# AGF

# BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

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

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

#### ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

AGF

# Forschungsbericht Nr.1

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

> von Dipl.-Ing. R.John

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

> Karlsruhe November 1967

# INHALTSVERZEICHNIS

			Seite
1.	EINLEITUNG		
2.	AUFGABENSTELLUNG		2
3.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		3
3.1.	Schaumerzeugung		3
3.1.1.	Labormäßig erzeugter Schaum	-	3
3.1.2.	Betriebsmäßig erzeugter Schaum		3
3.2.	Schaumentnahme		4
3.3.	Bestimmung der Verschäumungszahl		6
3.4.	Schaumstabilität		7
3.5.	Fließfähigkeit		7
3.6.	Abbrandfestigkeit		9
4.	VERSUCHSAUSWERTUNG		10
4.1.	Verschäumungszahl und Schaumstabilität	•	10
4.2.	Fließfähigkeit		16
5.	REPRODUZIERBARKEIT DER MESSERGEBNISSE		17
5.1.	Verschäumnungszahl		17
5.2.	Wasserhalbwertszeit		17
5.3.	Fließfähigkeit		18
6.	ZUSAMMENFASSUNG		18
7.	LITERATURVERZEICHNIS		21
8.	BILDER		23

#### 1. EINIEITUNG

146

Die Löschwirkung eines Schaumesergibt sich durch das gleichzeitige Auftreten eines Kühl- und eines Stickeffektes. Von der Art des brennenden Stoffes hängt es ab, welcher Effekt auf den Löschvorgang den größeren Einfluß ausübt [1].

Die Kühlwirkung des Schaumes beruht darauf, daß bei seinem langsamen Zerfall das aus ihm austretende Wasser die Temperatur der darunterliegenden Schicht senkt. Liegt die Temperatur dieser Zone über 100°C, so wird dem Brennstoff zusätzlich die Verdampfungswärme des Wassers entzogen. Der Stickeffekt kommt dadurch zustande, daß infolge der sich über der Brandoberfläche ausbreitenden Schaumdecke einerseits der Zutritt des Luftsauerstoffs zum Brandherd verhindertund andererseits die brennende Dampfphase von der flüssigen bzw. festen Brennstoffphase getrennt wird.

Nach Brunswig [2] kann die Schaumgüte weitgehend durch folgende vier Kenngrößen gekennzeichnet werden:

- 1) das spezifische Schaumgewicht bzw. die Verschäumungszahl
- 2) die Schaumstabilität
- 3) die Schaumfließfähigkeit
- 4) der Abbrandwiderstand.

Die Kenngrößen 1) und 2) bestimmen hauptsächlich den Kühleffekt, während 3) und 4) vorwiegend den Stickeffekt erfassen.

Um die Löschwirksamkeit verschiedener Schäume untereinander vergleichen zu können, müssen also diese vier Kenngrößen bekannt sein. Zur Ermittlung dieser Größen sind sehr unterschiedliche Methoden angewendet worden. Schon bei der Schaumentnahme für die Probe gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ein Beispiel dafür sei die in [3] angegebene Art der Probenentnahme. Hier wird der Schaum nach dem Auftreffen auf ein geneigtes Blech aufgefangen.

Von den bisher durchgeführten Untersuchungen seien nur die Arbeiten [4], [5] und [6] erwähnt. In [7] ist eine Methode zur

Untersuchung der Fließfähigkeit beschrieben, bei der sich ein abgemessenes Schaumvolumen frei auf einer Fläche ausbreiten kann. Eine Meßmethode zur Bestimmung der Abbrandfähigkeit von Schaum bei direkter Flammenberührung ist in [8] angegeben.

Bei all den angeführten Methoden wurden verschiedene Meßgeräte mit unterschiedlichen Probemengen verwendet. Angaben über den günstigsten Schaum können deshalb nicht unbedenklich miteinander verglichen werden.

#### 2. AUFGABENSTELLUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, für den Einsatzdienst der Feuerwehren einfache Untersuchungsmethoden zu entwickeln, mit denen die Brauchbarkeit von Schaummitteln,z.B. nach langer Lagerung, Frosteinwirkung, bei vermuteter Verdickung oder Verdünnung,überprüft werden kann. Ebenso sind Verfahren notwendig,um die Leistung von Schaumerzeugern (Schaummenge, Verschäumungszahl usw.)festzustellen.

Veränderungen der Schaummittelqualität sind durch einen Vergleich der Schaummittelkennzahlen, die vor und nach der Lagerung ermittelt werden, feststellbar.

Die von Brunswig entwickelten Meßverfahren zur Bestimmung der obenerwähnten Schaumkenngrößen werden heute allgemein zur Untersuchung von Luftschäumen herangezogen, ohne daß ihre Entwicklung soweit abgeschlossen ist, daß sie eindeutige Aussagen über den Schaum und seine Löschwirksamkeit zulassen. Dies ist vor allen Dingen darauf zurückzuführen, daß die Untersuchungen in der Regel an labormäßig erzeugten Schäumen durchgeführt werden, deren Eigenschaften aber nicht immer mit den betriebsmäßig hergestellten Schäumen übereinstimmen. Dies ist eine Folge davon, daß Aussehen und Güte eines Schaumes außerordentlich stark von der Art der Herstellung, d.h. sowohl von der Konstruktion und Größe der benutzten Verschäumungsapparatur als auch von den Arbeitsbedingungen abhängen, unter denen der Schaum entsteht.

Um diese Fragen zu klären, sollten daher die vier Schaumkenngrößen an Schaumproben sowohl von betriebs- als auch labormäßig erzeug- ten Schäumen ermittelt und die gemessenen Werte miteinander verglichen werden.

Für die Ermittlung der Verschäumungszahl, der Schaumstabilität und der Fließfähigkeit wurden Meßvorrichtungen vorgesehen, die sich weitgehend an die bewährten, von Brunswig entwickelten Meßverfahren anlehnen.

Vor einer eingehenden Untersuchung der Schaumerzeuger wurden zunächst in dieser Arbeit die in [9] angedeuteten Einflüsse der Probenentnahme und der geometrischen Abmessungen der Probenbehälter
auf die Schaumkennzahlen untersucht. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von Schaumerzeugern wird auf die sehr ausführlichen Untersuchungen von Wilke [10] verwiesen, der verschiedene Typen von
Schaumrohren mit einer Durchflußleistung von 200 1/min untersucht hat.

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

#### 3.1. Schaumerzeugung

#### 3.1.1. Labormäßig erzeugter Schaum

Der labormäßig erzeugte Schaum wurde mit einem handelsüblichen Laborschaumrohr hergestellt, das eine Nennleistung von ca. 20 l Schaumlösung/min hatte. Die vorgemischte Lösung wurde einem Druckbehälter mittels Preßluft entnommen (Bild 1). Der Druck vor dem Schaumrohr konnte auf  $^{+}$  0,05 atü genau eingestellt werden. Im Durchschnitt betrug die Temperatur der Lösung vor dem Schaumrohr 19°C.

#### 3.1.2. Betriebsmäßig erzeuger Schaum

Aus räumlichen und betriebsbedingten Gründen wurden die Versuche mit betriebsmäßig erzeugtem Schaum bei der Berufsfeuerwehr der Stadt Mannheim durchgeführt. 1) Verwendet wurde zur Schaumerzeugung

<sup>1)</sup> Für die bereitwillige Unterstützung bei diesen Schaumuntersuchungen sei der Berufsfeuerwehr der Stadt Mannheim gedankt.

ein handelsübliches Schaumrohr mit einer Nenneistung von 200 l Schaumlösung pro min. Auch hier hat man mit einer vorgemischten Lösung gearbeitet, die in einem Tankwagen angesetzt wurde. Mit einer TS 8 wurde durch Drehzahl- und Drosselregelung der erforderliche Druck eingestellt (Bild 2). Die erzielte Genauigkeit für den Druck betrug <sup>±</sup> 0,2 atü. Als mittlere Wassertemperatur ergab sich ein Wert von 18°C.

In beiden Fällen, d.h. sowohl bei dem Labor- als auch bei dem Betriebsschaum, wurde für die Schaummittellösung Trinkwasser verwendet.

## 3.2. Schaumentnahme

Die Schaumentnahme hat einen entscheidenden Einfluß auf die zu messenden Schaumkenngrößen. Wie bei den Versuchen von Brunswig [4] wurde auch hier der Schaum unmittelbar am Schaumrohraustritt durch eine Sonde entnommen. Um eine möglichst schnelle und gleichmäßige Füllung mehrerer Behälter nacheinander zu gewährleisten, wurde die in Bild 3 gezeigte Entnahmevorrichtung entwickelt. An Hand von Bild 4 soll diese Vorrichtung erläutert werden. Auf einem Rahmen ist das in einer in drei Raumrichtungen verstellbaren Halterung gelagerte Schaumrohr 1 befestigt. Von dem austretenden Schaumstrahl wird durch die Sonde 2 Schaum zum Füllen des Behälters 3 entnommen. Der mittlere Teil der Sonde besteht aus einem flexiblen Schlauch. Damit ist es möglich, das Austrittsende der Sonde von der Füllstellung in die gestrichelt gezeichnete Lage zu bringen, wo der entnommene Schaum frei ablaufen kann. Die einzelnen Behälter werden mit einem Drehverschluß in den Halteplatten 4 befestigt, die in den Führungsschienen 5 laufen. Durch diese Anordnung müssen bei Probebehältern mit verschiedenen Durchmessern nur die leicht herzustellenden Halteplatten ausgewechselt werden. Zur gleichmäßigen Füllung der Behälter ist es erforderlich, über den Meßbehältern einen Totraum vorzusehen, um diesen weiter mit Schaum füllen zu können, der anschließend als "verlorener Kopf" abgestreift wird. Beide Aufgaben, Aufnahme des verlorenen Kopfes und Abstreifen, übernimmt der auf Rollen quer zu den Führungsschienen 5 laufende Wagen 6.

Das Füllen der einzelnen Behälter erfolgt nun so:

Der Behälter 5 und der Wagen 6 befinden sich in der gezeichneten

Stellung. Nach einer ausreichenden Vorlaufzeit wird das nach außen
gelegte Ende der Entnahmesonde in die Füllstellung (ausgezogene

Lage) geschwenkt. Ist nach dem Behälter auch der Totraum über dem
Behälter bis zu einer festgelegten Höhe gefüllt, so wird das Ende
der Sonde wieder nach außen gelegt. Der Wagen wird nun bis zur

Endstellung auf die andere Seite seiner Führung geschoben. Dabei
wird der zusätzlich eingefüllte Schaum abgetragen und gleichzeitig
der Behälter sauber abgestrichen. Der nächste Behälter kann nun
in diese Lage geschoben werden. Beim Füllen des zweiten Behälters
kann der erste aus der Halteplatte genommen werden. Für einen 10 ltr.
Behälter ist eine Zeit von ca. 20 s von Füllbeginn bis zur Entnahme
aus der Halteplatte erforderlich.

Mit der in den Bildern 5 und 6 gezeigten einstellbaren Halterung hat man die Möglichkeit, aus jeder Stelle des Schaumstrahls die Proben zu entnehmen und gleichzeitig den Abstand vom Schaumrohraustritt zur Sonde zu verändern.

Über eine Rollenkette werden gleichzeitig alle 4 Führungen für die Höhenverstellung durch eine Gewindestange gehoben bzw. gesenkt. Dadurch bleibt die horizontale Lage des Schaumrohres erhalten.

In Bild 5 ist das vor das Schaumrohr gesetzte Rohrstück zu sehen, an dem sich ein Temperatur- und Druckmeßstutzen befindet. Das Manometer selbst ist neben der TS 8 zur genauen Druckregelung aufgestellt (Bild 2).

Der Eintrittsquerschnitt der Sonde wurde so gewählt, daß bei 5 atü Druck ca. 100 l Schaum pro min entnommen werden. Aufgrund von vorangegangenen Versuchen wurde der Querschnitt so erweitert, daß die Geschwindigkeitsumsetzung im Rohr den erforderlichen Druck zum Überwinden der Reibungswiderstände aufbringt. Durch diese Maßnahme wurde, wie Bild 7 zeigt, ein Stau vor der Sondenöffnung vermieden. Bild 8 zeigt das Füllen eines Behälters mit 449 mm lichten Durchmesser und 322 mm Höhe. Beim Laborschaumrohr wurde die gesamte,

erzeugte Schaummenge zur Prüfung herangezogen (siehe Bild 1).

# 3.3. Bestimmung der Verschäumungszahl

Die Verschäumungszahl S ergibt sich aus dem Verhältnis von erzeugtem Schaumvolumen zu der hierfür aufgewendeten Schaummittellösung.

$$S = \frac{\text{Schaumvol.}}{\text{Lösungsvol.}} \left[\frac{1}{1}\right]$$
 (1)

Die Bestimmung von S wurde gravimetrisch durchgeführt.

Das Schaumvolumen ist festgelegt durch die Abmessungen des Probenbehälters. Das Volumen des Schaummittels kann aus dem Schaumgewicht ermittelt werden, wenn die Dichte der Schaummittellösung bekannt ist. Bei einer Konzentratdichte von 1,18 kg/l erhält man für die Schaummittellösung mit 5 % Zumischung eine Dichte von  $\rho_{\rm L}$  = 1,009 kg/l. Wird der Fehler von weniger als 1 % vernachlässigt, so kann für die Dichte der Lösung  $\rho_{\rm L}$  = 1 kg/l gesetzt werden. Die im Schaum gebundene Luft geht nur dann in das Gewicht des Schaumes mit ein, wenn sich ihre Dichte von der Dichte der Umgebungsluft unterscheidet. Die hierdurch hervorgerufenen Abweichungen sind jedoch in jedem Falle unbedeutend. Es kann also mit  $\rho_{\rm L}$  = 1 kg/l für die Schaummittellösung gerechnet werden. Die Schaummittellösung wird im Folgenden auch kurz als Wasser bezeichnet.

Aus dem Schaumgewicht  ${\tt G_S}$ , d.h. der Differenz zwischen vollem und leerem Behälter, ergibt sich das Lösungsvolumen  ${\tt V_L}$  zu:

$$V_{L} = \frac{G_{S} [kg]}{\rho_{L} [kg/l]} = \frac{G_{S} [kg]}{1 [kg/l]}$$
 (2)

Die Dichte des Schaumes ergibt sich aus dem Schaumvolumen  ${\tt V}_{\rm S}$  und dem Schaumgewicht  ${\tt G}_{\rm S}$  wie folgt:

$$\rho_{S} = \frac{G_{S}}{V_{S}} \left[\frac{kg}{1}\right] \tag{3}$$

Mit der vereinfachten Annahme, daß  $\rho_{\rm L}=1$  kg/l sein soll, ergibt sich nachstehender Zusammenhang zwischen der Verschäumungszahl und der Schaumdichte:

$$S = \frac{1}{\rho_S} \left[ \frac{1}{1} \right] \tag{4}$$

# 3.4. Schaumstabilität

Als Kenngröße für die Schaumstabilität wird in den meisten Fällen die Wasserhalbwertszeit angegeben, d.h. die Zeit in der gerade 50 % der zur Herstellung des Schaumes benötigten Lösung (Wasser und Schaummittel) ausgefallen sind.

Bestimmt werden kann dieser Wert so, daß man die Menge des sich unten im Probebehälter abgesetzten Wassers in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt und daraus dann den 50 %-Wert rechnerisch oder graphisch bestimmt. Dieses Verfahren ist aber besonders bei großen Behälterdurchmessern und kleinen Schaumhöhen sehr ungenau. Zu besseren Ergebnissen kommt man, wenn die ausgefallene Flüssigkeit in einem Meßzylinder aufgefangen wird. Versuche mit engen Meßbehältern haben gezeigt, daß der Verlauf des Wasserausfalles nicht verändert wird, wenn das aus dem Schaum ausgefallene Wasser abgelassen wird.

Um ein einwandfreies Ablassen der ausgefallenen Lösung zu erreichen, und um Verluste der Lösung vor dem Meßvorgang zu vermeiden, wurde das in Bild 9 gezeigte Ablaßventil mit angeschraubtem Filter aus gesinterten Rotgußkugeln in jeden Behälter eingebaut.

Das in den Boden eingeklebte Anschlußstück 1 ist als Kugelventil ausgebildet. Die Kugel 2, die durch den Bügel 3 in der Bohrung gehalten wird, verschließt die Öffnung so lange, bis der in den Filter 4 eingeklebte Stift 5 beim Einschrauben diese anhebt. Der Filter wird erst eingeschraubt, wenn nach demWiegen des Behälters mit der Messung des Wasserausfalles begonnen wird. Bild 10 zeigt die aufgestellten Behälter mit angeschraubtem Filter zur Bestimmung des Wasserausfalles.

#### 3.5. Fließfähigkeit

Zur Bestimmung der Fließfähigkeit wird eine auf den Versuchen von Brunswig [4] beruhende Anordnung verwendet. Als Kenngröße für die Fließfähigkeit wird die Fläche genommen, die ein aus einem Be-

hälter von 144 mm lichtem Durchmesser und 450 mm Höhe auslaufende Schaummenge auf einer ebenen, glatten Unterlage einnimmt.

Der Versuchsaufbau für diese Untersuchung ist in Bild 11 skizziert. Hauptbestandteil ist eine runde Plexiglas-Platte 1 mit einem Durchmesser von 1,2 m. Zur besseren Auswertung ist diese Platte auf der unteren Seite durch eingeritzte konzentrische Kreise in Ringflächen von je 0,1 m<sup>2</sup> eingeteilt.

Der auf seine Fließfähigkeit zu untersuchende Schaum wird in Behälter 2 in der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Weise abgefüllt. Bei diesem Behälter kann jedoch der Boden 3 von der Hülse abgezogen werden. Mit der im Boden 3 befestigten Schraube wird der ganze Behälter im Zentrum der Plexiglasplatte befestigt. Die eingehängte Führung 4 dient hierbei zum genauen Zentrieren des Behälters und als Anschlag beim Abziehen der Hülse.

Zu einer bestimmten Zeit nach Beginn der Füllung, die bei diesen Versuchen jeweils auf 1 min festgesetzt wurde, wird die Hülse gleichmäßig bis zum Anschlag hochgezogen, so daß sich der Schaum frei auf der völlig glatten, trockenen Platte ausbreiten kann.
15 s bleibt die Hülse in dieser angehobenen Stellung und wird dann mit der Führung abgenommen. Die an der Hülse noch anhaftenden Schaumreste entsprechen ca. 4 % des gesamten Schaumgewichtes in dem Behälter. Nach einer weiteren Minute wird dieser "Schaumkuchen" mit der am Rahmen des Versuchsaufbaues befestigten Sofort-Bildkamera 5 zur genauen Bestimmung der Ausbreitungsfläche fotografiert.

Die Bilder 12, 13 und 14 zeigen die einzelnen Stufen dieser Untersuchung.

Den auf die Platte aufgesetzten Behälter mit den Zentrierrahmen zeigt Bild 12. Bild 13 ist im Augenblick des Hochziehens der Hülse aufgenommen worden. Es zeigt, wie der Schaum aus der Hülse fließt und sich auf der Platte ausbreitet. Der stabilisierte Schaumkuchen ist in Bild 14 abgebildet, das ca. 2,5 min nach dem Füllbeginn bzw. 1,5 min nach dem Hochziehen der Hülse aufgenommen wurde. Bild 15 stellt einen mit der Sofort-Bildkamera fotografierten "Schaumkuchen" dar. Alle Aufnahmen dieser Art wurden 1 min nach

dem Hochziehen der Hülse aufgenommen, da es sich gezeigt hat, daß bei normalen Zumischungen und Drücken nach dieser Zeit keine weitere Ausbreitung des Schaumes mehr erfolgt. Auch das austretende Wasser veränderte die Fläche nicht. Die beim Auslaufen eines besonders steifen Schaumes entstandene Fläche zeigt Bild 16.

## 3.6. Abbrandfestigkeit

Zur Bestimmung der Abbrandfestigkeit eines Schaumes wurden im Rahmen dieser Untersuchungen verschiedene Methoden ausprobiert, die jedoch noch zu keiner eindeutigen Kennzahl führten.

Eine Meßmethode ging davon aus, den CO<sub>2</sub>-Durchgang durch eine von einer Seite beflammten Schaumschicht zu messen. Diese Versuche wurden jedoch von der starken Wasserdampfentwicklung sehr gestört. Für die weiteren Versuche dieser Art soll die in Bild 17 skizzierte Anordnung benutzt werden.

Hierbei wird die Schaumprobe in dem von unten in den Ofen 1 eingesetzten Behälter 2 einer darüber brennenden Azetylen-Sauerstoff-Flamme eines mit Wasser gekühlten Büschelbrenners 3 ausgesetzt. Unter der Schaumprobe wird im Raum 4 durch die Pumpe 5 ein Unterdruck erzeugt, der die Rauchgase durch den Schaum saugt. Die abgesaugten Gase werden im Gasanalysator 6 auf ihren CO<sub>2</sub>-Gehalt untersucht, der von einem Schreiber 7 registriert wird. Eine konstante Wärmebelastung der Probe wird durch die Gasdurchflußmesser 8 und die Regulierventile 9 erreicht.

Eine weitere Methode, die geprüft wurde, zeigt Bild 18. Der mit der Sonde entnommene Schaum wird über eine Rinne einem beheizten Tunnel zugeleitet. Der Schaum gleitet in diesem über ein ca. 500°C warmes Blech und wird an der Oberseite von einer darüberstreichenden Flamme beaufschlagt. Die Abbrandverluste, die sich durch eine längere Füllzeit des Auffangbehälters von 50 l Inhalt im Vergleich zur Füllung bei unbeheiztem Tunnel bemerkbar machten, waren jedoch gering. Aus den Füllzeiten, im Fall des unbeheizten Tunnels ca. 27 s, im Fall des beheizten ca. 30 s, ergab sich nur ein Abbrandver-

lust von etwa 11 %. Diese Abbrandverluste sind aber als exakte Meßgrößen für die gesuchte Kennzehl zu klein.

#### 4. VERSUCHSAUSWERTUNG

#### 4.1. Verschäumungszahl und Schaumstabilität

Die Versuche mit den Behältern mit einer Höhe von 320 mm und verschiedenen Durchmessern wurden durchgeführt, um einen evtl. vorhandenen Einfluß des Behälterdurchmessers auf die Verschäumungszahl und die Wasserhalbwertszeit zu überprüfen. Für den mit einem 200 l Schaumrohr bei 6 und 8 atü erzeugten Schaum gibt Bild 19 die bei diesen Versuchen gemessenen Werte wieder. Aus ihnen geht hervor, daß eine Abnahme der Verschäumungszahl mit zunehmendem Behälterdurchmesser erfolgt. Im gleichen Maße steigt die Wasserhalbwertszeit  $T_h$  mit wachsendem Durchmesser an. Diese Veränderungen sind auf den Wandeinfluß der Meßbehälter zurückzuführen. Hinsichtlich der Verschäumungszahl S bedeutet die Wandhaftung des Schaumes eine Auflockerung, da der Schaum sich in Wandnähe nicht so absetzt, wie es seiner Festigkeit und seinem Gewicht entspricht. Mit steigendem Durchmesser läßt der Einfluß der Randzone auf die gesamte Schaummasse nach.

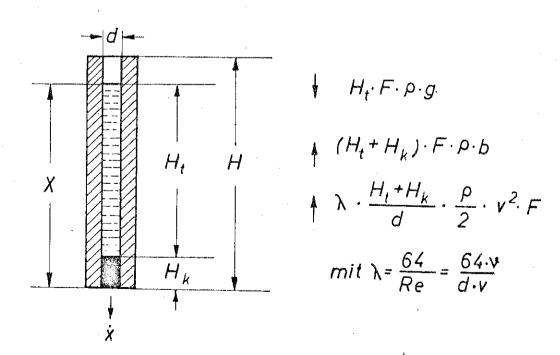
Bei kleinen Behälterdurchmessern bewirkt die an der Wand leichter ablaufende Flüssigkeit, die zwischen den Blasen eingelagert ist, eine Verkürzung der Wasserhalbwertszeit. Auch hier wird dieser Wandeinfluß bei großen Durchmessern unbedeutend.

Wird bei einem konstanten lichten Behälterdurchmesser von 449 mm die Behälterhöhe (Schaumschichtdicke) verändert, so ergibt sich der in Bild 20 gezeigte Verlauf der Verschäumungszahl S und der Wasserhalbwertszeit Th über der Behälterhöhe. Der Einfluß auf die Verschäumungszahl ist hierbei gering. Einen wesentlichen Einfluß hat jedoch die Schichthöhe auf die Wasserhalbwertszeit. Bei sehr kleinen Schaumhöhen wird, wie dies Bild 20 zeigt, die Wasserhalbwertszeit überhaupt nicht erreicht. Mit steigender Behälterhöhe nimmt die Wasserhalbwertszeit zunächst ab, um dann wieder anzusteigen. Das Minimum der Halbwertszeit liegt bei ca. 90 mm Schaumhöhe.

Zur Erklärung des Wasserausfalles in der Anfangsphase kann folgende Modellvorstellung dienen. Das zwischen den Blasen eingelagerte Wasser läuft durch Kanäle ab, die zwischen den Blasen vorhanden sind. Im idealisierten Fall können diese Kanäle durch eine Kapillare ersetzt werden. Für eine Kapillare kann die austretende Wassermenge  $m_W$  pro Zeiteinheit berechnet werden.

Wird eine Kapillare ganz mit Flüssigkeit gefüllt und anschließend die untere Öffnung freigegeben, so läuft die Flüssigkeitsmenge ab, die der Menge über der kapillaren Steighöhe entspricht. Innerhalb einer Kapillare entsteht immer eine laminare Strömung. Will ein Teil der Flüssigkeit ablaufen, so muß die gesamte Wassermenge in der Kapillare beschleunigt werden. Als beschleunigende Kraft wirkt die Schwerkraft, die an der über der kapillaren Steighöhe befindlichen Masse angreift. Beim Auslauf ändert sich diese Masse und mit ihr gleichzeitig die durchströmte Rohrlänge.

Folgende Kräfte stehen in diesem Fall im Gleichgewicht.



(5)

(6)

(7)

(8)

#### Hierin bedeuten:

H Gesamtlänge der Kapillare

H<sub>K</sub> Kapillare Steighöhe der Flüssigkert

x Zur Zeit T vorhandene Höhe der Flüssigkeitssäule

d Durchmesser der Kapillare

F Querschnittsfläche der Kapillare

ρ Dichte der Flüssigkeit in der Kapillare

V Zähigkeit der Flüssigkeit

b Beschleunigung der Flüssigkeit (x)

g Erdbeschleunigung

v Strömungsgeschwindigkeit (x)

λ Widerstandskoeffizient

Re Reynoldszahl der Strömung

Für diesen Modellfall ergibt sich die folgende Differentialgleichung für die Bewegung der Flüssigkeit:

$$\dot{\mathbf{x}}\mathbf{x} + \frac{32V}{d^2} \dot{\mathbf{x}}\mathbf{x} - g\mathbf{x} = -\mathbf{H}_{\mathbf{K}} \cdot g \tag{9}$$

oder

$$\ddot{x} + \frac{32V}{d^2} \dot{x} = g \left(1 - \frac{H_K}{x}\right)$$
 (10)

Die Differentialgleichung läßt sich nicht exakt lösen. Der Kurvenverlauf könnte jedoch z.B. durch ein Iterationsverfahren mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine gefunden werden.

Die pro Zeiteinheit ablaufende Wassermenge nimmt zwar mit steigender Kapillarlänge ab dem Wert  $H_K$  zu, jedoch nur mit  $\sqrt{H_{\star}}$  Da sich die in Bild 20 aufgetragenen Werte auf die Hälfte der insgesamt vorhandenen Flüssigkeit beziehen, steigt die Halbwertszeit ab einem bestimmten Wert von H an. Bei der minimalen Halbwertszeit liegt das günstigste Verhältnis zwischen Kapillarlänge und kapillarer Steighöhe. Unterschreitet die Kapillarlänge diesen günstigsten Wert, so ist die über der kapillaren Steighöhe befindliche Wassermenge so klein, daß durch sie nur eine kleine Beschleunigung der gesamten Flüssigkeitsmenge erreicht wird. Ist das Verhältnis von Kapillarlänge H zur kapillaren Steighöhe  $H_K$  kleiner

als 2, so wird die Wasserhalbwertszeit nicht mehr erreicht.

In Bild 21 ist der prozentuale Wasserausfall über der Standzeit des Schaumes aufgetragen. Hier sieht man sehr deutlich den großen Einfluß der Behälterhöhe auf diesen Wert. Aus dieser Darstellung können aber keine Rückschlüsse auf die wirklich ausgefallene Wassermenge gezogen werden, die aber für die Kühlwirkung ausschlaggebend ist. Diese, für die Kühlwirkung zur Verfügung stehende, pro Flächeneinheit ausgefallene Wassermenge ist in Bild 22 über der Zeit aufgetragen. Durch den Wasserausfall wird der verbleibende Schaum leichter, d.h. die Verschäumungszahl steigt mit der Standzeit an. Versuche haben gezeigt, daß das Schaumvolumen in der ersten Stunde etwa um das Volumen der ausgefallenen Wassermenge abnimmt. Aufgrund dieser Feststellung wurde die Verschäumungszahl S zur Zeit t auf folgende Weise berechnet:

$$s_{t} = \frac{V_{B} - V_{Lt}}{G_{SL} - V_{Lt} \rho_{L}}. \qquad (11)$$

S. Verschäumungszahl nach der Standzeit t

V<sub>R</sub> Behältervolumen

V<sub>T+</sub> abgesetztes Lösungsvolumen nach der Standzeit t

G<sub>ST.</sub> Gewicht von Schaum und ausgefallener Lösung

 $ho_{
m L}^{}$  Dichte der Lösung

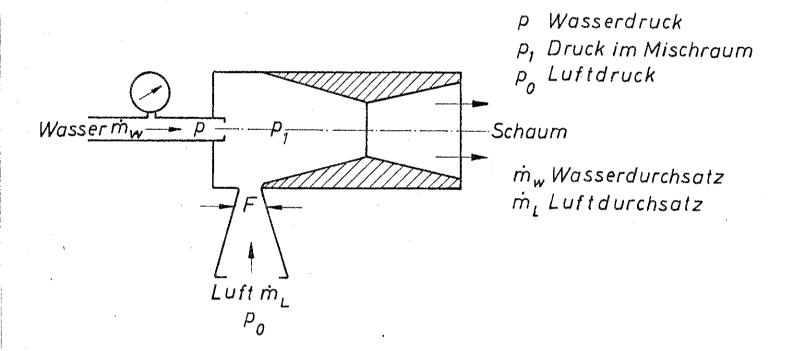
Die so berechneten Werte sind in Bild 23 aufgetragen. Es zeigt die Zunahme der Verschäumungszahl mit der Standzeit infolge des Wasserausfalles bei verschieden hohen Behältern.

Die Bilder 24 und 25 geben den prozentualen und den absoluten Wasserausfall nach 5 min in Abhängigkeit von den Behälterabmessungen an. Bei Bild 24 ist die Behälterhöhe und bei Bild 25 der Behälterdurchmesser konstant gehalten. Besonders bei Bild 25 ist zu erkennen, daß zur Beurteilung der Kühlwirkung von Schäumen nur der absolute, nicht aber der prozentuale Wasserausfall herangezogen werden kann.

Die Abhängigkeit der Verschäumungszahl und der Wasserhalbwertszeit

vom Druck vor dem Schaumrohr ist in den Bildern 26 und 27 dargestellt. In diesen Bildern sind zum Vergleich die Versuchsergebnisse
eingetragen, die sich sowohl für den Schaum aus dem 200 1-Betriebsschaumrohr als auch für den Schaum aus dem Laborschaumrohr (20 1/min)
ergeben haben. Abweichend von den untersuchten Betriebsschäumen
ergab sich, wie aus Bild 26 hervorgeht, für den Laborschaum
bei 3 % Zumischung eine höhere Verschäumungszahl als bei 5 % Zumischung. Diese Tatsache wurde durch mehrere Wiederholungsmessungen bestätigt. Hinsichtlich der nach 5 min ausgefallenen Wassermenge in Abhängigkeit vom Druck steigt Bild 28 einen Vergleich
zwischen Labor- und Betriebsschaum.

Um die Unterschiede im Kurvenverlauf der beiden Schaumarten im Bild 26 zu erklären, muß man sich die Strömungsverhältnisse im Schaumrohr in folgender Weise vorstellen.



Das Wasser wird mit einem in gewissen Grenzen beliebig wählbaren Druck p durch die Düse gepreßt. Die durch die Düse strömende Wassermenge  $\dot{\mathbf{m}}_{W}$  ist aber proportional  $\sqrt{p}$  und kann damit durch den Druck p in jeder Größe eingestellt werden.

$$\dot{m}_{W} \sim \sqrt{p}$$
 (12)

Für die angesaugte Luft gilt zwar dieselbe Beziehung, nur sind. hier Druckdifferenzen, die den Zustrom bewirken, nicht mehr direkt beeinflußbar.

$$\Delta p_{L} = p_{o} - p_{1} . \qquad (13)$$

Dabei ist  $p_0$  der jeweils herrschende Luftdruck und  $p_1$  der Druck im Mischraum. Die einströmende Luftmenge ergibt sich nun zu:

$$\dot{\mathbf{m}}_{\mathbf{L}} = \xi \mathbf{F} \quad \sqrt{\mathbf{p}_{\mathbf{L}}} \quad . \tag{14}$$

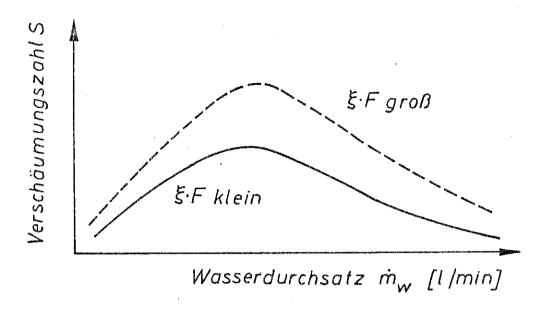
Hierin ist gein die Strömungsverhältnisse im Ansaugrohr kennzeichnender Strömungsbeiwert und F die Lufteintrittsfläche.

Der sich einstellende Druck  $p_1$  ist abhängig von der vom Wasser mitgerissenen Luftmenge  $\dot{m}_L$ . Diese steigt mit zunehmendem Wasserdurchsatz an, wodurch die Verschäumungszahl S zunächst zunimmt. Als kleinsten Wert kann  $p_1$  den Partialdruck des Wassers bei großem Wasserdurchsatz und kleinem  $\xi$  F des Schaumrohres annehmen. Die angesaugte Luftmenge  $\dot{m}_L$  bleibt von diesem Wert an konstant.

Bei einer weiteren Durchsatzsteigerung des Wassers sinkt S also wieder ab. Der Maximalwert von S wird jedoch schon erreicht, bevor die angesaugte Luftmenge den Maximalwert annimmt und zwar bei dem Wasserdruck p, bei dem die angesaugte Luftmenge im Verhältnis zum Wasserdurchsatz den größten Wert aufweist.

Die Lage des Punktes maximaler Verschäumungszahl ist bei Rohren gleicher Wasserleistung verschieden, wenn das Produkt aus  $\xi$  F nicht gleich ist.

Für S ergibt sich also folgender theoretischer Verlauf



Dieser Verlauf kann aber durch die sich mit dem Durchsatz ändernde Zerstäubung des Wassers am Düsenaustritt beeinflußt werden.

# 4.2. Fließfähigkeit

Ein Teil der mit der Sofort-Bildkamera fotografierten Aufnahmen sind in den Bildern 29 bis 32 wiedergegeben.

Bild 29 zeigt den Schaumkuchen bei einer Zumischung von 5 % bei verschiedenen Drücken vor dem Schaumrohr. Dieser Schaum wurde mit dem 200 1-Betriebsschaumrohr erzeugt. Aus Bild 30 ist die unterschiedliche Fließfähigkeit bei einem Schaum mit 3 % und 5 % Zumischung ersichtlich. Als Vergleich zu dem mit dem Betriebsschaumrohr hergestellten Schaum sind in Bild 31 die Schaumkuchen abgebildet, die unter gleichen Bedingungen wie beim Betriebsschaum mit Laborschaum erhalten wurden. Bild 32 zeigt, wie sich das Wasser aus dem Schaum absetzt, ohne daß sich die Größe der Schaumfläche jedoch verändert. In Bild 33 ist die Ausbreitungsfläche sowohl mit dem Betriebs- als auch mit dem Laborschaumrohr erzeugter Schäume in Abhängigkeit vom Druck vor dem Schaumrohr aufgetragen.

Die Fließfähigkeit eines Schaumes, der aus einer 14 Stunden vor der Verarbeitung angesetzten 3 %igen Lösung erzeugt wurde, unterschied sich sehr von derjenigen eines Schaumes, der aus einer frisch angesetzten Lösung hergestellt wurde. Infolge der langen Standzeit der Lösung hatte der Schaum seine stabilisierende Eigenschaft so weitgehend verloren, daß er auf der Plexiglasplatte keinen Kuchen bildete und von der Platte floß. Diesem Meßergebnis sollte also in Bezug auf die stabilisierenden Eigenschaften des Schaumes besondere Beachtung geschenkt werden.

#### 5. REPRODUZIERBARKEIT DER MESSERGEBNISSE

# 5.1. Verschäumungszahl

Bei der Bestimmung der Verschäumungszahl S von Betriebsschaum wurden anhand von Wiederholungsmessungen Differenzen zwischen den einzelnen Werten von maximal 0,2 festgestellt; im Durchschnitt lagen diese allerdings nur bei  $\frac{1}{2}$  0,1. Dies entspricht bei einer Verschäumungszahl von ca. 6,5 einem prozentualen Fehler von maximal 3% und im Durchschnitt von  $\frac{1}{2}$  1,5%.

Für den Laborschaum ergaben sich ähnliche Durchschnittswerte. Die größten Differenzen lagen hier bei 0,15.

# 5.2. Wasserhalbwertszeit

Bei der Ermittlung der Wasserhalbwertszeit ergaben sich anhand von Wiederholungsversuchen für einzelne Messungen sowohl bei Betriebs- als auch bei Laborschäumen je nach Größe der Wasserhalbwertszeit Streuungen der Meßwerte von 1,7 bis 3 min.

Bildet man aus mehreren Einzelmessungen einen Mittelwert, so betragen die Abweichungen von diesen Werten: Bei  $T_{h}$  = 14 min:  $\Delta T_{h} \stackrel{+}{=} 1$  min; das entspricht  $\stackrel{+}{=} 7\%$ .

Bei  $T_{h_{mittel}} = 18,6 \text{ min: } \Delta T_{h} \stackrel{+}{=} 1,5 \text{ min; das entspricht } \stackrel{+}{=} 8 \%.$ 

Die Faktoren, auf deren Einfluß diese verhältnismäßig großen Abweichungen zurückzuführen sind, können bisher noch nicht angegeben werden.

# 5.3. Fließfähigkeit

Das Ergebnis der Messungen wird durch die Art des Hochziehens der Hülse beeinflußt. Eine geringe Streuung der Einzelergebnisse wird nur bei einem mechanischen Anheben der Hülse erreicht werden können.

Die Meßergebnisse streuten in dem hier vorliegenden Fall, bei dem die Hülse nicht mechanisch abgezogen wurde, in folgenden Grenzen:

Bei  $F = 0.29 \text{ m}^2$  :  $\frac{+}{0.022} \text{ m}^2$ ; dies entspricht  $\frac{+}{0.022} \text{ m}^2$ ; dies entspricht  $\frac{+}{0.022} \text{ m}^2$ .

Bei  $F = 0.466 \text{ m}^2$  :  $\frac{+}{0.031} \text{ m}^2$ ; dies entspricht  $\frac{+}{0.022} \text{ m}^2$ .

#### 6. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Charakterisierung eines Schaumes sind die folgenden Kennzahlen ausreichend:

- 1. das spezifische Schaumgewicht bzw. die Verschäumungszahl
- 2. die Schaumstabilität
- 3. die Schaumfließfähigkeit
- 4. der Abbrandwiderstand.

Die Werte dieser Kennzahlen werden stark von der Art der Probenentnahme beeinflußt. Es wurde daher eine Entnahmevorrichtung entwickelt, mit der es, wie die geringe Streuung der Verschäumungszahlen zeigt, möglich ist, reproduzierbare Proben aus einem Schaumstrahl zu entnehmen. Es konnte weiter anhand der Meßergebnisse gezeigt werden. von welch großem Einfluß außerdem die Behälterabmessungen sind. Aufgrund dieser Meßergebnisse läßt sich feststellen, daß, um die Einflüsse der Behälterabmessungen auf die Verschäumungszahl und die Wasserhalbwertszeit möglichst klein zu halten, ein Behälter mit einem lichten Durchmesser von ca. 400 mm und einer Höhe von mindestens 200 mm vorgesehen werden sollte. Für reine Vergleichsmessungen zur Feststellung einer evtl. Veränderung des Schaumkonzentrates genügt es aber, sich auf eine einheitliche Behältergröße festzulegen. Als sehr handliche Behältergrößen empfehlen sich 5 1-Behälter mit 144 mm lichtem Durchmesser und 307 mm Höhe, die bei der Bestimmung des Schaumgewichtes durch Differenzbildung einen Fehler von weniger als ± 1 % ergeben. Die bei der Bestimmung der Wasserhalbwertszeit bisher noch auftretenden starken Streuungen, die auch in [11] erwähnt werden, müßten in anschließenden Versuchsreihen weiter untersucht werden.

Der Vergleich zwischen Betriebs- und Laborschaum hat gezeigt, daß zwischen den entsprechenden Werten sehr große Unterschiede bestehen. Sollen nur Veränderungen von Schaummitteln infolge langer Lagerung oder dgl. festgestellt werden, genügt es, ein Laborschaumrohr zu verwenden. Bei allen Überprüfungen solcher eingelagerten Schaummittel muß allerdings immer das gleiche Schaumrohr verwendet werden, das auch bei den ersten Messungen des frisch eingelagerten Schaummittels benutzt wurde. Der Vorteil von Laborschaumrohren liegt hauptsächlich darin begründet, daß zur Messung der Kenngrößen wesentlich kleinere Schaummittelmengen benötigt werden.

Zur vollständigen Charakterisierung von Schaum ist noch ein Maß für die Abbrandfestigkeit anzugeben. Die bisher durchgeführten Versuche haben zwar erste Aufschlüsse geliefert, ein endgültiges Ergebnis konnte aber noch nicht erzielt werden.

Im Rahmen zukünftiger Untersuchungen sollte nach Festlegung

eines einheitlichen Prüfbehälters die Beeinflussung der Meßwerte durch die Umweltbedingungen untersucht werden.

Von allen frisch eingelagerten Schaummitteln sollten die Kennzahlen aufgestellt werden, um so eine Kontrolle für eine im Laufe der Zeit evtl. auftretende Veränderung zu haben.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Scheichl, L.:

  Brandlehre und chemischen Brandschutz. 2. Auflage.

  Heidelberg: Dr. Alfred Huthig Verlag 1958. S. 339-393.
- [2] Brunswig, H.:

  Neuere Erfahrungen bei der Bekämpfung von Mineralölbränden.

  Erdöl und Kohle, 2 (1949), Nr.5, S.193-199.
- [3] Rivkind, L.E.:

  Testing of Fire-Fighting Foams.

  Quarterly of the NFPA International, 54 (1960),

  Nr. 2, S. 139-150.
- [4] Brunswig, H.:

  Prüfung von Luftschaum und Luftschaumerzeugern.

  Feuerschutztechnik, 3 (1942), S. 2-10.
- [5] Amsel, O.:

  Die Beurteilung von Schaum zur Bekämpfung von Mineralölbränden.
  Öl und Kohle, 12 (1942), Nr.3, S.293-310.
- [6] Daimler, K.:

  Laboratoriumsuntersuchungen über das Ablöschen brennender Öle mit Luftschaum.

  Erdöl und Kohle, 2 (1949), Nr.10, S.457-458.
- [7] 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.
- [8] Nash, P.:

  Recent research on foam in the United Kingdom.

  Quart.Inst. Fire Engrs., 1961, 21(41), S.14-33.
- [9] Brunswig, H.:
  75 Jahre Schaum; 25 Jahre Luftschaum.
  VFDB-Zeitschrift, 1 (1952), Nr. 2, S.72-81.

[10] Wilke, K.:

Untersuchungen an Luftschaumstrahlrohren mit einer Durchflußleistung von etwa 200 l/min zur Bestimmung von Leistungskenngrößen. Brandreferendar-Abschnittsarbeit Nr. 3, Okt.1962.

[11] Scheichl, L.:

Die Prüfung von Luftschaummitteln und Luftschaum. VFDB-Zeitschrift, <u>1</u> (1952), Nr. 1, S.22-34 und Nr. 3, S.116-122.

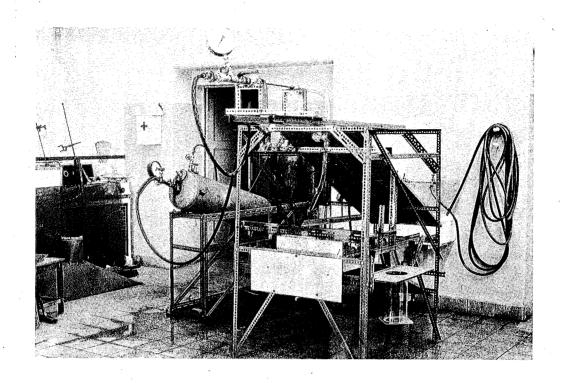


Bild 1. Versuchsaufbau zur Erzeugung von Laborschaum

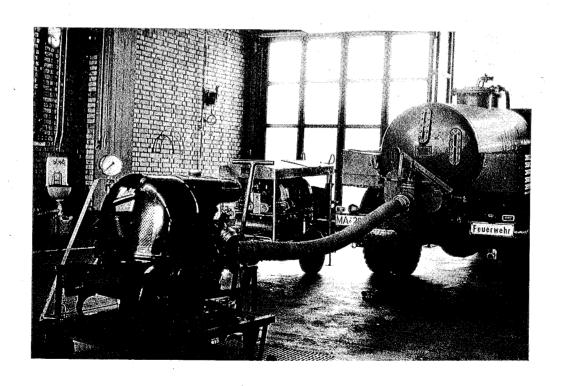


Bild 2. Tank für vorgemischte Lösung mit einer TS 8

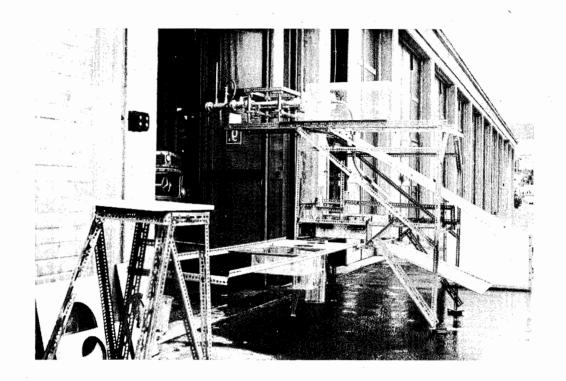


Bild 3. Entnahmevorrichtung für Schaum

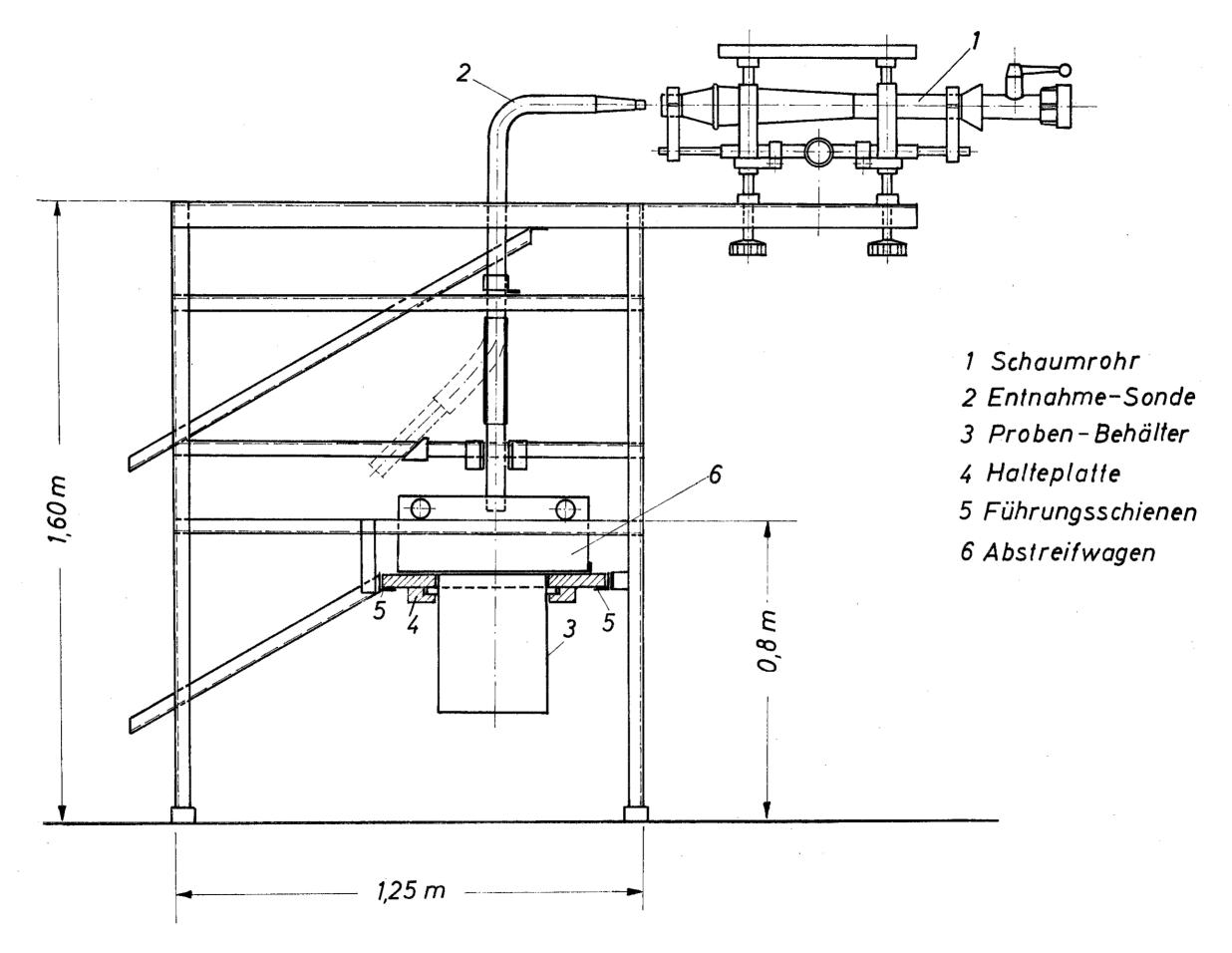


Bild 4. Entnahmevorrichtung für Schaum

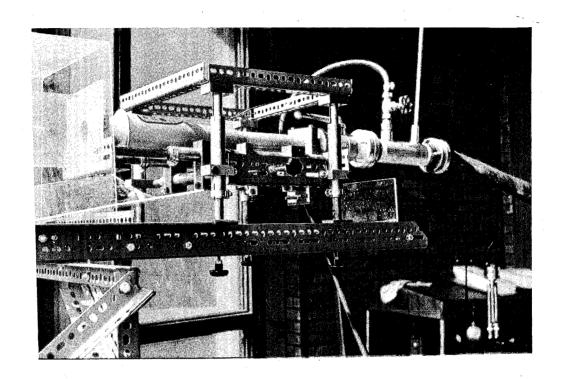


Bild 5. Einstellbare Halterung mit Schaumrohr

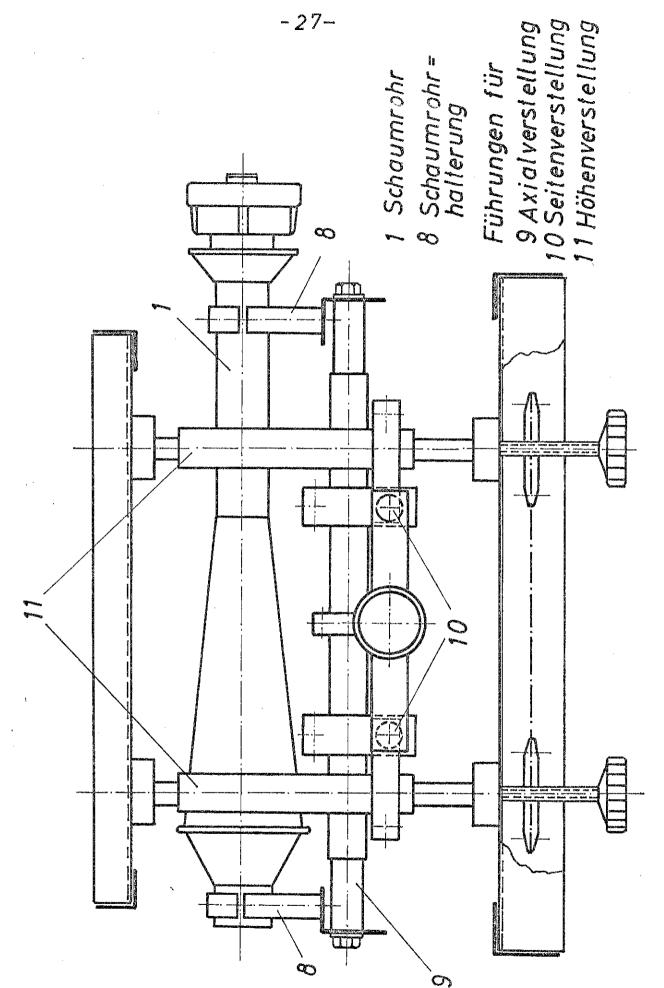


Bild 6. Einstellbare Halterung mit Schaumrohr

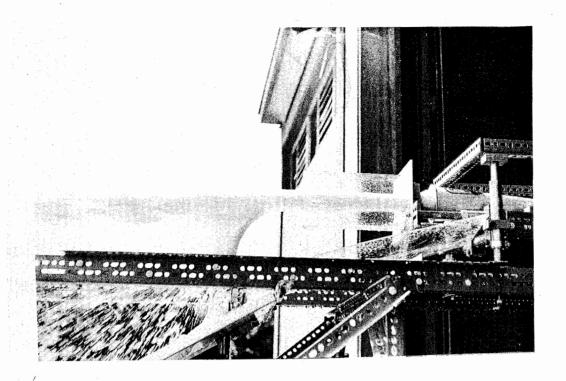


Bild 7. Strömungsverlauf an der Sonde

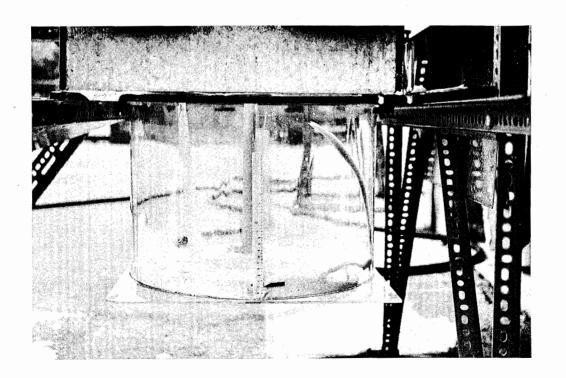


Bild 8. Füllen eines Probenbehälters

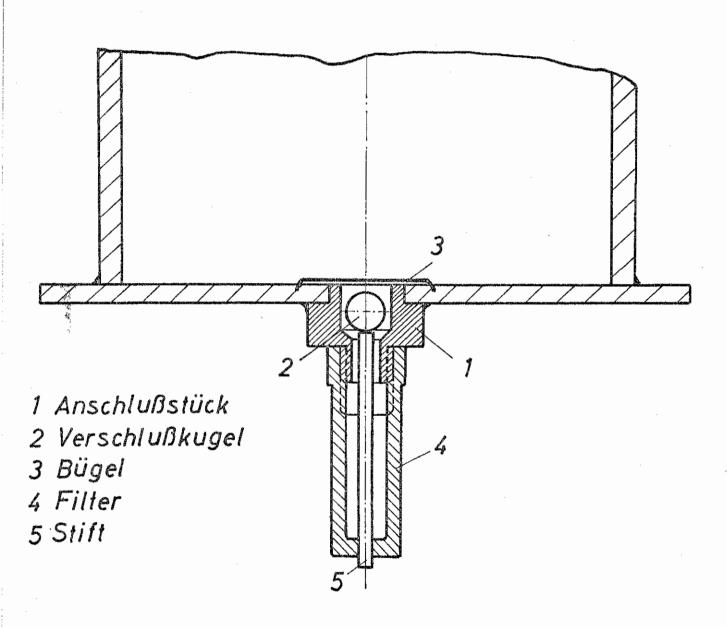


Bild 9. Lösungsablaßventil am Probenbehälter

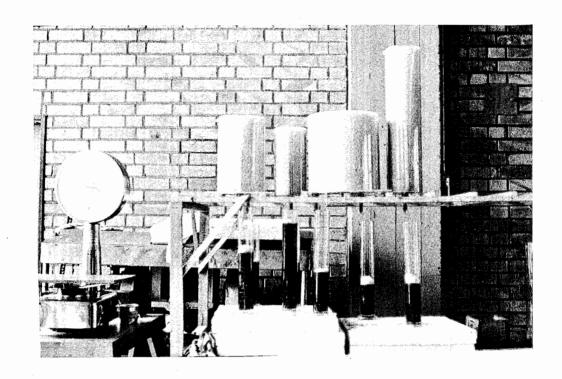


Bild 10. Aufbau zur Bestimmung des Wasserausfalles

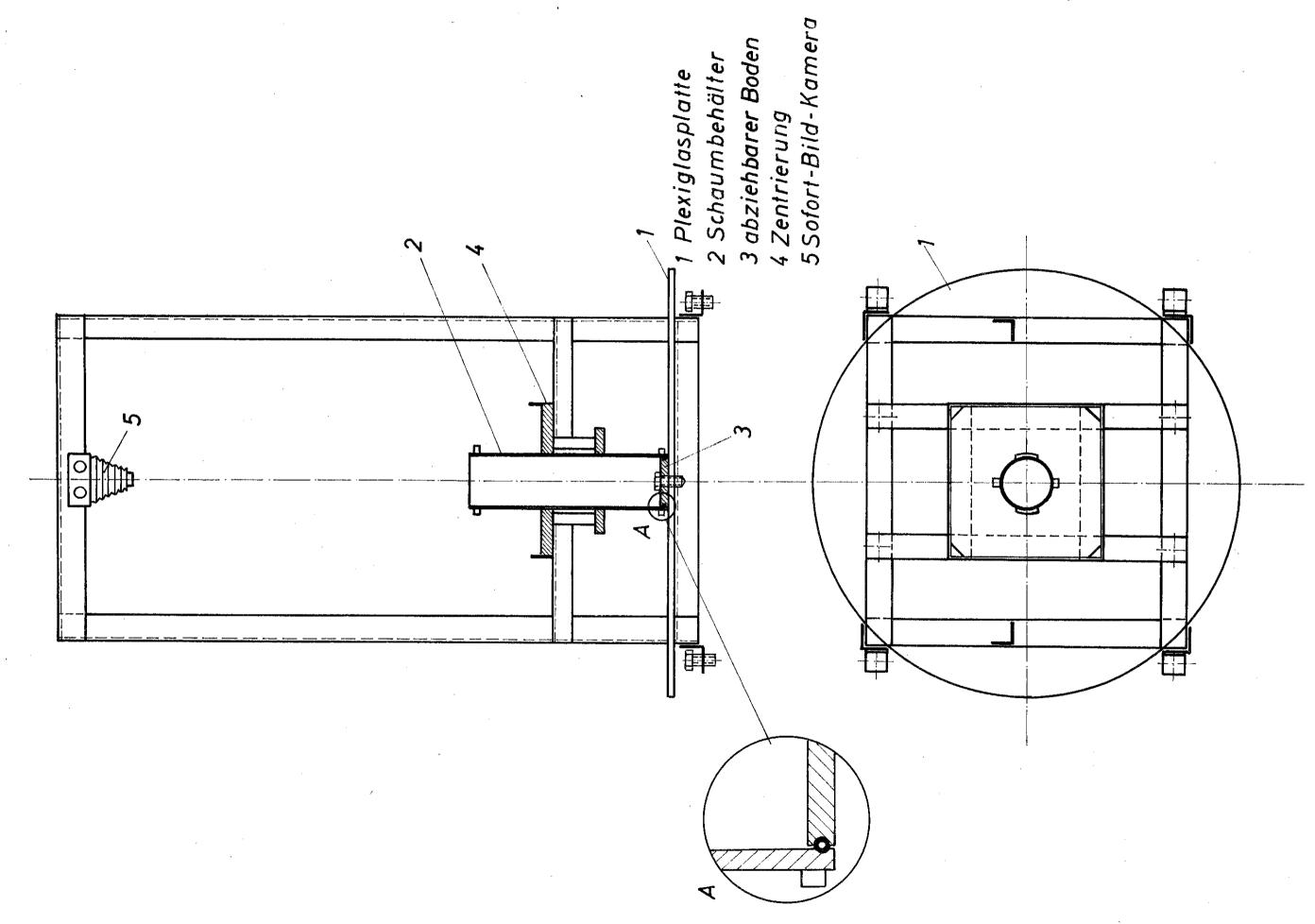


Bild11. Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Fließfähigkeit

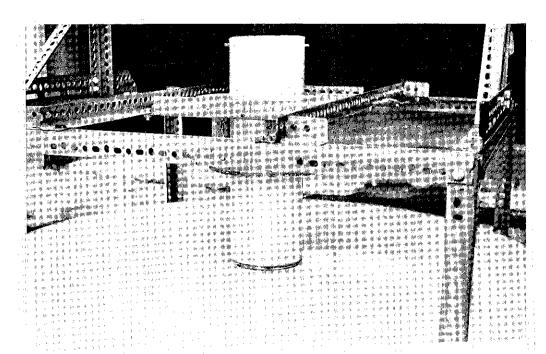


Bild 12. Schaumbehälter auf Platte aufgesetzt

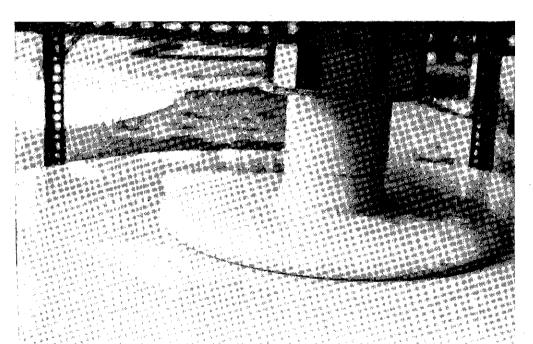


Bild 13.
Ausfließender
Schaum im Augenblick des Abziehens
der Hülse

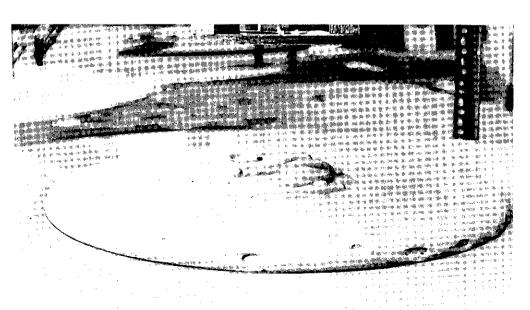


Bild 14. Schaum ca. 1,5 min nach Abziehen der Hülse

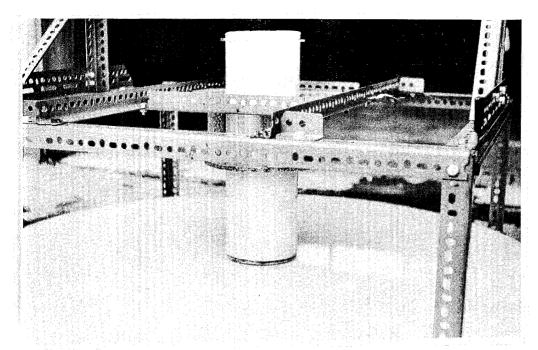


Bild 12. Schaumbehälter auf Platte aufgesetzt

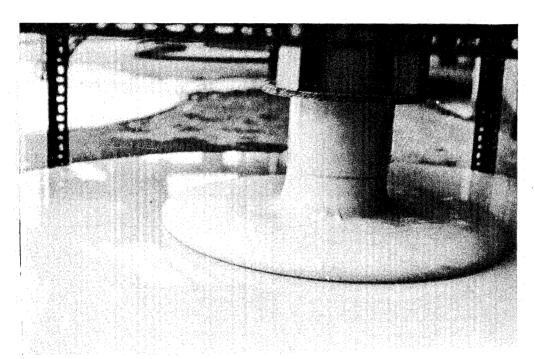


Bild 13.
Ausfließender
Schaum im Augenblick des Abziehens
der Hülse

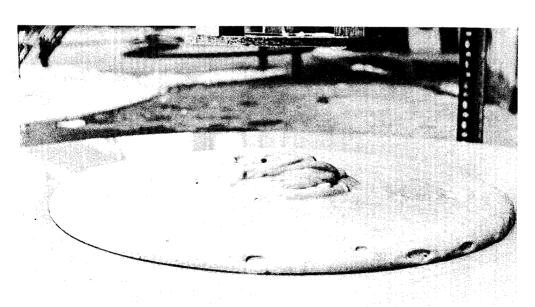


Bild 14.
Schaum ca. 1,5 min
nach Abziehen
der Hülse

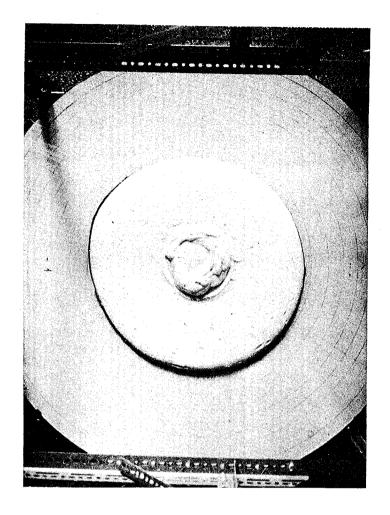


Bild 15.
Schaumkuchen 1 min
nach Abziehen
der Hülse
F = 0,24 m<sup>2</sup>

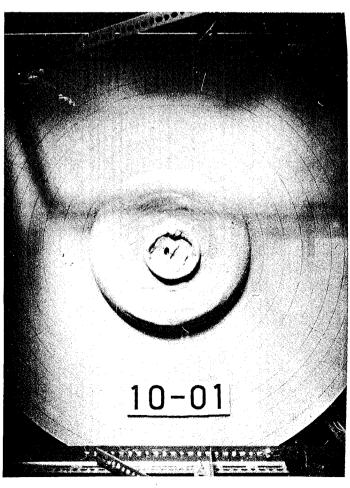


Bild 16.
Ausbreitungsfläche eines besonders steifen Schaumes
F = 0,15 m<sup>2</sup>

Bild 17.

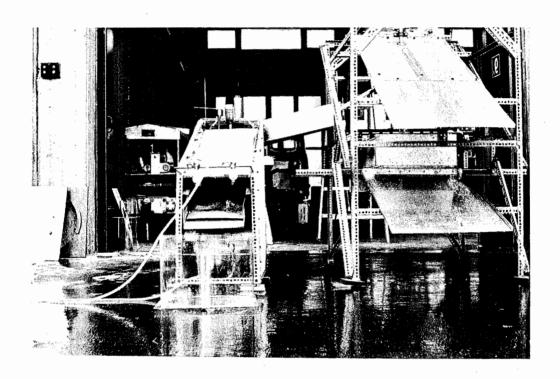


Bild 18. Versuchsaufbau zur Bestimmung der Abbrandfestigkeit

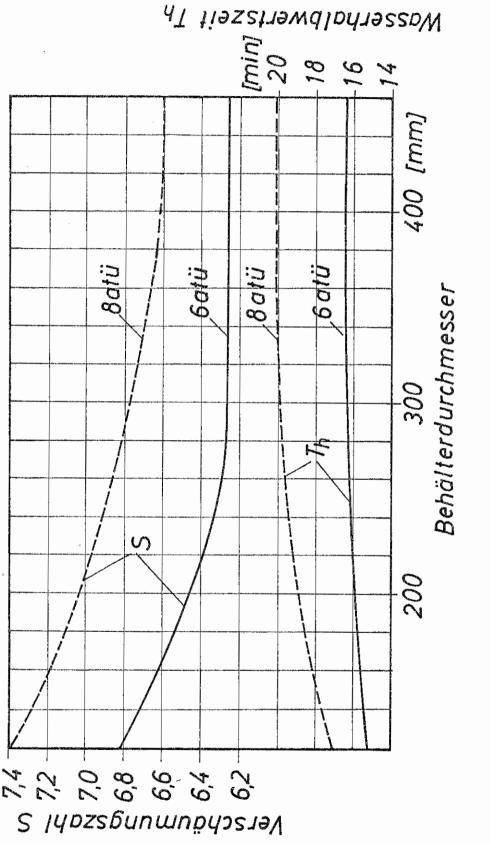


Bild 19. Einfluß des Behälterdurchmessers auf S und  $T_h$  Behälterhöhe = 320 mm, Zumischung 5%

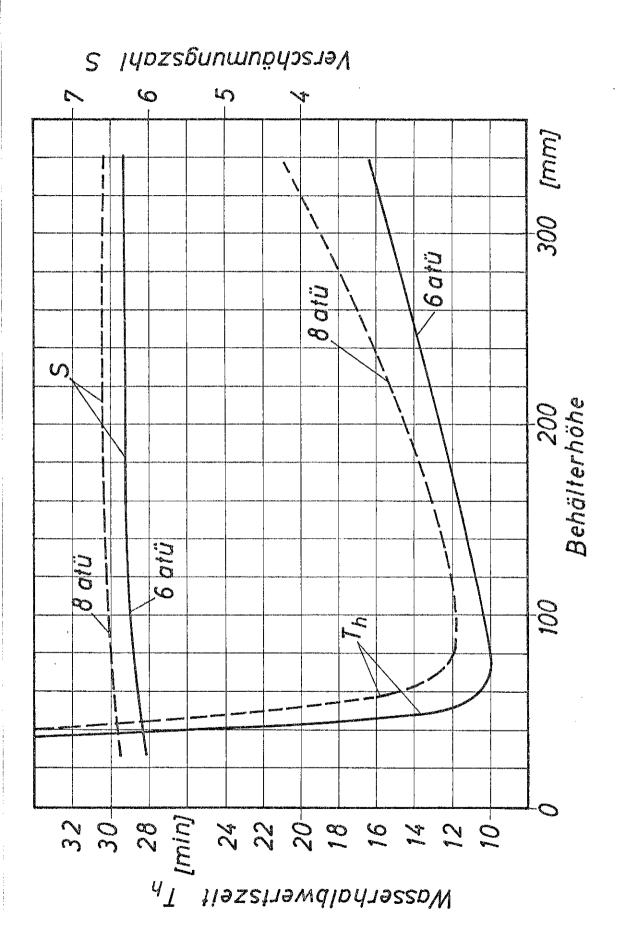


Bild 20. Einfluß der Behälterhöhe auf Sund T<sub>h</sub> Behälterdurchmesser=449mm, Zumischung 5 %

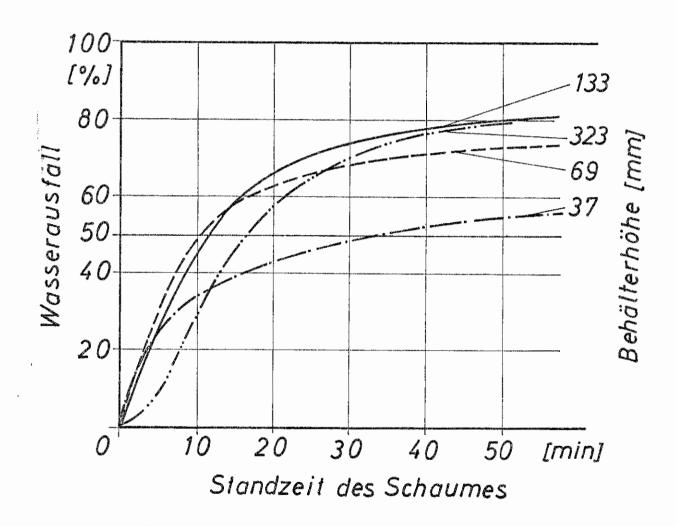


Bild 21. Wasseraus fall in Abhängigkeit von der Standzeit Behälterdurchmesser = 449 mm , Zumischung 5%, Druck 6 atü

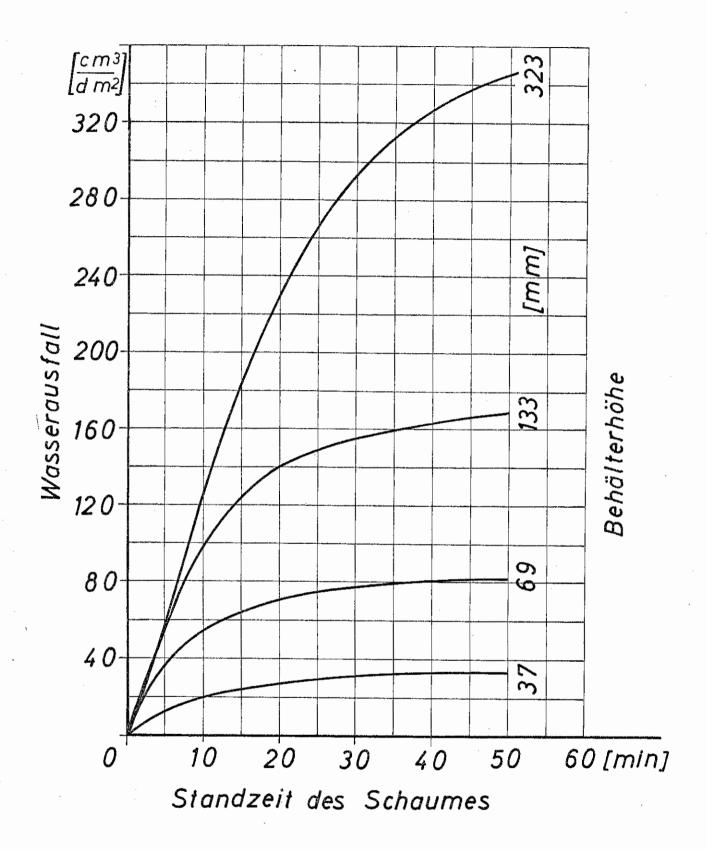
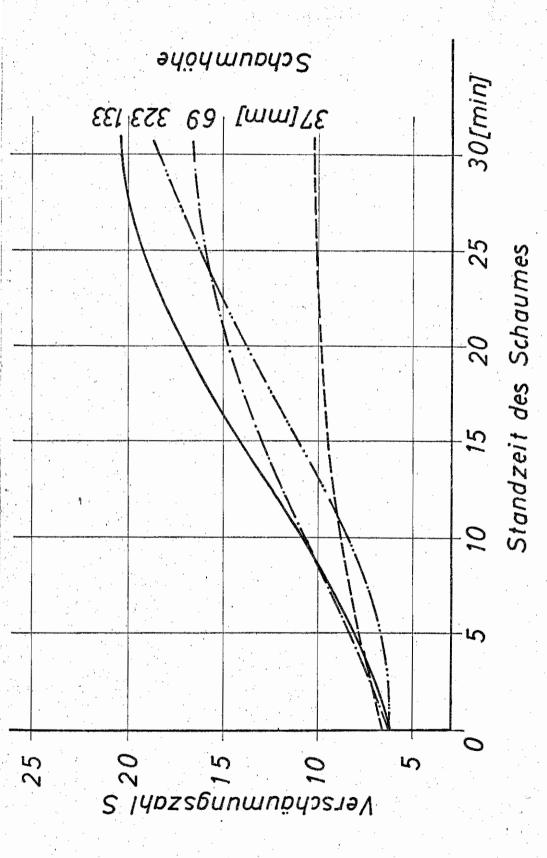


Bild 22. Wasserausfall in Abhängigkeit von der Standzeit Behälterdurchmesser = 449 mm, Zumischung 5%, Druck 6 atü



Behälterdurchmesser = 449 mm, Zumischung 5%, Druck 6atü S in Abhängigkeit von der Standzeit Bild 23.

Wasserausfall nach 5 min

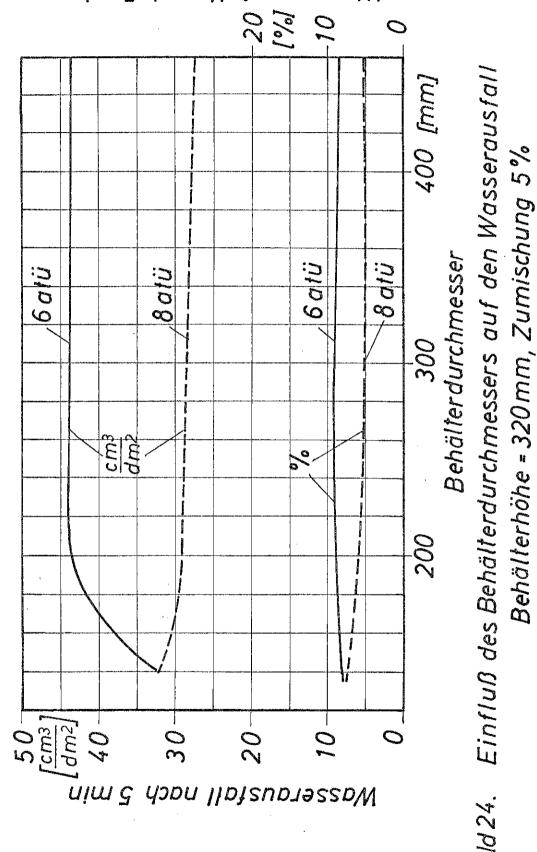
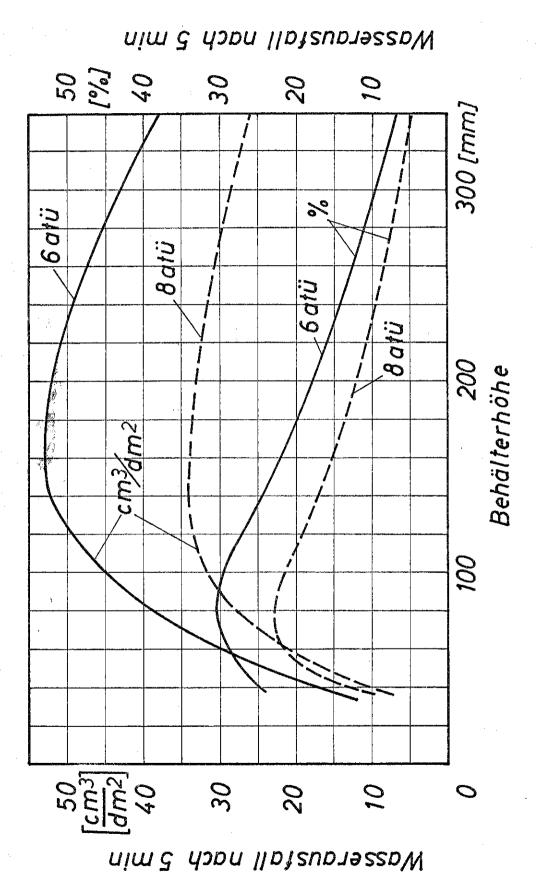


Bild 24.



Behälterdurchmesser = 449 mm, Zumischung 5% Bild 25. Einfluß der Behälterhöhe auf den Wasserausfall

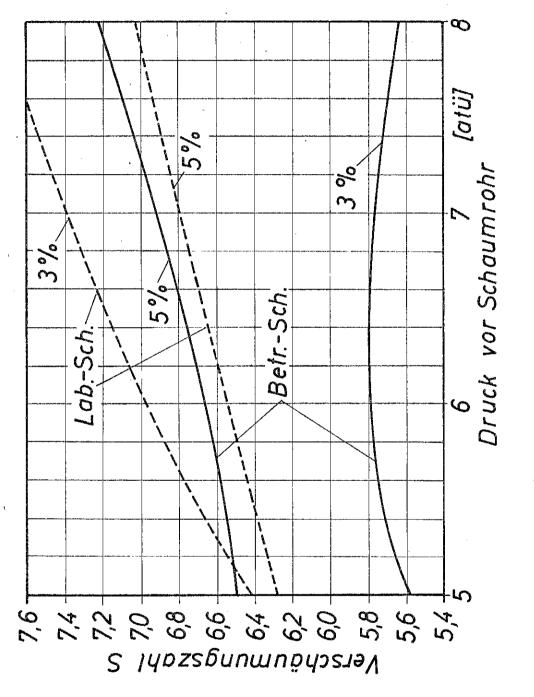


Bild 26. Einfluß des Druckes auf S Behälterdurchmesser = 144mm, Höhe = 307 mm

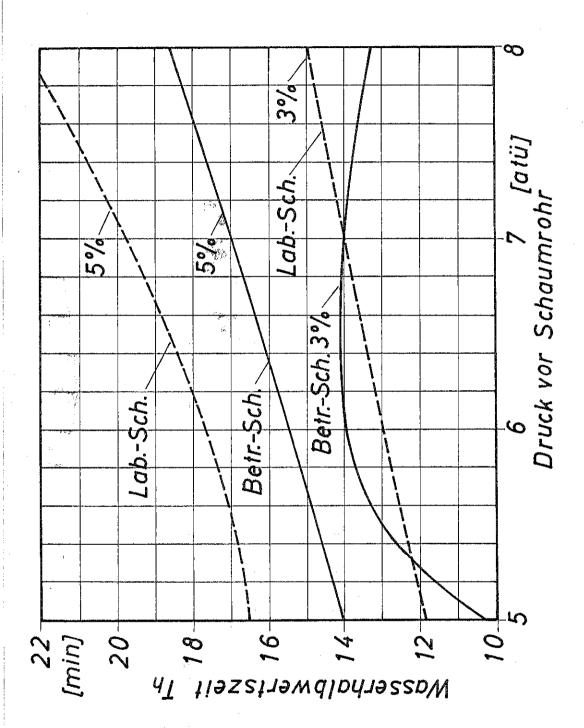
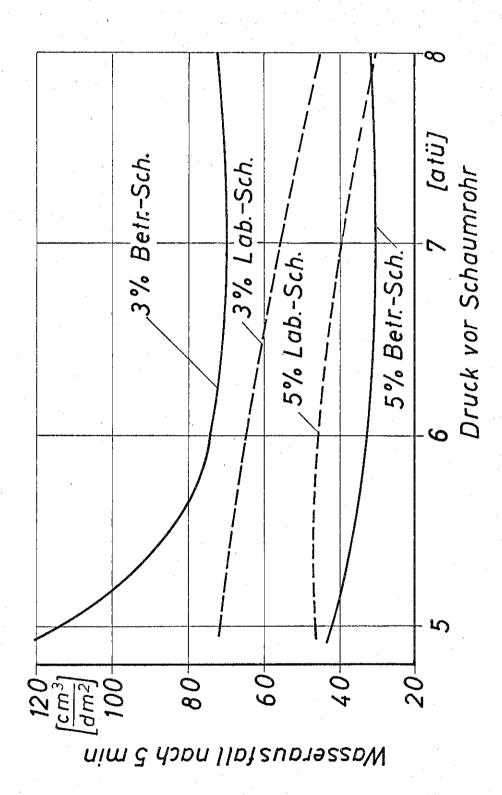
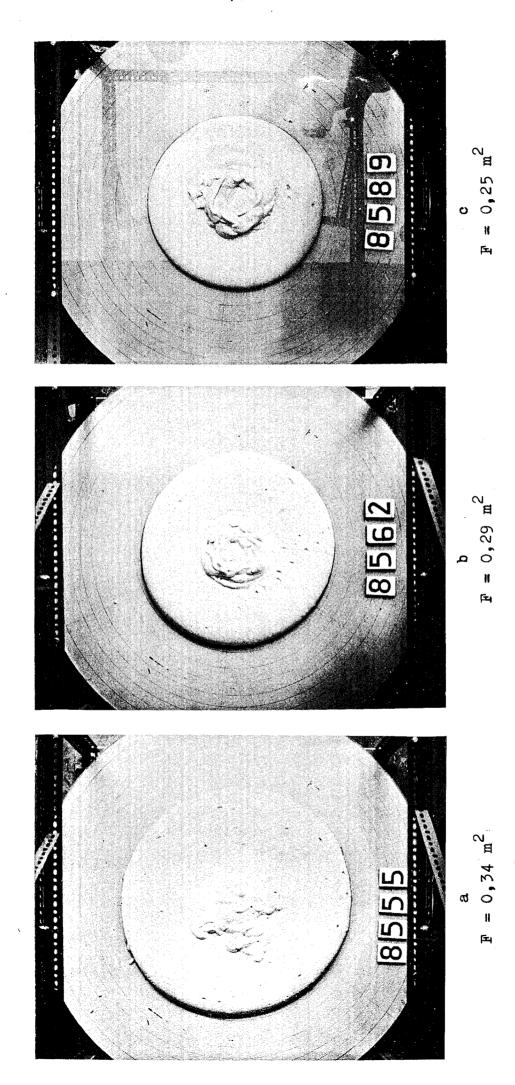


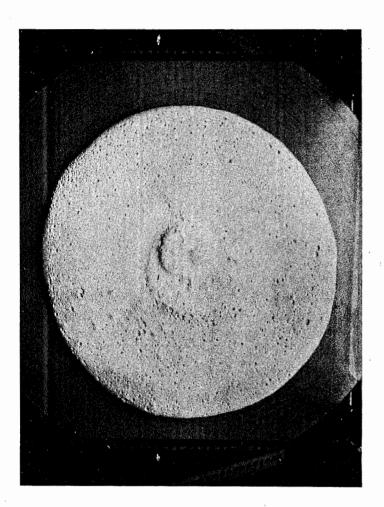
Bild 27. Einfluß des Druckes auf  $T_h$ Behälter durchmesser = 144 mm, Höhe = 307 mm

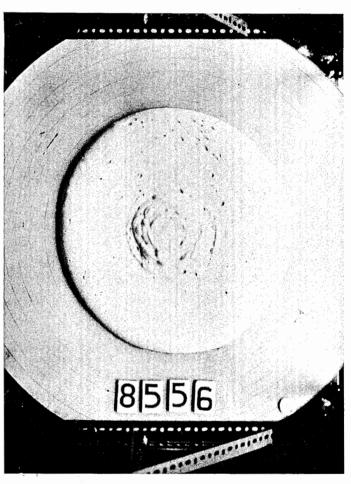


Wasserausfall in Abhängigkeit vom Druck Behälterdurchmesser = 144 mm, Höhe = 307mm Bild 28.



Druck vor Schaumrohr; a = 5 atü; b = 6 atü; c = 8 atü Betriebsschaum: 5 % Zumischung Bild 29. Fließfähigkeit von Schaum





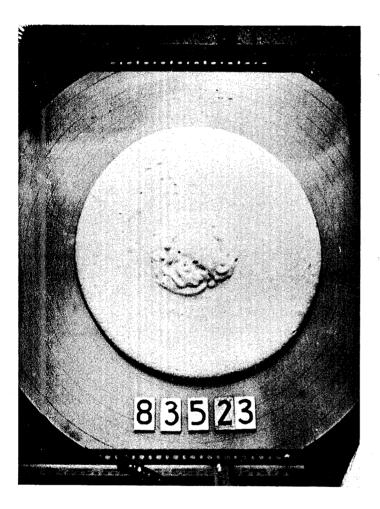
$$\mathbf{F} = 0,56 \text{ m}^2$$

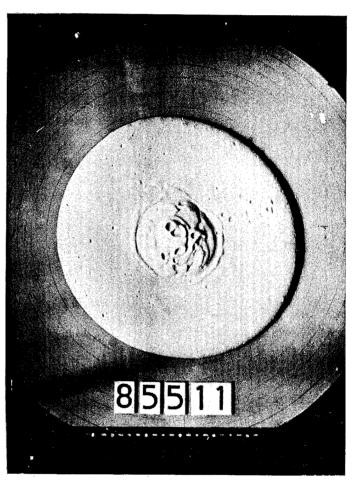
$$F = 0,34 \text{ m}^2$$

Bild 30. Fließfähigkeit von Schaum

Betriebsschaum; Druck vor dem Schaumrohr 5 atü

Zumischung: a 3 %; b 5 %



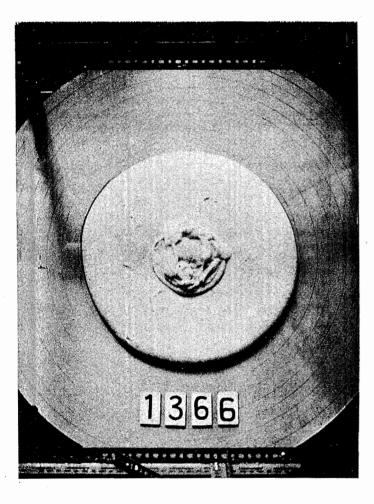


$$a$$

$$F = 0.39 \text{ m}^2$$

$$F = 0,36 \text{ m}^2$$

Bild 31. Fließfähigkeit von Schaum Laborschaum; Druck vor dem Schaumrohr 5 atü Zumischung: a 3 %; b 5 %



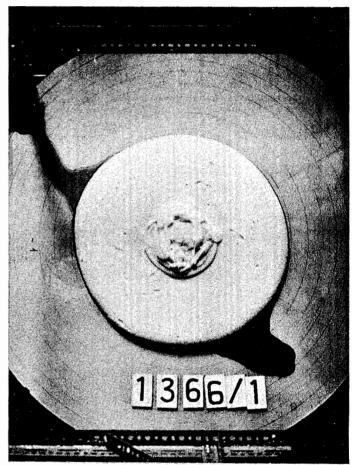


Bild 32. Fließfähigkeit von Schaum Gleicher Schaum, jedoch im zeitlichen Abstand von 1 min aufgenommen

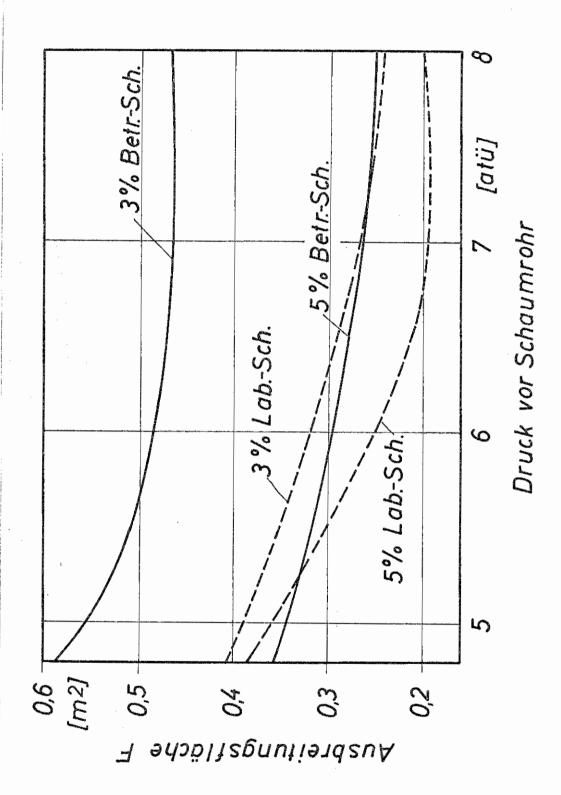


Bild33. Ausbreitungsfläche F in Abhängigkeit vom Druck