

# AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

Entwicklung eines Meßverfahrens im Labormaßstab  
zur Bestimmung der Löschwirksamkeit von ABC-Pulvern an  
Feststoffbränden

# 28

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN  
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ  
AGF

Forschungsbericht Nr. 28

Entwicklung eines Meßverfahrens im Labormaßstab  
zur Bestimmung der Löschwirksamkeit von ABC-Pulvern an  
Feststoffbränden

von  
Dipl.-Ing. Hermann Schatz  
und  
Dipl.-Ing. Dieter Brein

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe  
Juli 1975

FA.Nr. 64 (3/73)

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. GRUNDLAGEN FÜR EIN MESSVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER LÖSCHWIRKSAMKEIT VON ABC-PULVERN	2
3. VERSUCHSAUFBAU UND MESSVERFAHREN	4
3.1. Aufbau der Versuchsanlage	4
3.2. Brennergehäuse	5
3.3. Material für den Modellglutbrand	6
3.4. Pulveraufgabevorrichtung	7
3.4.1. Pulveraufgabevorrichtung mit Schüttelrinne	7
3.4.2. Pulveraufgabevorrichtung mit Dosierbehälter	8
3.5. Temperatur- und Strahlungsmessung	9
3.6. Druckmessung	9
3.7. Bestimmung der Schmelztemperatur	10
4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	10
4.1. Holzkohle bzw. Aktivkohle als Modell- glutbrand	10
4.2. Poröser Brennerstein als Modellglutbrand	11
4.2.1. Gasgemische	11
4.2.2. Dicke des Brennersteins	13
4.2.3. Kittschicht um den Brennerstein	13
4.3. Pulveraufgabe	13
4.4. Schmelztemperaturbestimmung	14
5. VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION	14
5.1. Erhitzen von ABC-Löschpulvern	14
5.2. Gasgemische	16

	Seite	
5.2.1.	Methan-Luft-Gemisch	16
5.2.2.	Propan-Luft-Gemisch	16
5.2.3.	Methan-Sauerstoff-Gemisch	17
5.2.4.	Methan-Luft-Sauerstoff-Gemisch	17
5.3.	Temperaturen	18
5.4.	Druck	20
5.5.	Pulveraufgabe	20
6.	ZUSAMMENFASSUNG	23
7.	FORMELZEICHEN	24
8.	LITERATURVERZEICHNIS	25
9.	TABELLEN UND BILDER	26

## 1. EINLEITUNG

Trockenlöschpulver nehmen heute einen wichtigen Platz in der Reihe der Löschmittel ein, die zur Brandbekämpfung eingesetzt werden. Die Verwendung von Trockenlöschpulvern bietet mehrere Vorteile. So sind z.B. die mit dem Löschvorgang verbundenen Folgeschäden für die Umgebung des Brandherdes, etwa im Vergleich mit Wasser als Löschmittel, als gering anzusehen.

Trockenlöschpulver werden zur Bekämpfung von Bränden glutbildender fester organischer Stoffe - Brandklasse A nach DIN EN 2 - von flüssigen oder flüssig werdenden Stoffen - Brandklasse B - von Gasbränden - Brandklasse C - sowie von Metallbränden - Brandklasse D - verwendet. Die Zusammensetzung der Trockenlöschpulver richtet sich nach ihrem Anwendungsgebiet, je nachdem, ob sie zur Brandbekämpfung der Brandklassen A, B, C; B, C oder D eingesetzt werden sollen. Hauptbestandteil der BC-Löschpulver ist heute noch weitgehend das Natriumhydrogenkarbonat. Der Anwendungsbereich der BC-Pulver ist auf Flüssigkeits- und Gasbrände in kleinerem Umfang beschränkt, während die Anwendung bei Feststoffbränden umstritten ist, denn ein Ablöschen des Brandes gelingt meist nur in der Gasphase. Bei fortschreitender Verkohlung und Einsetzen des Glutbrandes können die Flammen zwar für eine gewisse Zeit beseitigt, jedoch ein Wiederaufflammen nicht verhindert werden. Daher verwendet man bei derartigen Bränden ABC-Löschpulver, die sich hauptsächlich aus Ammoniumphosphat und/oder -sulfat zusammensetzen.

Die Wirkungsweise der Pulver ist noch nicht vollständig geklärt. Auch kann sie für die oben einzeln angeführten Brandfälle nicht einheitlich sein, da die Mechanismen der Ablöschung etwa eines Gas - oder Flüssigkeitsbrandes andere sind als die der Ablöschung eines Glutbrandes.

Zur Löschwirkung trägt sowohl die chemische Natur als auch die besondere physikalische Zustandsform der Pulver am Brandherd bei. Die Löschwirksamkeit eines Pulvers ist also von verschiedenen Faktoren abhängig. Diese sind in der Korngröße, -form und -ober-

fläche, im Kornspektrum, in der Kristallstruktur u.a. begründet. Die Löschwirkung ist nicht auf einen einzigen Effekt zurückzuführen, sondern stellt ein kompliziertes Zusammenspiel mehrerer Löscheffekte dar, unter denen der antikatalytische - und der Stickeffekt hervorrage. Der Kühleffekt scheint von weniger großer Bedeutung zu sein. Es ist jedoch von Fall zu Fall verschieden und hängt vor allem auch vom Brandmedium ab, welchem der Effekte eine dominierende Rolle zufällt.

Für die vorliegende Arbeit interessieren besonders die Effekte des ABC-Pulvers, die durch das längere Verweilen des Pulvers auf dem Glutbrand hervorgerufen werden. So dringt beispielsweise das Pulver oder die Schmelze in die Poren von Feststoffen ein oder bildet beim Festwerden eine Schicht bzw. Kruste, die die Trennung von Feststoffoberfläche und Umgebungsluft bewirken soll. Dadurch wird das Austreten brennbarer Dämpfe aus der festen Brandstoffphase und der Zutritt des Luftsauerstoffs aus der umgebenden Gasphase zum glühenden Feststoff mehr oder weniger unterbunden.

Ammoniak, das bei der Umsetzung der Ammonphosphate frei wird, hat außerdem noch eine inhibierende Wirkung auf die Flamme, während Ammonphosphat, -sulfat und Natriumhydrogenkarbonat verkohlungsfördernd wirken, was den Brandablauf verzögert, d.h. die Flammenbildung und die Temperatur gehen zurück. [1]

## 2. GRUNDLAGEN FÜR EIN MESSVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER LÖSCHWIRKSAMKEIT VON ABC-PULVERN

Wirkungsweise und Löscherfolg der Löschpulver werden neben Feldtesten auch mit Laborapparaturen, d.h. modellmäßigen Verkleinerungen von praxisnahen Brandobjekten untersucht, die u.a. den Vorteil gegenüber Feldtesten haben, daß man Witterungseinflüsse ausschalten kann. Die Konstanthaltung der Versuchsbedingungen ist also weitgehend möglich. Ferner sind die Kosten für die Durchführung eines Versuchs wesentlich geringer anzusetzen.

Eine der wichtigsten Prüfungen der Eigenschaften von Löschpulvern ist die Bestimmung der Löschwirksamkeit der verschiedenen Pulver. Dazu sind in den letzten Jahren eine große Zahl von Prüfmethoden entwickelt worden.

Während die Wirkung von Trockenlöschpulvern auf brennende Flüssigkeiten und Gase bereits untersucht wurde und hierfür einige Prüfverfahren vorhanden sind, [2,3] fehlt z.Z. ein Laborprüfverfahren mit dem die Wirkung der ABC-Trockenlöschpulver auf Glutbrände untersucht werden kann. Bereits vorhandene Testverfahren mit Holz als Brandobjekt können noch nicht vollständig befriedigen. Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik unternahm daher in der vorliegenden Arbeit den Versuch, ein Meßverfahren zur Untersuchung der Löschwirksamkeit von ABC-Löschpulvern bei Glutbränden zu entwickeln.

Im Gegensatz zu den BC-Pulvern, deren Löschwirksamkeit aufgrund der Änderung von physikochemischen Eigenschaften einer Flamme ermittelt wird, muß für die Prüfung von ABC-Pulvern auf Eigenschaften eines Glutbrandes zurückgegriffen werden, da, wie gesagt ABC-Pulver hauptsächlich zur Löschung von Bränden mit Glutbildung verwendet werden.

Für die Modellierung eines Glutbrandes für das Meßverfahren bieten sich einerseits organische Feststoffe, wie Holzkohle oder Aktivkohle an, die in einem Behälter mit bestimmter Stopfdichte gepackt und von oben her gezündet werden. Andererseits könnte auf ein poröses Steinmaterial zurückgegriffen werden, das in ein Gehäuse eingebaut und von unten mit einem brennbaren Gas-Luft-Gemisch durchströmt wird. Dieses Gas-Luft-Gemisch verbrennt in einer sehr dünnen Schicht an der Oberfläche dieses Steins, wodurch die Oberfläche zum intensiven Glühen kommt.

Ein weiteres Problem ist die Aufgabe des Löschpulvers auf diesen Modellglutbrand. Sie kann entweder kontinuierlich mit Hilfe z.B. einer Schüttelrinne oder schlagartig aus einem oberhalb des

Modellglutbrandes befindlichen Aufgabebehälters über die gesamte glühende Oberfläche erfolgen.

Als Grundlage für die Bestimmung der Löschwirksamkeit bieten sich Temperatur, Strahlungsintensitäts- und Druckmessungen an. So könnte als Meßgröße für die Löschwirksamkeit sowohl die infolge der Aufgabe des Löschpulvers auftretenden Änderungen der Temperatur oder der Strahlungsintensität der glühenden Oberfläche des Modellglutbrandes als auch der durch die Schmelze des Löschpulvers verursachte Druckanstieg im Modellglutbrand in Verbindung mit der Schmelztemperatur und den Eigenschaften der Schmelze des Löschpulvers herangezogen werden.

Die Gleichmäßigkeit, Konstanz und Reproduzierbarkeit des Glühzustandes der Oberfläche des Modellglutbrandes können durch Messungen der Temperatur oder Bestimmung der Strahlungsintensität überprüft werden.

### 3. VERSUCHSAUFBAU UND MESSVERFAHREN

Die Versuche wurden in einem Labor der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durchgeführt. Äußere Einflüsse konnten ausgeschlossen und somit die erforderliche Reproduzierbarkeit gewährleistet werden.

#### 3.1. Aufbau der Versuchsanlage

Der Aufbau der Versuchsanlage ist in Bild 1 dargestellt. Die jeweils verwendeten Gase Methan, Luft und Sauerstoff werden über Druckminderer Druckgasflaschen entnommen und strömen über die Ventile (a) und die Durchflußmesser (b) zu dem Brenner (h). Das Überdruckventil (f) dient zur Sicherheit gegen plötzlich auftretende Überdrücke und das Rückschlagventil (e) verhindert einen Flammenrückschlag in das Rohrsystem. Die dem Brenner zuzuführenden Gasströme werden mit Hilfe der Druckminderer und

Ventile (a) vor und hinter den Durchflußmessern geregelt. Der Eichzustand der Durchflußmesser wird über die Thermometer (d) und über die U-Rohr-Manometer (c) überwacht. Der jeweils herrschende Luftdruck wird an einem Präzisionsbarometer abgelesen. (Bild 2)

Die Konstanz und Reproduzierbarkeit des Glühzustandes des Modellglutbrandes wird durch die Thermoelemente (g) oberhalb und unterhalb des Modellglutbrandes und durch das Strahlungs-pyrometer (l) kontrolliert. Die Meßwerte werden jeweils auf Linienschreibern (k) registriert. Über der Anlage befindet sich ein Abzug (i), um die Rauchgase aufzunehmen. Die Pulveraufgabe erfolgt über eine eigens für die Versuche entwickelte Aufgabevorrichtung, Bild 3 zeigt die Gesamtansicht der Versuchsanlage.

### 3.2. Brennergehäuse

Das auf Bild 4 dargestellte Brennergehäuse zur Aufnahme des Modellglutbrandes besteht aus dem Gaseintrittsstutzen (1), der in einen nach oben offenen Zylinder, das Brennergehäuse (2), ragt. Innerhalb dieses Mantels befindet sich das zum Glühen gebrachte Glutbrandmaterial (3).

Zunächst wurde ein ungekühltes Gehäuse verwendet, das sich jedoch im Laufe eines Einzelversuches aufheizte wodurch die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse beeinträchtigt wurde. Um eine bessere, gleichmäßigere Wärmeabgabe und eine gleichbleibende Temperatur im Brennergehäuse während des Versuchs aufrecht erhalten zu können, wurde es mit einem Doppelmantel (4) versehen und dieser mit Wasser (5) gekühlt. Durch eine gasdichte Durchtrittsöffnung im Doppelmantel ist das Thermoelement (6) in das Brennergehäuse eingeführt, mit dem die Temperatur an der Unterseite des Modellglutbrandes gemessen wird.

Um eine gleichmäßigere Gasverteilung zu erhalten und um das Rückschlagen von Flammen in die Apparatur zu vermeiden, ist außer einer separaten Rückschlagssicherung (Bild 1, Teil e) grobkörniger, trockener Sand (7) in das Gehäuse eingefüllt. Der Haltering (8) hält den Modellglutbrand über 4 Schrauben (9) im Gehäuse fest und dient gleichzeitig als Aufsetzfläche für die Pulveraufgabevorrichtung. Mit Hilfe des Dichtringes (10) wird der Teil (11), der das gekühlte Gehäuse nach oben verschließt gasdicht mit dem Ringkörper (12) verbunden, in den das Glutbrandmaterial (3) eingesetzt ist.

### 3.3. Materialien für den Modellglutbrand

Beide in Abschnitt 2 genannten Möglichkeiten zur Herstellung eines Modellglutbrandes - organische Feststoffe oder poröses Steinmaterial - wurden untersucht, in wie weit sich mit ihnen die Forderung nach Konstanz und Reproduzierbarkeit einer glühenden Feststoffoberfläche erfüllen ließen. Für den ersten Teil dieser Untersuchung wurde Holzkohle gemahlen, in das Brennergehäuse eingefüllt und mit Spiritus gezündet. Der gleiche Versuch wurde auch mit Aktivkohle durchgeführt. Nach dem Zünden wurde beobachtet, ob und wie weit sich ein Glutbrand ausbildete.

Für den zweiten Teil wurde auf einen gasdurchlässigen porösen Brennerstein zurückgegriffen, wie er bei Gasstrahlwänden Verwendung findet [4]. Dieser Brennerstein wird von unten nach oben von einem Gemisch aus Brenngas und Luft bzw. Brenngas und Sauerstoff durchströmt und das Gasgemisch an der Oberfläche des porösen Steines gezündet. Infolge von Wärmeleitungs- und Wärmestrahlungseffekten, wandert die Flamme wenige mm in den Stein hinein und bringt dadurch eine dünne Oberflächenschicht zum Glühen. Dieser Stein weist eine gute Wärmekapazität auf und erreicht eine relativ hohe Oberflächentemperatur. Er zeigt deshalb auch noch nach dem Abstellen der Gaszufuhr und Erlöschen der Flamme ein mehrere Sekunden lang anhaltendes Glühen. Bild 5 zeigt den in den Ring-

körper eingesetzten und mit hochtemperaturfestem Kitt abgedichteten Brennerstein vor dem Einbau in das mit Sand teilweise angefüllte Brennergehäuse und Bild 6 nach dem Einbau.

### 3.4. Pulveraufgabevorrichtung

Da die Bestimmung der Löschwirksamkeit der Löschpulver von der gleichmäßigen und reproduzierbaren Aufgabe des Löschpulvers auf die glühende Oberfläche abhängt, wurde geprüft, ob diese Forderung besser von einem kontinuierlichen oder von einem schlagartigen Aufgabeverfahren erfüllt wird.

#### 3.4.1. Pulveraufgabevorrichtung mit Schüttelrinne

Um eine bestimmte Pulvermenge kontinuierlich auf die glühende Oberfläche aufzubringen, wurde eine Vorrichtung mit einer Schüttelrinne entwickelt, bei der das Brennergehäuse mit Hilfe eines Motors, einer Spindel und einem in einer Schiene geführten Wagen, auf dem der Brenner befestigt ist, unter der Schüttelrinne vorbeigefahren wird, wie auf Bild 7 zu sehen ist. Um eine Aufgabe über die gesamte glühende Oberfläche zu gewährleisten, ist die Schüttelrinne etwas breiter als der Durchmesser des Brennergehäuses ausgeführt. Auf die Schwierigkeiten dieses Verfahrens, eine gleichmäßige Pulverschicht auf die glühende Oberfläche aufzubringen, wird im folgenden näher eingegangen.

Da die Pulver aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung mehr oder weniger empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und wegen des physikalischen Aufbaues wie u.a. Korngröße, Kornform und Kornaufbau nicht gleich rieselfähig sind, ist es schwierig, das Löschpulver mit einer Schüttelrinne gleichmäßig auf die glühende Oberfläche aufzutragen. Erschwerend kommt hinzu, daß der durch die heißen Verbrennungsgase entstehende Auftrieb das Löschpulver nur teilweise auf die glühende Oberfläche gelangen läßt. So werden besonders die kleineren Pulverteilchen im aufwärtssteigenden Abgasstrom mitgeführt, so daß nur die größeren Pulverkörnchen

auf die glühende Oberfläche gelangen. Der Kornaufbau des die glühende Oberfläche bedeckenden Pulvers entspricht daher nicht mehr dem des ursprünglichen Pulvers vor der Aufgabe.

Ein weiterer Nachteil ist es, daß die glühende Oberfläche im Fall des Brennersteins infolge der Unterbrechung der Brenngas/Luft-Gemischzufuhr so schnell abkühlt, daß die Temperatur keineswegs mehr der eines wirklichen Brandes organischer Feststoffe entspricht, bevor die Pulveraufgabe über die gesamte glühende Oberfläche abgeschlossen ist. Andererseits muß aber die Brenngas/Luft-Gemischzufuhr vor der Aufgabe des Pulvers abgestellt werden, da sonst infolge des zu dem Auftrieb hinzutretenden Strömungsimpulses noch geringere Pulvermengen auf die glühende Oberfläche gelangen.

#### 3.4.2. Pulveraufgabevorrichtung mit Dosierbehälter

Um diesen Schwierigkeiten zu entgehen, wurde die in Bild 8 dargestellte Pulveraufgabevorrichtung entwickelt. Sie besteht im wesentlichen aus einem rohrförmigen Dosierbehälter, in dem ein Gitter eingebaut ist. Unterhalb des Gitters befindet sich ein Schieber. Auf diesem Gitter wird eine bestimmte Pulvermenge gleichmäßig verteilt. Mittels des Schiebers kann das Löschpulver schlagartig freigegeben werden, so daß es gleichmäßig aus dem Behälter auf die glühende Oberfläche fällt, da das Gitter ein Zusammenbacken des Pulvers beim Herausziehen des Schiebers verhindert. Da auf diese Art praktisch alle Korngrößen des Pulvers auf die glühende Oberfläche gelangen, ist es möglich, eine bestimmte Pulvermenge völlig auf die glühende Oberfläche aufzubringen. Mit dieser Vorrichtung ist es deshalb möglich festzustellen, welcher Anteil der aufgegebenen Pulvermenge verdampft und welcher Anteil - teilweise als Schmelze - auf der Glutbrandoberfläche verbleibt.

Die Einstellung der Schichtdicke im Dosierbehälter erfolgt mittels eines auf dem Dosierbehälter aufgesetzten drehbaren

Abstreifbleches, das das Pulver gleichmäßig verteilt und mit dem gleichzeitig die Schichtdicke gemessen werden kann.

Bild 9 zeigt das Brennergehäuse mit eingebautem Brennerstein und Bild 10 den auf das Brennergehäuse aufgesetzten Pulverdosierbehälter.

### 3.5. Temperatur- und Strahlungsmessung

Die Temperaturmessung erfolgt mittels Mantelthermoelementen mit einem Außendurchmesser des Inconelmantels von 1,6 mm, dessen Thermopaar aus Chromel/Alumel besteht. Eines dieser Thermoelemente ist fest in der Mitte der Brennersteinunterseite angeordnet, während ein zweites oberhalb des Brenners bewegt werden kann. Die Meßwerte werden auf einem Linienschreiber registriert (Bild 1).

Von einem schräg über der Versuchsanordnung montierten Strahlungspyrometer wird die Wärmestrahlung des glühenden Steines und der seine Oberfläche bedeckenden Flamme aufgenommen. Bei dem hier verwendeten Gesamtstrahlungspyrometer wird die Strahlung durch ein Objektiv auf einem aus Thermoelementen bestehenden Strahlungsempfänger fokussiert. Durch ein Okular läßt sich beobachten, ob der Empfänger voll ausgeleuchtet ist. Der Abstand Brennerstein-Strahlungspyrometer beträgt 1170 mm, der Winkel zur Horizontalen  $60^{\circ}$ . Die vom Pyrometer abgegebene Spannung wird auf einem Digital-Voltmeter angezeigt und auf einem Linienschreiber registriert. Aus diesen Spannungswerten werden mit einer an einem Schwarzkörperofen aufgenommenen Eichkurve die Strahlungsintensitäten bestimmt.

### 3.6. Druckmessung

Zur Bestimmung der durch die Aufgabe des Löschpulvers im Brennerstein verursachten Druckänderung wird der Brennerstein vor und

nach Aufgabe des Pulvers mit Luft aus einer Druckgasflasche bei einem konstanten Vordruck von unten beaufschlagt. Die Drücke vor und nach der Pulveraufgabe werden mit einem Mikromanometer nach Betz (siehe Bild 3) gemessen.

### 3.7. Bestimmung der Schmelztemperatur

Die ABC-Trockenlöschpulver enthalten in den meisten Fällen Ammoniumphosphat und Ammoniumsulfat als Hauptkomponenten, Salze also, die bei relativ niedrigen Temperaturen schmelzen. Die Schmelztemperaturen der untersuchten Löschpulver werden in einem elektrisch beheizten Emaillebrennofen bestimmt.

Die Innentemperatur des Ofens wird mit einem stufenlos regelbaren Widerstand in der Stromzuführung eingestellt, mit einem Chromel-Alumel Thermoelement mit einem Durchmesser von 0,5 mm überwacht und auf einem Linienschreiber registriert. Das Thermoelement ist hierzu durch eine enge Bohrung in den Ofen eingeführt.

Zum Vergleich wurde die Schmelztemperatur noch mit einem in [5] beschriebenen Schmelzpunktbestimmungsgerät kontrolliert. Bei diesem Verfahren wird Pulver auf eine erhitzte Metallplatte aufgestreut, deren Temperatur langsam ansteigt und die Schmelztemperatur an einem Thermometer abgelesen.

## 4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

### 4.1. Holzkohle bzw. Aktivkohle als Modellglutbrand

Bei der Durchführung der Versuche mit Holzkohle bzw. Aktivkohle als Glutbrandmaterial wurde festgestellt, daß sich nach dem Anzünden des Brandstoffs mit Brennspritus in ruhender Umgebungsluft eine glühende Oberflächenschicht nicht erreichen läßt. Daher wurde sowohl bei der Holzkohle als auch bei der Aktivkohle

Sauerstoff von unten durch den Gaseintrittsstutzen in das Material geblasen. Da jedoch ein größerer Sauerstoffstrom nötig ist, um Glut zu erzeugen, müssen die Kohlekörnchen gegebenenfalls durch ein Gitter festgehalten werden, um nicht weggeblasen zu werden. Sobald der Sauerstoffstrom abgeschaltet wird, geht auch die Glut zurück, d.h. die Abkühlung erfolgt so rasch und wird durch das Gitter so verstärkt, daß die Aufgabe des Löschpulvers auf eine noch glühende Oberfläche nicht möglich ist.

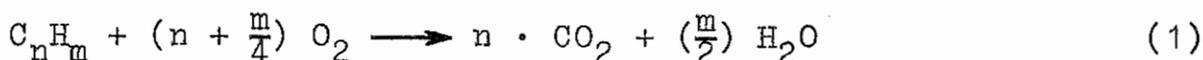
#### 4.2. Poröser Brennerstein als Modellglutbrand

Der für die weiteren Versuche verwendete, in das Brennergehäuse eingebaute poröse Brennerstein mit einem Durchmesser von 80 mm wird während der Aufheizphase wie ein Vormischbrenner betrieben.

In einer Versuchsreihe wurde nun untersucht, welches Brenngas, welches Oxydationsmittel, welche Brenngaskonzentration und welcher Volumendurchsatz bei einem durch die Durchflußregelung bedingten Vordruck von 810 mm Hg am günstigsten ist, um den Brennerstein so aufzuheizen, daß der Glühzustand der Oberfläche während der Zeit erhalten bleibt, in der das Löschpulver getestet wird.

##### 4.2.1. Gasgemische

Es wurden Versuche mit verschiedenen Volumenströmen und Gasgemischen wie Methan-Luft, Propan-Luft, Methan-Sauerstoff und Methan-Luft-Sauerstoff durchgeführt und zwar in stöchiometrischen- über- und unterstöchiometrischen Verhältnissen. Die Gemischzusammensetzung wurde aus der allgemeinen Reaktionsgleichung für die Verbrennung eines Brenngases mit Sauerstoff berechnet.



Die Berechnung der stöchiometrischen Brenngaskonzentration im Gemisch mit Sauerstoff erfolgt über die Gleichung

$$c_{\text{St}, \text{O}_2} = \frac{100}{1 + 1 \cdot \left(n + \frac{m}{4}\right)} \quad [\text{Vol.-%}] \quad (2)$$

und im Gemisch mit Luft über die Gleichung

$$c_{\text{St}, \text{Luft}} = \frac{100}{1 + 4,773 \left(n + \frac{m}{4}\right)} \quad [\text{Vol.-%}] \quad (3)$$

wobei 4,773 der Reziprokwert der volumetrischen Sauerstoffkonzentration in Luft ist.

Das Verhältnis von tatsächlicher zu stöchiometrischer Brenngaskonzentration wird als stöchiometrischer Bruch  $s$  bezeichnet, d.h.

$$s = \frac{c}{c_{\text{St}}} \quad (4)$$

Hierin ist

$$c = \frac{\dot{V}_B \cdot 100}{\dot{V}} \quad [\text{Vol.-%}] \quad (5)$$

mit

$$\dot{V} = \dot{V}_B + \dot{V}_{\text{L/O}_2} \quad (6)$$

Für stöchiometrische Gasgemische ist  $s = 1$ .

Gasgemische sind jedoch nur dann zündfähig, wenn ihre volumetrische Zusammensetzung in dem durch die Zündgrenzen abgesteckten Bereich liegt. Das einzustellende Gas-Mischungsverhältnis wird demnach durch die obere Zündgrenze im gasreichen und die untere im gasarmen Gemisch bestimmt. Zündet man ein Gemisch jenseits der Zündgrenzen, so tritt nur kurzfristig eine Reaktion in der Nähe des Zündfunkens auf. Die zur Startreaktion notwendige Wärme

wird durch den im Überschuß vorhandenen Reaktionspartner abgeführt. In Tabelle 1 sind für Methan und Propan die Zündgrenzen eingetragen.

#### 4.2.2. Dicke des Brennersteins

Nach jedem Löschpulversversuch wurde der poröse Brennerstein, je nach Eindringtiefe des Löschpulvers, mehrere Millimeter abgedreht. Ein Stein wurde jeweils für 4 Versuche benutzt, wobei jedoch darauf geachtet wurde, daß mit einem Stein immer nur das gleiche Löschpulver in Berührung kam. Dadurch war eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Löschpulver ausgeschlossen.

#### 4.2.3. Kittschicht um den Brennerstein

Wie bereits erwähnt und in Bild 6 deutlich zu erkennen, ist die Fuge zwischen dem Brennerstein und dem Ringkörper mit einem Hochtemperaturkitt gasdicht eingekittet. Der Durchmesser der Oberfläche des Brennersteins wird dadurch von 80 auf 75 mm reduziert. Die Kittschicht nimmt eine etwas höhere Temperatur als der den Stein umgebende Ringkörper an. Nach jedem Versuch wurde der Stein, wie in Abschnitt 4.2.2. beschrieben, abgedreht, wobei aber die Kittschicht in ihrer Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigt wurde. Erst nach einer Anzahl von Versuchen war die Steinoberfläche soweit abgedreht, daß die Gasdichtigkeit der Kittschicht nicht mehr gewährleistet war, so daß der Brennerstein neu eingekittet werden mußte.

#### 4.3. Pulveraufgabe

Die Pulveraufgabe auf den Brennerstein erfolgte mit der schon beschriebenen Aufgabevorrichtung. Die Einwaage bei den beiden ersten Versuchsreihen betrug jeweils 25 g entsprechend einer Schichtdicke von 3 mm, bei den Versuchsreihen III und IV je-

weils 30 g, entsprechend einer Schichtdicke von 4 mm. Da der Dosierbehälter eine etwa doppelt so große Fläche wie der Brennerstein ( $F_S/F_A = 0,51$ ) aufweist, fällt ca. die Hälfte des Pulvers auf die Brennersteinoberfläche. Die restliche Menge fällt kreisförmig neben den Brennerstein auf die Ringfläche. Somit ist ein eventuell auftretender Wandeffekt, daß am Rand mehr Pulver auf den Brennerstein gelangt, ausgeschlossen. Die überschüssige Menge auf der Ringfläche wird mit einem Staubsauger auf einem Filter abgeschieden und anschließend gewogen. Es läßt sich dadurch feststellen, wieviel Pulver auf den Brennerstein gelangt ist.

#### 4.4. Schmelztemperaturbestimmung

Um Aussagen über das Schmelzverhalten machen zu können, wurden je 10 g eines jeden Pulvers in Porzellanschälchen 10 Minuten lang bei konstanter Temperatur im Brennofen erhitzt, ausgehend von einer Temperatur von 240 °C. Der Versuch wurde jeweils bei einer um 10 °C höheren Temperatur mit einer neuen Probe wiederholt und zwar bis zu einem Temperaturwert, der sich nach der ersten sichtbaren Veränderung der Pulveroberfläche richtete. Die Pulver wurden nach der Entnahme aus dem Ofen erneut gewogen und ihr Gewichtsverlust registriert. Danach wurde visuell festgestellt, ob das Löschpulver mit dem Sinter- oder Schmelzprozeß bereits begonnen hatte oder nicht.

### 5. VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Mit diesem Meßverfahren wurde das Verhalten von 7 handelsüblichen ABC-Löschpulvern in mehreren Versuchsreihen untersucht.

#### 5.1. Erhitzen von ABC-Löschpulvern

Der Schmelzbeginn zeigte sich bei allen Pulvern mit nur wenigen Pulverschmelztröpfchen an der Oberfläche. Beim Passieren der

Probe durch ein engmaschiges Sieb wurden die Tröpfchen durch das Sieb zurückgehalten und waren deshalb deutlich sichtbar. Tabelle 2 zeigt die im Brennofen und durch das Verfahren nach [5] ermittelten Schmelztemperaturen.

Es ist deutlich zu erkennen, daß alle 7 Löschpulver im Bereich zwischen 250 °C und 280 °C schmelzen. Dies wird durch beide Meßverfahren bestätigt. Anhand dieses Ergebnisses läßt sich kein unterschiedliches Verhalten der Pulver herleiten.

Es wurde daher das Pulververhalten bei höherer Temperatur untersucht. Dazu wurden je 10 g Pulver in Porzellanschälchen in den offenen, auf 605 °C erhitzten Ofen gegeben und beobachtet. Die Ofentemperatur blieb konstant bei 605 °C.

In Tabelle 3 sind die Gewichtsverluste in g bei einer Einwage von 10 g und 605 °C Ofentemperatur aufgeführt. Der Gewichtsverlust liegt bei allen 7 untersuchten Pulvern in der gleichen Größenordnung, so daß auch hiermit über das Verhalten der Pulver keine Aussage möglich ist. Lediglich die Zeit bis zum Ende der Vergasung ist bei Pulver 1 um etwa den Faktor 3 größer als bei den anderen Pulvern.

Außerdem zeigten die Löschpulver zwei unterschiedliche Verhaltensweisen. Zuerst entwickelten alle 7 Proben Schmelztröpfchen an der Oberfläche. Danach setzte eine Gasentwicklung unter Aufschäumen des Schmelzgutes ein. Während nun die Pulver 3, 4, 5 und 7 dünnflüssige Schmelzen bildeten, die nach dem Abkühlen zu einem glasartigen Rückstand erstarrten, bildeten die Pulver 1, 2 und 6 einen zähflüssigen Brei, der nach dem Erkalten zu einer aufgeblähten, zähen, klebrigen Masse führte. Die zuerst genannten Pulverproben hinterlassen offensichtlich einen leicht schmelzenden Rückstand, während die anderen Pulverproben eine Schmelzsinterung erfahren. Die Pulver beinhalten also sowohl leicht flüchtige Verbindungen wie die Gewichtsverluste zeigen, als auch Verbindungen, die sintern bzw. schmelzen.

Alle 7 Pulverrückstände verwandelten sich an der Luft innerhalb von zwei Tagen in eine weiche klebrige Masse.

## 5.2. Gasgemische

### 5.2.1 Methan-Luft-Gemisch

Für Methan-Luft-Gemische werden bei einem Gemischvolumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h und für verschiedene stöchiometrische Brüche  $s$  die Strahlungsintensitäten bestimmt. Tabelle 4 zeigt die Werte für 8 Gemischeinstellungen. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß die maximale Strahlungsintensität bei einem überstöchiometrischen Gemisch von  $s = 1,37$  erreicht wurde.

Dieses Ergebnis wurde durch eine zweite Versuchsreihe mit einem Gemischvolumenstrom von  $\dot{V} = 761$  l/h bestätigt, wie aus Tabelle 5 zu ersehen ist. Die maximale Strahlung lag hier bei  $s = 1,4$ .

Eine Variation der Volumenströme unter Konstanthaltung des stöchiometrischen Bruches ergab, daß für Methan-Luft-Gemische die maximale Strahlungsintensität bei einem Gemischvolumenstrom von ca.  $\dot{V} = 900$  l/h auftritt, was auch aus Tabelle 6 hervorgeht.

### 5.2.2. Propan-Luft-Gemisch

Im Gegensatz zu Methan-Luft-Gemischen, bei denen eine stärkere Rußstrahlung erst bei überstöchiometrischen Gemischen auftritt, ist bei Propan-Luft-Gemischen bei einem Volumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h die Strahlungsintensität bei der stöchiometrischen Gemischzusammensetzung am höchsten. Hier tritt bereits bei stöchiometrischen Gemischen die Rußstrahlung auf, wie durch Versuche gezeigt werden konnte. Tabelle 7 gibt die Ergebnisse wieder. Wie eine Variation der Volumenströme ergab, liegt für Propan-Luft-Gemische bei  $s = 1$  die maximale Strahlungsintensität bei einem Gemischvolumenstrom von ca.  $\dot{V} = 900$  l/h.

### 5.2.3. Methan-Sauerstoff-Gemisch

Mit einem Methan-Luft-Volumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h, ist ein Methan-Sauerstoff-Volumenstrom von  $\dot{V} = 200$  l/h vergleichbar, da für  $s = 1$  die entsprechenden anteiligen Methanströme bei 76 l/h bzw. 66 l/h liegen.

Die Messungen ergaben, daß die Strahlungsintensität bei überstöchiometrischen Gemischen größer als bei stöchiometrischen ist. Versuche mit  $\dot{V} = 300$  l/h Gemischdurchsatz erbrachten die höchsten Strahlungsintensitäten. Tabelle 8 gibt die Ergebnisse wieder. Ein Brenngasgemisch mit  $s = 0,6$  und  $\dot{V} = 200$  l/h konnte wegen der zu geringen Methankonzentration nicht gezündet werden.

### 5.2.4. Methan-Luft-Sauerstoff-Gemisch

Da die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe, in der die Löschpulver bei Verwendung eines Methan-Luft-Gemisches bei einem Volumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h untersucht wurden, zeigten, daß wegen der geringen Strahlungsintensitäten keine Aussagen über das Verhalten der Löschpulver getroffen werden konnten, wurde versucht, die Untersuchungen mit Methan-Sauerstoff-Gemischen fortzusetzen. Bei stöchiometrischer Gemischzusammensetzung und einem Gemischvolumenstrom von  $\dot{V} = 300$  l/h war aber die Gefahr eines Rückschlagens so groß, daß auf die Verwendung reiner Methan-Sauerstoff-Gemische verzichtet und für die weiteren Versuchsreihen auf Methan-Luft-Sauerstoff-Gemische zurückgegriffen wurde. Der Volumenstrom dieser Gemische wurde zu  $\dot{V} = 500$  l/h gewählt. In Tabelle 9 sind die Versuchsbedingungen der 4 Versuchsreihen zusammengefaßt. Die einzelnen Gaskomponenten in dem jeweiligen Gasgemisch standen in einem stöchiometrischen Verhältnis.

### 5.3. Temperaturen

Mit dem beweglichen Thermoelement wurden sowohl die Oberflächentemperaturen des Steines in verschiedenem Abstand vom Mittelpunkt als auch die Temperaturen über dem Brennerstein auf der Brennerachse bis zu einer Höhe von 100 mm gemessen. Wie aus dem auf Bild 11 dargestellten Temperaturverteilungen zweier Versuche ersichtlich ist, weist die Temperatur auf der gesamten Steinoberfläche bis zu einem Radius von 37,5 mm, also bis zur Kittschicht, einen konstanten Wert auf. Da örtliche Temperaturunterschiede infolge der Porosität der Steinoberfläche bestehen, wurden alle Temperaturen gemittelt. Die Abweichungen vom Mittelwert sind aber in beiden Richtungen etwa gleich groß.

Wie Bild 12 zeigt, auf dem der Temperaturverlauf längs der Höhe über dem Brennerstein aufgetragen ist, hat die Temperatur oberhalb des Brennersteins ihr Maximum innerhalb der ersten 5 mm und fällt anschließend bis zu einer Höhe von 100 mm gleichmäßig auf ein Drittel des Maximalwertes ab. Die Tabelle 10 ( S.29 u.30) enthält die bei den Versuchsreihen III und IV gemessenen Werte für die Temperaturen an der Steinunterseite vor und nach Abschalten der Gaszufuhr bzw. bei der Pulveraufgabe und bei der Herausnahme des Brennersteins.

Nach dem Zünden und einer Versuchsdauer von 10 Minuten, in der nicht nur der Stein erwärmt wird, sondern auch eine etwaige Restfeuchte entweicht, hatte die Steinunterseite im Mittel eine Temperatur von ca. 50 bis 60 °C erreicht. Nach der 10. Minute wurde die Gasgemischzufuhr abgeschaltet und das Löschpulver aufgegeben. Ab diesem Zeitpunkt begann die Temperatur zu steigen bis sie nach ca. 3 bis 5 Minuten ihren Maximalwert erreichte.

Die Zeit nach der Pulveraufgabe, in der die maximale Temperatur erreicht wurde, blieb in etwa konstant. Die maximale Temperatur war bei der Versuchsreihe III im Mittel etwas niedriger als bei der Versuchsreihe IV. Dies wie auch die bis zu diesem Zeitpunkt verstrichene Zeit waren abhängig von der Steindicke bzw. Porosi-

tät des Steines. Bei Versuchsreihe IV, Versuch Nr. 3, war die Steindicke wesentlich geringer, was sich auch sofort durch eine Erhöhung der Temperatur bemerkbar machte.

14 Minuten nach Zündbeginn war die Temperatur wieder auf ca. 80 °C gefallen. Anschließend wurde der Brennerstein aus dem Gehäuse herausgenommen. Die Temperatur an der Steinunterseite war zu diesem Zeitpunkt bei allen Versuchen trotz etwas verschiedener Steindicken von der gleichen Größenordnung.

Bild 13 zeigt den für alle Versuche typischen zeitlichen Verlauf der Temperatur an der Steinunterseite. Der zeitliche Verlauf der Temperatur und Strahlungsintensität der Brennersteinoberfläche nach dem Abschalten der Gasgemischzufuhr ist aus Bild 14 ersichtlich.

In der Tabelle 11 ( S.31 u. 32 ) sind die für jeden Versuch nach 10 Minuten erreichten Temperatur- und Strahlungsintensitätswerte der Oberfläche des Brennersteins vor der Pulveraufgabe sowie die Temperaturen zum Zeitpunkt der Pulveraufgabe aufgeführt. Die letzteren wurden mit Hilfe der Temperaturverlaufskurve und einer Zeitmessung ermittelt, die die zeitliche Differenz zwischen der Abschaltung der Gasgemischzufuhr und dem Auftreffen des Löschpulvers auf der Brennersteinoberfläche berücksichtigt.

Für je eine Versuchsreihe weisen die für die einzelnen Versuche gemessenen Werte kleine Schwankungen auf, die auf die Porosität und Steindicke zurückgeführt werden können. Diese sind jedoch so gering, daß die Werte gut reproduzierbar eingestellt werden können.

Da es bei diesem Meßverfahren nicht möglich ist, nach Aufgabe des Löschpulvers die Temperatur und die Strahlungsdichte der Steinoberfläche zu messen, kann keine Aussage über die Löschwirksamkeit in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur bzw. von der Strahlungsintensität getroffen werden.

#### 5.4. Druck

Die Druckmessung ergab, auch wenn vorher der Sand aus dem Gehäuse entfernt wurde, keine meßbare Druckänderung der Gasströmung durch die Löschpulverschicht auf der Oberfläche des Brennersteins. Es ist anzunehmen, daß der Druckabfall in dem Modellglutbrand sowohl bei der Kohle als auch beim Brennerstein schon so groß ist, daß durch das Löschpulver kein mit dem hier verwendeten Druckmeßgerät meßbarer Druckanstieg erfolgt.

Es ist daher nicht möglich, mit Hilfe einer Druckmessung trotz verschiedener Eindringtiefen oder Pulverschmelzen Aussagen über die Löschwirksamkeit der untersuchten ABC-Löschpulver zu treffen.

#### 5.5. Pulveraufgabe

Um festzustellen, ob und wieviel Pulver auf dem Stein haftete, wurde bei den Versuchsreihen I und II das aufgegebenes Löschpulver bei allen 7 Versuchen 15 Minuten nach Pulveraufgabe in ca. 1 mm Abstand von der Pulveroberfläche mit einer Düse abgesaugt. Es sollte dadurch gewährleistet sein, daß nur gesinter-tes oder geschmolzenes und damit an dem porösen Stein haftendes Pulver nach dem Absaugen auf der Brennersteinoberfläche verblieb.

Bei den Versuchsreihen III und IV wurde nicht mehr direkt vom Brennerstein abgesaugt, da teilweise zusammenhaftendes Pulver mitgesaugt wurde. Es wurde vielmehr der gesamte Brennerstein mit der Pulverauflage 15 Minuten nach Pulveraufgabe umgedreht, so daß das lose aufliegende Pulver abfiel. Bei diesem Vorgang wurde der Stein nicht aufgestoßen. Die heruntergefallene Pulvermenge wurde abgesaugt und ebenfalls gewogen.

Die während des Löschvorganges verdampfte Pulvermenge  $M_{pv}$  ergibt sich über eine Massenbilanz:

$$M_a + M_s + M_{pv} = M_p \quad (7)$$

zu:

$$M_{pv} = M_p - M_a - M_s \quad (7a)$$

Die auf den Stein gelangte Pulvermenge läßt sich wie folgt berechnen:

$$M_{ps} = M_p \cdot \frac{F_s}{F_A} \quad , \quad (8)$$

wobei vorausgesetzt wird, daß die Pulverschicht über der gesamten Fläche  $F_A$  gleich dick verteilt ist.

In der Tabelle 12 ( S.33 u. 34 ) sind neben den Brennersteindaten (Masse vor und nach der Versuchsdurchführung  $M_0$  und  $M_1$ , Steindicke  $b$ ) die gesamt aufgegebenene Pulvermenge  $M_p$ , die durch Absaugen vom Haltering und vom Brennerstein entfernte Pulvermenge  $M_a$ , die verdampfte Pulvermenge  $M_{pv}$  und die Pulverbeladung der Brennersteinoberfläche  $m_s$ , d.h. die auf dem Brennerstein noch nach dem Absaugen bzw. Umdrehen des Brennersteins haftende Pulvermenge in  $mg/cm^2$  aufgetragen.

Bild 15 gibt die Werte der Pulverbeladung der Brennersteinoberfläche grafisch wieder, während Bild 16 die Brennersteine mit den 7 untersuchten Löschpulvern nach Beendigung einer Versuchsreihe zeigt.

Trotz der unterschiedlichen Steindicken bei den 4 Versuchsreihen, der Änderung der aufgegebenen Pulvermenge und der verschiedenen Gemischeinstellungen, d.h. der unterschiedlichen Temperatur und Strahlungsintensität bei den Versuchsreihen, ist festzustellen, daß das Löschpulver 1 am besten auf der Oberfläche haftete. Es spielt dabei auch keine Rolle, ob das Pulver direkt vom Stein abgesaugt oder ob der Stein umgedreht und das Pulver anschließend abgesaugt wurde. Anhand der Versuchsreihe I, bei der die Beladungsdichte sehr klein ist, wird deutlich, daß bei den Untersuchungen höhere Temperaturen benötigt werden, als die Schmelztemperaturen betragen, da der Stein bei diesen

Temperaturen nicht glüht und fast keine Wärmestrahlung abgibt, so daß praktisch kein Löschpulver haften bleibt. Mit Ausnahme der Versuchsreihe I läßt sich folgende Reihenfolge für das Haften der Löschpulver, wie auch auf Bild 15 zu erkennen ist, festlegen. Pulver 1 zeigt das größte Haftvermögen, gefolgt von Pulver 6. Als gleichwertig sind die Pulver 7 und 2 zu bezeichnen, während an fünfter Stelle Pulver 4, an sechster Stelle Pulver 5 und an letzter Stelle Pulver 3 mit der geringsten Pulverbeladung zu finden ist.

Vergleicht man das Haftvermögen der Pulver mit dem Schmelzverhalten der Pulver in Tabelle 3, so sieht man, daß die Pulver mit großem Haftvermögen dickflüssiger werden. Betrachtet man dagegen die Brennersteindicken  $b$  in der Tabelle 12 ( S.33 u. 34), die ein Maß dafür sind, wie viel von dem Brennerstein nach jedem Versuch abgedreht werden mußte, um die Pulverbenetzung wieder zu entfernen, so bleibt festzustellen, daß Pulver 3 am weitesten in die Poren des Brennersteines eingedrungen ist, da der Brennerstein, um Pulverreste des vorangegangenen Versuches zu entfernen bis zu 5 mm abgedreht werden mußte.

Schmelzen oder Krusten, die die Steinoberfläche gänzlich von der Umgebungsluft abschließen, konnten nicht nachgewiesen werden. Es war vielmehr zu beobachten, daß die Pulver verschieden tief in die poröse Oberfläche eindringen oder eine poröse Sinter- bzw. Schmelzschicht auf der Oberfläche bilden, ohne die Brennersteinoberfläche vollständig abzuschließen. Dies wurde auch durch die Druckmessung bestätigt, die keinen meßbaren Druckanstieg im Brennerstein nach Aufgabe des Pulvers gegenüber dem Brennerstein ohne Pulver ergab. Es konnte demnach mit dem hier entwickelten Meßverfahren mit einem porösen Stein als Modellglutbrand weder mit Temperatur- oder Strahlungsintensitätsmessungen noch mit Druckmessungen geklärt werden, in wie weit dieses unterschiedliche Schmelzverhalten der ABC-Löschpulver die Löschwirkung beeinflusst.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird über den Versuch berichtet, ein Meßverfahren zur Untersuchung der Löschwirksamkeit von ABC-Löschpulvern bei Glutbränden zu entwickeln. Das Meßverfahren besteht im wesentlichen aus einem Modell zur Darstellung einer glühenden Feststoffoberfläche, die in bestimmten Glutzuständen mit abgewogenen Löschpulvermengen beaufschlagt wird. Mit diesem Verfahren können der Erschmelzungsgrad und die Schmelzkonsistenz von ABC-Pulvern untersucht sowie die Mengen bestimmt werden, die am Schmelzvorgang teilnehmen.

Im Verlaufe der experimentellen Arbeit wurden 7 handelsübliche ABC-Löschpulver in mehreren Versuchsreihen getestet und die geschmolzenen Mengen untereinander verglichen. Im Vergleich mit dem Schmelzverhalten der Pulver in einem Ofen stellte sich heraus, daß die dünnflüssigen Schmelzen zwar tiefer in die poröse Feststoffoberfläche eindringen, insgesamt aber geringere Mengen auf dieser als Schmelze verbleiben als bei den Pulvern, die eine dickflüssige Schmelze bei gleichen Bedingungen bilden und damit die Feststoffoberfläche als zusammenhängende Schicht, allerdings nicht gasdicht, abschließen, was durch Druckmessungen nachgewiesen wurde.

Auch mit Temperatur- und Strahlungsintensitätsmessungen konnte nicht festgestellt werden, in wie weit dieses unterschiedliche Schmelzverhalten der ABC-Löschpulver die Löschwirkung beeinflusst. Welches Löschpulver für die Löschung eines Glutbrandes besser geeignet ist, konnte daher anhand dieses Meßverfahrens nicht eindeutig geklärt werden.

7. FORMELZEICHEN

b	Brennersteindicke
c	Brenngaskonzentration
$c_{St}$	stöchiometrische Brenngaskonzentration
$c_{St, O_2}$	stöchiometrische Brenngaskonzentration im Gemisch mit Sauerstoff
$c_{St, Luft}$	stöchiometrische Brenngaskonzentration im Gemisch mit Luft
m	Anzahl der H-Atome
$m_s$	Pulvermenge pro Fläche, die auf dem Brennerstein verbleibt
n	Anzahl der C-Atome
s	stöchiometrischer Bruch
$\dot{E}$	Wärmestrahlungsintensität
$F_A$	Querschnittsfläche der Aufgabevorrichtung
$F_S$	Querschnittsfläche des Brennersteines
$M_0$	Steinmasse ohne Pulver
$M_1$	Steinmasse mit Pulver
$M_a$	insgesamt sowohl vom Haltering als auch vom Brennerstein durch Absaugen entfernte Pulvermenge
$M_p$	gesamte Pulveraufgabemenge
$M_{pv}$	verdampfte Pulvermenge
$M_{ps}$	die auf den Brennerstein gelangte Pulvermenge
$M_s$	$M_1 - M_0$ ; Pulvermenge, die auf dem Brennerstein verbleibt
$T_1$	absolute Temperatur des Körpers
$T_2$	Temperatur zum Zeitpunkt der Pulveraufgabe
$\dot{V}$	Gesamtvolumenstrom
$\dot{V}_B$	Volumenstrom des Brennstoffes
$\dot{V}_{CH_4, Luft, O_2}$	Volumenstrom von Methan bzw. Luft bzw. Sauerstoff

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Schreiber, H. und  
Porst, P.: Löschmittel, Chemisch-physikalische Vorgänge beim Verbrennen und beim Löschen.  
Berlin: Staatsverlag der DDR 1972.
- [2] Hoffmann, H.: Entwicklung eines Meßverfahrens im Labormaßstab zur Bestimmung der Löschwirksamkeit von Trockenlöschpulvern. Forschungsbericht Nr. 18 der Arbeitsgemeinschaft Feuerschutz (AGF) 1971.
- [3] Hoffmann, H.: Entwicklung eines Meßverfahrens im Labormaßstab zur Bestimmung der Löschwirksamkeit von Trockenlöschpulvern (Fortsetzung des Forschungsberichtes Nr. 18)  
Forschungsbericht Nr. 20 der Arbeitsgemeinschaft Feuerschutz (AGF) 1971.
- [4] John, R.: Modellversuche zur Untersuchung des Brandverhaltens wasserberieselter Textilvorhänge bei Bränden.  
Forschungsbericht Nr. 19 der Arbeitsgemeinschaft Feuerschutz (AGF) 1971.
- [5] Böhme, H. und  
Hartke, K.: Deutsches Arzneibuch Nr. 7  
Frankfurt: Govi-Verlag GmbH 1971

9. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1 Kennwerte von Methan und Propan

Brenngas	Methan	Propan
Bruttoformel	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Relative Gasdichte (Luft = 1)	0,55	1,56
Zündtemperatur [°C]	610	470
Zündgrenzen in Luft [Vol.-%]	5-15	2,1-9,5
Zündgrenzen in O <sub>2</sub> [Vol.-%]	5,4-59,2	2,3-55

Tabelle 2 Schmelztemperaturen, die im Brennofen und nach [5] gemessen wurden

Pulver Nr.	1	2	3	4	5	6	7
letzte eingestellte Temperatur [°C] vor Schmelzbeginn	266	255	248	266	275	242	270
erste eingestellte Temperatur [°C] nach Schmelzbeginn	276	264	260	276	288	258	276
Mittelwert [°C]	271	259	254	271	281	250	273
Vergleichswert [°C] nach [5]	272	266	256	274	284	255	271

Tabelle 3 Gewichtsverlust der ABC-Löschpulver bei einer Einwaage von je 10 g

Pulver Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Gewichtsverlust bis zum Ende der Verdampfung [g]	5	4,5	5,8	5,8	6	5	4,6
Gewichtsverlust nach 10 min bei der Schmelztemperatur [g]	0,4	0,3	0,25	0,45	0,6	0,35	0,45
Zeit bis zum Ende der Verdampfung [s]	170	67	53	53	47	59	43
Verhalten der Schmelzen	dickf. dickf. dünnf. dünnf. dünnf. dickf. dünnf						

Tabelle 4 Methan-Luft-Gemisch mit einem Volumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h bei einer Steindicke b von 31 mm

Stöchiometrischer Bruch s	1,72	1,63	1,37	1,17	1,09	1	0,91	0,83
Wärmestrahlung E [W/cm <sup>2</sup> ]	1,1	2,43	2,97	2,88	2,54	0,92	0,33	0,12

Tabelle 5 Methan-Luft-Gemisch mit einem Volumenstrom von  $\dot{V} = 761$  l/h bei einer Steindicke von 31 mm

Stöchiometrischer Bruch s	1,4	1,19	1	0,79
Wärmestrahlung E [W/cm <sup>2</sup> ]	2,97	2,88	0,785	0,044

Tabelle 6 Methan-Luft-Gemisch mit einem stöchiometrischem Bruch  $s = 0,915$

Volumenstrom $\dot{V}$ [l/h]	1095	900	876	799	711
Wärmestrahlung $\dot{E}$ [W/cm <sup>2</sup> ]	0,16	0,67	0,52	0,33	0,31

Tabelle 7 Propan-Luft-Gemisch mit einem Volumenstrom von  $\dot{V} = 800$  l/h

Stöchiometrischer Bruch $s$	1,7	1	0,74
Wärmestrahlung $\dot{E}$ [W/cm <sup>2</sup> ]	1,06	4,03	2,18

Tabelle 8 Methan-Sauerstoff-Gemisch

Volumenstrom $\dot{V}$ [l/h]	200	200	200	300	300
Stöchiometrischer Bruch $s$	1,35	1	0,6	1	0,6
Wärmestrahlung $\dot{E}$ [W/cm <sup>2</sup> ]	4,5	4,28	-	7,2	3,6

Tabelle 9 Versuchsbedingungen der 4 Versuchsreihen

Versuchsreihe	I	II	III	IV
Lufttemperatur [°C]	20	20	20	20
Luftdruck [mmHg]	743,5	745	747	748
$\dot{V}$ [l/h]	800	500	500	500
$\dot{V}_{\text{CH}_4}$ [l/h]	75,84	100	100	100
$\dot{V}_{\text{O}_2}$ [l/h]	-	146,84	146,84	146,84
$\dot{V}_{\text{Luft}}$ [l/h]	724,16	253,16	253,16	253,16

Tabelle 10 Versuchsreihe III

Versuch Nr.	Temp. an der Steinunterseite bei der Pulverabgabe [°C]	Max. Temp. an der Steinunterseite nach der Pulverabgabe [°C]	Zeit bis zur max. Temp. [min]	Temp. bei Herunternehmen des Steines an der Steinunterseite [°C]
1	54	124	4,45	82
2	74	124	4,7	84
3	54	108	4,45	70
4	62	116	4,2	76
5	54	104	5,0	74
6	50	110	4,7	76
7	60	114	4,5	75

Tabelle 10 Fortsetzung Versuchsreihe IV

Versuch Nr.	Temp. an der Steinunterseite bei der Pulverabgabe [°C]	Max. Temp. an der Steinunterseite nach der Pulverabgabe [°C]	Zeit bis zur max. Temp. [min]	Temp. bei Herunternehmen des Steines an der Steinunterseite [°C]
1	44	114	4,7	78
2	48	120	5,0	85
3	115	214	1,6	82
4	60	145	3,1	84
5	52	124	3,8	76
6	54	130	3,6	78
7	56	168	3,2	77

Tabelle 11 Temperaturen und Wärmestrahlungsintensität nach 10 min Brenndauer

Versuchsreihe	Versuch Nr.	$T_1 [^{\circ}\text{C}]$	$T_2 [^{\circ}\text{C}]$ bei I nach 6 sec bei II-IV nach 2 sec	$\dot{E} [\text{W}/\text{cm}^2]$
I	1	776	600	2,33
	2	770	594	2,33
	3	788	612	2,33
	4	778	602	2,21
	5	794	618	2,1
	6	722	588	1,79
	7	722	580	2,80
II	1	886	804	6,12
	2	878	796	6,0
	3	886	806	6,34
	4	891	809	5,83
	5	890	808	6,0
	6	866	784	5,95
	7	878	796	6,07

Tabelle 11 Fortsetzung

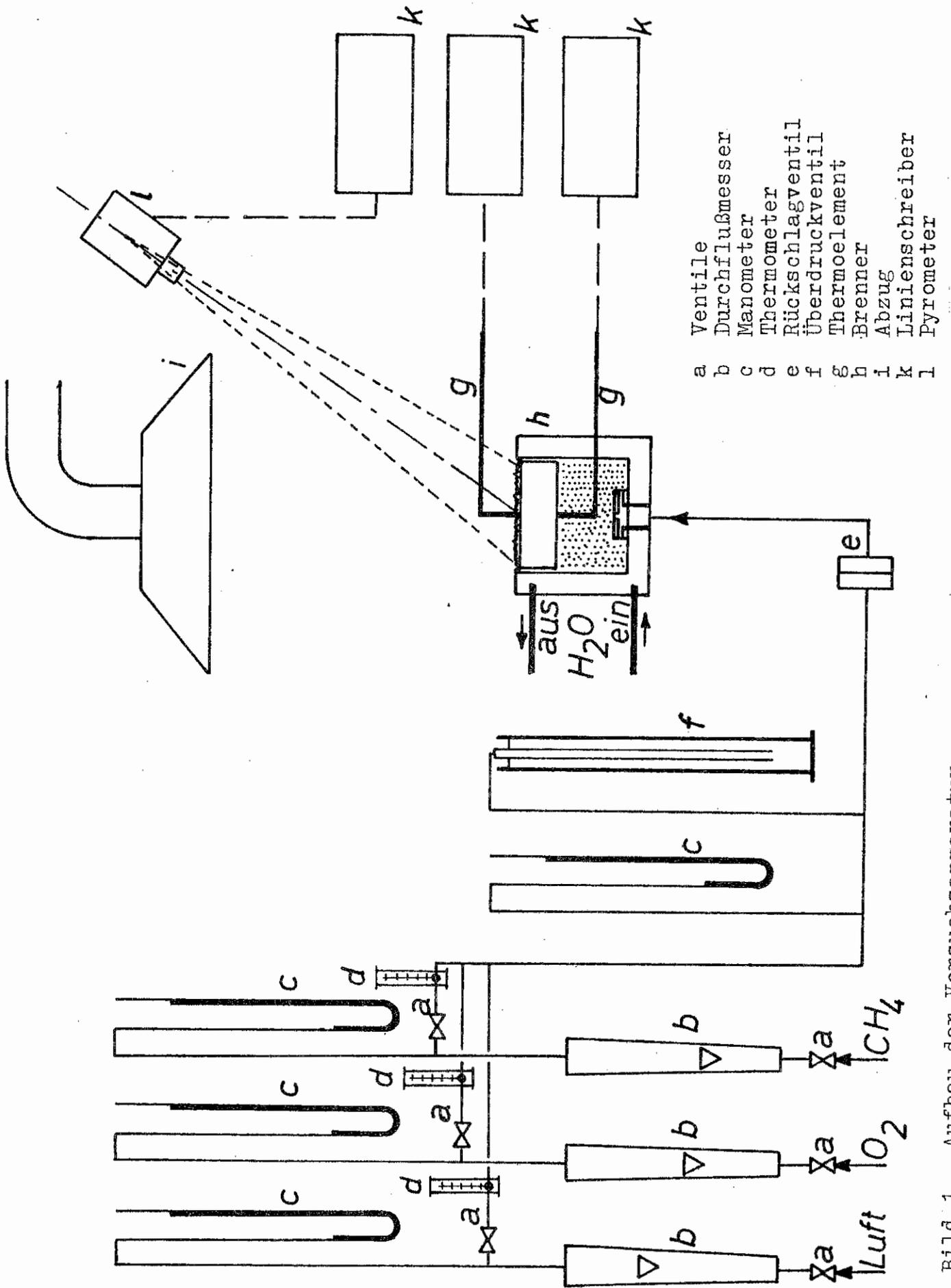
Versuchsreihe	Versuch Nr.	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C] bei I nach 6 sec bei II-IV nach 2 sec	$\dot{E}$ [W/cm <sup>2</sup> ]
III	1	844	744	4,31
	2	842	742	4,42
	3	850	750	4,52
	4	854	754	4,73
	5	856	756	4,65
	6	840	740	4,61
	7	842	742	4,67
IV	1	874	782	7,28
	2	884	792	7,22
	3	890	798	7,36
	4	872	780	7,36
	5	890	798	7,22
	6	887	795	7,22
	7	886	794	7,22

Tabelle 12 Steindaten und Löschpulvermengen

Versuchsreihe	Versuch Nr.	$M_0$ [g]	$M_1$ [g]	$M_a$ [g]	$M_p$ [g]	$M_{pv}$ [g]	$m_s$ [mg/cm <sup>2</sup> ]	b [mm]
I	1	202,92	203,36	24,143	25,0	0,42	9,96	30
	2	205,839	206,009	24,162	25,0	0,67	3,85	30
	3	205,83	206,17	23,993	25,0	0,67	7,70	30
	4	203,53	203,96	23,676	25,0	0,89	9,73	30
	5	199,47	199,64	24,395	25,0	0,44	3,85	30
	6	195,63	195,82	23,864	25,0	0,95	4,30	30
	7	196,65	197,09	23,664	25,0	0,91	9,73	30
II	1	195,72	203,38	17,21	25,0	0,13	173,39	27
	2	197,3	201,65	19,83	25,0	0,82	98,46	27
	3	191,1	194,52	20,35	25,0	1,23	77,41	26
	4	195,85	200,55	18,41	25,0	1,89	106,39	26
	5	192,31	195,79	19,13	25,0	2,39	78,77	27
	6	188,28	195,90	15,53	25,0	1,85	172,48	28
	7	189,6	194,9	18,26	25,0	1,44	119,97	26

Tabelle 12 Fortsetzung

Versuchsreihe	Versuch Nr.	$M_0$ [g]	$M_1$ [g]	$M_a$ [g]	$M_p$ [g]	$M_{pv}$ [g]	$m_s$ [mg/cm <sup>2</sup> ]	b [mm]
III	1	184,65	196,70	16,65	30,0	1,3	272,76	24
	2	186,21	191,74	23,31	30,0	1,16	125,15	24
	3	177,6	180,2	25,87	30,0	1,53	58,85	23
	4	183,21	187,36	24,47	30,0	1,38	93,94	24
	5	182,4	186,6	23,64	30,0	2,16	95,07	24
	6	180,58	188,94	20,41	30,0	1,23	189,23	24
	7	175,15	180,70	23,87	30,0	1,58	102,99	24
IV	1	171,49	182,74	17,14	30,0	1,61	254,65	22
	2	172,65	177,60	22,62	30,0	2,43	112,05	21
	3	150,30	153,78	25,01	30,0	1,51	78,77	18
	4	162,5	166,55	24,27	30,0	1,68	91,67	20
	5	162,9	167,00	24,51	30,0	1,39	92,81	20
	6	161,45	168,50	21,78	30,0	1,17	159,58	21
	7	154,95	160,65	22,40	30,0	1,90	129,02	20



- a Ventile
- b Durchflußmesser
- c Manometer
- d Thermometer
- e Rückschlagventil
- f Überdruckventil
- g Thermoelement
- h Brenner
- i Abzug
- k Linienreiber
- l Pyrometer

Bild 1. Aufbau der Versuchsapparatur

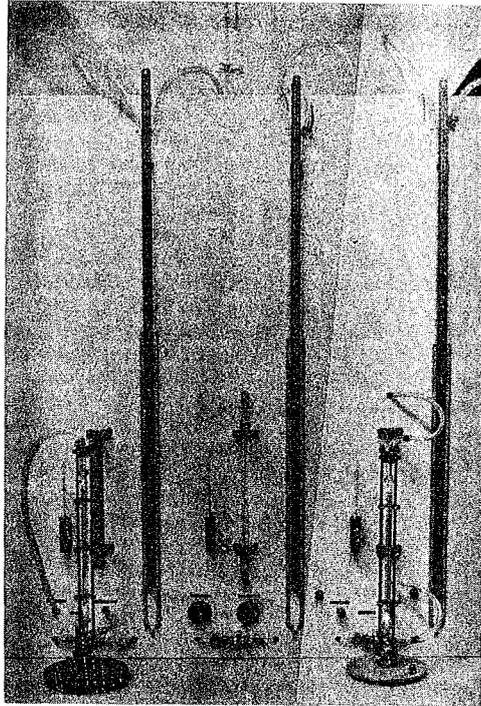


Bild 2 Gasdurchflußmesser

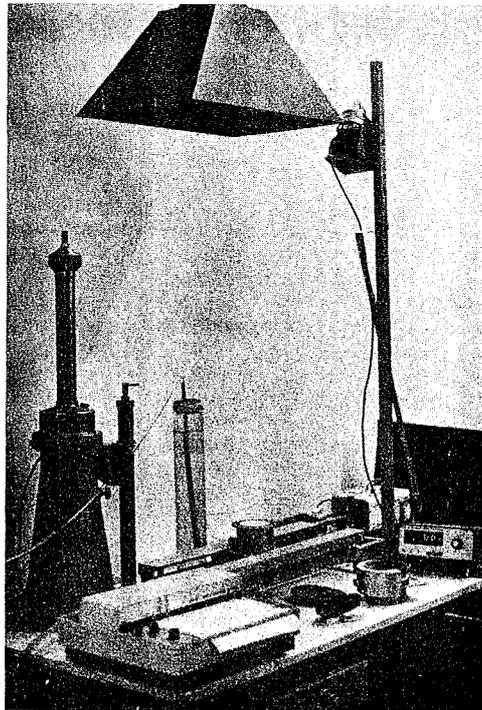
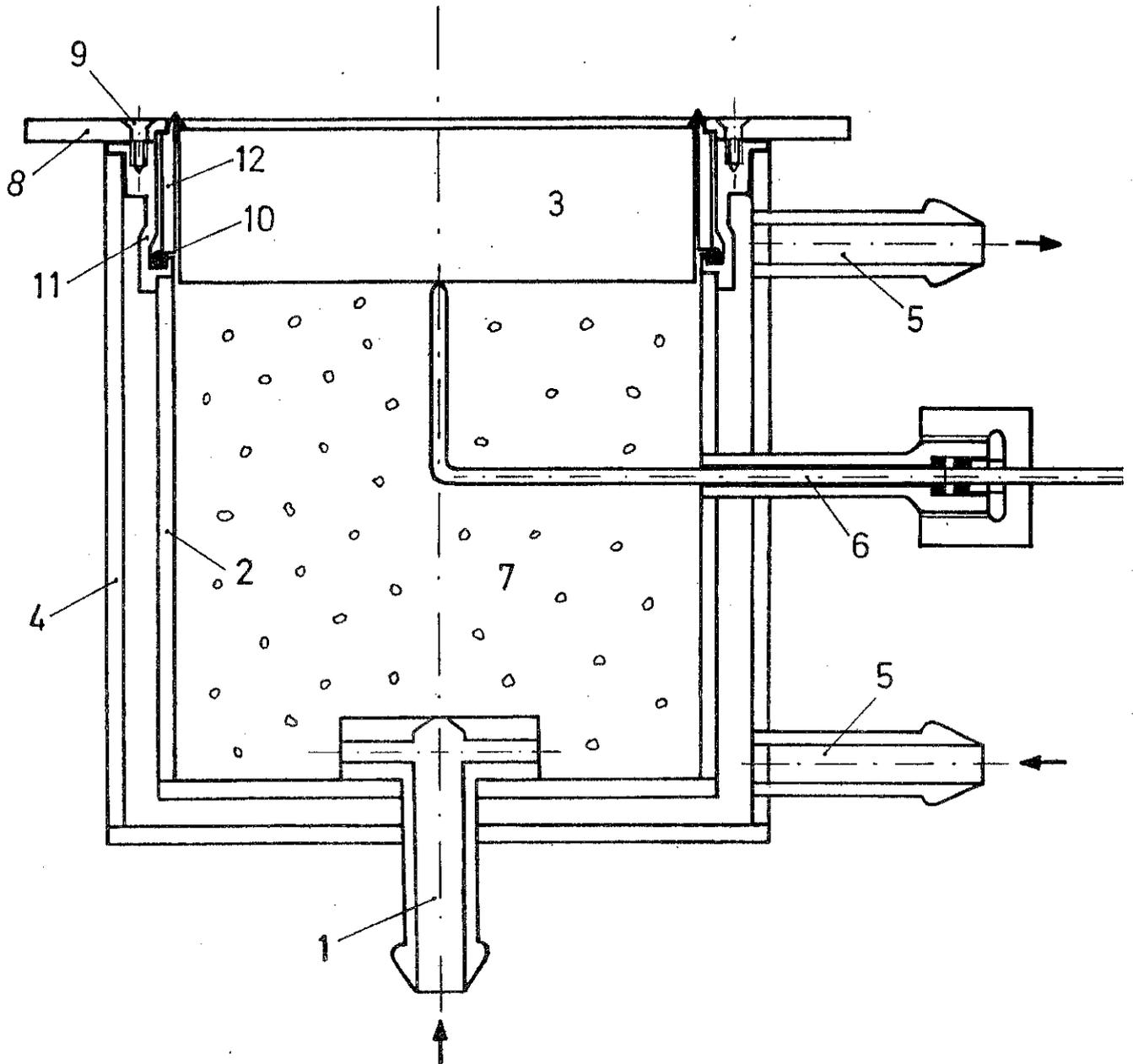


Bild 3 Gesamtansicht der Versuchsanordnung



- |   |                     |    |             |
|---|---------------------|----|-------------|
| 1 | Gaseintrittsstutzen | 7  | Sand        |
| 2 | Brennergehäuse      | 8  | Haltering   |
| 3 | Brennerstein        | 9  | Schrauben   |
| 4 | Doppelmantel        | 10 | Dichtring   |
| 5 | Wasserkühlung       | 11 | Gehäuseteil |
| 6 | Thermoelement       | 12 | Ringkörper  |

Bild 4 Brennergehäuse

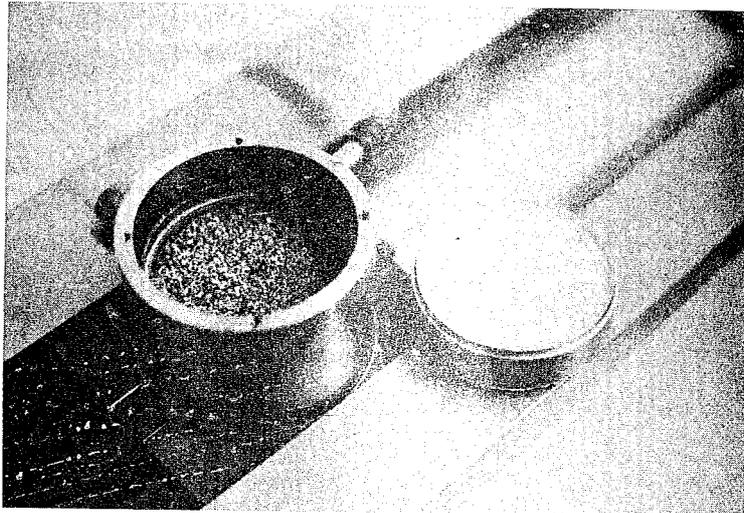


Bild 5 Das Gehäuseinnere und Brennerstein

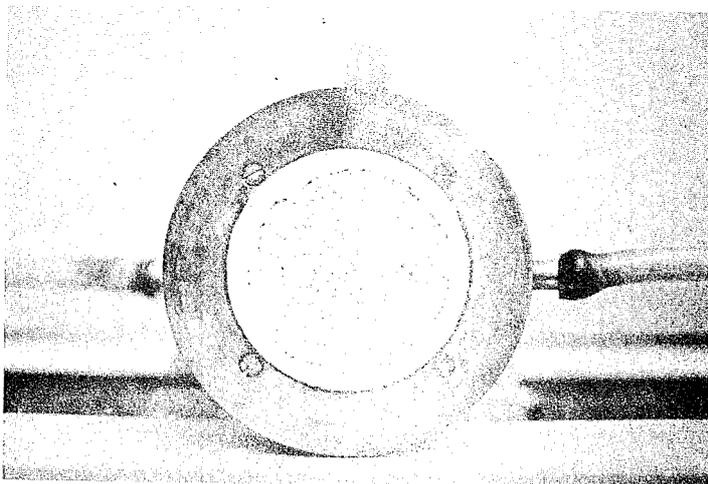


Bild 6 Eingekitteter Brennerstein im Gehäuse

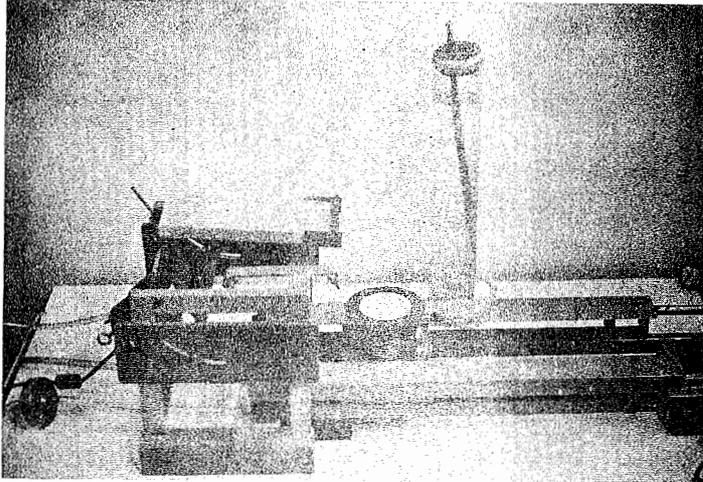


Bild 7 Pulveraufgabevorrichtung mit Schüttelrinne

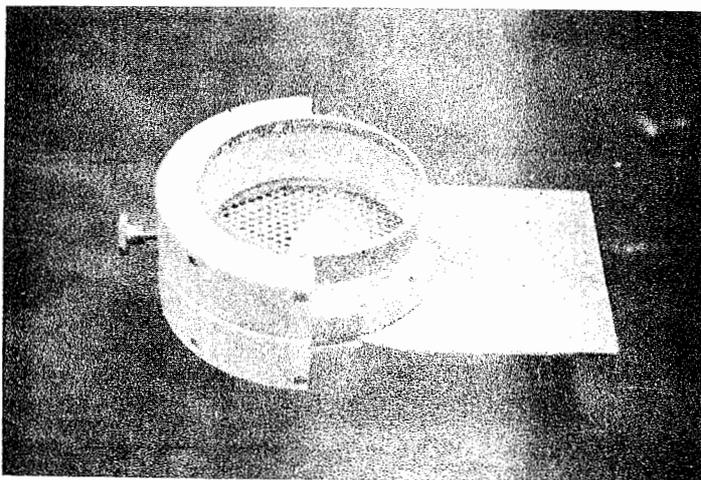


Bild 8 Pulveraufgabevorrichtung mit Dosierbehälter

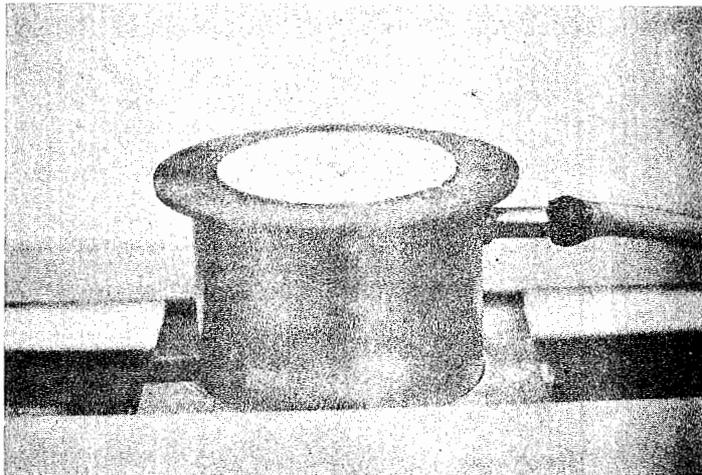


Bild 9 Brennergehäuse mit eingesetztem Brennerstein

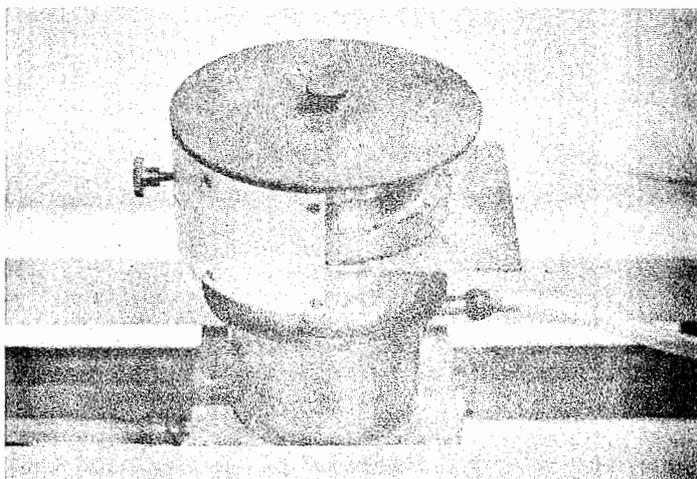


Bild 10 Dosierbehälter mit Deckel auf dem Brennergehäuse

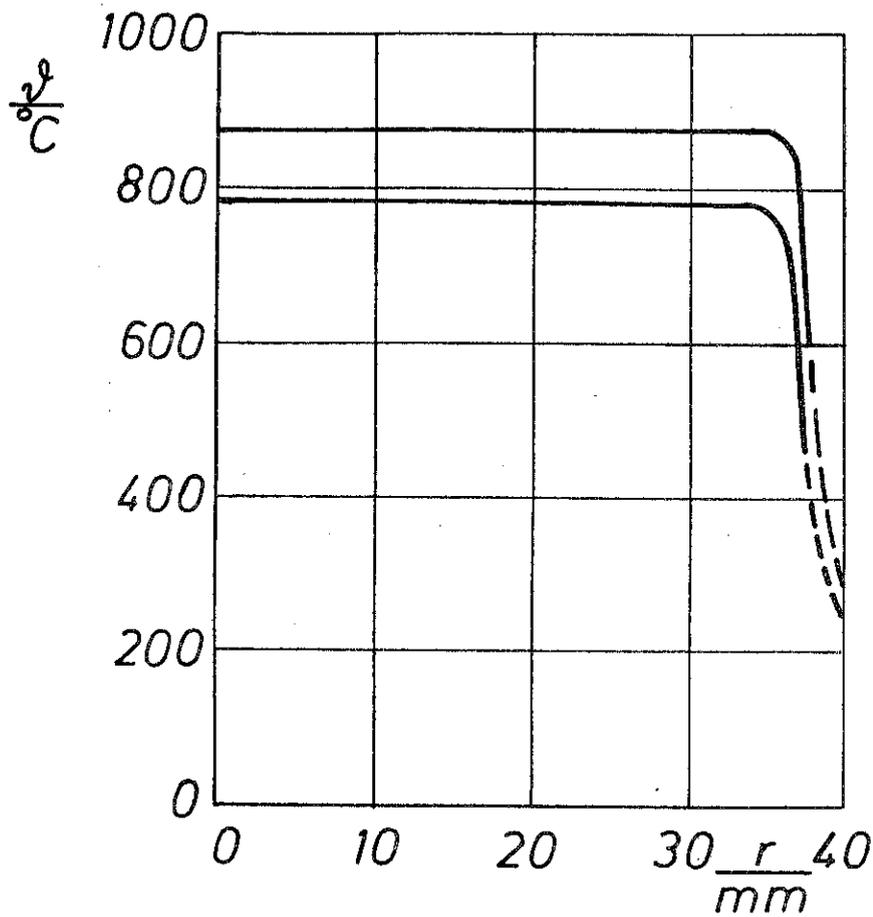


Bild 11  
Temperaturverteilung  
auf dem Brennerstein

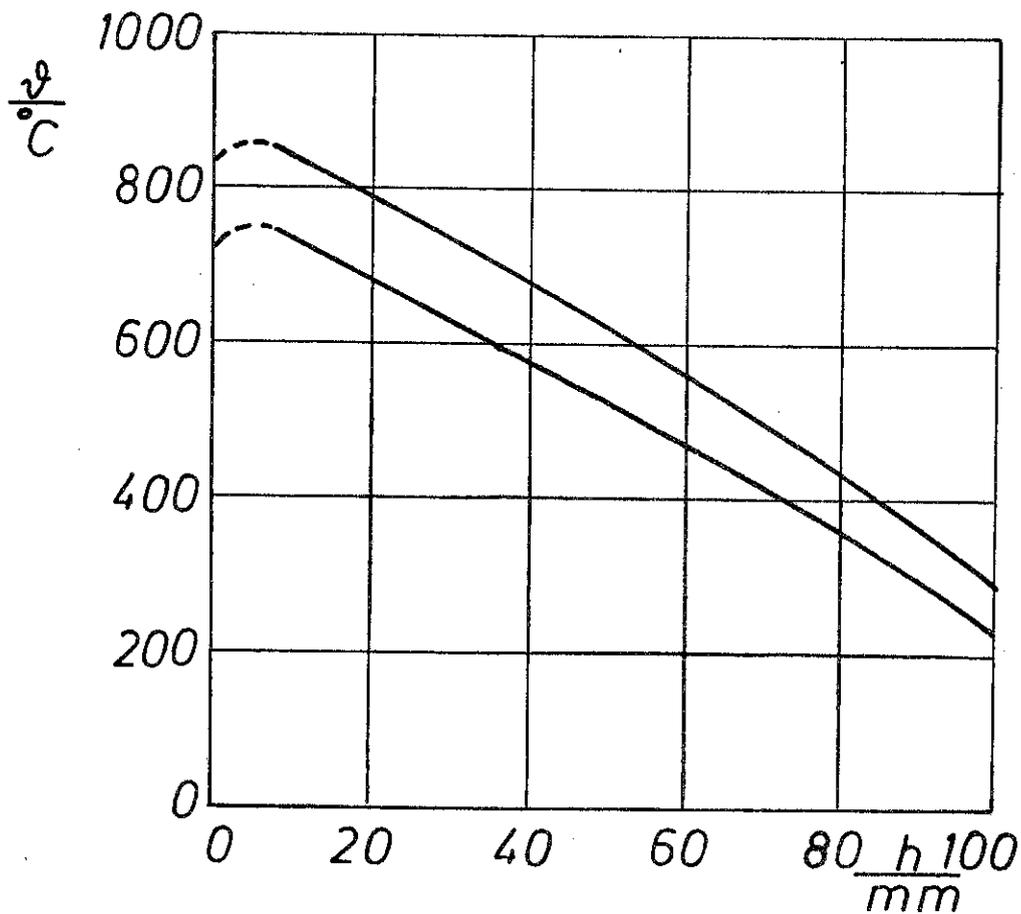


Bild 12 Temperaturverteilung oberhalb des Brennersteines

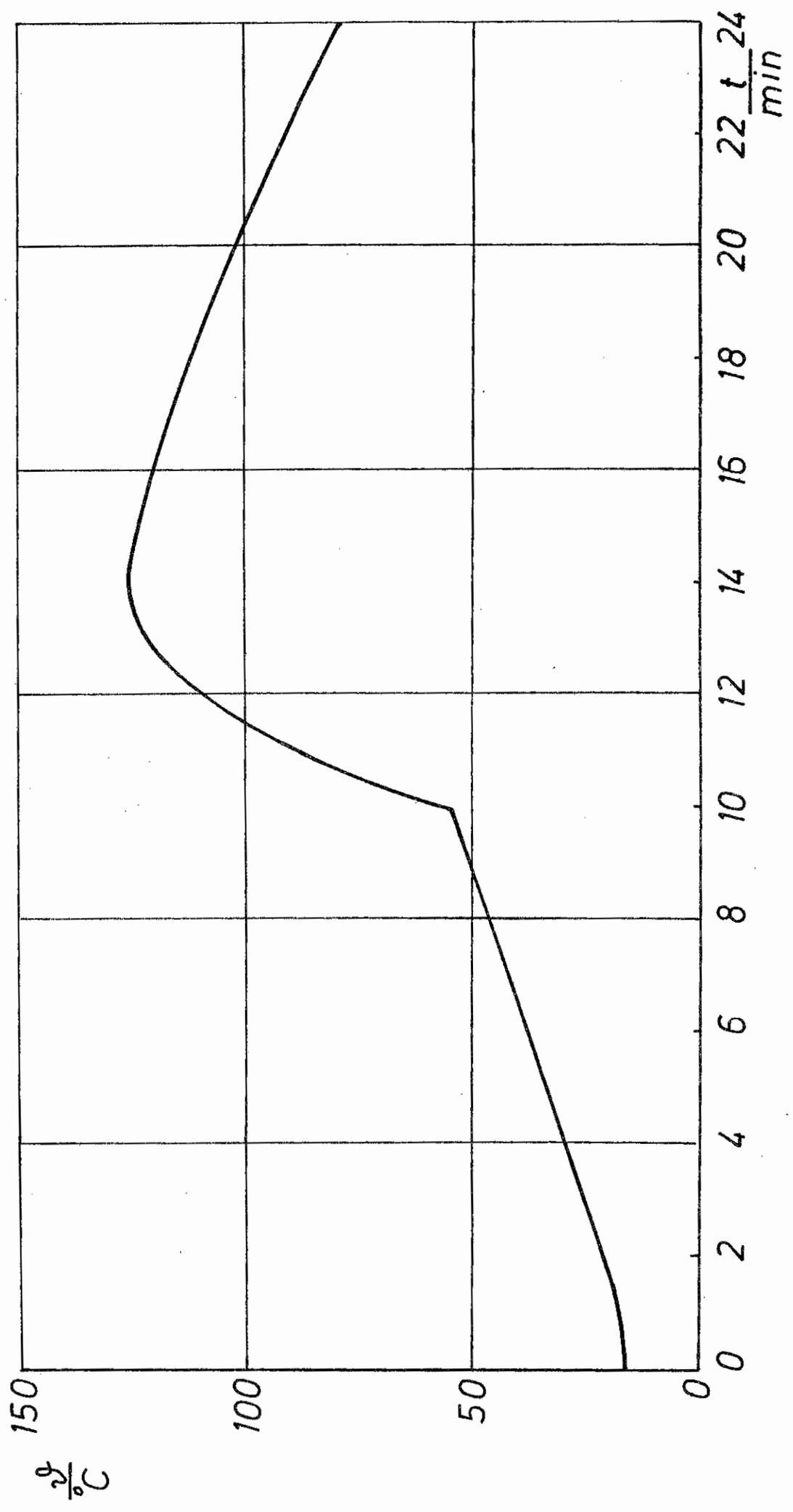


Bild 13 Typischer zeitlicher Temperaturverlauf an der Brennersteinunterseite

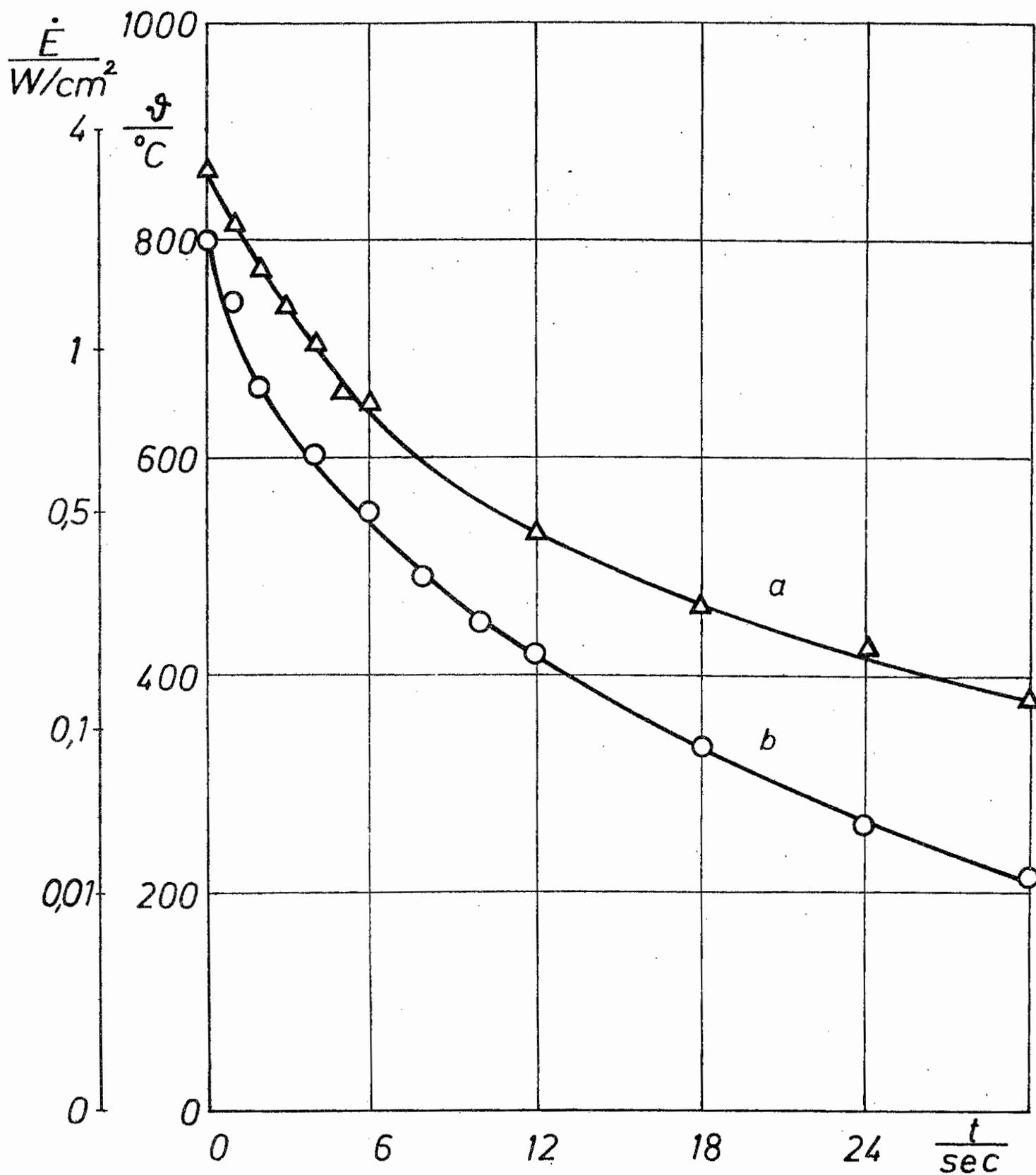


Bild 14 Zeitlicher Verlauf der Temperatur (a) und der Strahlungsintensität (b) nach Abschalten der Gasgemischzufuhr

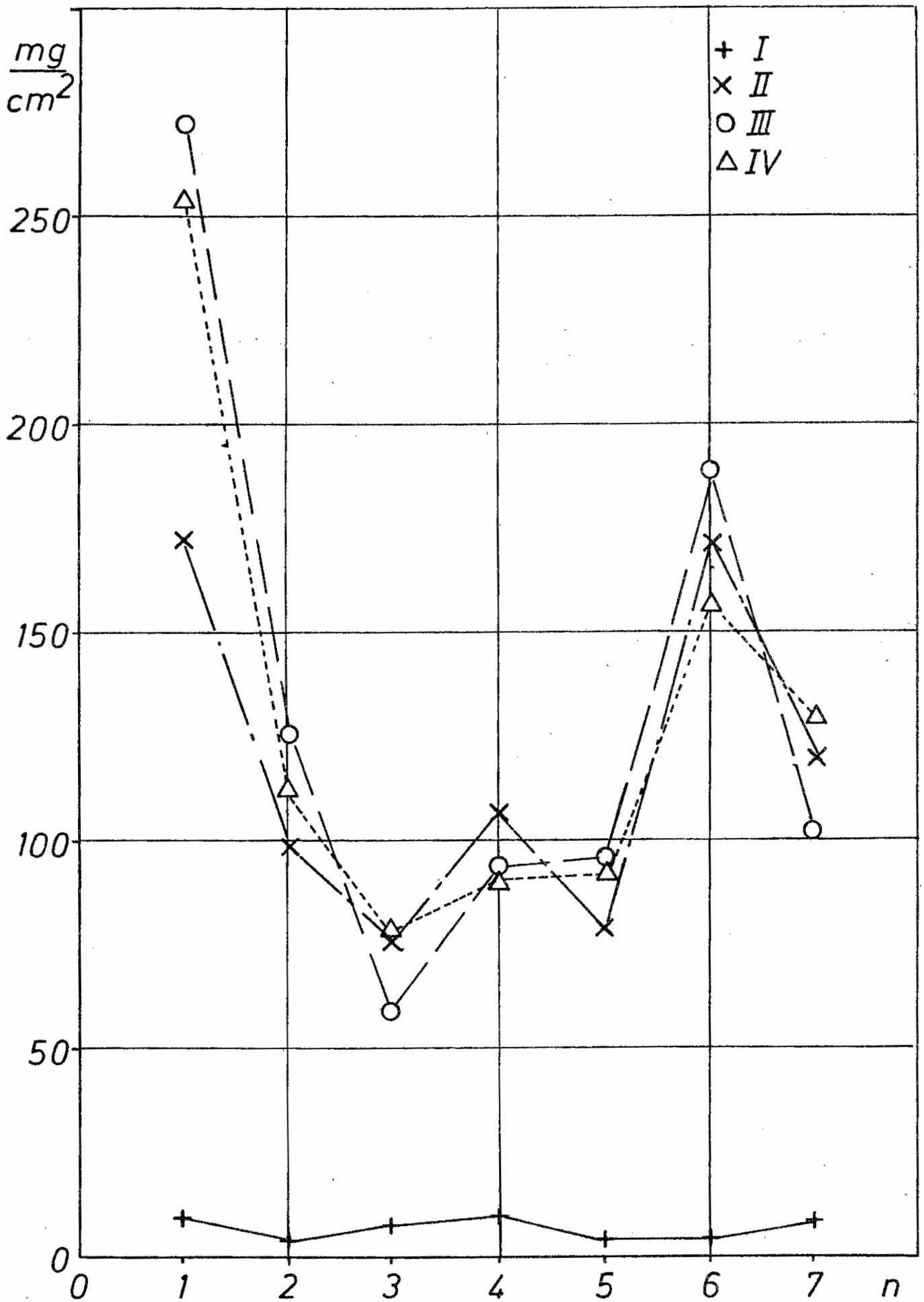


Bild 15 Pulverbeladung der Brennersteinoberfläche für die 7 untersuchten ABC-Löschpulver

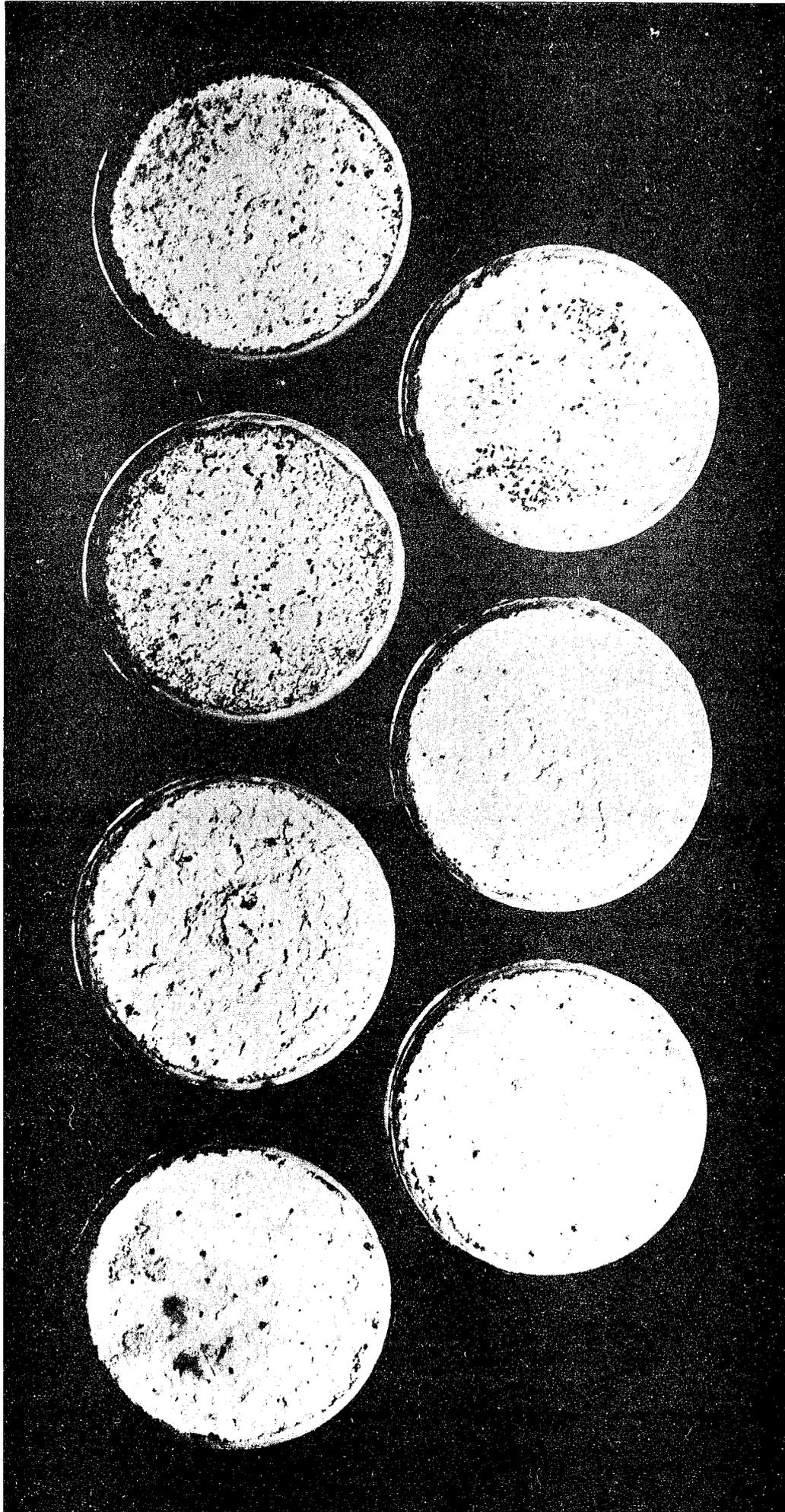


Bild 16 Brennersteine mit den sieben untersuchten Löschpulvern.  
Reihenfolge der Löschpulver nach folgendem Schema:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7