt sind. Trotz der genannten Vorversuche kam es noch vielfach zu falscher Aussteuerung. Über- oder untersteuerte Proben werden jedoch bei der Auswertung eliminiert.

Ziel der Messungen ist die Ermittlung von Zahlenwerten für die relative freiwerdende Energie. Dazu wird folgende Auswerteformel angewandt:

$$E_f = \frac{1}{2} m v_f^2 \quad (\text{kpm} \cdot 10^{-6}) \quad (3)$$

Darin bedeuten:

- E_f = relative freiwerdende Energie
(beim Probenbruch an das Schwingungssystem
abgegebene kinetische Energie)
- m = bewegliche Masse der Prüfmaschine
ZD 40 Mp = 508,4 kg
- v_f = Geschwindigkeit (Schnelle) von Schwingungen (10^{-3} m/s).

Da die bewegliche Masse der Prüfmaschine durch Messung bekannt ist, bleibt die Geschwindigkeit v_f zu ermitteln. Eingesetzt wird jedoch ein Aufnehmer, der die Beschleunigung a mißt. Die für die Umwandlung von a in v_f notwendige Integration übernimmt der Integrierverstärker.

Die in der beschriebenen Weise aufgenommenen, unter Kontrolle verstärkten und umgewandelten Geschwindigkeitsschwingungen werden dem Meßmagnetbandgerät zugeführt und auf Tonbändern Typ CR Agfa Wolfen bei einer Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s auf der Meßspur gespeichert. Auf jedes Tonband wird an drei bis fünf über die Bandlänge verteilten Stellen ein Pegelton zur Ermittlung des Übertragungsmaßes U aufgespielt.

Die Zeitspur dient zum Besprechen des Tonbandes, wodurch die Übertragung der Aufzeichnungen auf den Oszillografen bzw. überhaupt die Auswertung erleichtert wird.

Das Meßprinzip bei Übertragung der Bandaufzeichnungen auf einen Dreischleifenoszillografen ist in einem Blockschaltbild (Bild 19) veranschaulicht. Die Verstärkung wird am Meßverstärker so geregelt, daß die am Ausgang des Verstärkers anliegende Spannung maximal nur einen solchen Wert erreicht, daß die Empfindlichkeit der Meßschleife MST 5 nicht überschritten wird.¹⁾ Es wird daher mittels Oszilloskop eine Übersteuerungskontrolle vorgenommen. Der dem Meßverstärker vorgeschaltete Parallelwiderstand von 600 Ohm dient zur Imitation der Dämpfung des bei Frequenzanalysen eingesetzten Terzfilters.

6.1.2. Vorversuche zur Eichung der Meßanordnung

Zur Umrechnung der im Oszillogramm ausgemessenen Doppelamplitude l_f (mm) in die laut Formel (2) benötigte Stoßgeschwindigkeit v_f (mm/s) sind verschiedene Faktoren notwendig, die in den im folgenden beschriebenen Vorversuchen ermittelt wurden. Außerdem mußte überprüft werden, ob die durch die Hydraulik verursachten Störschwingungen die Auswertung der Nutzschwin-

1) Dabei wird der 600-Ohm-Ausgang des Meßverstärkers mit einem 600-Ohm-Widerstand (Dekade) an die niederohmige Meßschleife (ca. 5 Ohm) angepaßt.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

3.1.1. Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Frage ist die, ob die
Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die in der Einleitung
angeführten Thesen bestätigen oder nicht. Die Ergebnisse
sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

gungen nicht beeinträchtigen (Kontrolle des Störpegelabstandes).

6.1.2.1 Eichung des Integrierverstärkers

Entsprechend der vom Beschleunigungsaufnehmer KD 2 an den Integrierverstärker abgegebenen Erregergröße a (m/s^2) werden dem Integrierverstärker elektrische Spannungen zugeführt. Durch vorangegangene Eichung des Aufnehmers (einschließlich Anschlußkabel), die bereits beim Herstellerwerk erfolgte, ist garantiert, daß bei einer effektiven Erregergröße von $a = 1 \text{ m/s}^2$ am Ausgang des Integrierverstärkers eine Spannung von $U_{\text{eff}} = 1 \text{ Volt}$ vorhanden ist.

Beim Eichversuch, dessen Schaltung in Bild 20 angegeben ist, wird von der bekannten Empfindlichkeit des Schwingungsaufnehmers von $B_a = 3,82 \text{ mV/m/s}^2$ ausgegangen.

Die am Eingang des Integrierverstärkers angelegte Eichspannung von 10 mV entspricht dann einer mechanischen Beschleunigungsgröße $a_{\text{eich}} = 2,62 \text{ m/s}^2$, wenn die Beziehung gilt

$$a_{\text{eich}} = \frac{U_{\text{eich}}}{B_a} \quad (\text{m/s}^2) \quad (4)$$

Die Eichung ist nur für eine Stellung des Funktionsschalters bei eingeschaltetem Netzanschluß des Magnetbandgerätes erforderlich. Sie wurde für den Bereich $a = 3,2 \text{ m/s}^2$ des Integrierverstärkers durchgeführt. Es ergab sich nach

$$U = \frac{U_{1V} \cdot a_{\text{eich}}}{a\text{-Bereich}} \quad (\text{mV}) \quad (5)$$

eine Spannung von 818 mV , die durch Verstellen der Δv -Schraube eingeregelt werden kann (gilt für die Proben 208 - 478), so daß kein Faktor in die Rechnung eingeht. Für die Proben 1 - 207 wurde der Korrekturfaktor $F = 0,64$ berücksichtigt, da bei dieser Versuchsserie die ΔV -Schraube nicht verstellt wurde.

... des ...

... ..

... ..

... ..

$$(A) \quad \frac{v^2}{a} = \dots$$

... ..

$$(B) \quad \frac{v^2}{a} = \dots$$

... ..

6.1.2.2 Ermittlung des Übertragungsmaßes der Tonbänder

Das Übertragungsmaß \bar{U} der Tonbänder ist definiert als das Verhältnis der abgegebenen Spannung U_A zur aufgegebenen Spannung U_E nach der Beziehung

$$\bar{U} = \frac{U_A}{U_E} \quad (6)$$

Es war eine über die Bandlänge verteilte wiederholte Bestimmung des Übertragungsmaßes notwendig, weil die verwendeten Bänder ihre Empfindlichkeit über die Bandlänge ändern.

Zur Bestimmung des Übertragungsmaßes wurde mit Hilfe eines RC-Generators ein Pegelton von 1000 Hz und 400 mV auf das Band aufgespielt. Die Spannung wurde mit einem Röhrenvoltmeter gemessen und gleichzeitig am Oszilloskopschirm sichtbar gemacht. Das Schaltschema ist in Bild 21 beigelegt. Die mittleren Ergebnisse für die ermittelten Übertragungsmaße sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Je nachdem, ob der Eingangswiderstand des Terzfilters (600 Ohm) mit eingeeicht wurde oder nicht, ist bei der Auswertung die Dämpfung D zu berücksichtigen (für Proben 1 = 207 ist $D = 2,1$) oder entfällt (Proben 208 - 478).

6.1.2.3 Kontrolle des Störpegelabstandes

Vor Beginn der Serienversuche war es erforderlich, die Störschwingungen der verwendeten hydraulischen Prüfmaschine ZD 40 näher zu untersuchen, um insbesondere festzustellen, ob die Nutzschwingungen durch die Störschwingungen nicht beeinträchtigt werden. Zu diesem Zwecke wurden untersucht:

2.1.2.3. Verhalten des Festkörpers bei Temperaturerhöhung

Das Verhalten des Festkörpers bei Temperaturerhöhung ist durch die Änderung der Gitterkonstanten a und die Ausdehnungskoeffizienten α beschrieben.

(4)

$$\alpha = \frac{1}{a} \frac{da}{dT}$$

Es wird über die Gitterkonstante a und die Ausdehnungskoeffizienten α die Abhängigkeit von der Temperatur T angegeben. Die Gitterkonstante a ist die mittlere Gitterkonstante der Kristalle. Die Ausdehnungskoeffizienten α sind die mittlere Ausdehnungskoeffizienten der Kristalle. Die Gitterkonstante a ist die mittlere Gitterkonstante der Kristalle. Die Ausdehnungskoeffizienten α sind die mittlere Ausdehnungskoeffizienten der Kristalle.

Es besteht, je nach Kristallstruktur, ein Zusammenhang zwischen der Gitterkonstante a und der Ausdehnungskoeffizienten α . Die Gitterkonstante a ist die mittlere Gitterkonstante der Kristalle. Die Ausdehnungskoeffizienten α sind die mittlere Ausdehnungskoeffizienten der Kristalle.

2.1.2.4. Verhalten des Festkörpers bei Temperaturerhöhung

Die Gitterkonstante a ist die mittlere Gitterkonstante der Kristalle. Die Ausdehnungskoeffizienten α sind die mittlere Ausdehnungskoeffizienten der Kristalle. Die Gitterkonstante a ist die mittlere Gitterkonstante der Kristalle. Die Ausdehnungskoeffizienten α sind die mittlere Ausdehnungskoeffizienten der Kristalle.

- a) Einfluß der Drucklast in den Grenzen von 0 bis 20 Mp auf die Größe der Störamplituden
- b) Abstand zwischen Störpegel und Nutzschnwingungen durch Frequenzanalysen

Zur Überprüfung des Einflusses der Drucklast auf die Größe der Störamplituden wurde ein Metallprobekörper bei 0, 1, 2, 5, 10, 15 und 20 Mp Belastung untersucht. Die vergleichbaren Oszillogramme sind in Bild 22 dargestellt. Dabei wurde das bereits für Gesteinsprobekörper angewandte Meßprinzip angewandt, jedoch wurde der Metallprobekörper nicht zerstört.

Erfreulicherweise geht aus diesen Versuchen hervor, daß ab etwa 3 Mp die Größe der Störamplituden ungefähr konstant bleibt. Da die Bruchlast der zu untersuchenden Gesteinsproben infolge genügend groß gewähltem Durchmesser im allgemeinen über dieser Grenze liegt, dürfte eine Beeinträchtigung der Nutzschnwingungen nicht erfolgen.

Zur weiteren Überprüfung dieser Feststellung wurden Frequenzanalysen an mehreren Probekörpern aus Trümmercarnallit, Hauptanhydrit und Buntsandstein einerseits und der Störschnwingungen der Prüfmaschine bei konstanter Last von 5 Mp angefertigt.

Das Schaltschema für die Frequenzanalyse mit den zur Verfügung stehenden Geräten geht aus Bild 23 hervor.

Der mit dem Terzfilter meßbare Gesamtfrequenzbereich lag bei 8 - 3200 Hz. Durch das verwendete Meßmagnetbandgerät bedingt, brauchte das Frequenzspektrum erst ab etwa 20 Hz bestimmt zu werden.

Die Auswertung der bei den Frequenzanalysen für bestimmte mittlere Frequenzbereiche hergestellten Oszillogramme erfolgte nach dem noch zu beschreibenden Auswertepprinzip für die Serienversuche an Gesteinsproben.

Aus dem im Bild 24 dargestellten Ergebnis geht ein genügend großer Abstand von Stör- und Nutzschnwingungen hervor. Oberhalb 1000 Hz zeigten die Nutzschnwingungen (Gesteinsproben) keine

meßbaren Frequenzanteile. Ein sehr beachtlicher Anteil der Schwingungen liegt in Frequenzbereichen unter 100 Hz, welche bei evtl. Verwendung des Tonbandgerätes "Smaragd" verloren gegangen wären.

6.1.2.4 Kugelfallversuch zur Eichung der Gesamteinrichtung

Wie in Kapitel 5 bereits näher erläutert, ist die zu messende relative freiwerdende Energie als potentielle Energie aufzufassen, die über die Probe auf das Schwingungssystem der Prüfmaschine übergeht und beim Probenbruch in kinetische Energie umgewandelt wird.

Gewissermaßen als Ersatz für diese normalerweise bei den Gesteinsversuchen gemessene Energie wurde bei Kugelfallversuchen eine vorher jeweils genau bekannte Fallenergie auf das Schwingungssystem gegeben, um festzustellen, wieviel Prozent der hineingesteckten Energie mit der seismoakustischen Apparatur tatsächlich gemessen werden können (Feststellung des Wirkungsgrades). Das Problem der praktischen Durchführung eines solchen Eichversuchs bestand darin, eine definierte Energie aufzugeben, welche die bewegliche Masse der hydraulischen Prüfmaschine in ähnlicher Art wie bei den Gesteinen in Schwingungen versetzt. Mit den durchgeführten Freifallversuchen mit Stahlkugeln, die aus bekannter Höhe auf den Pressentisch auftrafen, wurde diese Forderung sicherlich nur zum Teil erfüllt.

Unter Vernachlässigung der unbedeutenden Formänderungsarbeit gilt:

$$E_{\text{Fall}} = G_K (h_K - h_R), \quad (7)$$

wobei

- G_K = Gewicht der Kugel (p)
- E_{Fall} = Aufgewendete Fallenergie ($\text{kpm} \cdot 10^{-3}$)
- h_K = Fallhöhe der Kugel (mm)
- h_R = Rückprallhöhe der Kugel (mm).

bedeutet Transparenz. Die gesamte Arbeit
der Kommission liegt in Verantwortung der
Kommission. Die Verantwortung der Kommission
wird nicht auf andere übertragen werden.

2.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse
Die Ergebnisse der Untersuchung sind in
den folgenden Punkten zusammengefasst:
1. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
2. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in
den folgenden Punkten zusammengefasst:
1. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
2. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
3. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
4. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
5. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in
den folgenden Punkten zusammengefasst:
1. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
2. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
3. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
4. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.
5. Die Ergebnisse der Untersuchung sind
in der folgenden Tabelle dargestellt.

Für die Versuche wurden Stahlkugeln mit unterschiedlichem Gewicht verwendet. Mit jeder Kugel wurden mehrere Wiederholungsmessungen gemacht. Die Rückprallhöhe konnte durch einfache Beobachtung nicht hinreichend genau festgestellt werden. Als Hilfsmittel zur genaueren Bestimmung der Rückprallhöhe eignete sich die fotografische Aufnahme. Bild 25 zeigt ein Beispiel; der hierauf zu erkennende Umkehrpunkt der Kugel war bei der Auswertung der Filme stets eindeutig feststellbar. Im folgenden sind die beim Kugelfallversuch gemessenen und errechneten mittleren Werte zusammengefaßt angegeben:

G_K	h_R	h_K	E_{Fall}	E_f	$\frac{E_f}{E_{Fall}} \cdot 100$
p	mm	mm	kpm $\cdot 10^{-3}$	kpm $\cdot 10^{-3}$	%
128,3	29,9	234	0,383	0,204	53
66,6	33,4	234	0,222	0,133	60

Ein Vergleich der aufgewendeten Fallenergie E_{Fall} mit der tatsächlich gemessenen freiwerdenden Energie E_f zeigt, daß die gemessene Energie nur etwas mehr als die Hälfte der aufgewendeten Energie beträgt. Man kann also feststellen, daß mehr als 40 % der an die hydraulische Presse gegebenen Energie unterwegs, d.h. vor allem im Hydrauliksystem verlorengehen und in der Messung mittels seismoakustischer Apparatur nicht erscheinen. Ein gewisser Fehler kann natürlich trotz aller Bemühungen um geeignete Korrekturfaktoren auch die verwendete Meßapparatur hervorrufen.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen an
 verschiedenen Stellen. Die Werte sind in Prozent angegeben.
 Die Spaltenüberschriften sind: $\frac{d}{D}$, $\frac{h}{D}$, $\frac{r}{D}$, $\frac{p}{D}$, $\frac{q}{D}$, $\frac{s}{D}$, $\frac{t}{D}$, $\frac{u}{D}$, $\frac{v}{D}$, $\frac{w}{D}$, $\frac{x}{D}$, $\frac{y}{D}$, $\frac{z}{D}$.
 Die Zeilenüberschriften sind: $\frac{a}{D}$, $\frac{b}{D}$, $\frac{c}{D}$, $\frac{d}{D}$, $\frac{e}{D}$, $\frac{f}{D}$, $\frac{g}{D}$, $\frac{h}{D}$, $\frac{i}{D}$, $\frac{j}{D}$, $\frac{k}{D}$, $\frac{l}{D}$, $\frac{m}{D}$, $\frac{n}{D}$, $\frac{o}{D}$, $\frac{p}{D}$, $\frac{q}{D}$, $\frac{r}{D}$, $\frac{s}{D}$, $\frac{t}{D}$, $\frac{u}{D}$, $\frac{v}{D}$, $\frac{w}{D}$, $\frac{x}{D}$, $\frac{y}{D}$, $\frac{z}{D}$.

$\frac{d}{D}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{r}{D}$	$\frac{p}{D}$	$\frac{q}{D}$	$\frac{s}{D}$	$\frac{t}{D}$	$\frac{u}{D}$	$\frac{v}{D}$	$\frac{w}{D}$	$\frac{x}{D}$	$\frac{y}{D}$	$\frac{z}{D}$
0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen an
 verschiedenen Stellen. Die Werte sind in Prozent angegeben.
 Die Spaltenüberschriften sind: $\frac{d}{D}$, $\frac{h}{D}$, $\frac{r}{D}$, $\frac{p}{D}$, $\frac{q}{D}$, $\frac{s}{D}$, $\frac{t}{D}$, $\frac{u}{D}$, $\frac{v}{D}$, $\frac{w}{D}$, $\frac{x}{D}$, $\frac{y}{D}$, $\frac{z}{D}$.
 Die Zeilenüberschriften sind: $\frac{a}{D}$, $\frac{b}{D}$, $\frac{c}{D}$, $\frac{d}{D}$, $\frac{e}{D}$, $\frac{f}{D}$, $\frac{g}{D}$, $\frac{h}{D}$, $\frac{i}{D}$, $\frac{j}{D}$, $\frac{k}{D}$, $\frac{l}{D}$, $\frac{m}{D}$, $\frac{n}{D}$, $\frac{o}{D}$, $\frac{p}{D}$, $\frac{q}{D}$, $\frac{r}{D}$, $\frac{s}{D}$, $\frac{t}{D}$, $\frac{u}{D}$, $\frac{v}{D}$, $\frac{w}{D}$, $\frac{x}{D}$, $\frac{y}{D}$, $\frac{z}{D}$.

6.1.3 Auswerteprinzip

Zur Ermittlung der relativen freiwerdenden Energie E_f (Formel 3) ist die Stoßgeschwindigkeit v_f auf der Grundlage der in den Oszillogrammen ausgemessenen 1. Doppelamplitude zu errechnen. Dazu wird eine Auswerteformel verwendet, deren Herkunft im folgenden an Hand von Bild 26 erläutert sei. Dabei kann auf dem bereits dargelegten Meßprinzip aufgebaut werden.

Am Ausgang des Integrierverstärkers wird eine Spannung gemessen, die mit U_3 bezeichnet sei und gleich 1 Volt ist. Das wird durch Eichung des Integrierverstärkers erreicht, an dessen Eingang eine Beschleunigung $a = 1 \text{ m/s}^2$ bzw. eine Geschwindigkeit von 1 m/s wirkt.

Die bei der Eichbeschleunigung a_{eich} eingestellte Eichspannung ist dabei

$$U_{\text{eich}} = 1 \text{ V} \frac{a_{\text{eich}}}{a\text{-Bereich}} \quad (8)$$

Die gesuchte Geschwindigkeit v_f ergibt sich zu

$$v_f = \frac{U_3}{1 \text{ V}} \cdot v\text{-Bereich}$$

Da $U_3 = \frac{U_2}{U}$ und $U_2 = \frac{U_1}{v_u}$ und $U_1 = \frac{l_f}{E_{\text{MST}}}$, gilt:

$$v_f = \frac{v\text{-Bereich}}{1 \text{ V}} \cdot \frac{U_2}{U} = \frac{v\text{-Bereich}}{1 \text{ V}} \cdot \frac{U_1}{U \cdot v_u}$$

$$v_f = \frac{v\text{-Bereich}}{1 \text{ (Volt)}} \cdot \frac{\sqrt{2} l_f}{U \cdot V_u \cdot E_{MST}} \quad (\text{mm/s}) \quad (9)$$

Für den Fall, daß die Dämpfung D und der Korrekturfaktor F zu berücksichtigen sind (Proben 1 - 207), ergibt sich die Schreibweise der Formel (9) zu

$$v_f = \frac{D \cdot \sqrt{2} l_f \cdot v\text{-Bereich}}{1 \text{ Volt} \cdot U \cdot V_u \cdot F \cdot E_{MST}} \quad (\text{mm/s}) \quad (10)$$

in den Formeln (9) und (10) bedeuten:

- v_f = Geschwindigkeit (mm/s)
 $v\text{-Bereich}$ = am Integrierverstärker eingestellter Geschwindigkeitsbereich (mm/s)
 l_f = 1. Doppelamplitude (mm), ausgemessen im Oszillogramm
 U = Mittleres Übertragungsmaß des jeweiligen Tonbandes
 V_u = Verstärkung des Meßverstärkers beim Überspielen der Tonbandspeicherungen auf Oszillograf
 E_{MST} = Empfindlichkeit der Meßschleife MST 5 (mm/Volt)
 D = Konstante Dämpfung des Terzfilters
 F = Korrekturfaktor (bei Proben 1 - 207)

Beispiele für die ermittelten Oszillogramme sind in Bild 27 wiedergegeben:

- a) Grauer Carnallit, Teutschenthal (27a)
- b) Trümmerncarnallit, Marx-Engels (27b, c, d)
- c) Hartsalz und Steinsalz (27e)
- d) Anhydrit (27 f)

$$\frac{v \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{v}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7). Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

$$\frac{v \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{v}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

Die Formel (9) ist die Umkehrung von der Formel (8) und die Formel (10) ist die Umkehrung von der Formel (7).

- e) Anhydrit mit Schmierung der Endflächen (27 g)
- f) Sandstein (27g)
- g) Plexiglas (27 f)
- h) Kugelfallversuch (27 f)

In Bild 27 a ist die 1. Doppelamplitude l_f eingetragen. In die Formel (9) bzw. (10) wird jedoch die einfache Amplitude eingesetzt. Daß gerade der 1. Maximalausschlag und nicht etwa der effektive Wert der Schwingungen die Grundlage für die Ermittlung relativer Werte für die Freiwerdende Energie gewählt wurde, ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

1. Der 1. Maximalausschlag charakterisiert am besten die Schlagartigkeit des Gesteinsbruchs, die bei Gebirgsschlägen typisch ist.
2. Ein bei verschiedenen Gesteinsgruppen angestellter Vergleich zwischen l_f und l_{eff} ergab, daß sich diese Werte im Wesentlichen durch einen konstanten Wert unterscheiden. In den Wert für die effektive Doppelamplitude geht lediglich die Dämpfung der Schwingung mit ein.

Die mittlere Doppelamplitude l_{eff} wurde ermittelt nach

$$l_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^{2T} l^2 dt} \quad (\text{mm}) \quad (11)$$

Darin bedeuten:

T = Zeitdauer für eine Periode

2T = tatsächlich ausgewertete Zeitdauer

(nach dieser Zeit waren Nuttschwingungen von Störschwingungen kaum zu unterscheiden)

l = Doppelamplitude.

- a) Abbildung des Schmelzpunktes (S) (10)
- b) Schmelzpunkt (S) (10)
- c) Schmelzpunkt (S) (10)
- d) Schmelzpunkt (S) (10)

In dem 17. und 18. Jahrhundert wurde die Schmelzpunktbestimmung als eine der wichtigsten Aufgaben der Naturwissenschaft angesehen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen.

Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen.

Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen.

$$S = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)}$$

Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen. Die Schmelzpunktbestimmung ist eine wichtige Methode zur Identifizierung von Substanzen.

Die Ermittlung der mittleren Amplitude ist sehr zeitraubend. Sie wäre außerdem auch nur sinnvoll, wenn die tatsächlich ausgewertete Zeitdauer wesentlich größer als die Zeitdauer für eine Periode wäre. Wegen der Störschwingungen konnte letztere aber nur doppelt so groß gewählt werden. Diese Überlegung wird durch einige durchgeführte Vergleiche unterstützt, wonach das Verhältnis von v_f zu v_{eff} stets etwa 3,5 - 4 betrug, also im wesentlichen konstant blieb.

Die nach dem beschriebenen Prinzip auf der Grundlage der 1. Doppelamplitude ermittelte relative freiwerdende Energie E_f wird verschiedentlich auf das Volumen V der Probekörper bezogen, da die Probengröße nicht immer ganz einheitlich war. Es ist dann die spezifische freiwerdende Energie E_v

$$E_v = \frac{E_f}{V} (10^{-6} \text{ kpm/cm}^3) \quad (12)$$

Zur Erläuterung des Rechenganges wird im folgenden ein Beispiel durchgerechnet:

Probe-Nr.: 131
Gruppen-Nr.: 10
Gesteinsart: Trümmercarnallit, Flöz "Thüringen"
Durchmesser d : 102,5 mm
Schlankheit: 0,5
Belastungsgeschwindigkeit v_b : 7,5 $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$

Für die Ermittlung der Geschwindigkeit gilt Formel (10), die vereinfacht geschrieben werden kann.

$$v_f = \sqrt{2} l_f \cdot K_1 \quad (\text{mm/s}), \text{ wobei}$$

$$K_1 = \frac{D \cdot v\text{-Bereich}}{E_{MST} \cdot V_u \cdot F \cdot U} \quad (\text{s}^{-1}) \text{ und}$$

- K_1 = Konstante (gültig für Proben, bei denen unter gleichen Bedingungen gemessen wurde)
- D = konstante Dämpfung des Terzfilters = 6,4 (dB)
= 2,1
- v-Bereich = am Integrierverstärker eingestellter Geschwindigkeitsbereich = 100 mm/s
- E_{MST} = Empfindlichkeit der Meßschleife = 7,5 mm/Volt
- V_u = Verstärkung des Meßverstärkers bei Übertragung auf Oszillograf = 20 dB = 10,0 (Umrechnung ist in Tabelle 5 angegeben)
- U = Übertragungsmaß des Tonbandes = 0,553 (in Tabelle 6 angegeben)
- F = Korrekturfaktor, bei Eichung des Integrierverstärkers ermittelt (= 0,64)

$$K_1 = \frac{2,1 \cdot 100}{7,5 \cdot 10,0 \cdot 0,64 \cdot 0,553} = 7,913 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

Mit dem im Oszillogramm ausgemessenen Wert (Bild 27) für die 1. Doppelamplitude $l_f = 38,0$ mm ergibt sich die Geschwindigkeit v_f zu

$$v_f = \sqrt{2} \cdot 38,0 \cdot 7,913$$

$$v_f = 150,5 \text{ mm/s}$$

=====

Nach Formel (3) kann nunmehr die relative freiwerdende Energie E_f ermittelt werden. Die Masse m bzw. m' ist aus Vorversuchen als Konstante bekannt.

Für die Versuche ohne zusätzliche Massen gilt (Masse m)

$$K_2 = \frac{m}{2} = \frac{508,4}{2 \cdot 9,81} = 25,9 \text{ (kp} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}.$$

- 1. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 2. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 3. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 4. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 5. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 6. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 7. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 8. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 9. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)
- 10. Konstante (Gültig für alle, bei denen die Gleichung erfüllt ist)

$$K_1 = \frac{2,1 \cdot 100}{2,5 \cdot 10,0 \cdot 0,1 + 1,25} = 7,312 \text{ (a)}$$

Mit dem so erhaltenen Wert (a) ist die 1. Doppelgleichung 1. = 20,2 zu lösen, es ergibt sich die Doppelgleichung 1. = 20,2

$$v_1 = 10 + 10,0 \cdot 0,1 \cdot 7,312$$

$$v_2 = 10,2 \text{ m/s}$$

Das Formel (1) kann nun mit der relativen Frequenz der 1. Harmonischen 1. = 20,2 m/s in die 1. Gleichung eingesetzt werden. Die Lösung ist dann die relative Frequenz 1. = 20,2 m/s

Die 1. Harmonische ohne relative Frequenz 1. = 20,2 m/s

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{10,2}{0,2} = 51 \text{ Hz}$$

Für Probe 131 ist dann:

$$E_f = \gamma_2 m v_f^2 = 25,9 \cdot (150,5)^2$$

$$E_f = 586.200 \text{ kpm} \cdot 10^{-6}$$

=====

Bei den einachsigen Druckversuchen wurde außer der relativen freiwerdenden Energie E_f die Druckfestigkeit

$$\sigma_D = \frac{P}{F_0} \quad (\text{kp/cm}^2) \quad (13)$$

ermittelt, wobei

P = Bruchlast (kp)

F_0 = ursprünglicher Querschnitt der zylindrischen Probe (cm^2)

Für jede aus etwa 4-20 Einzelproben bestehende Probengruppe wurde für die ermittelten mittleren Größen für E_f und σ_D der mittlere Fehler des arithmetischen Mittelwertes ermittelt. Da aus verschiedenen Gründen, vor allem wegen falscher Aussteuerung bei den Tonbandaufnahmen, nicht alle vorgesehenen Proben für die Auswertung herangezogen werden konnten, sind die Probengruppen verschieden stark.

Für den arithmetischen Mittelwert gilt allgemein die Beziehung

$$M = \frac{\sum x_1}{n} \quad (14)$$

wobei

M = arithmetisches Mittel einer Gesteinsgruppe
x₁ = Einzelwert
n = Zahl der Einzelwerte.

Der mittlere Fehler dieses Mittelwertes, der in den später angeführten Tabellen enthalten ist, wurde errechnet nach

$$\overline{m}_M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} \quad (15)$$

Hierbei bedeuten:

\overline{m}_M = mittlerer Fehler des Mittelwertes M
 \overline{m}_x = mittlerer Fehler des Einzelwertes x₁
v = scheinbarer Fehler (Abweichung des Einzelwertes vom Mittelwert)
n = Zahl der Einzelwerte.

6.1.4 Serienversuche mit der seismoakustischen Methode

In diesem Abschnitt werden Angaben gemacht über die untersuchten Gesteine, die bei den Versuchen vorliegenden Bedingungen sowie über die bei den Untersuchungen mit der seismoakustischen Apparatur erhaltenen Ergebnisse. Eine Diskussion dieser Ergebnisse schließt sich an.

6.1.4.1 Angaben über Art, Herkunft, Größe, Form und Anzahl der untersuchten Probekörper

Als Probematerial dienten Gesteine aus den Kaliflößen "Staßfurt", "Hessen" und "Thüringen" sowie deren Deckgebirge. Aus dem Deckgebirge lag das Gesteinsmaterial grundsätzlich

$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
 $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \mu^2$
 $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

$$(17) \quad \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} = \sigma^2 + \mu^2$$

Hierher gehören:
 $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
 $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \mu^2$
 $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

2.4.4. Berechnung der statistischen Momente
 In diesem Abschnitt werden die ersten drei Momente der Verteilung berechnet. Die ersten beiden Momente sind die Mittelwert μ und die Varianz σ^2 . Das dritte Moment μ_3 ist die dritte zentrale Moment, das die Schiefe der Verteilung anzeigt.

2.4.5. Berechnung der statistischen Momente
 Die Berechnung der statistischen Momente erfolgt nach den Formeln:

Die statistischen Momente sind die ersten drei Momente der Verteilung. Die ersten beiden Momente sind die Mittelwert μ und die Varianz σ^2 . Das dritte Moment μ_3 ist die dritte zentrale Moment, das die Schiefe der Verteilung anzeigt.

in Form von Bohrkernen aus Tiefbohrungen vor. Aus den Kaliflößen war es aus technologischen Gründen nur in Ausnahmefällen möglich, Bohrkern in der Grube zu gewinnen. Um das für die Untersuchung notwendige Probenmaterial trotzdem schonend zu gewinnen, wurden mittels Schlitzbohren größere Gesteinsstücke aus dem Anstehenden gelöst (Bild 28). Diese Blöcke wurden nach dem Transport zum Bearbeitungsort durch Säge- oder Bohrarbeit in kleinere quaderförmige Stücke zerlegt, welche auf einer Drehbank zu zylindrischen Körpern weiterverarbeitet wurden. Auch die Bohrkern wurden durch Dreharbeit auf die gewünschten Probendimensionen gebracht. Wegen der Hygroskopizität wurden bei Carnallitgestein besondere Schutzmaßnahmen (Nitrolack-Überzug, Perfolbeutel und Exsikkatoren) zur Vermeidung von Luftfeuchtigkeitsaufnahme ergriffen.

Folgende Gesteinsarten wurden für die Ermittlung der freiwerdenden Energie zur Untersuchung herangezogen:

1. Trümmern carnallit, Flöz Thüringen, Grube Marx-Engels, 1. nördl. Abt. Osten, Ort 15/16 Nord
2. Grauer Carnallit, Flöz Staßfurt, Grube Teutschenthal, Abbau 135 und 137, mittlerer Lagerteil, ca. 2 bis 4 m oberhalb der 10. Unstrutbank
3. Carnallit, Flöz Staßfurt, Grube Berlepsch-Maybach, 4. Hauptsohle, Querschlag bei 1500 m
4. Hartsalz, Flöz Hessen, Grube Marx-Engels, 5. südl. Abt. Westen, Ort 30, Querort 11/12 Osten
5. Mittleres Werrasteinsalz, Grube Marx-Engels, Ort 30
6. Oberes Werrasteinsalz, Tiefbohrung Völkershäuser 3 (Werra-revier)

7. Buntsandstein, Tiefbohrung Sünna 1 (Werragebiet)
8. Hauptanhydrit, Tiefbohrung Nohra 6 (Südharz)
9. Hauptanhydrit, UT-Bohrung, Grube Berlepsch-Maybach
(Mitteldeutsches Kalirevier)

Insgesamt wurden 478 Proben mit der seismoakustischen Apparatur untersucht. Davon konnten jedoch nur 238, d.h. 50 % bei der Auswertung berücksichtigt werden. Die fehlenden Proben mußten vor allem aus folgenden Gründen ausscheiden:

- a) Viele Hartsalz- und Steinsalzproben ergaben bei der Zerstörung keinen meßbaren Ausschlag
- b) Eine Reihe von tachhydrithaltigen Carnallitproben hatte infolge zu langer Lagerzeit Feuchtigkeit aus der Luft aufgenommen und ergab dadurch ebenfalls keinen meßbaren Ausschlag
- c) Für jede Gesteinsart, Schlankheitsgrad, Probengröße und Belastungsgeschwindigkeit mußte durch Herantasten die richtige Verstärkung des Integrierverstärkers bei der Versuchsdurchführung gefunden werden, um eine Über- bzw. Untersteuerung zu vermeiden. Dadurch wurden zahlreiche Versuche unbrauchbar.

Die Auswertung konnte für insgesamt 40 Gesteinsgruppen vorgenommen werden. Im einzelnen sind die Angaben über die ausgewertete Probenzahl pro Gesteinsgruppe, die Gesteinsart, den Durchmesser, den Schlankheitsgrad und die Belastungsgeschwindigkeit aus Tabelle 7 zu entnehmen.

In einigen Fällen, z.B. bei den Gruppen 29 und 30 (Hartsalz und Steinsalz) sind pro Gruppe nur ein oder zwei Einzelwerte angegeben. Die über diese Zahl hinaus untersuchten Proben waren wegen erschütterungsfreiem Bruch nicht auswertbar. Auf diese Tatsache sei besonders aufmerksam gemacht, da hierdurch die Ergebnisse der auswertbaren Proben solcher Gruppen den Mittelwert zu hoch erscheinen lassen.

1. Einleitung (Vorbemerkung)

2. Hauptteil (Zusammenfassung)

3. Schluss (Fazit)

4. Literaturverzeichnis

5. Anhang

6. Tabellen

7. Abbildungen

8. Glossar

9. Index

10. Register

11. Zusammenfassung

12. Zusammenfassung

13. Zusammenfassung

14. Zusammenfassung

15. Zusammenfassung

16. Zusammenfassung

17. Zusammenfassung

18. Zusammenfassung

19. Zusammenfassung

20. Zusammenfassung

21. Zusammenfassung

22. Zusammenfassung

23. Zusammenfassung

24. Zusammenfassung

25. Zusammenfassung

26. Zusammenfassung

27. Zusammenfassung

28. Zusammenfassung

29. Zusammenfassung

30. Zusammenfassung

31. Zusammenfassung

32. Zusammenfassung

33. Zusammenfassung

34. Zusammenfassung

35. Zusammenfassung

36. Zusammenfassung

37. Zusammenfassung

38. Zusammenfassung

39. Zusammenfassung

40. Zusammenfassung

41. Zusammenfassung

42. Zusammenfassung

43. Zusammenfassung

44. Zusammenfassung

45. Zusammenfassung

46. Zusammenfassung

47. Zusammenfassung

48. Zusammenfassung

49. Zusammenfassung

50. Zusammenfassung

51. Zusammenfassung

52. Zusammenfassung

53. Zusammenfassung

54. Zusammenfassung

55. Zusammenfassung

56. Zusammenfassung

57. Zusammenfassung

58. Zusammenfassung

59. Zusammenfassung

60. Zusammenfassung

61. Zusammenfassung

62. Zusammenfassung

63. Zusammenfassung

64. Zusammenfassung

65. Zusammenfassung

66. Zusammenfassung

67. Zusammenfassung

68. Zusammenfassung

69. Zusammenfassung

70. Zusammenfassung

71. Zusammenfassung

72. Zusammenfassung

73. Zusammenfassung

74. Zusammenfassung

75. Zusammenfassung

76. Zusammenfassung

77. Zusammenfassung

78. Zusammenfassung

79. Zusammenfassung

80. Zusammenfassung

81. Zusammenfassung

82. Zusammenfassung

83. Zusammenfassung

84. Zusammenfassung

85. Zusammenfassung

86. Zusammenfassung

87. Zusammenfassung

88. Zusammenfassung

89. Zusammenfassung

90. Zusammenfassung

91. Zusammenfassung

92. Zusammenfassung

93. Zusammenfassung

94. Zusammenfassung

95. Zusammenfassung

96. Zusammenfassung

97. Zusammenfassung

98. Zusammenfassung

99. Zusammenfassung

100. Zusammenfassung

Die untersuchten Proben hatten unterschiedliche Größe und Schlankheitsgrad. Ausgehend von einer zylindrischen Probe mit Durchmesser = Höhe = 56,4 mm, entsprechend einem Gesteinsvolumen von $V_1 = 141 \text{ cm}^3$, wurden die Probendurchmesser so verändert, daß das Gesteinsvolumen jeweils verdoppelt wurde. Die größten Proben erreichten das Siebenfache des mit V_1 bezeichneten Volumens.

Sofern der Schlankheitsgrad von 1,0 abwich (0,5 und 1,5), wurden die Dimensionen so gewählt, daß für vergleichbare Gruppen jeweils das Gesteinsvolumen konstant blieb. In Bild 29 ist die Ansicht von einigen Carnallitprobekörpern mit unterschiedlichem Schlankheitsgrad und Volumen wiedergegeben.

6.1.4.2 Versuchsbedingungen

Es wurden Druckversuche durchgeführt, wobei die untersuchten Probezylinder im allgemeinen ungeschmierte und nicht ange-
rauhete Endflächen hatten. Lediglich bei einer Gruppe (Gruppe 33) sind zu Vergleichszwecken die Endflächen geschmiert worden. Der Belastungscharakter war im allgemeinen also konstant.

Die Belastungsgeschwindigkeit wurde variiert, und zwar zu 1,0; 2,0; 4,2; 7,5; 14,8; 21,5 und 32,5 $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ mit der an der Prüfmaschine eingebauten Konstanthaltevorrichtung. Größere Belastungsgeschwindigkeiten wurden mit Handsteuerung bis etwa 60 $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ erreicht. Die jeweils eingehaltenen Werte für die Belastungsgeschwindigkeit v_b sind in Tabelle 7 mit angeführt.

Sämtliche Versuchsergebnisse beziehen sich auf Zimmertemperatur.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Fragestellung ist im Wesentlichen durch die folgenden Punkte gekennzeichnet. Zunächst wird die Bedeutung der in der vorliegenden Arbeit behandelten Fragestellung für die allgemeine Theorie der ... (Text is mirrored and illegible)

2.1.2. Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit wird die ... (Text is mirrored and illegible)

6.1.4.3 Ergebnisse (relative freiwerdende Energie und Druckfestigkeit)

In Tabelle 7, Spalte 6 ist für jede Einzelprobe die ermittelte relative freiwerdende Energie E_f angegeben. Die für die Berechnung nach Formel (9) bzw. (10) notwendigen Größen für die Geschwindigkeit v_f ergeben sich aus Tabelle 8 (Probe-Nr., E_{MST} , v -Bereich, U , V_H , l_f , K_1 , v_f). Gleichzeitig sind in Tabelle 7 die Mittelwerte der Gesteinsgruppen für E_f angeführt, die in Tabelle 9 zusammen mit den zugehörigen mittleren Fehlern \overline{E}_f nochmals übersichtlich zusammengestellt sind. Eine Darstellung dieser Ergebnisse ist in Bild 30 erfolgt. Die Ergebnisse für die Druckfestigkeit und die auf die Volumeneinheit bezogene Bruchlast P_V sind in Tabelle 10 angeführt.

6.1.5 Auswertung der Versuchsergebnisse

Die mit der seismoakustischen Methode erhaltenen Ergebnisse werden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet. Insbesondere soll der Einfluß folgender Faktoren auf die Ergebnisse (relative freiwerdende Energie und Druckfestigkeit) untersucht werden:

- a) Schlankheitsgrad bzw. Schmierung der Endflächen
- b) Probengröße
- c) Belastungsgeschwindigkeit

Die gefundenen Abhängigkeiten, speziell im Zusammenhang mit der Belastungsgeschwindigkeit, werden im Sinne der in Kapitel 5 angegebenen allgemeinen, die Schlaggefährlich-

keit von Gesteinen bestimmenden Faktoren ausgewertet. Dabei werden Vorschläge für verschiedene Definitionen des Schlaggefährlichkeitsgrades unterbreitet und die hierfür erhaltenen Ergebnisse für die untersuchten Gesteine angegeben.

6.1.5.1 Einfluß des Schlankheitsgrades bzw. der Endflächen- schmierung

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die bei Gebirgsschlägen zerstörten Carnallitfeiler Schlankheitsgrade haben, die sowohl kleiner als auch größer als 1,0 sein können, wurde der Einfluß des Schlankheitsgrades auf die relative freiwerdende Energie und auf die Druckfestigkeit in gewissem Umfang untersucht.

Insgesamt wurden drei verschiedene Schlankheitsgrade untersucht ($h : d = 0,5; 1,0$ und $1,5$). Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 angeführt und in Bild 31 dargestellt. Bei jeweils gleichgroßer Belastungsgeschwindigkeit und konstantem Volumen nimmt die spezifische freiwerdende Energie E_v mit größer werdendem Schlankheitsgrad ab. Die gleiche Tendenz zeigt, wenn auch weit schwächer, die Druckfestigkeit. Beachtlich ist die relativ sehr starke Energiezunahme des Trümmercarnallits (etwa 20-fach) bei Schlankheit 0,5 im Vergleich zu 1,0.

Die zur Ermittlung des Einflusses des Schlankheitsgrades untersuchte geringe Probenzahl läßt noch keine eindeutigen Schlußfolgerungen zu. Immerhin wird die große Bedeutung des Schlankheitsgrades sowohl für die relative freiwerdende Energie als auch für die Druckfestigkeit unterstrichen.

Auch die mit Schmierung der Endflächen der Probekörper durchgeführten Druckversuche unterstützen diese Feststellung. Man

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Faint, illegible section header or title.

First faint paragraph of text, appearing to be the start of a main section.

Second faint paragraph of text, continuing the main section.

Third faint paragraph of text, continuing the main section.

Fourth faint paragraph of text, continuing the main section.

kann den Probekörpern, deren Endflächen mit einem Schmiermittel zur weitgehenden Verringerung der Endflächenreibung versehen sind, einen Schlankheitsgrad von ∞ (unendlich) zuschreiben. Der Vergleich für zwei Anhydritgruppen (Tabelle 11 und Bild 32) zeigt, daß die freiwerdende Energie bei geschmierten Proben um ca. 81 %, die Druckfestigkeit um ca. 31% sinkt.

Bei den in Tabelle 11, Spalten 9 und 10, angegebenen Prozentzahlen für E_V und σ_D wurden die für Schlankheitsgrad 1 ermittelten Werte gleich 100 % gesetzt. Die Angaben für die Schlankheitsgrade 0,5 und 1,5 sind darauf bezogen. Zu beachten ist, daß das Gesteinsvolumen jeweils gleich groß gewählt wurde. Die angeführten Ergebnisse decken sich prinzipiell mit den aus der Literatur bekannten Angaben über den Einfluß des Schlankheitsgrades (vgl. z.B. DREYER/BORCHEPT [13, Bild 7] und [14]).

Die Untersuchungen von KVAPIL [5, Seite 24-42] über die Zerstörung von Gesteinen vom Standpunkt der potentiellen Energie sind geeignet, eine Erklärung für den beschriebenen Einfluß des Schlankheitsgrades zu geben. KVAPIL stellt fest, daß ein Druckprobekörper mit starker Reibung an den Endflächen (ohne Schmierung) insgesamt eine größere Menge an potentieller Energie akkumuliert als ein Probekörper aus dem gleichen Gestein, auf dessen Endflächen infolge der Schmierung die Reibung weitgehend beseitigt wurde.

6.1.5.2 Einfluß der Probengröße

Aus der Literatur über Druckversuche sind bezüglich der Druckfestigkeit in Abhängigkeit von der Größe der Proben, d.h. dem Gesteinsvolumen, zwei konträre Meinungen bekannt. Dabei geht es letztlich um die Frage, ob die Gültigkeit des Ähnlichkeitsgesetzes nach Martens auch für Gesteine gültig

ist oder nicht. Dieses Gesetz besagt, daß geometrisch ähnliche Körper bei gleichen Versuchsbedingungen gleiche Bruchfestigkeiten aufweisen. Die Anwendbarkeit und Richtigkeit des Ähnlichkeitsgesetzes speziell für Salzgesteine wurde vor allem von DREYER [14; 15] und RODATZ [7] nachgewiesen.

STAMATIU (aus [15]) und GRISKOVA [16] führen Ergebnisse von Druckversuchen an Steinsalzwürfeln an, die im Widerspruch zum Ähnlichkeitsgesetz zu stehen scheinen.

KUZNECOV (aus [16]) nimmt eine gewisse Mittelstellung ein, indem er eine Volumenabhängigkeit der Druckfestigkeit nur bis zu einem bestimmten Gesteinsvolumen festgestellt hat.

DREYER betont wiederholt die Bedeutung der Güte der Oberflächenbearbeitung für die Druckfestigkeitsergebnisse. Die Abweichungen vom Ähnlichkeitsgesetz seien geradezu als Zeichen für schlechte Probenbearbeitung zu werten.

Außer der Bearbeitungsgüte müssen aber noch andere Gründe ins Feld geführt werden, wenn man die im Labor gemessenen unterschiedlichen Druckfestigkeiten an geometrisch ähnlichen Probekörpern zu erklären versucht. Vor allem die Riszbildung und der Oberflächeneffekt erscheinen noch erwähnenswert. Man darf nach PROTODJAKONOV (aus [17] und [18]) prinzipiell annehmen, daß ein kleinerer Probekörper mit Höhe h und Durchmesser d von natürlichen Rissen weniger durchsetzt ist als ein größerer mit Höhe H und Durchmesser D (Bild 33 a). Betrachtet man das Gestein im Anstehenden als einen großen Probekörper, so hat dieser große Körper im Gegensatz zum relativ kleinen Probekörper in der Regel eine große Zahl von tektonischen bzw. stratigrafischen Schwächeflächen oder Rissen. So betrachtet, müßte die Festigkeit sehr großer Probekörper (Verbandsfestigkeit) normalerweise kleiner als die Festigkeit sehr kleiner Proben sein.

Dieser Tendenz läuft aber der Oberflächeneffekt entgegen. Wie in Bild 33 b schematisch dargestellt, ändert sich der

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Faint, illegible text in the upper middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the lower middle section of the page.

Faint, illegible text in the lower section of the page.

Faint, illegible text in the lower section of the page.

Faint, illegible text in the lower section of the page.

Faint, illegible text in the lower section of the page.

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a concluding paragraph.

Anteil der Außenhaut, die durch die mechanische Bearbeitung der Probekörper in ihren Eigenschaften verändert wurde. Größere Probekörper würden also im Sinne der anzustrebenden Aufhebung des Oberflächeneffekts bessere Werte für die Druckfestigkeit erbringen.

Die sich aus der Erscheinung des Oberflächeneffekts ergebende Forderung nach einem Mindestdurchmesser läßt sich aber nur schwer konkretisieren, weil bei dieser Frage für jedes Gestein noch eine Reihe weiterer Faktoren berücksichtigt werden muß, z.B. die Korngrößen des Probekörpers. Je größer das Korn, um so größer muß der Durchmesser sein. Von einem für das jeweilige Gestein gültigen Mindestdurchmesser an wird ein optimaler Wert für die Druckfestigkeit ermittelt (Bild 33 c) .

Die Ergebnisse für die eigenen zur Ermittlung des Einflusses des Gesteinsvolumens untersuchten Gruppen sind in Tabelle 12 angeführt. Die mittleren Werte für die relative freiwerdende Energie E_f und die zur Zerstörung der Gesteinsproben erforderliche Drucklast steigen erwartungsgemäß mit zunehmendem Gesteinsvolumen (Bild 34).

Die spezifischen Größen, d.h. die Druckfestigkeit und die spezifische freiwerdende Energie E_v zeigen das in Bild 35 wiedergegebene Verhalten. Auffallend ist die relativ geringe Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Gesteinsvolumen. Vergleicht man die Kurven III, IV und VI mit Bild 33 c, so kann man schlußfolgern, daß in den untersuchten Größenbereichen der Oberflächeneffekt wirksam gewesen ist. Wesentlich stärker als die Druckfestigkeit wird die spezifische freiwerdende Energie E_v vom Volumen beeinflusst (Bild 35, Kurven I, II und V). Offensichtlich müßten noch weitaus größere Probekörper ($> 1000 \text{ cm}^3$) untersucht werden, um den nach den prinzipiellen Erfahrungen bei Druckversuchen (Bild 33 c) zu erwartenden Kurvenverlauf, d.h. von der Probengröße unabhängige

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

spezifische Werte für die freiwerdende Energie zu bekommen. Leider konnten mit den zur Verfügung stehenden Bearbeitungsmaschinen keine größeren Probekörper hergestellt werden.

6.1.5.3 Einfacher und komplexer Schlaggefährlichkeitsgrad

Das Ziel der Untersuchungen mit der seismoakustischen Methode besteht in der Ermittlung von relativen Kennziffern der Gebirgsschlaggefährlichkeit von Gesteinen des Kalibergbaus. Da es bisher keine allgemein anerkannte Definition des Begriffes "Schlaggefährlichkeit von Gesteinen" gibt, stellen die im folgenden angeführten Definitionen für die Schlaggefährlichkeitsgrade erste Vorschläge dar. Es wird versucht, für die im folgenden noch einmal wiederholten wichtigsten allgemeinen im Komplex wirkenden Faktoren eine genügende Berücksichtigung zu finden:

- a) Größe der freiwerdenden Energiemenge
- b) Verhältnis der freiwerdenden Energie zur Druckfestigkeit
- c) Veränderung der Energiemenge bei Änderung äußerer Bedingungen, vor allem der Belastungsgeschwindigkeit oder des Belastungscharakters.

Durch Angabe des einfachen und des komplexen Schlaggefährlichkeitsgrades wird versucht, diesen Hauptfaktoren für die Schlaggefährlichkeit Rechnung zu tragen, natürlich nur soweit es die tatsächlich untersuchten Belastungsbedingungen zulassen.

Die Größe der spezifischen relativen freiwerdenden Energiemenge E_v für die untersuchten Gesteinstypen ist in folgender Übersicht angegeben. Die Werte beziehen sich auf Probekörper mit Schlankheit 1,0 und eine Belastungsgeschwindigkeit

keit von etwa $7 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, d.h. einer Bedingung, bei der Carnallit bereits durch Zersplittern zerstört wird.

Gestein	E_V (10^{-6} kpm/cm^3)
Anhydrit	2630
Sandstein	1330
Carnallit	107
Hartsalz	20 ¹⁾
Steinsalz	0,4 ¹⁾

¹⁾ Werte stellen im Gegensatz zu den anderen Angaben keine Mittelwerte, sondern Spitzenwerte dar.

Im Kapitel 5 wurde begründet, warum die für E_f bzw. E_v angegebenen Werte nur relative Werte für die beim Gesteinsbruch freiwerdende Energie sein können. Die angeführten Werte für die freiwerdende Energie stellen noch kein geeignetes Maß für die Beurteilung der Schlaggefährlichkeit dar, weil die übrigen Hauptfaktoren nicht berücksichtigt werden. Wenn auch durch diese Werte für E_v die Fähigkeit eines Gesteins zum Gebirgsschlag, d.h. die Bruchheftigkeit charakterisiert wird, muß zur Kennzeichnung der Schlaggefährlichkeit zumindest noch die Druckfestigkeit berücksichtigt werden.

Dies wird bei dem einfachen Schlaggefährlichkeitsgrad S^x getan:

$$S^x = \frac{\left(\frac{E_v}{\sigma_D}\right)_{\text{Gestein}}}{\left(\frac{E_v}{\sigma_D}\right)_{\text{max. Gestein}}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (16)$$

Darin bedeuten:

E_V = spezifische relative freiwerdende Energie
bei bestimmter Belastungsgeschwindigkeit
(10^{-6} kpm/cm³)

σ_D = Druckfestigkeit (kp/cm²) bei bestimmter
Belastungsgeschwindigkeit.

Der einfache Schlaggefährlichkeitsgrad S^X enthält also das Verhältnis der Größen "freiwerdender Energie" und "Druckfestigkeit". Daß dieses Verhältnis aussagefähiger ist als nur die Größe "freiwerdende Energie" zeigen die unterschiedlichen Werte für verschiedene Gesteine (Bild 36). Zum Beispiel hat Carnallit trotz der relativ geringsten Druckfestigkeit den für die Salzgesteine Hartsalz, Steinsalz und Carnallit höchsten Wert für E_V . Hartsalz und Steinsalz haben dagegen über doppelt so hohe Druckfestigkeit, jedoch wesentlich geringere bzw. kaum noch meßbare Werte für E_V .

Nähere Angaben für die Ermittlung des einfachen Schlaggefährlichkeitsgrades S^X sind in Tabelle 13 enthalten. Es ergeben sich für S^X folgende Werte:

1. Anhydrit	100 %
2. Sandstein	55 %.
3. Carnallit	16 %
4. Hartsalz	0,01 %
5. Steinsalz	→0 %

Nach dem einfachen Schlaggefährlichkeitsgrad S^X ist der Anhydrit das schlaggefährlichste Gestein. Anhydrit hat aber im Vergleich z.B. zum Carnallit eine viermal höhere Druckfestigkeit. Offensichtlich werden aber für Gesteine mit geringer Druckfestigkeit die Bedingungen in situ für einen Gebirgsschlag leichter erfüllt sein als bei einem festen Gestein, d.h. Carnallit kommt eher zum "Schlagen" als Anhydrit. Bei Anhydrit wird allerdings, wenn er zum "Schlagen" kommt, die Intensität des Schlages viel heftiger sein.

Aus diesen Überlegungen heraus gilt es, die Zweckmäßigkeit der Anwendung des einfach^{en} Schlaggefährlichkeitsgrades zu überprüfen. Dies sei im Vergleich zu dem im folgenden erläuterten komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad S^0 getan, der entsprechend der Theorie der Gesteinszerstörung von vornherein vollkommener ist, weil er außer den in S^x enthaltenen Größen "Freiwerdende Energie" und "Druckfestigkeit" in gewissen Grenzen auch den Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit mit berücksichtigt.

In welcher Weise die relative freiwerdende Energie von der Belastungsgeschwindigkeit im untersuchten Bereich abhängt, zeigt Bild 37 im Schema und Bild 38 im einzelnen. Für Gruppen mit jeweils gleichem Gesteinsvolumen und konstantem Schlankheitsgrad von 1,0 ergibt sich nach Bild 38 stets ein Energieanstieg bei zunehmender Belastungsgeschwindigkeit. In dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich von 1 - 60 $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ darf diese Tendenz als gesichert gelten, obwohl jede Kurve zunächst nur durch zwei Punkte belegt werden kann. Es ist mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß bei mehreren Punkten die Kurven nicht als Geraden verlaufen werden. Dann müßte die Tangente angelegt werden.

Der Anstieg des Winkels α ist für die verschiedenen Gesteinstypen zum Teil auffallend unterschiedlich (vgl. Bild 37). Dieser Anstieg (Energiezuwachsrate)

$$\text{tg } \alpha = \frac{\Delta E_V}{\Delta v_b} \quad (17)$$

ist für die untersuchten Gesteinsgruppen in den Tabellen 14 und 15 ermittelt worden. Leider sind die verglichenen Durchmesser der Probezylinder nicht ganz einheitlich, weshalb sie in Tabelle 14, Spalte 3 im einzelnen angegeben sind. Grob gesehen gilt, daß für Anhydrit die kleinsten, für Sandstein und Carnallit die mittleren und für Hartsalz die größten Durchmesser gelten.

In Bild 39 sind die Gesteinsgruppen nach ihrer Energiezuwachsrate geordnet eingetragen. Mit gewissen Einschränkungen, die sich aus den weiteren Überlegungen bei der Festlegung des komplexen Schlaggefährlichkeitsgrades noch aufklären werden, geht bereits aus diesem Bild der bedeutende Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit hervor.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die von ROTTER [19] durchgeführten Druckversuche an Sandsteinblöcken mittels Druckpatrone in Bohrlöchern hingewiesen, bei denen verschiedene Belastungsgeschwindigkeiten angewandt wurden. Bezüglich der Druckfestigkeit konnte der in Bild 2 schematisch gezeigte Einfluß bestätigt werden. Wichtig ist der bei diesen Versuchen angetretene Beweis, daß auch die Impulshäufigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit abhängt. Bei schneller Belastung wurden die Impulse erst unmittelbar vor dem Gesteinsbruch festgestellt, während die Eigenimpulse bei geringer Belastungsgeschwindigkeit bereits längere Zeit vor dem Bruch aufgetreten sind und mehr oder weniger gleichmäßig bis zum Eintritt des Bruches verteilt waren.

Entsprechend den zu Beginn dieses Abschnitts bzw. bereits in Kapitel 5 erwähnten allgemeinen Überlegungen muß neben der Energiezuwachsrate bei steigender Belastungsgeschwindigkeit auch die Druckfestigkeit berücksichtigt werden. Ein Vergleich dieser beiden Größen für vorliegende Verhältnisse ist in Bild 40 erfolgt. Aus den wiederholt angeführten allgemeinen Überlegungen und den in diesem Bild dargestellten speziellen Ergebnissen muß man zu dem Schluß kommen, daß dasjenige Gestein am schlaggefährlichsten ist, welches die größte Energiezuwachsrate bei gleichzeitig relativ niedrigster Druckfestigkeit aufweist. Diese Erkenntnis findet ihren Niederschlag in dem komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad S^0 , der wie folgt definiert wird:

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

$$S^{\circ} = \frac{\left(\frac{\Delta E_v}{\Delta v_b} / \sigma_D' \right)_{\text{Gestein}}}{\left(\frac{\Delta E_v}{\Delta v_b} / \sigma_D' \right)_{\text{max. Gestein}}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (18)$$

Darin bedeuten:

- ΔE_v = Differenz der relativen freiwerdenden Energien bei unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit (kp/cm^3)
- Δv_b = Differenz der Belastungsgeschwindigkeiten, bei welchen E_v ermittelt wurde ($\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$)
- σ_D' = Mittelwert für die bei verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten ermittelte Druckfestigkeit (kp/cm^2).

In Tabelle 16 sind die nach Formel (18) für die untersuchten Gesteinsgruppen ermittelten Werte angeführt. Daraus geht hervor, daß das schlaggefährlichste Gestein der Carnallit ist. Ihm folgen Sandstein und Anhydrit, während Hartsalz als praktisch nicht schlaggefährlich bezeichnet werden kann. Dies wird durch die Darstellung in Bild 41 nochmals verdeutlicht.

Die mittlere mineralogische Zusammensetzung der für die Ermittlung der Schlaggefährlichkeitsgrade untersuchten Gesteinsgruppen ist in Tabelle 17 angegeben. Die Carnallitgesteine weisen danach einen Anteil an Mineral Carnallit von etwa 60 - 75 % auf. Der restliche Hauptanteil ist Halit (Steinsalzbrekzien), während Sylvinit, Kieserit und Tachhydrit nur bei einigen Gesteinsgruppen mit vertreten sind.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei an dieser Stelle nochmals wiederholt, daß die hier angegebenen relativen Kennziffern für die Neigung von Gesteinen zu Gebirgsschlägen natürlich nur für die tatsächlich im Labor eingehaltenen Bedingungen gelten können. Auf Grund der Schlussfolgerungen

aus der Theorie der Gesteinszerstörung sowie den vielfachen Beobachtungen in Gebirgsschlagfeldern darf darüber hinaus jedoch angenommen werden, daß die unter begrenzten Laborbedingungen ermittelten Relationen zwischen den verschiedenen Gesteinstypen in ihrer Tendenz auch allgemeingültig sind. Zumindest decken sich die praktischen Beobachtungen bei bisherigen Gebirgsschlägen im Kalibergbau mit den hier angeführten Ergebnissen.

6.2 Bestimmung des elastischen Anteils der Verformung =====

In der Sowjetunion wurde in den letzten Jahren eine Methode angewandt, welche die Gesteine nach ihrem elastischen Anteil an der Gesamtverformung in schlaggefährliche und nicht schlaggefährliche Gesteine zu klassifizieren vermag. Einzelheiten über Ergebnisse von derartigen Untersuchungen an Kohlenproben und Kohlenflözen wurden durch BITSCH und FEDOTOV [14] sowie AVERSIN u.a. [20] bekannt.

Zur Charakterisierung des elastischen Verformungsanteils kann der von STÖCKE und BORCHERT [21] wie folgt definierte Elastizitätsgrad E^0 herangezogen werden:

$$E^0 = \frac{\Delta l_{el}}{\Delta l_{ges}} \cdot 100 (\%) \quad (19)$$

Darin bedeuten (siehe Bild 42):

Δl_{el} = Elastische vertikale Rückverformung im Moment der Entlastung

Δl_{ges} = Gesamte vertikale Verformung bis zur Entlastung der Probe

Die Theorie der Differentialrechnung
beinhaltet die Differentialrechnung
in der Form der Differentialrechnung
und die Theorie der Differentialrechnung
in der Form der Differentialrechnung
und die Theorie der Differentialrechnung
in der Form der Differentialrechnung

§ 1. Die Differentialrechnung

In der Differentialrechnung
wird die Ableitung einer
Funktion $y = f(x)$ nach
der Variable x bestimmt.
Die Ableitung einer
Funktion $y = f(x)$ nach
der Variable x ist die
Grenzwert der Differenz-
quotienten $\frac{f(x+h) - f(x)}{h}$
für $h \rightarrow 0$.
Die Ableitung einer
Funktion $y = f(x)$ nach
der Variable x ist die
Grenzwert der Differenz-
quotienten $\frac{f(x+h) - f(x)}{h}$
für $h \rightarrow 0$.

$$y' = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$
$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$
$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$
$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Eine sehr wesentliche Bedingung für die Ermittlung des Elastizitätsgrades E^0 in dem hier angeführten Sinne besteht darin, daß die Entlastung der Probe möglichst nahe am Bruchpunkt liegen soll (etwa 60 - 80 % der Bruchlast).

6.2.1 Versuche an Gesteinen des Kalibergbaus und Ergebnisse

Es wurden zur Ermittlung des Elastizitätsgrades E^0 Druckversuche an zylindrischen Probekörpern mit Schlankheitsgrad 1,5 durchgeführt. Die vertikalen Verformungen (Stauchung) wurden mittels mechanischer Meßuhren von $\frac{1}{100}$ mm Anzeige gemessen, und zwar entweder nur im mittleren Probenteil mit Meßringen (Gesteinsgruppen A - H und D_1 - H_1) oder über die gesamte Probenhöhe (Gruppen A' - H'). Die Meßstrecke zwischen den Meßringen betrug 52 mm, so daß nach jeder Endfläche hin etwa 20 - 25 mm nicht mit in die Stauchungsmessung eingingen (Endflächenreibung).

Zur Untersuchung gelangten Gesteinsarten, die denjenigen auf relative freiwerdende Energie untersuchten Gesteinen im Prinzip entsprechen, und zwar Carnallit, Sandstein, Anhydrit, Hartsalz und Steinsalz. Nähere Angaben über die Herkunft dieser Gesteine sind in Tabelle 18 enthalten.

Die Entlastung (hier die 2. Entlastung) wurde bei etwa 50 - 80 % der Bruchlast durchgeführt. Die wirklich eingehaltenen Entlastungsspannungen im Vergleich zu der bei Wiederbelastung tatsächlich erhaltenen Bruchlast sind in Spalte 5 der Tabelle 19 angegeben. Typische Verformungskennlinien sind in Bild 42 wiedergegeben. Die in Tabelle 19 angeführten Ergebnisse für den Elastizitätsgrad E^0 (Spalte 6) ergeben für die untersuchten Gesteinsarten folgende Mittelwerte:

Gestein	E^0 (%)	Gefährlichkeit
Carnallit	88	schlaggefährlich
Anhydrit	78	"
Sandstein	76	"
Hartsalz	(28)	nicht schlagge-
Steinsalz	12	fährlich

Die Untersuchungen mit Messung der Stauchung über die gesamte Probenhöhe ergaben, wie Tabelle 20 zeigt, im Prinzip gleichartige Ergebnisse für E^0 .

6.2.2 Auswertung und Vergleich mit Schlaggefährlichkeitsgraden

Unter der Voraussetzung, daß die Entlastungsspannung 60-80 % der Druckfestigkeit beträgt, werden von BITSCH und FEDOTOV [11] als Grenzwert für E^0 70 % und von AVERŠIN u.a. [20] 50 % für E^0 angegeben. Dieser Grenzwert besagt, daß die Gesteine, deren E^0 unter diesem Wert liegt, nicht schlaggefährlich sind, während die Gesteine mit größerem E^0 schlaggefährlich sind. Die genannten Autoren stützen sich bei dieser Festlegung auf umfangreiche Untersuchungen in sowjetischen Kohlengruben und an Kohlenproben. Es wurde bei den in situ (hydraulische Kissen in Schrammschlitten des Kohlenstoßes) und im Labor erzielten Ergebnissen genügende Übereinstimmung für E^0 erreicht. Dabei wurden Flöze (bzw. daraus entnommene Proben) miteinander verglichen, in denen Gebirgsschläge häufig vorkamen und solche, in denen nach bisherigen Erfahrungen keine Gebirgsschläge auftreten.

In Bild 43ab sind Beispiele für das Verformungsverhalten

von gebirgsschlaggefährlichen Kohlenflözen wiedergegeben. Die Spannungsdehnungsdiagramme in Bild 43 cd demonstrieren dagegen das wesentlich plastischere Verhalten von nichtgefährlichen Kohlenflözen. Die anhand derartiger Bilder nach Literaturangaben ermittelten Elastizitätsgrade E^0 für Steinkohle, Braunkohle, Quarzit, Anhydrit und Steinsalz sind in Tabelle 21 angeführt (Die Gesteine I, K, N und O entsprechen den Gesteinen in Bild 43).

Die Gesteine mit $E^0 > 50\%$ entsprechen den erfahrungsgemäß gebirgsschlaggefährlichen Horizonten, so vor allem bei verschiedenen sowjetischen Kohlenflözen und bei Quarzit des südafrikanischen Goldbergbaus.

Interessant ist der extrem niedrige Elastizitätsgrad einer Aluminiumprobe. Denkhaus [10, Bild 5] hatte in einem Versuch nachgewiesen, daß die kurz vor dem Bruch gespeicherte elastische Verformungsenergie nicht gleich der beim Bruch freiwerdenden Energie sein muß. Zu diesem Nachweis wurden eine Quarzit- und eine Aluminiumprobe von gleicher Form und Größe untersucht. Die beiden Materialien hatten etwa gleichgroße Druckfestigkeit. Die Bruchheftigkeit der Quarzitprobe war im Vergleich zur Aluminiumprobe sehr groß. Trotzdem ergab ein Vergleich der grafisch ermittelten, gespeicherten elastischen Verformungsenergien für Aluminium einen um ca. 40% höheren Wert. Aus diesem Beispiel war zu schließen, daß die gespeicherte elastische Verformungsenergie auch für eine nur grobe Einschätzung der Gebirgsschlaggefährlichkeit ungeeignet sei.

In einem anderen Licht erscheinen die Ergebnisse desselben Versuchs von Denkhaus [10], wenn man aus dem Spannungs-Verformungsdiagramm den Elastizitätsgrad, d.h. den elastischen Anteil an der Gesamtverformung (in diesem Fall nach [10, Bild 5] gleich der Bruchverformung!) ermittelt. Bei Quarzit ist $E^0 = 91\%$, während E^0 bei Aluminium nur 0,025% beträgt. Ein ähnliches Verhältnis erhält man übrigens auch, wenn man die gespeicherte elastische Verformungsenergie auf die gesamte Verformungsenergie (elastische und plastische) bezieht.

Nimmt man den für den Kohlenbergbau angegebenen Grenzwert $E^0 > 50$ (bzw. 70) % auch für die Gesteine des Kalibergbaus an, so ergibt sich daß die Gesteine Carnallit, Anhydrit und Sandstein ($E^0 = 76 - 88$ %) schlaggefährlich, die Gesteine Hartsalz und Steinsalz ($E^0 = 12 - 28$ %) dagegen nicht schlaggefährlich sind. Diese Ergebnisse decken sich prinzipiell mit den bei den seismoakustischen Versuchen ermittelten Schlaggefährlichkeitsgraden S^x und S^0 . Die Aussagefähigkeit von E^0 entspricht etwa derjenigen von S^x . Prinzipiell müßte es möglich sein, auch den Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Größe des Elastizitätsgrades E^0 zu ermitteln. Die hierbei bisher erhaltenen Ergebnisse reichen jedoch bei weitem noch nicht aus, um in dieser Frage etwas aussagen zu können (Tabellen 19 und 20). Ein abschließender Vergleich der für die Klassifizierung der Gebirgsschlaggefährlichkeit der Gesteine des Kalibergbaus herangezogenen relativen Größen

- a) einfacher Schlaggefährlichkeitsgrad S^x
- b) komplexer Schlaggefährlichkeitsgrad S^0
- c) Elastizitätsgrad E^0

ist in Bild 44 durchgeführt worden.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

7. Abschließender Vergleich der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Praxis

Abschließend sollen die angeführten Ergebnisse aus Laborversuchen mit den praktischen Erfahrungen bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen verglichen werden, um daran anschließend Schlußfolgerungen für die Einschätzung der prinzipiellen Gebirgsschlaggefahr im Kalibergbau abzuleiten.

7.1 Typische Zerstörungen und Bodenerschütterungen bei
=====

Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen
=====

Im deutschen Kalibergbau wird bei flacher Lagerung allgemein Kammerbau mit langen Pfeilern betrieben. Die bisherigen Gebirgsschläge und Firstzusammenbrüche sind mit einer Ausnahme (Gebirgsschlag Neustaßfurt VI) alle in flacher Lagerung aufgetreten.

Über typische Zerstörungserscheinungen in den von diesen extremen Bruchvorgängen betroffenen Grubenbauen sowie über die dabei entstandenen Erschütterungen an der Erdoberfläche können folgende Angaben gemacht werden:

Gebirgsschläge (siehe Tabelle 22):

Bei Gebirgsschlägen wurden stets nur die Pfeiler zerstört (siehe Bild 11b), und zwar normalerweise so intensiv, daß die Pfeiler nur noch als Haufwerk zu betrachten sind. Das Pfeilermaterial wurde meistens in Richtung Kammer- bzw. Streckenmitte geschleudert.

Die Firste blieb dagegen normalerweise unzerstört, wenn man von lokalen nachträglichen Firstfällen absieht. Bild 45

Die folgenden Vergleiche der Mineralien sind nach
Folgerungen für die Praxis

Die Mineralien sind in der Natur in großer Menge
verbreitet und sind für die Industrie von großer
Bedeutung. Die Mineralien sind in der Natur
verbreitet und sind für die Industrie von großer
Bedeutung.

Die Mineralien sind in der Natur in großer Menge
verbreitet und sind für die Industrie von großer
Bedeutung.

Die Mineralien sind in der Natur in großer Menge
verbreitet und sind für die Industrie von großer
Bedeutung.

Geologische Karte (Blatt 221)

Die Karte zeigt die geologische Struktur des Gebietes
und ist für die Praxis von großer Bedeutung.
Die Karte zeigt die geologische Struktur des Gebietes
und ist für die Praxis von großer Bedeutung.

zeigt hierfür zwei Beispiele aus dem Gebirgsschlagfeld Krügershall. Obwohl der Gebirgsschlag bereits 1940 stattfand, konnten diese Aufnahmen noch 1962 gemacht werden, die eindeutig die angeführte Behauptung beweisen.

In Bild 45a ist das Schema eines Streckenkreuzes dargestellt. Dort sind die Strecken von herausgeschleudertem Material bedeckt, während die Kreuzungsmitte völlig frei ist. Wenn die Firste zerstört worden wäre, dürfte gerade die Kreuzungsmitte nicht frei von zerstörtem Material sein.

Es scheint gleichgültig zu sein, aus welchem Material das unmittelbare Hangende besteht. Zumindest bleibt nach bisherigen Beobachtungen die Firste beim Gebirgsschlag im wesentlichen unzerstört, wenn sie aus Steinsalz (z.B. Merkers 1958) oder - so wie die Pfeiler selbst - aus Carnallit besteht (z.B. Krügershall 1940, Bild 45 b).

Eine sehr wichtige, bei allen in Tabelle 22 angeführten Gebirgsschlägen bestätigte Beobachtung besteht darin, daß die zerstörten Pfeiler stets + aus Carnallit bestanden. Sofern Pfeiler aus verschiedenen Gesteinsschichten zusammengesetzt waren (z.B. aus Hartsalz, Steinsalz und weißem Carnallit), ist nur Carnallit durch Zersplittern zerstört worden, während die übrigen Gesteine durch Zerklüften oder gar nicht zerstört wurden. Ein weiteres typisches Beispiel für den unterschiedlichen Zerstörungsgrad verschiedener Salzgesteine ist das Bruchfeld auf der oberen Sohle von Merkers 1958. In Bild 46 wird gezeigt, daß die einzige Schlagzone (hier ist weißer Carnallit durch Zersplittern zerstört worden) sich in dem Gebiet befindet, in welchem das carnallitische Begleitflöz von Flöz "Hessen" abgebaut wurde. In den benachbarten Feldesteilen wurde dagegen überwiegend nur Hartsalz (Flöz "Hessen") abgebaut. Hier ist es auch nur zur Zerstörung durch Zerklüften gekommen (Schalenzone und Quetschungszone). Dabei konnte festgestellt werden, daß steigender Kieseritanteil sprödebruchfördernd wirkt.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.



Makroskopische Beobachtungen in den Gebirgsschlagfeldern Krügershall 1940 und Merkers 1958 lassen ferner die Feststellung zu, daß die Zerstörungsintensität von Carnallitpfeilern mit zunehmendem Schlankheitsgrad der Pfeiler kleiner wird. In Krügershall waren beispielsweise die Streckenpfeiler ($h : d = 0,3$) weitaus stärker zerstört als die Kammerpfeiler ($h : d = 1,5 - 2,5$). Dieser Umstand hat mit dazu beigetragen, daß die seinerzeit eingeschlossenen 42 Bergleute nicht mehr gerettet werden konnten.

Während bei den Gebirgsschlägen in flacher Lagerung stets größere Energiemengen frei wurden, die teilweise sehr beträchtliche Bodenerschütterungen (7. Grad der Erdbebenskala nach Mercalli-Sieberg) verursachten, konnten sich die sonst typischen Erscheinungen beim Gebirgsschlag Neustaßfurt VI vom 30.12.1959 nicht zeigen. Hauptgründe dafür dürften mit sein:

- a) Steiles Einfallen (bis zu 70°) und dadurch bedingte hohe Schubkräfte in Einfallrichtung
- b) extrem hoher Schlankheitsgrad der Carnallitpfeiler
- c) Schmierwirkung entlang tonig-tachhydritischer Lagen im gebankt ausgebildeten Flöz. Dadurch wurde das Abgleiten der Schichten sehr begünstigt.

Die Bruchvorgänge bei Gebirgsschlägen sind allgemein durch kurze Zeitdauer und Freiwerden großer Energiemengen charakterisiert. Als ein Ausdruck dafür können die vom Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung der DAW in Jena registrierten maximalen Bodenamplituden gewertet werden, insbesondere jedoch deren relativer Vergleich zu Firstzusammenbrüchen (Tabelle 22).

Inwieweit von Aufzeichnungen der durchschnittlich etwa 60 - 100 km von den Gebirgsschlaggruben entfernten mikroseis-

mischen Registrierstation tatsächlich auf den Bruch von Pfeilern mit bestimmtem Pfeilermaterial (z.B. Carnallit oder Hartsalz) geschlossen werden kann, ist ein bis heute noch ungeklärtes Problem. Soviel läßt sich jedoch heute aber bereits feststellen, daß es sowohl im Seismogramm als auch in der maximalen Bodenamplitude offensichtliche Unterschiede zwischen Gebirgsschlägen (Carnallit) und Firstzusammenbrüchen gibt: Bild 47 zeigt vergleichsweise zwei derartige in Jena aufgenommene Seismogramme. Während ein Firstzusammenbruch offenbar allmählicher und gleichmäßiger abläuft, zeigt das Seismogramm eines schwächeren Gebirgsschlags bereits ein plötzliches, schlagartiges Anschwellen und Abklingen der Amplituden. Bei den schwersten Gebirgsschlägen (Krügershall, Heringen und Merkers 1958) ist dieses Bild noch ausgeprägter.

Starke Unterschiede zeigen die maximalen Bodenamplituden (Tabelle 22). Im Vergleich zum Extremfall (Gebirgsschlag Merkers 1958) beträgt diese Bodenamplitude für einen Firstzusammenbruch (Schierstedt 1943) nur 0,3 %.

Firstzusammenbrüche (Tabelle 22):

Wie teilweise bereits aus der Gegenüberstellung der registrierten Bodenerschütterungen hervorgeht, sind Firstzusammenbrüche Vorgänge, die sich sowohl in ihrem Ablauf als auch in ihrer Gefährdung der Grubensicherheit prinzipiell von Gebirgsschlägen unterscheiden.

Firstzusammenbrüche können in Sylvinit- oder Hartsalzfeldern entstehen. Sie unterscheiden sich von Gebirgsschlägen vor allem durch anderes Pfeilermaterial, durch weitaus geringere Intensität und längere Zeitdauer der Bruchvorgänge, die lokal auch mit kleineren Schlägen verbunden sein können. Durch den wesentlich "sanfteren" und langsamer vor sich gehenden Bruch ist die im Bruchfeld evtl. tätige Belegschaft

in der Lage, sich rechtzeitig in Sicherheit zu bringen. Im Gegensatz zu Gebirgsschlägen werden bei großräumigen Firstzusammenbrüchen neben den Pfeilern vor allem die Firstschichten (unmittelbares Hangendes, vor allem Salztou über dem Flöz "Stoßfurt") von den Zerstörungen betroffen. Der Grad der Zerstörung ist schwächer, d.h. es entsteht allgemein Zerstörung durch Zerklüften und nicht, wie bei Gebirgsschlägen, Zerstörung durch Zersplittern.

7.2. Vergleich der Laborergebnisse mit den Zerstörungen
=====

in der Praxis und mit bisherigen Hypothesen über
=====

Gebirgsschläge
=====

Betrachtet man die für Gebirgsschläge und Firstzusammenbrüche typische Gesteinszerstörung und die trotz gleichartiger Bedingungen festgestellten Unterschiede im Zerstörungscharakter und vergleicht diese mit den beschriebenen gesteinsmechanischen Laborversuchen, so läßt sich eine prinzipielle Übereinstimmung feststellen. Dies trifft sowohl auf die in Kapitel 4 erläuterten Vorversuche als auch auf die serienmäßig durchgeführten Druckversuche zur Ermittlung von Schlaggefährlichkeitsgrad und Elastizitätsgrad zu. In den Bruchfeldern von Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen konnte das Bruchverhalten von verschiedenen Carnallitgesteinen, Hartsals, Sylvinit und Steinsalz beobachtet werden. Ein Vergleich mit Laborergebnissen ist also auch nur für diese Gesteine möglich. Die Hangendgesteine Anhydrit und Sandstein waren der Beobachtung nicht zugänglich, so daß eine Aussage über ihren Zerstörungsgrad bzw. über die Frage, ob sie überhaupt zerstört worden sind, nicht gemacht werden kann.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Second block of faint, illegible text in the upper middle section.

Large block of faint, illegible text occupying the lower half of the page.

Bei den Salzgesteinen lassen sich auf Grund der praktischen Erfahrungen und der Laboruntersuchungen zwei Gruppen unterscheiden:

- a) schlaggefährlich (Carnallitgesteine)
- b) nicht schlaggefährlich (Hartsalz, Sylvinit, Steinsalz).

In der folgenden Übersicht sind die Ergebnisse der Schlaggefährlichkeitsuntersuchungen und einige Beobachtungen über das Bruchverhalten zusammengestellt:

Gestein	S ^o	S ^x	E ^{o'}	Bruchverhalten		Gebirgsschlaggefährlichkeit
	%	%	%	in situ	im Labor	
Carnallit	100	16	100	Zersplittern	Zersplittern	gefährlich
Anhydrit	16	100	88	Unbekannt	Zersplittern	
Sandstein	22	55	86	Unbekannt	Zersplittern	
Hartsalz	0,2	0,01	32	Zerklüften	Zerklüften	nicht gefährlich
Steinsalz	0,0	0,00	14	Zerklüften (sehr gering)	Zerklüften	

Das Bruchverhalten der Gesteine, soweit es im Labor beobachtet wurde, bezieht sich selbstverständlich auf die eingehaltenen Versuchsbedingungen, die in den Kapiteln 4 und 6 angeführt sind.

Die im Folgenden beschriebenen Versuche sind im Jahre 1881
ausgeführt worden und sind in der Zeitschrift für
Bergbauwesen, Band 11, Seite 101, veröffentlicht.

1) Versuche über die Wirkung von Wasser auf
die Festigkeit von Gestein.

In dem Folgenden sind die Versuche beschrieben,
welche zur Bestimmung der Festigkeit von Gestein
unter dem Einflusse von Wasser ausgeführt wurden.

Versuchsnummer	Gesteinsart	Form	Festigkeit ohne Wasser		Festigkeit mit Wasser	
			Bruchlast	Bruchdruck	Bruchlast	Bruchdruck
1	Granit	Kugel	10000	100	8000	80
2	Granit	Kugel	12000	120	9000	90
3	Granit	Kugel	15000	150	11000	110
4	Granit	Kugel	18000	180	13000	130
5	Granit	Kugel	20000	200	14000	140
6	Granit	Kugel	22000	220	15000	150
7	Granit	Kugel	25000	250	17000	170
8	Granit	Kugel	30000	300	20000	200
9	Granit	Kugel	35000	350	23000	230
10	Granit	Kugel	40000	400	26000	260
11	Granit	Kugel	45000	450	29000	290
12	Granit	Kugel	50000	500	32000	320
13	Granit	Kugel	55000	550	35000	350
14	Granit	Kugel	60000	600	38000	380
15	Granit	Kugel	65000	650	41000	410
16	Granit	Kugel	70000	700	44000	440
17	Granit	Kugel	75000	750	47000	470
18	Granit	Kugel	80000	800	50000	500
19	Granit	Kugel	85000	850	53000	530
20	Granit	Kugel	90000	900	56000	560
21	Granit	Kugel	95000	950	59000	590
22	Granit	Kugel	100000	1000	62000	620
23	Granit	Kugel	105000	1050	65000	650
24	Granit	Kugel	110000	1100	68000	680
25	Granit	Kugel	115000	1150	71000	710
26	Granit	Kugel	120000	1200	74000	740
27	Granit	Kugel	125000	1250	77000	770
28	Granit	Kugel	130000	1300	80000	800
29	Granit	Kugel	135000	1350	83000	830
30	Granit	Kugel	140000	1400	86000	860
31	Granit	Kugel	145000	1450	89000	890
32	Granit	Kugel	150000	1500	92000	920
33	Granit	Kugel	155000	1550	95000	950
34	Granit	Kugel	160000	1600	98000	980
35	Granit	Kugel	165000	1650	101000	1010
36	Granit	Kugel	170000	1700	104000	1040
37	Granit	Kugel	175000	1750	107000	1070
38	Granit	Kugel	180000	1800	110000	1100
39	Granit	Kugel	185000	1850	113000	1130
40	Granit	Kugel	190000	1900	116000	1160
41	Granit	Kugel	195000	1950	119000	1190
42	Granit	Kugel	200000	2000	122000	1220
43	Granit	Kugel	205000	2050	125000	1250
44	Granit	Kugel	210000	2100	128000	1280
45	Granit	Kugel	215000	2150	131000	1310
46	Granit	Kugel	220000	2200	134000	1340
47	Granit	Kugel	225000	2250	137000	1370
48	Granit	Kugel	230000	2300	140000	1400
49	Granit	Kugel	235000	2350	143000	1430
50	Granit	Kugel	240000	2400	146000	1460
51	Granit	Kugel	245000	2450	149000	1490
52	Granit	Kugel	250000	2500	152000	1520
53	Granit	Kugel	255000	2550	155000	1550
54	Granit	Kugel	260000	2600	158000	1580
55	Granit	Kugel	265000	2650	161000	1610
56	Granit	Kugel	270000	2700	164000	1640
57	Granit	Kugel	275000	2750	167000	1670
58	Granit	Kugel	280000	2800	170000	1700
59	Granit	Kugel	285000	2850	173000	1730
60	Granit	Kugel	290000	2900	176000	1760
61	Granit	Kugel	295000	2950	179000	1790
62	Granit	Kugel	300000	3000	182000	1820
63	Granit	Kugel	305000	3050	185000	1850
64	Granit	Kugel	310000	3100	188000	1880
65	Granit	Kugel	315000	3150	191000	1910
66	Granit	Kugel	320000	3200	194000	1940
67	Granit	Kugel	325000	3250	197000	1970
68	Granit	Kugel	330000	3300	200000	2000
69	Granit	Kugel	335000	3350	203000	2030
70	Granit	Kugel	340000	3400	206000	2060
71	Granit	Kugel	345000	3450	209000	2090
72	Granit	Kugel	350000	3500	212000	2120
73	Granit	Kugel	355000	3550	215000	2150
74	Granit	Kugel	360000	3600	218000	2180
75	Granit	Kugel	365000	3650	221000	2210
76	Granit	Kugel	370000	3700	224000	2240
77	Granit	Kugel	375000	3750	227000	2270
78	Granit	Kugel	380000	3800	230000	2300
79	Granit	Kugel	385000	3850	233000	2330
80	Granit	Kugel	390000	3900	236000	2360
81	Granit	Kugel	395000	3950	239000	2390
82	Granit	Kugel	400000	4000	242000	2420
83	Granit	Kugel	405000	4050	245000	2450
84	Granit	Kugel	410000	4100	248000	2480
85	Granit	Kugel	415000	4150	251000	2510
86	Granit	Kugel	420000	4200	254000	2540
87	Granit	Kugel	425000	4250	257000	2570
88	Granit	Kugel	430000	4300	260000	2600
89	Granit	Kugel	435000	4350	263000	2630
90	Granit	Kugel	440000	4400	266000	2660
91	Granit	Kugel	445000	4450	269000	2690
92	Granit	Kugel	450000	4500	272000	2720
93	Granit	Kugel	455000	4550	275000	2750
94	Granit	Kugel	460000	4600	278000	2780
95	Granit	Kugel	465000	4650	281000	2810
96	Granit	Kugel	470000	4700	284000	2840
97	Granit	Kugel	475000	4750	287000	2870
98	Granit	Kugel	480000	4800	290000	2900
99	Granit	Kugel	485000	4850	293000	2930
100	Granit	Kugel	490000	4900	296000	2960

Die Versuche sind in der Zeitschrift für Bergbauwesen,
Band 11, Seite 101, veröffentlicht.

Die in diesem Kapitel angeführten Beobachtungen aus zwei Gebirgsschlaggruben über den Einfluß des Schlankheitsgrades von Pfeilern auf die Intensität der Zerstörung lassen sich in ihrer Tendenz mit den in Abschnitt 6.1.5.1 gebrachten Ergebnissen für die relative freiwerdende Energie E_v erklären. Beispielsweise haben im Vergleich zu Proben mit Schlankheit 1,0 die untersuchten Carnallitproben mit Schlankheit 0,5 etwa 20 mal so hohe Werte für E_v .

Die in dem vorliegenden Bande enthaltenen
 Aufsätze sind von den Herren Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.
 Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.

8. Mögliche Schlußfolgerungen für die Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr im Kalibergbau

In der Einleitung zu dieser Arbeit wurden die bisherigen Ansichten über die schlagende Schicht bei Gebirgsschlägen angeführt. Danach bestand bisher keine Einigkeit darüber, welcher Schicht man die Fähigkeit zur Abgabe der bei Gebirgsschlägen freiwerdenden Energie zuerkennen sollte. Zur Diskussion standen vor allem

- a) Hauptanhydrit (SPACKELER [1])
- b) Jüngeres Steinsalz (KEGEL [2])
- c) Carnallit (HÖFER [3] , GIMM und PFORR [4])

Aus den beschriebenen Versuchsergebnissen, insbesondere den Schlaggefährlichkeitsgraden S^0 und S^x sowie dem Elastizitätsgrad E^0 , lassen sich bezüglich dieser Streitfrage bzw. überhaupt zur Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr einige wichtige Schlußfolgerungen ziehen. Da die Untersuchungen an Gesteinsproben und nicht am Verband durchgeführt wurden, können diese Schlußfolgerungen nur begrenzt sein. Die vorgelegte Gesteinsklassifikation erlaubt aber bereits einige prinzipielle Hinweise, die für die praktische Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr von Nutzen sind.

8.1 Gebirgsschlaggefährlichkeit verschiedener strati-
=====

grafischer Horizonte
=====

Zunächst sei der Versuch unternommen, die im Labor erhaltenen Schlaggefährlichkeitswerte auf entsprechende stratigrafische Schichten zu übertragen.

Die ... der ...

In der ... der ...

- 1) ...
- 2) ...
- 3) ...

Die ... der ...

Die ... der ...

...

Die ... der ...

a) Hauptanhydrit

Wie die Werte für die relative freiwerdende Energie sowie für den einfachen Schlaggefährlichkeitsgrad ($S^X = 100 \%$) zeigen, ist der Hauptanhydrit grundsätzlich in der Lage, bei seinem Bruch große Energiemengen freizusetzen. Bezüglich der "absoluten" Energiemenge steht das Gestein Anhydrit an der Spitze aller untersuchten Gesteine. Die durch den komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad S^0 charakterisierte Gefährlichkeit ist jedoch weniger ausgeprägt ($S^0 = 16 \%$).

Prinzipiell muß der Hauptanhydrit (vgl. Bild 1) als schlaggefährlich betrachtet werden. Insofern wäre die frühere Lehrmeinung, sofern man sie auf das Flöz "Staufurt" einengt, in diesem Punkt als richtig zu betrachten. Es ist jedoch falsch, den Hauptanhydrit als die alleinige schlaggefährliche Schicht zu betrachten (siehe Carnallit).

Darüber hinaus ist das tatsächliche Bruchverhalten des Hauptanhydrits im Verband bis heute unbekannt. Inwieweit der Hauptanhydrit als Verband überhaupt schlaggefährlich sein kann, dürfte in starkem Maße von der Klüftigkeit dieser Schicht abhängen, die jedoch in Gebieten mit Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen nur sehr mangelhaft bekannt ist.

Mit Rücksicht auf die ungenügende Kenntnis der örtlichen Ausbildung der Hauptanhydritschicht und der in dieser Arbeit vorgelegten Ergebnisse, speziell der hohen Schlaggefährlichkeit des Carnallits, ist die Annahme naheliegend, daß bei den bisherigen Gebirgsschlägen im Flöz "Staufurt" der Hauptanhydrit gar nicht zum "Schlagen" im Sinne der früheren Meinungen gekommen ist.

Unterstützt wird diese Vermutung auch durch die Firstzusammenbrüche Schierstedt, wo ja ebenfalls Hauptanhydrit als Hauptangestricheltes ansteht. Zumindest läßt sich aber heute feststellen,

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

daß für die Erklärung der Herkunft der bei Gebirgsschlägen freigesetzten Energie die Annahme des Hauptanhydritbruchs nicht unbedingt erforderlich ist.

b) Steinsalz

Die beschriebenen Laboruntersuchungen lassen eindeutig den Schluß zu, daß Steinsalzsichten nicht als "schlagende" Schichten im Sinne des Zubruchgehens dieser Schicht gewirkt haben können. Alle für die Beurteilung der Schlaggefahrlichkeit der Gesteine herangezogenen Größen (S^0 , S^X und E^0) weisen das Steinsalz eindeutig als nicht schlaggefährlich aus. Es kann daher das jüngere Steinsalz und das obere Werrasteinsalz nicht als schlagende Schicht betrachtet werden (Bild 1).

c) Buntsandstein

Als Gestein ist Buntsandstein in die Gruppe der schlaggefährlichen Gesteine einzuordnen ($S^0 = 22 \%$; $S^X = 55 \%$). Da es im Kalirevier "Werra" einige relativ mächtige und kompakt ausgebildete Sandsteintänke in der Buntsandsteinschicht gibt, könnte der Buntsandstein auch als Verband gebirgsgefährlich sein. Diese Möglichkeit scheidet jedoch wegen des allzugroßen Abstandes zwischen Flöz "Hessen" und der Unterkante der Buntsandsteinschicht (ca. 200 m) aus.

d) Carnallit

Da sich alle echten Gebirgsschläge in Gruben oder Feldesteilen ereignet haben, in denen die Pfeiler ganz oder teilweise aus Carnallit bestanden, muß Carnallit als das für die Gebirgsschlaggefahr wichtigste Gestein angesehen werden. Da bei Gebirgsschlägen die Carnallitpfeiler in typischer

Das ist die erste Seite des Buches
die ich heute gelesen habe.
Ich finde es sehr interessant.

Die zweite Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.
Die dritte Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.

Die vierte Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.
Die fünfte Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.

Die sechste Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.
Die siebte Seite des Buches
ist ebenfalls sehr interessant.
Ich finde es sehr interessant.

Form durch Zersplittern zerstört wurden, liegt eine gute Vergleichsmöglichkeit zum Bruchverhalten von Carnallitproben vor. Die im Labor gewählten Belastungsbedingungen wurden so gewählt, daß eine hinreichende prinzipielle Übereinstimmung zwischen dem Zerstörungsgrad von Pfeilern und Proben gegeben war. Von den bergmännisch gewonnenen Salzgesteinen Carnallit, Hartsalz, Sylvinit und Steinsalz weist Carnallit die größten "absoluten Werte für die freiwerdende Energie auf. Da Carnallit gleichzeitig die relativ niedrigste Druckfestigkeit und den größten Energiezuwachs bei steigender Belastungsgeschwindigkeit hat, weist Carnallit den höchsten komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad ($S^0 = 100\%$) aller untersuchten Gesteine auf.

Der Carnallit der Kaliflöße "Staßfurt", "Thüringen" und "Hessen" (Begleitflöz) ist daher nach den bisherigen Versuchen als das gebirgsschlaggefährlichste Gestein des Kalibergbaus anzusehen. Vermutlich gibt es innerhalb verschiedener Carnallitarten noch gewisse graduelle Unterschiede in der Gefährlichkeit, die nach bisherigen Versuchen jedoch noch nicht genügend beurteilt werden können. Dem extremen Zerstörungsgrad des weißen Carnallits nach (Gebirgsschlage Merkers) ist anzunehmen, daß dieser auch besonders schlaggefährlich im Sinne des komplexen Schlaggefährlichkeitsgrades ist.

Ferner sollten bei der Einschätzung der Schlaggefährlichkeit des Carnallits die praktischen Beobachtungen und Ergebnisse für die relative freiwerdende Energie in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad der Pfeiler beachtet werden. Zunehmen der Schlankheitsgrad, Schmierschichten und steiles Einfallen wirken sich offensichtlich mildernd auf die Schlagintensität aus.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

e) Hartsalz

Die Zerstörung von Hartsalzpfeilern ist für Firstzusammenbrüche charakteristisch. Hartsalz kann als praktisch nicht schlaggefährlich betrachtet werden. Das zeigen makroskopische Beobachtungen beim Bruch von Pfeilern und Proben sowie entsprechende sehr niedrige Werte für die Schlaggefährlichkeitsgrade ($S^0 = 0,2 \%$ und $S^x = \text{etwa } 0 \%$).

8.2 Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr beim Kammerbau
=====

im Kalibergbau
=====

Auf Grund der beschriebenen Untersuchungen im Labor und der vergleichsweise herangezogenen praktischen Beobachtungen können vorläufig folgende allgemeine Thesen aufgestellt werden. Dabei werden bergtechnische Faktoren nicht berücksichtigt. Diese wurden in einer früheren Arbeit von GIMM und PFORR [4] ausführlich behandelt.

1. Gebirgsschläge können entstehen, wenn die Pfeiler aus einem schlaggefährlichen Material bestehen, wobei das Haupthangende keine schlaggefährliche Schicht zu sein braucht. (z.B. System Carnallit-oberes Werra-Steinsalz).
2. Sofern die Pfeiler aus einem nichtschlaggefährlichen Material bestehen (z.B. Hartsalz) und außerdem das Hangende nicht schlaggefährlich ist, kann es lediglich zu großräumigen allmählichen Firstzusammenbrüchen kommen (z.B. System Hartsalz-oberes Werra-Steinsalz).

3. Bestehen die Pfeiler aus nichtschlaggefährlichen Material und das Hangende ist schlaggefährlich, besteht grundsätzlich die Möglichkeit zu Gebirgsschlägen, sofern das Hangende als genügend kompakte und mächtige Schicht ausgebildet ist (z.B. System Hartsalz-Hauptanhydrit). Nach bisherigen Erfahrungen ist es in solchen Fällen nur zu Firstzusammenbrüchen gekommen (Schierstedt), so daß zumindest erwiesen ist, daß beim System Hartsalz-Hauptanhydrit es nicht unbedingt zu Gebirgsschlägen kommen muß, auch wenn entsprechende bergtechnische Bedingungen vorhanden sind.
4. Bei Vorhandensein von Carnallitpfeilern und Hauptanhydrit als Haupthangendes (System Carnallit - Hauptanhydrit) dürfte unabhängig vom Grade der Zerklüftung des Hauptanhydrits die Möglichkeit zu Gebirgsschlägen gegeben sein.

8.3 Hypothese über Ursachen und Mechanismus von Gebirgsschlägen im Kalibergbau
=====

In prinzipieller Bestätigung der von GIMM und PFORR [4, Seite 165] angeführten Meinung über Ursachen und Mechanismus von Gebirgsschlägen im Kalibergbau kann die Gebirgsschlaghypothese nach den in dieser Arbeit vorgelegten Ergebnissen wie folgt vertreten werden:

Gebirgsschläge bei dem im deutschen Kalibergbau üblichen Kammerbau werden durch zu starke Ausdehnung des Baufeldes oder durch falsche Abbauführung im Sinne der von NIEMCZYK [24] aufgestellten Gebirgsschlagsystematik verursacht. Die bei Gebirgsschlägen typische Zerstörung der Pfeiler durch Zersplittern ist eine Folge der Wechselwirkung zwischen

biegungssteifem Hangenden und Pfeilern mit gewisser Neigung zum Spröddbruch durch Zersplittern. Diese Neigung findet im komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad S^0 ihren Ausdruck. Danach ist als einziges Pfeilermaterial Carnallit als Gebirgsschlaggefährlich zu betrachten.

Obwohl an der Entstehung von Gebirgsschlägen sowohl Pfeiler als auch Hangendes beteiligt sind, muß angenommen werden, daß die freiwerdende Energie vor allem aus den Carnallitpfeilern selbst stammt. Als "schlagende Schicht" ist also das carnallitisch ausgebildete Flöz zu betrachten.

Die für die schlagartige Zerstörung der Carnallitpfeiler notwendigen kritischen Bedingungen im Sinne der Theorie der Gesteinszerstörung können durch schnelle Absenkung von ursprünglich sich biegungssteif verhaltenden Schichten durch Aufblättern in weniger biegungssteife Schichten bei Erreichen einer gewissen Baufeldgröße bzw. durch Fehler in der Abbauführung entstehen.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.

9. Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben im Kalirevier "Werra" einige Gebirgsschläge stattgefunden. Da dieses Revier früher als nicht gebirgsschlaggefährdet galt und die früheren Hypothesen über die Ursachen der Gebirgsschläge im Kalibergbau offensichtlich nicht geeignet waren, die Entstehung dieser Schläge zu erklären, wurden Laborversuche an Gesteinen aus Kaliflößen und deren Deckgebirge durchgeführt. Dabei wurde das Ziel verfolgt, die Gesteine nach ihrer Schlaggefährlichkeit zu klassifizieren, um hiermit einen Beitrag zu einer für die praktische Einschätzung der Gebirgsschlaggefahr wichtigen Frage, nämlich der sogenannten schlagenden Schicht, zu leisten. Es ging vor allem um die Frage, welche Schichten prinzipiell in der Lage sind, bei bestimmten, jeweils gleichen äußeren Bedingungen schlagartig zu Bruch zu gehen und damit als Lieferanten für die bei Gebirgsschlägen freiwerdenden Energiemengen angesehen werden können.

Zunächst werden Erkenntnisse aus der Theorie der Gesteinszerstörung angeführt, aus denen einige grundsätzliche Schlußfolgerungen für eigene Versuche zur Ermittlung der Schlaggefährlichkeit von Gesteinen gezogen werden. Der Einfluß von Hauptfaktoren (Steigerung der Belastungsgeschwindigkeit und plötzliche Änderung des Spannungszustandes) für die Zerstörung durch Zersplittern, die für Gebirgsschläge typisch ist, wird in Vorversuchen an verschiedenen Salzgesteinen überprüft mit dem Ergebnis, daß es offensichtliche Unterschiede im Bruchverhalten der Gesteine gibt.

In Auswertung der Theorie der Gesteinszerstörung, der Vorversuche sowie vor allem der in der Praxis in Bruchfeldern von Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen gemachten Be-

obachtungen werden die Versuchsbedingungen und die Versuchsmethode festgelegt.

Es galt, ein Maß für die Bruchheftigkeit der Gesteine zu finden bzw. festzustellen, inwieweit die Gesteine ihre Bruchheftigkeit bei Änderung der äußeren Bedingungen unterschiedlich ändern.

Um die Versuchsdurchführung nicht zu kompliziert werden zu lassen, wird der Belastungscharakter bzw. der Spannungszustand konstant gehalten und lediglich die Belastungsgeschwindigkeit bei einachsigen Druckversuchen unter einer hydraulischen Prüfmaschine variiert. Ziel der Untersuchungen an den Gesteinen Anhydrit, Sandstein, Carnallit, Hartsalz und Steinsalz ist die zahlenmäßige Feststellung ihrer Schlaggefährlichkeit, die vor allem von folgenden Faktoren abhängig ist:

- a) Größe der freiwerdenden Energie
- b) Verhältnis der freiwerdenden Energie zur Druckfestigkeit
- c) Änderung der freiwerdenden Energie bei gleichzeitiger Änderung der Be- oder Entlastungsgeschwindigkeit bzw. des Spannungszustandes.

Da bisher keine Methode bekannt ist, die beim Bruch der Gesteine freiwerdende Energie in ihrer absoluten Größe zu messen, werden relative Werte hierfür mittels einer seismoakustischen Methode ermittelt, die ausführlich beschrieben wird. Gleichzeitig wird die Druckfestigkeit der Gesteine festgestellt. Da es bisher keine allgemeine Definition des Begriffes "Schlaggefährlichkeit" gibt, werden zwei verschiedene Schlaggefährlichkeitsgrade (S^0 und S^x) vorgeschlagen, wobei der komplexe Schlaggefährlichkeitsgrad S^0 für sinnvoller gehalten wird.

In Ergänzung zur Ermittlung der im einzelnen angegebenen Schlaggefährlichkeitsgrade wird der Elastizitätsgrad E^0 zur Beurteilung der Schlaggefährlichkeit der untersuchten.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Gesteine herangezogen und festgestellt, daß seine Aussagefähigkeit in etwa dem einfachen Schlaggefährlichkeitsgrad S^X entspricht.

Die Ergebnisse erlauben eine Klassifizierung der Gesteine in schlaggefährliche (Carnallit, Anhydrit, Sandstein) und nicht schlaggefährliche (Hartsalz, Steinsalz).

Es wird versucht, diese Ergebnisse zu einer Einschätzung der prinzipiellen Gebirgsschlaggefahr im Kalibergbau auszuwerten, wobei praktische Erfahrungen und Beobachtungen berücksichtigt werden. Die früheren Hypothesen über Ursachen und Mechanismus der Gebirgsschläge im Kalibergbau werden anhand der neuen Ergebnisse kritisch untersucht.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

10. Literaturverzeichnis

- [1] SPACKELER, G.: Lehrbuch des Kali- und Salzbergbaues, Verlag Wilhelm Knapp, Halle 1957
- [2] KEGEL, K.: Die Gebirgsschlaggefahr im Kalisalzbergbau, Bergakademie 9 (1957), S. 473-478
- [3] HÖFER, K.-H.: Versuch einer Deutung des Gebirgsschlages im Kaliwerk Heringen, Bergakademie 10 (1958), S. 365-368
- [4] GIMM, W. u. PFORR, H. : Gebirgsschläge im Kalibergbau unter Berücksichtigung von Erfahrungen des Kohlen- und Erzbergbaues, Freiburger Forschungshefte A 173 (1961), S. 1 - 190
- [5] KVAPIL, R.: Natürliche Gesteinszerstörung und über den Mechanismus der Gesteinszerstörung durch Zersplittern bei Gebirgsschlägen, Freiburger Forschungshefte A 156 (1961), S. 1 - 124
- [6] SPACKELER/GIMM/
HÖFER/DUCHROW : Neue Erkenntnisse über Gebirgsschläge im Kalibergbau, Vortrag G 5 zum Internationalen Kongreß für Gebirgsdruckforschung, Mai 1960 in Paris, Revue de l' Industrie Minerale, Seite 583-603 (deutscher Text)

- [7] RODATZ, G.: Die Frage des Spülversatzes,
Zeitschrift Kali, Verlag W. Knapp,
Halle 1914
- [8] SCHMIDT, W.: Gesteinsfestigkeit im Bergbau,
Kali, verwandte Salze und Erdöl
37. (1943), S. 73-77 und 97 - 100
- [9] HÖFER, K.-H.u.
PICKERT, W.: Untersuchungen über das Festigkeitsver-
halten von Carnallit - Kriechversuche
und zügige schnelle Belastung -
Bergakademie 12 (1960), S. 370-376
- [10] DENKHAUS, H.G.: Über die Bedeutung einiger Eigenschaften
des Gesteins für das Problem der Ge-
birgsschläge in Gruben großer Teufe,
Internationale Gebirgsdrucktagung Leip-
zig 1958, Akademie-Verlag Berlin 1958,
S. 19-28
- [11] BITSCH, J.A.u.
PEDOTOV, A.P.: Die wichtigsten Eigenschaften von Kohlen-
flözen, die deren Neigung zu Gebirgs-
schlägen bestimmen
(Osnovnye svoistva ugol'nych plastov,
opredeljajuščije ich sklonostj k
gornym udaram),
Ugol (1961), Heft 1, Seite 31-34
- [12] ERLER, W.: Schwingungsmeßgeräte mit piezoelektri-
schen Aufnehmern,
Wissenschaftl. Zeitschrift der Universi-
tät Rostock, Mathem.-Naturwissenschaftl.
Reihe 10 (1961), S. 389-390

- [13] DREYER, W. u.
BORCHERT, H.: Kritische Betrachtungen zur Prüf-
körperformel von Gesteinen,
Bergbautechnik 12 (1962), S.265-272
- [14] DREYER, W. u.
BORCHERT, H.: Ähnlichkeitsmechanik,
Bergbauwissenschaften 9 (1962),
S.356-361
- [15] DREYER, W.: Über die Bruchfestigkeit mono - und
polykristallinen Gesteins in Abhängig-
keit von Prüfkörperform, Belastungs-
geschwindigkeit und Art der Ein-
spannung,
Bergbauwissenschaften 5 (1958),
S. 15 - 22
- [16] GRÍŠKOVA, N.P.: Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit
von der Größe und Form der Proben,
Sammelband „Mechanische Eigenschaften
der Gesteine“, S. 71-83
- [17] GIMM, W.: Niederschrift über die 1. Sitzung der
Arbeitsgruppe „Festigkeitsuntersuchun-
gen“ des Internationalen Büros für
Gebirgsmechanik, 22. - 25.3.1961 in
Prag (unveröffentlicht)
- [18] KÖNIG, H,
PFORR, H. und
KRAUSE, A. : Bericht über eine Studienreise in die
Sowjetunion vom 24.4. - 21.5.1962,
Seite 1 - 74 (Arbeitsstelle für Geo-
mechanik der Deutschen Akademie der
Wissenschaften zu Berlin, Freiberg/Sa.)

- [19] ROTTER, D.: Vortrag über Untersuchungen mit der Eigenimpulsmethode, Aspirantenkolloquium am Institut für Angewandte Geophysik der Bergakademie Freiberg, Dezember 1962
- [20] AVERŠIN, S.G.
PETUCHOV, J.M.,
KOZOV, B.V. u.
BUDKOV, V.E.: Kampf gegen Gebirgsschlaggefahren in den Gruben der UdSSR, Ugol (1962), Heft 8, Seite 22-30
- [21] STÄCKE, K. und BORCHERT, H.: Fließgrenzen von Salzgesteinen und Salztektunik, Kali, verwandte Salze und Erdöl 30 (1936), S. 191-194; 204-207; 214-217
- [22] WOHLBIER, H.: Untersuchungen an Gesteinen der Zechsteinformation zur Klärung von Gebirgsdruckfragen im Mansfelder Kupferschieferbergbau und im Kalibergbau, Kali, verwandte Salze und Erdöl 25 (1931), S. 167 ff.
- [23] DUCHROW, G.: Vorläufiger Bericht über den Gebirgsschlag in der Kaligrube "Ernst Thälmann" II/III in Merkers, Vortrag zur 2. Arbeitstagung der Fachsektion „Kalibergbau“ der GDBH am 6.3.1959
- [24] NIMMCZYK, O.: Bergschadenkunde, Verlag Glückauf, Essen 1949

- [25] WITZEL, M.: Diplomarbeit am Institut für Bergbaukunde, Freiberg 1962
- [26] KARL, R.: Melde- und Diplomarbeit am Institut für Bergbaukunde, Freiberg 1961 und 1962
- [27] ENDERLEIN, A.: Meldearbeit am Institut für Bergbaukunde, Freiberg 1961
- [28] GRIESCHE, G.: Meldearbeit am Institut für Bergbaukunde, Freiberg 1962

11. Bildverzeichnis

- 1 Stratigrafische Profile des Deckgebirges von:
Flöz "Staufurt" (Schacht Teutschenthal; Gebirgsschlag Krügershall 1940) und
Flöz "Thüringen" und Flöz "Hessen" (Bohrloch "Kesselbrücke"; Gebirgsschlag Merkers 1958)
- 2 Schema von Verformungskurven im Spannungs-Stauchungsdiagramm bei zunehmender Belastungsgeschwindigkeit v_b , nach KVAPIL [5]
 $v_1 < v_2 < v_3 \dots$
 σ_E = Elastizitätsgrenze
 σ_D = Druckbruchspannung
- 3 Schematische Darstellung des Deformationscharakters und der Speicherungsfähigkeit von potentieller Spannungsenergie in Abhängigkeit vom Belastungscharakter (Symbole I-V) [5]
- 4 Ansicht eines im Stahldrucktopf durch plötzliche einseitige Entlastung zerstörten Carnallitwürfels (entspricht etwa Übergang von Symbol I in Symbol 5 in Bild 3)
- 5 Wie Bild 4, jedoch Steinsalzwürfel, der im Gegensatz zum Carnallitwürfel nicht zerstört wurde
- 6 Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit
- 7 Ergebnisse der Siebanalysen von zwei Steinsalzprobekörpern, die bei unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit v_b zerstört wurden
A. $v_b = 2 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$
B. $v_b = 150 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$
- 8 Versuchsanordnung bei Schlagversuchen (1. Serie)

- 9 Kritische Fallenergie E_{krit} und die in Nähe des kritischen Fallenergiebereichs gemessene Kraft für verschiedene Gesteine
- 10 Vergleich der Zerstörungsbilder von Probe und Pfeiler (Hartsalz)
a) bei $7 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ zerstörte Hartsalzprobe
b) bei Firstzusammenbruch Schierstedt 1955 zerstörter Hartsalzpfeiler
- 11 Vergleich der Zerstörungsbilder (Carnallit)
a) bei $7 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ zerstörte Carnallitprobe
b) bei Gebirgsschlag Krügershall 1940 zerstörter Carnallitpfeiler
- 12 Ansicht der bei Aufnahme der Schwingungen verwendeten Geräte einschließlich Schaltschema
- 13 Ansicht der beim Abspielen der Tonbandaufzeichnungen verwendeten Geräte einschließlich Schalt-schema
- 14 Ansicht der Zugdruckprüfmaschine ZD 40 Mp
- 15 Ankopplung des Schwingungsaufnehmers KD 2 neben einer Sandsteinprobe
- 16 Schema zum Aufbau des piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers, nach ERLER [12]
- 17 Blockschaltbild des Integrierverstärkers IV-1
- 18 Blockschaltbild "Aufnahme der Schwingungen"
- 19 Blockschaltbild "Abspielen der Schwingungen"
- 20 Blockschaltbild "Richtung des Integrierverstärkers"
- 21 Blockschaltbild "Bestimmung des Übertragungsmaßes U"
- 22 Störschwingungen der Prüfmaschine ZD 40 Mp bei jeweils konstanter Belastung
- 23 Blockschaltbild "Frequenzanalyse"

- 24 Ergebnisse von Frequenzanalysen für die beim Gesteinsbruch an der Presse erzwungenen Schwingungen und für Störschwingungen bei konstanter Belastung von 5 Mp
- 25 Messung der Rückprallhöhe beim Kugelfallversuch
- 26 Blockschaltbild zur Ableitung der Auswerteformel (9)
- 27 Beispiele von Oszillogrammen (mit Angabe der Gruppen- und Proben-Nummer)
- 28 Durch Schlitzbohren gewonnene Gesteinsblöcke aus Trümmercarnallit
- 29 Zylindrische Proben aus Trümmercarnallit (45 bis 89 mm Durchmesser)
- 30 Relative freiwerdende Energie E_f und mittlere Fehler vom Mittelwert $\overline{E_f}$ für die Gesteinsgruppen
- 31 Relative freiwerdende Energie E_v und Druckfestigkeit σ_D bei verschiedenen Schlankheitsgrad $h : d$
- 32 Einfluß der Endflächenschmierung auf E_v und σ_D am Beispiel von Anhydritproben
- 33 Schematische Darstellung von Einflußfaktoren auf die Druckfestigkeit verschieden großer Proben, nach PROTODJAKONOV, aus [17]
- 34 relative freiwerdende Energie E_f und Bruchlast P in Abhängigkeit vom Gesteinsvolumen V bei Schlankheitsgrad 1
- 35 E_v und σ_D in Abhängigkeit vom Gesteinsvolumen bei Schlankheitsgrad 1
- 36 Vergleichende Darstellung von E_v und σ_D für die untersuchten Gesteine

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

- 37 Charakteristische Abhängigkeit der freiwerdenden Energie E_f von der Belastungsgeschwindigkeit v_b für die untersuchten Gesteinstypen (Schema)
- 38 wie Bild 37, jedoch tatsächlich gemessene Werte für Gesteinsproben mit Schliankheitsgrad 1 (außer Gruppe 9/31)
- 39 Darstellung der Energiezuwachsrates
- 40 Vergleich der Energiezuwachsrates mit entsprechender Druckfestigkeit verschiedener Gesteinsgruppen
- 41 Schlaggefährlichkeitsgrade S^0 der untersuchten Gesteine (Mittelwerte jeweils aller Gruppen einer Gesteinsart)
- 42 Last-Stauchungsdiagramme von schlaggefährlichen (Carnallit und Anhydrit) und nicht schlaggefährlichen Gesteinen (Steinsalz)
- 43 Spannungs-Stauchungsdiagramme von Kohlenproben aus schlaggefährlichen (a und b) und nicht schlaggefährlichen Flözen (c und d), nach BITSCH und FEDOPOV [11]
- 44 Vergleichende Darstellung vom einfachem und komplexen Schlaggefährlichkeitsgrad S^x und S^0 sowie Elastizitätsgrad s^0
- 45 Beispiele zum Beweis der Ansicht, daß bei Gebirgsschlägen die Pfeiler zerstört werden, die Firste jedoch unzerstört bleibt
 a) Schematischer Grundriß eines Streckenkreuzes im Gebirgsschlagfeld Krügershall (Kreuzungsmitte ist frei von herausgeschleudertem Material)

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

b) Ansicht einer unzerstörten Streckenfirste
in unmittelbarer Nachbarschaft von zerstör-
ten Carnallitpfellern (Aufnahme 1962 im
Gebirgsschlagfeld Krügershall 1940)

46 Von Hartsalzabbauen umgebene Schlagzone in einer
Carnallitinsel, obere Sohle der Grube "Ernst
Thälmann 11/III" (Gebirgsschlag Merkers 1958),
nach DUCHROW [23]

47 Seismogramme (NS-Komponente), aufgenommen von
der Erdbebenwarte Jena

a) Firstzusammenbruch Schierstedt 1943

b) Gebirgsschlag Merkers vom 29.6.1961

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

12. Tabellenverzeichnis

- 1 Mittlere Druckfestigkeit von Gesteinen des Kalibergbaus
- 2 Angaben über Art und Herkunft der für Schlagversuche verwendeten Gesteine
- 3 Typische Gesteinzerstörungen an Pfeilern beim Gebirgsschlag Merkers 1958
- 4 Amplitudenquadrate verschiedenartiger Gesteine, die an einer Hebelpresse zerstört wurden (Aufnahme mit "Smaragd")
- 5 Übersicht über im Text verwendete Formelzeichen und Formeln
- 6 Mittlere Übertragungsmaße U für die verwendeten Tonbänder
- 7 Relative freiwerdende Energie E_f für die Einzelproben
- 8 Angabe der zur Berechnung der Stoßgeschwindigkeit v_f erforderlichen Größen
- 9 Mittelwerte für die relative freiwerdende Energie E_f
- 10 Druckfestigkeit σ_D und auf das Volumen bezogene Bruchlast P_V für die Einzelproben
- 11 Einfluß des Schlankheitsgrades $h : d$ und der Endflächenschmierung auf die relative freiwerdende Energie E_V
- 12 Relative freiwerdende Energie und Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Gesteinsvolumen bei Schlankheitsgrad 1
- 13 Angaben zur Ermittlung des einfachen Schlaggefährlichkeitsgrades S^x
- 14 Relative freiwerdende Energie als Funktion der Belastungsgeschwindigkeit v_b für Gesteinsgruppen mit jeweils gleichem Schlankheitsgrad und gleichem Gesteinsvolumen

- 15 Ermittlung der Energiezuwachsrate $\frac{\Delta E_V}{\Delta v_b}$ für Gesteinsproben mit Schlankheitsgrad 1
- 16 Ermittlung des komplexen Schlaggefährlichkeitsgrades S^0 für alle untersuchten Gesteinsgruppen
- 17 Mittlere mineralogische Zusammensetzung und relative freiwerdende Energie E_V
- 18 Art und Herkunft der zur Ermittlung des Elastizitätsgrades ϵ^0 untersuchten Gesteine
- 19 Elastizitätsgrad ϵ^0 für Gesteine des Kalibergbaus bei Messung der Stauchung nur in Probenmitte
- 20 Wie Tabelle 19, jedoch Stauchungsmessung über gesamte Probenhöhe
- 21 Elastizitätsgrade ϵ^0 für Gesteine aus verschiedenen Bergbauzweigen, nach Literaturangaben
- 22 Charakteristische Angaben über Bruchverhalten von Gesteinen und Bodenerschütterung bei Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen

Tabelle 1: Mittlere Druckfestigkeit der untersuchten Gesteine des Kalibergbaus bei Belastungsgeschwindigkeiten von ca. 2 - 10 kp/cm² . s

Lfd. Nr.	Kalirevier	Grube bzw. Tiefbohrung	Gestein	Druckfestigkeit (kp/cm ²)
1	Werra	Marx-Engels, Flöz "Thüringen"	Trümmer-carnallit	100 - 200
2		Völkershäusen 3, Frauensee 3, Kieselbach	Oberes Werrasteinsalz	325
3		wie 2	Mittl. Werrasteinsalz	320
4		Marx-Engels, Flöz Hessen	Hartsalz	260 - 407
5		Menzengraben, Flöz Thüringen	Sylvinit	250 - 260
6	Südharz	Nohra 6	Hauptanhydrit	530 - 555
7		Nohra 6	Leinesteinsalz	304
8		Nohra 6	Decksteinsalz	386
9	Mitteldeutschland	Berlepsch - Maybach	Hauptanhydrit	510 - 633
0		Teutschenthal (ca. 2 - 4 m oberhalb der 10. Unstrutbank)	Grauer Carnallit	84 - 122
1		Neustaßfurt VI (zwi. Leitbank L u. P)	Carnallit	96 - 146
2		Berlepsch-Maybach (Pallasbank/ Zähelage)	Carnallit	164

Tabelle 2: Angaben über Art und Herkunft der für Schlagversuche verwendeten Gesteine

Gruppe	Gesteinsbezeichnung
I	Buntsandstein der Tfb. Sünna 1 (Werragebiet)
II	Hauptanhydrit der Tfb. Nohra 6 (Südharz)
III	Hartsalz, Grube Marx-Engels, Flöz Hessen
IV	Sylvinit, Grube Menzengraben, Flöz Thüringen
V	Steinsalz, Grube Marx-Engels, unterste Partie des mittleren Werrasteinsalzes
VI	Steinsalz, Tfb. Nohra 6, Jüngeres Steinsalz
VII	Steinsalz, Tfb. Frauensee 3, Oberes Werrasteinsalz
VIII	Carnallit, Grube Teutschenthal, mittlerer Lager- teil des Flözes Staßfurt a) Block 1: grobkristalline Struktur, starke Wech- sellagerungen, vor allem tachhydritreiche Schich- ten mit Toneinlagerungen; Abbau 137 (2 m ober- halb der 10. Unstrutbank); bergmännisches Alter ca. 1,5 Jahre b) Block 2: grauer, tachhydrithaltiger Carnallit, gleichmäßige Lagerung, Abbau 137 (1,6 m ober- halb der 10. Unstrutbank); bergmännisches Alter ca. 1,5 Jahre

Tabelle 3: Typische Gesteinszerstörungen an Pfeilern
beim Gebirgsschlag Merkers vom 8.7.1958

	Gestein	Charakter der Zerstörungen	
1	Weißer Carnallit (etwa 90 % Carnal- litanteil)	Pfeiler völlig zu Hauf- werk mit verschiedener Stückgröße zerstört, zum großen Teil pulveri- siert	Zerstörung durch Zer- splittern
2	Brekziöser Carnallit (50-70 % Carnallit- anteil)	wie 1, zum Teil pulverisiert	
3	Kieseritisches Hartsalz	Pfeiler teilweise zer- klüftet längs unregel- mäßiger, zum Teil ober- flächenparalleler Rißbildungen	Zerstörung durch Zerklüften
4	Kieseritarmes Hartsalz	Charakter wie bei 3, jedoch schwächer zerstört	
5	Sylvinit		
6	Steinsalz	nur sehr geringe Zer- störungen, unregel- mäßige Risse in großen Abständen	

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

Die Untersuchungen wurden in der Zeit vom ... bis ... durchgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 1 wird die ...

Tabelle 4

Vergleich der mittleren Amplitudenquadrate $\frac{1}{f}^2$ von Gesteinsprobenbrüchen, aufgenommen an einer mechanischen Presse mit Tonbandgerät "Sonaragd" und Schwingungsaufnehmer KD 2

Tabelle 4

Gestein	$\frac{1}{f}^2$	$\frac{1}{f}^2$
	mm ²	°
Massiger Sandstein	900	100
Gipshaltiger Anhydrit	850	94
Erekziöser Carnallit	800	79
Hartsalz	100	11

Zusammenstellung wichtiger Formelzeichen
(alphabetische Reihenfolge) sowie der Formeln

a	Beschleunigung der Schwingung (m/s^2)
a-Bereich	Am Integrierverstärker eingestellter Bereich für die Beschleunigung a
B_a	Empfindlichkeit des Beschleunigungsaufnehmers KD^2 ($mV/m/s^2$)
D	Konstante Dämpfung des Tiefpassfilters
d	Durchmesser des zylindrischen Probekörpers (mm)
E_f	Relative freiwerdende Energie ($kpm \cdot 10^{-6}$)
E_v	Spezifische relative freiwerdende Energie ($10^{-6} kpm/cm^3$)
$\frac{\Delta E_v}{\Delta v_b}$	Energiezuwachsrate bei steigender Belastungsgeschwindigkeit
E_{krit}	Kritische Fallenergie bei Schlagversuchen (kpm)
E_{Fall}	Aufgewendete Energie bei Kugelfallversuch (kpm)
E^0	Elastizitätsgrad (%)
E_{MST}	Empfindlichkeit der Meßschleife (mm/V)
F	Korrekturfaktor in Formel (10)
F_0	Ursprünglicher Probenquerschnitt (cm^2)
G_K	Gewicht der Kugel (p)
h	Höhe der zylindrischen Probekörper (mm)
h_K	Fallhöhe der Kugel (mm)

Handwritten text in a rectangular box, likely a title or header, which is mostly illegible due to fading.

Main body of handwritten text, consisting of several lines of script that are extremely faint and difficult to decipher.

h_R	Rückprallhöhe der Kugel (mm)
l_f	Erste Doppelamplitude der Geschwindigkeitsschwingung, ausgemessen im Oszillogramm (mm)
l_{eff}	Effektive Doppelamplitude (mm)
Δl_{el}	Elastische Rückverformung nach Entlastung der Druckprobe (mm)
Δl_{ges}	Gesamte vertikale Verformung im Moment der Zwischenentlastung (mm)
m	Bewegliche Masse der Prüfmaschine ZD 40 Mp = 508,4 kg
m'	Bewegliche Masse der ZD 40 einschließlich Meßkäfig = 525,2 kg
P	Bruchlast bei Druckversuchen an Proben (kp)
P_V	Auf das Volumen bezogene Bruchlast (kp/cm ³)
S^x	Einfacher Schlaggefährlichkeitsgrad von Gesteinen (%)
S^o	Komplexer Schlaggefährlichkeitsgrad von Gesteinen (%)
T	Zeitdauer für eine Periode (s)
U	Spannung (mV)
U_A	Ausgangsspannung am Magnetbandgerät
U_E	Eingangsspannung am Magnetbandgerät
U	Übertragungsmaß des Tonbandes
V	Volumen der zylindrischen Proben (cm ³)
V_u	Verstärkung beim Überspielen der Tonbandaufzeichnungen; Umrechnung von (dB) auf dimensionslose Größen nach Formel (2):

1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...
21	...
22	...
23	...
24	...
25	...
26	...
27	...
28	...
29	...
30	...
31	...
32	...
33	...
34	...
35	...
36	...
37	...
38	...
39	...
40	...
41	...
42	...
43	...
44	...
45	...
46	...
47	...
48	...
49	...
50	...
51	...
52	...
53	...
54	...
55	...
56	...
57	...
58	...
59	...
60	...
61	...
62	...
63	...
64	...
65	...
66	...
67	...
68	...
69	...
70	...
71	...
72	...
73	...
74	...
75	...
76	...
77	...
78	...
79	...
80	...
81	...
82	...
83	...
84	...
85	...
86	...
87	...
88	...
89	...
90	...
91	...
92	...
93	...
94	...
95	...
96	...
97	...
98	...
99	...
100	...

Tabelle 5
(Blatt 3)

dB	10	20	30	40	50	60
$\frac{U_A}{U_E}$	3,16	10	31,62	100	316,2	1000

v-Bereich Am Integrierverstärker eingestellter Geschwindigkeitsbereich (mm/s)

v_f Geschwindigkeit (Schnelle) von Schwingungen
(10^{-3} m/s)

v_b Belastungsgeschwindigkeit (Lastzunahme)
($\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$)

σ'_D Druckfestigkeit zylindrischer Proben bei verschiedener Belastungsgeschwindigkeit (Mittelwert) (kp/cm^2)

Verzeichnis der Formeln

$$(1) \quad B_a = \frac{U_L}{a} \quad (\text{mV} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2)$$

$$(2) \quad v_u = 20 \lg \frac{U_A}{U_E}$$

$$(3) \quad E_f = \gamma_2 m v_f^2 \quad (\text{kpm} \cdot 10^{-6})$$

$$(4) \quad a_{\text{eich}} = \frac{U_{\text{eich}}}{B_a} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$(5) \quad U = \frac{U_{1V} \cdot a_{\text{eich}}}{a\text{-Bereich}} \quad (\text{mV})$$

$$(6) \quad U = \frac{U_A}{U_E}$$

$$(7) \quad E_{\text{Fall}} = G_K \cdot (h_K - h_R) \quad (\text{kpm})$$

$$(8) \quad U_{\text{eich}} = 1V \frac{a_{\text{eich}}}{a\text{-Bereich}} \quad (\text{V})$$

$$(9) \quad v_f = \frac{v\text{-Bereich}}{1 \text{ (Volt)}} \cdot \frac{\gamma_2 l_f}{U \cdot v_u \cdot E_{\text{MST}}} \quad (\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$$

178

Integration der Potenzen

$$\int (a + bx)^n dx = \frac{(a + bx)^{n+1}}{b(n+1)} + C \quad (1)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^n} dx = \frac{(a + bx)^{-n+1}}{b(-n+1)} + C \quad (2)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^2} dx = -\frac{1}{a + bx} + C \quad (3)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^3} dx = -\frac{1}{2(a + bx)^2} + C \quad (4)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^4} dx = -\frac{1}{3(a + bx)^3} + C \quad (5)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^5} dx = -\frac{1}{4(a + bx)^4} + C \quad (6)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^6} dx = -\frac{1}{5(a + bx)^5} + C \quad (7)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^7} dx = -\frac{1}{6(a + bx)^6} + C \quad (8)$$

$$\int \frac{1}{(a + bx)^n} dx = \frac{(a + bx)^{-n+1}}{b(-n+1)} + C \quad (9)$$

$$(10) \quad v_f = \frac{D \cdot \sqrt{2} l_f \cdot v\text{-Bereich}}{1 \text{ Volt} \cdot \theta \cdot v_U \cdot F \cdot E_{MST}} \quad (\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$(11) \quad l_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^{2T} l^2 dt} \quad (\text{mm})$$

$$(12) \quad E_V = \frac{E_f}{V} \quad (10^{-6} \text{ kpm/cm}^3)$$

$$(13) \quad \sigma_D = \frac{P}{F_0} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

$$(14) \quad M = \frac{\sum x_1}{n}$$

$$(15) \quad \bar{m}_M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$$

$$(16) \quad S^x = \frac{\left(\frac{E_V}{\sigma_D}\right) \text{Gestein}}{\left(\frac{E_V}{\sigma_D}\right) \text{max. Gestein}} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$(17) \quad \text{tg } \alpha = \frac{\Delta E_V}{\Delta v_b}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (1)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (3)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (4)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (5)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (6)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (7)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = r(x) \quad (8)$$

$$(18) \quad S^0 = \frac{\left(\frac{\Delta E_V}{\Delta v_b} / \sigma_D' \right) \text{Gestein}}{\left(\frac{\Delta E_V}{\Delta v_b} / \sigma_D' \right) \text{max.Gestein}} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$(19) \quad E^0 = \frac{\Delta l_{el}}{\Delta l_{ges}} \cdot 100 \quad (\%)$$

1875

$$(1) \quad \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) = \frac{a}{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \left(\frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) = \frac{b}{a^2 + b^2}$$

$$(2) \quad \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2)$$

Tabelle 6

Mittlere Übertragungsmaße \bar{U} für die einzelnen Tonbänder
und Gesteinsproben

Probe-Nr.	Band-Nr.	Übertragungsmaß
1 - 31	1	0,600
32 - 129	2	0,623
130 - 207	3	0,553
208 - 320	4	0,596
321 - 380	5	0,642
381 - 437	6	0,480
438 - 449	7	0,700
450 - 478	3	0,575

Tabelle 7

Freiwerdende Energie E_f für die einzelnen Gesteinsproben

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v_b [kp/cm ² · s]	v_f^2 [m ² · s ⁻² · 10 ⁻⁶]	E_f [kpm · 10 ⁻⁶]
1	11	Anhydrit-Ber- lepsch	56,4	497	128 900
	27		1,0	7 056	184 000
	28		7,5	8 864	223 600
	29			3 856	99 530
	360			8 363	223 600
	362			14 544	376 988
	369			9 516	246 656
	371			16 448	426 332
	375			11 979	310 504
2	10	Anhydrit Nohra 6	56,4	34	887
	60		1,0	138	3 573
	61		7,5	387	10 020
	62			689	178 500
	63			1 208	31 230
	64			2 110	56 400
	65			4 185	108 600
	66			1 370	36 600
	67			2 220	59 250
	68			1 534	41 000
	70			1 553	40 250
				51 483	
3	13	Sandstein - Sinna	56,4	10 480	266 000
	14		1,0	18 220	469 500
	30		7,5	4 740	122 700
	31			5 855	151 800
4	191	Trümmernallit M-E	44,8	164	4 260
	192		1,0	36	932
	194		7,5	52	1 347
	199			64	1 632

Tabelle

Die folgenden Tabelle zeigt die Ergebnisse der Messungen

Nr.	Ort	Temperatur	Windrichtung	Windstärke	Wetter
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v _b [kp/cm ² ·s]	v _f ² [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E _f [kp·m ² ·10 ⁻⁶]
5	1	Trümmercarnallit M-E	56,4	103	2 650
	52		1,0	49	1 272
	55		7,5	44	1 147
	57			118	3 044
	58			52	1 345
	70			28	730
	72			68	1 820
	74			15	401
	75			35	945
	76			21	567
	77			24	630
	183			125	3 236
	185			277	7 183
	188			196	5 080
6	104	Trümmercarnallit M-E	71,5	1 284	33 230
	105		1,0	1 327	34 000
	106		7,5	1 018	26 340
	107			1 132	30 220
	108			2 540	67 750
	109			3 140	83 800
	110			1 452	33 880
	172			351	9 090
	173			157	4 100
	175			1 230	31 420
	176			264	6 840
	177			264	6 840
	178			625	16 180
	180			1 510	39 060
	181			1 096	29 220
182		906	25 620		
				29 849	
7	121	Trümmercarnallit M-E	81,4	452	11 700
	122		1,0	1 673	43 300
	123		7,5	1 050	27 195
	124			2 336	60 440
	125			282	7 525
	126			1 815	48 500
	128			451	12 020
	155			1 918	49 580
	156			1 860	48 180
	157			76	1 970
	158			1 610	41 700
	159			1 709	44 220
	160			625	16 180
	162			2 620	67 920
	163			827	21 400
				33 456	

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v _D [kp/cm ² ·s]	v _F ² [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E _F [kpm·10 ⁻⁶]
8	145	Trümmercarnallit M-E	89,0	2 690	67 500
	146		1,0	1 030	26 650
	147		7,5	100	2 592
	148			723	19 300
	150			2 375	63 400
	151			2 505	66 900
	152			368	9 820
	153			2 444	65 400
					40 195
9	261	Trümmercarnallit M-E	89,0	5 242	135 865
	262		0,5	3 249	84 217
	264		7,5	4 747	123 047
	265			2 862	74 188
	266			2 878	74 603
					98 384
10	130	Trümmercarnallit M-E	102,5	1 933	50 000
	131		0,5	22 620	586 200
	132		7,5	289	7 465
	133			2 025	52 500
	134			20 860	540 060
	136			63 000	1 630 800
	137			59 200	1 532 000
	139			59 200	1 532 000
	140			18 930	490 000
	142			11 330	293 500
					671 423
11	349	Trümmercarnallit M-E	60,7	77,44	2 007
	353		0,8	153,76	3 986
	355		7,5	157,5	4 082
					3 358
12	202	Trümmercarnallit M-E	49,3	84,7	2 193
			1,5		
			7,5		
					2 193

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v_b [kp/cm ² ·s]	v_f^2 [m ² ·s ⁻² 10 ⁻⁶]	E_f [kpm·10 ⁻⁶]
13	164	Trümmernallit M-E	71,3	351	9 090
	165		1,5	312	8 070
	166		7,5	312	8 325
	167			264	7 050
	168			226	6 030
	169			189	5 040
14	337	Trümmernallit M-E	71,5	2 350	62 700
	338		1,0	2 500	66 700
	339		14,8	2 720	72 600
	340			3 730	99 500
				75 375	
15	93	Grauer Carnallit Teutschenthal Block 2	71,5	150	3 890
	94		1,0	8,4	217
	96		7,5	14,9	398
	224			34,8	902
	226			72,2	2 000
	228			29,7	770
	229			670,8	17 387
	230			564,0	14 619
				5 023	
16	113	Grauer Carnallit Teutschenthal Block 2	81,4	212	5 496
	114		1,0	103	3 368
	115		7,5	216	5 740
	116			784	20 930
	117			503	13 400
	118			664	17 700
	119			2 213	59 000
17	310	Grauer Carnallit	89,0	1 186	30 741
	311		1,0	1 034	26 791
	312		7,5	1 201	31 120
	313			2 200	57 014
	314			1 201	31 120
	315			1 735	44 963
	317			1 369	35 485
				36 747	

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v _b [kp/cm ² ·s]	v _f ² [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E _F [kpm·10 ⁻⁶]
18	232 234 235 236	Grauer Carnallit	107,0 1,0 7,5	1 190 5 098 5 929 10 050	30 850 132 138 153 680 260 496
					144 291
19	89 90	Carnallit Ber- lepsch	56,4 1,0 7,5	96 196	2 483 5 080
					3 782
20	21 22 86 87	Hartsalz M-E	56,4 1,0 7,5	3,6	93
					(93)
21	18 19 20 88	Steinsalz Völkershausen	56,4 1,0 7,5	2,4	62
					(62)
22	301 302 303 304 307 308	Grauer Carnallit	89,0 1,0 14,8	5 588 12 792 3 844 5 351 7 770 7 439	144 828 331 558 99 637 138 695 201 409 192 819
					184 824
23	295 296 297 300	Grauer Carnallit	107,0 1,0 14,8	5 929 12 555 14 060 8 980	153 400 325 400 364 000 232 300
					268 775

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] $h : d$ v_b [kp/cm ² ·s]	v_f^2 [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E_f [kpm·10 ⁻⁶]
24	208 209 333 334	Grauer Carnallit	71,5 1,0 32,5	308 477 2 292 1 420	7 975 12 340 59 300 36 520
					29 034
25	341 342 343 345	Trümmern carnallit M-E	71,5 1,0 32,5	3 430 3 660 2 780 3 970	91 600 97 800 74 400 106 200
					92 500
26	280 281 283 284 286 287	Anhydrit Nohra 6	56,4 1,0 32,5	18 660 13 150 15 270 27 100 29 400 20 000	483 000 340 200 395 000 702 000 761 000 517 500
					533 117
27	275 272 273	Anhydrit Berlepsch	56,4 1,0 32,5	9 650 13 760 16 760	249 500 356 000 433 600
					346 367
28	429 430 431 432 433 436	Sandstein Sinna 1	56,4 1,0 32,5	11 510 4 600 17 900 9 220 13 280 19 980	308 000 123 000 478 000 246 000 354 000 533 000
					325 243
29	238 245	Hartsalz M-E	56,4 1,0 50,0	31 23	825 596
					711

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v _b [kp/cm ² ·s]	v _f ² [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E _f ⁱ [kpm·10 ⁻⁶]
30	257	Steinsalz M-B	56,4 1,0 60,0	7	181
					(181)
31	267 268	Trümmercarnallit	89,0 0,5 21,5	8 850 13 600	229 000 352 000
					290 500
32	420 421 422 425 426	Anhydrit, Nohra 6	56,4 1,0 2,0	20 000 16 100 25 300 5 380 14 800	518 000 417 000 655 000 144 000 396 000
					426 000
33	364 365 366 368 374	Anhydrit, Berlepsch (<u>mit Schmierung der Endflächen!</u>)	56,4 1,0 2,5	2 010 3 430 2 010 1 510 2 420	52 100 88 800 52 100 39 100 62 700
					58 960
34	382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392	Anhydrit, Berlepsch	49,3 1,5 4,2	13 13 6 6 13 23 14 20 41 13 7	347 347 161 161 347 615 374 534 1 100 347 187
					411

1	2	3	4	5	6
Gruppe	Probe-Nr.	Gesteinsprobe	d [mm] h : d v _b [kp/cm ² ·s]	v _f ² [m ² ·s ⁻² ·10 ⁻⁶]	E _f [kpm·10 ⁻⁶]
35	393	Anhydrit, Berlepsch	49,3	6	161
	394		1,5	10	267
	395		70,0	20	534
	397			57	1 480
	399			26	673
					623
36	439	Sandstein, Sinna 1	71,5	3 050	81 500
	440		1,0	9 880	264 000
	441		1,0	17 300	462 000
	442			9 200	245 600
	443			16 100	430 000
	450			10 800	288 200
	451			2 700	72 100
	452			6 100	163 000
				250 800	
37	444	Sandstein, Sinna 1	71,5	18 200	472 000
	445		1,0	14 430	374 000
	446		32,5	16 100	417 000
	447			13 200	342 000
	464			7 300	189 000
	465			21 800	565 000
	466			7 450	193 000
	467			10 000	259 200
	468			17 380	450 000
				362 356	
38	461	Hartsalz M-E	107,0	2 370	61 300
	462		1,0	3 470	90 000
	463		60,0	2 860	74 100
				75 133	
39	470	Hartsalz M-E	107,0	3 300	85 500
	471		1,0	1 440	38 400
	472		2,5	2 700	72 100
	473			1 845	49 250
				61 313	
40	474	Hartsalz M-E	107,0	2 060	55 000
	475		1,0	115	3 070
	477		0,7	735	19 050
	478			2 910	75 400
				38 125	

117

No.	Name	Geburtsort	Geburtsjahr	Todesjahr
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

Tabelle 8

Ermittlung der Stoßgeschwindigkeit

(Empfindlichkeit der Meßschleifen:

und

 v_f $E_{MST} = 7,5$ (Proben 1-207) $E_{MST} = 6,38$ mm/Volt
(Proben 208-478)

Tabelle 8

Probe-Nr.	v Bereich	U	v_u	l_f	K_1	v_f
-	mm · s ⁻¹	-	-	mm	s ⁻¹	mm · s ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7
1	100	0,600	100,00	28,0	0,73	10,22
10	320		31,62	16,0	0,73	5,85
13	100		10,00	28,0	7,30	102,25
14	100		10,00	37,0	7,30	135,00
30	100		10,00	17,5	7,30	63,90
31	100		10,00	21,0	7,30	76,65
32	320	0,623	31,62	20,0	0,70	7,00
55	32		31,62	19,0	0,70	6,65
57	32		31,62	31,0	0,70	10,85
58	32		31,62	20,5	0,70	7,20
60	320		100,00	10,5	2,24	11,75
61	320		100,00	17,5	2,24	19,65
62	320		31,62	7,5	7,00	26,25
63	320		100,00	31,0	2,24	34,75
64	320		100,00	41,0	2,24	45,95
65	320		31,62	18,5	7,00	64,75
66	320		100,00	33,0	2,24	37,00
67	320		31,62	42,0	2,24	94,20
68	320		100,00	35,0	2,24	39,20
70	320		100,00	35,0	2,24	39,25
71	100		100,00	15,2	0,70	5,30
72	100		100,00	23,5	0,70	8,25
74	32		100,00	34,3	0,22	3,85
75	32		31,62	17,1	0,70	5,95
76	32		31,62	13,1	0,70	4,60
77	32		31,62	13,8	0,70	4,85
87	10		31,62	17,0	0,22	1,90
88	10		31,62	14,0	0,22	1,55
89	32		31,62	28,0	0,70	9,80
90	32		31,62	40,0	0,70	14,00
93	10		10,00	35,0	0,70	12,25
94	10		31,62	26,0	0,22	2,90
96	10		10,00	11,0	0,70	3,85
104	100		31,62	32,0	2,24	35,80
105	100		31,62	32,5	2,24	36,40
106	100		31,62	28,5	2,24	31,30
107	100		31,62	30,5	2,24	33,70
108	100		31,62	25,0	2,24	50,55
109	100		10,00	16,0	7,00	56,00
110	100		31,62	34,0	2,24	38,10
113	32		10,00	13,0	2,24	14,55
114	32		31,62	29,0	0,70	10,15
115	32		31,62	42,0	0,70	14,70
116	32		10,00	25,0	2,24	28,00

Tabelle 8/2

Tabelle 8/2

Probe-Nr.	v_{Bereich} mm \cdot s $^{-1}$	U -	v_u -	l_f mm	K_1 s $^{-1}$	v_f mm \cdot s $^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7
117	100		31,62	20,0	2,24	22,40
118	100		31,62	23,0	2,24	25,75
119	100		31,62	42,0	2,24	47,00
121	100		31,62	19,0	2,24	21,25
122	100		31,62	36,5	2,24	40,90
123	100		31,62	23,0	2,24	32,45
124	100		10,00	13,8	7,00	48,50
125	100		31,62	15,0	2,24	16,80
126	100		31,62	38,0	2,24	42,60
128	100		31,62	19,0	2,24	21,25
130	320	0,553	31,62	11,0	8,01	44,00
131	100		10,00	38,0	7,91	150,50
132	100		100,00	43,0	0,79	17,00
133	100		31,62	36,0	2,50	45,00
134	320		31,62	36,0	8,01	144,15
136	1000		31,62	20,0	25,02	250,24
137	1000		31,62	19,0	25,02	237,73
139	1000		31,62	19,0	25,02	237,73
140	1000		31,62	11,0	25,02	137,50
142	1000		31,62	8,5	25,02	106,35
145	320		31,62	13,0	8,01	52,00
146	320		31,62	8,0	8,01	32,03
147	100		31,62	8,0	2,50	10,00
148	100		31,62	21,5	2,50	26,90
150	100		31,62	39,0	2,50	48,75
151	100		31,62	40,0	2,50	50,05
152	100		31,62	14,0	2,50	17,50
153	100		31,62	33,5	2,50	49,45
155	100		31,62	35,0	2,50	43,75
156	100		31,62	34,5	2,50	43,17
157	100		100,00	22,0	0,79	8,73
158	100		31,62	32,0	2,50	40,04
159	100		31,62	33,0	2,50	41,29
160	100		31,62	20,0	2,50	25,00
162	100		31,62	41,0	2,50	51,25
163	100		31,62	23,0	2,50	28,75
164	100		31,62	15,0	2,50	18,77
165	100		31,62	14,5	2,50	18,15
166	100		31,62	14,5	2,50	18,15
167	100		31,62	12,5	2,50	16,25
168	100		31,62	12,0	2,50	15,02
169	100		31,62	11,0	2,50	13,75
172	100		31,62	15,0	2,50	18,75
173	100		31,62	10,0	2,50	12,51
175	100		31,62	28,0	2,50	35,04
176	100		31,62	13,0	2,50	16,25
177	100		31,62	13,0	2,50	16,25
178	100		31,62	20,0	2,50	25,03
180	100		31,62	31,0	2,50	38,79

Tabelle 8/3

Tabelle 8/3

Probe- Nr.	v Bereich	U	V_u	l_f	K_1	v_f
-	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	-	-	mm	s^{-1}	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7
181	100		31,62	26,5	2,50	35,16
182	100		31,62	24,0	2,50	30,03
183	32		31,62	28,0	0,80	11,20
185	32		31,62	41,5	0,80	16,62
188	32		31,62	35,0	0,80	14,00
191	32		31,62	32,0	0,80	12,82
192	32		31,62	16,0	0,80	6,40
194	32		31,62	18,0	0,80	7,20
199	32		31,62	20,0	0,80	8,00
202	32		31,62	23,0	0,80	9,20
208	32	0,596	10,00	45,0	0,78	17,55
209	32		10,00	56,0	0,78	21,85
224	32		31,62	47,1	0,25	5,90
226	32		10,00	22,6	0,78	8,80
228	32		31,62	43,6	0,25	5,45
229	32		3,16	20,7	2,50	25,90
230	32		3,16	19,0	2,50	23,75
232	320		31,62	27,6	2,50	34,50
234	100		10,00	59,5	2,40	71,40
235	100		3,16	20,0	7,70	77,00
236	320		10,00	25,7	7,80	100,25
238	230		31,62	44,8	0,25	5,60
245	10		10,00	39,9	0,24	4,80
257	10		10,00	22,2	0,24	2,65
261	1000		31,62	18,8	7,70	72,40
262	1000		31,62	14,8	7,70	57,00
264	1000		31,62	17,9	7,70	63,90
265	1000		100,00	44,6	2,40	53,50
266	1000		100,00	44,7	2,40	53,65
267	1000		31,62	24,5	7,70	94,35
268	1000		31,62	30,5	7,70	117,45
272	320		10,00	31,1	7,80	121,30
273	1000		31,62	33,6	7,70	129,35
275	1000		31,62	25,5	7,70	98,20
280	1000		31,62	35,5	7,70	136,70
281	1000		31,62	29,8	7,70	114,75
283	1000		31,62	32,1	7,70	123,60
284	1000		31,62	42,8	7,70	164,80
286	1000		31,62	44,6	7,70	171,70
287	1000		31,62	36,8	7,70	141,70
295	1000		31,62	20,0	7,70	77,00
296	1000		31,62	29,1	7,70	112,05
297	1000		31,62	30,8	7,70	118,60
300	1000		31,62	24,6	7,70	94,70
301	320		31,62	59,8	2,50	74,75
302	320		10,00	29,0	7,80	113,10
303	1000		31,62	16,1	7,70	62,00
304	1000		31,62	19,0	7,70	73,15
307	320		10,00	22,6	7,80	88,15
308	1000		31,62	22,4	7,70	86,25
310	1000		100,00	28,7	2,40	34,45

Tabelle 8/4

Tabelle 8/4

Probe-Nr.	v Bereich	U	v_u	l_r	K_1	v_f
-	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	-	-	mm	s^{-1}	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7
311	320		31,62	26,8	2,4	32,15
312	1000		31,62	9,0	7,7	34,65
313	320		31,62	37,5	2,5	46,90
314	1000		31,62	9,0	7,7	34,60
315	320		31,62	33,3	2,5	41,65
317	320		31,62	29,6	2,5	37,00
333	32	0,642	10,00	1,3	7,2	47,90
334	32		31,62	32,8	2,3	37,70
337	320		10,00	1,5	7,2	58,60
338	320		10,00	14,0	7,2	50,40
339	320		10,00	14,5	7,2	52,20
340	320		10,00	17,0	7,2	61,20
341	1000		31,62	16,3	7,2	58,70
342	320		10,00	16,8	7,2	60,50
343	320		10,00	16,1	7,2	57,95
345	320		10,00	17,5	7,2	63,00
349	320		100,00	24,5	0,72	8,80
353	32		10,00	34,5	0,72	12,40
355	1000		10,00	10,9	2,3	22,55
360	1000		31,62	25,4	7,2	91,45
362	320		10,00	23,5	7,2	120,60
364	100		3,16	12,5	7,2	45,00
365	100		3,16	16,3	7,2	56,70
366	100		3,16	12,5	7,2	45,00
368	100		3,16	10,8	7,2	38,90
369	320		10,00	27,1	7,2	97,55
371	320		3,16	11,2	22,9	128,25
374	100		3,16	13,7	7,2	49,30
375	320		10,00	30,4	7,2	109,45
382	100	0,480	100,00	23,7	0,3	3,55
383	100		100,00	23,8	0,3	3,55
384	100		100,00	16,0	0,3	2,40
385	100		100,00	16,0	0,3	2,40
386	100		100,00	23,5	0,3	3,55
387	32		31,62	31,8	0,3	4,75
388	32		31,62	25,0	0,3	3,75
389	32		31,62	29,5	0,3	4,45
390	32		10,00	12,9	1,0	6,45
391	32		31,62	24,0	0,3	3,60
392	32		31,62	19,1	0,3	2,85
393	32		31,62	16,6	0,3	2,50
394	32		31,62	21,5	0,3	3,75
395	32		31,62	30,1	0,3	4,50
397	100		31,62	13,7	9,6	6,60
399	100		31,62	10,7	9,6	5,15
420	100		3,16	29,6	9,6	142,10

Tabelle 8/5

Tabelle 8/5

Probe-Nr.	v_{Bereich}	\bar{U}	$V_{\bar{U}}$	l_f	K_1	v_f
-	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	-	-	mm	s^{-1}	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7
421	100		3,16	26,5	9,6	127,20
422	100		3,16	33,3	9,6	159,85
425	100		3,16	15,4	9,6	73,90
426	100		3,16	25,4	9,6	122,40
429	320		10,00	22,1	9,7	107,20
430	320		10,00	14,0	9,7	67,90
431	100		3,16	27,9	9,6	133,90
432	100		3,16	20,0	9,6	96,00
433	100		3,16	24,0	9,6	115,20
436	100		3,16	19,5	9,6	93,60
439	3200	0,700	100,00	16,5	6,7	55,30
440	3200		100,00	29,5	6,7	98,85
441	1000		31,62	40,0	6,6	132,00
442	1000		31,62	29,2	6,6	96,35
443	1000		31,62	38,5	6,6	127,05
444	1000		31,62	42,0	6,6	138,60
445	1000		31,62	36,5	6,6	120,45
446	1000		31,62	38,5	6,6	127,05
447	1000		31,62	34,8	6,6	114,85
450	1000	0,575	31,62	26,0	8,0	104,00
451	1000		31,62	13,0	8,0	52,00
452	1000		31,62	19,5	8,0	78,00
461	320		31,62	37,5	2,6	48,75
462	320		31,62	43,0	2,6	55,90
463	320		31,62	41,2	2,6	53,55
464	1000		31,62	21,4	8,0	85,60
465	1000		31,62	37,0	8,0	148,00
466	1000		31,62	21,7	8,0	86,80
467	1000		31,62	25,0	8,0	100,00
468	1000		100,00	32,6	8,0	130,40
470	320		31,62	44,5	2,6	57,85
471	320		31,62	29,0	2,6	37,70
472	320		31,62	40,0	2,6	52,00
473	320		31,62	33,2	2,6	43,15
474	320		31,62	35,0	2,6	45,50
475	320		100,00	26,9	0,8	10,75
477	320		31,62	20,9	2,6	27,15
478	320		31,62	41,5	2,6	53,95

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25

Mittelwerte der Gesteinsgruppen für die frei-
werdende Energie E_f

1	2	3	4	5	6	7
Gruppe	Gestein	d	h:d	v_b	E_f	$\overline{E_f}$
-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp·10 ⁻⁶	± %
1	Anhydrit- Berlepsch	56,4	1,0	7,5	316 816	12
2	Anhydrit-Nohra 6	56,4	1,0	7,5	51 483	31
3	Sandstein-Sünna	56,4	1,0	7,5	250 200	31
4	Trümmercarnallit	44,8	1,0	7,5	2 043	37
5	M-E	56,4	1,0	7,5	2 003	26
6		71,5	1,0	7,5	29 849	18
7		81,4	1,0	7,5	33 456	15
8		89,0	1,0	7,5	40 195	25
9		89,0	0,5	7,5	98 384	13
10		102,5	0,5	7,5	671 423	31
11		60,7	0,8	7,5	3 358	20
12		49,3	1,5	7,5	2 193	
13		71,3	1,5	7,5	7 268	9
14		71,5	1,0	14,8	75 375	11
15	Grauer Carnallit Teutschenthal	71,5	1,0	7,5	5 023	49
16		81,4	1,0	7,5	17 948	41
17		89,0	1,0	7,5	36 747	11
18		107,0	1,0	7,5	144 291	33
19	Carnallit Berlepsch	56,4	1,0	7,5	3 782	34
20	Hartsalz - ME	56,4	1,0	7,5	93	
21	Steinsalz - Völkershau sen	56,4	1,0	7,5	62	
22	Grauer Carnallit	89,0	1,0	14,8	184 824	18
23		107,0	1,0	14,8	268 775	18
24		71,5	1,0	32,5	29 034	41
25	Trümmercarnallit M-E	71,5	1,0	32,5	92 500	7

Verzeichnis der ...

No.	Ort	Art	Größe	Farbe	Verwendung
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

1	2	3	4	5	6	7
Gruppe	Gestein	d	h:d	v_b	E_f	$\overline{E_f}$
-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kpm·10 ⁻⁶	± %
26	Anhydrit - Nohra 6	56,4	1,0	32,5	533 117	13
27	Anhydrit - Berlepsch	56,4	1,0	32,5	346 367	15
28	Sandstein - Sünna	56,4	1,0	32,5	325 243	16
29	Hartsalz - M-E	56,4	1,0	50,0	711	16
30	Steinsalz - M-E	56,4	1,0	60,0	181	
31	Trümmernallit M-E	89,0	0,5	21,5	290 500	22
32	Anhydrit - Nohra 6	56,4	1,0	2,0	426 000	21
33	Anhydrit - Berlepsch (mit Schmierung)	56,4	1,0	7,5	58 960	14
34	Anhydrit - Berlepsch	49,3	1,5	4,2	411	23
35		49,3	1,5	70,0	623	40
36	Sandstein - Sünna	71,5	1,0	1,0	250 800	21
37		71,5	1,0	32,5	362 356	12
38	Hartsalz - M-E	107,0	1,0	60,0	75 133	11
39		107,0	1,0	2,5	61 313	18
40		107,0	1,0	0,7	38 125	43

318

No.	Name	Ort	Zeit	Art	Vermerk
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

1

1

2

3

4

Zusammenstellung der Ergebnisse für die Druckfestigkeit
und für P_V

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe- nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
1	360 362 369 371 375	Anhydrit- Berlepsch	56,4	1,0	7,5	567 456 424 528 440	100,7 80,8 75,0 93,5 78,0
						483,0 ±5,7 %	85,6
2	10 60 61 62 63 64 65 66 67 68 70	Anhydrit Nohra b	56,4	1,0	7,5	498 428 465 374 574 522 718 440 731 458 580	88,4 75,8 82,5 66,3 101,8 92,5 127,3 78,0 129,7 81,3 102,7
						526,1 ±6,6 %	93,2
3	13 14 30 31	Sandstein - Sinna	56,4	1,0	7,5	552 636 487 552	97,9 112,8 86,5 97,8
						556,7 ±5,5 %	98,8
4	191 192 194 199	Trümmer- carnallit M-B	44,8	1,0	7,5	164,5 114,0 107,5 95,0	36,9 25,5 24,1 21,3
						120,2 ±12,7%	27,0

Tabelle 10

Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung des...

von 1890 bis 1891

No.	Ort	Höhe	Temperatur	Luftdruck	Wind
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

1
2
3
4
5
6
7

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ²
5	1	Trümmer- carnallit M-E	56,4	1,0	7,5	90	16,0
	52					128	22,7
	55					128	22,7
	57					154	27,3
	58					146	25,9
	71					154	27,3
	72					120	21,3
	74					122,9	21,8
	75					130	23,1
	76					128	22,7
	77					112	19,9
	183					170	30,1
	185					152	27,0
	188					136	24,1
						133,6 ± 4,1 %	23,1
6	104	Trümmer- carnallit M-E	71,5	1,0	7,5	156,5	22,4
	105					161,5	23,1
	106					149,0	21,3
	107					141,7	20,2
	108					151,5	21,6
	109					184,0	26,3
	110					183,5	26,0
	172					148,0	21,1
	173					169,5	24,2
	175					136,5	19,5
	176					88,2	12,6
	177					104,5	14,9
	178					138,0	19,7
	180					138,0	19,7
181	147,0	21,0					
182	147,0	21,0					
						147,0 ± 4 %	20,9
7	121	Trümmer- carnallit M-E	81,4	1,0	7,5	83,3	10,9
	122					142,0	17,5
	123					116,1	14,3
	124					150,5	18,6
	125					122,3	15,1
	126					170,0	20,9
	128					102,1	12,6
	155					201,5	24,8
	156					136,4	16,8
	157					84,5	10,4
158	117,1	14,4					

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_D	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
7	159 160 162 163	Trümmer- carnallit M-E	81,4	1,0	7,5	140,2 104,6 173,5 151,6	17,3 11,9 21,4 18,7
						133,0 ± 6 %	16,4
8	145 146 147 148 150 151 152 153	Trümmer- carnallit M-E	89,0	1,0	7,5	135,0 109,3 109,3 141,5 151,9 180,0 109,3 151,0	14,9 12,1 12,1 15,6 16,8 19,9 12,1 16,7
						135,9 ± 7 %	15,0
9	261 262 264 265 266	Trümmer- carnallit M-E	89,0	0,5	7,5	161,0 157,0 145,0 148,0 161,0	36,0 35,0 32,6 33,0 36,0
						154,4 ± 2 %	34,5
10	130 131 132 133 134 136 137 139 140 142	Trümmer- carnallit M-E	102,5	0,5	7,5	194,0 251,9 162,7 216,6 230,5 312,5 156,9 207,5 207,5 121,5	53,5 69,4 44,9 59,7 22,6 30,6 15,4 20,3 20,3 11,9
						206,16 ± 7 %	34,86

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_D	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
11	349	Trümmer- carnallit M-E	60,7	0,8	7,5	124	25,7
	353					119	24,6
	355					155	32,1
						132,6 ± 9 %	27,5
12	202	Trümmer- carnallit M-E	49,3	1,5	7,5	104,7	14,2
						104,7	14,2
13	164	Trümmer- carnallit M-E	71,3	1,5	7,5	94,0	8,9
	165					115,3	10,9
	166					63,9	6,0
	167					98,3	9,3
	168					92,7	8,8
	169					105,3	9,9
14	337	Trümmer- carnallit M-E	71,5	1,0	14,8	113	15,7
	338					114	15,9
	339					116	16,3
						114,3 ± 1 %	15,7
15	93	Grauer Carnallit Teutschen- thal	71,5	1,0	7,5	132,0	18,9
	94					74,5	10,7
	96					97,0	13,5
	224					75,0	10,5
	226					76,0	10,7
	228					73,0	10,2
	229					110,0	15,4
	230					85,0	11,9

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_D	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
16	113	Grauer Carnallit Teutschen- thal	81,4	1,0	7,5	97,9	12,1
	114					96,0	11,8
	115					115,5	14,2
	116					129,6	16,0
	117					146,6	12,8
	118					116,5	13,6
	119					145,0	17,9
						121,0 ± 6 %	14,1
17	310	Grauer Carnallit	89,0	1,0	7,5	103	11,6
	311					98	11,1
	312					117	13,2
	313					95	10,7
	314					88	10,0
	315					93	10,5
	317					111	12,5
						100,7 ± 4 %	11,4
18	232	Grauer Carnallit	107,0	1,0	7,5	81	7,1
	234					92	8,1
	235					115	10,1
	236					122	10,7
						102,5 ± 9 %	9,0
19	89	Carnallit Berlepsch	56,4	1,0	7,5	128,0	22,7
	90					152,0	27,0
						140,0 ± 9 %	24,9
20	21	Hartsalz m-E	56,4	1,0	7,5	360,0	63,8
	22					480,0	77,7
	86					431,0	76,4
	87					356,0	63,2
						406,7 ± 7 %	70,3

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	F_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
21	18	Steinsalz, Völkershshs.	56,4	1,0	7,5	370,0	65,6
	19					430,0	76,2
	20					290,5	51,5
	88					232,0	41,2
						330,6 ± 13 %	58,6
22	301	Grauer Carnallit	89,0	1,0	14,8	125,0	14,2
	302					156,0	17,7
	303					119,0	13,4
	304					130,0	14,7
	307					132,0	14,9
	308					120,0	13,6
						130,3 ± 4 %	14,8
23	295	Grauer Carnallit	107,0	1,0	14,8	118,0	11,0
	296					146,0	13,6
	297					150,0	14,0
	300					112,0	10,5
						131,5 ± 7 %	12,3
24	208	Grauer Carnallit	71,5	1,0	32,5	128,0	17,8
	209					108,0	15,0
	333					110,0	15,4
	334					110,0	15,4
						114,0 ± 4 %	15,9
25	341	Trümmer- carnallit M-E	71,5	1,0	32,5	118,0	16,5
	342					128,0	17,8
	343					110,0	15,4
	345					143,0	20,0
						124,7 ± 6 %	17,4

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ²
26	280	Anhydrit Nohra 6	56,4	1,0	32,5	660,0	117,0
	281					568,0	100,5
	283					513,0	82,0
	284					632,0	112,0
	286					673,0	119,0
	287					580,0	103,0
						604,3 ± 4 %	105,6
27	275	Anhydrit Berlepsch	56,4	1,0	32,5	496,0	88,0
	272					548,0	97,0
	273					572,0	102,0
						538,6 ± 4 %	95,7
28	429	Sandstein Sinna	56,4	1,0	32,5	384,0	68,0
	430					308,0	54,6
	431					364,0	64,6
	432					364,0	64,6
	433					472,0	83,7
	436					376,0	66,7
						378,0 ± 6 %	67,0
29	238	Hartsalz M-E	56,4	1,0	50,0	312,0	55,0
	245					188,0	33,0
						250,0 ± 25 %	44,0
30	257	Steinsalz M-E	56,4	1,0	60,0	424,0	75,0
							424,0
31	267	Trümmer- carnallit M-E	89,0	0,5	21,5	181,0	40,4
	268					195,0	43,7
						188,0 ± 4 %	42,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
32	420 421 422 425 426	Anhydrit, Nohra 6	56,4	1,0	2,0	615,0 600,0 628,0 344,0 490,0	109,0 106,0 112,0 61,0 87,0
						535,4 ± 13%	95,0
33	364 365 366 368 374	Anhydrit, Berlepsch (mit Schmie- rung der Endflächen)	56,4	1,0	7,5	348,0 440,0 320,0 308,0 248,0	62,0 78,0 57,0 55,0 44,0
						332,8 ± 9%	59,2
34	382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392	Anhydrit Berlepsch	49,3	1,5	4,2	326,0 418,0 305,0 360,0 453,0 453,0 356,0 420,0 455,0 335,0 309,0	44,0 56,0 41,0 49,0 61,0 61,0 48,0 57,0 62,0 45,0 42,0
						380,9 ± 5%	51,5
35	393 394 395 397 399	Anhydrit Berlepsch	49,3	1,5	70,0	272,0 278,0 481,0 348,0 361,0	37,0 38,0 65,0 45,0 49,0
						348,0 ± 11%	46,8

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	d	h:d	v_b	σ_D	P_V
-	-	-	mm	-	kp/cm ² ·s	kp/cm ²	kp/cm ³
36	439 440 441 442 443 450 451 452	Sandstein, Tfb. Sinna 1	71,5	1,0	1,0	334 420 405 405 459 390 328 250	47 59 56 56 66 54 46 36
						373,8 ± 7 %	52,5
37	444 445 446 447 464 465 466 467	Sanstein, Sinna 1	71,5	1,0	32,5	355 489 600 406 415 465 328 455	49,5 68 84 57 58 65 46 63
						439,1 ± 7 %	61,3
38	461 462 463	Hartsalz, M-E	107,0	1,0	60,0	293 308 291	26 27 26
						297,3 ± 2 %	26,3
39	470 471 472 473	Hartsalz, M-E	107,0	1,0	2,5	316 296 311	28 26 27
						307,6 ± 2 %	27,0
40	474 475 477 478	Hartsalz, M-E	107,0	1,0	0,7	329 276 292 267	29 24 26 23
						291,0 ± 5 %	25,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gruppe	Gestein	$h : d$	v_b $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$	E_f $\text{kpm} \cdot 10^{-6}$	V cm^3	E_v $\text{kpm} \cdot 10^{-6} / \text{cm}^3$	σ_D kp/cm^2	E_v %	σ_D %
10	Trümmercarnallit	0,5	7,5	671,423	423	1590	206,2	2013	155
7	Marx-Engels	1,0	7,5	33,456	423	79	133,0	100	100
13		1,5	7,5	7,268	423	17	94,9	22	71
1	Hauptanhydrit	1,0	7,5	316,816	141	2240	483,0	100	100
33	Berlepsch	∞ (Schmierung)	7,5	58,960	141	418	332,8	19	69

Einfluß des Schlankheitsgrades $h : d$ bzw. der Endflächenschmierung ($h : d = \infty$) auf die spezifische freiwerdende Energie E_v und auf die Druckfestigkeit σ_D

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Tabelle 12

Freiwerdende Energie sowie Druckfestigkeit σ_D in Abhängigkeit vom Gesteinsvolumen V bei Schlankheitsgrad 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Gruppe	Gestein	V	v_b	P	σ_D	E_f	E_v
		cm^3	$\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	kp	$\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\text{kpm} \cdot 10^{-6}$	$\text{kpm} \cdot 10^{-6} \cdot \text{cm}^{-3}$
4	Trümmer-	70,5	7,5	1.890	120,2	2.043	29
5	Carnallit	141	7,5	3.340	133,6	2.003	14
6		282	7,5	5.797	147,0	29.849	106
7		423	7,5	6.911	133,0	33.456	79
8		564	7,5	8.612	135,9	40.195	71
15	Grauer	282	7,5	3.561	90,3	5.023	17,5
16	Carnallit	423	7,5	6.288	121,0	17.948	42,5
17		564	7,5	6.381	100,7	36.747	65
18		987	7,5	9.455	102,5	144.291	146
22	Grauer	564	14,8	8.257	130,3	184.824	328
23	Carnallit	987	14,8	10.692	131,5	268.775	273
28	Sandstein	141	32,5	9.450	378,0	325.243	2.300
37		282	32,5	17.318	439,1	362.356	1.280

Ermittlung des einfachen Schlaggefährlichkeitsgrads S^k
für Gesteine des Kalibergbaus

Gestein	Gruppe	v_b	E_V		σ_D		S^k
			$\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$	10^{-6} kpm/cm^2	kp/cm^2		
1	2	3	4	5	6	7	8
Anhydrit	1	7,5	2240		483		
	32	2,0	3020		535		
					2630		509
Sandstein	3	7,5	1770		557		
	36	1,0	890		374		
					1330		465
Carnallit	6	7,5	106		147		
	17	7,5	65		100		
	18	7,5	149		140		
					107		129
Hartsalz	20	7,5	0,7		407		
	40	0,7	39,0		291		
					20		349
Steinsalz	21	7,5	0,4		330		--0

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Tabelle 14

Tabelle 14

Ermittlung der spezifischen freiwerdenden Energie E_V
in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit v_b

Gruppe	Gestein	d	h:d	v_b	E_f	E_V
		mm	-	$\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ $\cdot \text{s}^{-1}$	$\text{kp} \cdot 10^{-6}$	$\text{kp} \cdot 10^{-6}$ $\cdot \text{cm}^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Anhydrit- Berlepsch	56,4	1,0	7,5	316816	2240
27		56,4	1,0	32,5	346367	2460
26	Anhydrit-Nohra 6	56,4	1,0	32,5	533117	3780
32		56,4	1,0	2,0	426000	3020
7	Sandstein	56,4	1,0	7,5	250200	1770
28		56,4	1,0	32,5	325240	2300
25	Trümmer- Carnallit, M-E	71,5	1,0	32,5	32500	328
6		71,5	1,0	7,5	27849	106
17	Grauer Carnallit	89,0	1,0	7,5	56747	65
22		89,0	1,0	14,8	184824	332
18	Grauer Carnallit	107,0	1,0	7,5	144291	149
23		107,0	1,0	14,8	268775	278
20	Hartsalz, M-E	56,4	1,0	7,5	93	0,7
29		56,4	1,0	50,0	711	5
38	Hartsalz, M-E	107,0	1,0	60,0	75133	77
39		107,0	1,0	2,5	61513	62
40		107,0	1,0	0,7	38125	39
9	Trümmer- Carnallit, M-E	89,0	0,5	7,5	98384	354
31		89,0	0,5	21,5	290500	1050
34	Anhydrit- Berlepsch	49,3	1,5	4,2	411	2,9
35		49,3	1,5	70,0	623	4,4
36	Sandstein Sinna	71,5	1,0	1,0	250800	890
37		71,5	1,0	32,5	362356	1200
14	Trümmer- Carnallit, M-E	71,5	1,0	14,8	75375	264
7		81,4	1,0	7,5	33456	79

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.

Tabelle 15

Tabelle 15

Bestimmung der Energiezuwachssrate $\frac{\Delta E_V}{\Delta v_D}$ bei steigender Belastungsgeschwindigkeit (gilt für Probezylinder mit Schlankheitsgrad 1,0)

Gruppe	Gestein	v_D	Δv_D	E_V	ΔE_V	$\frac{\Delta E_V}{\Delta v_D}$	Spalte 7
	-	kp cm^{-2} s^{-1}		kp cm^{-6} cm^{-3}			%
1	2	3	4	5	6	7	8
17 22	Grauer Carnallit	7,5 14,8	7,3	65 332	267	36,5	100
7 14	Trümmer- Carnallit	7,5 14,8	7,3	79 264	185	25,3	69
32 26	Anhydrit Nohra 6	2,0 32,5	30,5	3020 3780	760	24,9	68
3 28	Sandstein Sinna	7,5 32,5	25,0	1770 2300	530	21,2	58
18 23	Grauer Carnallit	7,5 14,8	7,3	149 278	129	17,6	48
36 37	Sandstein Sinna	1,0 32,5	31,5	890 1280	380	12,4	34
2 33	Anhydrit Nohra 6	7,5 90,0	82,5	364 1320	956	11,6	32
6 25	Trümmer- Carnallit	7,5 32,5	25,0	106 328	222	8,9	24
1 27	Anhydrit Berlepsch	7,5 32,5	25,0	2240 2460	220	8,8	24
39 38	Hartsalz	2,5 60,0	57,5	63 77	14	0,2	0,5
20 29	Hartsalz	7,5 50,0	42,5	0,7 5,0	4,3	0,1	0,3

Tabelle 16

Tabelle 16

Komplexe Schlaggefährlichkeitsgrade S^0 für Gesteine
des Kalibergbaus

Gruppe	Gestein	$\frac{\Delta v_v}{\Delta v_b}$	σ_{D^1}	S^0		Proben- zahl
				%		
	-	-	kp cm ⁻²			-
1	2	3	4	5	6	7
17 22	Grauer Carnallit	36,5	115,2	100		
7 14	Trümmercarnallit M-B	25,3	125,6	65		
18 23	Grauer Carnallit	27,6	117,0	47		
6 25	Trümmercarnallit	8,9	135,8	21		
C a r n a l l i t					100	60
3 28	Sandstein Sinna	21,9	467,3	15		
36 37	Sandstein Sinna	12,4	406,4	10		
S a n d s t e i n					22	27
32 26	Anhydrit Hohra 6	24,9	560,2	14		
1 27	Anhydrit Berlepsch	8,8	510,8	5		
A n h y d r i t					16	18
39 38	Hartsalz M-B	0,2	302,4	0,2		
20 29	Hartsalz M-B	0,1	328,2	0,1		
H a r t s a l z					0,2	13

Mittlere mineralogische Zusammensetzung und spezifische freiwerdende Energie E_v für die Gesteinsgruppen

1	2	3				4	5	6	7	
Gr.	Gest.	Mittl. mineral. Zusammensetzung %				E_v	h:d	v_b	V	
		Sylv.	Steins.	Carn.	Tachh.	Kies	$\text{kpm} \cdot 10^{-6} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$	cm^3	
4	Trü.-	5	28	64			29	1,0	7,5	70,5
5	Car-	3	33	62			14	1,0	7,5	141
6	nal-	8	34	58			106	1,0	7,5	282
7	lit	3,5	34	61,5			79	1,0	7,5	423
8		4	33	61,5			71	1,0	7,5	564
9			23	75		<1	354	0,5	7,5	282
10		3	25	70			1590	0,5	7,5	423
12		4	26	68			14	1,5	7,5	141
13		4	25	70			17	1,5	7,5	423
14			24	74,6		<1	264	1,0	14,8	282
25			25	72,7		<1	328	1,0	32,5	282
31							1050	0,5	21,5	282
15	Grauer		33,5	64,5	1,5		18	1,0	7,5	282
16	Car-	1	34	64,5	0,5		42	1,0	7,5	423
17	nal-		(34)	(64,5)			65	1,0	7,5	564
18	lit		(34)	(64,5)			149	1,0	7,5	987
22			(34)	(64,5)			332	1,0	14,8	564
23			(34)	(64,5)			278	1,0	14,8	987
24			(34)	(64,5)			103	1,0	32,5	282
19	Carnal- lit	2	30	65	1,5		27	1,0	7,5	141
20	Hart-	(53)	(35)	(9)		(3)	0,7	1,0	7,5	141
29	salz	(53)	(35)	(9)		(3)	5,0	1,0	50,0	141
38		(53)	(35)	(9)		(3)	77	1,0	60,0	987
39		(53)	(35)	(9)		(3)	63	1,0	2,5	987
40		(53)	(35)	(9)		(3)	39	1,0	1,0	987
21	Stein- salz		95,5	1			0,4	1,0	7,5	141

Anmerkung: Die in Klammern gesetzten Angaben stellen keine direkten Mittelwerte der jeweiligen Gesteinsgruppe dar, sondern den Mittelwert eines größeren Gesteinsblocks, aus dem die Probekörper der angegebenen Gesteinsgruppen hergestellt worden sind.

Tabelle 18: Art und Herkunft der zur Ermittlung des Elastizitätsgrades E^0 untersuchten Gesteine (Gruppen A-H und A'-H')

Gruppe	Gestein	Stratigrafischer Horizont	Grube bzw. Tfb.
A	Carnallit	Flöz Staßfurt	Neustaßfurt VI
B	Sandstein	Buntsandstein	Sünna 1
C	Anhydrit	Hauptanhydrit	Nohra 6
D	Anhydrit	Hauptanhydrit	Berlepsch-Maybach
E	Hartsalz	Flöz Hessen	Marx-Engels
F	Steinsalz	Ob. Werrasteinsalz	Völkerhausen 3
G	Steinsalz	Ob. Werrasteinsalz	Tiefenort 6
H	Trü. Carnallit (anhydrit-haltig)	Flöz Staßfurt	Bleicherode

Tabelle 19

Tabelle 19

Ermittlung des Elastizitätsgrades E^0 für Gesteine des Kalibergbaus (Stauchung wurde nur im Mittelteil der Proben gemessen)

Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	v_b	$\sigma_{\text{Entl.}}$	E^0	σ_D
			kp/cm ² ·s	%	%	kp/cm ²
1	2	3	4	5	6	7
A	105	Carnallit	20	49	73	164
	109			57	83	141
B	205	Sandstein	27	44	74	709
	206			71	78	442
C	309	Anhydrit	27	37	82	575
	311			36	75	585
D ₁	410	Anhydrit	9	97	56	272
	415			62	57	324
D	412	Anhydrit	27	34	89	614
	413			40	67	529
F ₁	601	Steinsalz	7	81	10	206
	605			78	11	213
	611			85	10	196
	615			74	14	228
	619			81	16	206
F	613	Steinsalz	21	77	11	218
	617			65	14	256
G ₁	712	Steinsalz	7	80	9	264
	713			94	8	226
	714			75	11	284
	715			77	13	274
G	717	Steinsalz	27	84	9	251
	719			69	15	306
	720			84	10	254
H ₁	813	Trümmercar- nallit	5	28	70	284
	816			42	83	192
	814			73	82	110
H	818	Trümmercar- nallit	20	47	98	172
	820			37	99	217

Faint, illegible handwriting at the top of the page, possibly a header or title.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Two lines of faint, illegible handwriting.

Tabelle 20

Tabelle 20

Ermittlung des Elastizitätsgrades E^0 für Gesteine des Kalibergbaus (Stauchung wurde über gesamte Probenhöhe gemessen)

Gruppe	Probe-Nr.	Gestein	v_b	$\sigma_{\text{Entl.}}$	E^0	σ_D
			kp/cm ² ·s	%	%	kp/cm ²
1	2	3	4	5	6	7
A'	101	Carnallit	5	62	78	129
	105		5	73	83	111
	106		5	52	75	155
B'	201	Sandstein	9	81	76	390
D'	404	Anhydrit	9	71	92	297
	405			63	51	336
	407			59	56	358
E'	501	Hartsalz	5	65	32	269
	504			73	24	240
F'	602	Steinsalz	7	84	10	200
	612			75	25	222
	614			79	12	212
	618			66	22	252
	620			69	9	242
G'	705	Steinsalz	7	79	13	270
	706			97	15	219
	707			83	5	256
H'	801	Carnallit	5	64	89	125
	809			55	74	147

Tabelle 21: Elastizitätsgrad E^0 für Gesteine aus verschiedenen Bergbauzweigen, nach 8, 10, 11, 21, 22

1	2	3	4
	Gestein	E^0	Literatur
		%	
I	Steinkohle, Kiselovsk	94	11 , Bild 2a
K	Braunkohle, Schurab	93	11 , Bild 2b
L	Braunkohle, Suljukt	83	11 , Bild 3a
M	Kohle, Kemorov	81	11 , Bild 3b
N	Steinkohle, Kiselovsk	12	11 , Bild 5a
O	Braunkohle, Schurab	35	11 , Bild 5b
P	Kohle, Kemorov	0,3	11 , Bild 5c
Q	Hauptanhydrit	90	22
R	Jüngeres Steinsalz	11	22
S	Quarzit, Südafrika	91	10 , Bild 5
T	Aluminium	(0,025)	10 , Bild 5
U	Älteres Steinsalz	15	8 , Bild 2
V	Steinsalz (5)	13	21 , Tafel 1
W	Anhydrit (7)	100	21 , Tafel 1

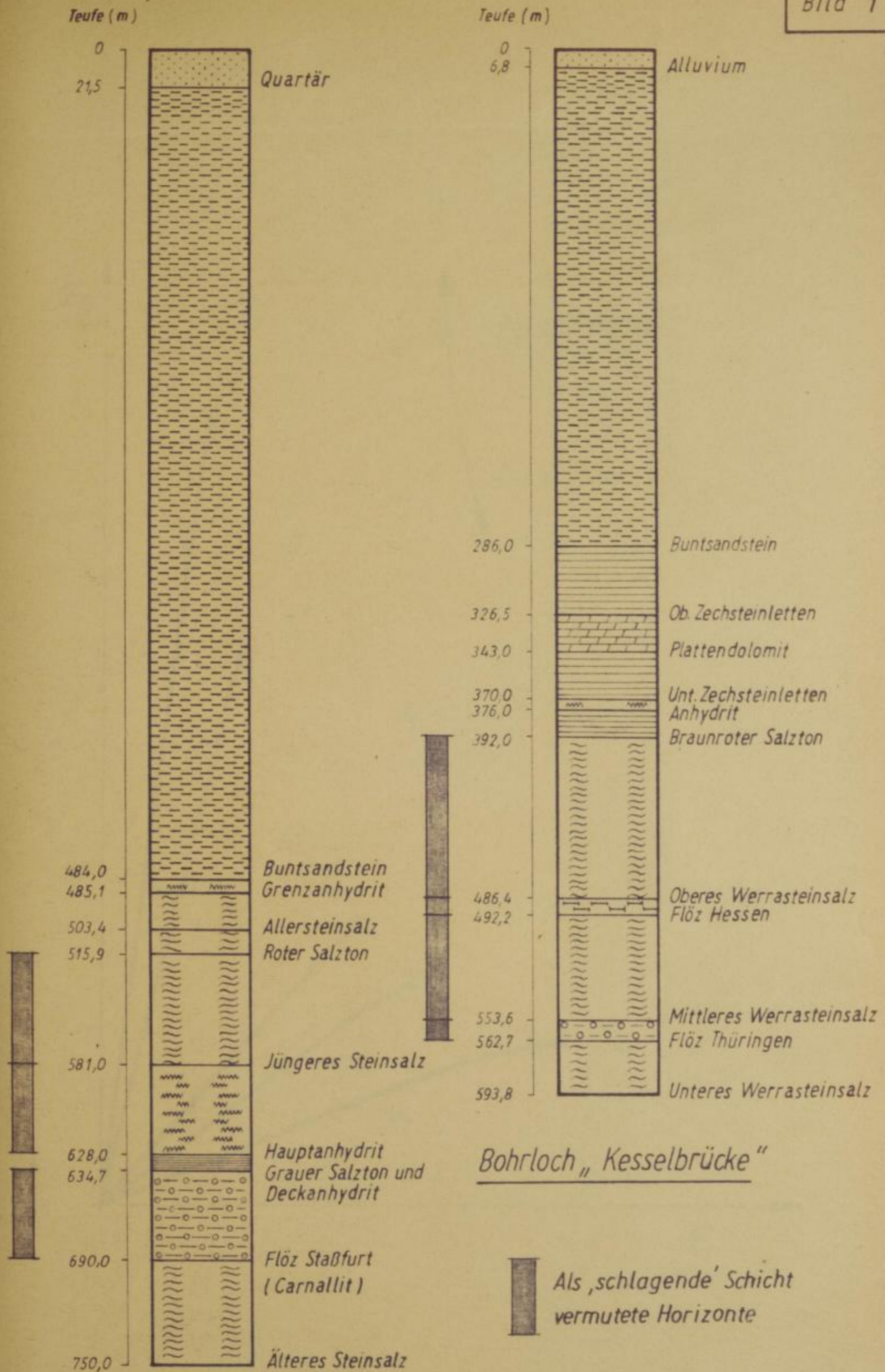
Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

No.	Name	Beschreibung
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		

Grube ...
Jahr ...
Durch ...
Zer ...
TU BERGAKADEMIE
FREIBERG

Tabelle 22. Charakteristische Angaben zu den im deutschen Kalibergbau bisher stattgefundenen Gebirgsschlägen und Firstzusammenbrüchen

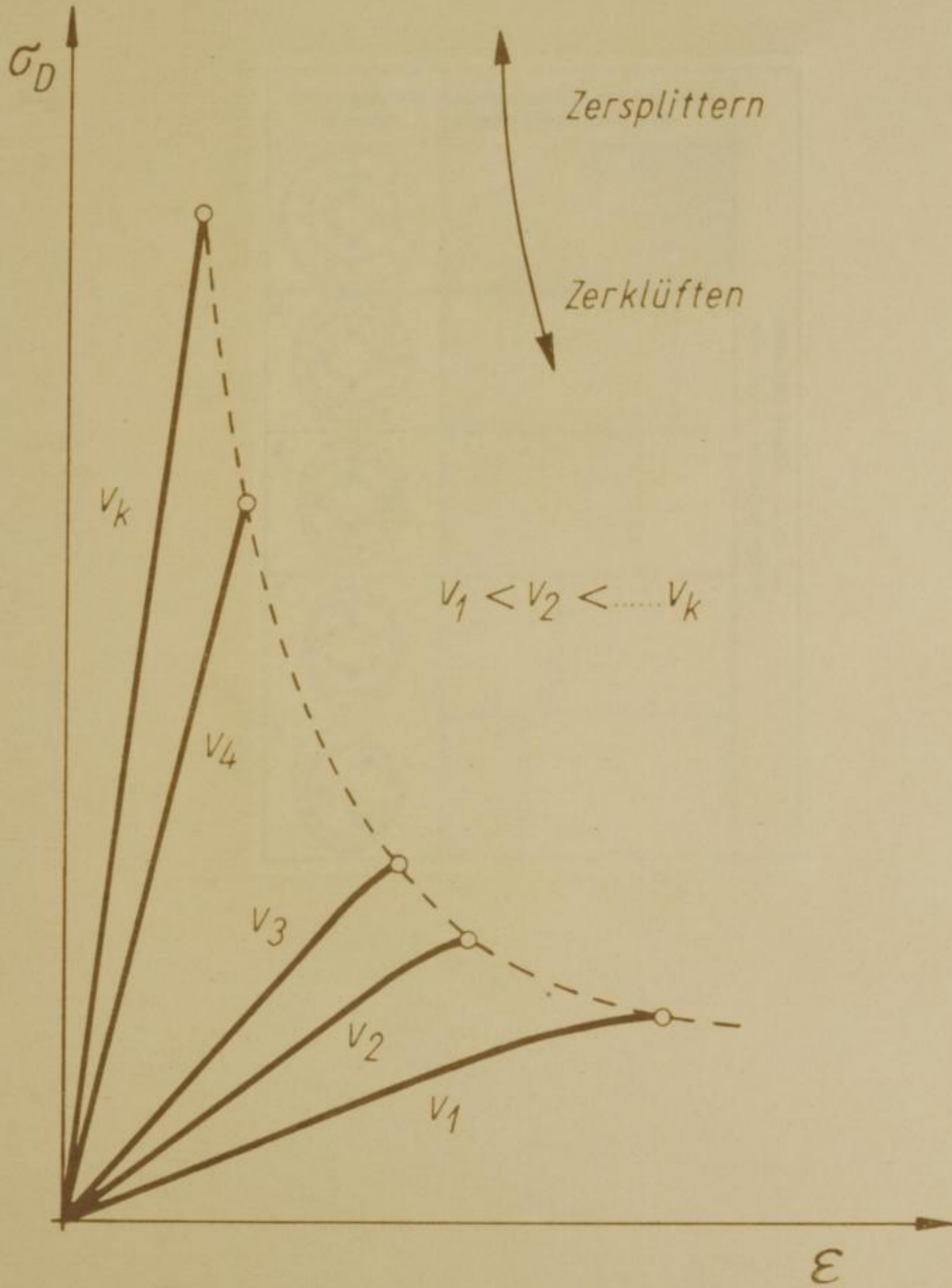
Grube	Jahr	Durch Zersplittern zerstörte Gesteine	Durch Zerklüften zerst. bzw. fast nicht zerst. Gest.	Bezeichnung d. Bruchvorgangs	Maxim. Boden-amplitude (Jena) mm. 10^{-3}	Bruchfeld-Größe km^2	Flöz
Ludwig II	1901	Geschichteter Carnallit		Gebirgsschlag	0,06	0,06	Staufurt
Hallesche Kaliwerke Krügershall	1916	Roter und Grauer Carnallit		Gebirgsschlag	0,03	0,03	Staufurt
Neustaufurt VI	1940	Grauer Carnallit	Steinsalz	Gebirgsschlag	140	0,6	Staufurt
Schierstedt (Ostfeld)	1959	Geschichteter Carnallit	Steinsalz	Gebirgsschlag	1,5	(steile Lagerung)	Staufurt
Schierstedt (Westf.)	1943	keine!	Hartsalz	First-zusammenbruch	1	0,3	Staufurt
Herfingen	1955	Weißer Carnallit	Steinsalz	Gebirgsschlag	0,6	0,6	Staufurt
Merkers	1958	a) Weißer Carnallit b) Trümmercarnallit	Hartsalz, Steinsalz Hartsalz, Sylvinit und Steinsalz	Gebirgsschlag	300	0,7	Hessen und Gleitflöz Hessen (Begleitflöz)
Merkers	1961	Trümmercarnallit	Hartsalz, Sylvinit u. Steinsalz	Gebirgsschlag	10	0,2	Thüringen

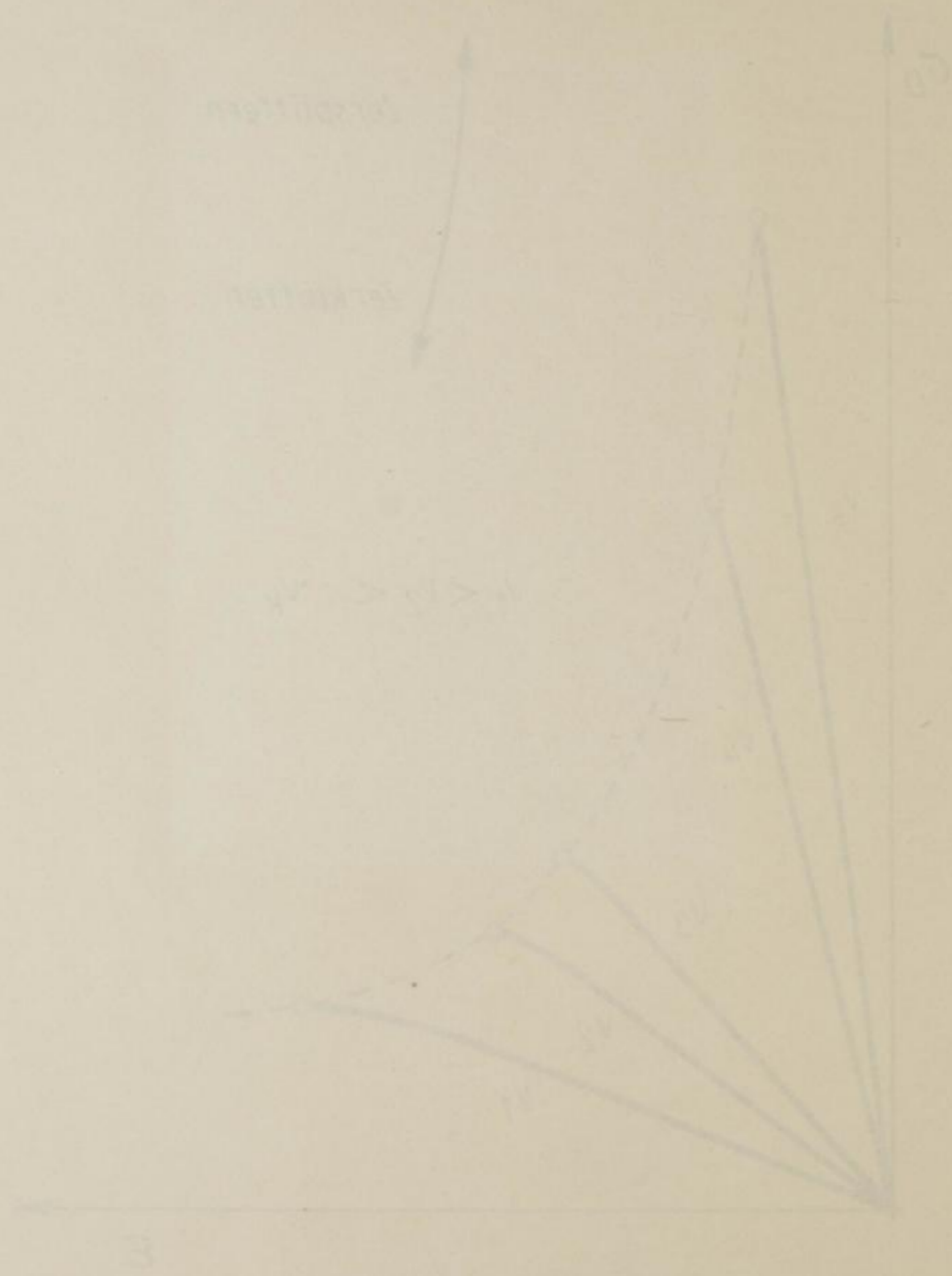


Schacht Teutschenthal

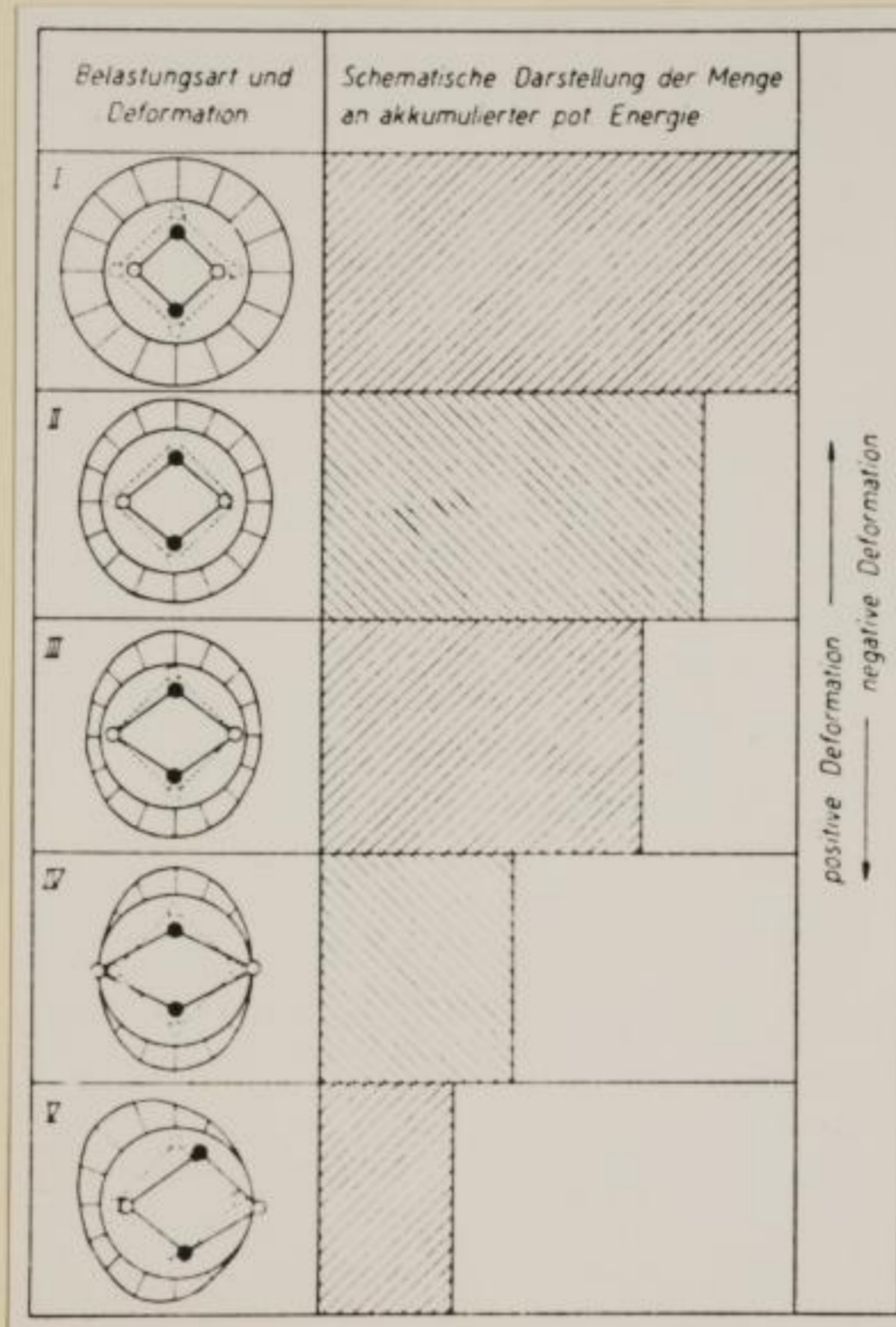
Bohrloch „Kesselbrücke“

Als ,schlagende' Schicht
vermutete Horizonte



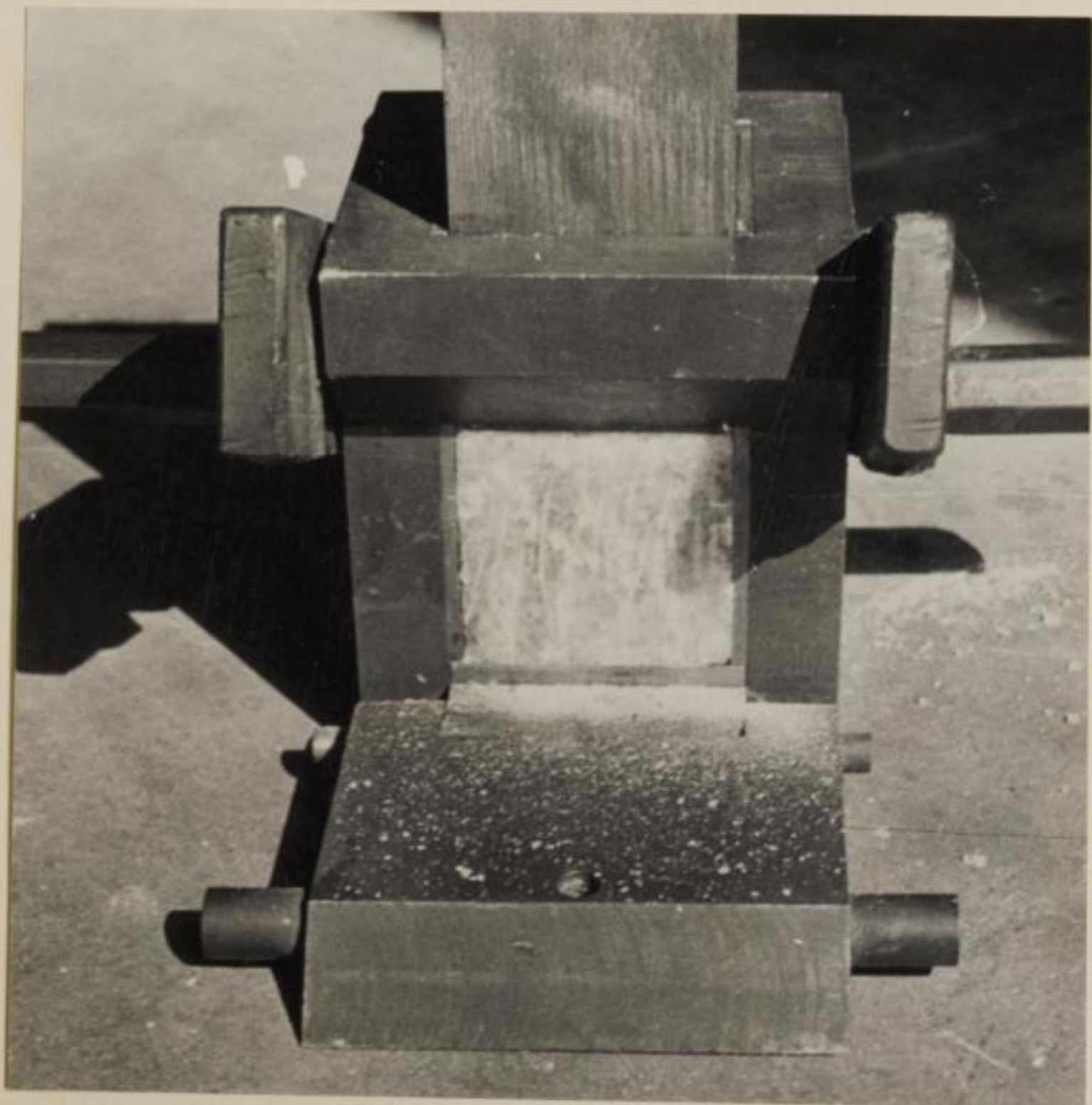


Bergakademie
-Bücherei-
Freiberg i. Sa.

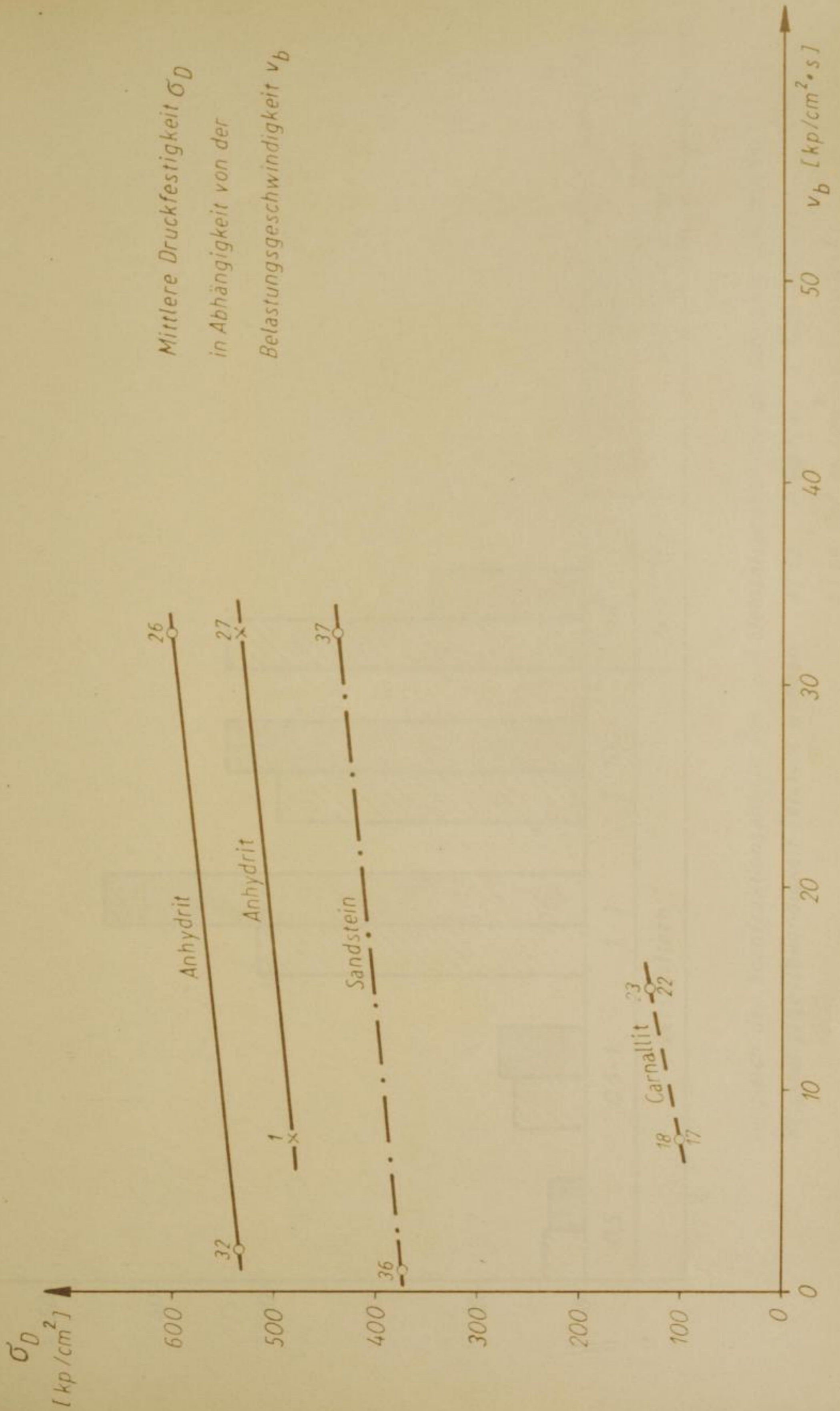


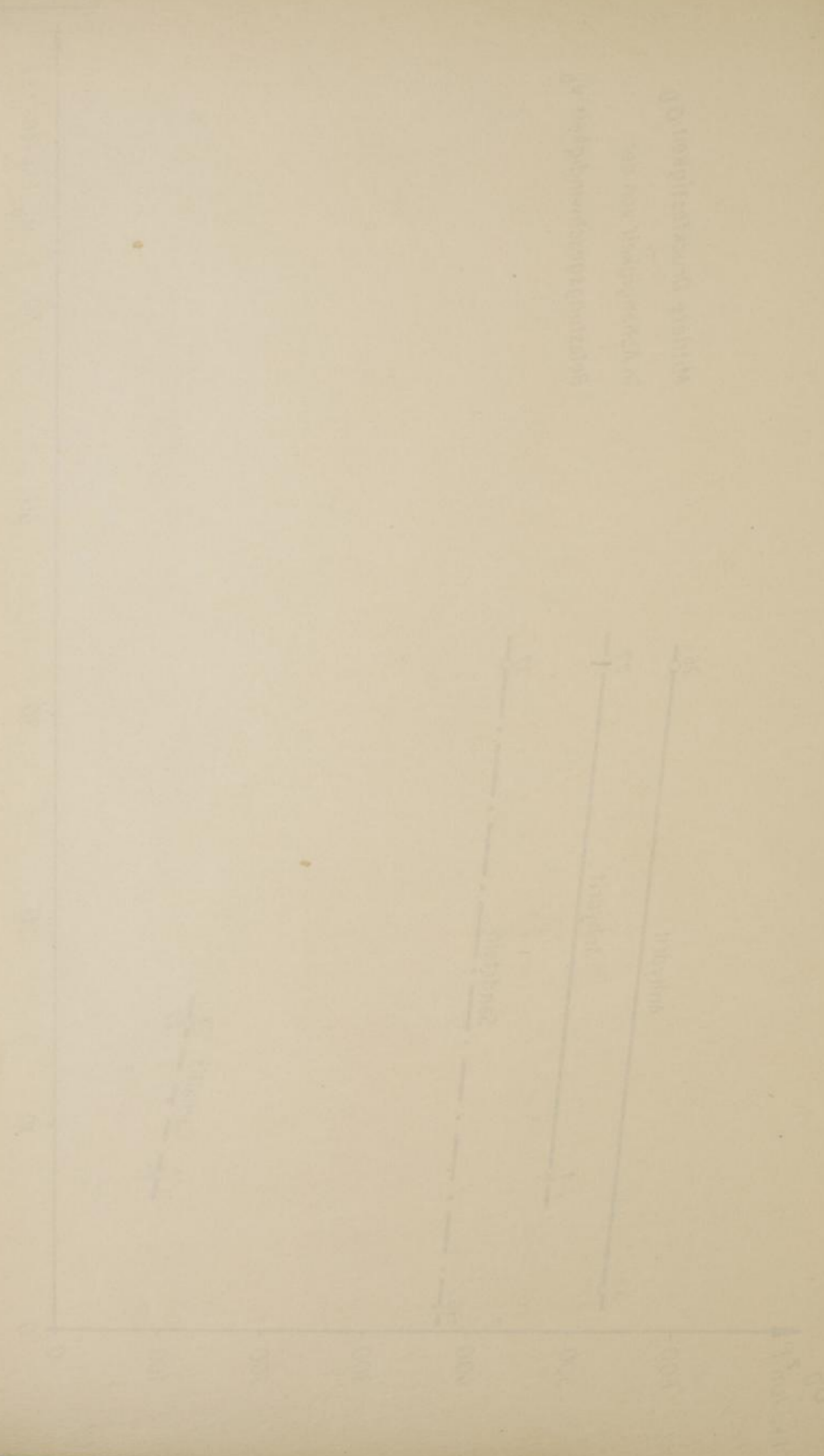


4

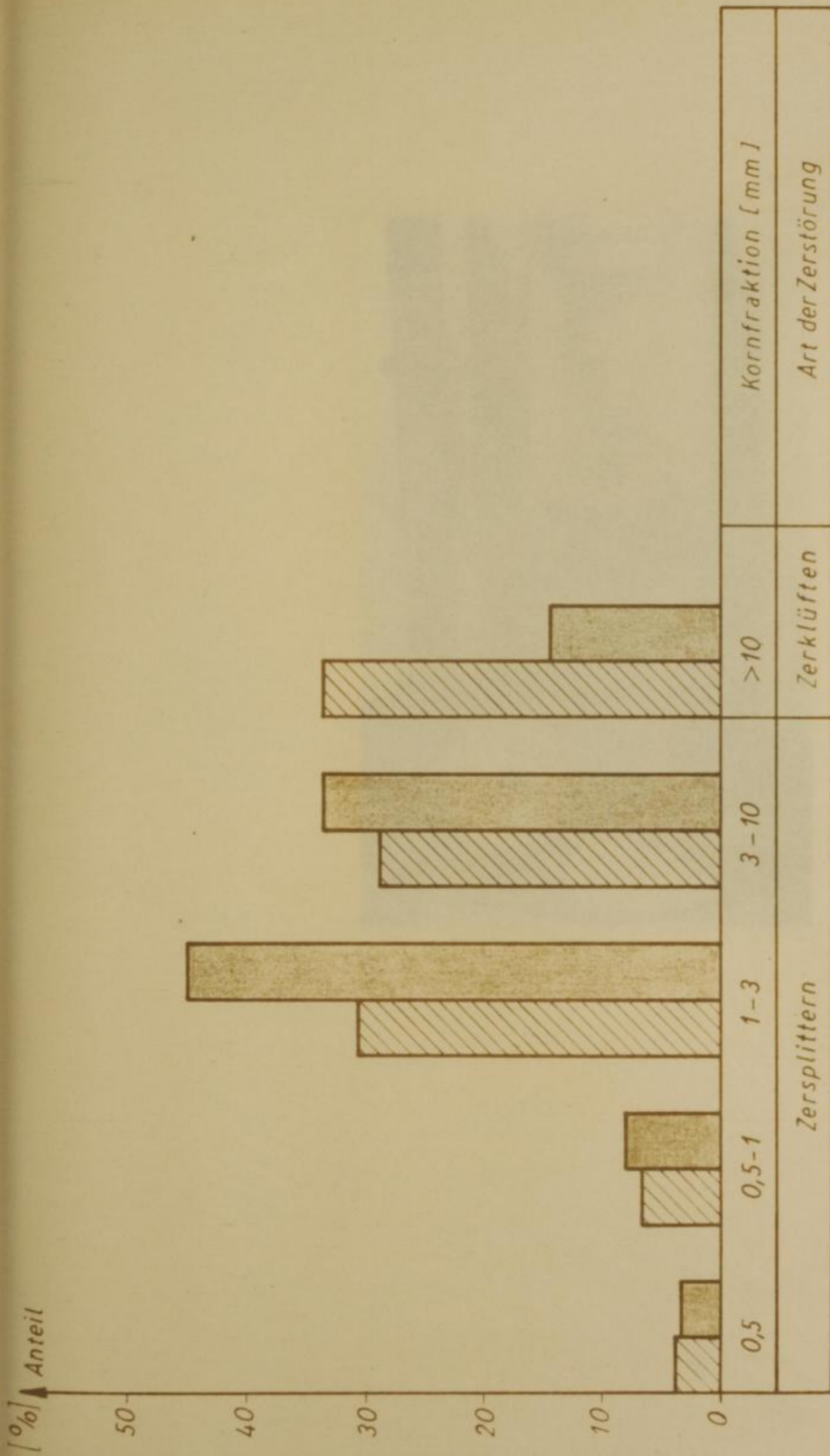


5



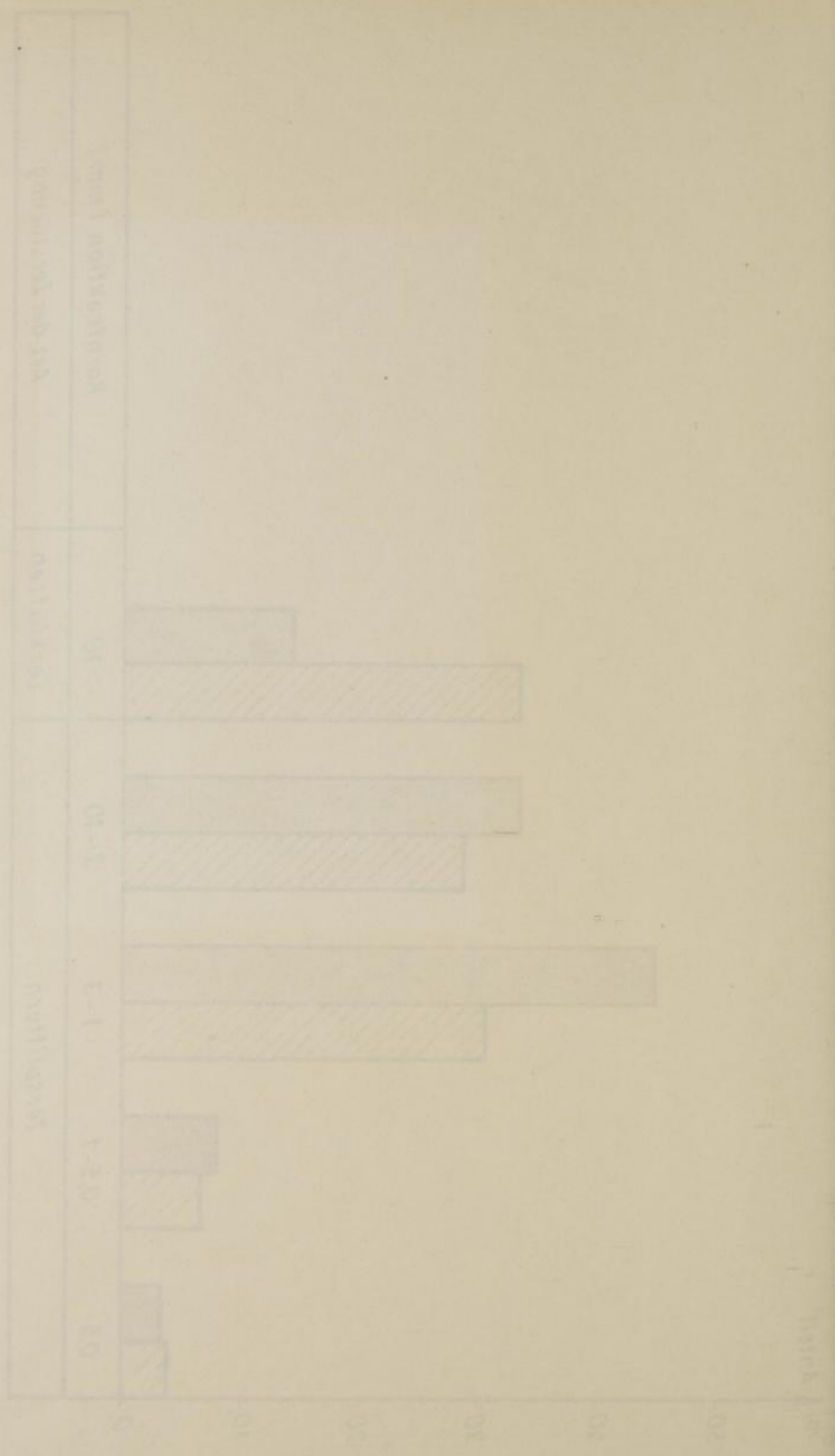


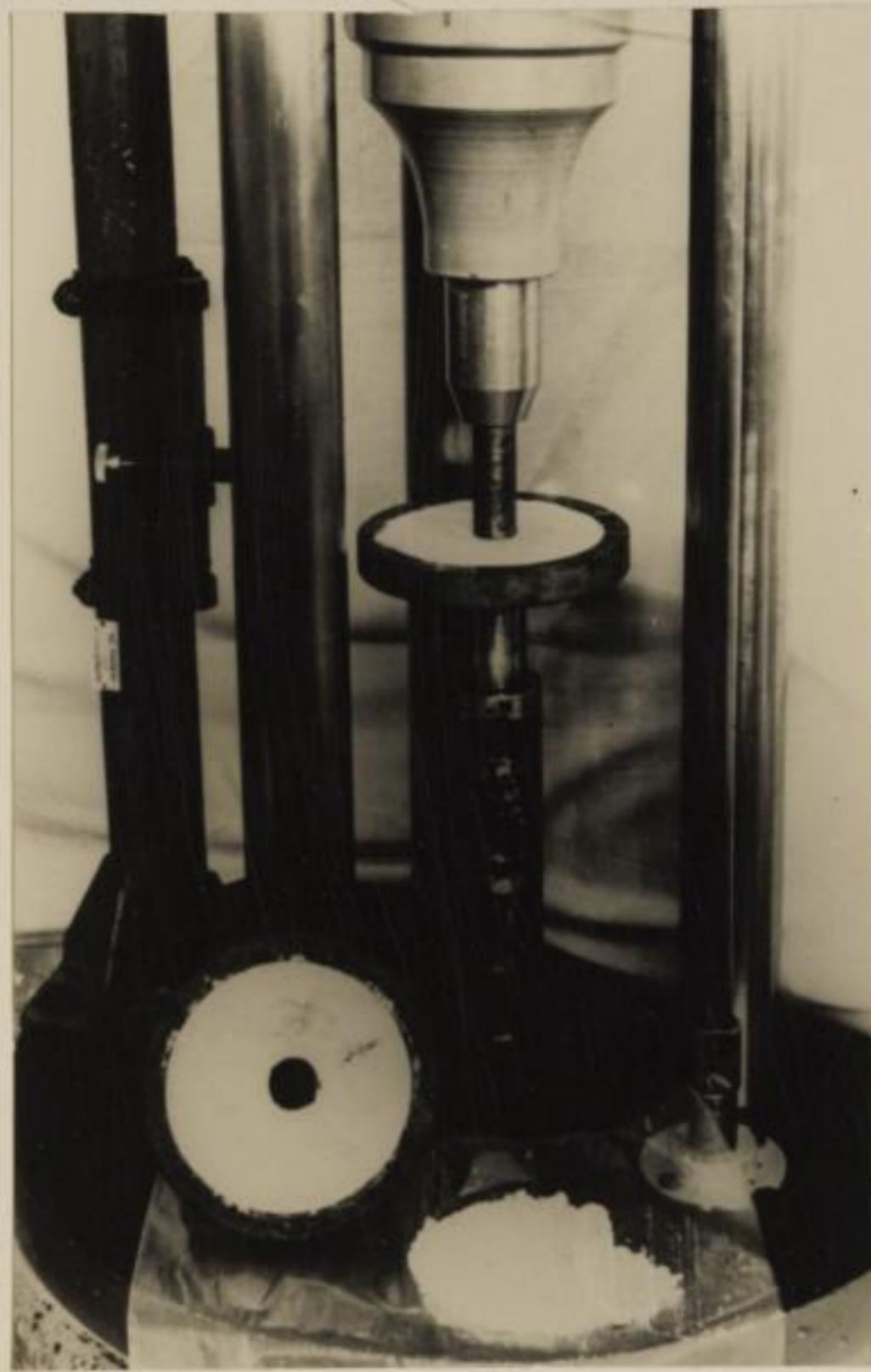
Geotechnisches Institut
 Prof. Dr. habil. Dr. rer. oec. habil.
 Dr. rer. oec. habil. Dr. rer. oec. habil.

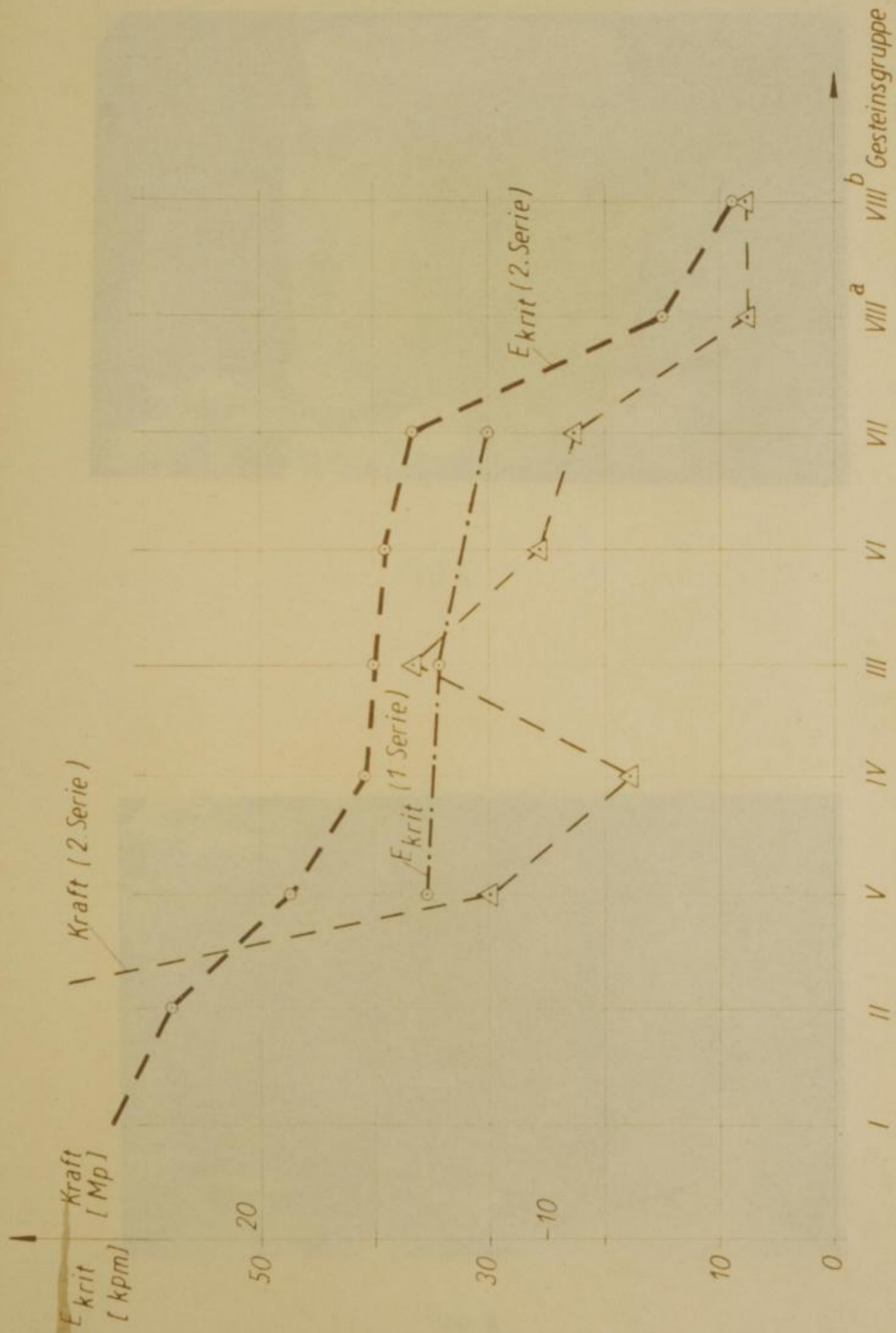


Vergleich der Kornfraktionsanteile von zwei Steinsalzproben, die bei sehr unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit zerstört wurden: a) ca. 2 kp/cm² · s (schraffiert)
 b) ca. 150 kp/cm² · s (schwarz)

Die in der Tabelle angegebenen Werte sind die Mittelwerte der in der Tabelle angegebenen Klassen. Die in der Tabelle angegebenen Werte sind die Mittelwerte der in der Tabelle angegebenen Klassen.





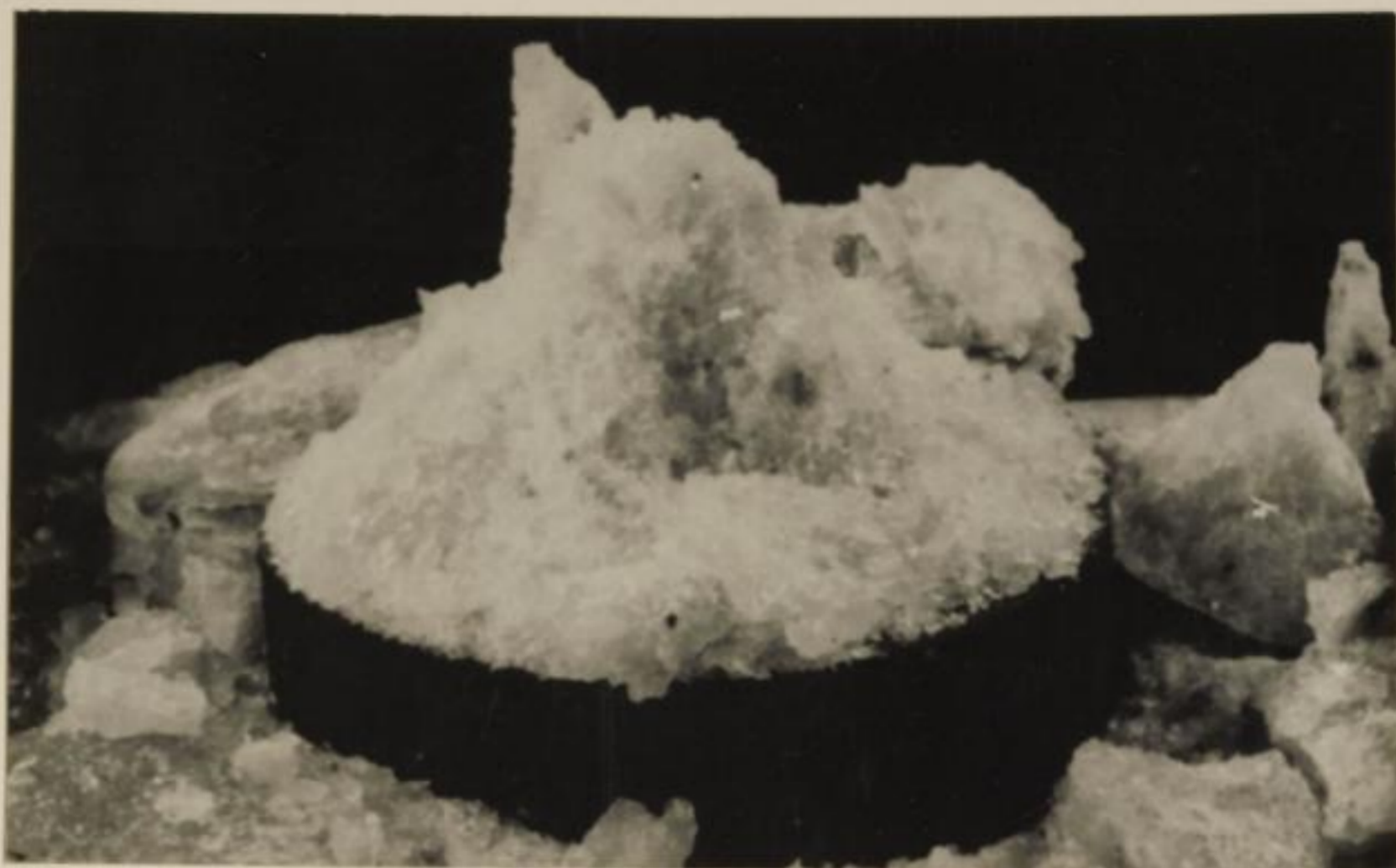




10 a



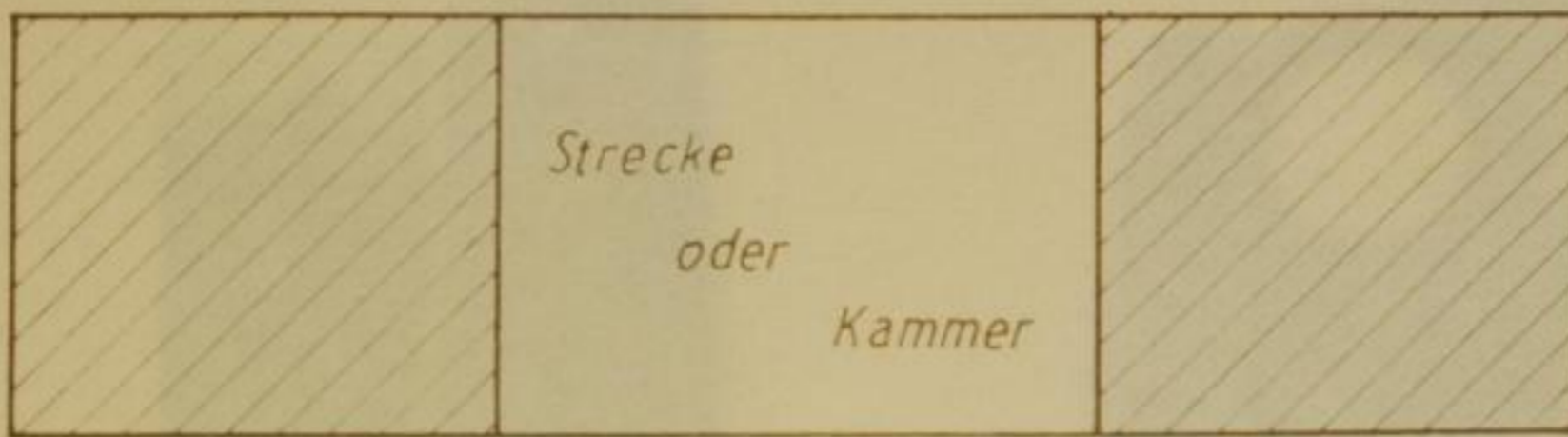
10 b



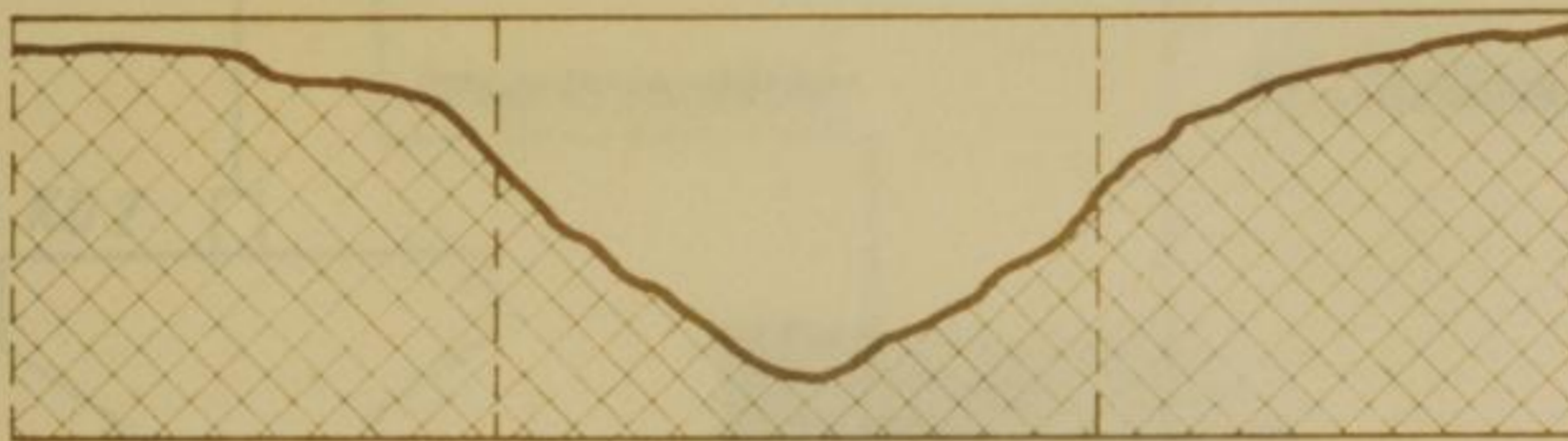
11 a



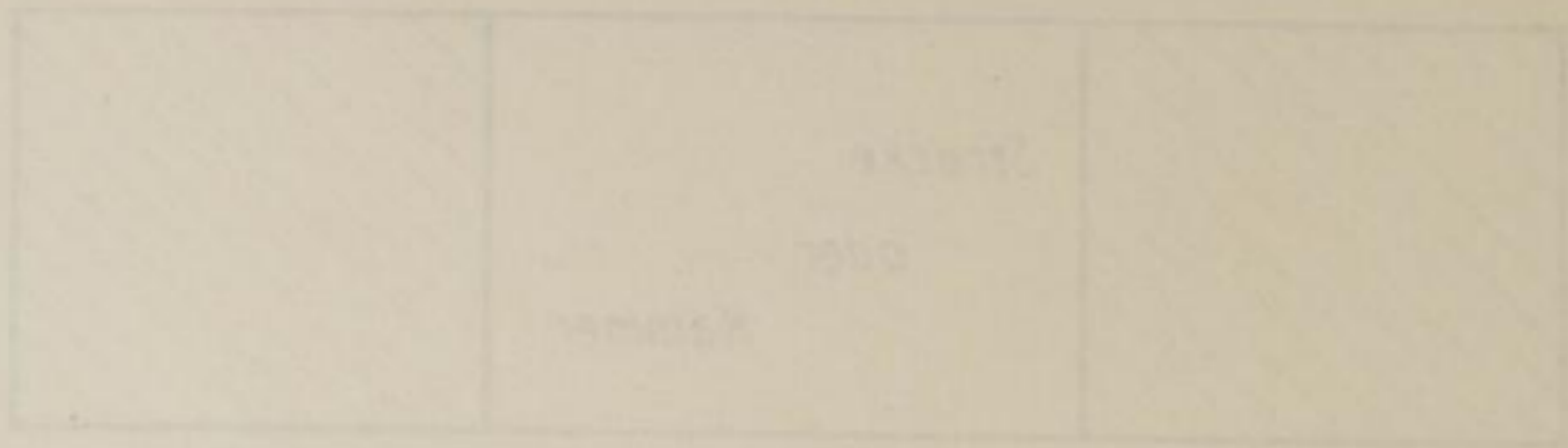
11 b



vor dem Schlag



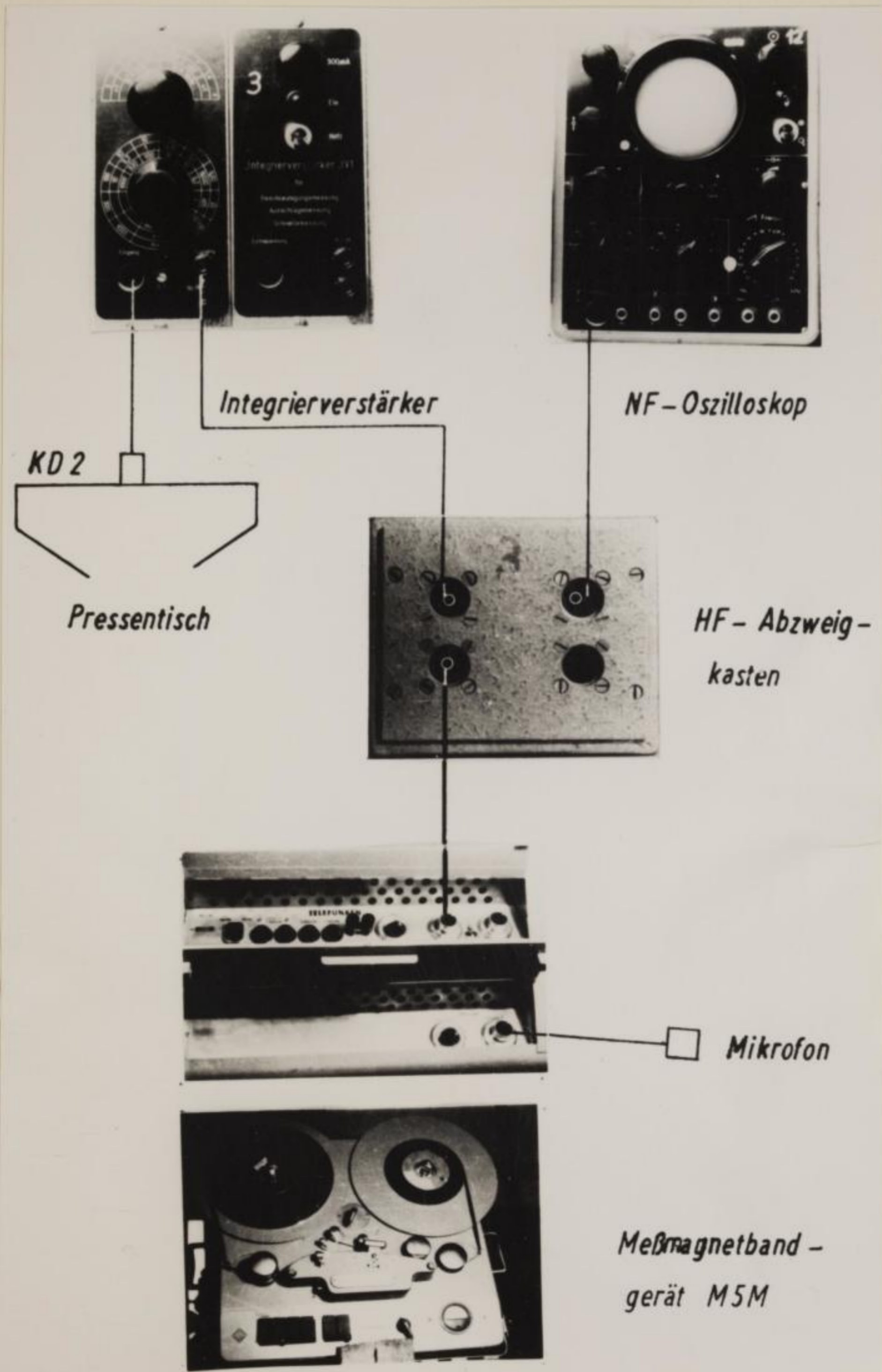
nach dem Schlag



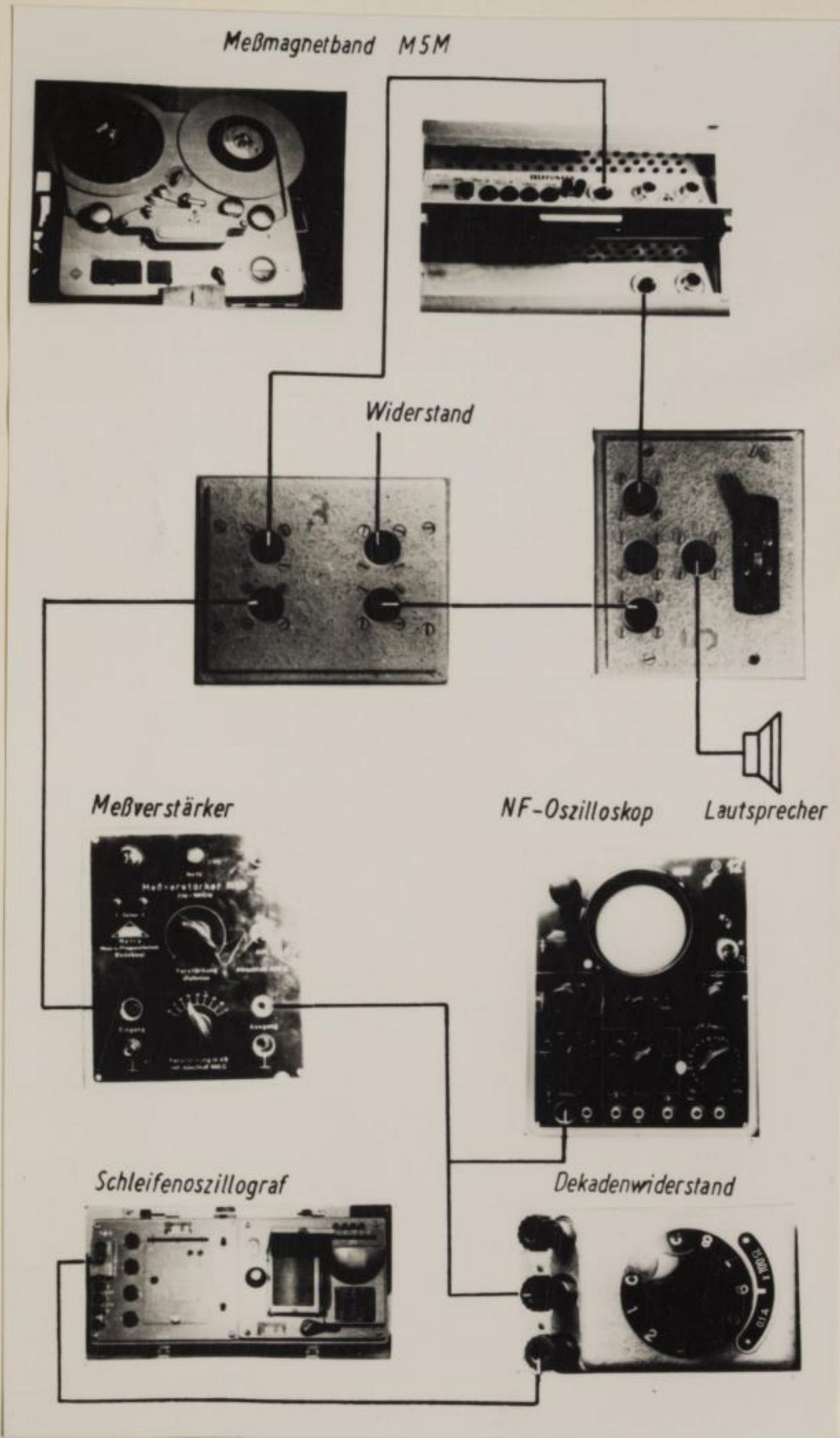
bei dem Joch

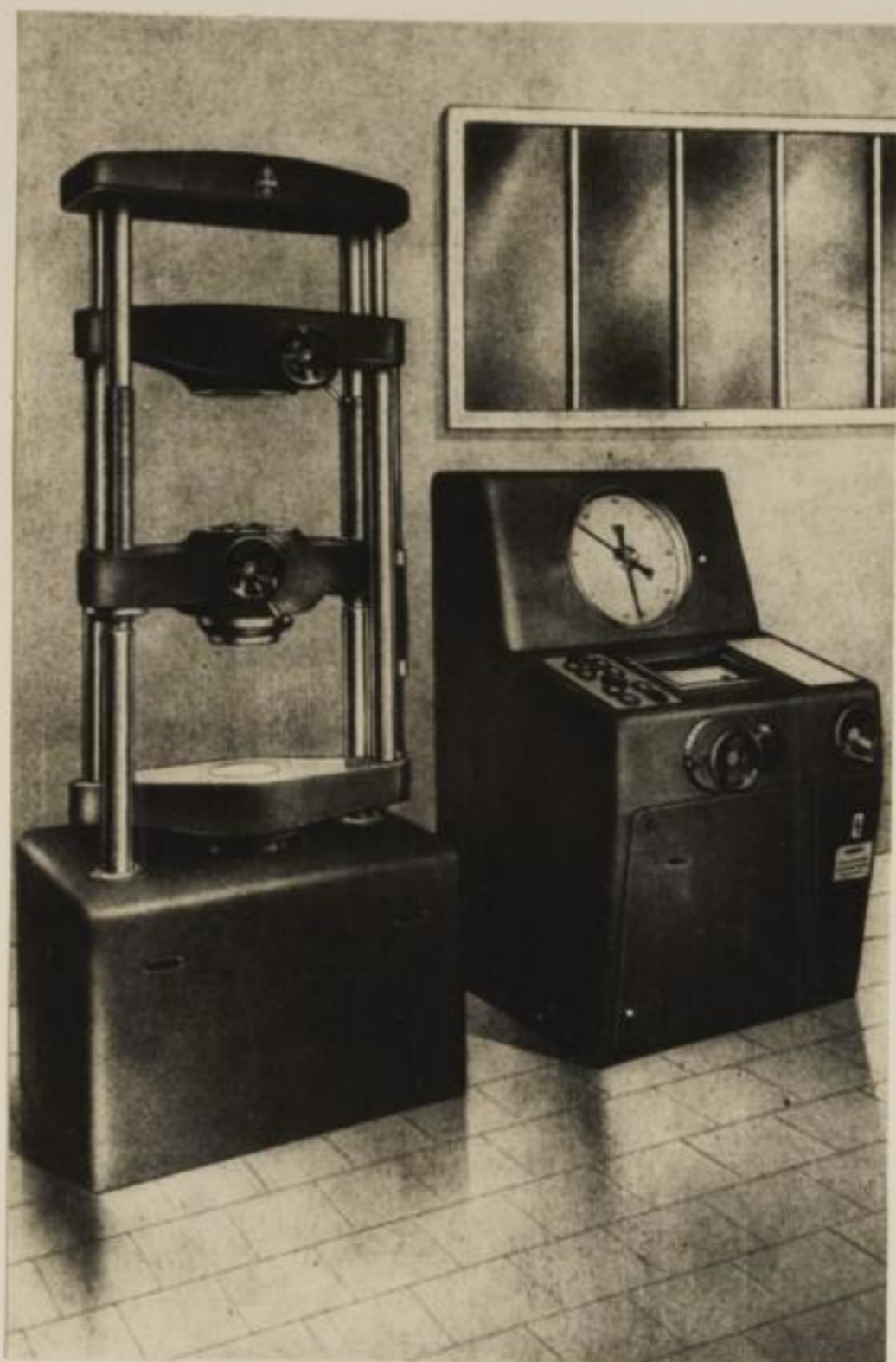


bei dem Joch



Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.

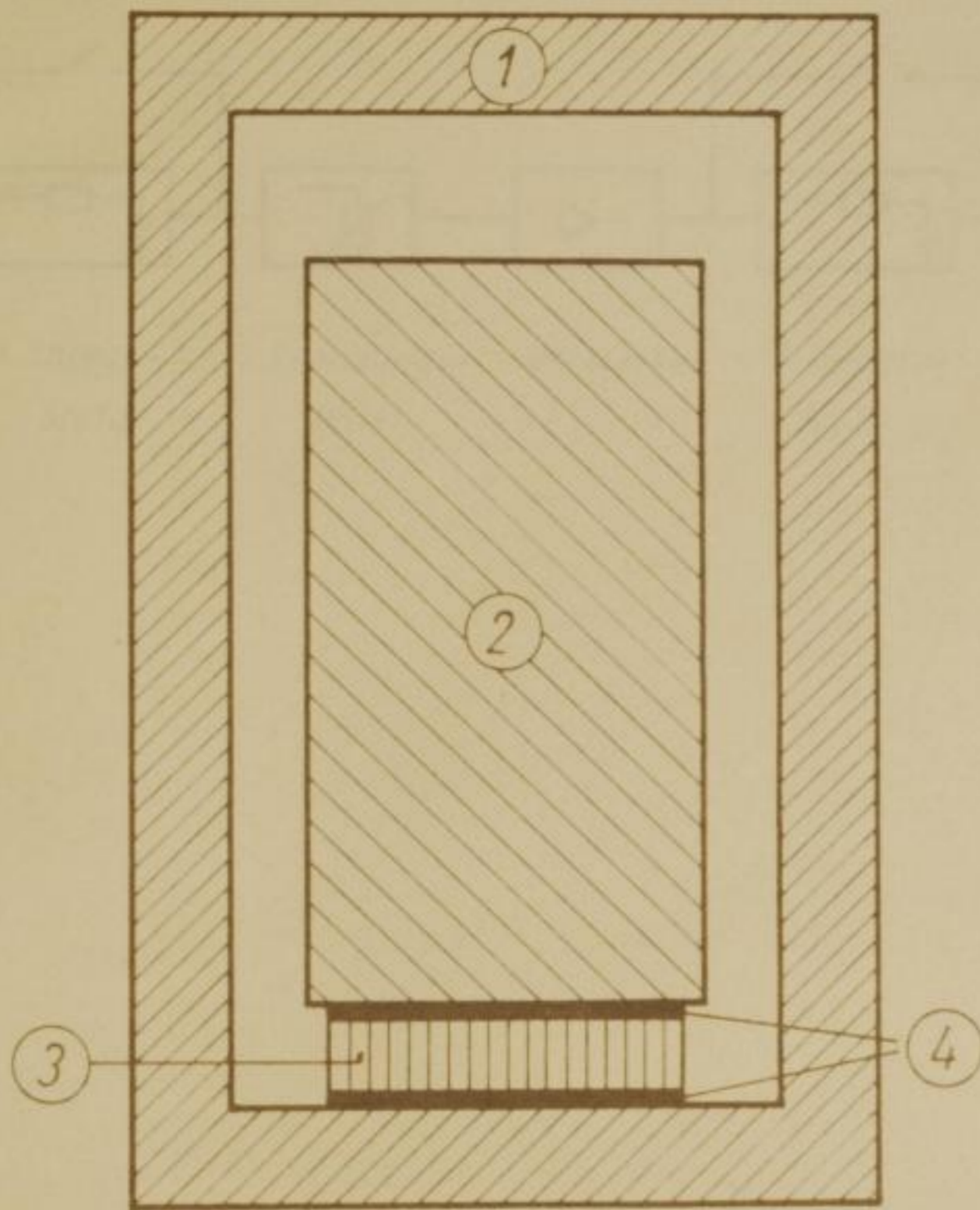




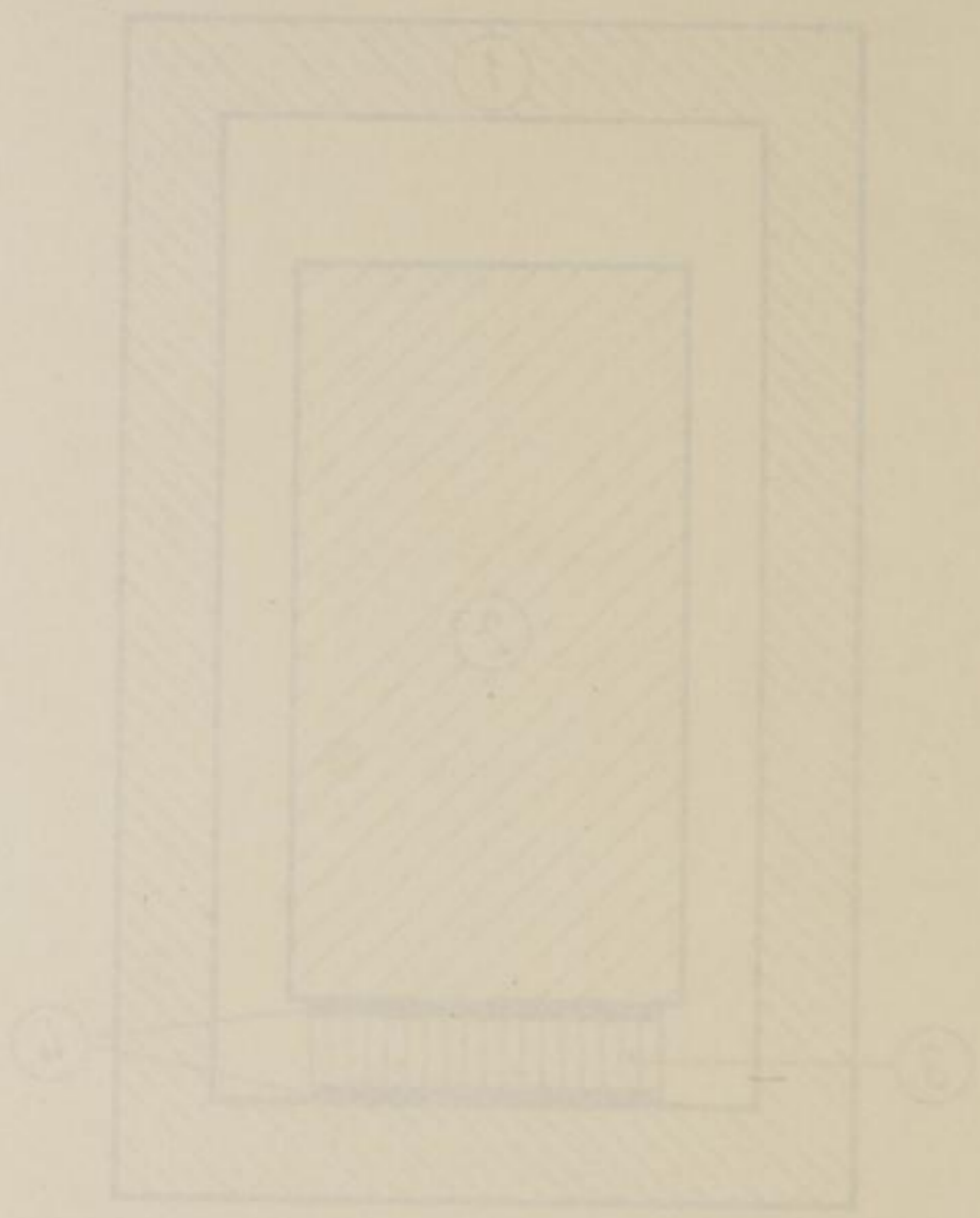
14



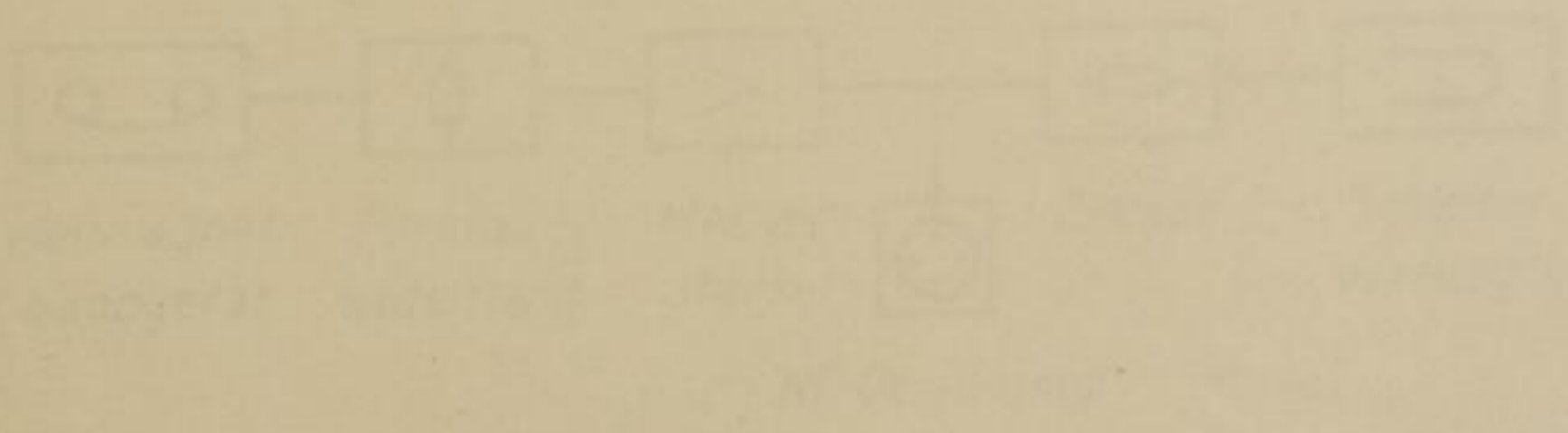
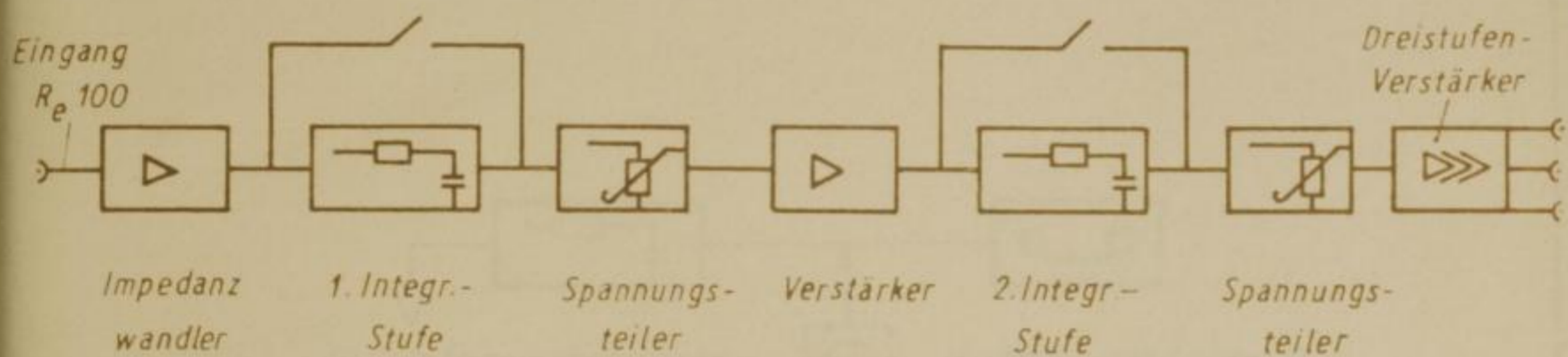
15

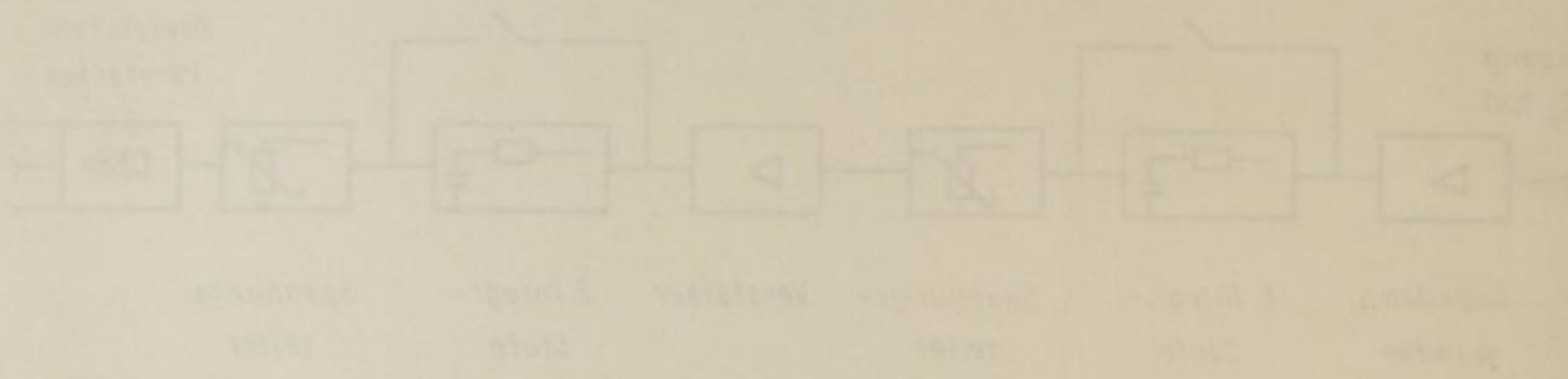


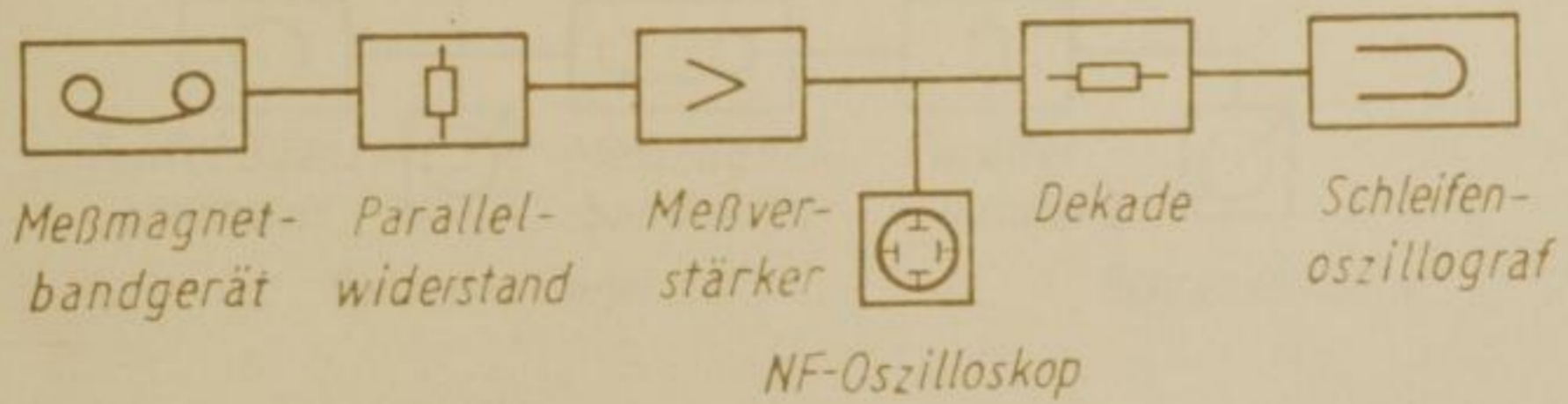
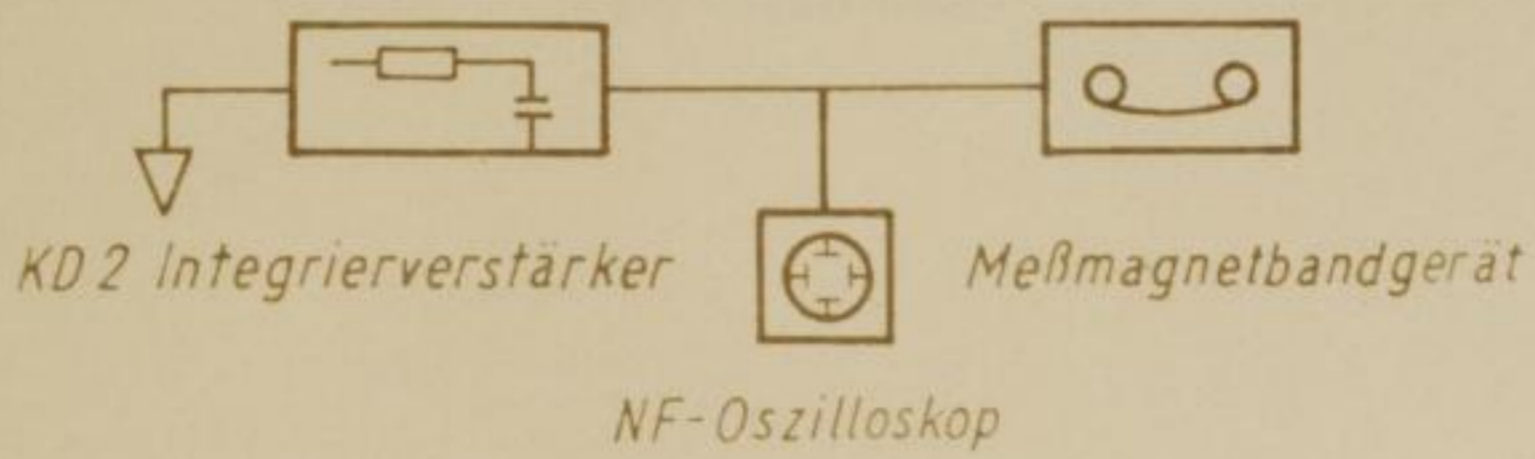
- 1 Metallgehäuse
- 2 seismische Masse
- 3 piezoelektrische Scheibe
- 4 Kontaktabnehmer



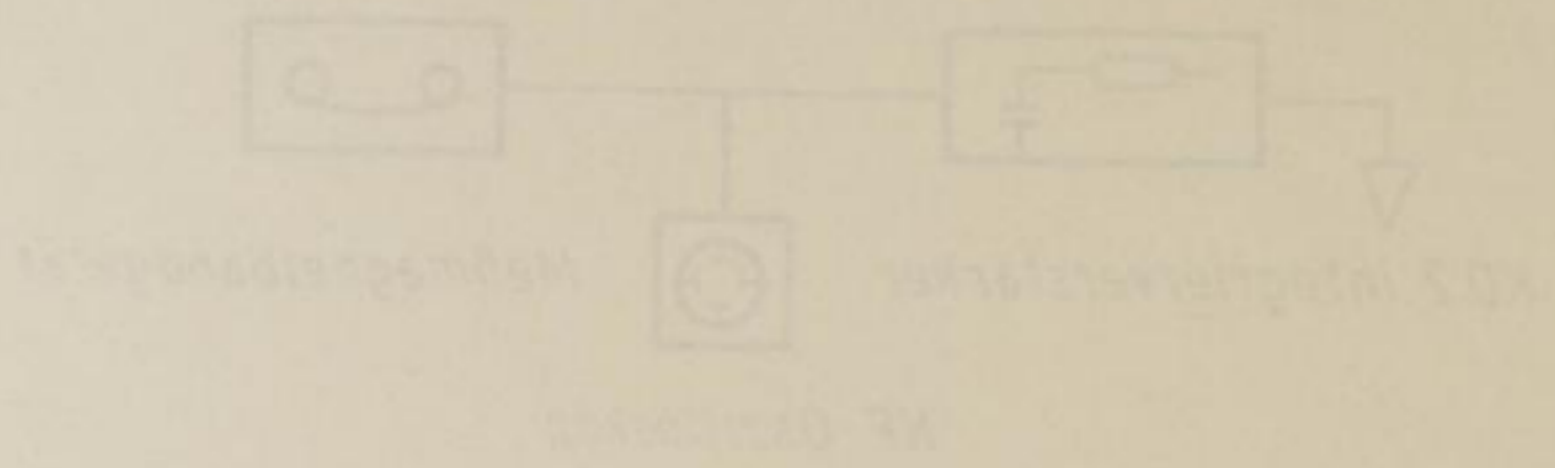
1 Mäntelgehäuse
 2 keramische Masse
 3 elektrische Isolation
 4 Kontaktstreifen



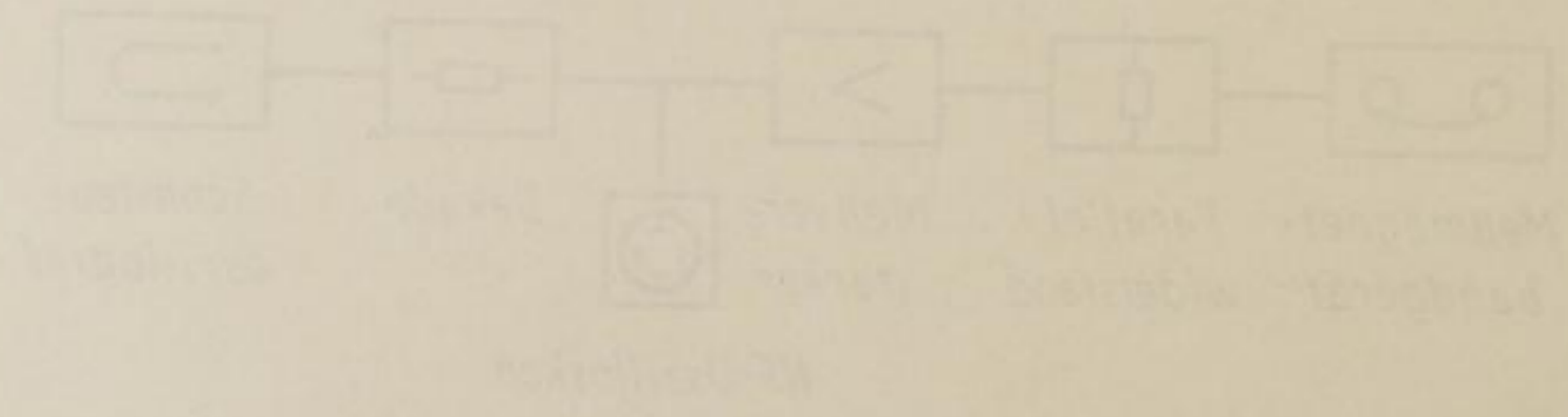


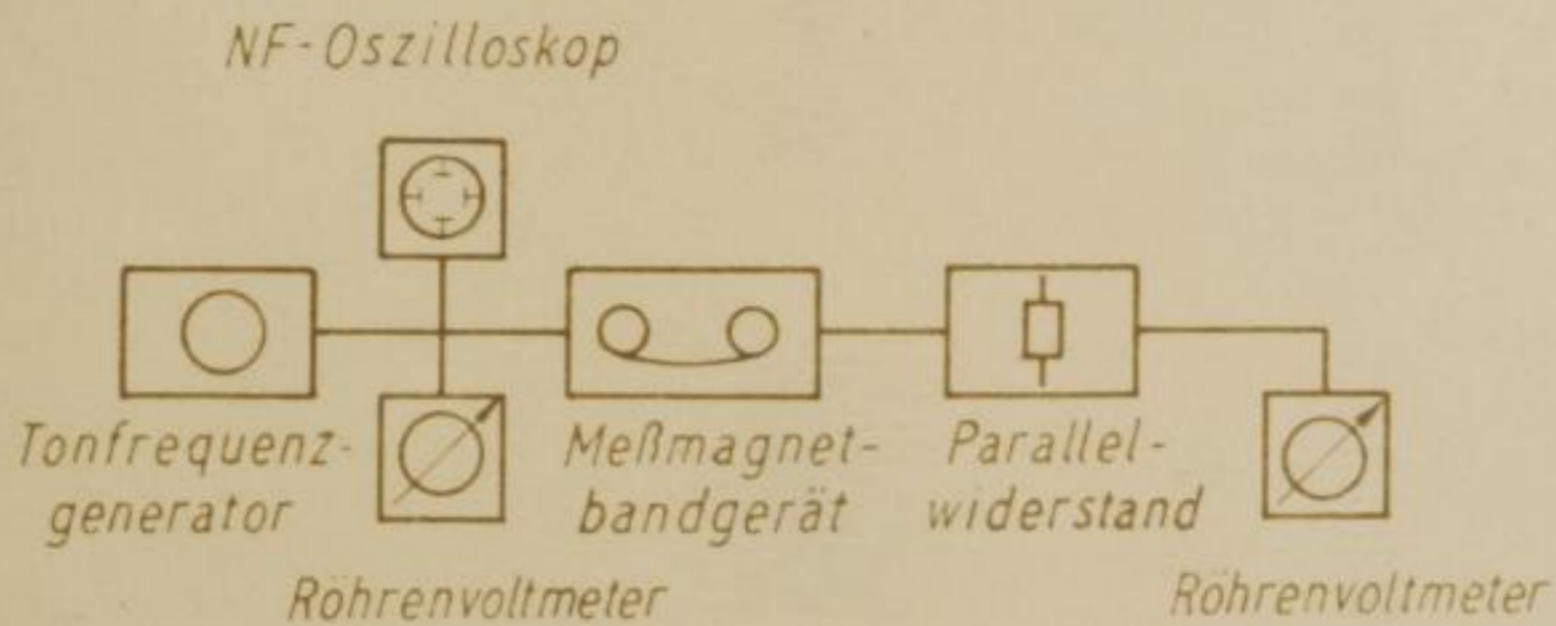
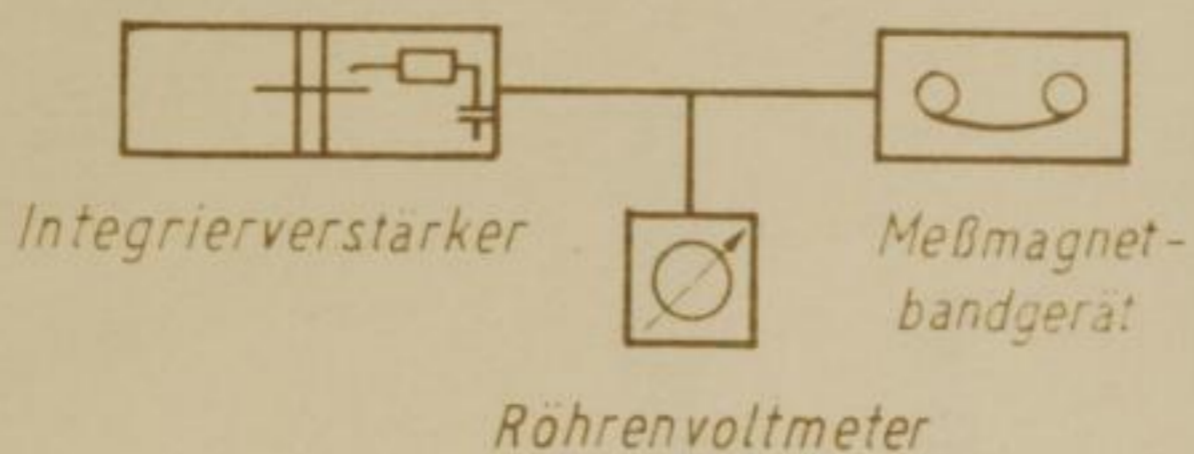


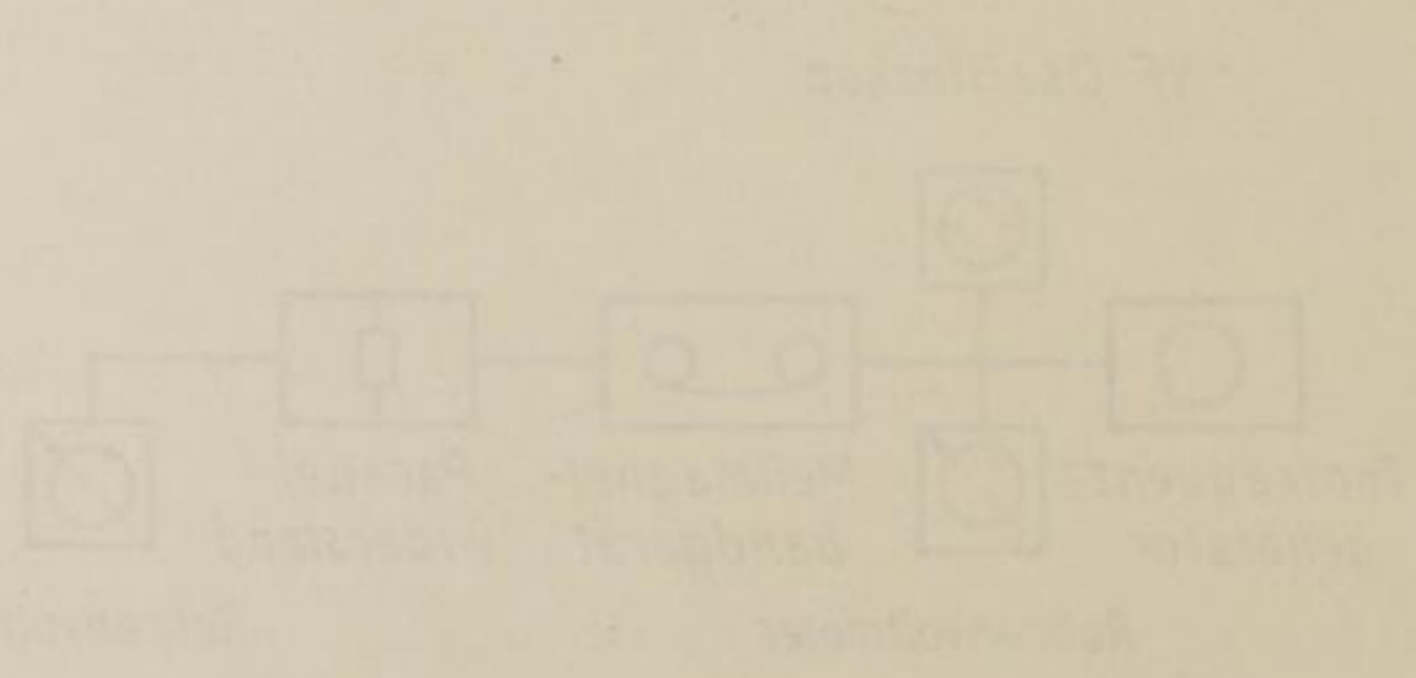
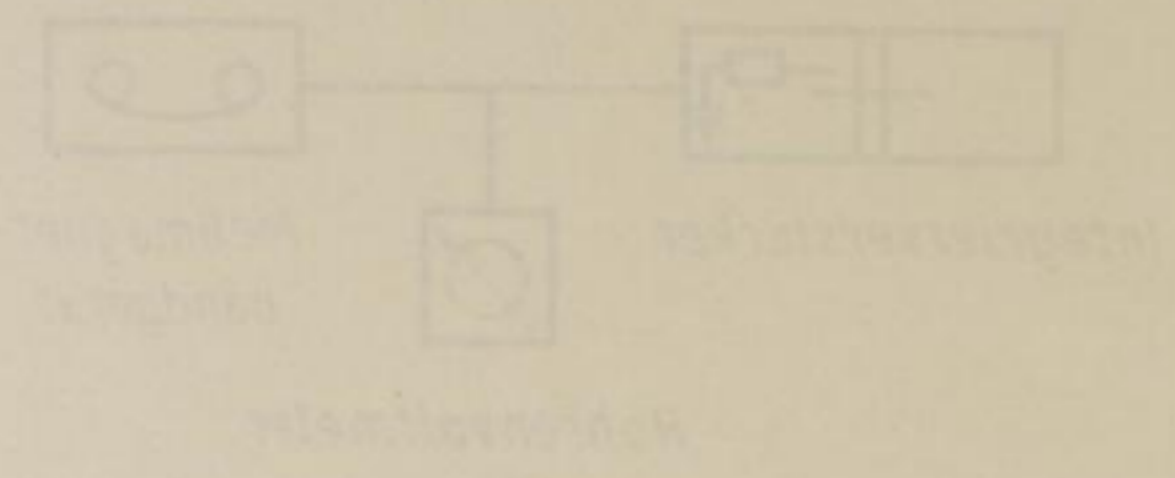
1813

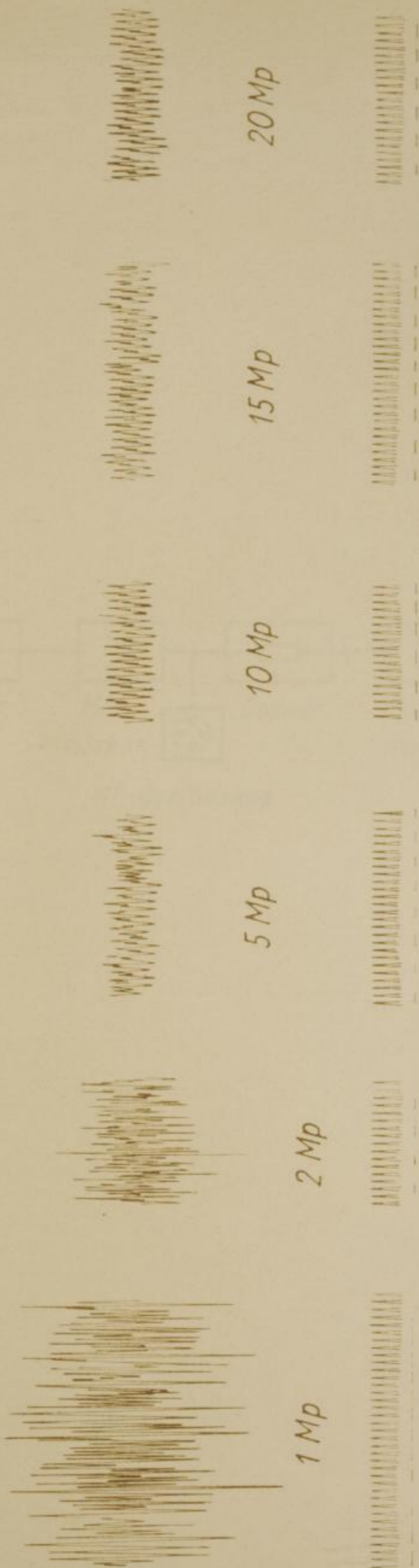


1814

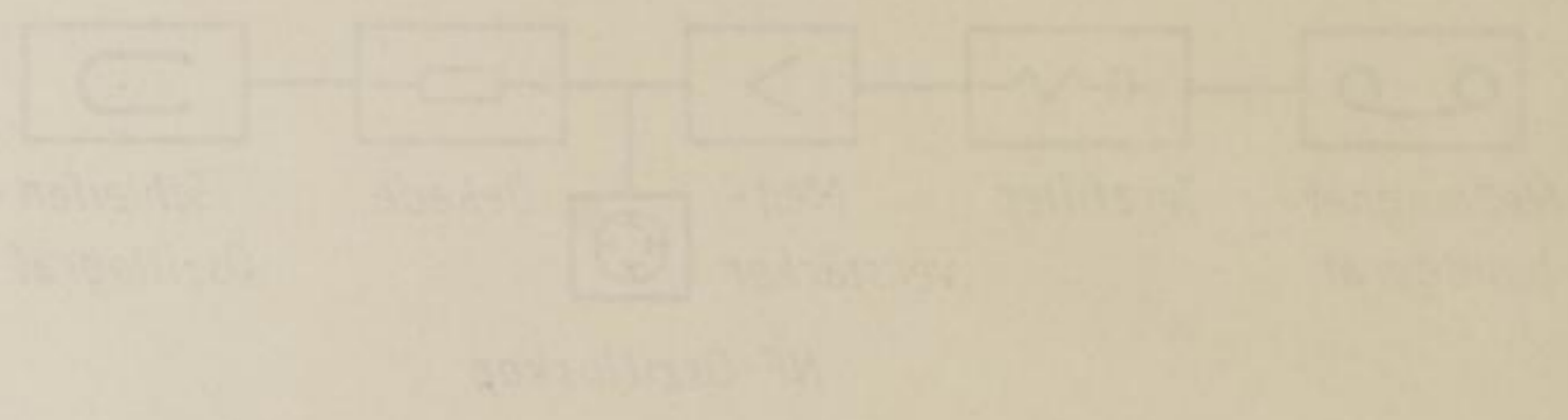




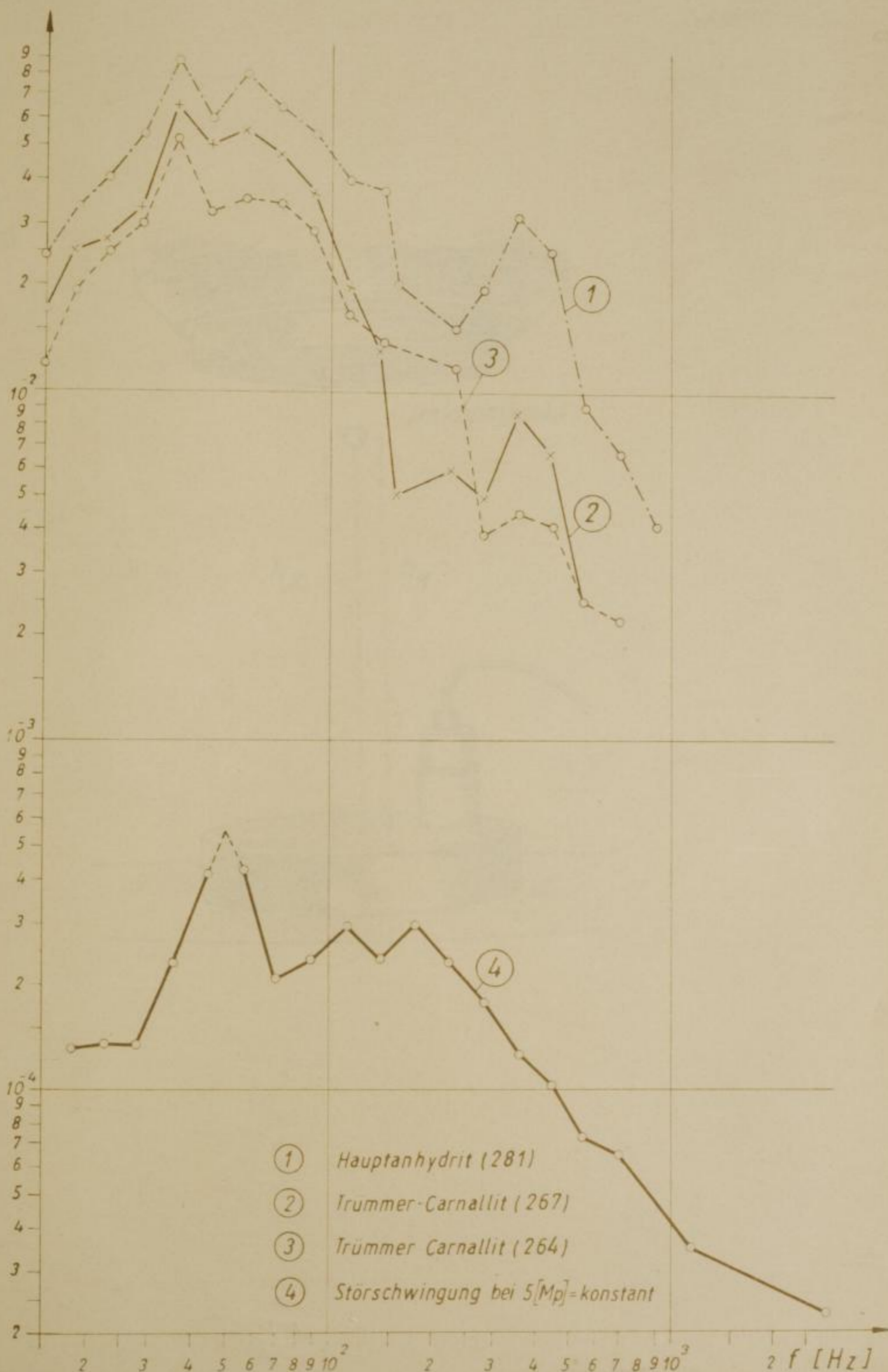


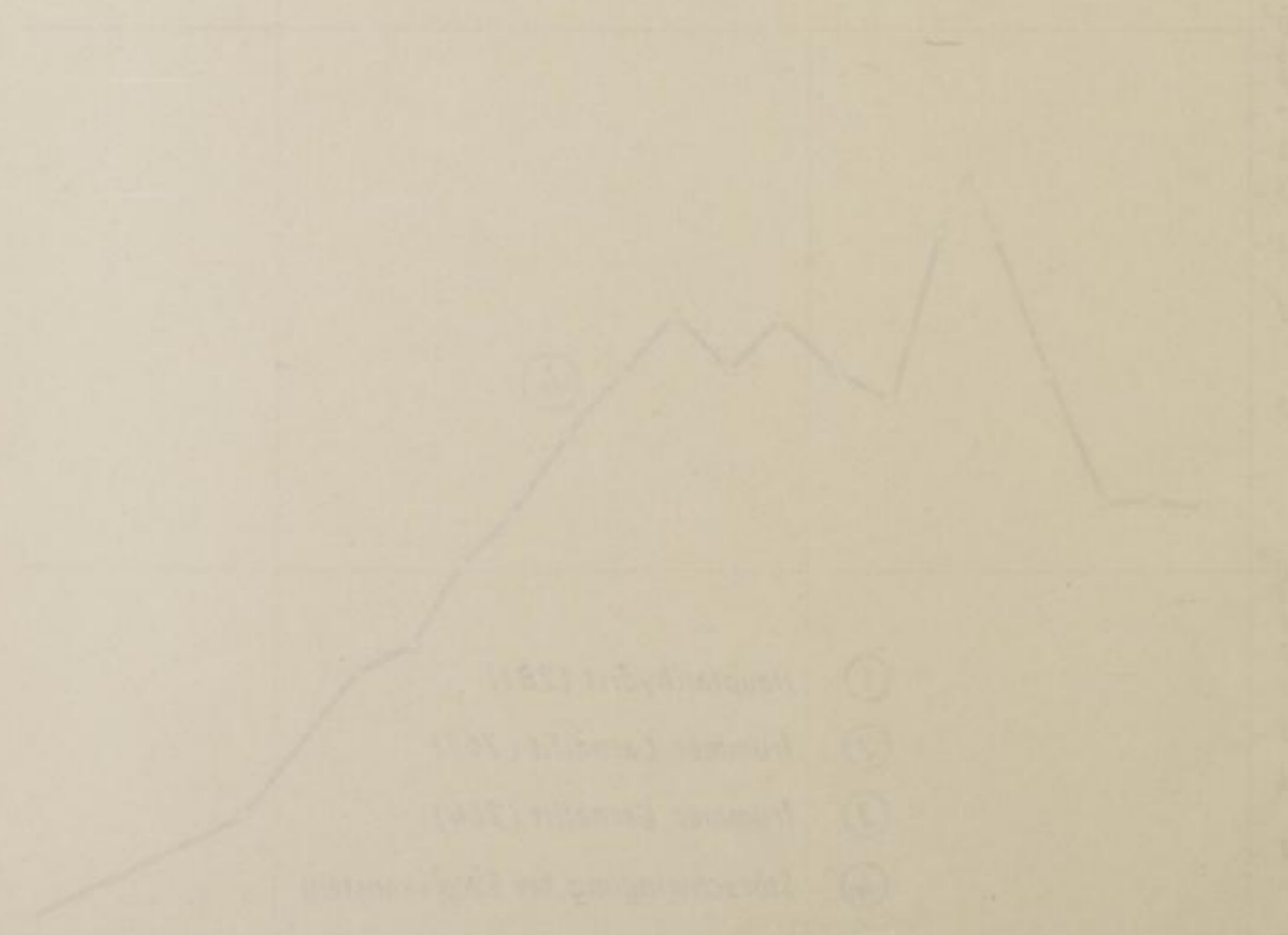
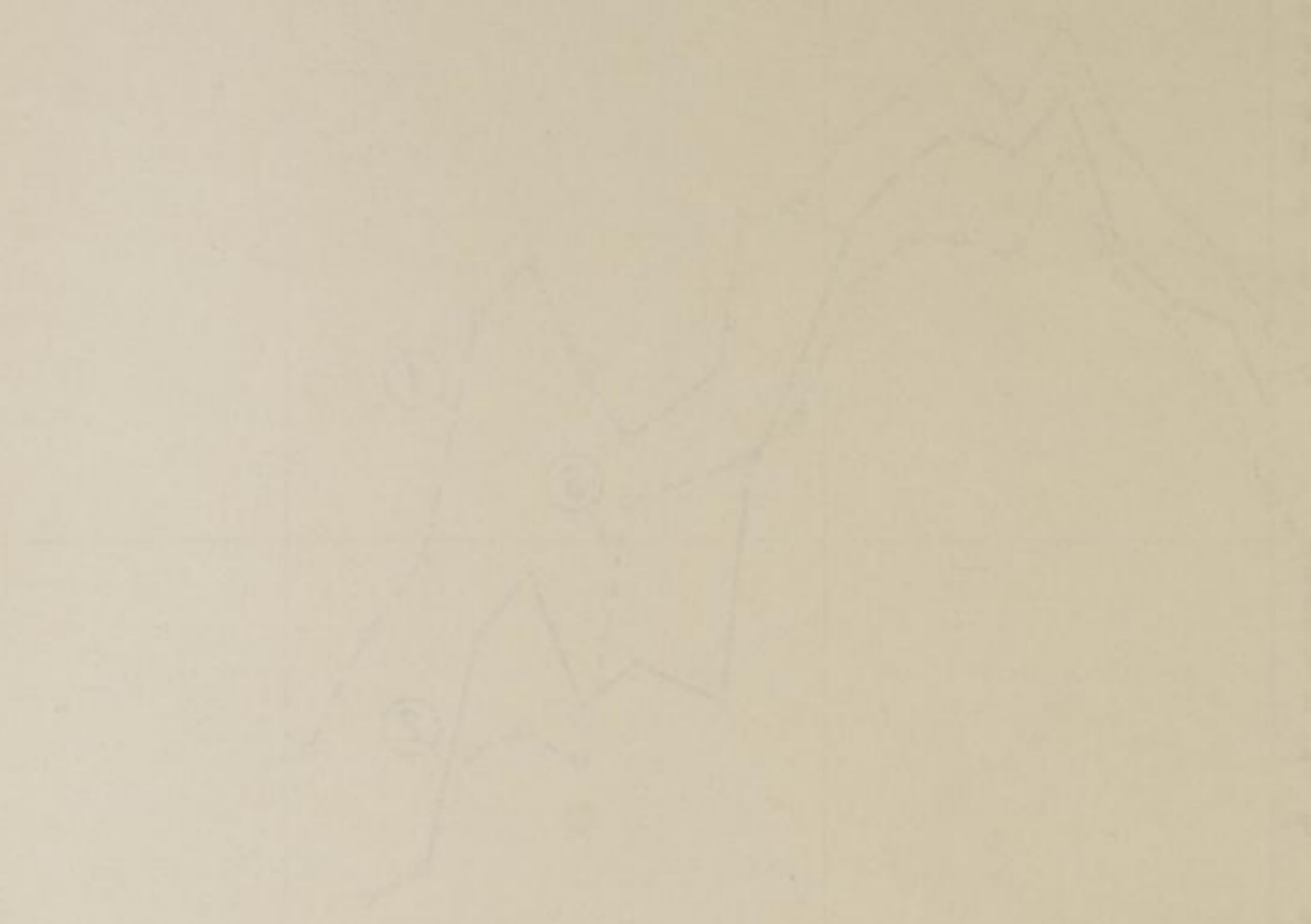






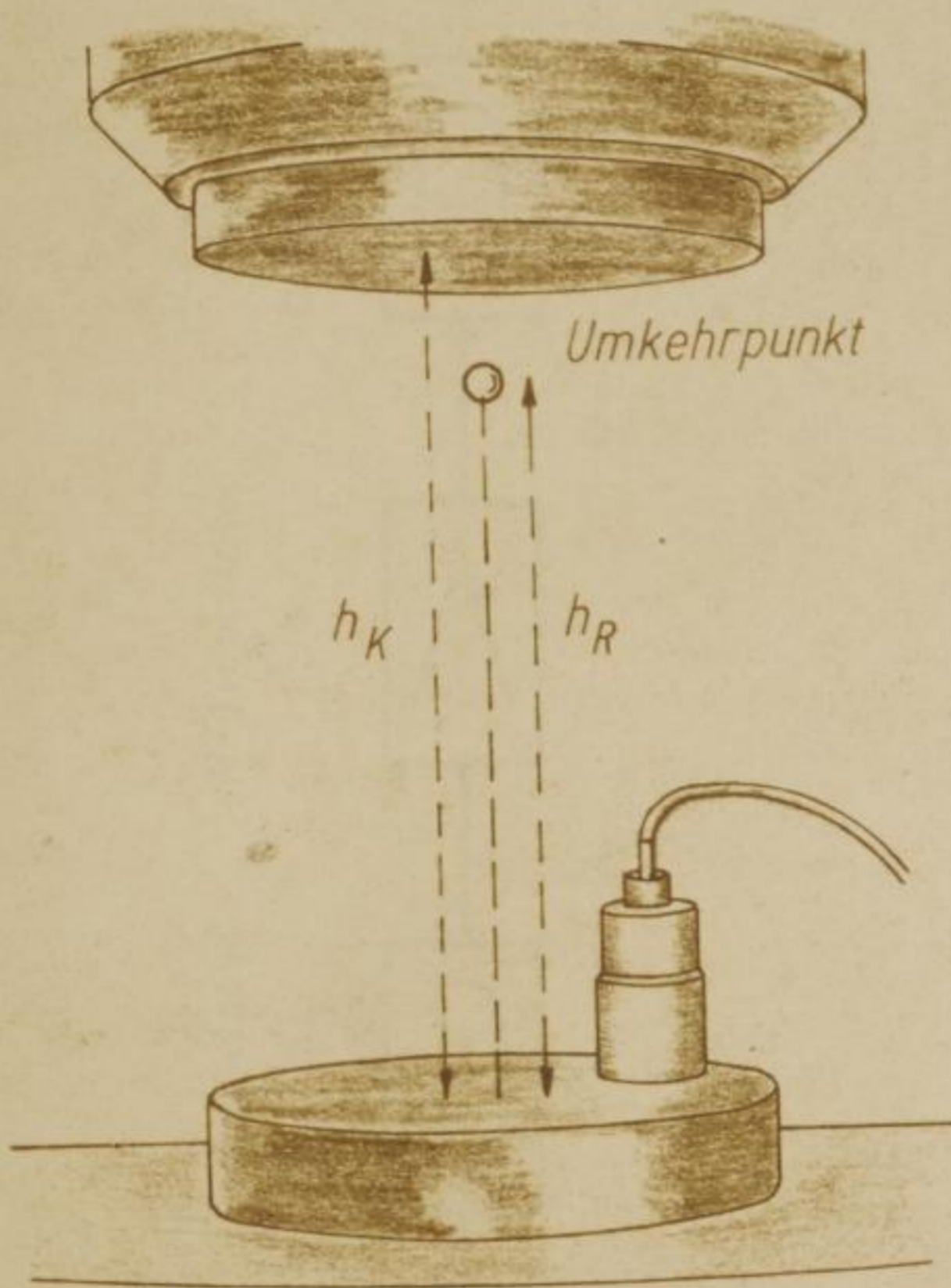
$v_f [ms^{-1}]$

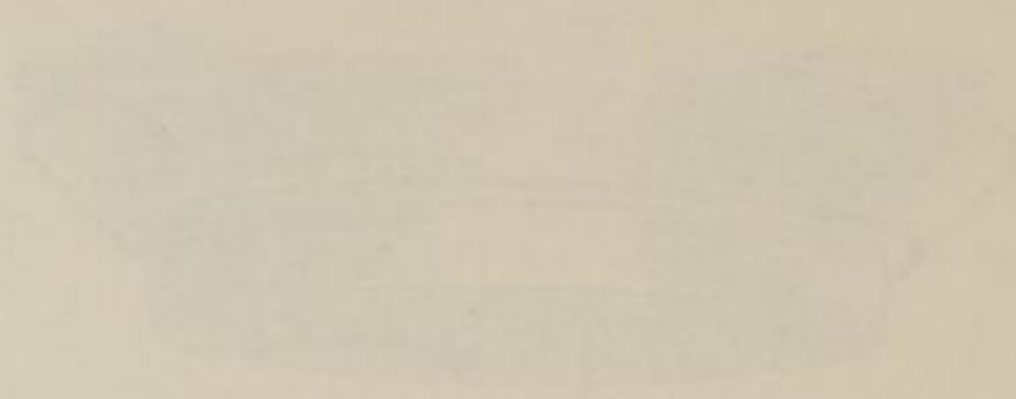




- ① Hauptstadt (1871)
- ② Hauptstadt (1872)
- ③ Hauptstadt (1873)
- ④ Hauptstadt (1874)

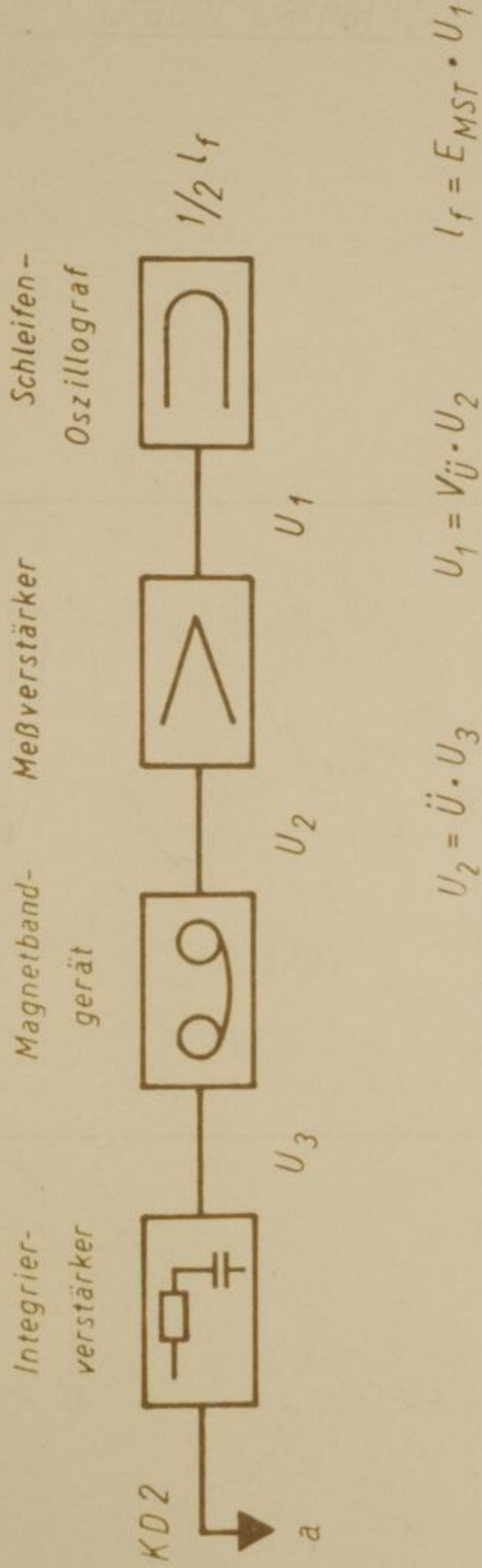
1871 1872 1873 1874





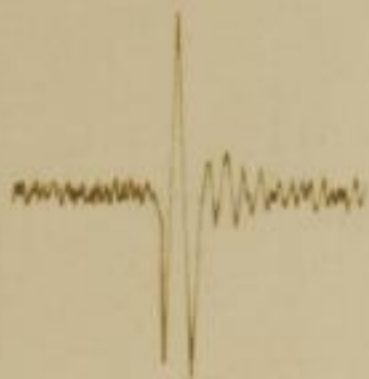
Handwritten text, possibly a label or title, which is extremely faint and difficult to decipher.





Erläuterung zur Ableitung von Formel (9)

Grauer Carnallit



22/302

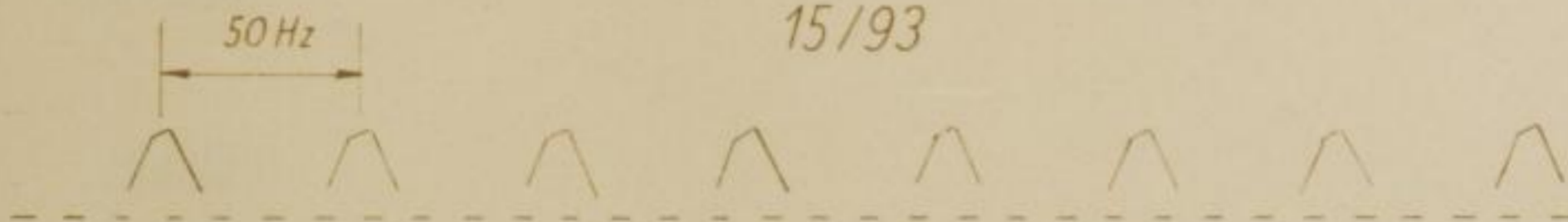
50 Hz



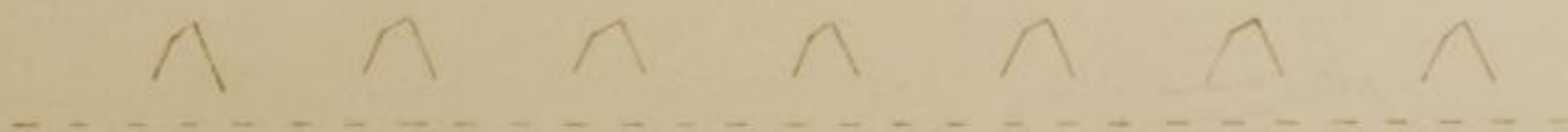
18/236



15/93



16/114



Faust's Gestalt

1848

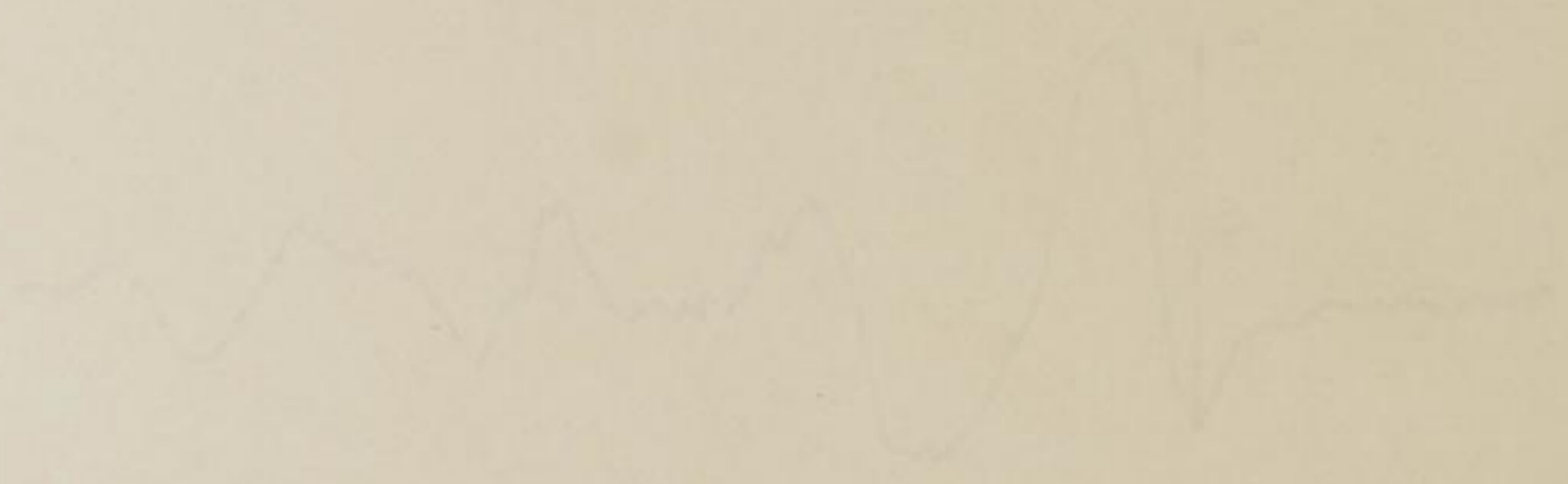
1848

1848

1848

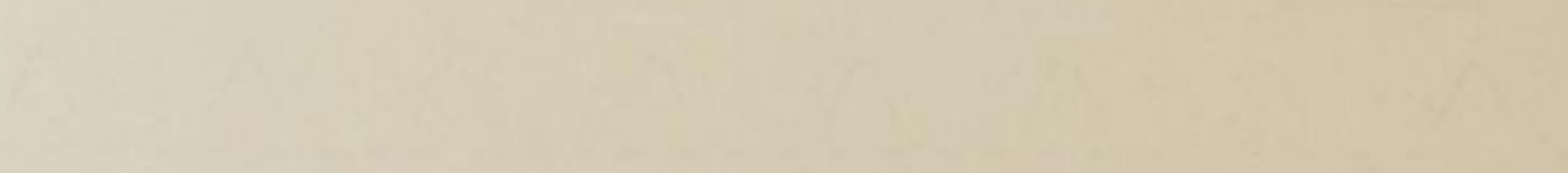
1848

1848



1848

1848



1848

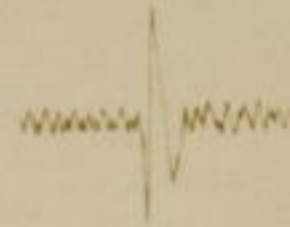
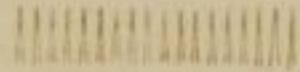
Trümmercarnallit



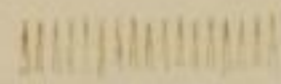
9/261



31/268



25/345



14/337



13/168



10/131



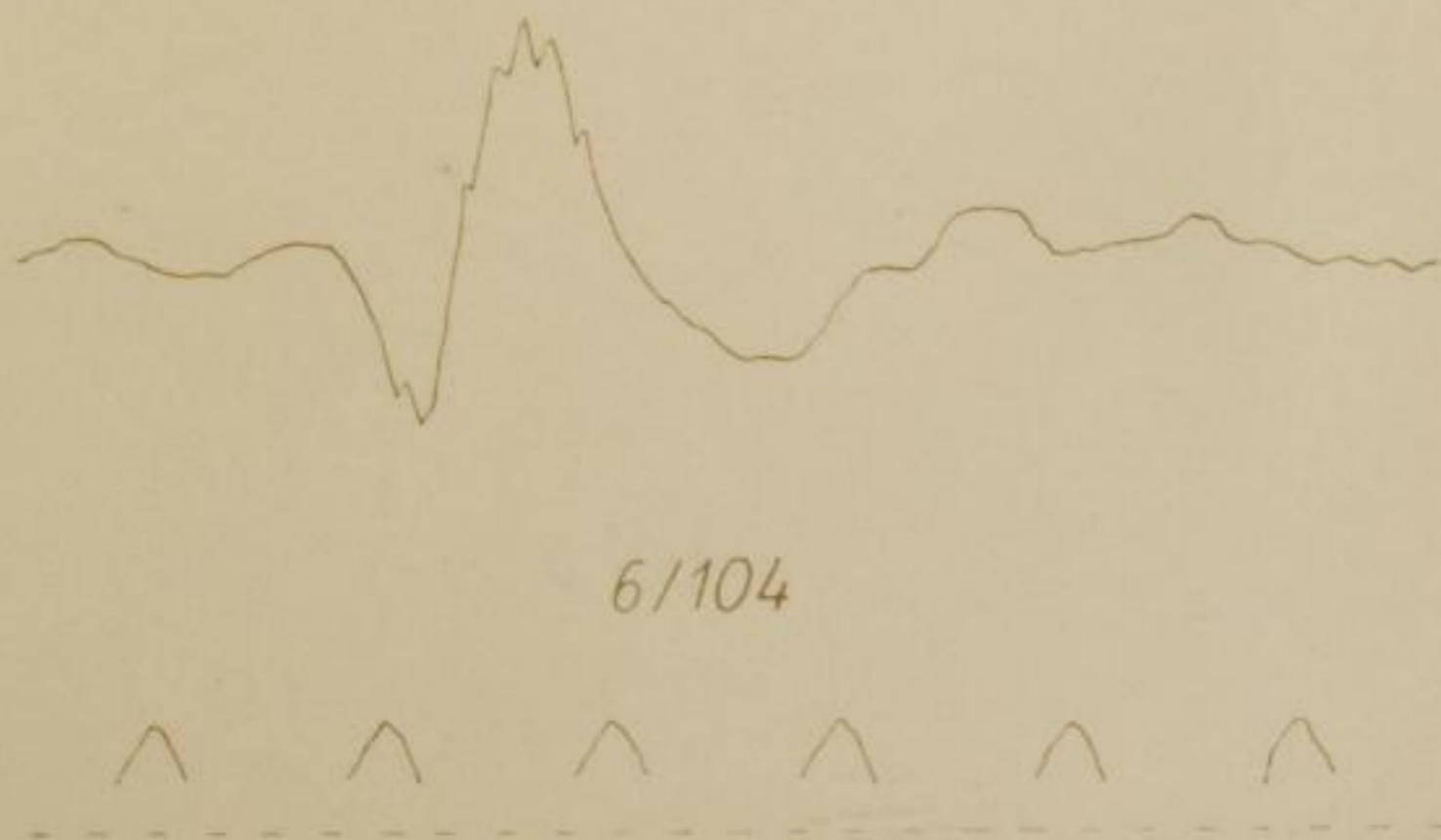
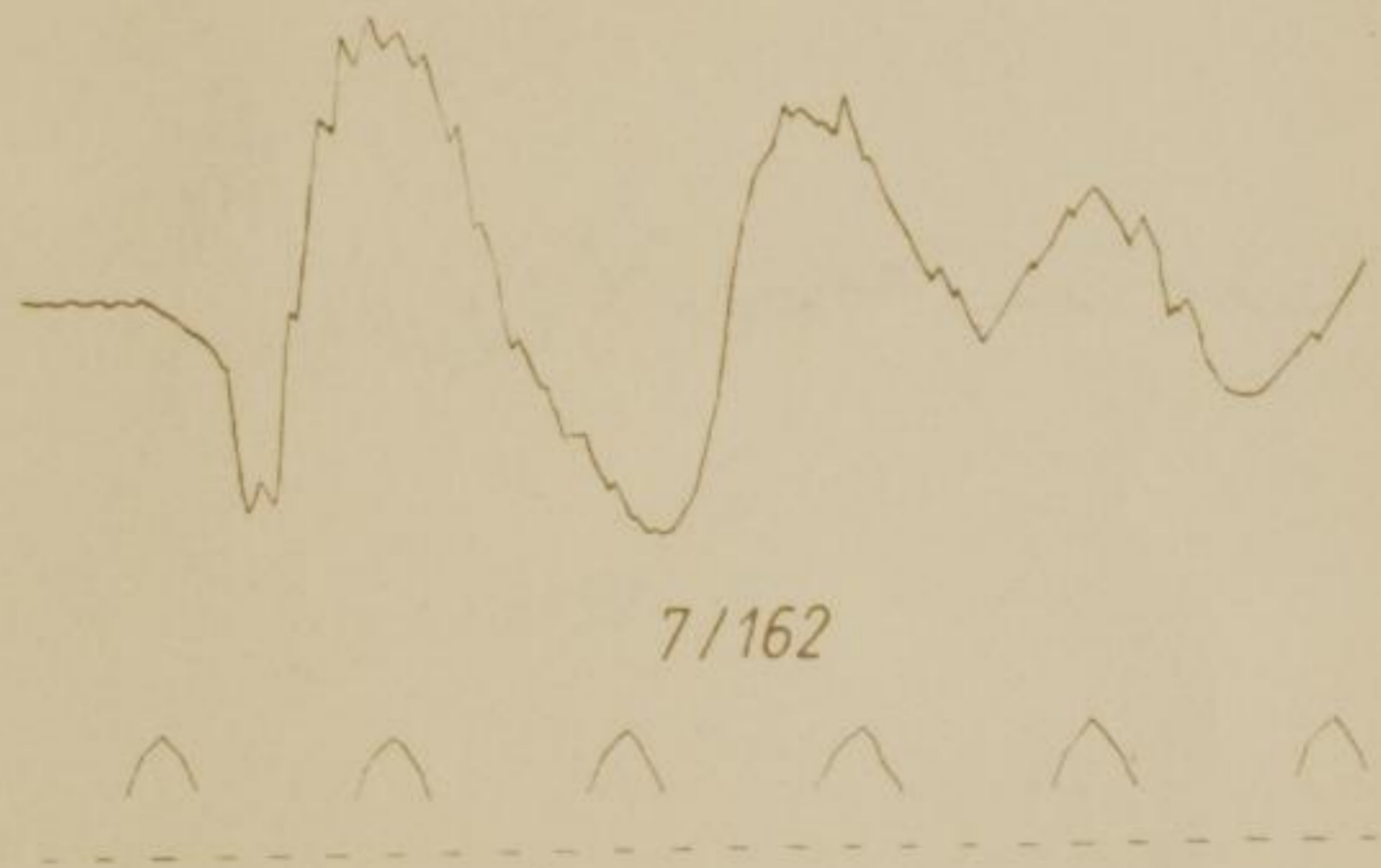
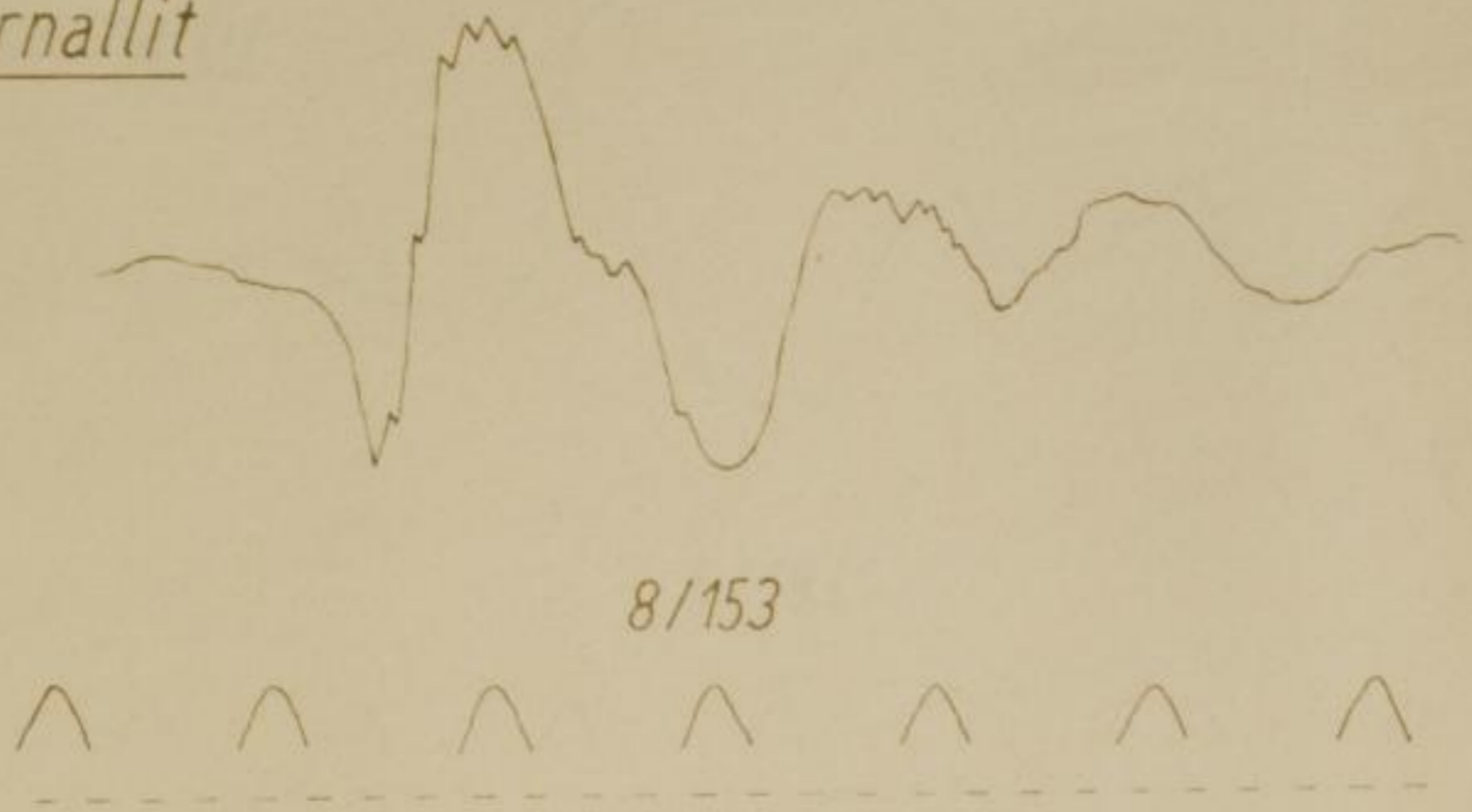
Instrumentarium

1. 1878
2. 1879
3. 1880
4. 1881
5. 1882
6. 1883
7. 1884
8. 1885
9. 1886
10. 1887
11. 1888
12. 1889
13. 1890
14. 1891
15. 1892
16. 1893
17. 1894
18. 1895
19. 1896
20. 1897
21. 1898
22. 1899
23. 1900

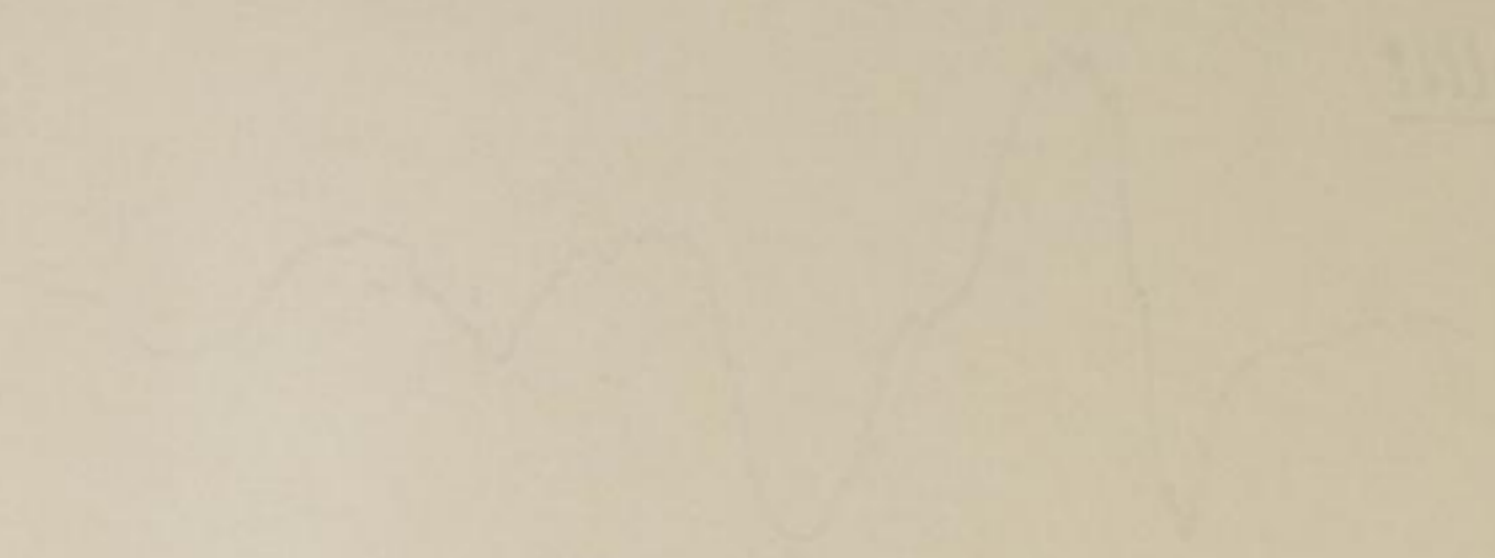
1. 1901
2. 1902
3. 1903
4. 1904
5. 1905
6. 1906
7. 1907
8. 1908
9. 1909
10. 1910
11. 1911
12. 1912
13. 1913
14. 1914
15. 1915
16. 1916
17. 1917
18. 1918
19. 1919
20. 1920

1. 1921
2. 1922
3. 1923
4. 1924
5. 1925
6. 1926
7. 1927
8. 1928
9. 1929
10. 1930
11. 1931
12. 1932
13. 1933
14. 1934
15. 1935
16. 1936
17. 1937
18. 1938
19. 1939
20. 1940

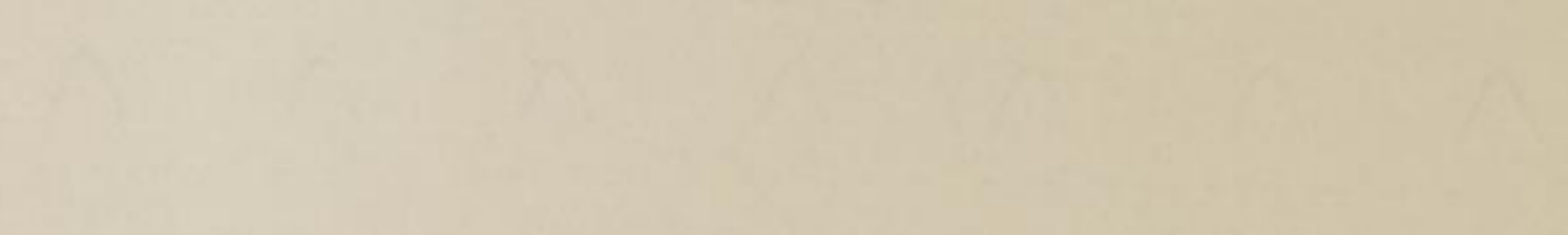
Trümmercarnallit



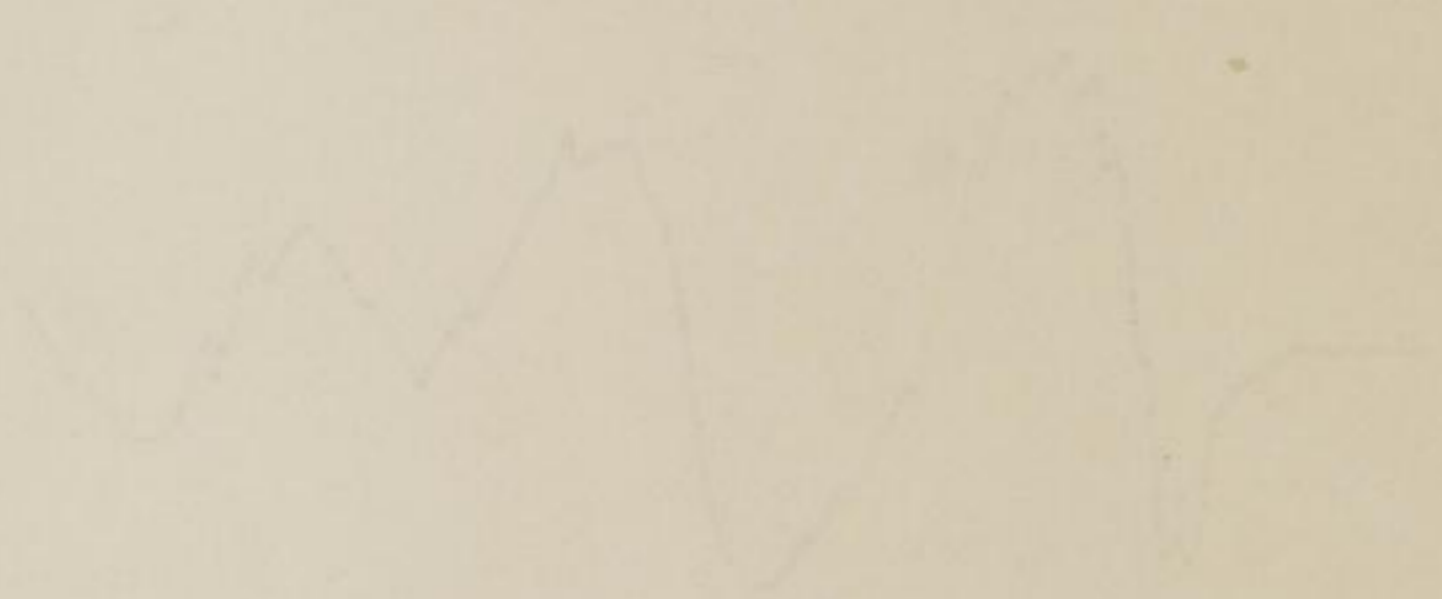
Temperatur



1878



1877



1876



Trümmercarnallit



5/183



5/57



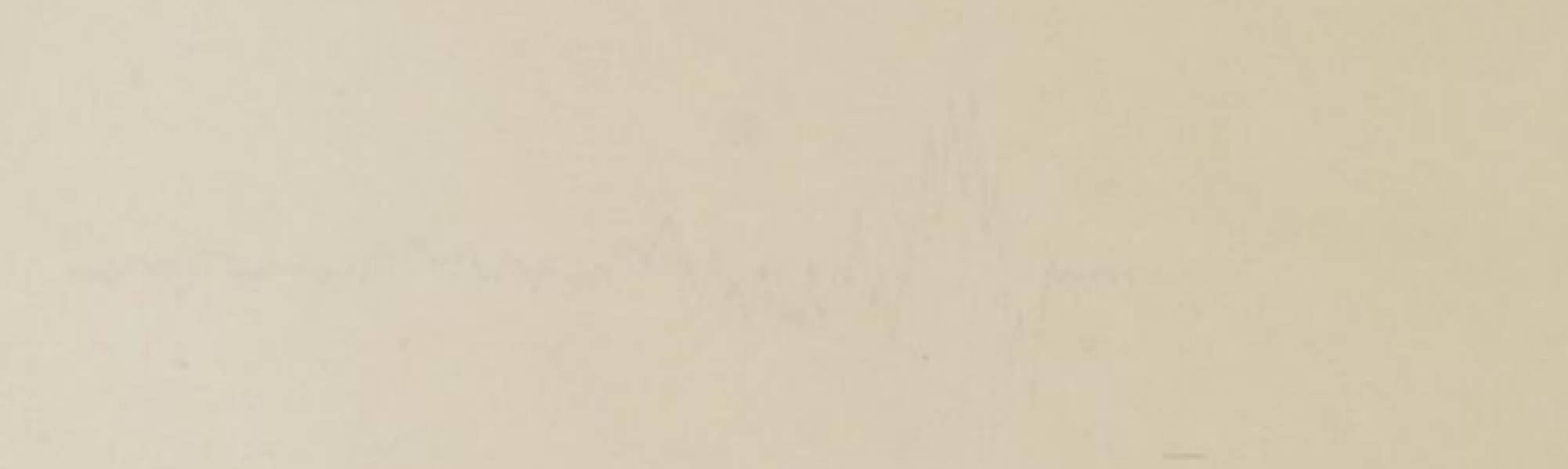
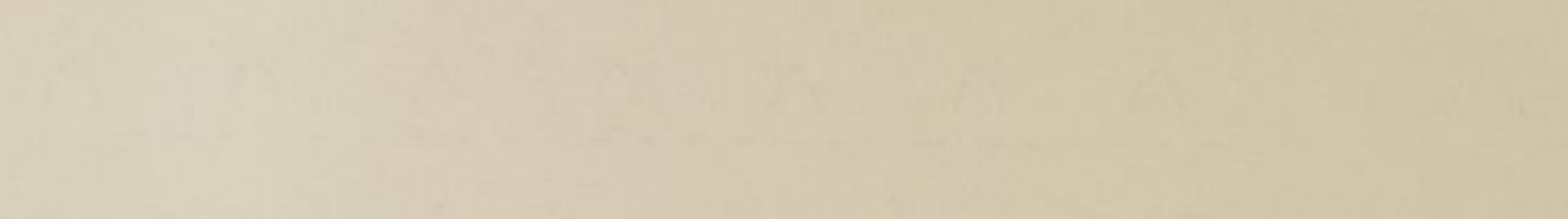
4/191



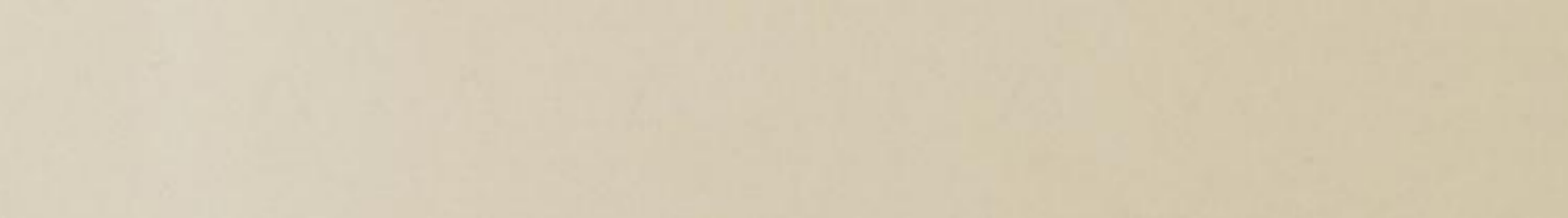


Temperatur

1873



1873



1873



Hartsalz



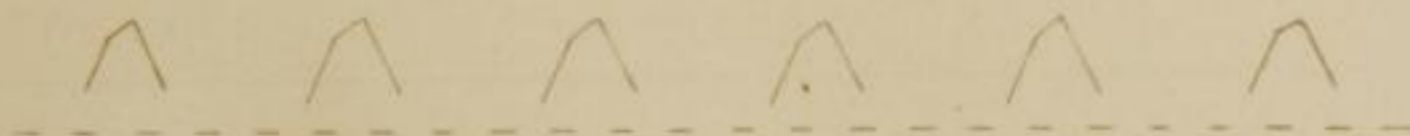
29/245



40/478



21/88

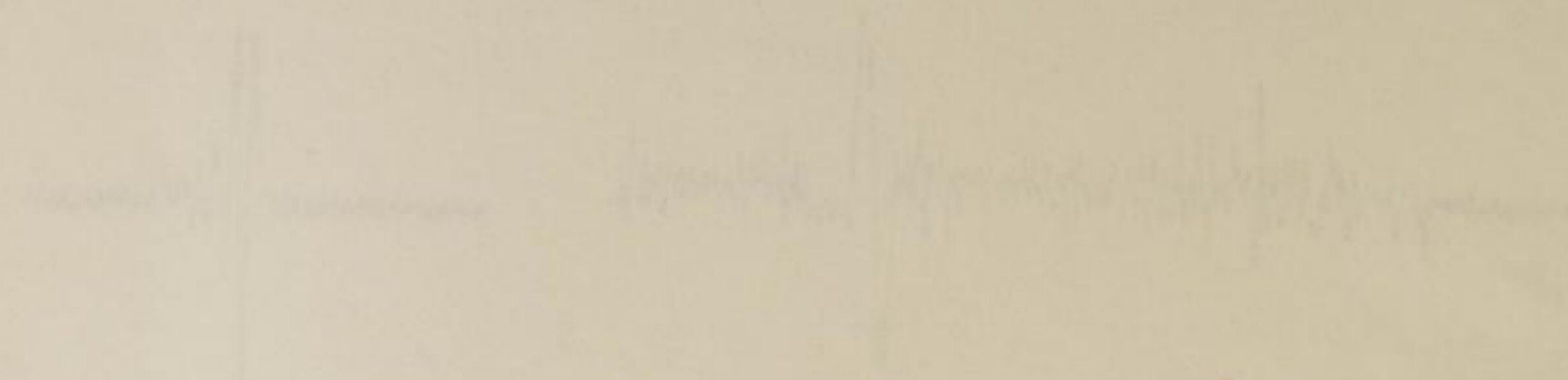


Steinsalz

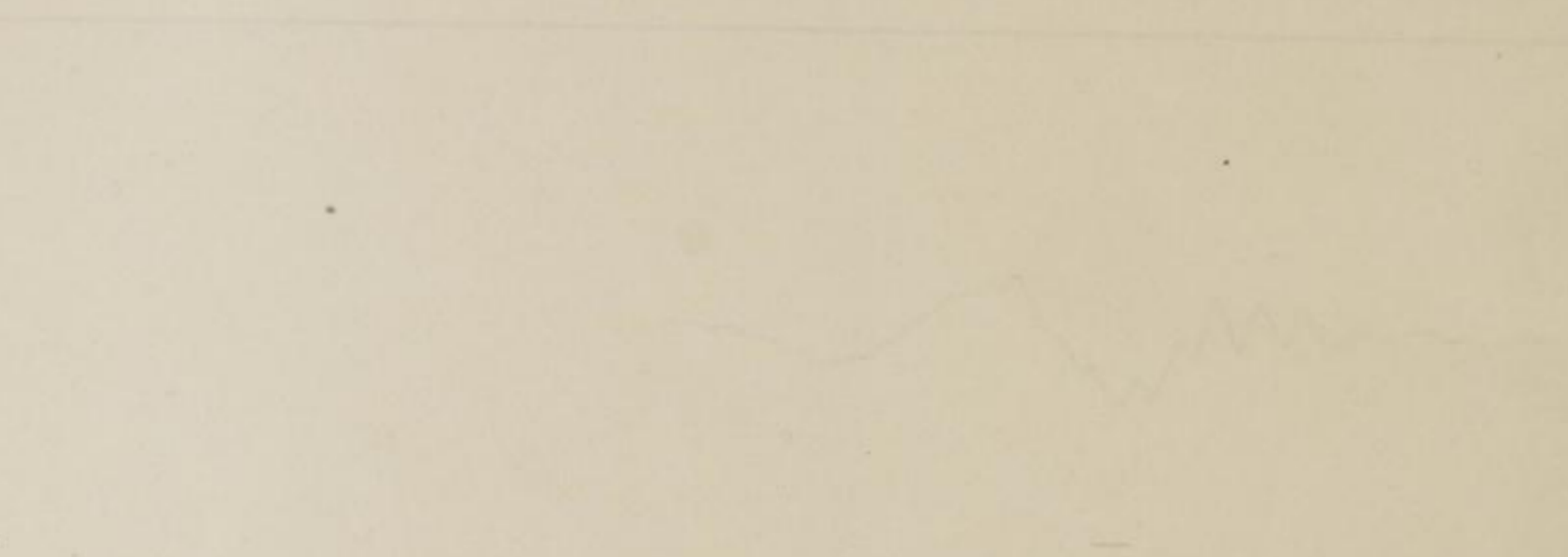
30/257



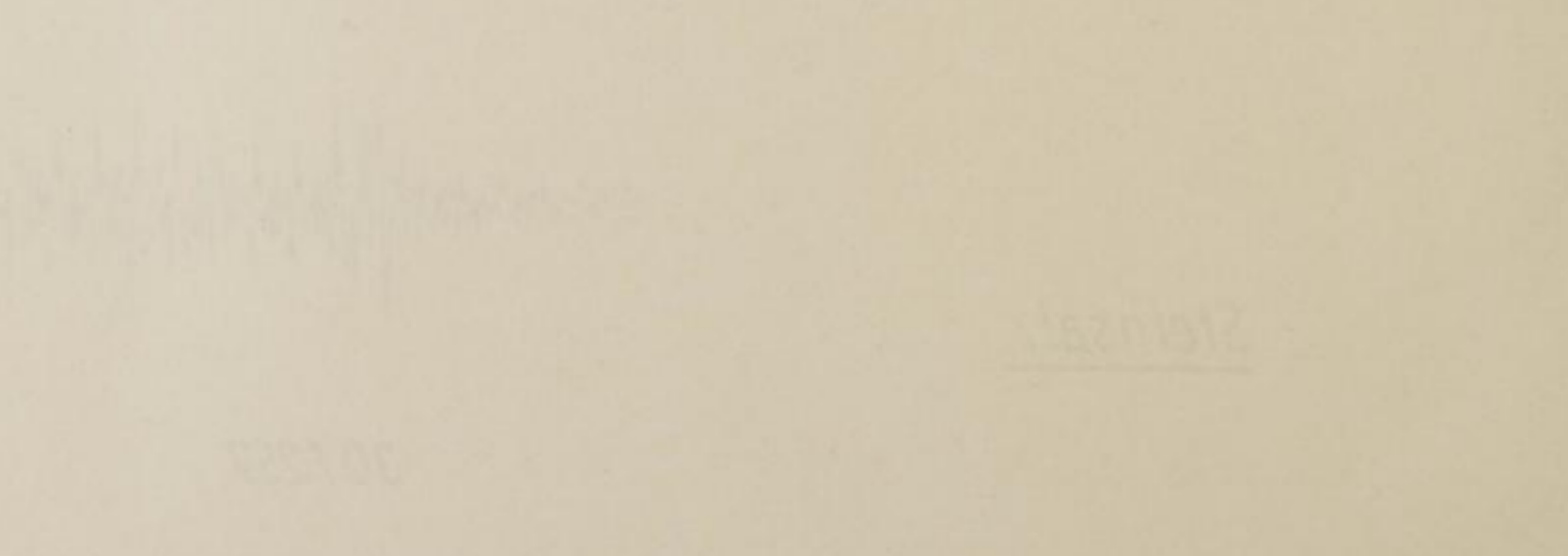
116275H



40478
 116275H
 40478

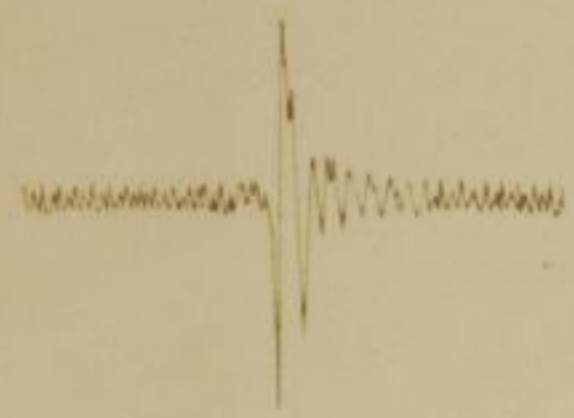


88178
 116275H
 88178

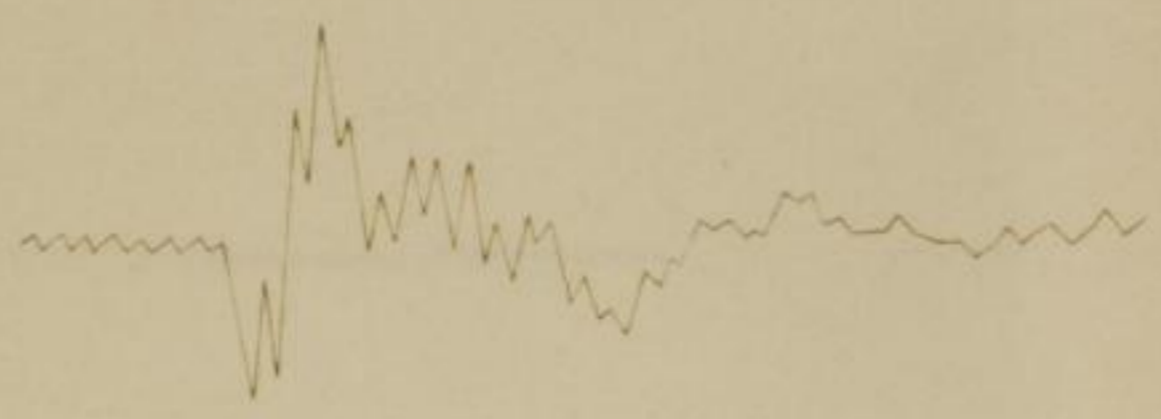


116275H
 116275H
 116275H

Anhydrit



1/375



2/63



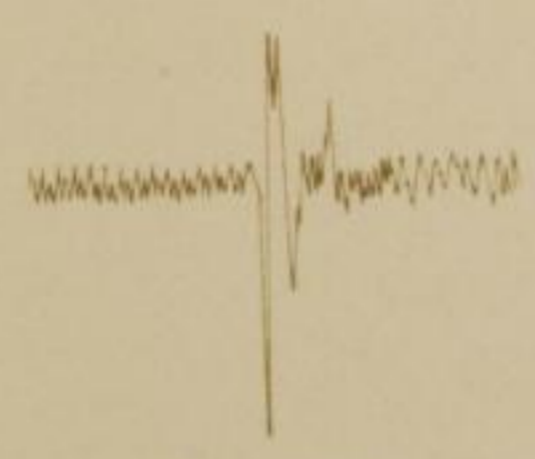
Kugelfallversuch



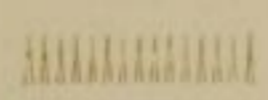
Plexiglas



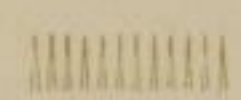
27/272



34/387



32/421



Anhydrit

Hydrat

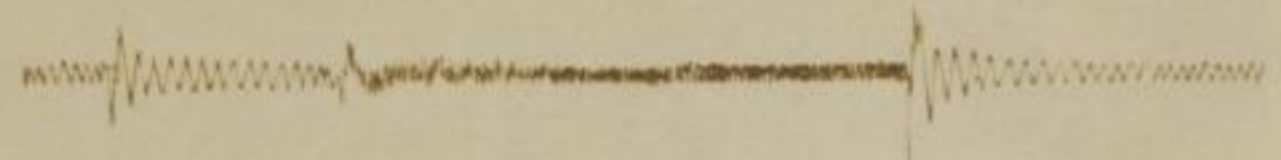
1873
1873
1873

1873
1873
1873

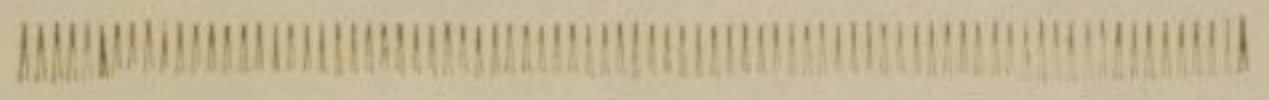
1873
1873
1873

Hydrat

Anhydrit
mit Schmierung



33/366



Sandstein



36/443



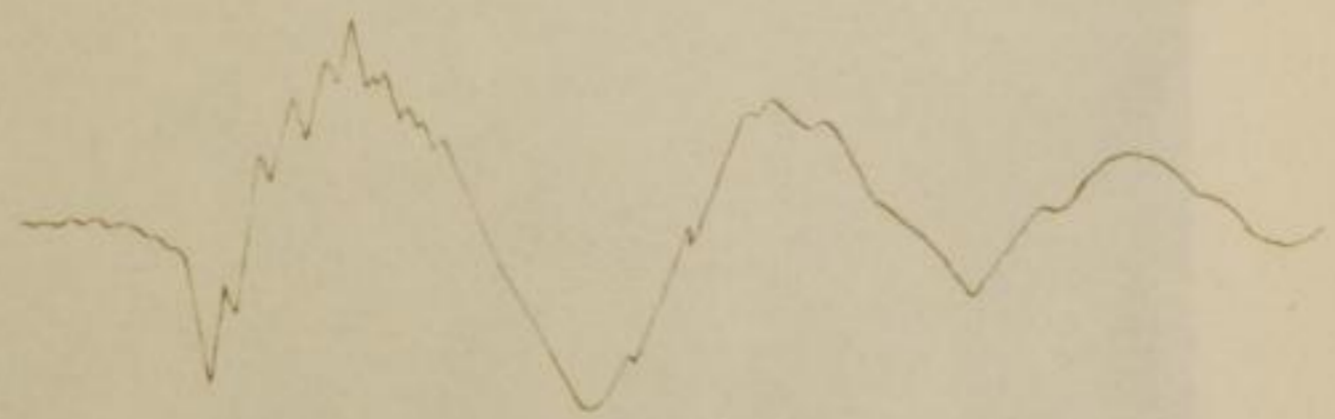
37/465



28/433



Sandstein



3/13



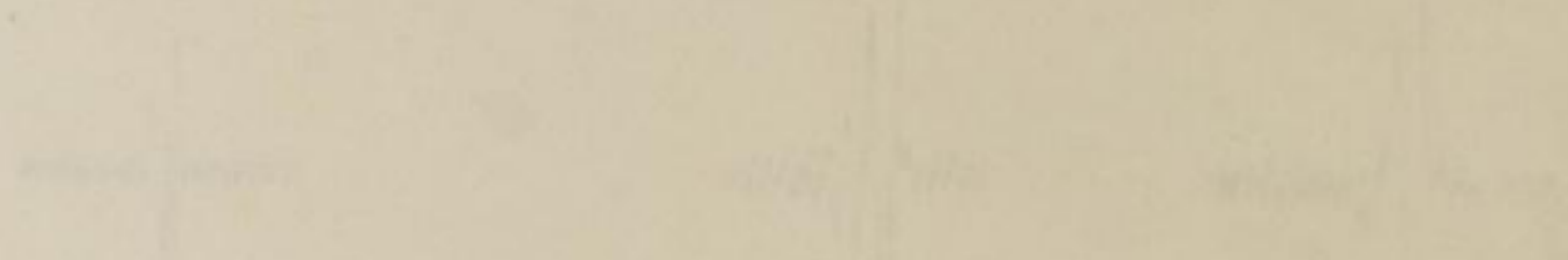
Abbildung
mit Schraffur

Handwritten text, possibly a title or description, located at the top of the first section.

33/188

Handwritten text, possibly a title or description, located at the top of the second section.

Zandstein



34/185

37/188

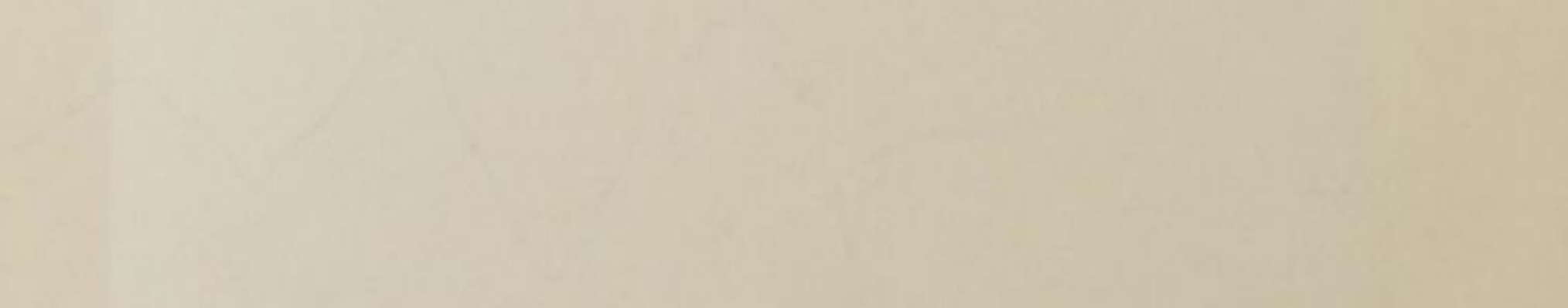
38/188

Handwritten text, possibly a title or description, located at the top of the third section.

Handwritten text, possibly a title or description, located at the top of the fourth section.

Handwritten text, possibly a title or description, located at the top of the fifth section.

Zandstein



31/18

Handwritten text, possibly a title or description, located at the bottom of the page.



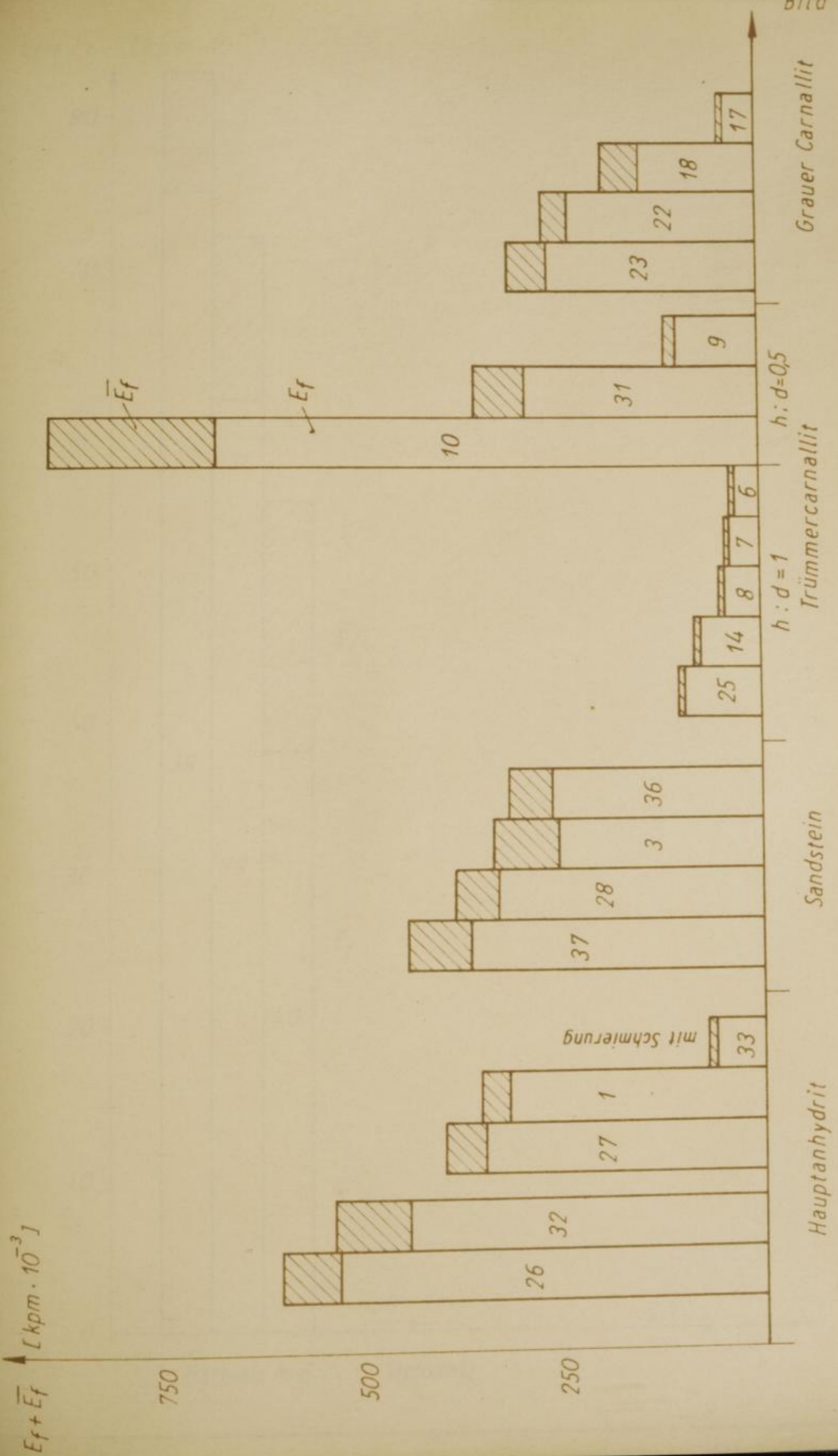
28



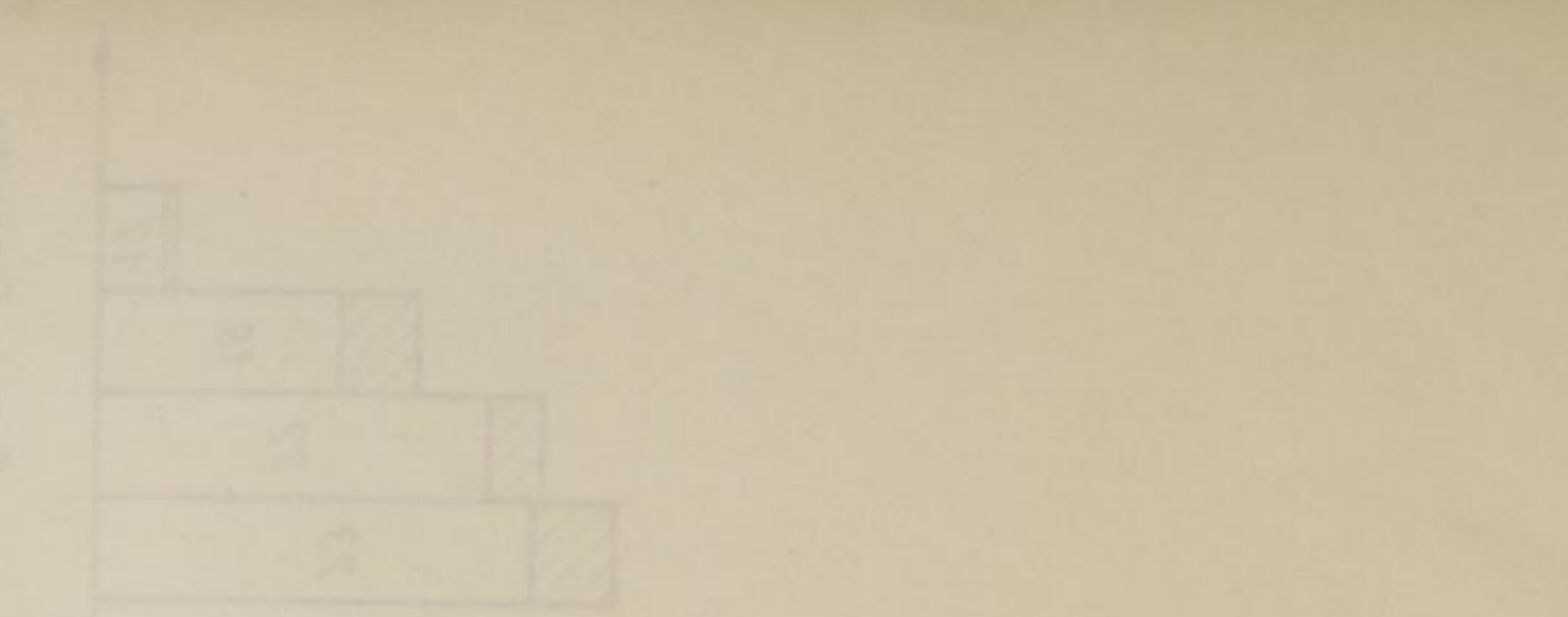
29

Bergakademie
- Bucherei -
Freiberg i. Sa.

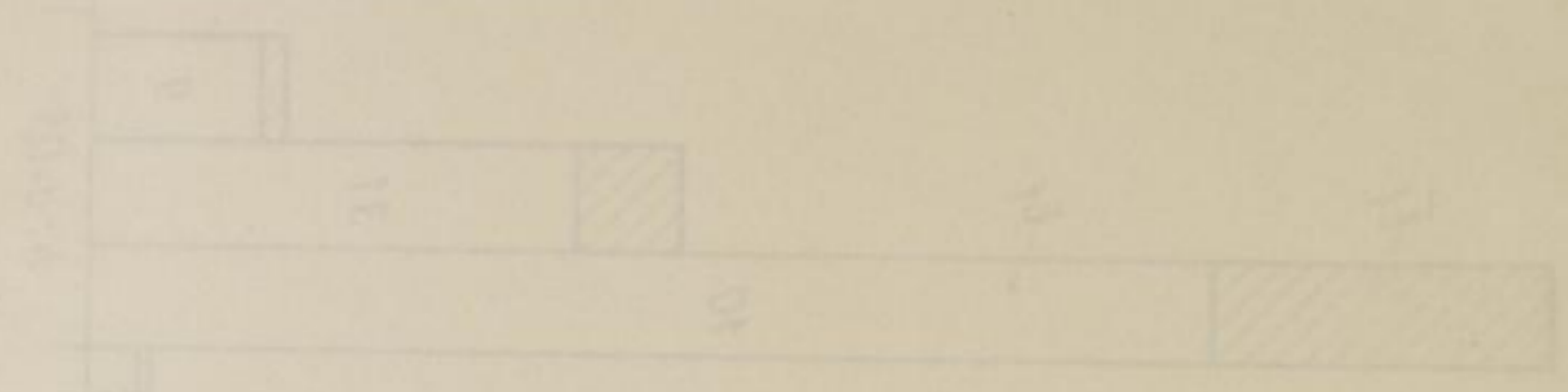
1875 Jan. 10/11



1876/77



1877/78



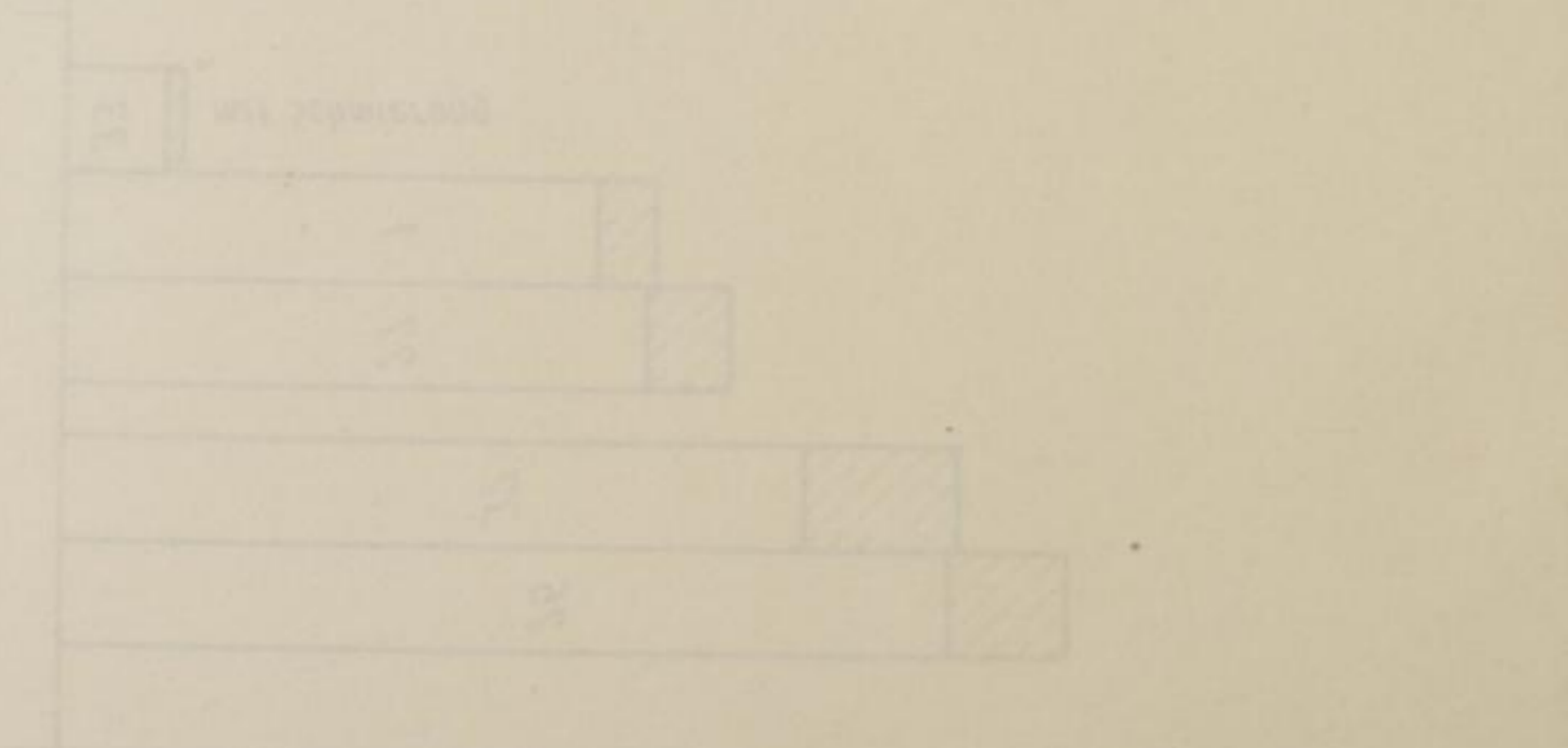
1878/79



1879/80



1880/81



3 3 3

$E_f + \bar{E}_f$ [kp m · 10⁻³]

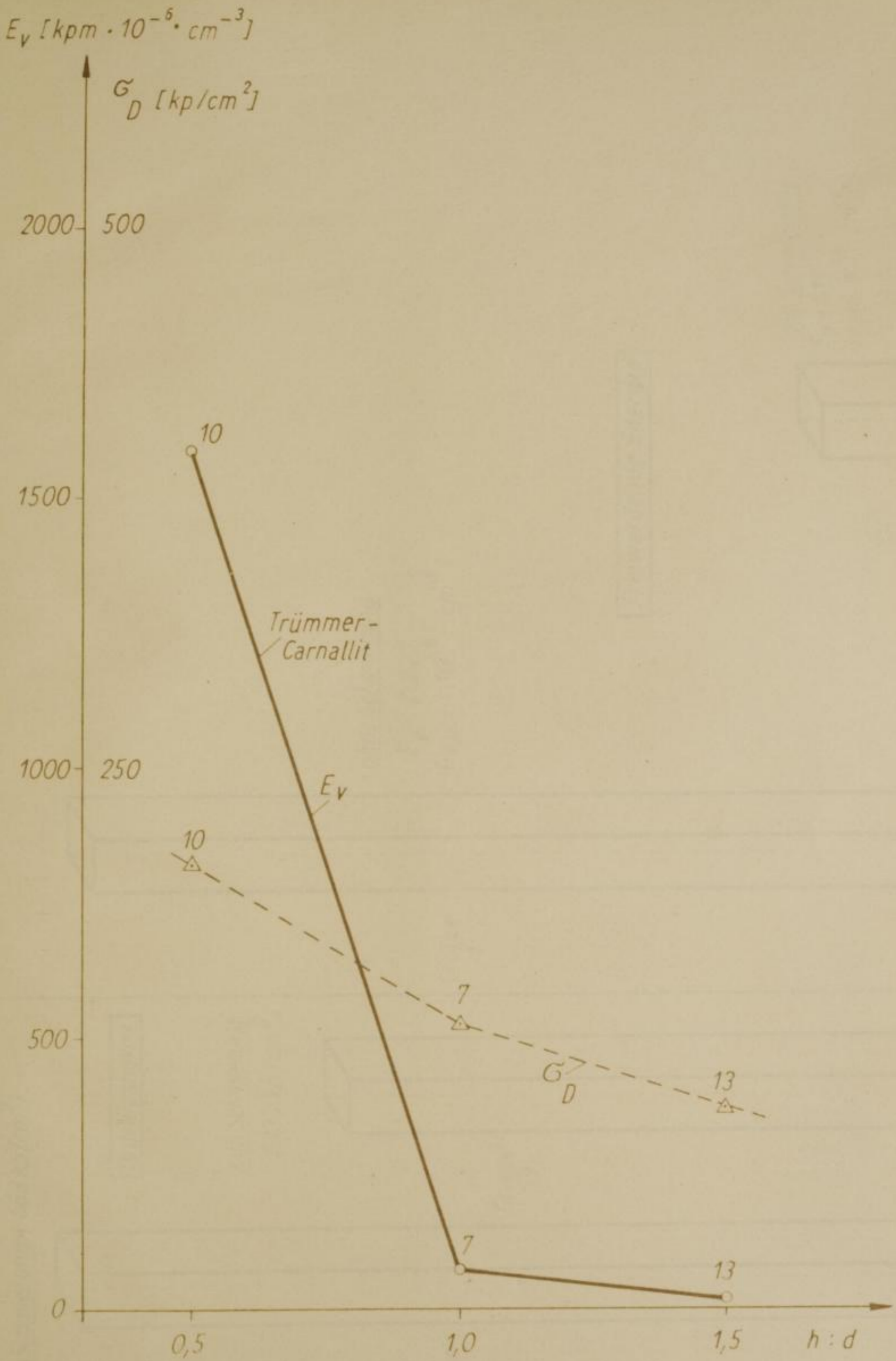


02. 1872

1. 1. 1872



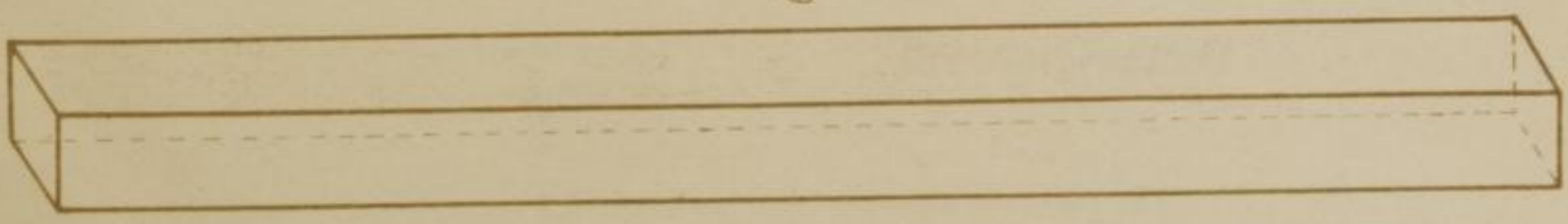
1. 1. 1872





ohne Schmelzung (483 kp/cm²)

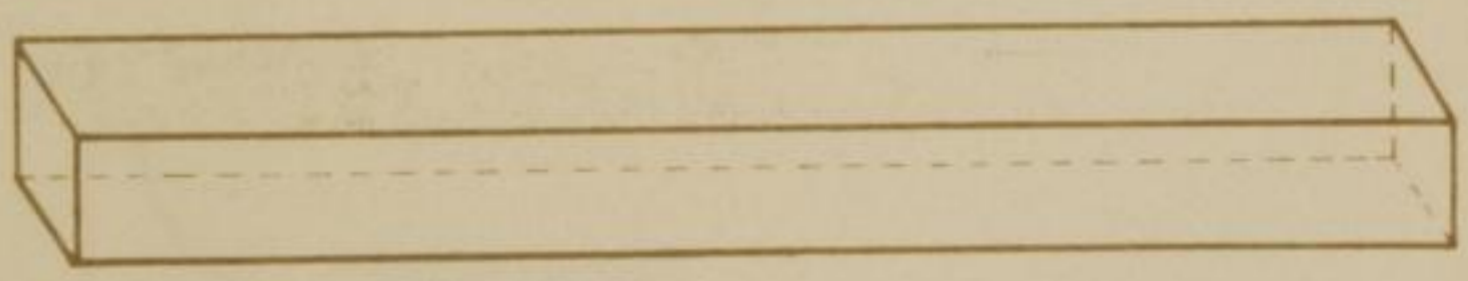
ohne Schmierung (483 kp/cm²)



Gruppe 1

Druckfestigkeit

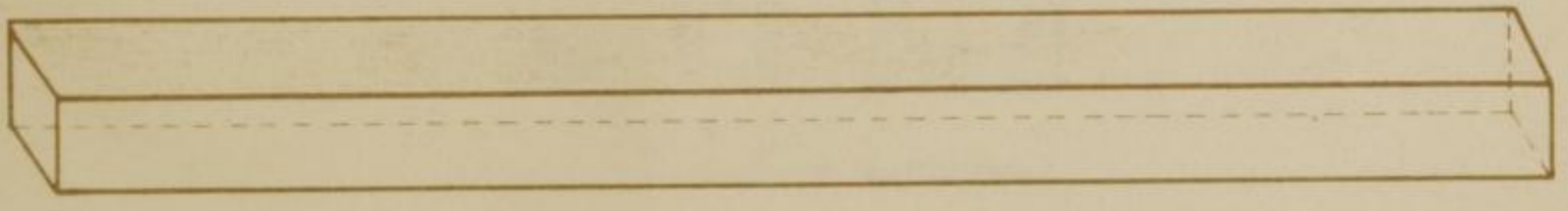
mit Schmierung (333 kp/cm²)



Gruppe 33

ohne Schmierung

$E_v = 2.240$
 $[\text{kpm} \cdot 10^{-6} \cdot \text{cm}^{-3}]$

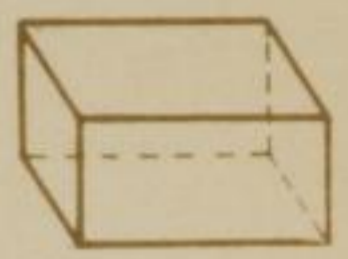


Gruppe 1

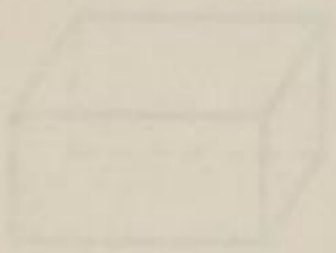
Freiwerdende Energie

mit Schmierung

$E_v = 417$
 $[\text{kpm} \cdot 10^{-6} \cdot \text{cm}^{-3}]$

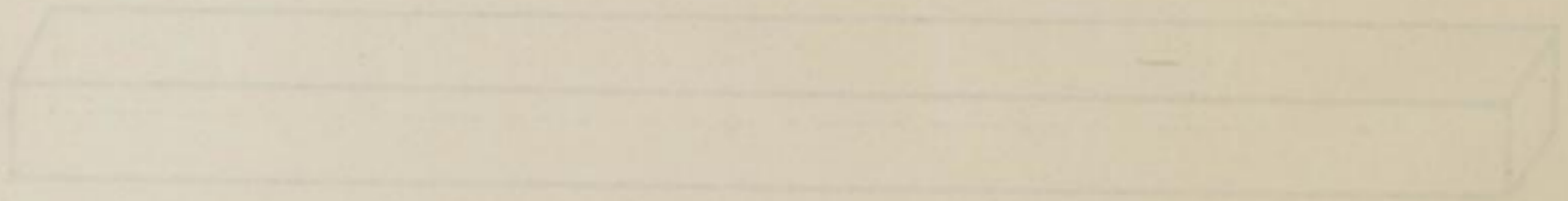


Gruppe 33

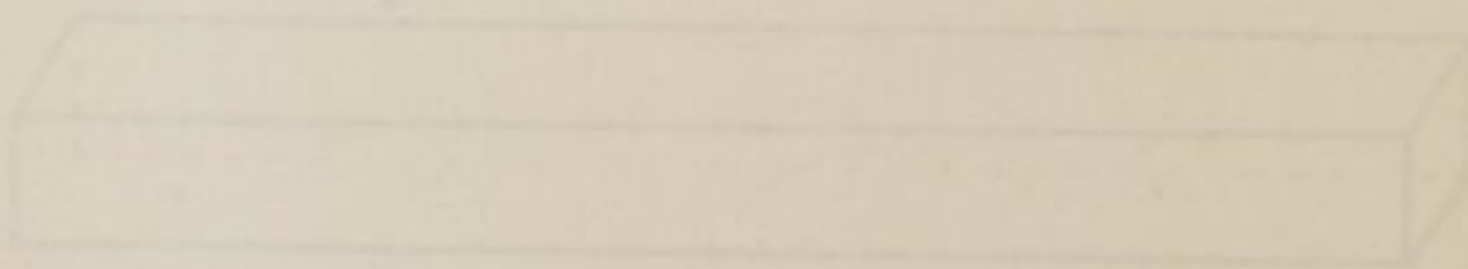


Einmal durch den Raum

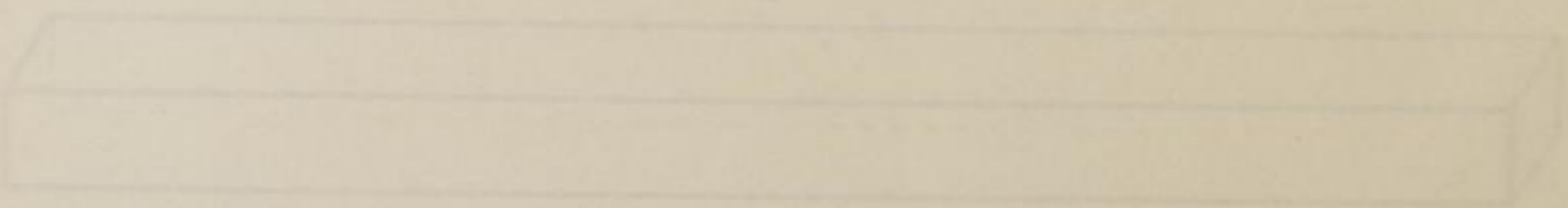
Einmal durch den Raum
einmal durch den Raum
einmal durch den Raum



Einmal durch den Raum

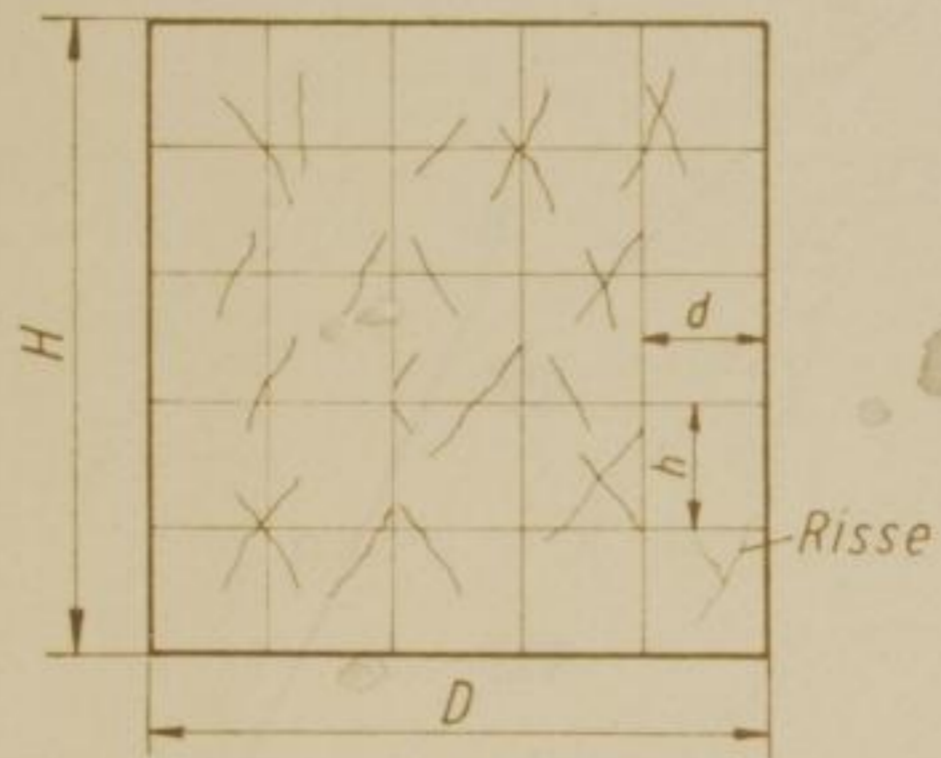


Einmal durch den Raum
einmal durch den Raum
einmal durch den Raum

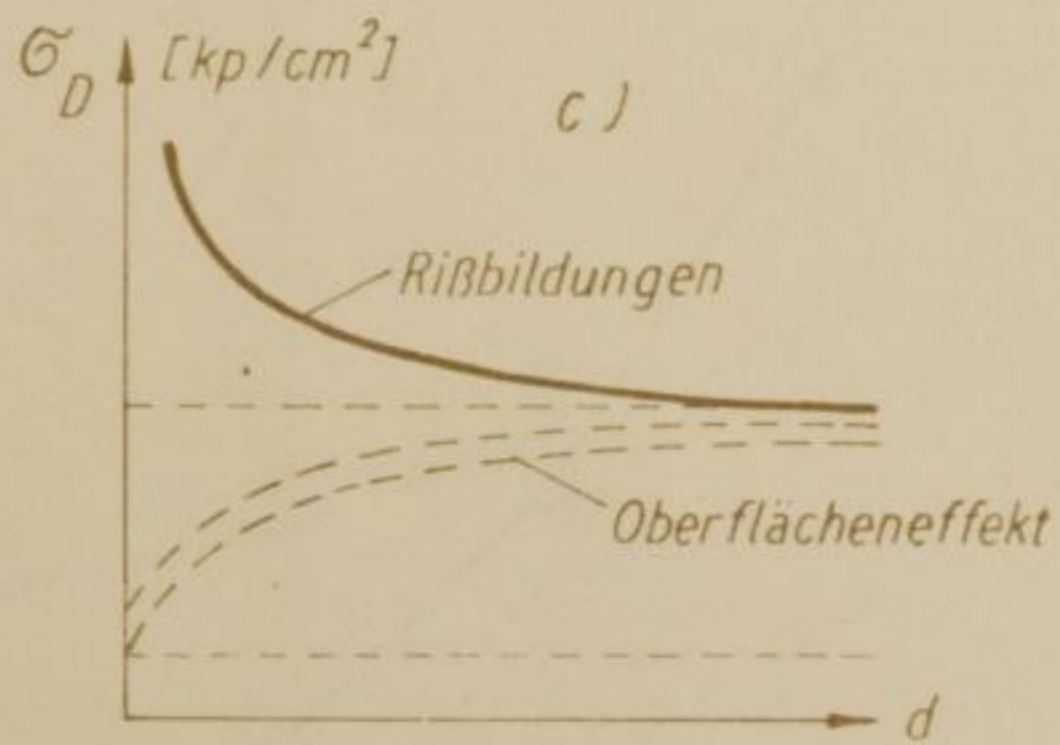
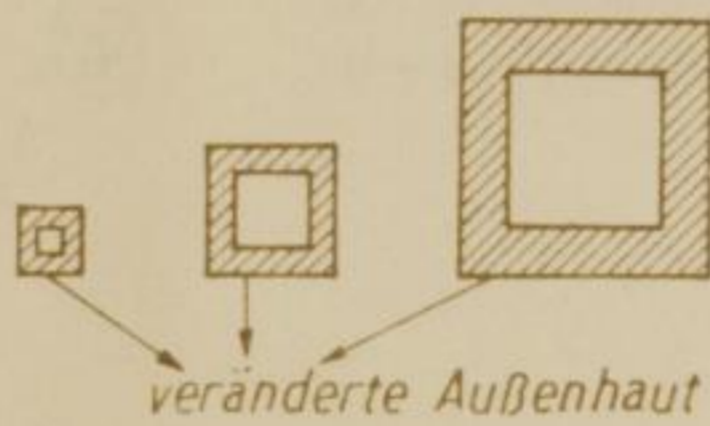


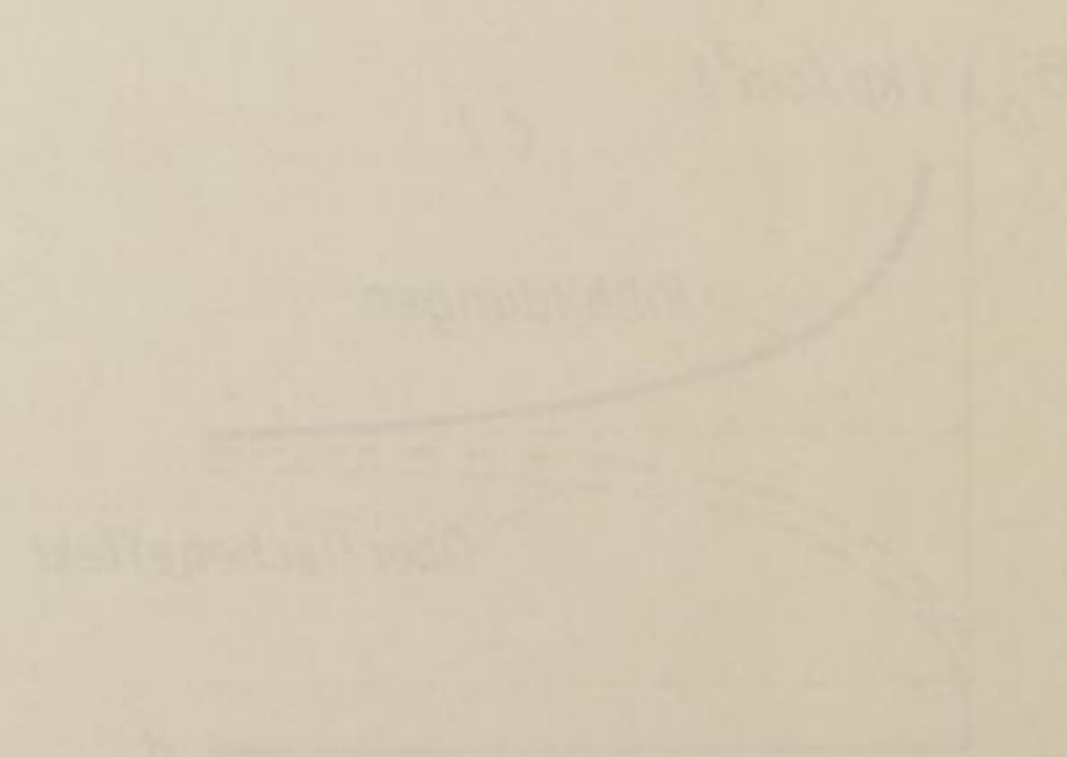
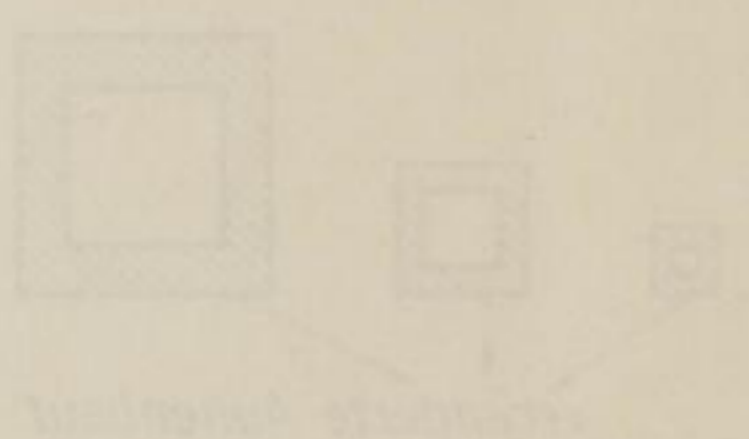
Einmal durch den Raum

a)



b)





Ef. (Vdp)
P. (E)

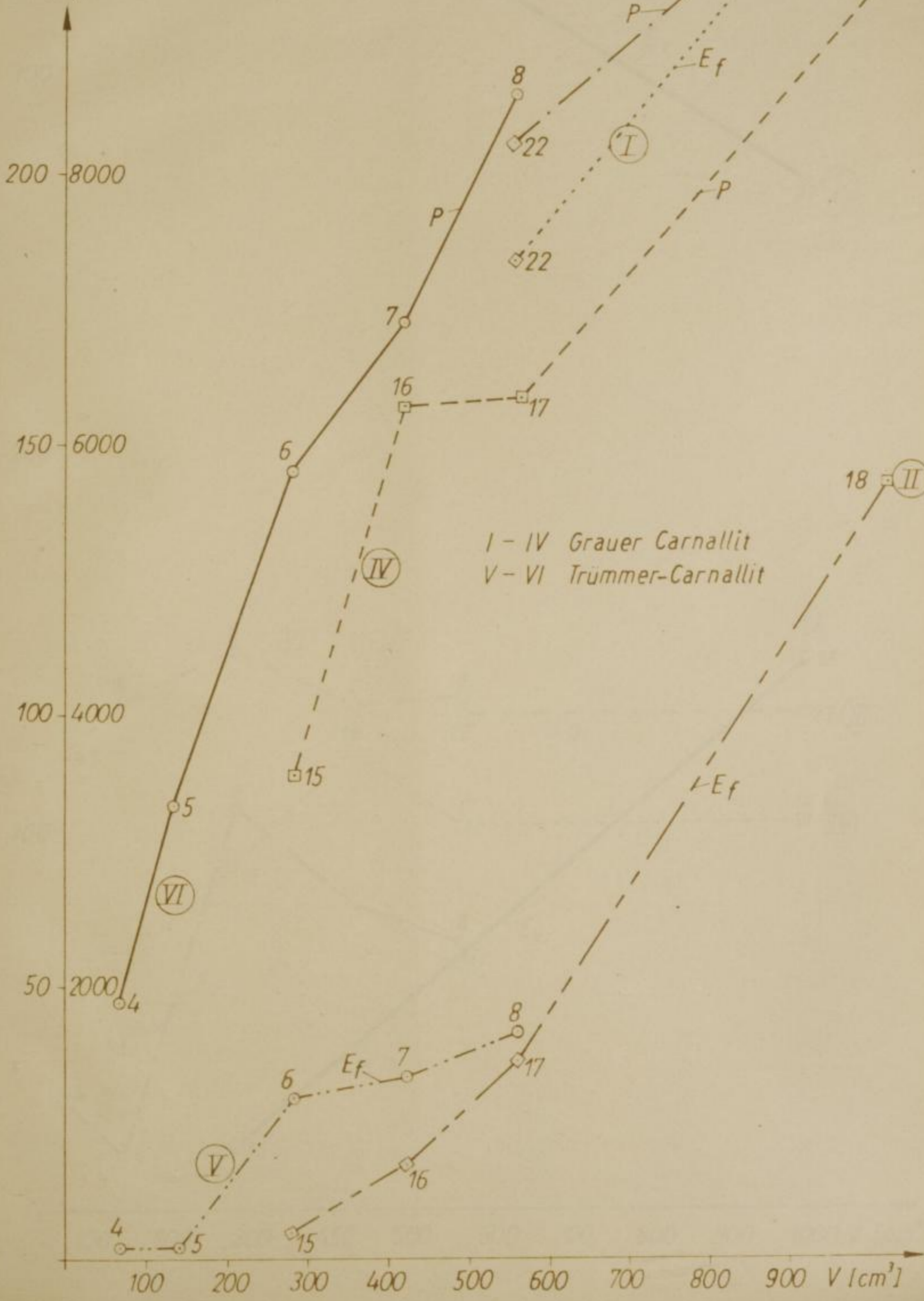
200

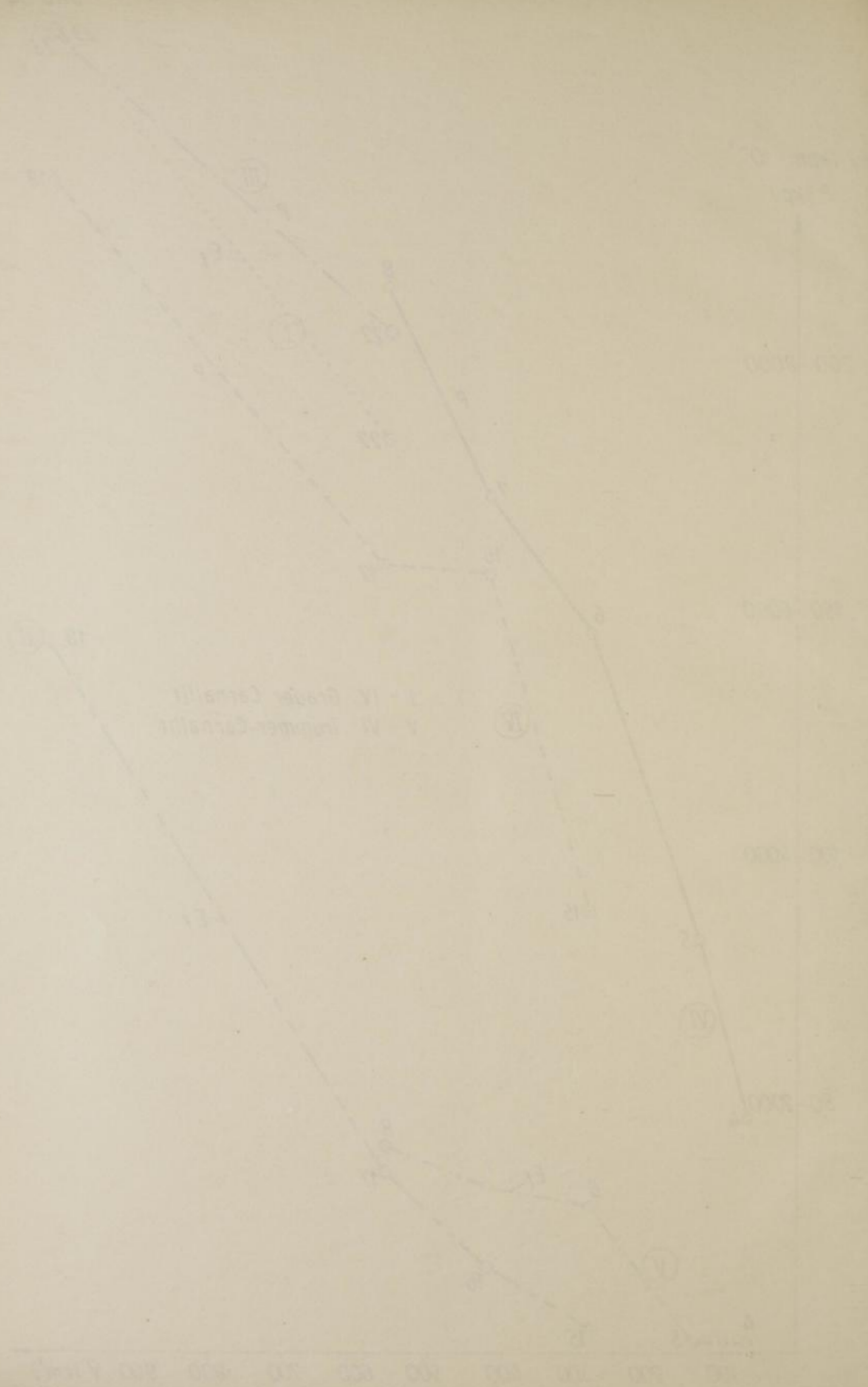
150

100

50

E_f [kpm · 10⁻³]
P [kp]

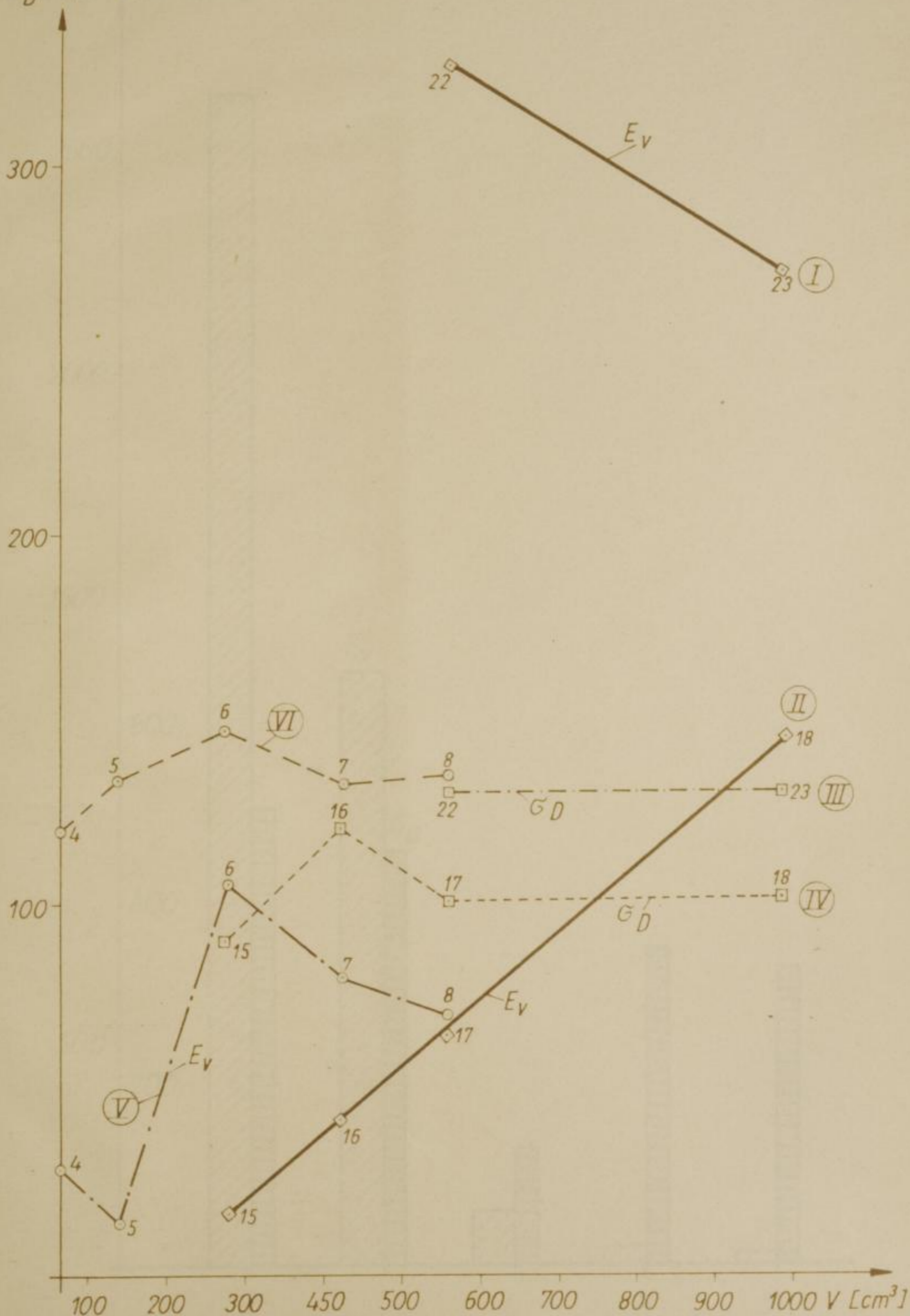




I - IV Große Carnallit
 V - VII Brauner-Carnallit

300
 200
 100

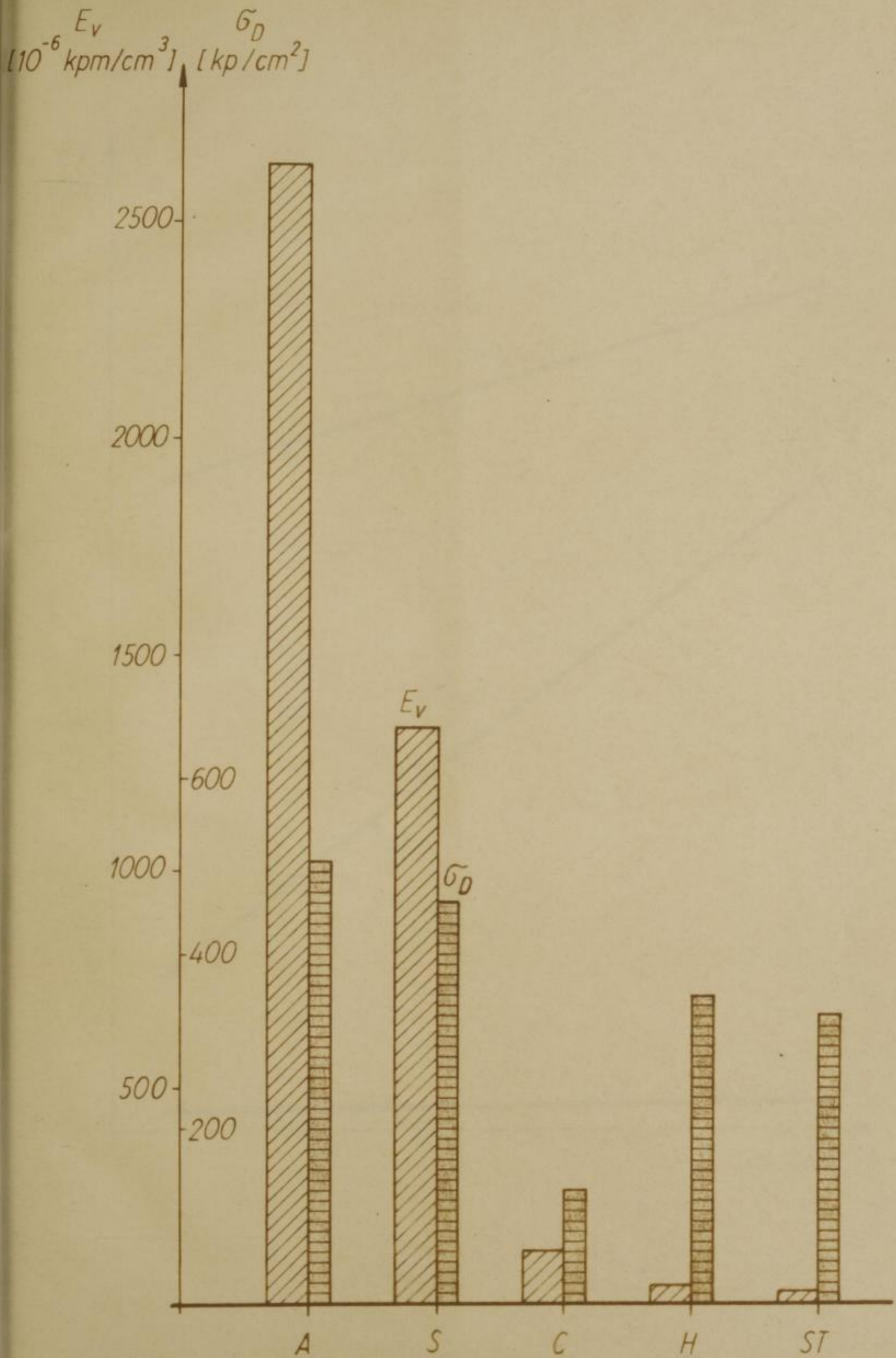
E_v [kpm · 10⁻⁶/cm³]
 σ_D [kp/cm²]



Handwritten text at the top right of the page, possibly a title or date.



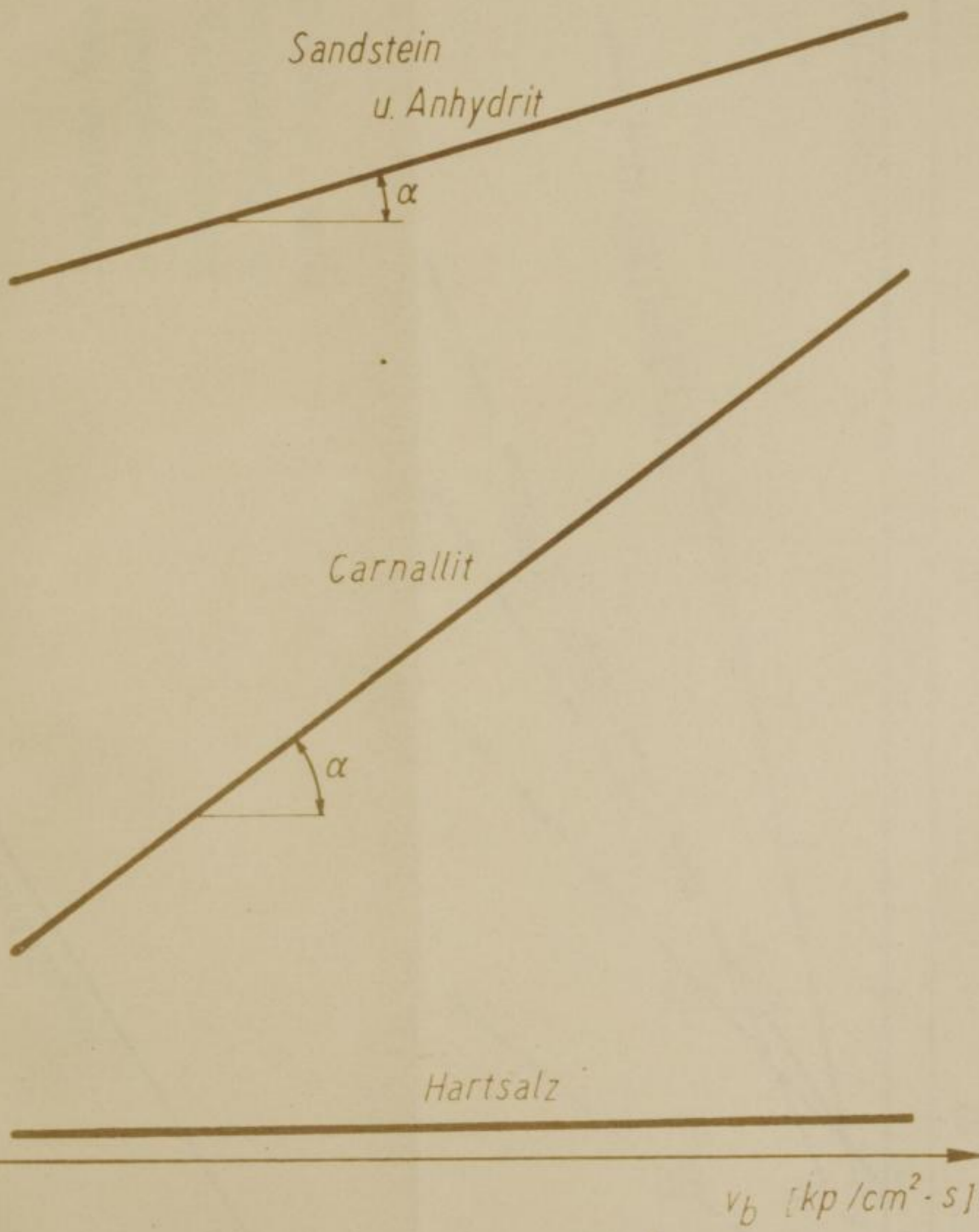
Handwritten text at the bottom of the page, possibly a scale or a legend.

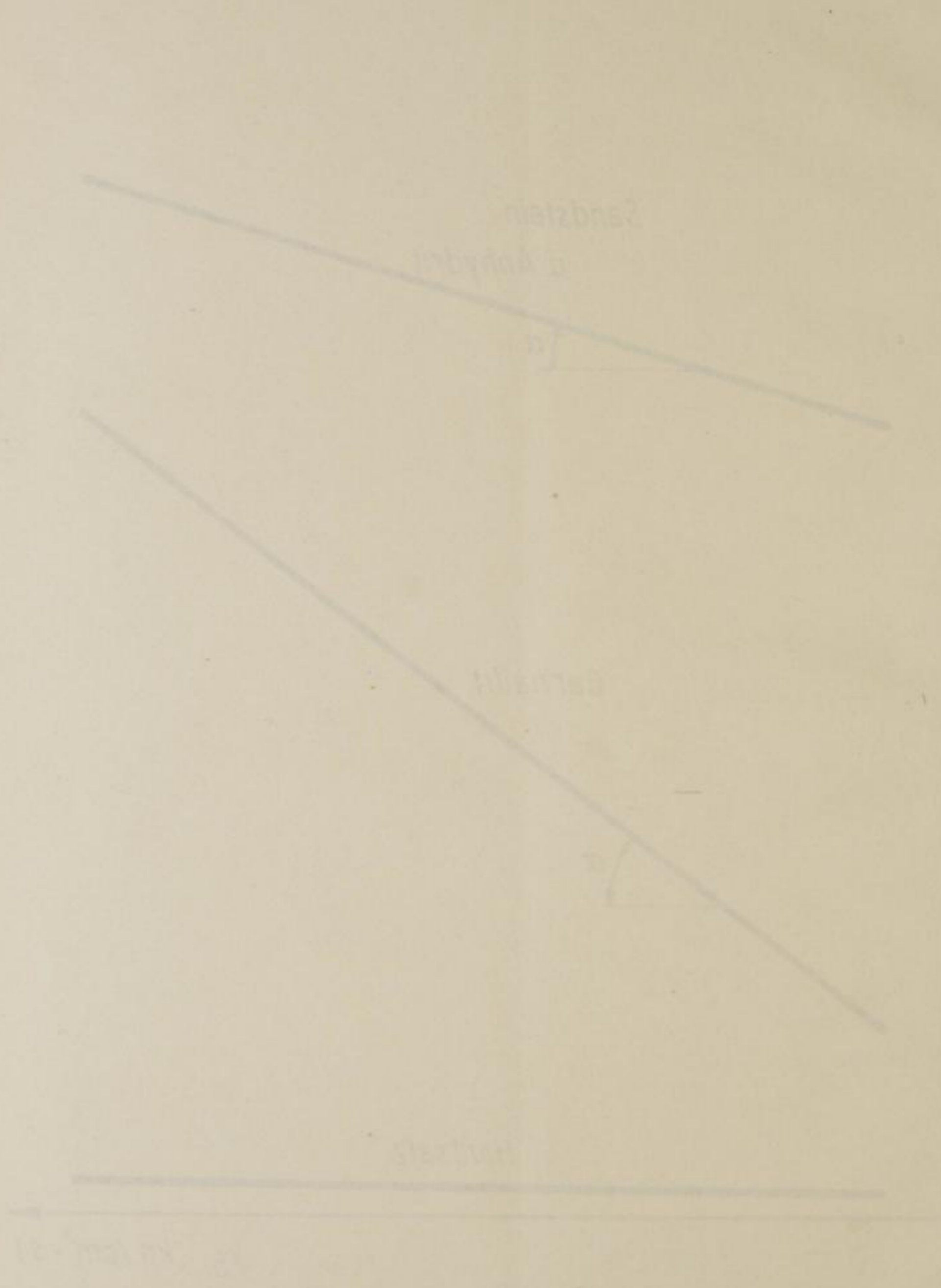




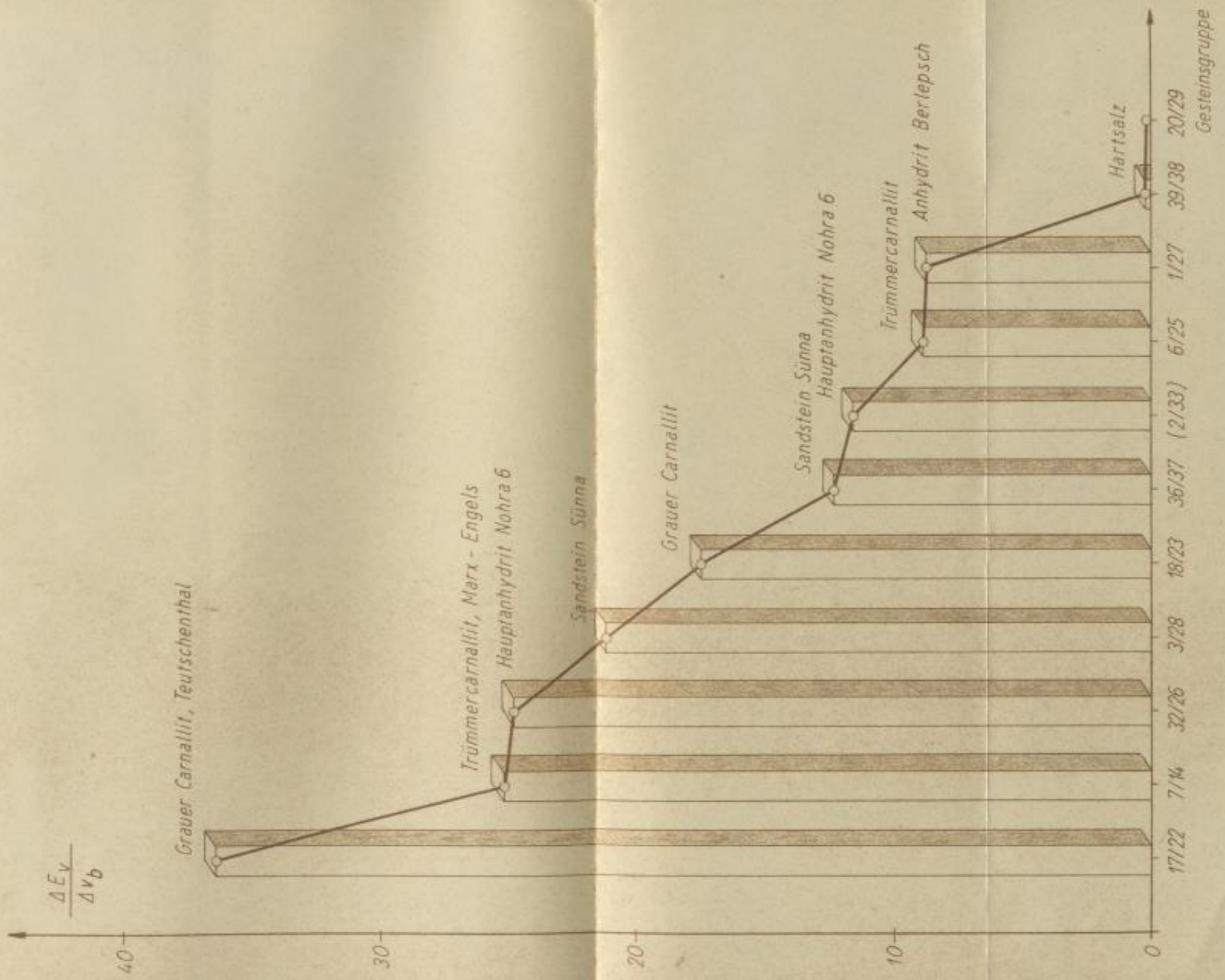
Er
012

E_f
[kpm]



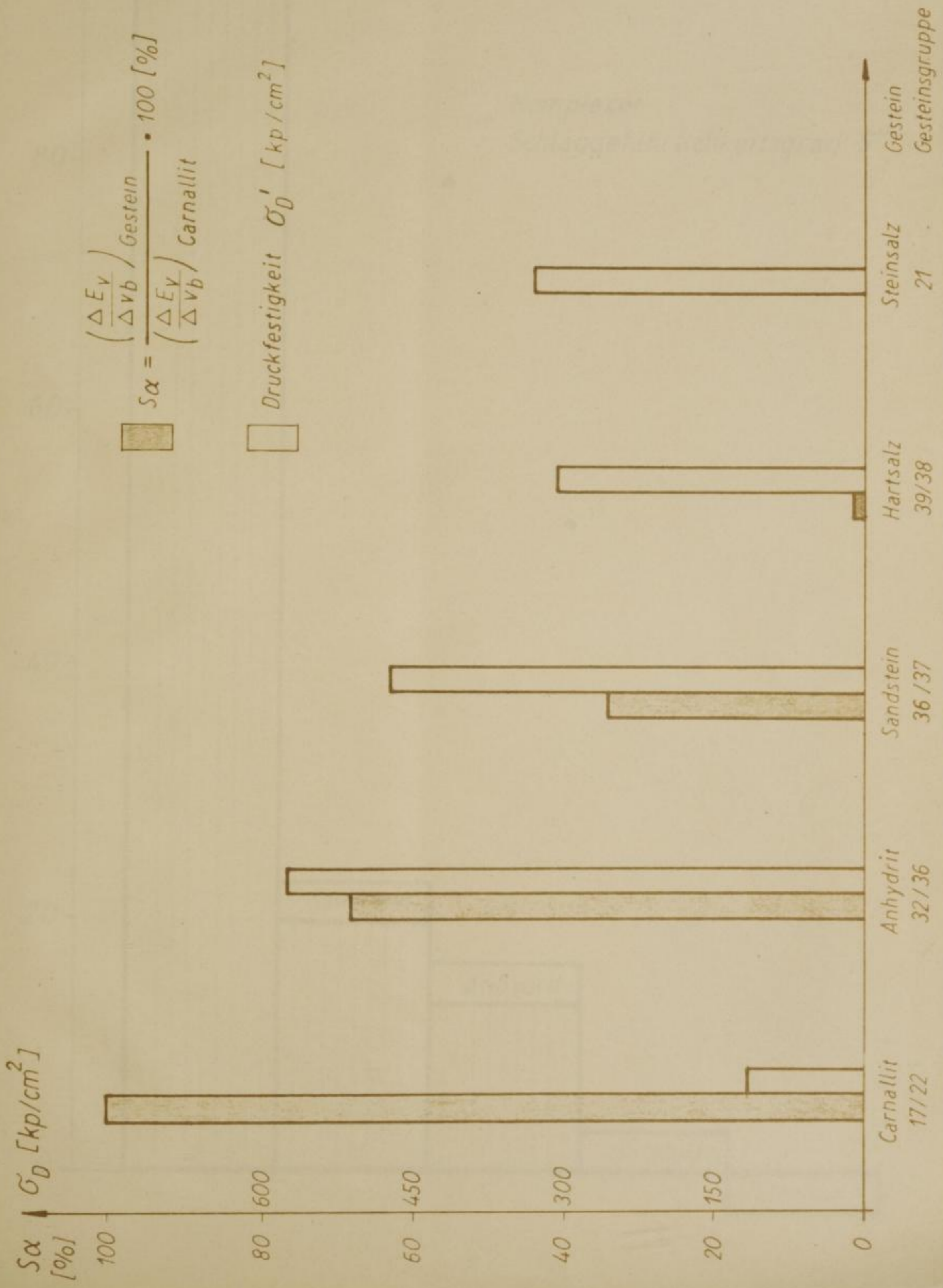


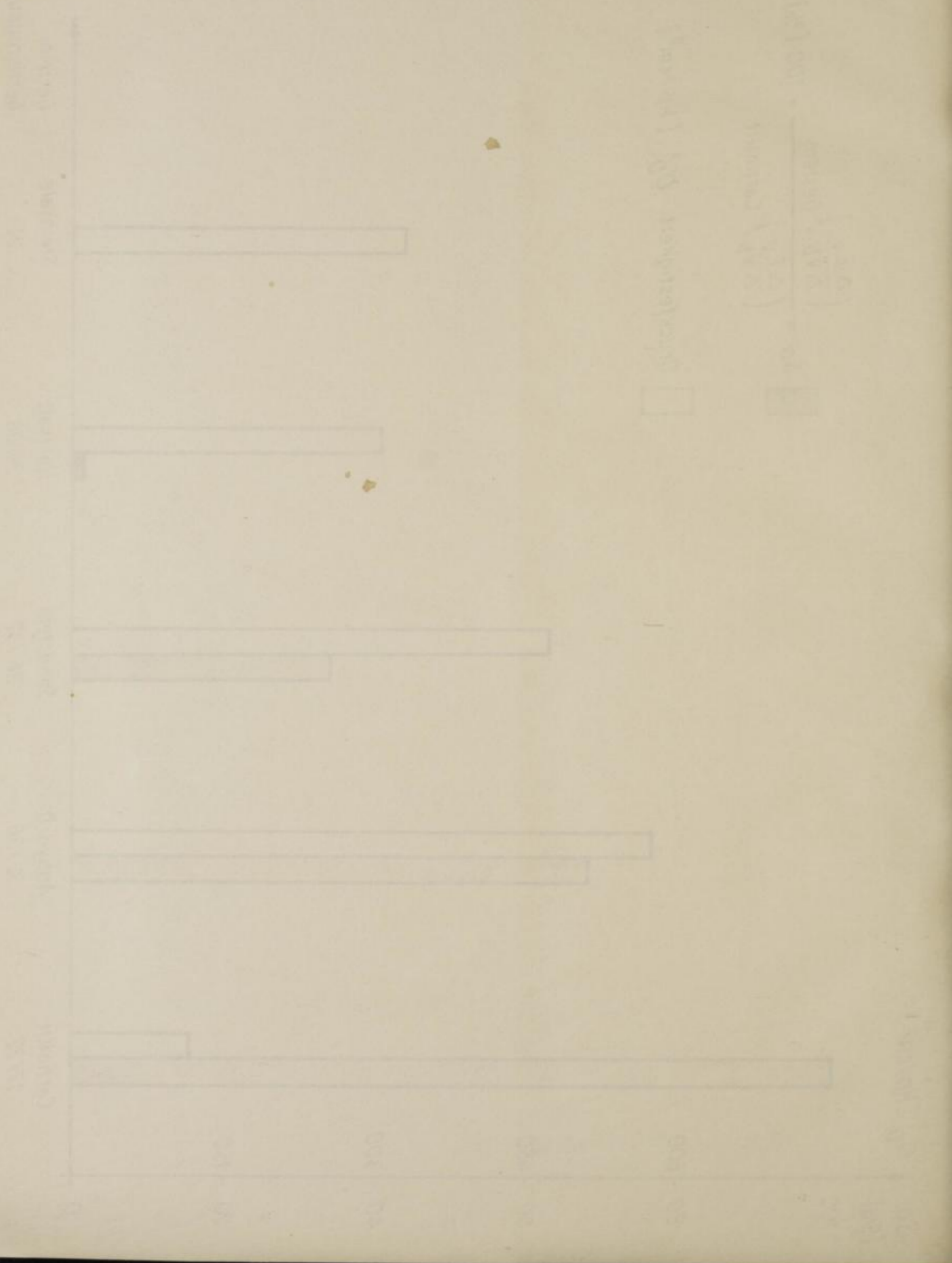
16. 11. 1866
Freiberg



$$S\alpha = \frac{\left(\frac{\Delta E_v}{\Delta v_b}\right)_{\text{Gestein}}}{\left(\frac{\Delta E_v}{\Delta v_b}\right)_{\text{Carnallit}}} \cdot 100 [\%]$$

Druckfestigkeit σ_D' [kp/cm²]





$$\frac{(100 - 100) \cdot 100}{100} = 0$$

$$\frac{(100 - 100) \cdot 100}{100} = 0$$

50
[%]

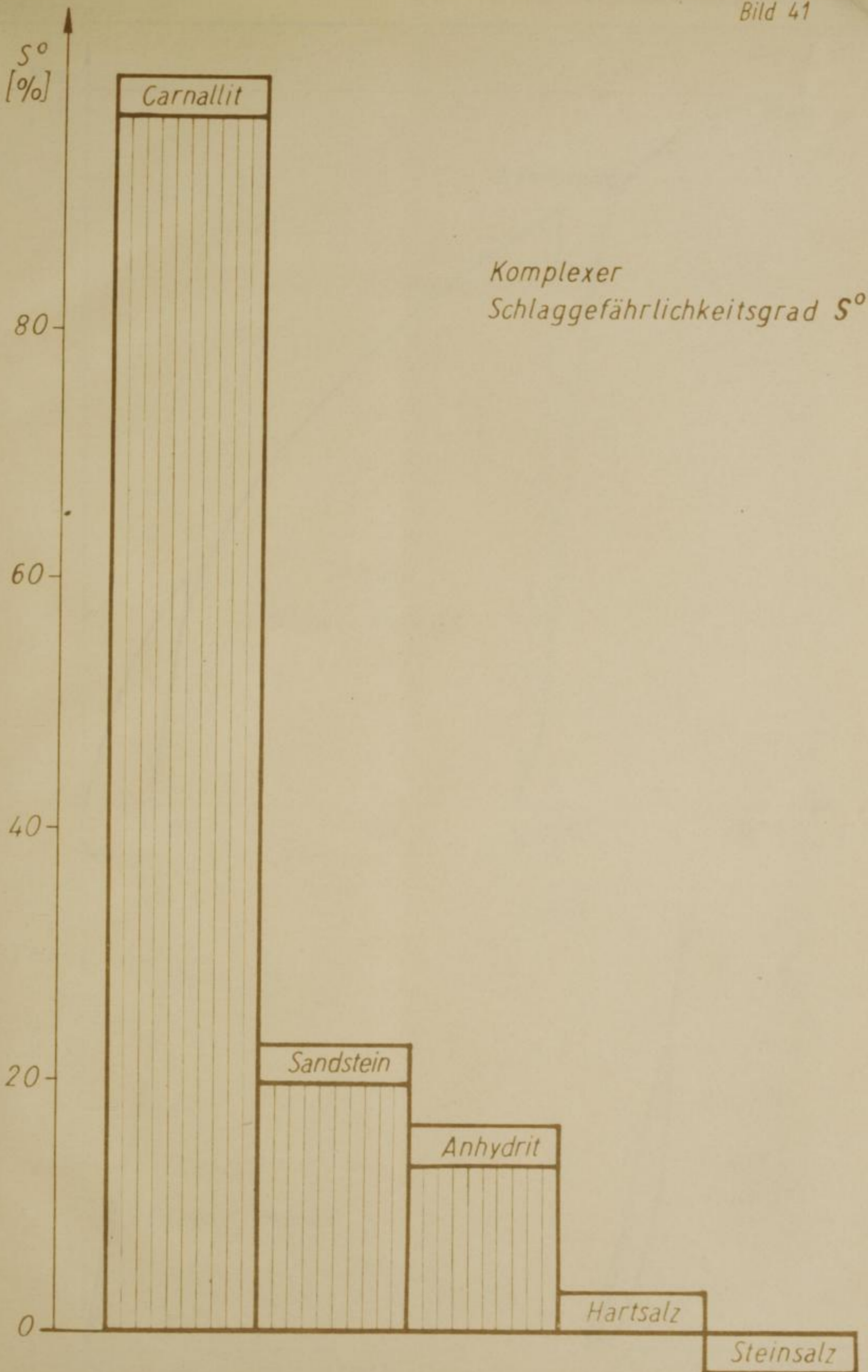
80

60

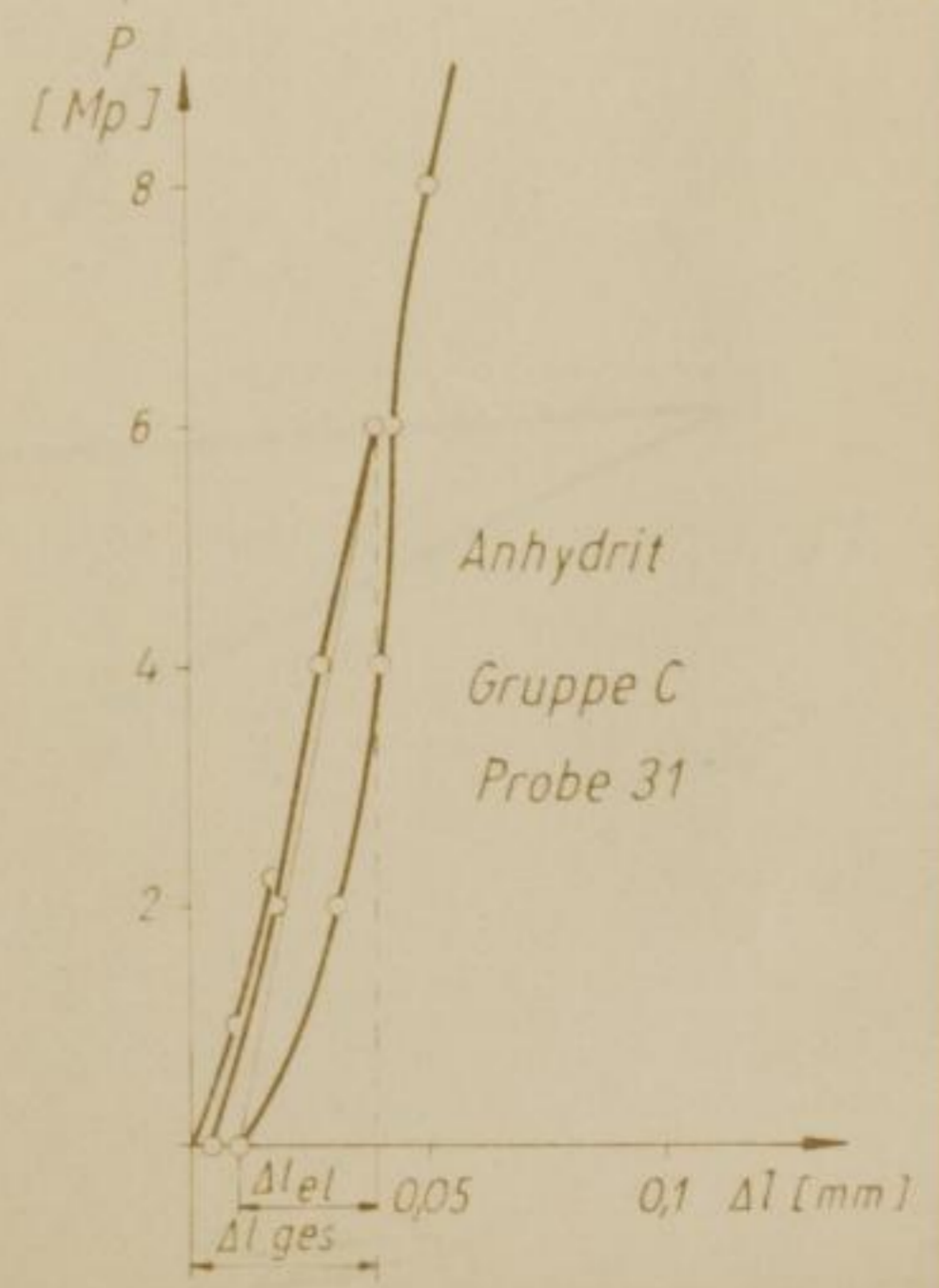
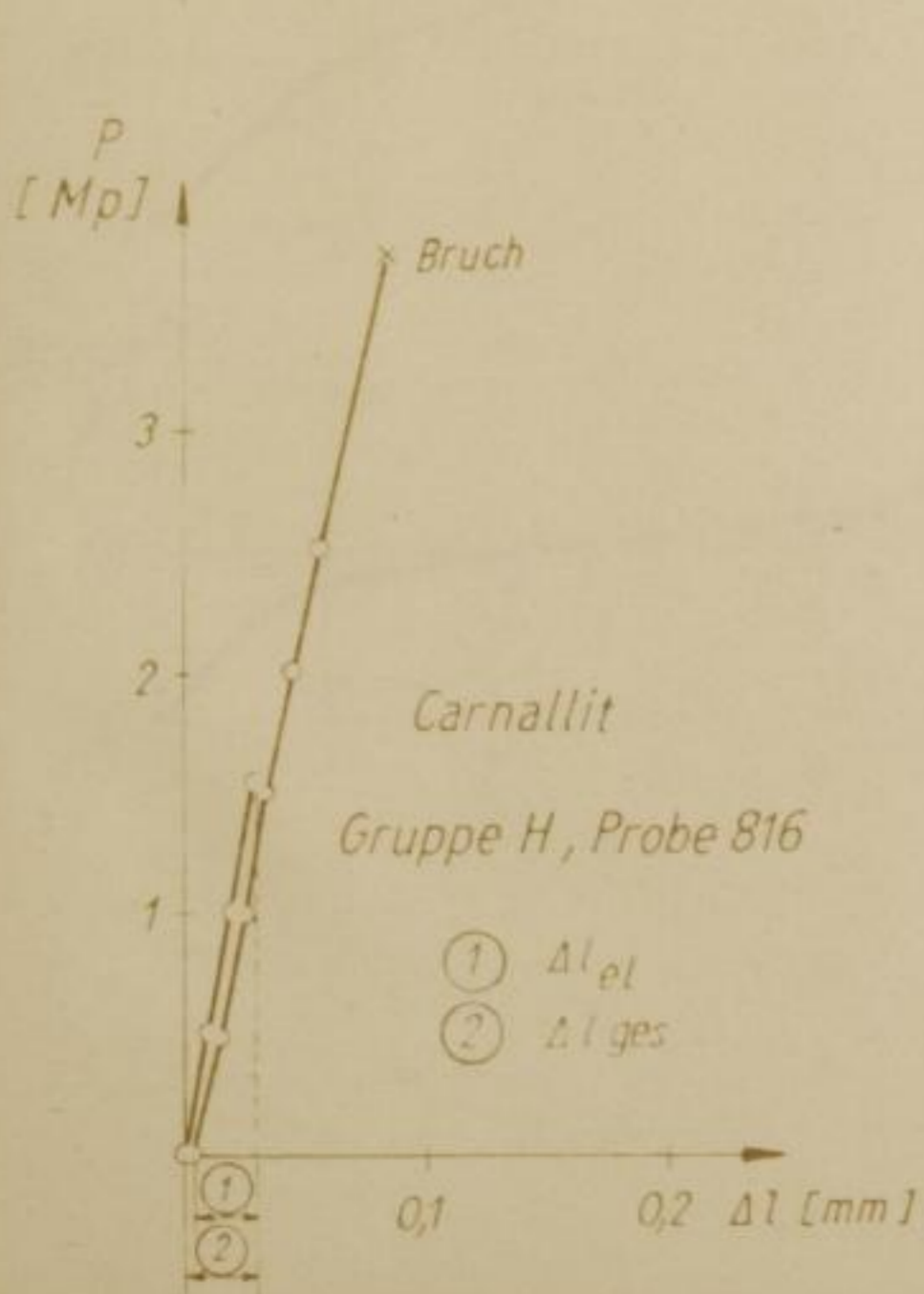
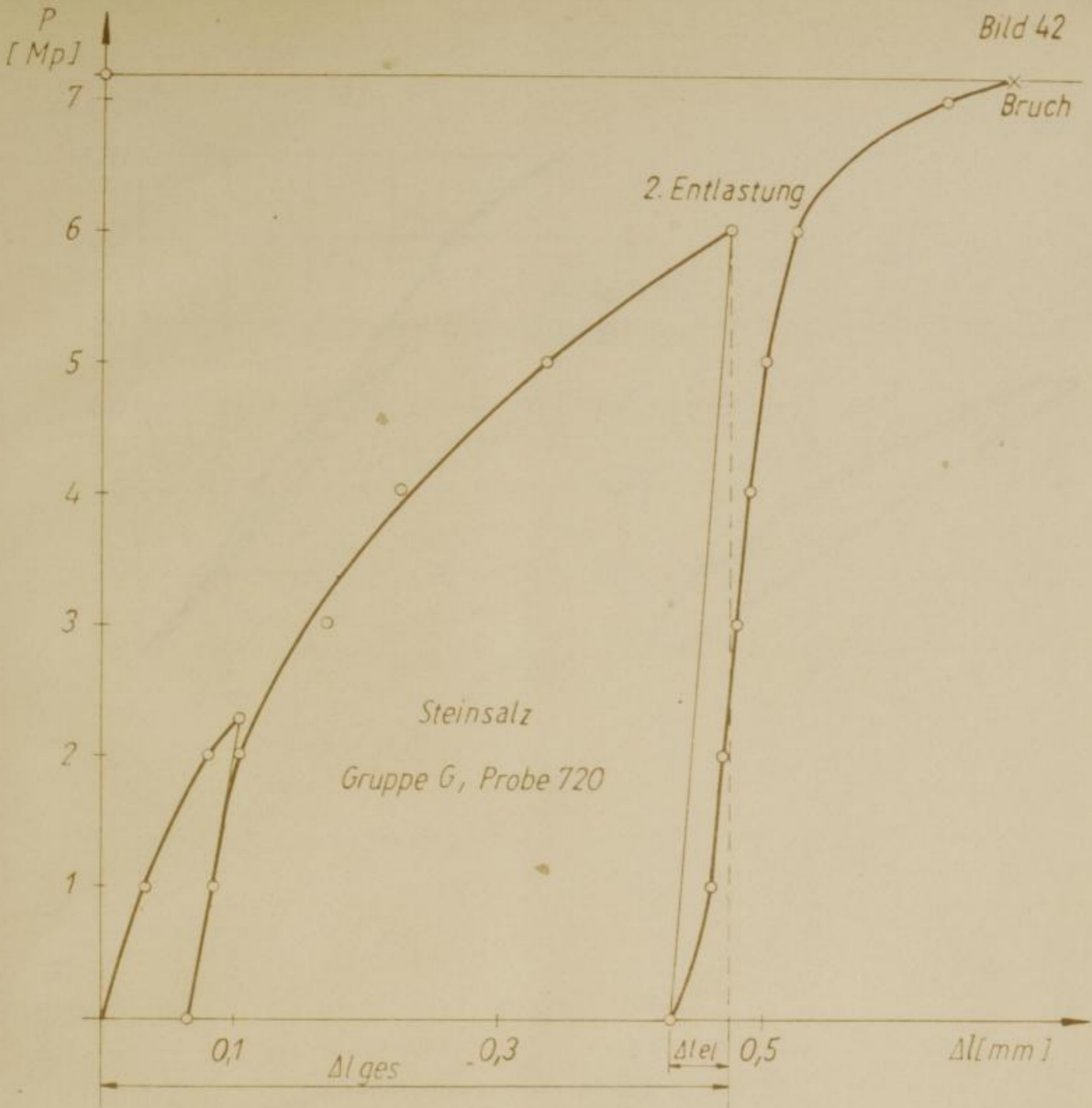
40

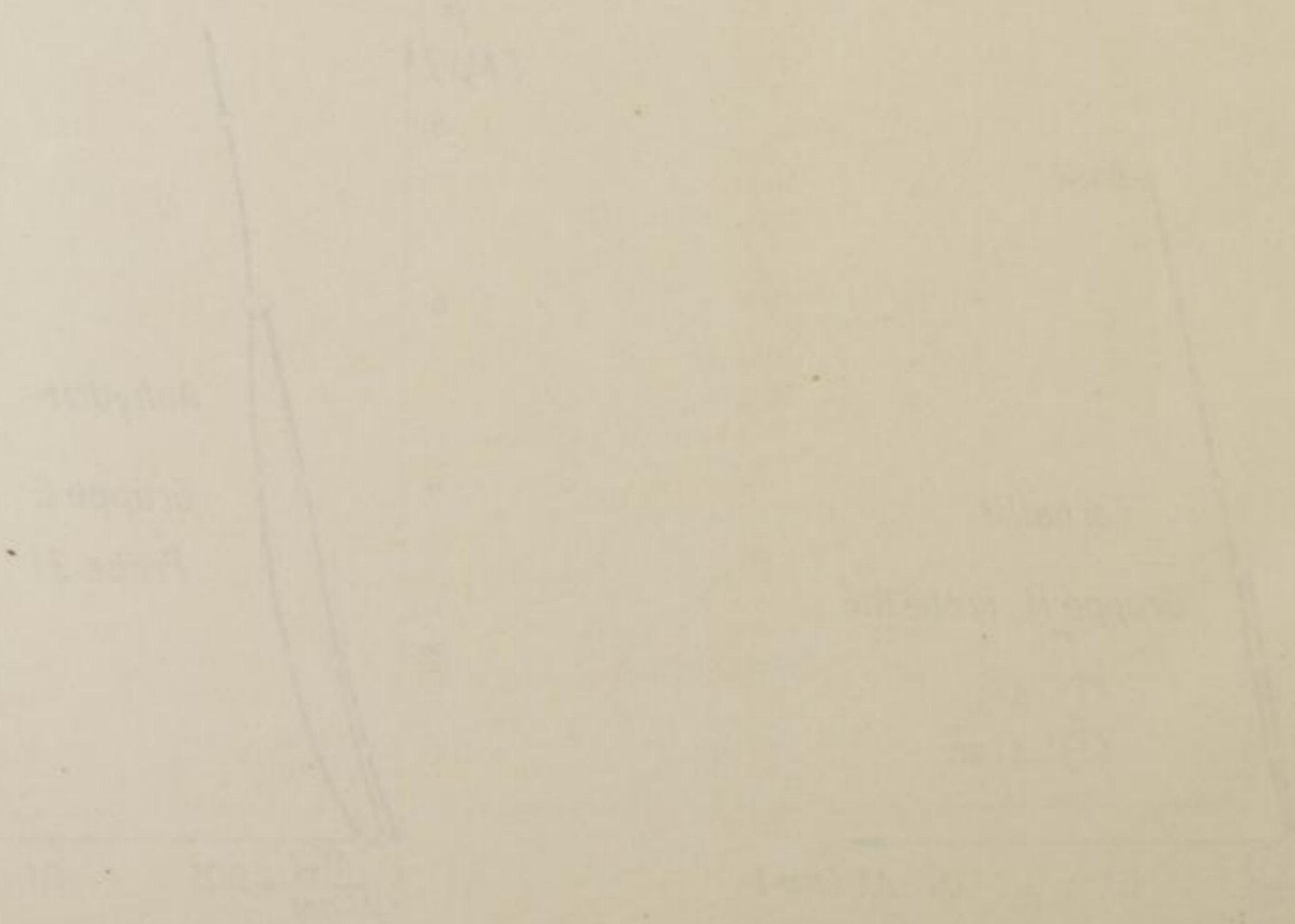
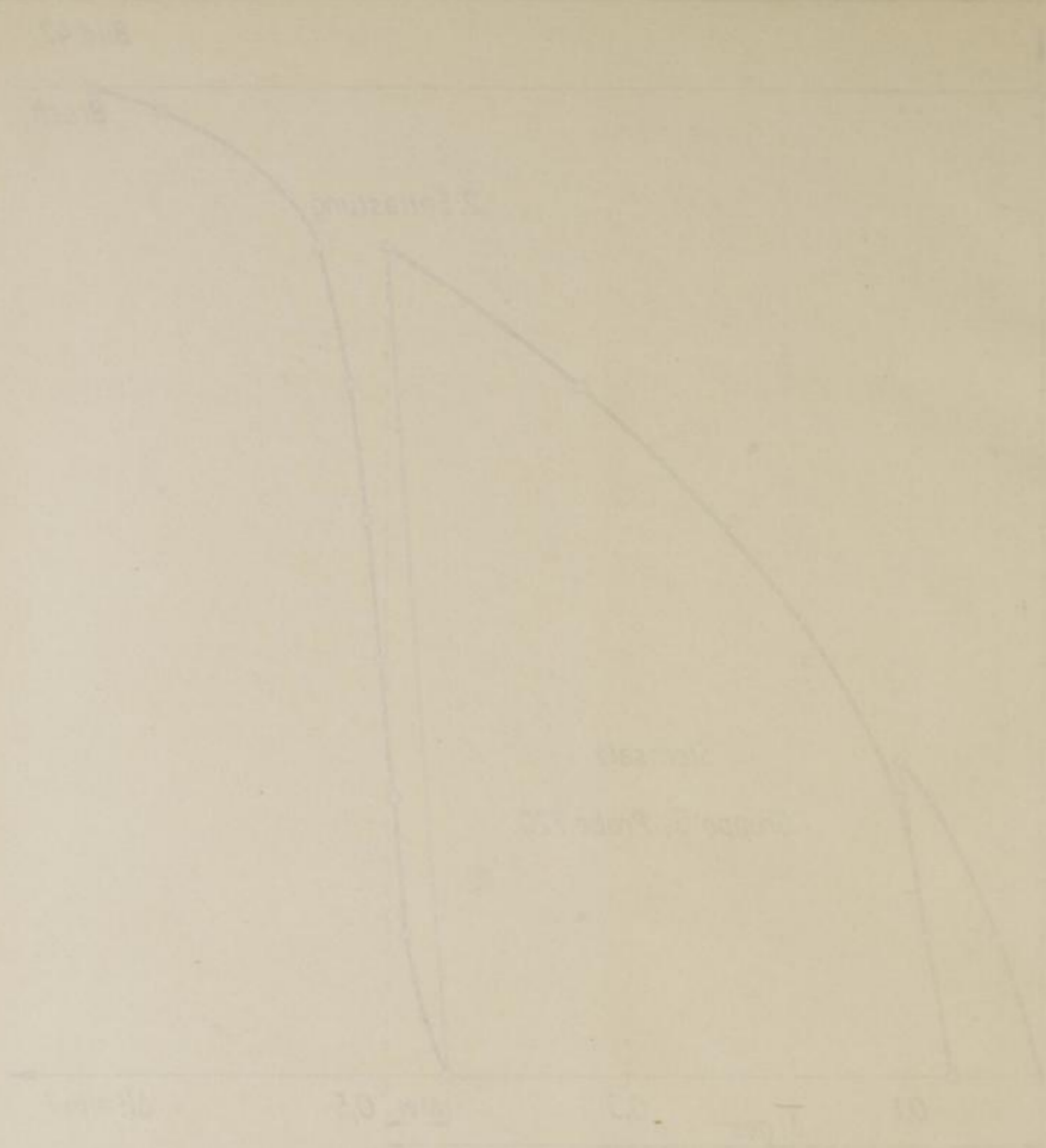
20

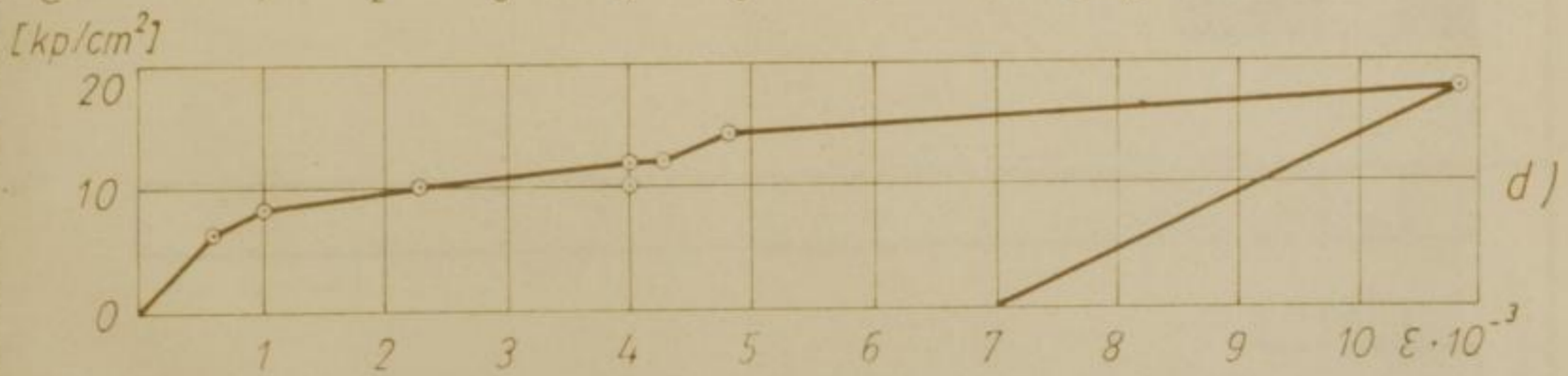
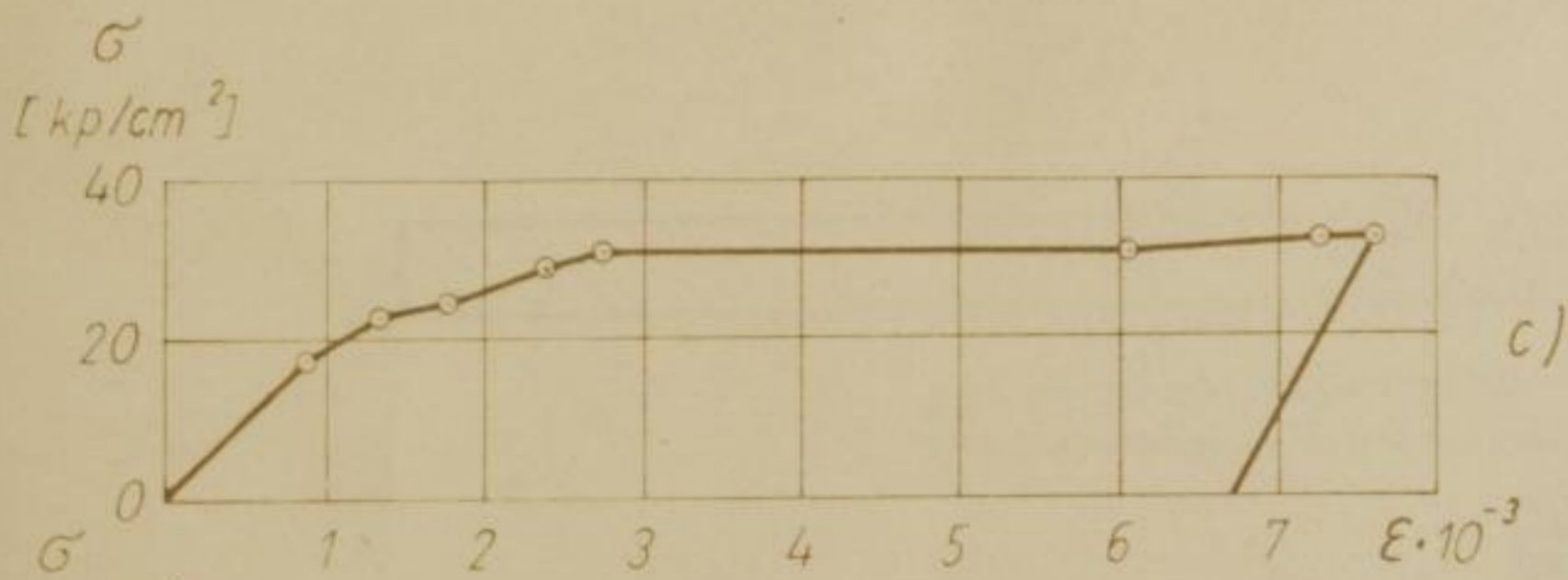
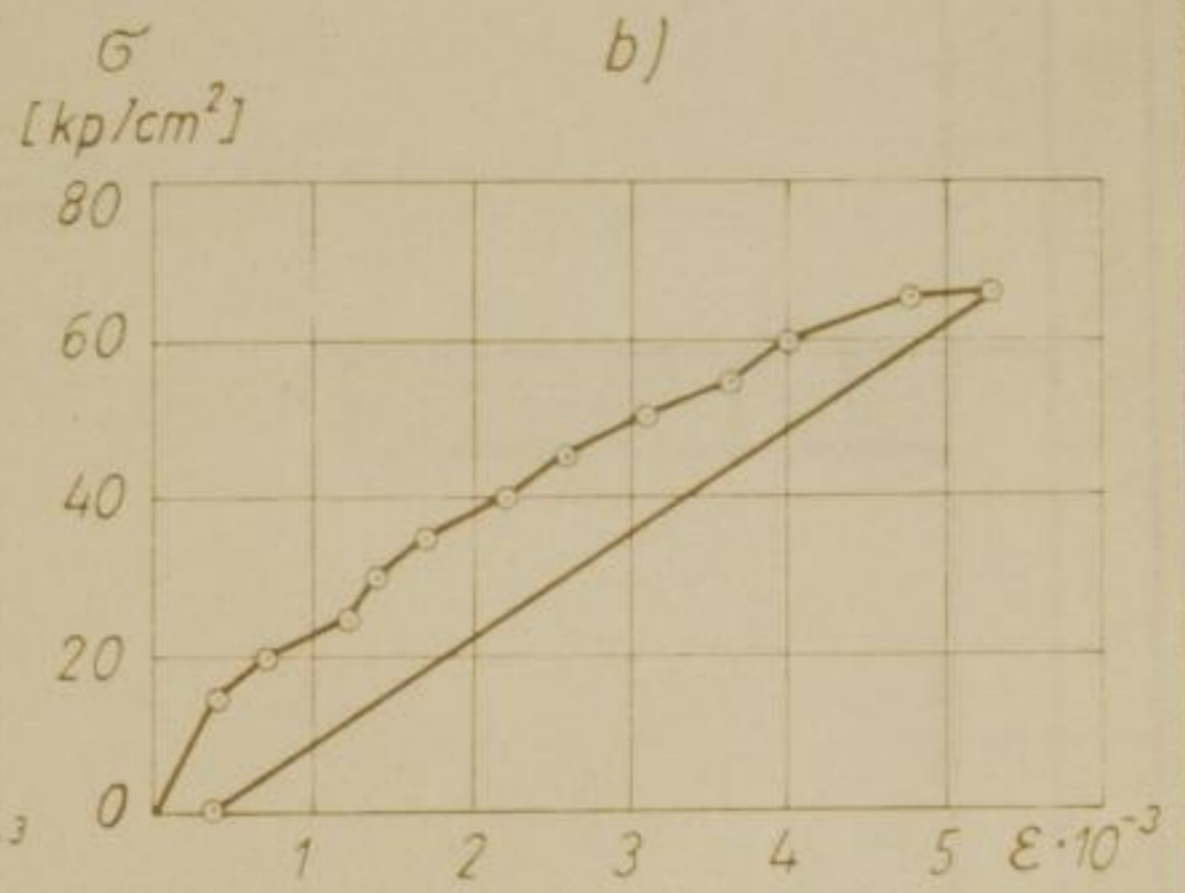
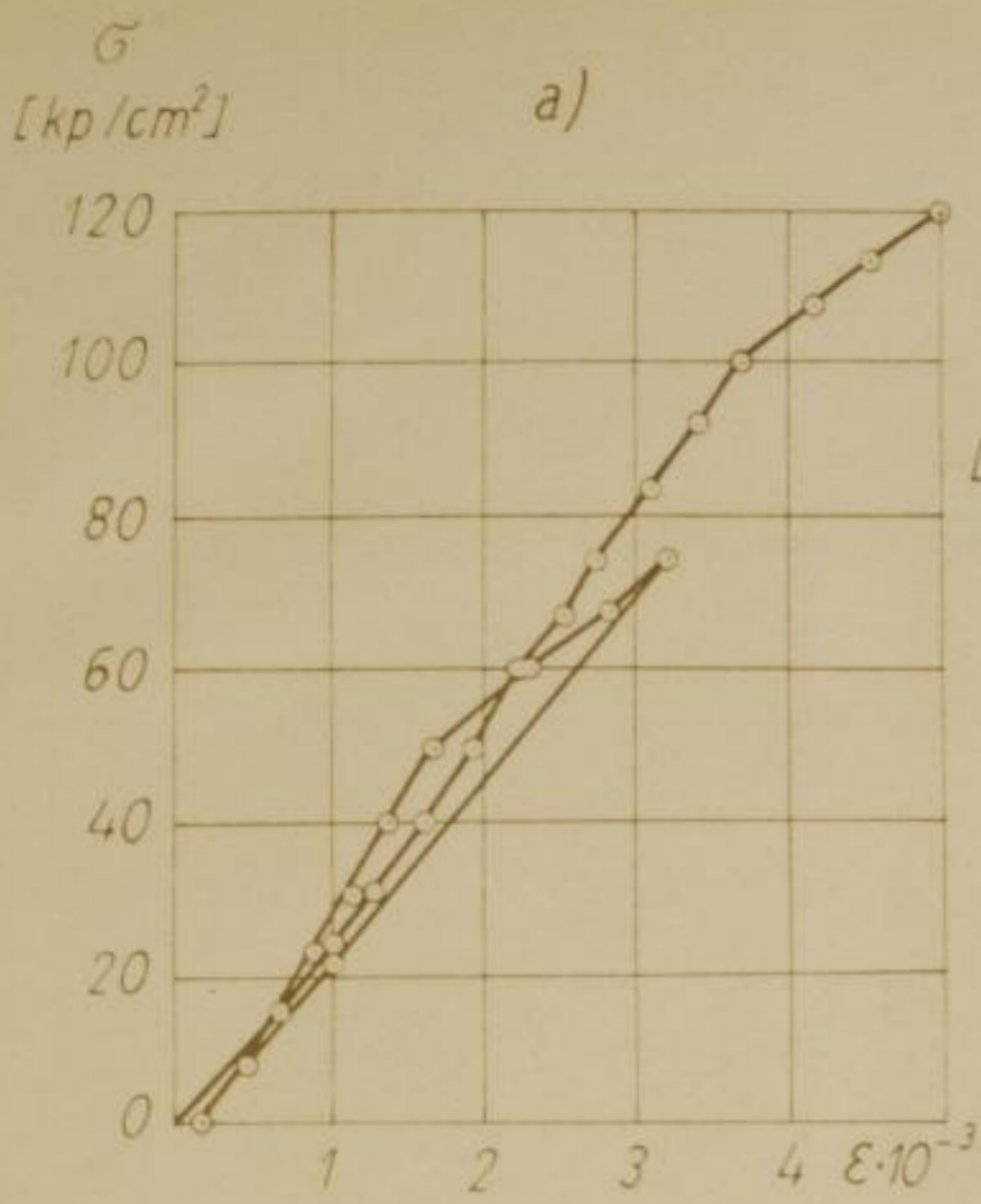
0

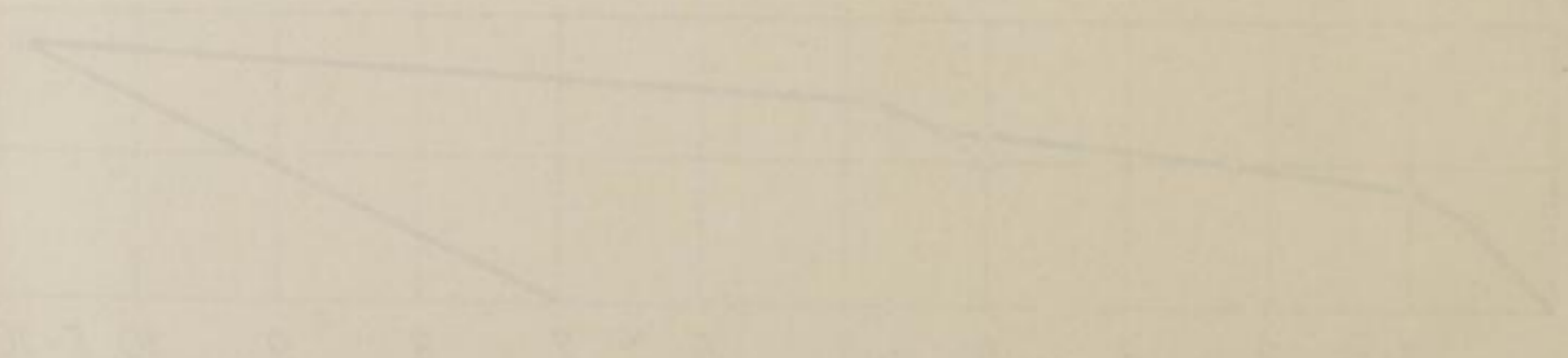
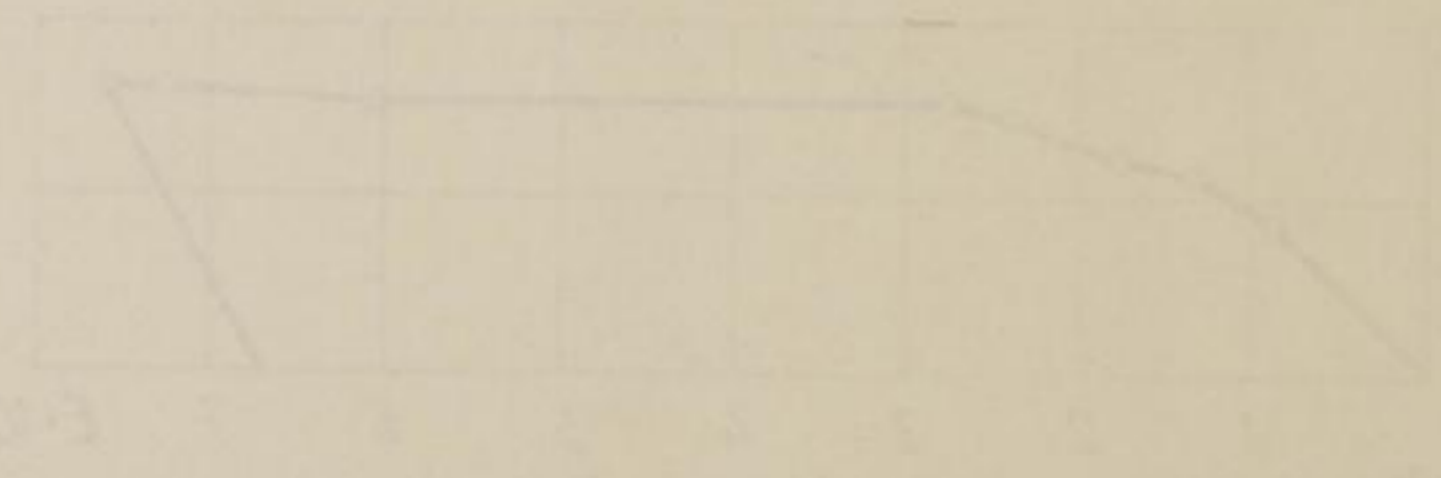




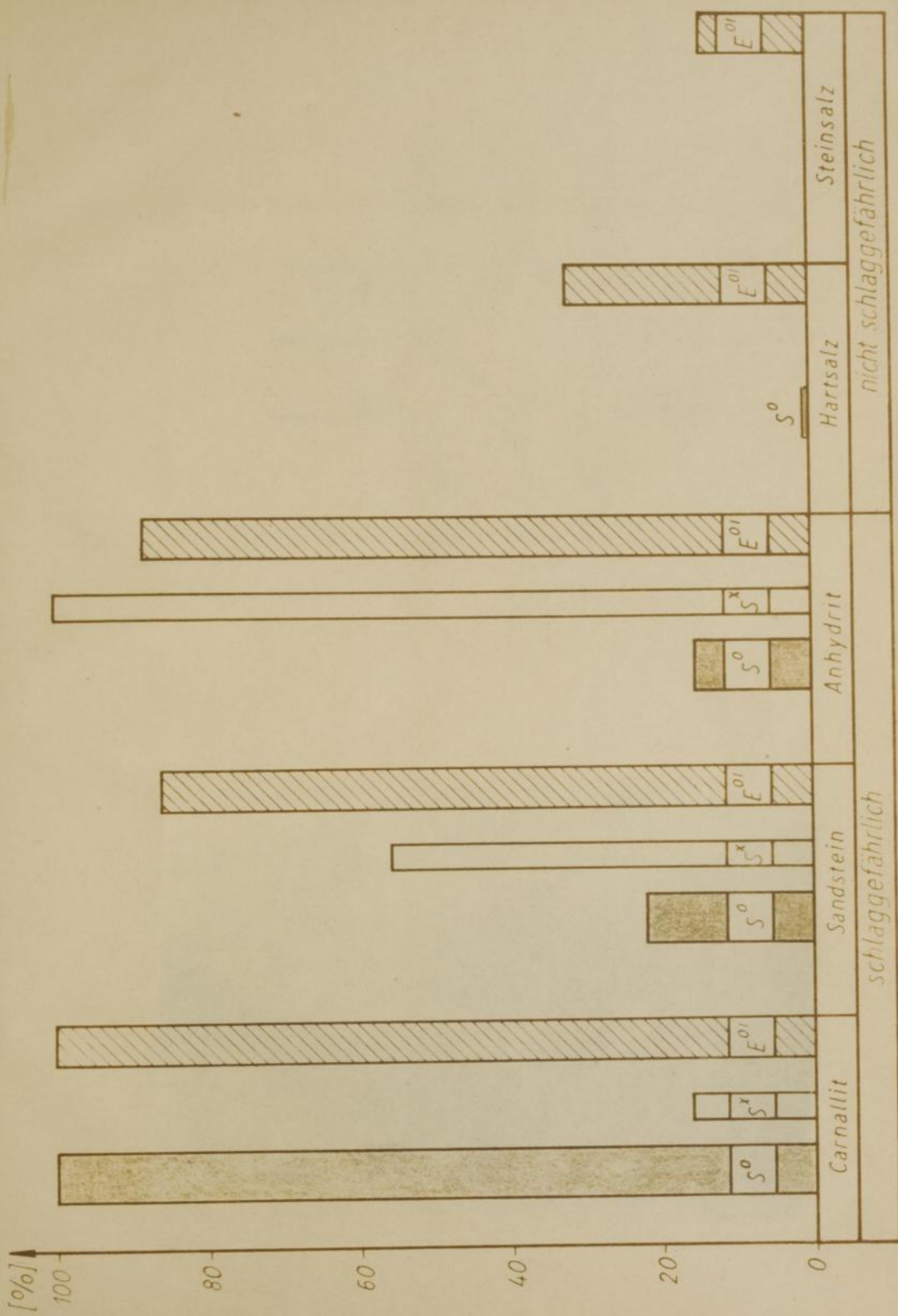


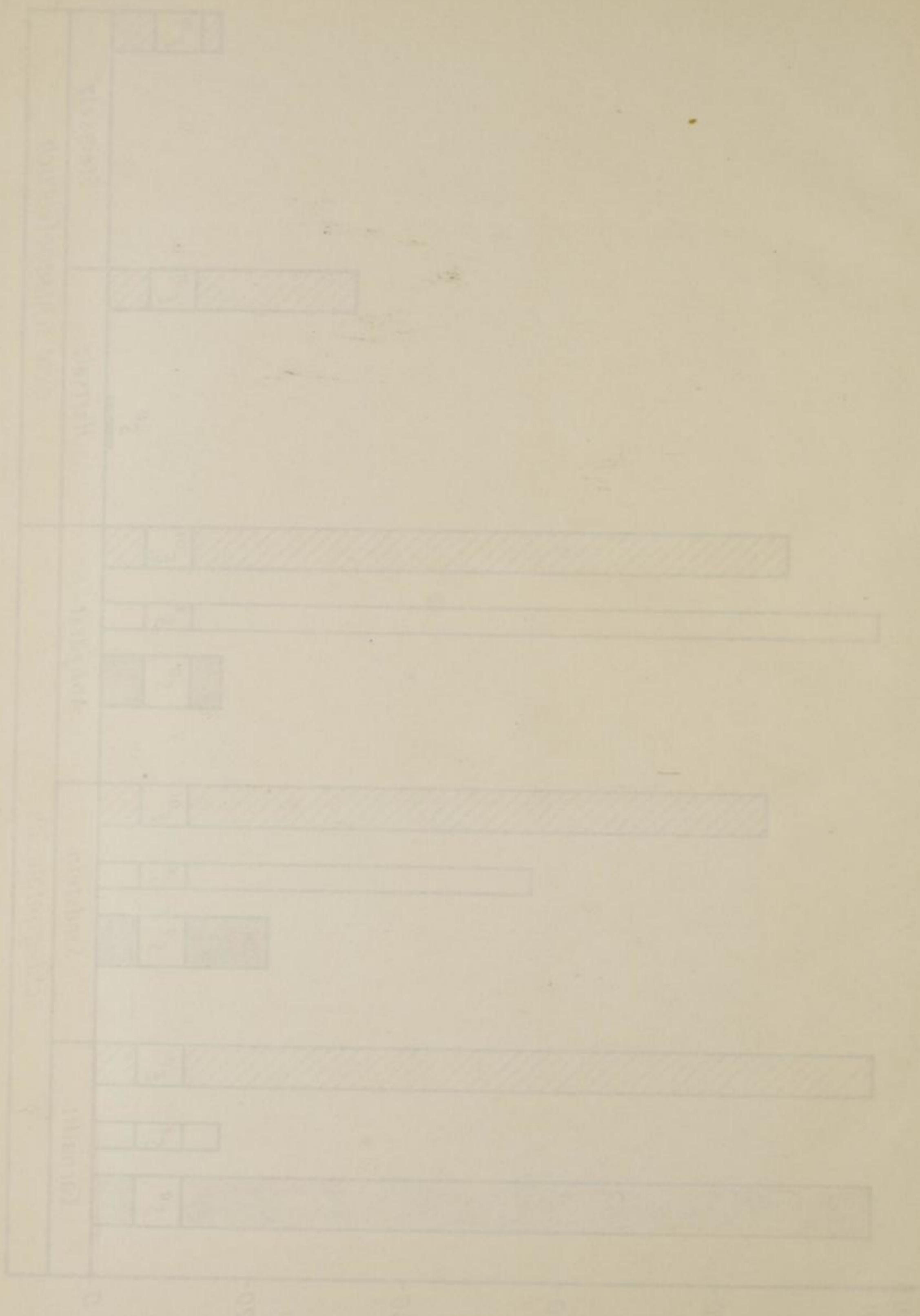




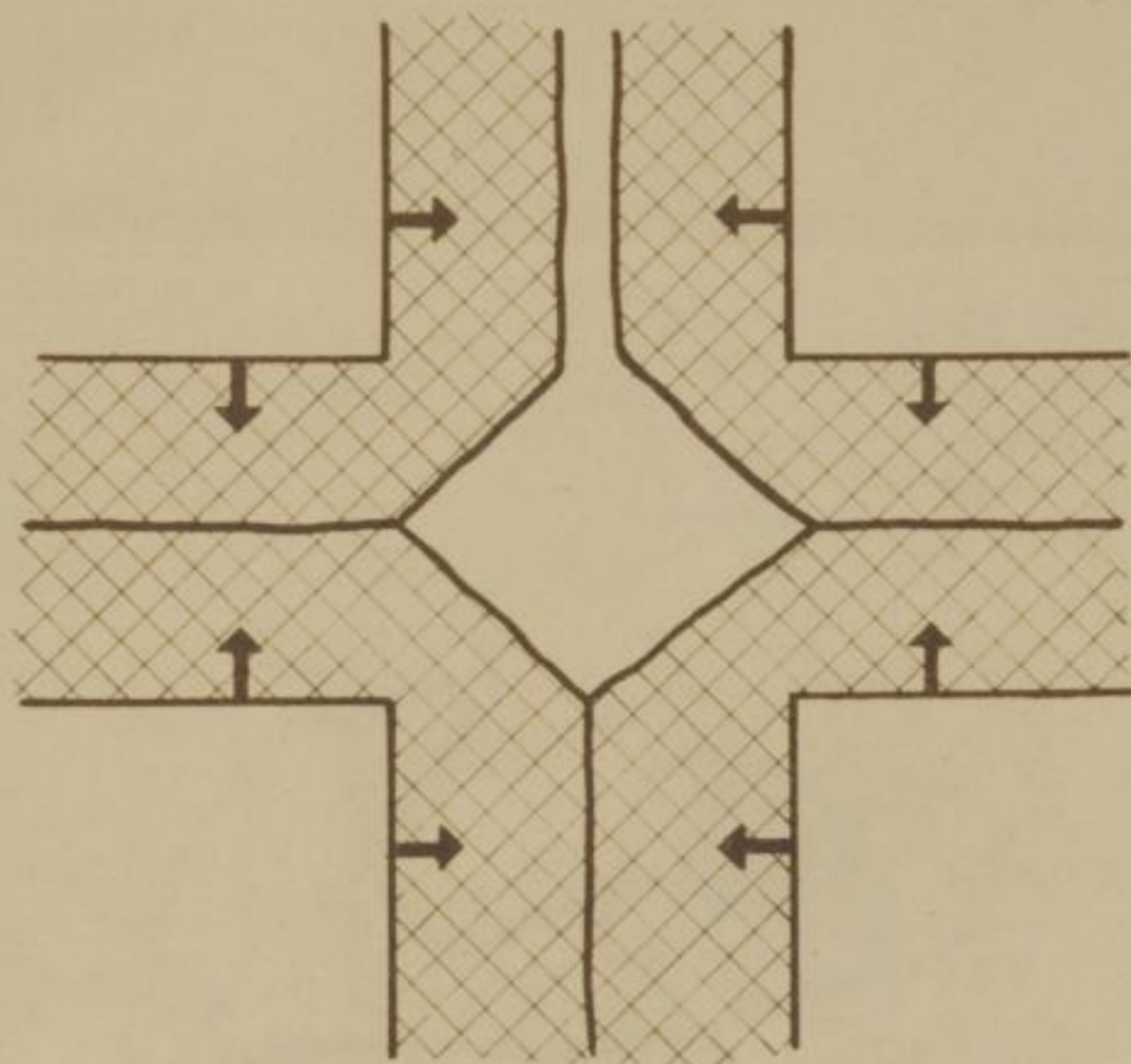


1961





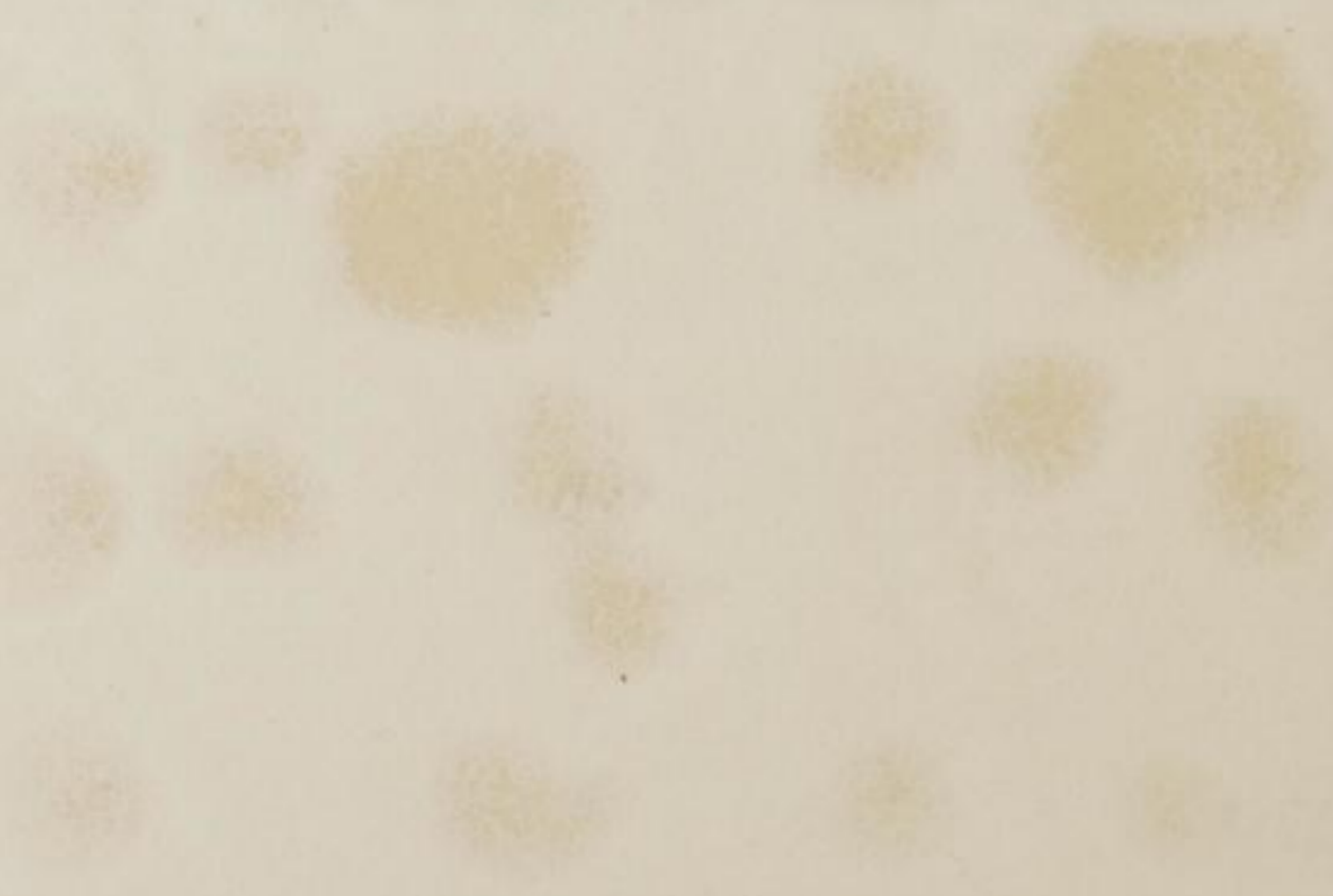
Bergakademie
 - Bucherei -
 Freiberg i. Sa.

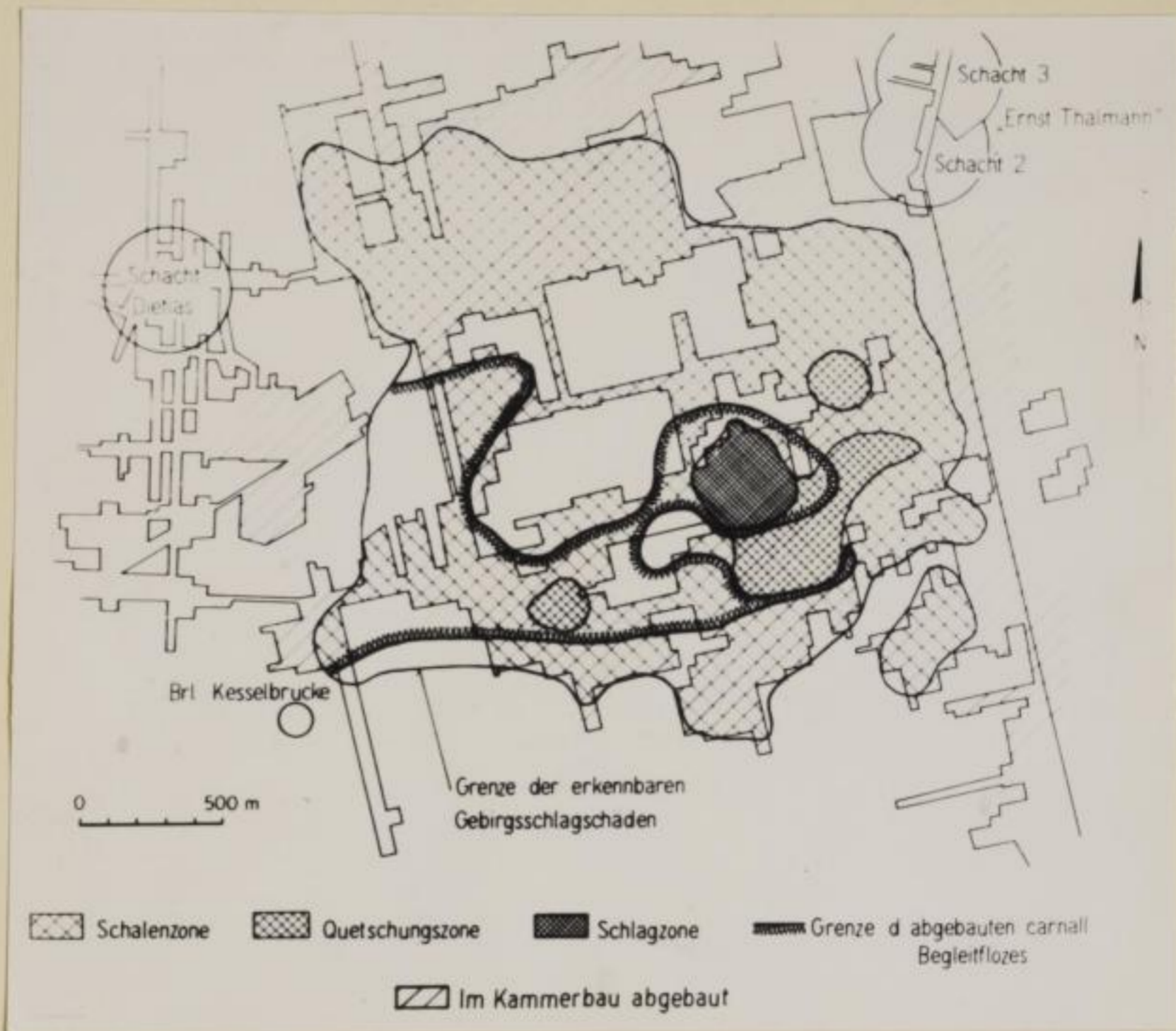


a)



b)







a) Firstenzusammenbrüche Schierstedt vom 5 u. 6.3.1943 (Hartsalz)
NS - Komp.



b) Gebirgsschlag Merkers vom 29.6.1961 (Carnallit) NS-Komponente

