

# AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

Entwicklung eines Verfahrens zur Schnellprüfung  
von Schaummitteln und Schaumerzeugern im Einsatzdienst  
der Feuerwehren

14

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN  
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ  
AGF

Forschungsbericht Nr. 14

"Entwicklung eines Verfahrens zur Schnellprüfung  
von Schaummitteln und Schaumerzeugern im Einsatzdienst  
der Feuerwehren"

(Fortsetzung des Forschungsberichts Nr. 1)

von  
Dipl.-Ing. R. John  
Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe  
Dezember 1969

FA.Nr. 39(11/67)

## INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	AUFGABENSTELLUNG	2
3.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	2
3.1.	Verschäumung und Schaumentnahme	3
3.2.	Bestimmung der Verschäumungszahl und der Wasserhalbvertszeit	4
3.3.	Bestimmung der Fließfähigkeit	5
3.4.	Prüfmethode zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes	7
3.4.1.	Allgemeine Forderungen an den Schaum bezüglich seines Abbrandwiderstandes	7
3.4.2.	Anforderungen an das Prüfverfahren	8
3.4.3.	Versuchsaufbau zur Bestimmung des Abbrandwiderstandes	8
3.4.4.	Versuchsdurchführung	9
3.4.5.	Auswertung der aufgenommenen Temperatur- Zeit-Kurven	11
4.	VERSUCHSERGEBNISSE	13
4.1.	Durchsatz der Schaumrohre	13
4.2.	Verschäumungszahl	13
4.3.	Wasserhalbvertszeit	14
4.4.	Fließfähigkeit	15
4.5.	Abbrandwiderstand	15
5.	VERGLEICH DER SCHAUMKENNGRÖSSEN FÜR VERSCHIEDENE SCHAUMROHRE UND SCHAUMMITTEL	17

	Seite
5.1.	Verschäumungszahl 17
5.2.	Wasserhalbwertszeit 18
5.3.	Fließfähigkeit 19
5.4.	Abbrandwiderstand 20
6.	EINFLUSS VERSCHIEDENER ZUSTANDSGRÖSSEN AUF DIE VERSCHÄUMUNGSZAHL 22
6.1.	Einfluß der unterschiedlichen Ober- flächenspannung der Schaummittellösungen 23
6.2.	Einfluß der Schaumstabilisierung durch Metallsalze 25
7.	ZUSAMMENFASSUNG 27
8.	LITERATURVERZEICHNIS 30
9.	BILDER 32

## 1. EINLEITUNG

Die folgenden vier Kenngrößen bestimmen nach [1] die Qualität eines Schaumes:

1. das spezifische Schaumgewicht bzw. die Verschäumungszahl
2. die Schaumstabilität bzw. die Wasserhalbwertszeit
3. die Fließfähigkeit und
4. der Abbrandwiderstand.

Zur Ermittlung dieser Kennzahlen werden sehr unterschiedliche Methoden und Versuchseinrichtungen verwendet. Die nach verschiedenen Methoden ermittelten Kenngrößen können in den seltensten Fällen miteinander verglichen werden. Schon durch die unterschiedliche Probenentnahme treten Abweichungen der Kenngrößen auf. Methoden zur Entnahme von Schaumproben und zur Ermittlung der Kenngrößen sind in den Arbeiten [2], [3], [4], [5], [6] und [7] angegeben. In [8] wurde aufgrund der bisher durchgeführten Arbeiten zunächst eine Vorrichtung entwickelt, die eine Schaumentnahme und ein Füllen der Probenbehälter unter stets gleichen Bedingungen ermöglicht. Anschließend wurde der Einfluß der Probenbehälterabmessungen auf die Verschäumungszahl und die Wasserhalbwertszeit ermittelt. Zur Bestimmung der Fließfähigkeit wurde eine neue Methode entwickelt. Die in [8] angewandte Methode zur Ermittlung einer Kenngröße für den Abbrandwiderstand zeigte nicht den gewünschten Erfolg. In der hier vorliegenden Arbeit wurden die Untersuchungen von [8] weitergeführt.

## 2. AUFGABENSTELLUNG

Um das Ziel zu erreichen, dem Einsatzdienst der Feuerwehren Prüfmethoeden und Unterlagen zur Überwachung ihrer eingelagerten Schaummittelvorräte bezüglich ihrer Einsatzfähigkeit zu geben, ist es zunächst erforderlich, eine geeignete Prüfmethode zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes zu entwickeln.

Da noch keine allgemein anerkannten Mindestanforderungen an Löschsäume aufgestellt sind, bzw. keine Richtwerte für die einzelnen Kenngrößen für die verschiedenen Anwendungsgebiete der Säume vorliegen, kann die Einsatzfähigkeit von gelagerten Schaummitteln nur durch Vergleich mit den Kenngrößen von Säumen aus frischen Schaummitteln bestimmt werden. Dazu ist es erforderlich, für verschiedene Schaummittel diese Kenngrößen zu ermitteln, die sich bei der Verschäumung mit den am häufigsten im Einsatz verwendeten Schaumrohren ergeben.

## 3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Vier Schaummittel von verschiedenen Herstellern wurden bei unterschiedlichen Bedingungen mit Schaumrohren verschäumt, wobei jeweils 2 Rohre vom gleichen Typ und Hersteller waren. Die Rohre hatten einen Nenndurchsatz von 200 l Schaummittellösung pro Minute. Die Schaummittel 1, 2 und 3 waren Schwerschaummittel auf Eiweißbasis dreier verschiedener Hersteller und wurden mit einer Zumischung

von 3 und 5 % verschäumt. Schaummittel 4 war ein Mehrbereichsschaummittel auf Alkoholbasis, das mit einer Mischung von 1,5 und 3 % verschäumt wurde. Zum Vergleich zu den Kenngrößen der verschiedenen Betriebsschäume wurden die entsprechenden Kenngrößen der Schäume aus den Schaummitteln 1 und 4 ermittelt, die mit dem Baby-Komet-Schaumrohr erzeugt wurden.

### 3.1. Verschäumung und Schaumentnahme

Die Versuche wurden alle mit vorgemischten Lösungen durchgeführt. Bis auf drei Versuche wurden die Lösungen unmittelbar vor dem Verschäumen neu angesetzt. Bei diesen drei Versuchen blieb die angesetzte Lösung bis zum Verschäumen 60 min im Vormischtank stehen. Mit einer TS 8/8 wurde die Lösung aus dem Vormischtank angesaugt und über eine Durchflußmeßstrecke dem verwendeten Betriebsschaumrohr zugeführt. Das jeweils verwendete Rohr wurde auf die in Bild 1 gezeigte Schaumentnahmeverrichtung montiert. Diese Entnahmeverrichtung ist in [8] ausführlich beschrieben.

Bei den Versuchen mit den Betriebsschaumrohren hatte die vorgemischte Schaummittellösung im Durchschnitt eine Temperatur von  $16,2^{\circ}$  C, die unmittelbar vor dem Eintritt in das Schaumrohr gemessen wurde. Zwischen  $12$  und  $16^{\circ}$  C lag die Temperatur der angesaugten Luft bei den einzelnen Versuchen. Verschäumt wurde mit einem Druck von 5, 6 und 8 atü vor dem Schaumrohr. Durch eine Drehzahlregelung der TS 8/8 und einer Drosselung der durchströmenden Schaummittellösung am Austritt der Kreiselpumpe wurde eine

Genauigkeit des Druckes von  $\pm 0,2$  at erreicht.

Bei den Versuchen mit dem Baby-Komet-Schaumrohr ergab sich für die Schaummittellösung eine Temperatur von  $18^{\circ}$  C, und für die angesaugte Luft eine Temperatur von ca.  $20^{\circ}$  C. Mit Preßluft wurde die vorgemischte Lösung aus dem Mischbehälter gedrückt. Der Druck vor dem Schaumrohr konnte auf  $\pm 0,05$  at genau eingestellt werden.

Die Betriebsrohre wurden bei den vorliegenden Untersuchungen so vor der Entnahmesonde ausgerichtet, daß der Schaum aus der Mitte des Schaumstrahles 100 mm nach dem Rohrende entnommen werden konnte. Beim Baby-Komet-Schaumrohr (Laborschaum) wurde der gesamte erzeugte Schaum zur Prüfung verwendet.

### 3.2. Bestimmung der Verschäumungszahl und der Wasserhalbwertszeit

Zur Bestimmung der Verschäumungszahl und der Wasserhalbwertszeit wurden Behälter von 144 mm Innendurchmesser und 307 mm Höhe mit 5 l Inhalt verwendet.

Die Verschäumungszahl  $S = \frac{\text{Schaumvolumen}}{\text{Lösungsvolumen}}$  wurde aus dem Gewicht  $G_S$  des im 5-l-Behälter abgefüllten Schaumes und dem Behälterinhalt  $V_B$  wie folgt bestimmt:

$$S = \frac{V_B}{G_S} ,$$

da, wie in [8] dargelegt wurde, das Lösungsvolumen und

das Schaumgewicht identische Werte aufweisen. Die Wasserhalbwertszeit wurde nach der in [8] beschriebenen Methode gemessen. Zu bestimmten Zeiten, d.h. etwa alle Minuten, wurde die ausgefallene Wassermenge im Meßzylinder abgelesen. Anschließend wurde aus diesen Werten graphisch die Zeit ermittelt, bei der die Hälfte des im Schaum gebundenen Wassers ausgefallen war.

### 3.3. Bestimmung der Fließfähigkeit

Die Fließfähigkeit des Schaumes wurde im Prinzip nach der gleichen Methode wie in [8] ermittelt. Dabei wird ein Behälter mit 144 mm Innendurchmesser und einer Höhe von 450 mm mit Schaum gefüllt und auf eine ebene, trockene Platte aufgesetzt. Der Boden des Behälters wird an der Platte befestigt und kann von der Hülse abgezogen werden. Beim Hochziehen der Hülse läuft der Schaum unten frei aus und breitet sich auf der Platte aus. Je nach der Fließfähigkeit bedeckt der Schaum verschieden große Flächen der Platte. Die Größe dieser Ausbreitungsfläche ist ein Maß für die Fließfähigkeit.

Im Gegensatz zu dem Verfahren in [8] wurde hier die Hülse mechanisch abgezogen. Bild 2 zeigt im Prinzip diese Abziehvorrichtung.

Die Hülse 1 wird in einen Aufnahmering 2 eingesetzt, der so gestaltet ist, daß die Mitnehmer 3 in entsprechende Aussparungen passen. Der Aufnahmering 2 wird durch die vier federbelasteten Stangen 4 in der oberen, gestrichelt gezeichneten Lage gehalten. Der Aufnahmering wird nun mit der eingesetzten Hülse soweit herunter gedrückt, daß die im Boden der Hülse befindliche Schraube 5 in das dafür vorhandene Gewinde eingreift.

Durch Drehen am Haltering wird die Schraube leicht angezogen. Mit dem Aufnahmering dreht sich auch die Führungshülse 7, der Zahnkranz 8 und der Führungsring 9. Die gesamte Anordnung wird vom Haltering 10 getragen, der drehbar in der Grundplatte 11 gelagert ist. Die Federspannung an den Stangen 4 ist so eingestellt, daß die Hubkraft ausreicht, die leere Hülse in der oberen Stellung zu halten, nicht aber, um die Hülse vom Boden direkt abzuziehen. Durch den Elektromotor 12 wird die Hülse über das Ritzel 13 und den Zahnkranz 8 in Umlauf gesetzt. In das Ritzel ist noch ein Freilauf eingebaut, der ein leichtes Drehen des Hubringes bei stehendem Motor gestattet. Mit dem Motor kann die Schraube 5 bis zum Anschlag der Bodenplatte eingedreht werden. Beim weiteren Drehen der Hülse durch den Motor erfolgt ein Rutschen an der Dichtung zwischen Boden und Hülse. Beim Gleiten der Dichtung an der Hülse in Umfangsrichtung wird auch die Haftwirkung senkrecht dazu aufgehoben. Dadurch kann jetzt die Hülse durch die Federkraft bis zum Anschlag 14 abgehoben werden. Durch die Manschetten-dichtung 15 wird erreicht, daß die zu Beginn schnelle Aufwärtsbewegung pneumatisch gedämpft wird. Diese ganze Einrichtung wird von dem Rahmen 16 getragen, der abnehmbar auf dem Gestell zur Aufnahme der Plexiglasplatte 17 liegt.

Durch dieses mechanische Abheben der Hülse wird eine größere Reproduzierbarkeit der jeweiligen Ausbreitungsfläche erreicht, da sich die Hülse immer mit der gleichen Geschwindigkeit nach oben bewegt.

### 3.4. Prüfmethode zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes

Bei der Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes müssen einerseits die Anwendungsmöglichkeiten des Schaumes berücksichtigt werden, andererseits muß es so ausgelegt sein, daß es für die einzelnen Schäume unterscheidbare und reproduzierbare Werte für die gesuchte Kenngröße ergibt.

#### 3.4.1. Allgemeine Forderungen an den Schaum bezüglich seines Abbrandwiderstandes

Im Hinblick auf den Abbrandwiderstand sind grundsätzlich zwei Anwendungsfälle des Schaumes zu unterscheiden.

1. Wird der Schaum zum Ablöschen eines Brandes eingesetzt, so muß der Schaum unmittelbar nach der Erzeugung einen hohen Abbrandwiderstand besitzen, damit die brennende Fläche in kürzester Zeit mit Schaum abgedeckt werden kann. Ein mehr oder weniger starkes Nachlassen des Abbrandwiderstandes längere Zeit nach dem Verschäumen spielt hierbei eine nicht so entscheidende Rolle. Sollte die Schaumdecke aufreißen, und es an dieser Stelle zu einer neuen Entzündung kommen, so kann mit den in Bereitschaft stehenden Schaumrohren dieser wieder einsetzende Brand abgelöscht werden.

2. Schaum wird aber auch zum Vorbeugen gegen eine Brandgefahr oder zum Abschirmen von von einem eventuell auftretenden Brand bedrohten Teilen eingesetzt, z.B. bei der Landbahnbeschäumung. Für diese Fälle ist die Größe des Abbrandwiderstandes maßgebend, die der Schaum längere Zeit nach dem Verschäumen aufweist, während die Größe des Ab-

brandwiderstandes unmittelbar nach der Verschäumung hier von sekundärer Bedeutung ist.

#### 3.4.2. Anforderungen an das Prüfverfahren

Das Prüfverfahren zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes muß so ausgelegt sein, daß der Schaum in den Prüfofen ohne zusätzliche mechanische Einwirkungen wie Umfüllen und dgl. eingebracht wird. Der Wasserausfall aus dem Schaum darf durch die Art des Probenbehälters nicht behindert werden. Dazu muß der Probenbehälter so angeordnet werden, daß das ausfallende Wasser wie bei einer Schaumschicht, die auf einer Flüssigkeitsoberfläche schwimmt, nach unten ablaufen kann. Weiterhin muß von dem Prüfverfahren gefordert werden, daß der Abbrandwiderstand mit ihm zu jeder beliebigen Zeit nach der Schaumerzeugung ermittelt werden kann. Um einen evtl. Schaumabbau durch Rauchgase mit zu erfassen, ist es notwendig, den Abbrandwiderstand dadurch zu bestimmen, daß eine Flamme unmittelbar auf den Schaum einwirkt.

#### 3.4.3. Versuchsaufbau zur Bestimmung des Abbrandwiderstandes

Aufgrund dieser Bedingungen wurde die in Bild 3 gezeichnete Versuchsanordnung aufgebaut. Der Ofen besteht aus einem mit den Asbestplatten 1 gebauten Schacht von 300 x 300 mm im Quadrat und 600 mm Höhe. In diesen Schacht ragt der Büschelbrenner 2. Damit der vordere, in den Schacht ragende Teil während des Versuches nicht zu heiß wird, wird er mit Wasser gekühlt. Dazu wurde um den Bren-

ner ein Kupferrohr gewickelt und anschließend Brenner und Kupferrohr mit einer hitzebeständigen Masse ummantelt. In den Boden des Schachtes wird mit einem Drehverschluß der Probenbehälter 3 eingesetzt. Dieser Probenbehälter hat einen Innendurchmesser von 150 mm und ist 160 mm hoch. Damit das aus dem Schaum ausfallende Wasser ablaufen kann, ist in den Probenbehälter der Sinterfilter 4 eingebaut. In der Mitte des Probenbehälters ist ein PtRh-Pt-Thermoelement auf einem Keramikrohr befestigt. Mit diesem Thermoelement wird die Temperatur des Schaumes während des Abbrandes gemessen. Der Stecker 6 dient für den Anschluß des Schreibers zum Registrieren des Temperaturverlaufes an dem Thermoelement. Der mit Sauerstoff und Azetylen betriebene Büschelbrenner ist so ausgerichtet, daß die Flamme senkrecht auf die Mitte der Schaumoberfläche trifft. Bild 4 zeigt eine Ansicht des Ofens mit dem eingehängten Probenbehälter. Der Aufbau der gesamten Versuchsanlage zur Ermittlung des Abbrandwiderstandes ist in Bild 5 dargestellt. Dem Brenner 1 wird ein konstantgehaltenes Gemisch von Sauerstoff und Azetylen aus den Gasflaschen 2 und 3 zugeführt. Der Volumenstrom wird mit den Schwebekörper-Durchflußmessern 4 und 5 gemessen und über die Nadelventile 6 und 7 an den Gasflaschen eingeregelt. Zur Kontrolle einer evtl. Verstopfung des Brenners wird der Druck vor dem Brenner mit den Manometern 8 und 9 überwacht. Vom Probenbehälter 10 führt die Anschlußleitung des eingebauten Thermoelementes zu dem Linienschreiber 11.

#### 3.4.4. Versuchsdurchführung

Mit Hilfe der Schaumentnahmevorrichtung (Bild 1) wird der

Probenbehälter für die Ermittlung des Abbrandwiderstandes genau wie alle anderen Probenbehälter zur Bestimmung der Verschäumungszahl gefüllt. Es wird hierbei, wie in [8] beschrieben, auch ein sogen. "verlorener Kopf" in den Abstreifwagen 6 in Bild 1 eingefüllt. Erst nach Ablauf der gewünschten Zeit, nach der der Abbrandwiderstand ermittelt werden soll, wird der "verlorene Kopf" abgestreift und der Probenbehälter unter die brennende, eingeregelt Flamme des Ofens gehängt. Gleichzeitig mit dem Einhängen wird auch der Papiervorschub des Linienschreibers in Betrieb gesetzt. Die kürzeste Zeit, die zwischen dem Füllen des Probenbehälters und dem Einhängen in den Ofen für den Fall vergeht, daß der "verlorene Kopf" gleich nach dem Füllen abgestreift wird, beträgt ca. 10 sec. Soll der Abbrandwiderstand erst nach einer längeren Zeit nach dem Füllen des Probenbehälters bzw. nach der Schaumerzeugung ermittelt werden, so wird der "verlorene Kopf" erst unmittelbar vor dem Einhängen des Probenbehälters in den Ofen abgeschoben, um stets die gleiche Füllhöhe des Probenbehälters bei Versuchsbeginn zu haben. Der im Probenbehälter befindliche Schaum verbrennt unter der Einwirkung der Flamme. Während dieser Zeit wird die Azetylen- und Sauerstoffzufuhr zum Brenner ständig kontrolliert und nachgeregelt. Durch die Glimmerscheibe im Ofen kann die Flamme und der Abbrandvorgang des Schaumes zusätzlich beobachtet werden. Die Azetylen-Sauerstoffflamme hat am oberen Rand des Probenbehälters eine Temperatur von ca.  $1800^{\circ}\text{C}$ . Aus dem zugeführten Brenngasstrom ergibt sich eine Heizleistung von  $8500\text{ kcal/h}$ . Umgerechnet auf die Fläche des Probenbehälters ergibt sich eine mittlere Flächenbelastung von  $52000\text{ kcal/m}^2\text{ h}$ , wenn man die Strahlung der Flamme an die Umgebung nicht berücksichtigt.

Der Versuch ist beendet, wenn der Schaum bis auf die Höhe des eingebauten Thermoelementes abgebrannt ist. Dieser Zeitpunkt wird von dem Schreiber durch einen steilen Temperaturanstieg angezeigt. Bild 6 zeigt den typischen Temperaturverlauf während des Abbrandvorganges bei zwei verschiedenen Schaummitteln. Die Kurve I ergibt sich, wenn Schäume untersucht werden, die aus Schwerschaummitteln hergestellt wurden. Kurve II gilt dagegen als Beispiel für Schäume aus dem Mehrbereichsschaummittel 4. Der zeitliche Verlauf des Abbrandes bei einem Schaum aus einem Schwerschaummittel und bei einer Zumischung von 5 %, verschäumt bei einem Druck von 6 atü, zeigt Bild 7. Bild 8 zeigt diesen Vorgang für einen Schaum, hergestellt aus dem Mehrbereichsschaummittel 4 bei einer Zumischung von 3 % und einem Druck von 6 atü. Beim Vergleich der beiden Bilder ist zu beachten, daß die im Schwerschaummittel enthaltenen Metallsalze beim Abbrennen des Schaumes aus diesen Schaummitteln in der Flamme sehr stark leuchten. Im Gegensatz dazu ist bei Schäumen aus dem Mehrbereichsschaummittel dieser Effekt wesentlich geringer. Aus diesem Grund ist die Flamme auf Bild 7 auch optisch viel dichter als auf Bild 8, obwohl in beiden Fällen genau die gleichen Gasmengen dem Büschelbrenner zugeführt wurden. Wegen der optisch dichteren Flamme in Bild 7 kann auch die Schaumoberfläche nicht beobachtet werden. Zum Fotografieren der Bilder 7 und 8 wurde eine Seitenwand des Ofens abgenommen.

#### 3.4.5. Auswertung der aufgenommenen Temperatur-Zeit-Kurven

Aus den Kurven in Bild 6 sieht man, daß die Temperatur des Schaumes erst im letzten Teil des Versuchsablaufes lang-

sam ansteigt, sich auf einem Wert von  $100^{\circ}$  C noch einige Zeit hält und dann plötzlich steil ansteigt. Dieser spontane Temperaturanstieg erfolgt, wenn das ganze Wasser in der Umgebung des Thermoelementes verdampft ist. Die Flamme hat zu diesem Zeitpunkt die 120 mm dicke Schaumschicht über dem Thermoelement zerstört und trifft jetzt direkt auf das Thermoelement. Die Zeit, die bis zum Abbrennen der Schaumschicht erforderlich ist, wird als Abbrandzeit  $t_A$  bezeichnet und kennzeichnet den Abbrandwiderstand des Schaumes. Bestimmt wird die Zeit  $t_A$  aus der Länge des Diagrammes zwischen Versuchsanfang und der Knickstelle bei bekanntem Papiervorschub. Für die beiden Abbrandkurven in Bild 6 sind die Länge des Diagrammstreifens und die entsprechenden Zeiten miteingetragen. Um die Reproduzierbarkeit der Meßwerte zu ermitteln, wurden mit gleichen Schäumen Wiederholungsmessungen durchgeführt. Um die Versuchsbedingungen bei allen Wiederholungsmessungen, wie z.B. den Verschäumungsdruck, genau einhalten zu können, wurden für diese Versuchsreihen Schäume aus dem Laborschäumrohr verwendet. Diese Versuche zeigten, daß mit dieser Versuchseinrichtung eine sehr genaue Reproduzierbarkeit erreicht wird. Bei 50 % der durchgeführten Vergleichsmessungen betrug die Abweichung der Registrierstreifenlänge 1 mm bei einer Gesamtlänge des Meßstreifens von 205 mm. 2 mm Abweichungen wurden bei 45 % der Messungen festgestellt. Bei den restlichen 5 % der Vergleichsmessungen betrug die Abweichung 2 bis 4 mm bei einer Gesamtlänge des Diagrammes von ebenfalls ca. 205 mm. Der Fehler liegt also bei 95 % der Messungen unter  $\pm 1$  % bei einer Abbrandzeit von ca. 6,5 min. Bei einem geringeren Abbrandwiderstand muß mit einem Fehler von  $\pm 0,07$  min gerechnet werden.

#### 4. VERSUCHSERGEBNISSE

Die unter verschiedenen Bedingungen ermittelten Schaumkenngrößen wurden graphisch aufgetragen. Die Darstellungen werden im folgenden erläutert.

##### 4.1. Durchsatz der Schaumrohre

Ermittelt wurden die Kennzahlen von Schäumen, die mit den Schaumrohren A 1, A 2, B 1 und B 2 erzeugt wurden. Bei diesen vier Rohren waren jeweils zwei vom gleichen Typ und Hersteller. Die Rohre von ein und demselben Hersteller wurden mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Vor den Versuchen wurde der Durchsatz der Rohre mit reinem Wasser in Abhängigkeit vom Druck ermittelt. Der Durchsatz wurde mit einer Blende gemessen, die in eine Meßstrecke zwischen dem Schaumrohr und der TS 8/8 eingebaut war.

Bild 9 zeigt die gemessenen Durchflußwerte der vier Rohre in Abhängigkeit vom Druck. Daraus ist zu ersehen, daß die beiden Rohre des Herstellers A praktisch den gleichen Durchsatz aufweisen. Die Durchsätze der Rohre B 1 und B 2 liegen über den Werten der Rohre A 1 und A 2, weichen aber untereinander ab.

##### 4.2. Verschäumungszahl

Die ermittelten Verschäumungszahlen sind aus den Bildern 10 und 11 zu ersehen. In Bild 10 sind die Verschäumungszahlen eingetragen, die sich bei einem Druck vor dem Schaumrohr von 6 atü ergeben, wenn die Lösungen der vier

Schaummittel mit den Rohren A 1, A 2, B 1 und B 2 verschäumt wurden. Zum Vergleich sind noch die Werte eingetragen, die sich für die Schaummittel 1 und 4 beim Verschäumen mit einem Baby-Komet-Rohr mit einem Durchsatz von 20 l/min bei einem Druck von 6 atü ergaben.

Wurde die vorgemischte Lösung unmittelbar nach dem Ansetzen verschäumt, so ergaben sich Werte, die durch die obere Linie der schraffierten Felder dargestellt werden. Mit dem Schaumrohr A 1 wurden aber auch Lösungen verschäumt, die bereits 60 min vor dem Verschäumen angesetzt worden waren. Diese Werte sind als gestrichelte Linie in die entsprechenden schraffierten Felder eingezeichnet. Im Bild 11 sind für die Schaummittel 1, 3 und 4 die Verschäumungszahlen in Abhängigkeit vom Druck aufgetragen. Zur Schaumerzeugung wurden hierbei jedoch nur die Schaumrohre A 1 und B 1 verwendet, da angenommen wurde, daß der Schaum aus den Rohren A 2 und B 2 dieselbe Abhängigkeit vom Druck zeigt wie die verwendeten Rohre A 1 und B 1. Die Zahlen auf der rechten Seite des Bildes 11 geben das Schaummittel, das Rohr und die Zumischung für den Schaum an, für den die Verschäumungszahlen ermittelt wurden. Die Kennzahl  $3/A 1/5$  z.B. bedeutet, daß für diesen Schaum das Schaummittel 3 verwendet wurde, daß mit dem Rohr A 1 verschäumt wurde und daß der Schaummittellösung 5 % Schaummittel zugesetzt wurde.

#### 4.3. Wasserhalbwegszeit

Entsprechend der Darstellung der Verschäumungszahlen in den Bildern 10 und 11 sind in den Bildern 12 und 13 die Wasserhalbwegszeiten der verschiedenen Schäume aufgetragen.

Bild 12 gibt die Wasserhalbwertszeiten bei einem Verschäumungsdruck von 6 atü wieder. Die gestrichelt gezeichneten Werte wurden für Schäume ermittelt, die aus einer 60 min vor dem Verschäumen angesetzten Lösung erzeugt wurden. Die Abhängigkeit der Wasserhalbwertszeit vom Druck ist in Bild 13 dargestellt. Für die Schaumerzeugung usw. gelten dieselben Anmerkungen, wie sie zu den Verschäumungszahlen gemacht wurden.

#### 4.4. Fließfähigkeit

Bild 14 gibt als Maß für die Fließfähigkeit der verschiedenen Schäume die Ausbreitungsfläche auf einer ebenen, trockenen Platte wieder, die bei einem Druck vor dem Schaumrohr von 6 atü ermittelt wurde. Die Abhängigkeit der Fließfähigkeit vom Druck ist in Bild 15 dargestellt. Dieses Bild ist aus [8] entnommen und soll lediglich die Tendenz wiedergeben. Erzeugt wurde der Betriebsschaum mit einem Rohr vom Typ A, der Laborschäum mit dem Baby-Komet-Rohr.

#### 4.5. Abbrandwiderstand

Die erhaltenen Werte für die den Abbrandwiderstand kennzeichnende Abbrandzeit  $t_A$  sind in den Bildern 16 und 17 dargestellt. Die in Bild 16 angegebenen Abbrandzeiten gelten für Schäume die mit einem Verschäumungsdruck von 6 atü hergestellt wurden. Hierbei sind mehrere Fälle zu unterscheiden.

Wurden die vorgemischten Lösungen unmittelbar nach dem Ansetzen verschäumt und der gefüllte Probenbehälter sofort

in den Ofen zur Bestimmung der Abbrandzeit eingehängt, so ergaben sich Zeiten, die den oberen Enden der schräg gestrichelten Felder in Bild 16 entsprechen. Hierbei vergingen zwischen der Schaumerzeugung und dem Beginn des Versuches zur Bestimmung des Abbrandwiderstandes ca. 10 sec.

Wurde dagegen die vorgemischte Lösung erst 60 min nach dem Ansetzen verschäumt, der gefüllte Probenbehälter aber anschließend ebenfalls sofort in den Prüfofen eingehängt, erhält man die gestrichelt eingezeichneten Werte für Schäume, die mit dem Rohr A 1 beim Schaummittel 1 mit einer Zumischung von 3 und 5 % und beim Schaummittel 4 mit einer Zumischung von 1,5 % hergestellt wurden.

Wurde andererseits die vorgemischte Lösung zwar gleich nach dem Ansetzen verschäumt, der abgefüllte Probenbehälter aber erst 15 min nach dem Abfüllen in den Ofen zur Bestimmung des Abbrandwiderstandes eingehängt, so ergaben sich Zeiten, die dem oberen Ende der senkrecht schraffierten Felder entsprechen. Dabei wurden die Versuche so durchgeführt, daß der Probenbehälter und darüber hinaus noch der in Bild 1 gezeigte Abstreifwagen 6 bis zu einer Höhe von 50 mm mit Schaum gefüllt wurde. Erst 15 min nach dem Füllen wurde dieser "verlorene Kopf" abgestreift und der Probenbehälter in den Prüfofen eingehängt. Zum Vergleich sind in Bild 16 auch die Abbrandzeiten eingetragen, die sich für Schäume ergaben, die mit dem Baby-Komet-Rohr hergestellt wurden. In Bild 17 ist die Abhängigkeit des Abbrandwiderstandes, d.h. der Abbrandzeit, vom Verschäumungsdruck angegeben.

## 5. VERGLEICH DER SCHAUMKENNGRÖSSEN FÜR VERSCHIEDENE SCHAUMROHRE UND SCHAUMMITTEL

Im folgenden werden die einzelnen, für die verschiedenen Rohre ermittelten Kenngrößen einem Vergleich unterzogen und versucht, die z.T. großen Unterschiede zwischen den Kenngrößen zu deuten.

### 5.1. Verschäumungszahl

Bild 10 zeigt zunächst sehr deutlich, daß sich bei der Verschäumung gleicher Schaummittel mit den Rohrtypen A und B sowie mit dem Laborschäumrohr große Unterschiede in den Verschäumungszahlen S ergeben. Besonders auffällig ist der Unterschied zwischen den Verschäumungszahlen des Mehrbereichsschaummittels 4, je nachdem, ob es mit der Rohrtype A oder mit der Rohrtype B verschäumt wird. Auch bei den übrigen Schaummitteln liegen die Verschäumungszahlen bei einer Verschäumung mit dem Schaumrohren B 1 und B 2 niedriger als die Werte für die beiden anderen Schaumrohre A 1 und A 2. Für den Unterschied zwischen den Werten kommen zwei Faktoren in Betracht, die beide durch die Rohrkonstruktion bedingt sein können. Zunächst ist es möglich, daß die Schaumrohre des Types B, bedingt durch die Auffächerung der Schaummittellösung in der Rohrdüse und durch die Art der Luftzuführung in den Strahl, weniger Luft mitreißen, als die anderen Schaumrohre des Types A. Die zweite Möglichkeit besteht darin, daß zwar alle Rohre die gleiche Luftmenge mitreißen, aber unterschiedlich feinen Schaum erzeugen. Je feinblasiger ein Schaum ist, um so höher ist der Luftdruck in den einzelnen Schaumblasen. Dadurch würden sich ebenfalls niedrigere

Verschäumungszahlen ergeben. Der Unterschied der Verschäumungszahlen von Schäumen, die zwar aus derselben Schaummittellösung aber mit zwei Schaumrohren des gleichen Typs erzeugt wurden, ist dagegen gering. Er beträgt im Durchschnitt für die A-Schaumrohre  $\pm 2\%$  vom Mittelwert. Für die B-Schaumrohre ergab sich ein durchschnittlicher Unterschied von  $\pm 1\%$  vom Mittelwert der beiden Rohre. Bei einer mittleren Genauigkeit der Verschäumungszahl von  $2\%$  können mit den erhaltenen Werten bei den Schaumrohren B 1 und B 2 keine Angaben darüber gemacht werden, ob der höhere Durchsatz des Rohres B 2 gegenüber B 1 einen Einfluß auf die Verschäumungszahl hat. Weiter ist der Darstellung auf Bild 10 zu entnehmen, daß bis auf die Versuche mit dem Laborschaumrohr die höhere Zumischung eine größere Verschäumungszahl ergibt. Die Verschäumungszahlen der Schäume, die aus einer 60 min vor dem Verschäumen angesetzten Lösung hergestellt wurden, liegen im Durchschnitt unter den Werten, die für Schäume aus einer frisch angesetzten Lösung ermittelt wurden. Bei dem Schaummittel 1 und einer Zumischung von  $3\%$  liegt die Verschäumungszahl um  $13\%$  niedriger als der entsprechende Wert des Schaumes aus einer frisch angesetzten Lösung. Bei einer Zumischung von  $5\%$  stimmt die Verschäumungszahl innerhalb der Meßgenauigkeit mit der Verschäumungszahl des Schaumes aus der frisch angesetzten Lösung überein. Beim Mehrbereichsschaum 4 mit einer Zumischung von  $1,5\%$  liegt die Verschäumungszahl ca.  $2\%$  unter dem vergleichbaren Wert.

## 5.2. Wasserhalbwegszeit

Aus dem Bild 12 sieht man, daß der Unterschied zwischen den Wasserhalbwegszeiten  $t_H$  für die Schäume, die mit den Schaumrohren Typ A und B erzeugt wurden, nicht mehr

so groß ist, wie dies für die Verschäumungszahlen auf Bild 10 festgestellt wurde. Aber auch hier gilt wieder, jetzt allerdings auch für den Laborschaum, daß längere Wasserhalbwegszeiten bei den höheren Zumischungen auftreten. Beim Vergleich der Wasserhalbwegszeiten mit den Verschäumungszahlen sieht man, daß die Wasserhalbwegszeit mit steigender Verschäumungszahl ebenfalls zunimmt. Allerdings besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Verschäumungszahl  $S$  und der Wasserhalbwegszeit  $t_H$ , da sonst für das Schaummittel 4 bei einer 3 %igen Zumischung die längste Wasserhalbwegszeit bei der Verschäumung dieser Lösung mit dem Schaumrohr A 2 und die kürzeste bei der Verschäumung mit dem Schaumrohr B 1 auftreten müßte. Die Abweichungen der Werte für die Wasserhalbwegszeit zwischen den gleichen Rohrtypen A 1 und A 2 sowie B 1 und B 2 betragen im Durchschnitt für den Typ A  $\pm 2,7 \%$  vom Mittelwert aus A 1 und A 2. Die Abweichung für den Rohrtyp B beträgt im Durchschnitt  $\pm 1,8 \%$  vom Mittelwert der Rohre B 1 und B 2. Die Wasserhalbwegszeit der Schäume, welche aus einer Schaummittellösung erzeugt wurden, die 60 min vor dem Verschäumen angesetzt worden war, liegt für das Schaummittel 1 bei einer Zumischung von 3 % um 20,6 % niedriger als der Vergleichswert. Bei einer Zumischung des Schaummittels 1 von 5 % liegt die Wasserhalbwegszeit um 10,5 % höher und bei einer Zumischung des Schaummittels 4 von 1,5 % um 13 % höher als die vergleichbaren Werte.

### 5.3. Fließfähigkeit

Aus dem Bild 14 erkennt man sehr deutlich, daß bei der Verschäumung gleicher Schaummittel mit den Rohrtypen A

und B sehr verschiedene Ausbreitungsflächen gemessen wurden. Die Tendenz stimmt insofern mit der Wasserhalbwertszeit überein, daß bei einer größeren Wasserhalbwertszeit die Fließfähigkeit abnimmt. Ein besonders fließfähiger Schaum entsteht mit dem Mehrbereichsschaummittel 4, wenn dieser mit den Schaumrohren B 1 und B 2 verschäumt wird. Die Abhängigkeit der Fließfähigkeit vom Verschäumungsdruck wurde bei diesen Untersuchungen nicht gemessen. Aus Meßwerten von [8], Bild 15, ergibt sich jedoch die Tendenz dieses Einflusses.

#### 5.4. Abbrandwiderstand

In Bild 16 sind die Abbrandzeiten der Schäume eingetragen, die den Abbrandwiderstand kennzeichnen. Zunächst zeigt ein Vergleich der Abbrandzeiten mit den Verschäumungszahlen, daß sich längere Abbrandzeiten für niedrige Verschäumungszahlen ergeben. Weiter ist anhand der in Bild 16 eingetragenen Werte deutlich zu erkennen, daß ein Schaum 15 min nach der Erzeugung einen wesentlich geringeren Abbrandwiderstand aufweist als unmittelbar nach seiner Verschäumung. Die obere Grenze der unter  $45^\circ$  schraffierten Flächen gibt die Abbrandfestigkeit unmittelbar nach der Verschäumung an. Die obere Grenze der senkrecht schraffierten Flächen gibt die Abbrandzeit für 15 min alten Schaum an. Vergleicht man die Wasserhalbwertszeiten  $t_H$  mit den entsprechenden Abbrandzeiten  $t_A$ , so zeigt sich, daß bei langen Wasserhalbwertszeiten die Abnahme des Abbrandwiderstandes des 15 min alten Schaumes gegenüber frischem Schaum verhältnismäßig geringer ist als bei Schäumen mit kurzer Wasserhalbwertszeit.

Besonders deutlich sieht man dieses Verhalten beim Mehrbereichsschaummittel 4, wenn es mit den Rohren A 1 und A 2 verschäumt wird.

Die Abbrandzeit  $t_A$  der Schäume aus diesem Schaummittel ist unmittelbar nach der Schaumerzeugung kürzer als bei den Schäumen aus Schwerschäummitteln. Betrachtet man aber die Abbrandzeiten der Schäume 15 min nach der Verschäumung, so sieht man, daß die Abbrandzeit für Schäume aus dem Mehrbereichsschaummittel 4 etwa gleiche Werte wie für Schäume aus dem Schaummittel 1 aufweist. Wurde der Schaum mit den Rohren B 1 und B 2 erzeugt, dann erkennt man aus Bild 16, daß die Abbrandzeit des Schaumes aus dem Schaummittel 4, 15 min nach der Erzeugung, länger ist als für Schäume aus dem Schaummittel 1. Ein Einfluß auf die Abbrandzeit für den Fall, daß die Schaummittellösung 60 min vor dem Verschäumen angesetzt wird, ist nur bei der 3 %igen Zumischung für das Schaummittel 1 festzustellen. Hierbei nimmt die Abbrandzeit um 6 % ab. Bei der 5 %igen Zumischung des Schaummittels 1 und bei der 1,5 %igen Zumischung des Schaummittels 4 liegen die Abbrandzeiten geringfügig über den Werten, die für frisch angesetzte Lösungen gemessen wurden.

Bezüglich des Abbrandwiderstandes kann man folgende Aussagen machen.

Die Unterschiede der Abbrandzeiten zwischen den Schäumen aus Lösungen mit verschiedenen Zumischungen sind sehr gering. Auch ergaben sich für Schäume aus verschiedenen Schwerschäummitteln, die mit Rohren gleichen Typs erzeugt wurden, nur geringe Abweichungen der Abbrandzeiten, wenn der Schaum unmittelbar nach der Erzeugung in den Prüfofen eingehängt wird. Größere Abweichungen der Abbrandzeiten ergaben sich nur zwischen den Schaumrohrtypen A und B.

Die längeren Abbrandzeiten der Schäume, die mit den Schaumrohren B 1 und B 2 erzeugt wurden, sind auf die niedrigen Verschäumungszahlen zurückzuführen.

Die Abbrandzeiten der Schäume, die 15 min nach ihrer Erzeugung gemessen wurden, sind stark von der Wasserhalbwertszeit abhängig. Je länger die Wasserhalbwertszeit eines Schaumes ist, um so geringer ist die Abnahme der Abbrandzeit des Schaumes mit der Zeit. Über den Einfluß der Standzeit einer Schaummittellösung, bevor sie verschäumt wird, auf die Schaumkenngrößen, insbesondere auf den Abbrandwiderstand, können noch keine endgültigen Aussagen gemacht werden. Während bei den untersuchten Betriebsschäumen keine wesentlichen Veränderungen der Kenngrößen, Verschäumungszahl, Wasserhalbwertszeit und Abbrandzeit festgestellt wurden, ergab sich bei Laborschäumen, die mit dem Baby-Komet-Rohr erzeugt wurden, eine sehr deutliche Abnahme des Abbrandwiderstandes. Bild 18 zeigt die gemessenen Abbrandzeiten in Abhängigkeit von der Standzeit der vorgemischten Lösungen, bevor sie verschäumt wurden. Aus diesem Bild ergibt sich, daß die Abbrandzeit um ca. 15 %, d.h. von 6,4 auf 5,4 min, absinkt, wenn die Schaummittellösung zwei Stunden vor dem Verschäumen angesetzt wurde. Weitere Versuche sind daher erforderlich, um allgemein gültige Daten für alle Verschäumungsarten aufstellen zu können.

#### 6. EINFLUSS VERSCHIEDENER ZUSTANDSGRÖSSEN AUF DIE VERSCHÄUMUNGSZAHL

Für Schäume, die bei 6 atü Druck mit dem Schaumrohr A 1 erzeugt wurden, sind Verschäumungszahlen von 4,8 bis 8,5

gemessen worden. Der Grund für diese Unterschiede ist im folgenden untersucht worden.

Geht man von der Annahme aus, daß vom Schaumrohr bei gleichem Durchsatz der Schaummittellösung auch immer gleiche Luftmengen angesaugt werden, dann kann eine Veränderung der Verschäumungszahl bei verschiedenen Schaummittellösungen nur darauf zurückgeführt werden, daß die angesaugte Luft im Schaum verschiedene Volumina einnimmt. Hierbei wird noch die weitere Annahme getroffen, daß die angesaugte Luft vollständig zur Verschäumung genutzt wird.

Beide Annahmen werden durch Messungen und Beobachtungen bestätigt. So haben Durchflußmessungen ergeben, daß der Durchsatz durch ein Schaumrohr bei konstantem Druck innerhalb der Meßgenauigkeit unabhängig von der verwendeten Schaummittellösung ist. Weiter lassen Fotografien des austretenden Schaumes keine Kanäle im Schaumstrahl erkennen, durch die Luft entweichen könnte. Bei einem konstanten, angesaugten Luftstrom kann also eine Veränderung der Verschäumungszahl nur dadurch eintreten, daß die Luft in den Schaumblasen unter verschieden hohen Drücken steht.

#### 6.1. Einfluß der unterschiedlichen Oberflächenspannung der Schaummittellösungen

Durch die Oberflächenspannung einer Blasenhaut wird in der Blase ein Druck hervorgerufen, der von der Größe der Oberflächenspannung und vom Durchmesser abhängig ist.

Dieser Druck  $p_{\sigma}$  in der Blase errechnet sich zu

$$p_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d}, \quad (1)$$

worin  $\sigma$  die Oberflächenspannung der Blasenhaut und  $d$  der Durchmesser der Blase ist.

Der Druck  $p_G$  der in der Schaumblase enthaltenen Luft liegt über dem Druck der Umgebungsatmosphäre. Wird also Luft bei Atmosphärendruck im Schaumrohr angesaugt und mit der Schaummittellösung verschäumt, so ist das Volumen der Luft im Schaum kleiner als im Ansaugzustand. Nimmt man an, daß die angesaugte Luft und der Schaum die gleiche Temperatur haben, so kann das Volumen der Luft im Schaum wie folgt berechnet werden:

$$V_{b_0} \cdot b_0 = V_s \cdot (b_0 + p_G) \quad (2)$$

Mit Gleichung 1 ergibt sich  $V_s$ :

$$V_s = V_{b_0} \frac{b_0}{b_0 + \frac{4\sigma}{d}} \quad (3)$$

Darin ist

- $V_{b_0}$  das Luftvolumen im Ansaugzustand bei Atmosphärendruck  $b_0$ ,
- $V_s$  das Luftvolumen im Schaum,
- $\sigma$  die Oberflächenspannung der Schaummittellösung und
- $d$  der mittlere Blasendurchmesser im Schaum.

Berechnet man diesen Wert für einen Blasendurchmesser von 0,1 mm und für  $V_{b_0} = 1\text{m}^3$ , so erhält man:

$\sigma$	20 dyn/cm	40 dyn/cm
$V_s$	0,984 m <sup>3</sup>	0,969 m <sup>3</sup>

Der in der Berechnung angenommene mittlere Blasendurchmesser ergab sich aus Bild 19. Dieses Foto zeigt den Schaum, der bei einem Druck von 6 atü erzeugt wurde, unmittelbar nach dem Austritt aus dem Schaumrohr.

Der Unterschied zwischen beiden Volumina, die für die oberen Grenzwerte der Oberflächenspannungen von Lösungsmitteln berechnet wurden, beträgt nur 1,55 %.

Auf diese geringe Differenz können aber die Unterschiede in den Verschäumungszahlen nicht zurückgeführt werden.

#### 6.2. Einfluß der Schaumstabilisierung durch Metallsalze

Ein Einfluß auf die Oberflächenspannung, der bisher noch nicht untersucht wurde, ergibt sich durch die Stabilisierung des Schaumes durch Metallsalze. Dabei kann schon eine Stabilisierung der Blasenwände auftreten, solange sich der Schaum noch im Schaumrohr befindet. Das würde bedeuten, daß die Schaumblasen, die im Inneren des Schaumrohres bei einem höheren Druck als dem Atmosphärendruck entstehen, nicht mehr als Blasen mit einer elastischen Haut betrachtet werden können. Der Druck in diesen Blasen kann sich daher beim Austritt aus dem Schaumrohr nicht mehr auf einen Gleichgewichtszustand mit der Atmosphäre einstellen. Dadurch geht in die Verschäumungszahl die Geschwindigkeit ein, mit der sich der Schaum stabilisiert. Durch die unterschiedliche Fließfähigkeit der Schäume wird diese Vermutung bestätigt.

Schwerschaummittel ergeben bei gleichem Druck und gleichem

Schaumrohr kleinere Verschäumungszahlen als Mehrbereichsschaummittel und bilden schon in äußerst kurzer Zeit nach dem Ausfließen auf die Platte zur Bestimmung der Fließfähigkeit ein starres Gebilde. Dagegen weisen Schäume aus Mehrbereichsschaummitteln hohe Verschäumungszahlen auf und der Schaumkuchen auf der Platte zur Bestimmung der Fließfähigkeit stabilisiert sich erst wesentlich später als der aus Schwerschaummitteln. Die Luft in den Blasen der Schäume aus Schwerschaummitteln müßte demnach einen höheren Druck haben als bei Schäumen aus Mehrbereichsschaummitteln. Nimmt man an, daß in den Blasen der Schäume aus Mehrbereichsschaummitteln kein wesentlicher Überdruck herrscht, so müßte bei gleichen angesaugten Luftmengen und gleicher Lufttemperatur in den Blasen der Schäume aus Schwerschaummittel folgender Druck herrschen:

$$p_S = \frac{V_M}{V_S} \cdot p_M \quad (4)$$

Mit  $V_M = S_M - 1$  und  $(5)$

$$V_S = S_S - 1 \quad (6)$$

wird  $p_S = \frac{S_M - 1}{S_S - 1} \cdot p_M \quad (7)$

Darin ist:

$V_S$	das Luftvolumen in 1 kg Schaum	}	aus
$p_S$	der Luftdruck in den Blasen des Schaumes		einem
$S_S$	die Verschäumungszahl des Schaumes		Schwer- schaum- mittel
$V_M$	das Luftvolumen in 1 kg Schaum	}	aus
$p_M$	der Luftdruck in den Blasen des Schaumes		einem
$S_M$	die Verschäumungszahl des Schaumes		Mehr- bereichs- schaum- mittel

Setzt man für  $p_M = 1$  ata an und nimmt man die mittleren gemessenen Werte der jeweiligen Verschäumungszahl für das Schaumrohr A 1, so erhält man:

$$p_S = \frac{9 - 1}{5 - 1} \cdot 1 = 2 \text{ ata} .$$

In den Blasen des Schaumes aus einem Schwertschaummittel herrscht demnach ein Überdruck von 1 atü.

Ob die wirklichen Drücke in den Blasen in diesem Bereich liegen, kann nur durch Messungen festgestellt werden.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Die folgenden 4 Kenngrößen

1. das spezifische Schaumgewicht bzw.  
die Verschäumungszahl

2. die Schaumstabilität bzw.  
die Wasserhalbwertszeit
3. die Fließfähigkeit und
4. der Abbrandwiderstand

kennzeichnen die Eigenschaften von Schäumen. Da noch keine allgemein anerkannten Richtwerte für die Kenngrößen für die verschiedenen Anwendungsgebiete der Schäume vorliegen, kann die Qualitätsminderung lange gelagerter Schaummittelvorräte nur durch einen Vergleich der Kenngrößen des aus ihnen erzeugten Schaumes mit denen von Schäumen aus frischen Schaummitteln verglichen werden. Aus diesem Grund wurden die vier Kenngrößen von Schäumen aus drei Schwerschaummitteln auf Eiweißbasis und einem Mehrbereichsschaummittel auf Alkoholbasis ermittelt. Dazu wurden 3 und 5 %ige Lösungen des Schwerschaummittels und 1,5 und 3 %ige Lösungen des Mehrbereichsschaummittels mit 4 Rohren bei einem Druck vor dem Schaumrohr von 5, 6 und 8 atü verschäumt. Bei den Rohren handelte es sich um jeweils 2 Rohre des gleichen Typs und gleichen Herstellers mit einem Nenndurchsatz von 200 l/min.

Die Schaumentnahme erfolgte mit einer Sonde 100 mm vor der Rohrmündung in der Mitte des Schaumstrahls. Mit einem 5 l-Behälter von 144 mm Innendurchmesser und 307 mm Höhe wurde die Verschäumungszahl und die Wasserhalbwertszeit ermittelt. Die Fließfähigkeit wurde als die Fläche angegeben, die der Schaum auf einer ebenen, trockenen Platte beim Ausfließen aus einem 450 mm hohen Behälter mit 144 mm Innendurchmesser bedeckte.

Mit einer neu entwickelten Methode wurde der Abbrandwider-

stand der Schäume bestimmt. Als Abbrandwiderstand wird die Zeit angegeben, in der von einer 160 mm dicken Schaumschicht durch eine offene Azetylen-Sauerstoffflamme 120 mm abgebrannt sind. Diese Abbrandzeit wurde sowohl für Schäume unmittelbar nach der Erzeugung als auch für Schäume ermittelt, die 15 min vor der Bestimmung des Abbrandwiderstandes erzeugt worden waren.

Es wurde versucht, die Einflußgrößen zu ermitteln, die bei gleichen Verschäumungsbedingungen für die stark voneinander abweichenden Verschäumungszahlen von Schäumen aus verschiedenen Schaummitteln verantwortlich sein könnten.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Brunswig, H.:  
Neuere Erfahrungen bei der Bekämpfung  
von Mineralölbränden.  
Erdöl und Kohle, 2 (1949), Nr.5, S.193-199.
- [2] Rivkind, L.E.:  
Testing of Fire-Fighting Foams.  
Quarterly of the NFPA International, 54 (1960),  
Nr. 2, S.139-150.
- [3] Brunswig, H.:  
Prüfung von Luftschaum und Luftschaumerzeugern.  
Feuerschutztechnik, 3 (1942), S.2-10.
- [4] Daimler, K.:  
Laboratoriumsuntersuchungen über das  
Ablöschen brennender Öle mit Luftschaum.  
Erdöl und Kohle, 2 (1949), Nr.10, S.457-458.
- [5] Nell, R. and Tansaka, K.:  
Studies on Fluidity of Fire-Fighting Foams.  
Report of Fire Research Institut of Japan Nr.24,  
1964, S.32-33.
- [6] Nash, P.:  
Recent research on foam in the United Kingdom.  
Quart.Inst.Fire Engrs., 1961, 21(41), S.14-33.

- [7] Wilke, K.:  
Untersuchungen an Luftschäumstrahlrohren  
mit einer Durchflußleistung von etwa  
200 l/min zur Bestimmung von Leistungs-  
kenngrößen.  
Brandreferendar-Abschnittsarbeit Nr.3, Okt. 1962.
- [8] John, R.:  
Entwicklung eines Verfahrens zur Schnellprüfung  
von Schaummitteln und Schaumerzeugern im Ein-  
satzdienst der Feuerwehren.  
AGF-Forschungsbericht 1. 1967.

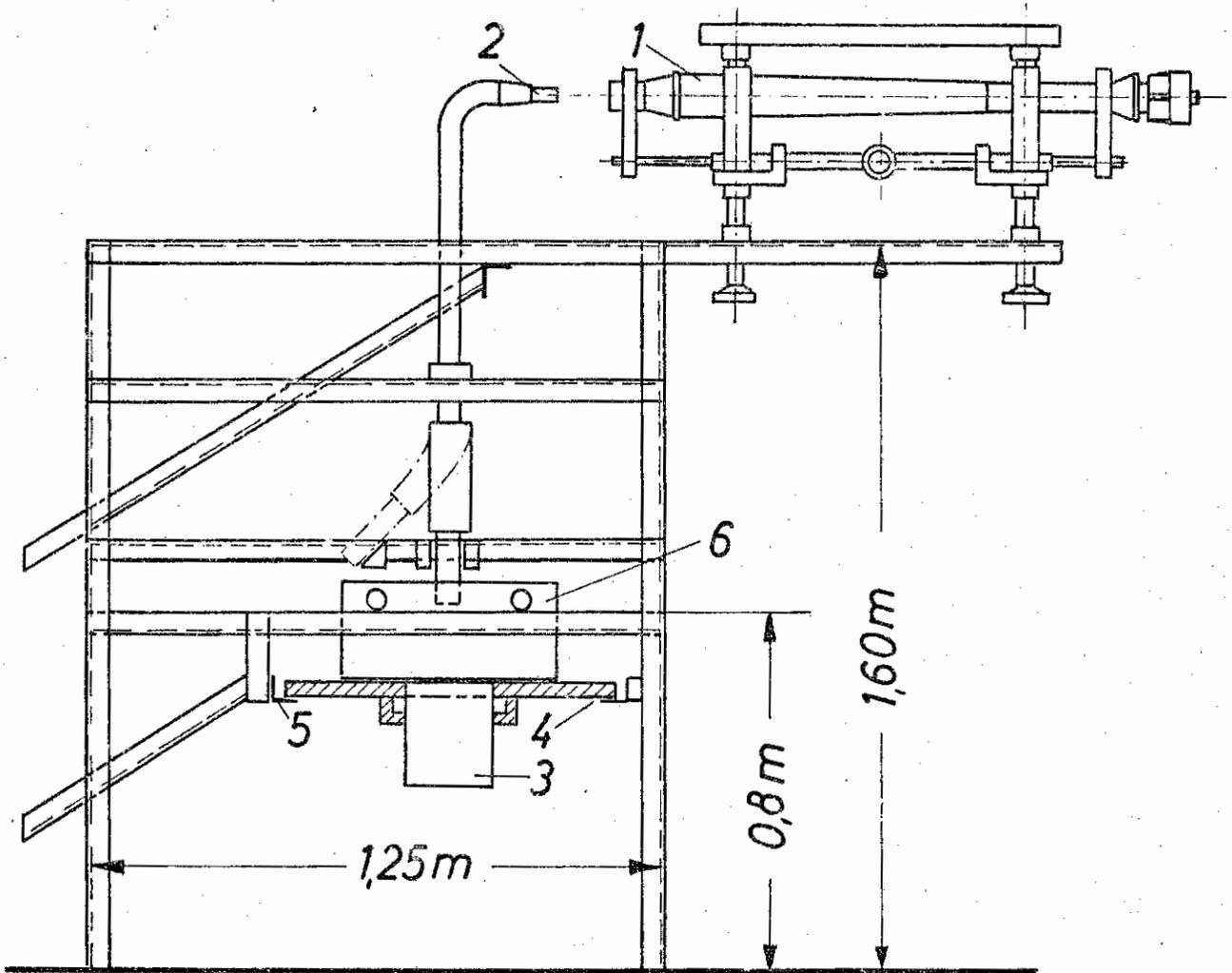


Bild 1 Entnahmeverrichtung für Schaum nach [8]

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1 Schaumrohr      | 4 Halteplatte      |
| 2 Entnahme-Sonde  | 5 Führungsschienen |
| 3 Proben-Behälter | 6 Abstreifwagen    |

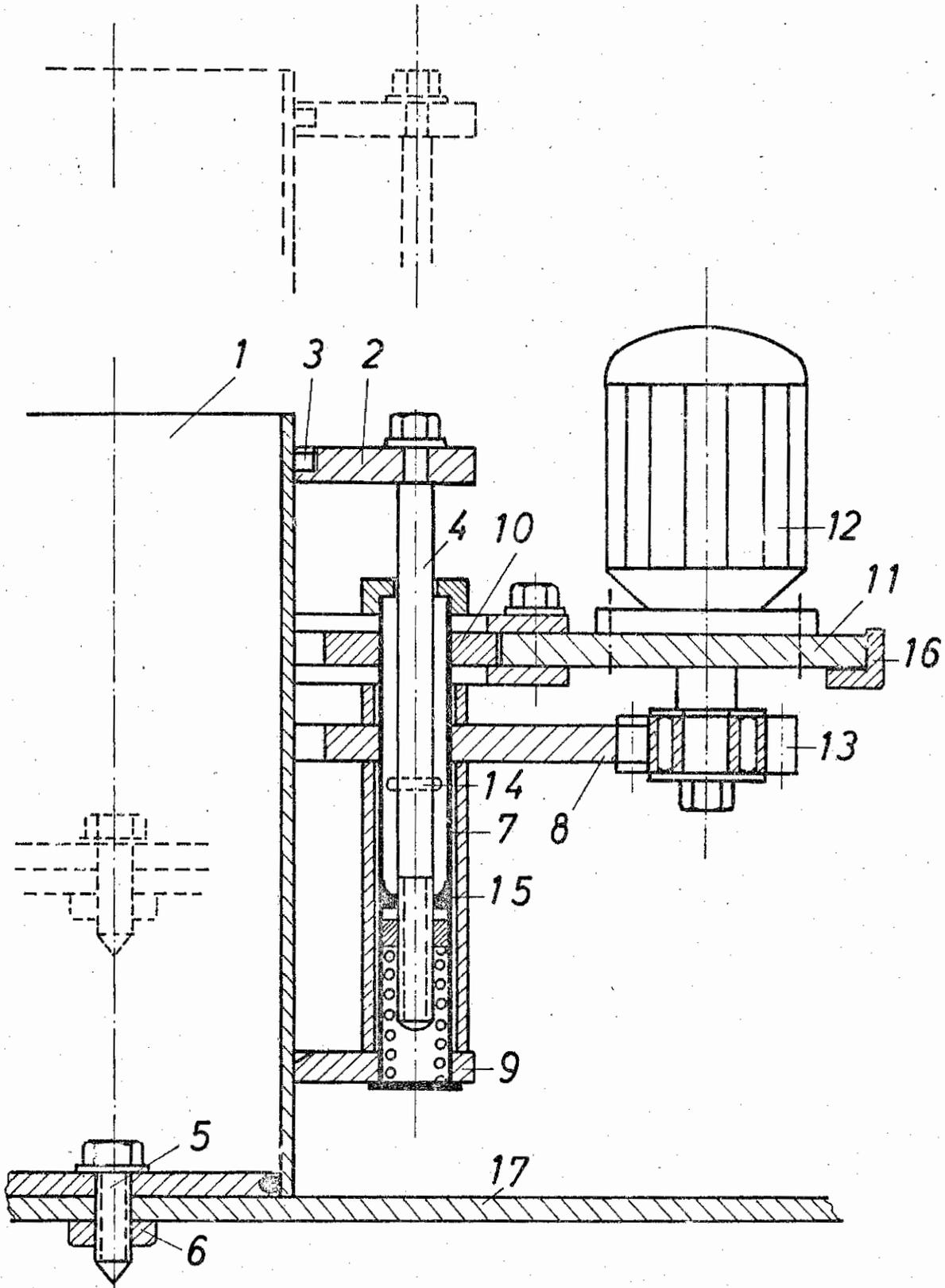


Bild 2 Abziehvorrichtung

- |                 |                 |                        |
|-----------------|-----------------|------------------------|
| 1 Hülse         | 7 Führungshülse | 13 Ritzel              |
| 2 Aufnahmeering | 8 Zahnkranz     | 14 Anschlag            |
| 3 Mitnehmer     | 9 Führungsring  | 15 Manschettendichtung |
| 4 Hubstangen    | 10 Haltering    | 16 Rahmen              |
| 5 Halteschraube | 11 Grundplatte  | 17 Plexiglasplatte     |
| 6 Mutter        | 12 Elektromotor |                        |

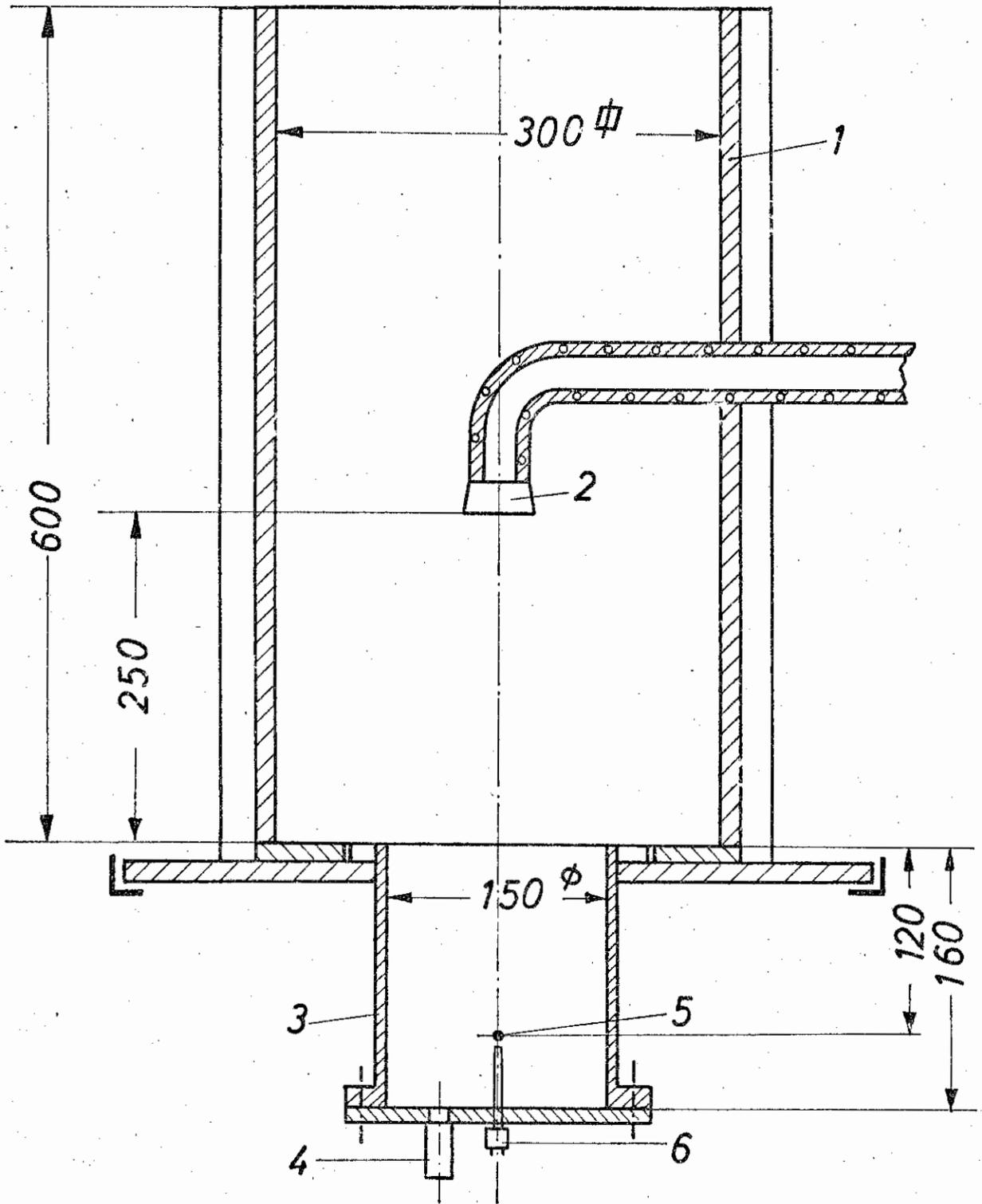


Bild 3 Ofen zur Bestimmung der Abbrandfestigkeit

- |                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| 1 Asbestauskleidung             | 4 Ablaßfilter     |
| 2 wassergekühlter Bündelbrenner | 5 Thermoelement   |
| 3 Probenbehälter                | 6 Anschlußstecker |

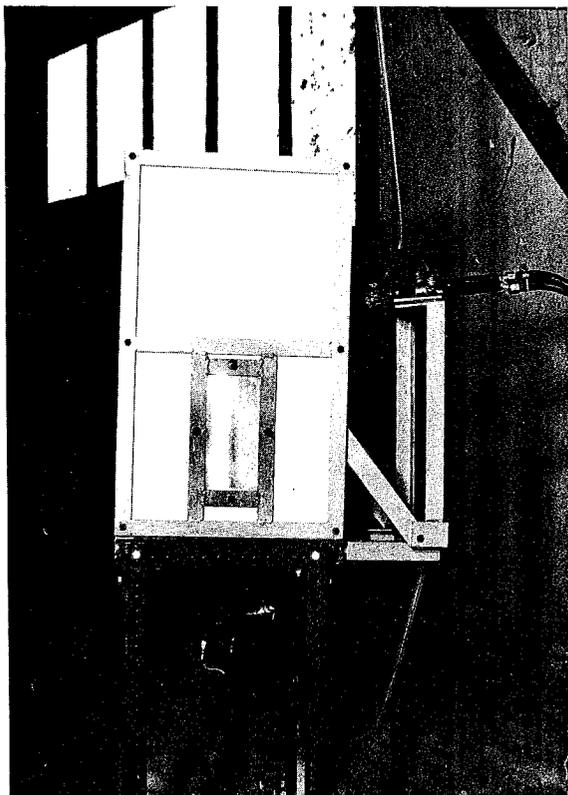


Bild 4      Ofen mit eingehängtem Probenbehälter zur  
Bestimmung des Abbrandwiderstandes

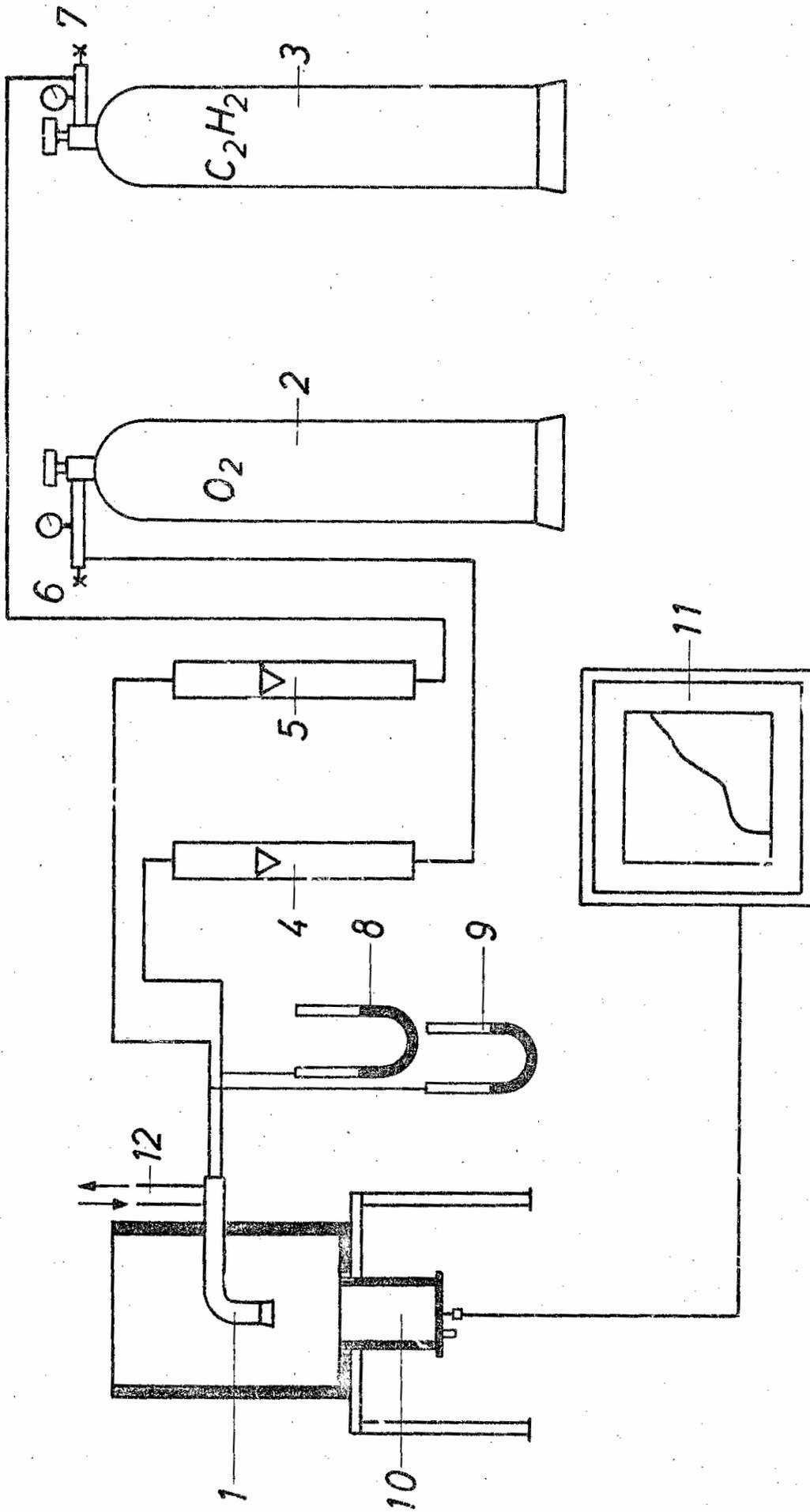


Bild 5 Versuchsanordnung zur Bestimmung des Abbrandwiderstandes  
1 Büschelbrenner 5 Durchflußmesser für  $C_2H_2$  11 Iinienschreiber  
2  $O_2$ -Flasche 6,7 Nadelventil 12 Wasserkühlung  
3  $C_2H_2$ -Flasche 8,9 Manometer  
4 Durchflußmesser für  $O_2$  10 Probenbehälter

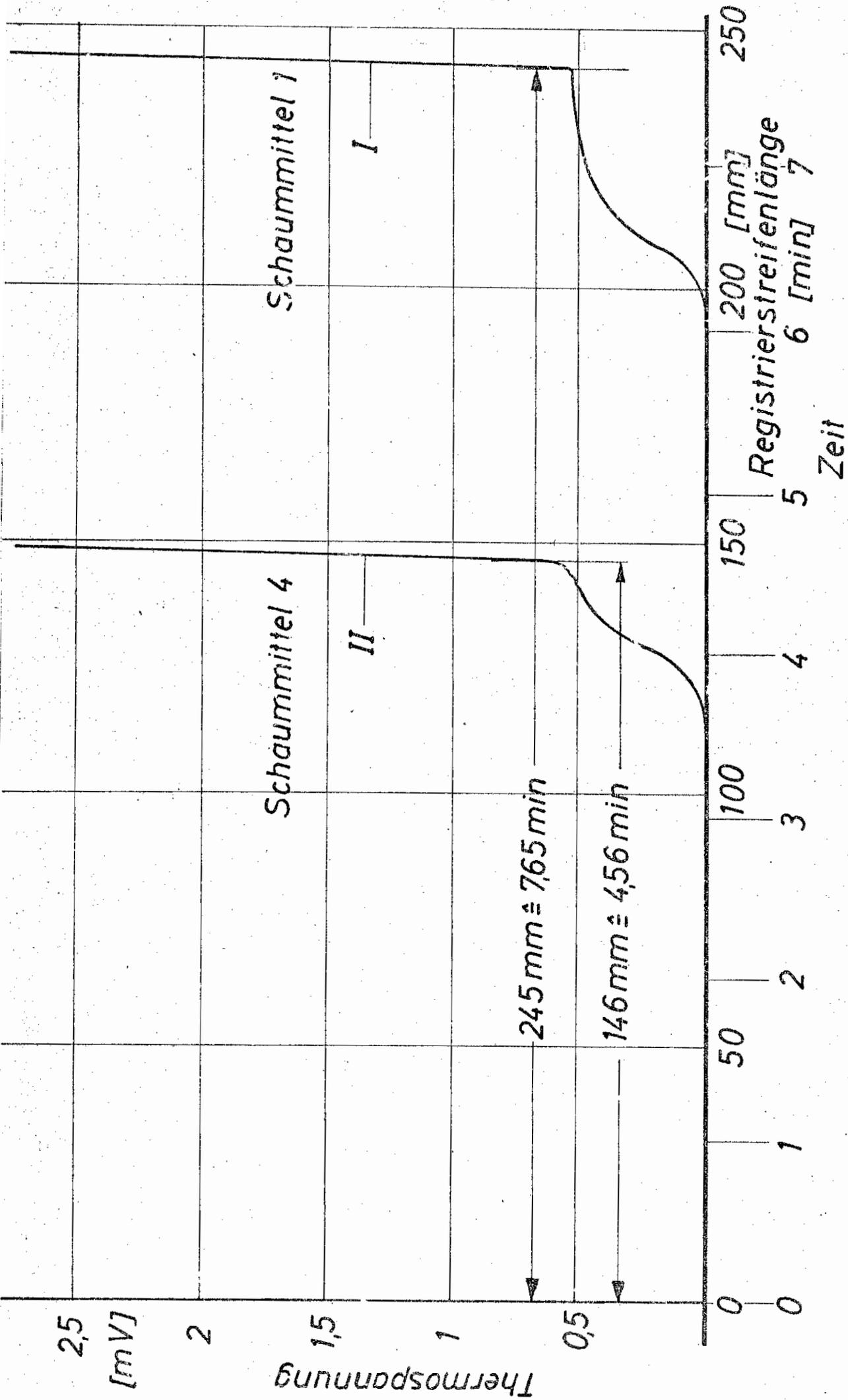
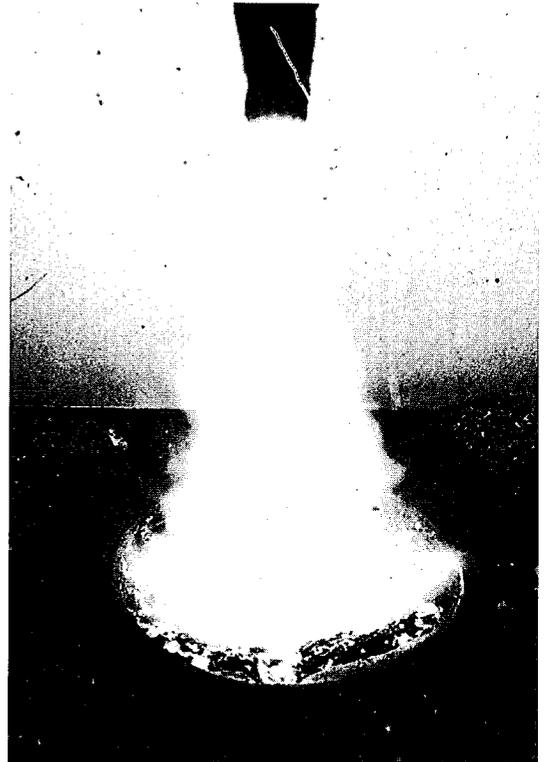


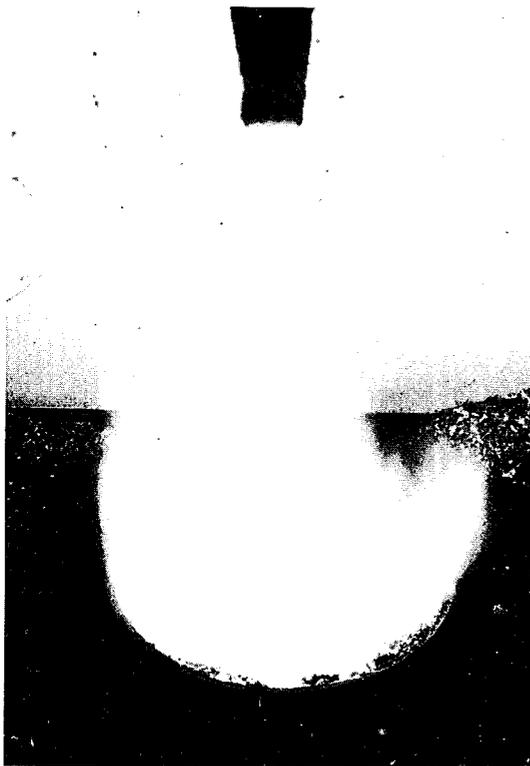
Bild 6 Registrierstreifen des Temperaturverlaufes während des Abbrandvorganges



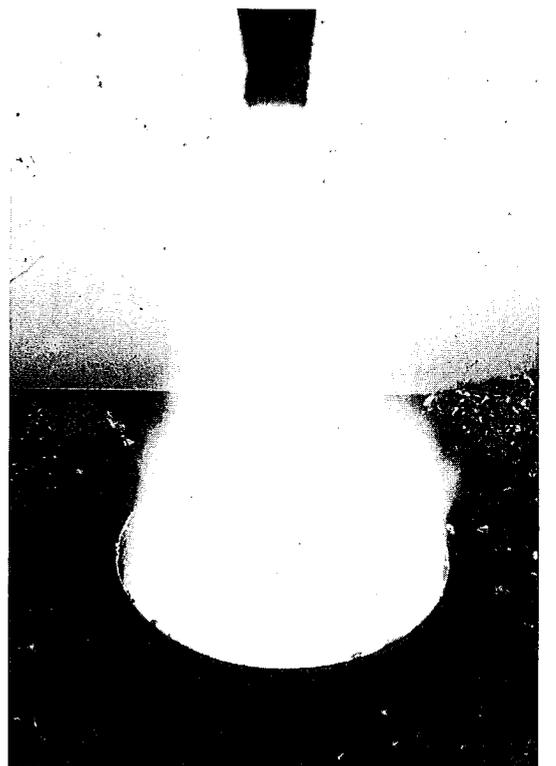
nach 0,75 min



nach 2 min

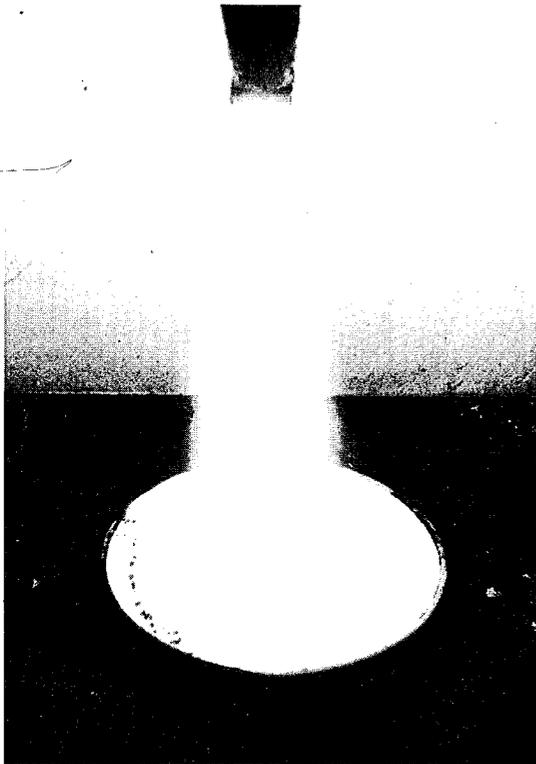


nach 3 min

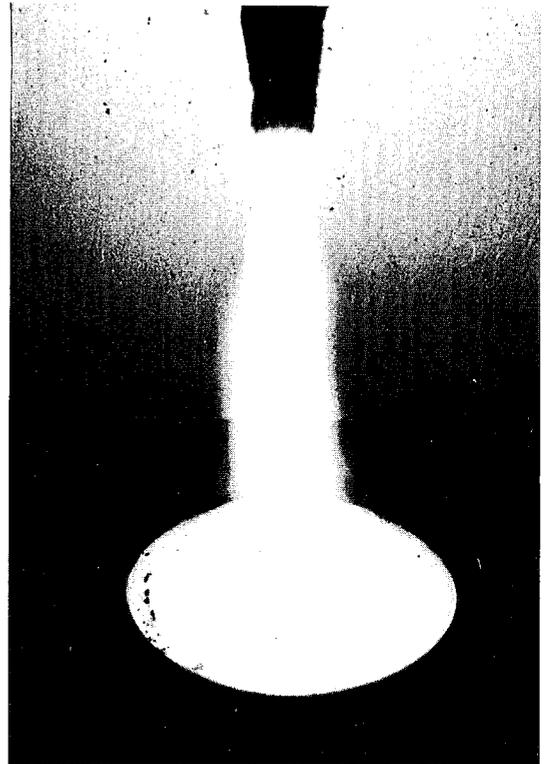


nach 5 min

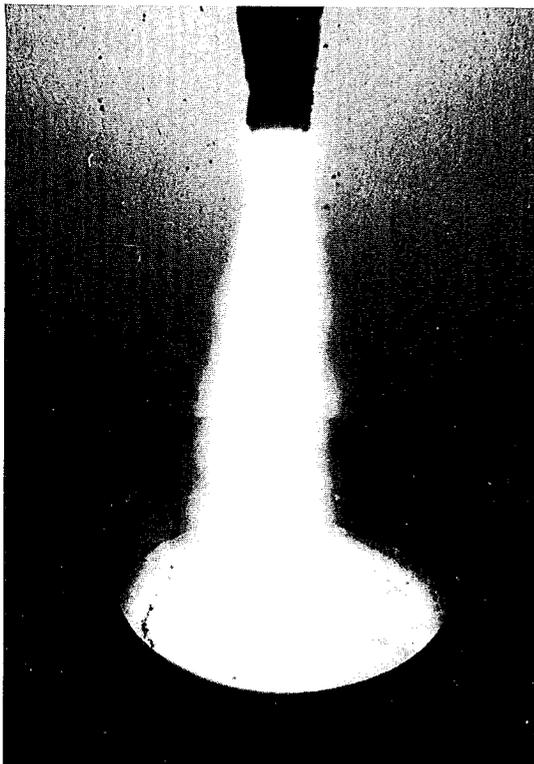
Bild 7 Verlauf des Abbrandes beim Schaum aus Schwertschaummittel



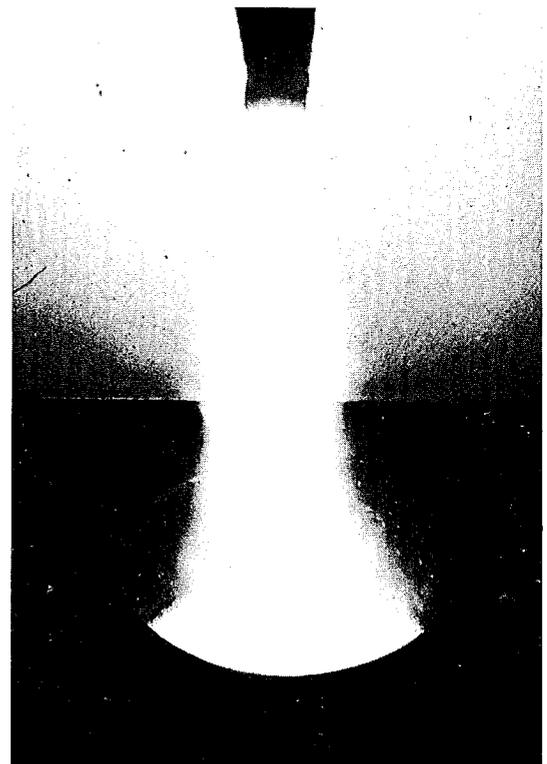
nach 0,5 min



nach 1 min



nach 2 min



nach 4 min

Bild 8 Verlauf des Abbrandes beim Schaum aus Mehrbereichs-  
schaummittel

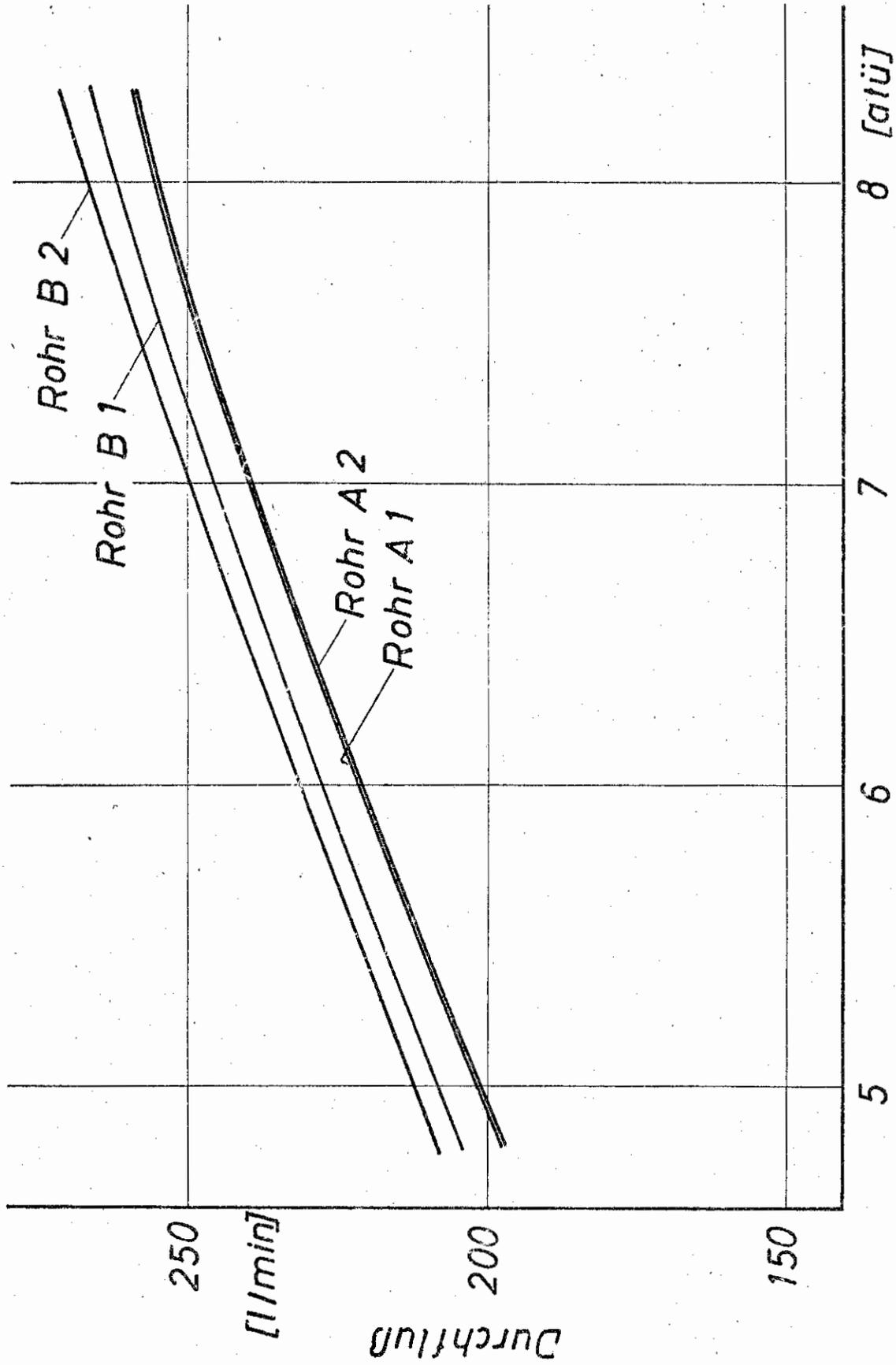


Bild 9 Durchfluß durch die Schaumrohre bei verschiedenen Drücken

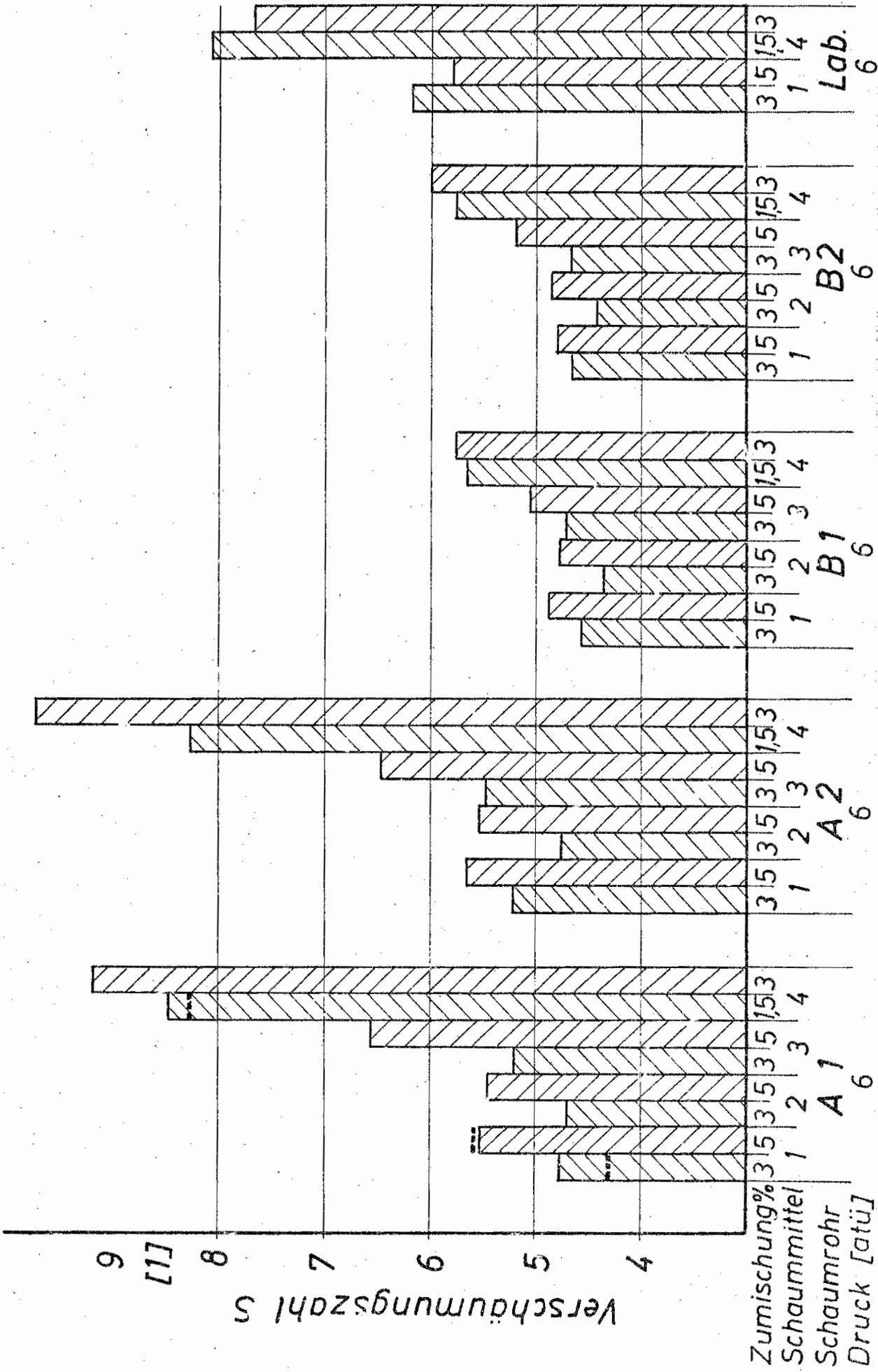


Bild 10 Verschäumungszahl S für Schäume, die mit verschiedenen Schaumrohren und Schaummittelr. erzeugt wurden

-- Werte für eine 60 min vor dem Verschäumen angesetzte Lösung

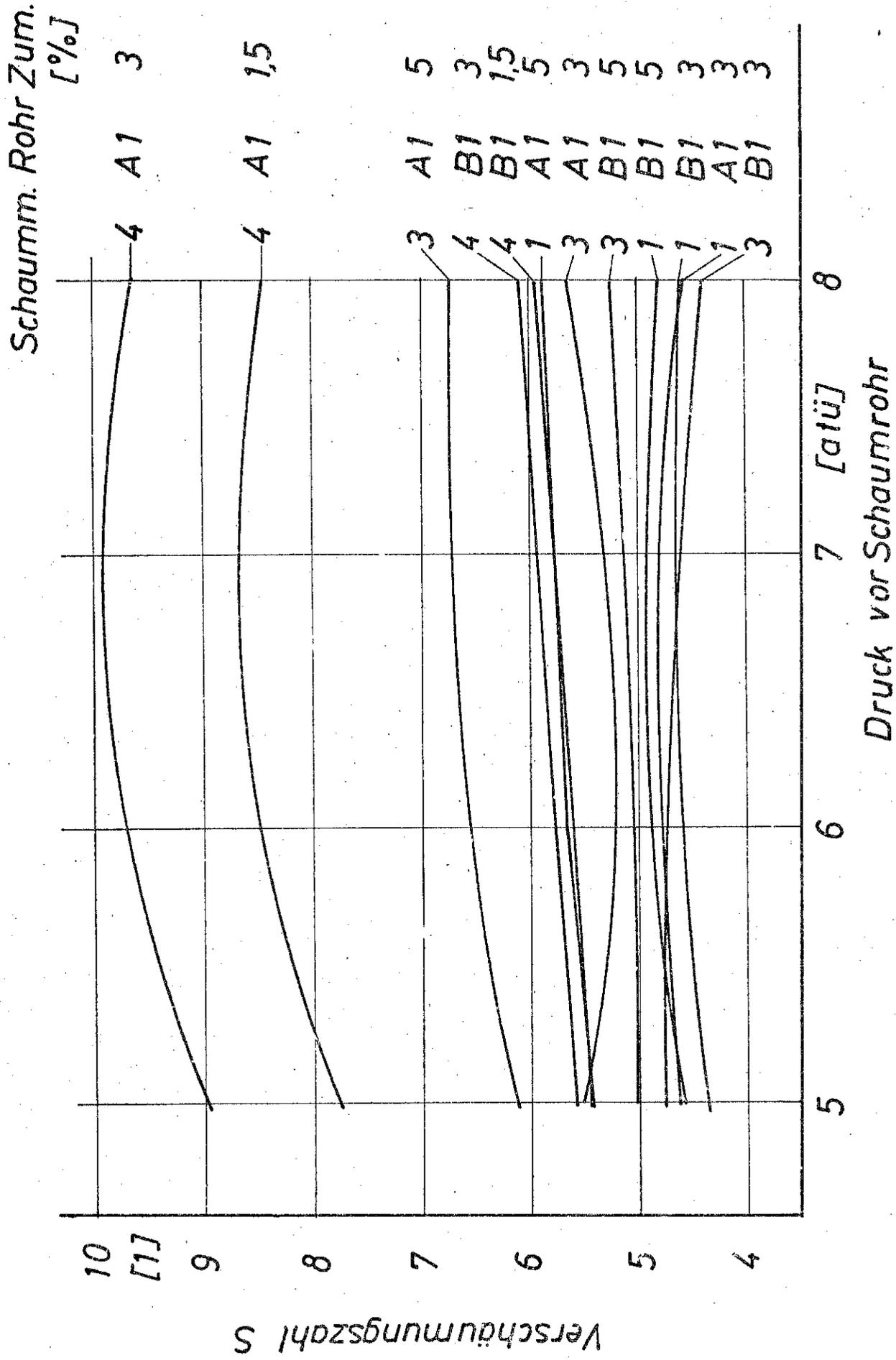


Bild 11 Abhängigkeit der Verschäumungszahl S verschiedener Schäume vom Verschäumungsdruck



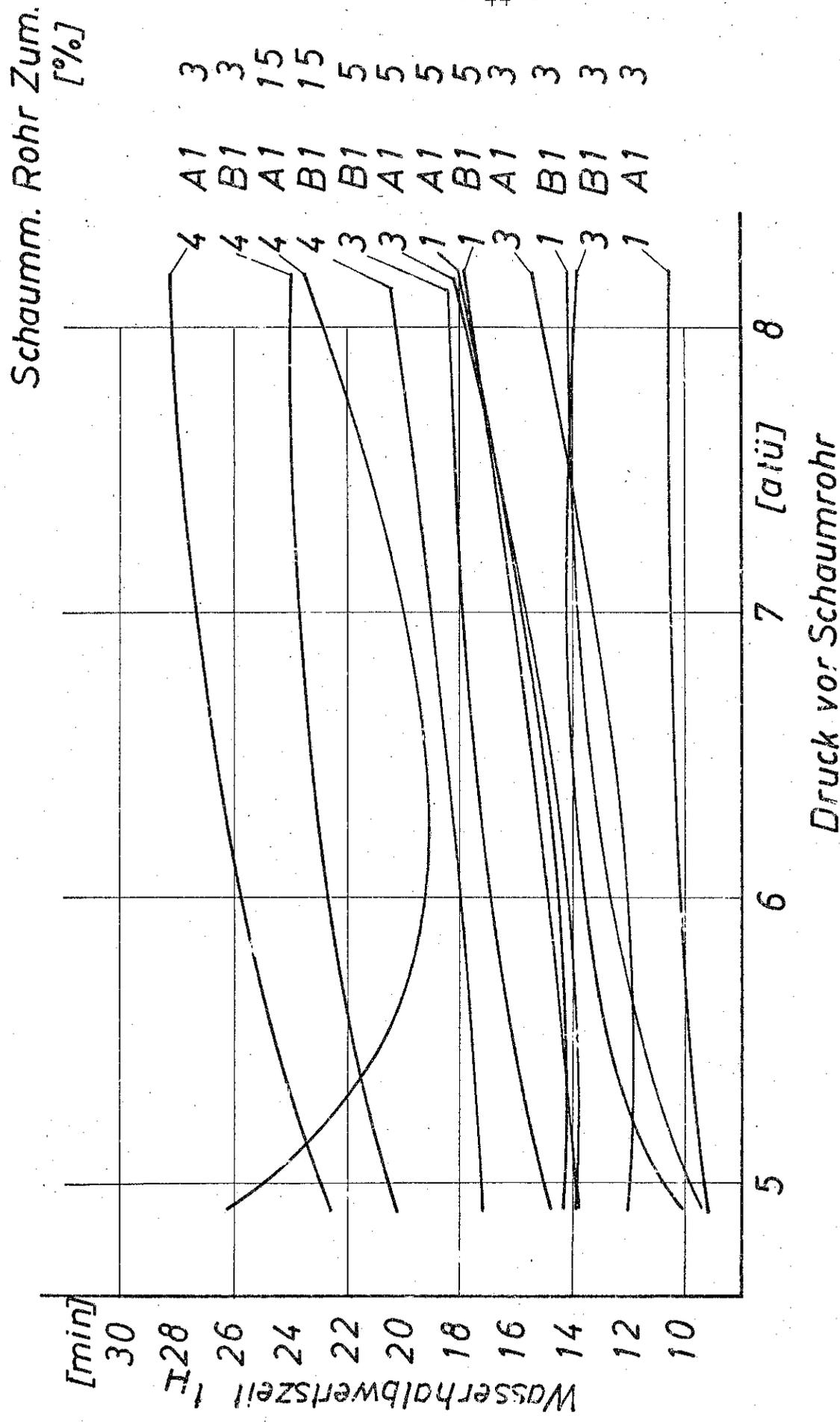


Bild 13 Abhängigkeit der Verschäumungszahl S verschiedener Schäume vom Verschäumungsdruck

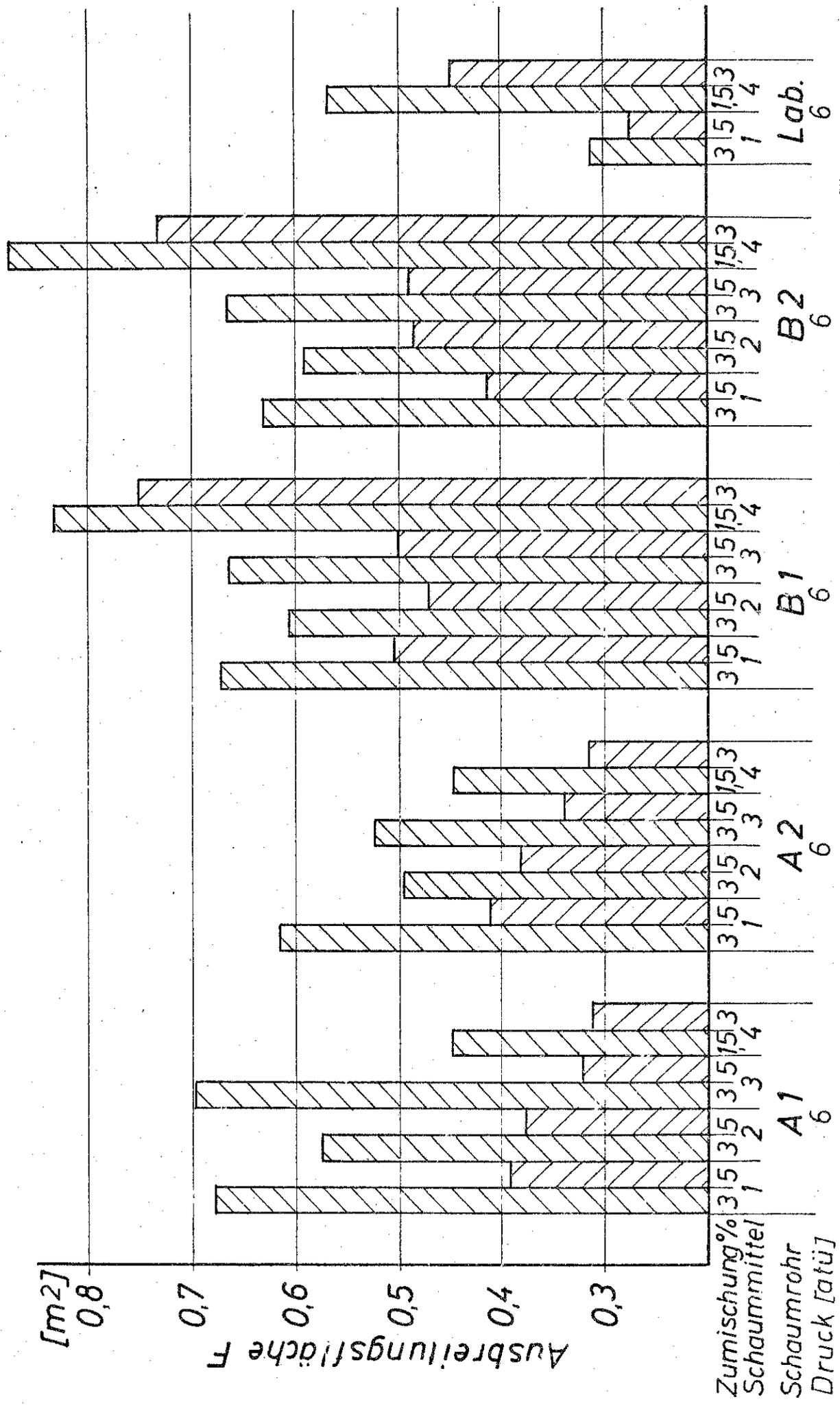


Bild 14 Ausbreitungsfläche F für Schäume, die mit verschiedenen Schaumrohren und Schaummitteln erzeugt wurden

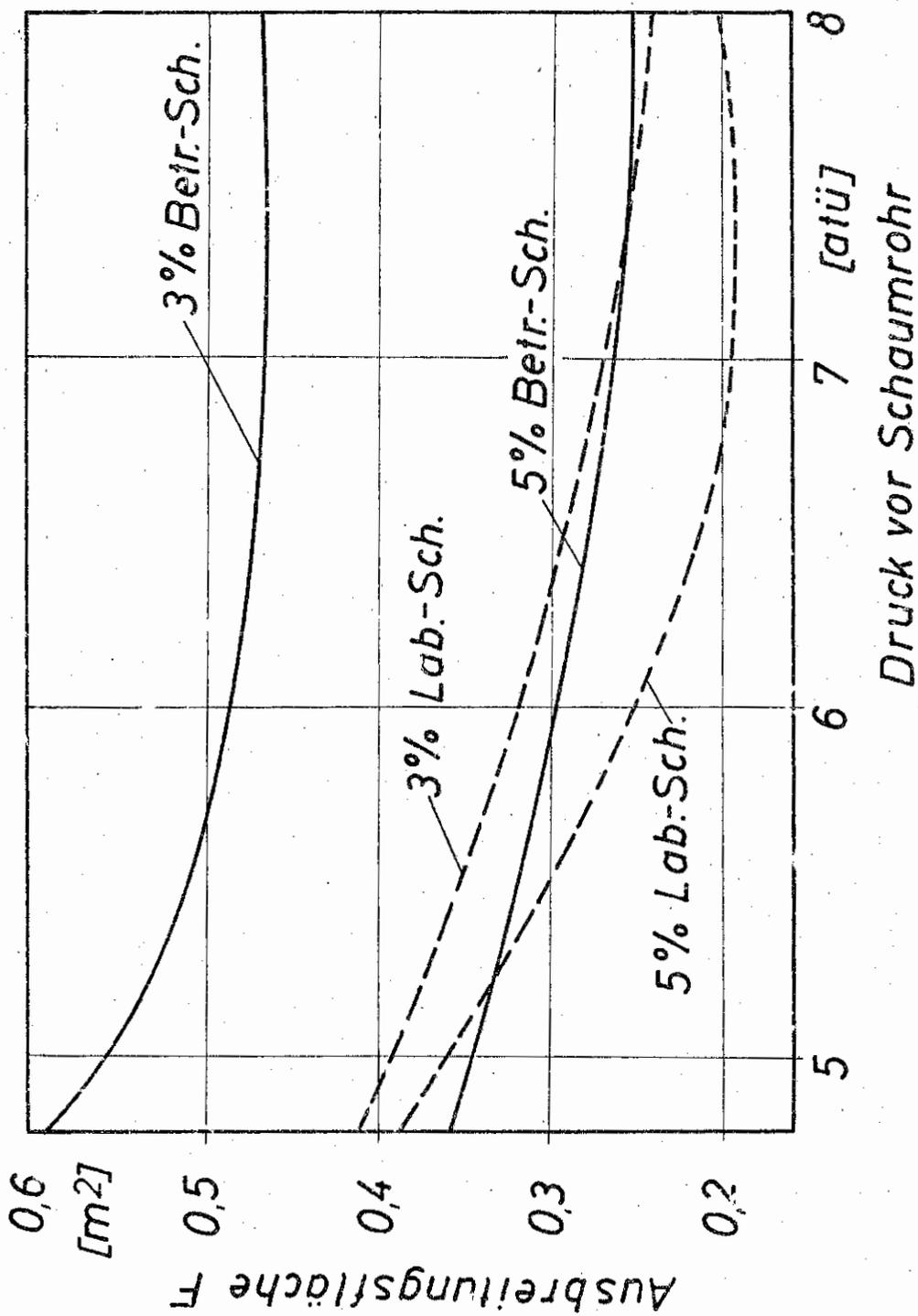


Bild 15 Abhängigkeit der Ausbreitungsfläche  $F$  verschiedener Schäume vom Verschäumungsdruck nach [8]



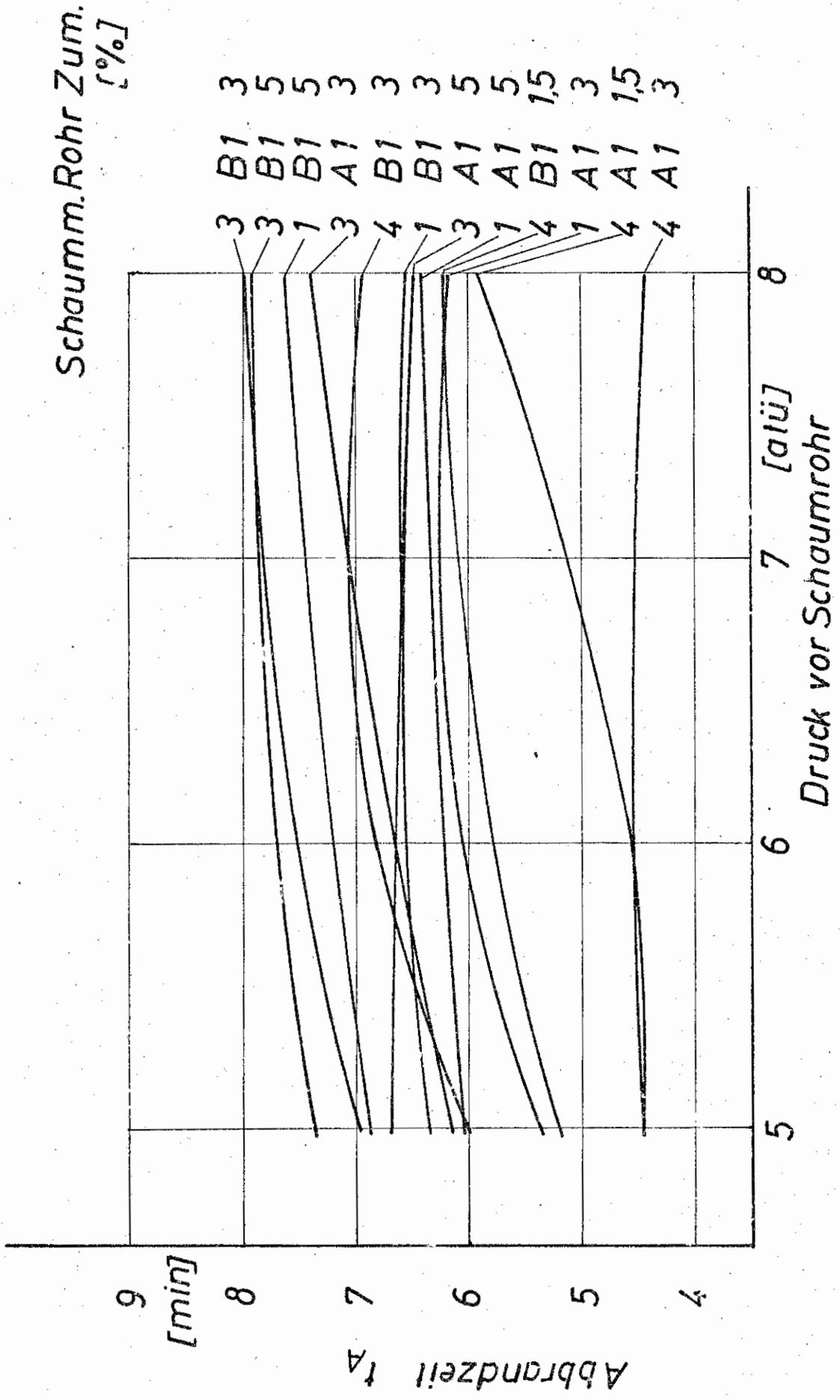


Bild 17 Abhängigkeit der Abbrandzeit  $t_A$  verschiedener Schäume vom Verschäumungsdruck

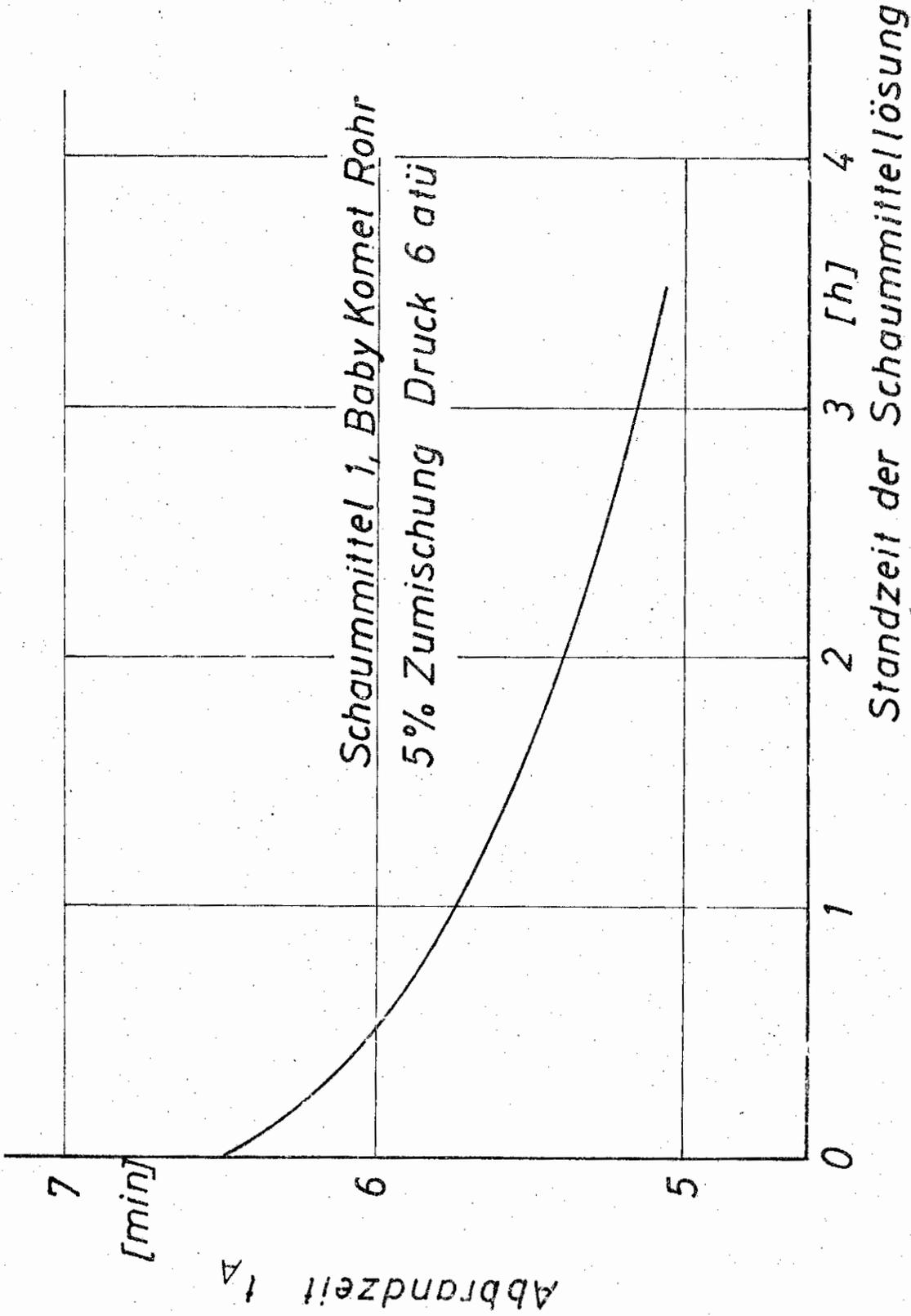


Bild 18 Abhängigkeit der Abbrandzeit von der Standzeit der vorgemischten Lösung

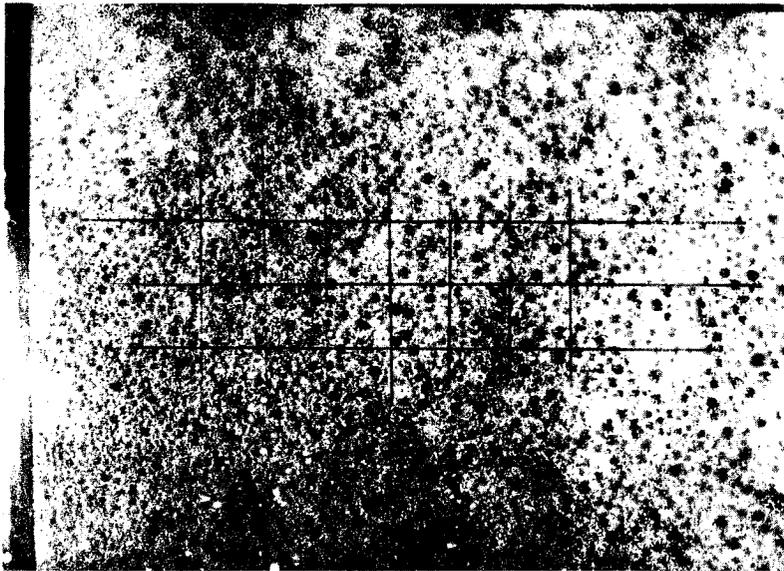


Bild 19 Ansicht eines Schaumes beim Austritt aus dem Strahlrohr  
Der Abstand zwischen den Rasterlinien entspricht 1 mm