BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Brand- und Löschversuche mit gasförmigen Löschmitteln in Räumen natürlicher Größe

Teil 6:Vergleichende Untersuchung der Löschwirksamkeit von Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 bei einem Entstehungsbrand in einem Versuchsraum natürlicher Größe und in einem Versuchsraum im Modellmaßstab.

42

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER ARBEITSKREIS V – UNTERAUSSCHUSS "FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Forschungsbericht Nr. 42

Brand- und Löschversuche mit gasförmigen
Löschmitteln in Räumen natürlicher Größe
Teil 6: Vergleichende Untersuchung der
Löschwirksamkeit von Kohlendioxid,
Halon 1211 und Halon 1301 bei einem
Entstehungsbrand in einem Versuchsraum natürlicher Größe und in einem
Versuchsraum im Modellmaßstab.

von
Dipl.-Ing.Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe August 1980

FA.Nr.83(2/79)

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2.	VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG	3
2.1.	Versuchsraum im natürlichen Maßstab	3
2.2.	Versuchsraum im Modellmaßstab	5
3.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	6
4.	VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION	8
4.1.	Temperaturmessung	8
4.1.1.	Versuche im natürlichen Maßstab	8
4.1.2.	Versuche im Modellmaßstab	11
4.2.	Druckmessung	14
4.2.1.	Versuche im natürlichen Maßstab	14
4.2.2.	Versuche im Modellmaßstab	18
4.3.	Gaskonzentrationsmessung	21
4.3.1.	Versuche im natürlichen Maßstab	22
4.3.2.	Versuche im Modellmaßstab	28
4.4.	Konzentrationsmessung mit Prüfröhrchen	31
4.5.	Optische Rauchdichte	31
4.6.	Brandmelder	33
5.	VERGLEICH DER VERSUCHE IM NATÜRLICHEN	
	MASSTAB UND IM MODELLMASSTAB	33
6.	ZUSAMMENFASSUNG	36
7.	LITERATURVERZEICHNIS	38
8.	TABELLEN UND BILDER	40

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Mit der Verwendung neuer Materialien als Werk- und Baustoffe und der Errichtung großer Gebäudekomplexe ist sowohl das Brandrisiko gestiegen als auch die Brandbekämpfung im Falle eines Schadenfeuers durch die Feuerwehren schwieriger geworden.

Aus diesem Grund ist es notwendig, vorbeugende Brandschutzmaßnahmen zu treffen, wobei der Einrichtung ortsfester Feuerlöschanlagen eine besondere Bedeutung zukommt. Der Vorteil
einer derartigen Anlage gegenüber dem Einsatz der Feuerwehr
besteht darin, daß sie ohne Zeitverzögerung eingesetzt werden
kann. Das Auslösen der Anlage erfolgt entweder automatisch
durch Detektoren oder auch manuell. Auf diese Weise wird die
Zeitspanne vom Brandausbruch bis zum Eintreffen der Feuerwehr
sinnvoll genutzt, d.h. der Brand wird bereits im Entstehungsstadium bekämpft oder sogar gelöscht.

Bei einer ortsfesten Löschanlage wird als Löschmittel meist Wasser eingesetzt, dessen Löschwirkung in erster Linie auf dem Kühleffekt beruht, hervorgerufen durch die große Verdampfungsenthalpie des Wassers. Da bei Löschmitteln wie Wasser, Schaum und Trockenlöschpulver beim Löscheinsatz zusätzlich zum Brandschaden oft beträchtlicher Materialschaden entsteht, werden heute insbesondere bei teuren oder unersetzlichen Einrichtungen wie EDV-Anlagen, Museen oder Bibliotheken gasförmige Löschmittel wie Kohlendioxid oder Halone verwendet, die beim Löscheinsatz keine unmittelbaren weiteren Schädigungen verursachen.

Während Kohlendioxid im Brandfall zur wirksamen Brandbekämpfung in solchen Mengen eingesetzt werden muß, die auf Personen schädliche Auswirkungen haben, sind die z.Zt. gebräuchlichen Halone wie z.B. Halon 1211 und Halon 1301 für den Menschen in der erforderlichen Löschkonzentration weitgehend ungefährlich, wie aus der Literatur hervorgeht /1/. Kohlendioxid löscht einen Brand durch Ersticken (Stickeffekt), d.h. durch den Einsatz von CO₂ in entsprechender Menge wird die Sauerstoffkonzentration der den Brand umgebenden Atmosphäre auf eine Konzentration von ca. 14 Vol.-% herabgesetzt, unter der die Verbrennungsvorgänge der meisten Brandstoffe zum Erliegen kommen. Bei Halon wird die Löschwirkung durch den "Inhibitionseffekt" erzielt, d.h. das Löschmittel greift in die Verbrennungsreaktionen ein und verhindert dadurch eine Brandausbreitung.

Im Rahmen eines längerfristigen Forschungsauftrages wurden bereits Untersuchungen durchgeführt, die den Einsatz von Kohlendioxid als Löschmittel in einem Versuchsraum natürlicher Größe beinhalten /2/. Außerdem wurde im Verlauf der Untersuchungen geprüft, inwieweit die Gaschromatographie für die Analyse von Brand- und Löschgasen herangezogen werden kann /3/.

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit Brand- und Löschversuchen, die sowohl in einem Versuchsraum natürlicher Größe von ca. 50 m³ Rauminhalt als auch in einem Modellversuchsraum von ca.1,45 m³ Rauminhalt durchgeführt wurden. Beim Löscheinsatz wurden die gasförmigen Löschmittel Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 verwendet. Ziel der Untersuchungen ist es, durch systematische Versuche, bei denen der zeitliche und örtliche Verlauf der Konzentration der Brand- und Löschgase mit kontinuierlichen und diskontinuierlichen Meßmethoden sowie die Temperatur- und Druckverhältnisse in den beiden Versuchsräumen bestimmt werden, zu prüfen, ob die Brandentwicklung und der Löschvorgang bei Entstehungsbränden mit einer Holzkrippe als Brandlast in einem Raum natürlicher Größe durch Brand- und Löschversuche im Modellmaßstab erfaßt werden können.

2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHUNG

Bild 1 zeigt das Schema der Versuchsanordnung im natürlichen Maßstab, Bild 2 das Schema der Versuchsanordnung im Modell-maßstab.

2.1. Versuchsraum im natürlichen Maßstab

Der nachfolgend beschriebene Versuchsraum wurde bereits bei früheren Untersuchungen /2/ eingesetzt. Er besitzt eine Grundfläche von 4,1 m x 5,1 m und eine lichte Höhe von 2,40 m, sodaß der Brandraum ein Volumen von 50 m³ aufweist. Die Innenwände des Raumes sind durch feuerbeständige Asbestzementplatten geschützt. In der einen Wand sind Sichtscheiben eingesetzt, um die Versuche im Raum von außen beobachten zu können. Direkt unterhalb der Decke ist in der Wand eine Klappe angeordnet, die sich beim Einströmen des Löschmittels, also bei Überdruck im Versuchsraum, öffnet und sich nach dem Druckausgleich zwischen dem Rauminnern und der Umgebung durch ihr Eigengewicht wieder selbsttätig schließt. Der Versuchsraum kann durch eine feuerhemmende einflügelige Stahltür betreten werden.

Der Boden des Versuchsraumes ist als Waage ausgebildet, mit deren Hilfe die zeitliche Massenänderung infolge Abbrand des Brandgutes während des Versuchsablaufes bestimmt wird. Die Tragkraft der Waage beträgt ca. 80 kN. Das Meßsignal wird durch eine Widerstandsänderung der in 4 Kraftmeßdosen befindlichen Dehnmeßstreifen hervorgerufen und mit einer Datenerfassungsanlage registriert.

Die Messung der örtlichen Temperaturen im Versuchsraum erfolgt über insgesamt 32 Mantel-Thermoelemente aus Chromel-Alumel mit einem Außendurchmesser von 1,6 mm. Auf Bild 3 ist die Anordnung der Thermoelemente im Versuchsraum eingetragen.

Unterschiedliche Gasdichten und/oder Temperaturen innerhalb und außerhalb des Brandraumes verursachen Druckänderungen. Ebenso werden durch den Einsatz des gasförmigen Löschmittels die Druckverhältnisse im Brandraum verändert. Es sind daher 6 Druckmeßstellen im Versuchsraum angeordnet, um die unterschiedlichen Drucke messen zu können. Bild 3 zeigt die Lage der Druckmeßstellen.

Darüber hinaus ist eine Meßstrecke zur Bestimmung der optischen Rauchdichte im Brandraum angeordnet, deren Lage ebenfalls in Bild 3 eingetragen ist. Die optische Rauchdichte dient als Maß für die Verqualmung bzw. die Sichtverhältnisse im Brandraum.

Ferner ist die Lage der Meßstellen für die Gaskonzentrationsmessung im Bild 3 eingezeichnet. Mit 9 Absaugesonden werden an verschiedenen Stellen im Versuchsraum kontinuierlich Gasproben entnommen und mit Infrarotabsorptions-Analysengeräten (Uras, Binos) bzw. mit einem auf dem temperaturabhängigen Paramagnetismus des Sauerstoffs beruhenden Analysator (Magnos) analysiert. Die diskontinuierlichen Messungen erfolgen derart, das die Gasproben zunächst mit vorher evakuierten Gassammelrohren aufgefangen und anschließend mittels eines Gaschromatographen untersucht werden. Für die diskontinuierliche Entnahme der Proben wurde eigens ein System gefertigt, bei dem die zu untersuchenden Gasproben direkt aus dem Versuchsraum in die Gassammelrohre gelangen /2/. Die Analysenmethoden mittels Gaschromatographie sind bereits in /3/ ausführlich behandelt. In Bild 3 sind ferner die Lage eines Brandmelders und der Brandlast sowie die Anordnung der Löschdüsen eingetragen. Das Löschmittel wird aus mehreren Vorratsflaschen entnommen. Über eine Rohrleitung, die durch einen pneumatischen Antrieb, der über ein Magnetventil und ein Zeitrelais gesteuert wird, freigegeben bzw. abgesperrt werden kann und 2 Löschdüsen gelangt das Löschmittel in den Versuchsraum (siehe Bild 1). Die Löschmittelmenge wird durch Wiegen der Druckflaschen bestimmt.

2.2. Versuchsraum im Modellmaßstab

Für die Untersuchungen im Modellmaßstab wurde ein Versuchsraum mit einer Grundfläche von 1,00 m x 1,20 m und einer Höhe von 1,20 m errichtet, was einem Raumvolumen von ca. 1,45 m³ entspricht. Der Raum besteht aus einem Gerüst aus Winkeleisen, in das feuerbeständige Mineralfaserplatten mit einer Dicke von 15 mm eingesetzt wurden. Unterhalb der Modellraumdecke befindet sich in der einen Ecke der Wand ein Abzug, der durch eine Klappe verschlossen werden kann. In der Mitte des Modellraumes ist im Boden eine verschließbare Öffnung mit einem Durchmesser von 11 cm angeordnet, durch die die zur Verbrennung notwendige Frischluft angesaugt werden kann. Durch eine Sichtscheibe der Größe 60 cm x 70 cm in einer Seitenwand kann das Brandgeschehen beobachtet werden. Die Scheibe hält einer Temperatur von mehr als 400 °C stand. Durch eine verschließbare Öffnung der Größe 80 cm x 80 cm in der Frontseite kann innerhalb des Raumes gearbeitet werden.

Die Abbrandmessung wird mit einer Balkenwaage durchgeführt, wobei auf einer Seite das Brandgut, auf der anderen Seite ein Gegengewicht angeordnet ist, das auf einer elektrischen Waage aufliegt (siehe Bild 2). Auf diese Weise kann eine Massenänderung infolge Abbrand direkt bestimmt werden. Durch diese Anordnung kann eine Beeinflussung aufgrund der Druckverhältnisse im Versuchsraum weitgehend ausgeschlossen werden.
Bei zukünftigen Versuchen im Versuchsraum natürlicher Größe wird die Abbrandmessung ebenfalls auf diese Weise erfolgen.

Für die Messung der örtlichen Temperaturen im Versuchsraum im Modellmaßstab wurden an 14 Meßstellen Mantel-Thermoelemente aus Chromel-Alumel mit einem Durchmesser von 1 mm verwendet. Aus Bild 4 ist die Lage der Meßstellen zu erkennen.

Im Versuchsraum im Modellmaßstab treten wie im Versuchsraum natürlicher Größe durch Temperatur- und Dichteunterschiede unterschiedliche Druckverhältnisse auf, die an den in Bild 4 gekennzeichneten Druckmeßstellen aufgenommen werden. Dabei dienen die Druckmeßstellen an den Meßstellen D6 bis D10 zur zusätzlichen Kontrolle.

Die Gaskonzentrationsmessung wird auch bei den Untersuchungen im Modellmaßstab kontinuierlich und diskontinuierlich vorgenommen. Bei den kontinuierlichen Gaskonzentrationsmessungen werden die bereits erwähnten Analysengeräte der Typen Uras, Magnos und Binos eingesetzt. Die diskontinuierliche Probenentnahme wird mit evakuierten Gassammelrohren durchgeführt. Die abgesaugten Gase werden anschließend mit einem Gaschromatographen analysiert.

Das Löschmittel wird aus einer Vorratsflasche entnommen und über eine Löschdüse (siehe Bild 2) in den Versuchsraum eingegeben. Mit Hilfe eines Kugelventils wird die Zuleitung geöffnet bzw. geschlossen. Die Löschmittelmenge wird durch Wiegen der Druckflasche bestimmt.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 15 Versuche durchgeführt. Entsprechend den Untersuchungen in /2/ mit Kohlendioxid als Löschmittel wurden in dem Versuchsraum im natürlichen Maßstab mit den gasförmigen Löschmitteln Halon 1211 und Halon 1301 jeweils 3 Versuche durchgeführt. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Daten der 6 Versuche im Versuchsraum im natürlichen Maßstab mit Halon 1211 und Halon 1301 als Löschmittel. Weiterhin wurden je 3 Versuche im Versuchsraum im Modellmaßstab mit den Löschmitteln Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 durchgeführt. Je ein Versuch davon war ein sogenannter Kaltversuch. Tabelle 2 zeigt

die wichtigsten Daten dieser 9 Versuche. Es sind jeweils neben dem Löschmittel der Rauminhalt, das Brandgut, die Brandlast, die Brandlast je m³ Raum, der Abbrand bei Löschbeginn in kg bzw. in g und in Gew.%, der Zeitpunkt des Löschbeginns, die Flutungszeit, die eingesetzte Löschmittelmenge, die Löschmittelmenge je m³ Raum sowie die mittlere Löschmittelkonzentration im Versuchsraum eingetragen.

Als Brandgut wurden bei den Versuchen im großen Versuchsraum Holzkrippen mit aufeinandergeschichteten Kanthölzern
mit den Abmessungen 4 cm x 4 cm x 42 cm verwendet. Die Stäbe
wurden in 8 Lagen zu je 5 Stück zu einer Krippe aufgesetzt,
was eine Höhe von 32 cm ergab. Die Masse betrug ca. 13 kg
je Krippe, d.h. es waren je m³ des Versuchsraumes etwa
250 g Holz vorhanden. Bei den Brandversuchen im kleinen
Versuchsraum wurden Holzkrippen mit Kanthölzern mit den
Abmessungen 1cm x 1cm x 13cm verwendet. Diese Hölzer wurden
in 10 Lagen zu je 5 Stück aufeinandergeschichtet. Die Krippenhöhe betrug somit 10 cm. Diese Anordnung ergab eine Brandlast von ca. 380 g, was ebenso wie bei den Versuchen im
natürlichen Maßstab ca. 250 g Holz je m³ Raum entsprach.

Um einen Entstehungsbrand zu simulieren, der in der Regel nur auf einen eng begrenzten Raum beschränkt ist, wurde bei jedem Versuch jeweils nur eine Holzkrippe in der Mitte des Versuchsraumes aufgeschichtet.

Die Zündung der Holzkrippen erfolgte mit einer in der Mitte unter der Krippe befindlichen Zündwanne. Für die Untersuchungen im natürlichen Maßstab wurden 100 ml Brennspiritus in einer Zündwanne mit den Abmessungen 10cm x 10cm, bei den Modell-bränden 5 ml Brennspiritus in einer Zündwanne mit den Abmessungen 4cm x 4cm verwendet.

Der Löschmitteleinsatz erfolgte bei allen Versuchen nach einem Abbrand der Holzkrippen von ca. 20 Gew.-%. Im Versuchsraum im Modellmaßstab wurde bei Löschbeginn die Öffnung im Boden und die Klappe im Abzug geschlossen, um zu vermeiden, daß das Löschmittel aus dem Versuchsraum entweicht.

Als Löschmittel wurde Kohlendioxid mit einem Druck im Behälter von ca. 56 bar eingesetzt. Da die Halone nur einen geringen Eigendruck in ihren Lagerbehältern besitzen, ist es notwendig, ein Druckpolster auf die flüssigen Halone im Behälter aufzubringen. Bei Halon 1211 ist ein Überdruck von ca. 15 bar und bei Halon 1301 ein Überdruck von ca. 25 bar erforderlich.

Bei den Versuchen wurden beim Einsatz von Kohlendioxid im Versuchsraum natürlicher Größe mittlere Löschmittelkonzentrationen zwischen 31 Vol.-% und 15 Vol.-%,im Versuchsraum im Modellmaßstab zwischen 24 Vol.-% und 7 Vol.-% eingesetzt. Beim Einsatz von Halon 1211 und Halon 1301 sowohl im Versuchsraum im natürlichen Maßstab als auch im Versuchsraum im Modellmaßstab wurden Konzentrationen zwischen 6 Vol.-% und 2 Vol.-% eingesetzt. Für die Einsatzmengen wurden die NFPA-Richtlinien /4/ zugrunde gelegt.

4. VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1. Temperaturmessung

4.1.1. Versuche im natürlichen Maßstab

Die Bilder 5a - d zeigen den zeitlichen Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T32 (siehe Bild 3). Sie sind mit Hilfe einer Datenerfassungsanlage aufgezeichnet. Da alle Versuche bis hin zum Löschbeginn einen ähnlichen Temperaturverlauf aufweisen, wird repräsentativ ein Versuch herausgegriffen (siehe auch /2/). Der Löschbeginn ist in jedem Bild durch eine Linie gekennzeichnet.

Wie Bild 5a zeigt, steigt nach dem Zünden zunächst die Temperatur an der Meßstelle T28 innerhalb der Holzkrippe sofort an, was auf die Zündflamme zurückzuführen ist. Wenige Augenblicke später wird auch die Meßstelle T25 direkt über der Holzkrippe erwärmt. Die heißen Rauchgase treten oben aus der Holzkrippe heraus und strömen senkrecht nach oben, sodaß nun auch die Meßstelle T29 in einer Höhe von 75 cm, also 40 cm über der Holzkrippe, erwärmt wird. Sobald die Flammen aus der Holzkrippe herausschlagen, werden auch die Temperaturmeßstellen T26 in einer Höhe von 1,50 m und T27 unterhalb der Decke stärker erwärmt (Bild 5b).

Nach einer Versuchszeit von weniger als 3 Minuten werden innerhalb und direkt über der Holzkrippe Temperaturen von 800 °C bis 1000 °C erreicht, während in der Raummitte etwa 500 °C angezeigt werden. Hier erreichen nur einzelne Flammenfetzen die Temperaturmeßstelle T26. Unterhalb der Decke in einer Meßhöhe von 2,30 m werden Temperaturen von knapp 300 °C erreicht, d.h. es sind nur noch heiße Rauchgase vorhanden. Die Temperaturen an den Meßstellen T30 bis T32 (siehe Bild 3) liegen wesentlich niedriger. Sie erreichen unterhalb der Decke (T32) Werte von ca. 180 °C, in einer Höhe von 1,50 m (T31) von ca. 120 ^OC und in Bodennähe (T30) von nur noch ca. 40 °C. Mit den Thermoelementen T1 bis T24 (siehe Bild 3) wird die Temperaturverteilung an den Wänden des Versuchsraumes gemessen. Dabei hat ein größerer Abstand zum Brandgut entsprechend niedrigere Temperaturen zur Folge. An den Meßstellen in Deckennähe in der Wandmitte steigt die Temperatur bis max. 160 °C an, während sie in den Ecken aufgrund des größeren Abstandes zum Brandgut und in der Meßhöhe von 1,50 m nur eine Temperatur von ca. 130 °C erreicht.

In Bodennähe wird der Raum lediglich auf eine Temperatur von ca. 40 OC erwärmt.

Dies bedeutet, daß während des Brandes die heißen Rauchgase senkrecht nach oben steigen und sich dann an der Decke entlang im oberen Teil des Raumes verteilen. Der bodennahe Teil des Versuchsraumes wird kaum erwärmt. Anhand der Temperaturmessungen wird sichtbar, daß für alle hier durchgeführten Versuche ein ähnlicher Temperaturverlauf auftritt.

Nach einem Abbrand von ca. 20 Gew.-%, was je nach Brandverhalten des Holzes einer Versuchszeit von etwa 9 min entspricht, wird der Löschvorgang eingeleitet, worauf ein steiler Temperaturabfall im gesamten Versuchsraum zu verzeichnen ist. Lediglich in Bodennähe an der Wand erhöht sich die Temperatur geringfügig um ca. 20 °C, da durch das von oben eingegebene Löschmittel die heißen Rauchgase zunächst nach unten gedrückt werden. Mit den bei den Versuchen im natürlichen Maßstab eingesetzten Löschmittelmengen wird der Brand immer vollständig gelöscht, d.h. die Temperaturen sinken nach einer Versuchszeit von 20 min im gesamten Versuchsraum auf einen Wert von etwa 40 °C ab.

Die Bilder 6a - c zeigen eine Gegenüberstellung des Temperaturabfalls an der Meßstelle T28 in Abhängigkeit von der Art und Menge der eingesetzten Löschmittel Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 bei den Versuchen im natürlichen Maßstab. Die Versuche mit Kohlendioxid als Löschmittel sind bereits ausführlich in /2/ beschrieben. Bei der Darstellung ist der Zeitpunkt des Löschbeginns auf den Nullpunkt der Zeitachse gelegt.

Durch den Einsatz der unterschiedlich großen Löschmittelmengen weichen die Temperaturverläufe nach Löschbeginn voneinander ab. Bild 6a zeigt den Temperaturabfall der bereits in /2/

durchgeführten Versuche mit Kohlendioxid als Löschmittel.

Die mittleren Löschmittelkonzentrationen betrugen 30,8 Vol.%,
17,9 Vol.-% und 14,8 Vol.-%. Bild 6b bzw. 6c zeigt den

Temperaturabfall nach dem Löscheinsatz mit Halon 1211 mit
den mittleren Löschmittelkonzentrationen von 6,02 Vol.-%,
4,13 Vol.-% und 3,32 Vol.-% bzw. mit Halon 1301 mit den

mittleren Löschmittelkonzentrationen von 4,58 Vol.-%,
2,78 Vol.-% und 1,95 Vol.-%.

Anhand der Temperaturen nach Löschbeginn ist sehr gut der Einfluß der eingesetzten Menge des jeweiligen Löschmittels zu erkennen. Die größte Löschmittelmenge hat jeweils den schnellsten Temperaturabfall zur Folge. Beim Einsatz von Kohlendioxid ist auffallend, daß bei den beiden niedrigeren Konzentrationen von 17,9 Vol.-% und 14,8 Vol.-% der Abfall der Temperatur noch stark voneinander abweicht. Beim Einsatz von Halon 1211 und Halon 1301 liegen die abfallenden Temperaturkurven dichter beisammen, was wohl auf den Inhibitionseffekt zurückzuführen ist. Lediglich der Löscheinsatz mit der niedrigsten mittleren Löschmittelkonzentration von 1,95 Vol.-% Halon 1301 zeigt im Temperaturverlauf einen geringeren Abfall, der darauf schließen läßt, daß die Holzkrippe nicht so schnell wie bei den vorherigen Versuchen gelöscht werden konnte.

4.1.2. Versuche im Modellmaßstab

Die Bilder 7a - c zeigen als Beispiel den zeitlichen Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T14 (siehe Bild 4). Sofort nach dem Zünden steigt die Temperatur an der Meßstelle T1 innerhalb der Holzkrippe steil an. Einige Sekunden danach werden die Thermoelemente an den Meßstellen T2 bzw. T3 von den Flammen bzw. den heißen Rauchgasen erreicht. Die maximal auftretenden Temperaturen an diesen 3 Meßstellen liegen je nach Abbrandverlauf der Krippe zwischen 700 °C und 900 °C. An den Meßstellen T4 bzw. T5 werden Temperaturen

von ca. 500 °C bzw. 300 °C gemessen, d.h. die heißen Rauchgase gelangen unter die Decke, während die Flammenspitzen zeitweise bis in die Raummitte reichen. Da Holzkrippen im Brandverhalten immer etwas voneinander abweichen, werden auch hier, wie bereits bei den Versuchen im natürlichen Maßstab nicht nur unterschiedliche Temperaturen, sondern auch der vorher festgelegte Abbrand von 20 Gew.-% zu etwas unterschiedlichen Zeitpunkten erreicht (Tabelle 2).

Die Meßstellen T6 bis T13 sind an den Wänden des Versuchsraumes im Modellmaßstab angebracht (siehe Bild 4). In Deckennähe werden an den Meßstellen T13 bzw. T9 bei allen hier durchgeführten Versuchen Temperaturen von max. 200 Oc bzw. 180 °C gemessen, d.h. die etwas weitere Entfernung vom Brandherd zur oberen Ecke macht sich mit einer um ca. 20 $^{\rm O}$ C niedrigeren Temperatur bemerkbar. In einer Meßhöhe von 0,75 m (T8 und T12) entspricht bei allen Versuchen die Temperatur derjenigen in den oberen Ecken des Raumes. In einer Meßhöhe von 0,35 m an den Meßstellen T7 bzw. T11 liegen die Temperaturen bei allen Versuchen bei max. 120 °C bzw. 80 °C, d.h. die heißen Rauchgase gelangen vor allem in die oberen Ecken des Raumes. Die Meßstellen in Bodennähe (T6 und T10) erreichen vor dem Löschbeginn nur eine Temperatur von max. 40 °C. An der Meßstelle T14 (siehe Bild 4), die sich hinter der verschließbaren Klappe innerhalb des Rauchabzugrohres befindet, wird bis zum Löschbeginn, d.h. Schließen der Klappe, eine Temperatur von max. 170 °C gemessen. Wie die Versuche zeigen, tritt trotz des unterschiedlichen Abbrandverhaltens von Holzkrippen vor Löschbeginn in dem Raum der hier gewählten Größe bei allen Versuchen ein ähnlicher Temperaturverlauf auf.

Nachdem ein Abbrand der Holzkrippen von ca. 20 Gew.-% erreicht ist, wird der Löschvorgang eingeleitet. Dadurch fällt die Temperatur an allen Meßstellen im Versuchsraum sofort steil ab. Nur in Bodennähe an der Wand an den Meßstellen T6 und T10 steigt für einige Sekunden die Temperatur geringfügig an, da die heißen Rauchgase kurzzeitig nach unten gedrückt werden. Nach einer Versuchszeit von 10 min ist die Temperatur im gesamten Raum auf ca. 40 °C abgesunken. Eine Ausnahme bildet der Versuch mit einer mittleren Löschmittelkonzentration von nur 7,3 Vol.-% Kohlendioxid.

Die Bilder 8a - c zeigen den Temperaturabfall über der Zeit an der Meßstelle T1 in Abhängigkeit von der Art und Menge der eingesetzten Löschmittel Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 bei den Versuchen im Modellmaßstab. Wie bei den Versuchen im Großmaßstab ist auch hier der Zeitpunkt des Löschbeginns auf den Nullpunkt der Zeitachse gelegt.

Die Temperaturverläufe nach Löschbeginn weisen auch bei den Modellversuchen eine Abhängigkeit von der Löschmittelmenge auf. Bild 8a zeigt den Temperaturabfall nach Löschbeginn beim Einsatz einer mittleren Löschmittelkonzentration von 23,6 Vol.-% und 7,3 Vol.-% Kohlendioxid. Es ist deutlich zu erkennen, daß die geringere Kohlendioxidmenge nicht ausreicht, um den Brand zu löschen, denn die Temperatur steigt nach dem Löscheinsatz innerhalb der Holzkrippe nochmals auf über 300 °C und direkt über der Holzkrippe auf ca. 100 °C an. Nach einer Versuchszeit von 12 min fällt die Temperatur langsam ab. Die Holzkrippe schwelt weiter, bis nach ca. 20 min die Temperatur auf ca. 40 °C absinkt und nur noch verkohlte Reste übrig bleiben.

Bei den Untersuchungen mit Halon 1211 und Halon 1301 sind die Unterschiede im Temperaturverlauf nach Löschbeginn nicht mehr so deutlich. Eine geringere Löschmittelmenge bewirkt jedoch auch hier einen langsameren Abfall der Temperatur bis zum Erreichen ihres Endwertes, der ca. 10 min nach Löschbeginn erreicht ist. Die bei Halon 1211 eingesetzten mittleren

Löschmittelkonzentrationen betrugen 4,9 Vol.-% und 2,9 Vol.-%, die bei Halon 1301 eingesetzten mittleren Löschmittelkonzentrationen 5,48 Vol.-% und 3,62 Vol.-%.

4.2. Druckmessung

Die theoretischen Grundlagen für die in einem Brandraum auftretenden Druckverhältnisse wurden bereits in /2/ dargelegt. In den Bildern 9 bis 11 bzw. 12 bis 14 ist der zeitliche Verlauf der örtlichen Druckdifferenzen (Brandraum-Umgebung) an der unteren Meßstelle (D1) und an der oberen Meßstelle (D6 bzw. D5) im Versuchsraum im natürlichen Maßstab bzw. im Modellmaßstab (siehe Bilder 3 und 4) mit Hilfe einer Datenerfassungsanlage aufgezeichnet.

4.2.1. Versuche im natürlichen Maßstab

Bei Versuchsbeginn herrscht sowohl innerhalb als auch außerhalb des Versuchsraumes der gleiche Druck, d.h. die Druckaufnehmer zeigen für die Druckdifferenz den Wert Null an. Die bei einigen Druckmessungen auftretenden Schwankungen sind auf die zu geringe Dämpfung der Meßleitungen zurückzuführen.

Die Bilder 9a-c bis 11a-c geben den zeitlichen Verlauf der örtlichen Druckdifferenzen in dem Versuchsraum im natürlichen Maßstab beim Löscheinsatz mit den gasförmigen Löschmitteln Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 wieder. Für den Einsatz von Kohlendioxid als Löschmittel werden die Druckverhältnisse in /2/ ausführlich beschrieben und werden in diesem Bericht in Boden- und in Deckennähe zum Vergleich nochmals kurz erläutert (siehe Bilder 9a-c).

Im unteren Teil des Versuchsraumes ist während der Brandphase, also vor Löschbeginn, ein Unterdruck gegenüber der Umgebung

von max. 2 Pa vorhanden, während im oberen Teil durch die höhere Temperatur der Rauchgase ein Überdruck von ca. 5 Pa auftritt. In einer Meßhöhe zwischen 0,65 m und 1,2 m liegt die neutrale Druckzone, d.h. der Druck innerhalb und außerhalb des Versuchsraumes ist hier ausgeglichen. Aufgrund dieser Druckverhältnisse strömt durch Öffnungen, z.B. durch Leckagen, im unteren Teil des Versuchsraumes Frischluft zu, während im oberen Teil Rauchgase austreten.

Nach dem Löschbeginn liegt nach dem Einsatz der größeren Löschmittelmenge von 30,8 Vol.-% Kohlendioxid (siehe Bild 9a) eine von oben nach unten gerichtete Strömung vor. Dabei herrscht im unteren Teil des Versuchsraumes ein Überdruck von ca. 5 Pa und in einer Höhe von 0,65 m ein Überdruck von ca. 2,5 Pa. Über der neutralen Druckzone,die in einer Meßhöhe von ca. 1,40 m liegt, entsteht beim Löschvorgang an den Meßstellen D5 und D6 ein Unterdruck von ca. 1,5 Pa bis 2,5 Pa, der selbst nach einer Versuchszeit von 30 min noch nicht restlos abgebaut ist.

Der Einsatz des Löschmittels bewirkt also, daß nun im oberen Teil des Raumes durch Öffnungen Luft eintreten, während unten Kohlendioxid bzw. Rauchgase austreten können.

Die Bilder 9b und 9c zeigen die Druckverhältnisse beim Einsatz geringerer Mengen Kohlendioxid. Dabei bleibt auch in der Löschphase im unteren Teil des Versuchsraumes ein geringer Unterdruck von ca. O,5 Pa bis 1 Pa bestehen, der nach einigen Minuten auf Null zurückgeht, während an den höher angebrachten Meßstellen D4 und D5 keine Druckdifferenz mehr vorhanden ist. Unterhalb der Decke (D6) herrscht ein geringer Überdruck von 1 Pa, der mit zunehmender Versuchsdauer zu Null wird. Das bedeutet, daß die Aufwärtsströmung vor Löschbeginn in der Löschphase durch den Einsatz von geringen Mengen Kohlendioxid lediglich stark abgeschwächt wird.

Das Löschmittel selbst wird in diesem Fall sehr gleichmäßig im Raum verteilt, wie auch die Konzentrationsmessungen zeigen /2/.

Die Bilder 10a-c zeigen die Druckverhältnisse während des Brandes und nach dem Einsatz von Halon 1211 als Löschmittel, die Bilder 11a-c die Druckverhältnisse nach dem Einsatz von Halon 1301 als Löschmittel. Da sich vor dem Einsatz des jeweiligen Löschmittels beim Abbrennen der Holzkrippe bis zum Löschbeginn nichts ändert, ist der Verlauf der Druckdifferenzen bei allen Versuchen ähnlich. Die neutrale Druckzone liegt etwa in 0,9 m Höhe.

Nach dem Löscheinsatz einer mittleren Halon 1211-Konzentration von 6,02 Vol.-% (Bild 10a) ist in Bodennähe ein Druckanstieg auf ca. 2,5 Pa zu verzeichnen, der mit zunehmender Meßhöhe abnimmt. Unterhalb der Decke ist ein Unterdruck von ca. 3 Pa zu verzeichnen, d.h. nach dem Löschen dringt Luft in den oberen Teil des Raumes ein, während unten Löschmittel bzw. Rauchgase aus dem Raum austreten. Die neutrale Druckzone verbleibt in einer Meßhöhe von ca. 1m. Nach einer Versuchszeit von 30 min hat sich der Druck innerhalb und außerhalb des Raumes wieder ausgeglichen.

Eine Konzentration von 4,13 Vol.-% Halon 1211 verursacht ebenfalls in Bodennähe noch einen Überdruck von ca. 1,5 Pa und in Deckennähe einen Unterdruck von ca. 2 Pa. Dazwischen liegt die neutrale Druckzone in einer Meßhöhe von ca. 0,65 m.

Eine Konzentration von 3,32 Vol.-% Halon 1211 genügt, um die Druckverhältnisse vollständig zu ändern. In Bodennähe tritt nach dem Löschbeginn kein Überdruck, sondern ein geringer Unterdruck von ca.1 Pa auf. Unterhalb der Decke ist der bei größeren Mengen auftretende Unterdruck direkt nach dem Löschen auf Null zurückgegangen, d.h. im Raum liegt eine sehr geringe

Strömung von unten nach oben vor, sodaß das Löschmittel gleichmäßig im Raum verteilt wird. Die neutrale Druckzone liegt bei ca. 0,40 m Höhe.

Auf den Bildern 11a-c sind die Druckverhältnisse beim Einsatz von Halon 1301 eingetragen. Eine Halon 1301-Konzentration von 4,58 Vol.% reicht nicht mehr aus, im Versuchsraum in Bodennähe einen Überdruck zu erzeugen. Unterhalb der Decke ist direkt nach Löschbeginn der Druck ausgeglichen und kurz danach ein geringer Unterdruck von ca. 1 Pa vorhanden (Bild 11a). Bei diesem Versuch stellt sich nur eine sehr geringe Strömung im Raum ein. Die neutrale Druckzone liegt in Bodennähe.

Beim Einsatz von 2,78 Vol.-% Halon 1301 bleibt in Bodennähe etwa der gleiche Unterdruck wie vor dem Löschbeginn bestehen, läßt jedoch den Überdruck von ca. 6 Pa an der Decke auf unter 1 Pa absinken (Bild 11b). Die nach oben gerichtete Strömung bleibt gerade noch aufrechterhalten. Die neutrale Druckzone liegt etwa wieder in 1 m Höhe.

Der Löschversuch mit 1,95 Vol.-% Halon 1301 zeigt, daß nach dem Löschbeginn der Unterdruck in Bodennähe geringfügig zugenommen hat, während der Überdruck an der Decke nur auf ca. 1/3 des Wertes vor dem Löschen abgenommen hat (Bild 11c). Dies bedeutet, daß die aufwärtsgerichtete Strömung erhalten bleibt und im unteren Teil Luft in den Raum ein-, im oberen Teil Brandgase und/oder Löschmittel aus dem Raum austreten. Die neutrale Druckzone liegt in einer Höhe von etwa 1,50 m. Wie bei allen vorherigen Versuchen wurde jedoch auch hier der Brand vollständig gelöscht.

4.2.2. Versuche im Modellmaßstab

Bei den Untersuchungen im Modellmaßstab wurden mit den Löschmitteln Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 je 3 Versuche durchgeführt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden bei allen Versuchen nur Drücke bis ± 10 Pa aufgetragen. Bild 12a zeigt die Druckverhältnisse bei einem Kaltversuch mit 23,5 Vol.-% Kohlendioxid. Bei der Eingabe des Löschmittels wurde an allen Meßstellen ein Überdruck registriert, der in den ersten 2 min stark abfällt. In Bodennähe nähert sich der Überdruck einem Wert von ca. 1 Pa. Dieser Wert ist auch noch nach einer Versuchszeit von 30 min vorhanden. In halber Raumhöhe bei 0,60 m befindet sich die neutrale Druckzone und unterhalb der Decke fällt der Überdruck auf einen Unterdruck von ca. 1 Pa ab. Dieser Druck bleibt über eine Zeitdauer von mehr als 30 min konstant. Diese Druckverhältnisse sind darauf zurückzuführen, daß das Kohlendioxid eine höhere Dichte als die Umgebungsatmosphäre hat und nach unten absinkt. Dadurch tritt in dem Raum eine nach unten gerichtete Strömung auf, d.h. unterhalb der neutralen Druckzone ist ein Überdruck und oberhalb ein Unterdruck im Raum gegenüber der Umgebung vorhanden /2/.

Bei allen Brandversuchen herrscht vor dem Löschbeginn in Bodennähe ein Unterdruck bis zu max. 5 Pa und unterhalb der Decke ein geringer Überdruck, d.h. durch die Öffnung im Boden strömt Frischluft in den Modellraum ein und Abgase treten durch den Abzug in der oberen Ecke aus. Die neutrale Druckzone liegt in Deckennähe in einer Höhe von ca. 1m.

Bild 12b zeigt die Druckverhältnisse beim Brand und nach dem Löschen mit einer Konzentration von 23,6 Vol.-% Kohlendioxid. Wie beim Kaltversuch wird durch den Einsatz des Löschmittels ein größerer Überdruck im gesamten Versuchsraum erzeugt. Da die Öffnungen nach dem Löschen alle geschlossen sind, findet in Bodennähe ein Druckausgleich statt, während unterhalb der

Decke ein Unterdruck entsteht, d.h. es liegt eine von oben nach unten gerichtete Strömung vor. Die neutrale Druckzone liegt in Bodennähe. Die während des Versuches auftretenden größeren Druckschwankungen sind wieder auf eine ungenügende Dämpfung der Meßleitung zurückzuführen.

Bild 12c zeigt die Druckverhältnisse beim Einsatz einer Konzentration von 7,3 Vol.-% Kohlendioxid. Damit kann der Entstehungsbrand nicht gelöscht werden, das Holz schwelt weiter. Bei diesem Versuch wird durch die Eingabe des Löschmittels im gesamten Versuchsraum ein starker Unterdruck bis zu 20 Pa verzeichnet, der sich nach 2 bis 3 min wieder abbaut. Anschließend entsteht sogar ein Überdruck der nach 10 min wieder bis auf einen Unterdruck von ca. 5 Pa abfällt.

Bild 13a zeigt die Druckverhältnisse während eines Kaltversuches mit dem Löschmittel Halon 1211. Der Einsatz des Halons verursacht im gesamten Modellraum einen Überdruck, der bereits nach ca. 2 min in Bodennähe auf einen Überdruck von ca. 2 Pa abfällt. In der Raummitte ist die neutrale Druckzone in einer Höhe von ca. 0,60 m und in Deckennähe ist ein Unterdruck von ca. 2 Pa vorhanden. Das bedeutet, daß das Halon, das ebenso wie das Kohlendioxid eine größere Dichte als Luft aufweist, nach unten absinkt. Nach einer Versuchszeit von 30 min sind immer noch die gleichen Drücke vorhanden.

Die Bilder 13b und 13c zeigen die Druckverhältnisse im Brandraum beim Löschen mit 4,9 Vol.-% bzw. 2,9 Vol,-% Halon 1211.
Im gesamten Versuchsraum wird durch den Einsatz des Halons
zunächst ein Unterdruck hervorgerufen. Nach 2 min ist jedoch
in Bodennähe durch das Absinken des Halons ein Überdruck
vorhanden, während unterhalb der Decke ein Druckausgleich
(neutrale Druckzone) stattgefunden hat. Aufgrund der geringeren
Löschmittelmenge beim Versuch mit 2,9 Vol.-% Halon 1211 ist
der Unterdruck (Bild 13c) wesentlich geringer. Außerdem

fällt die Temperatur bei geringeren Konzentrationen von Halon 1211 langsamer ab und die Dichteänderung der Rauchgase ist geringer als bei größeren Konzentrationen. Dadurch wird das Löschmittel gleichmäßiger im Raum verteilt.

Die Bilder 14a-c zeigen die Druckverhältnisse bei den Brandund Löschversuchen mit Halon 1301. Der Kaltversuch (Bild 14a) bestätigt den bereits bei Halon 1211 gemessenen Überdruck in Bodennähe. Die neutrale Druckzone liegt in einer Meßhöhe von 0,45 m. Unterhalb der Decke ist dagegen der Unterdruck sehr viel geringer als beim Einsatz mit Halon 1211. Der Unterschied ist auf die unterschiedlichen Dichten von Halon 1211 (ρ = 6,8 kg/m 3 bei 20 $^{\rm O}$ C und 1013 mbar) und Halon 1301 (ρ = 6,25 kg/m 3 bei 20 $^{\rm O}$ C und 1013 mbar) zurückzuführen.

Die Druckdifferenzen bei den Löschversuchen mit Halon 1301 verlaufen ähnlich wie diejenigen mit Halon 1211. Lediglich in Deckennähe bleibt bei der etwas größeren Konzentration von 5,48 Vol.-% Halon 1301 ein größerer Unterdruck von 1,5 Pa bestehen.

Die neutrale Druckzone liegt beim Einsatz der größeren Halon 1301-Konzentration in einer Meßhöhe von ca. 0,60 m, beim Einsatz der kleineren in einer Meßhöhe von ca. 0,75 m, d.h. je weniger Halon 1301 in den Versuchsraum im Modellmaßstab eingegeben wird, desto geringer ist die Strömung von oben nach unten und das Löschmittel wird gleichmäßiger im Versuchsraum verteilt.

4.3. <u>Gaskonzentrationsmessung</u>

Die Gaskonzentrationsmessung erfolgt mit den im Abschnitt 2 erwähnten Gasanalysegeräten. Alle Meßwerte aus den diskontinuierlichen Gasanalysen (Gaschromatograph /3/), die bei den Untersuchungen im natürlichen- und im Modellmaßstab gemessen wurden, sind in den Tabellen 3 bis 17 zusammengestellt. Die mit einem Stern * gekennzeichneten Werte in den Tabellen beruhen auf fehlerhaft gezogenen Gasproben, was z.B. auf die Undichtigkeit einiger Gassammelrohre zurückzuführen ist. Aufgrund der großen Anzahl der Einzelmessungen beim Ermitteln der Momentanwerte mit Hilfe des Gaschromatographen wurde bei einigen Meßwerten auf eine Trennung in weitere Einzelkomponenten verzichtet. Dies ist in den Tabellen durch einen Strich gekennzeichnet.

Da die Gesamtkonzentration für eine Probe jeweils zu 100 Vol.-% gesetzt ist, ist eine geringe überschreitung z.B. der $\rm O_2-Konzentration$ über 21 Vol.-% möglich, da die analysierten Gase nicht die Gesamtheit aller in der Probe vorhandenen Gaskomponenten darstellen. Die in den Tabellen aufgeführten $\rm N_2-Konzentrationen$ enthalten noch andere Inertgase wie z.B. Argon, sodaß es möglich ist, daß $\rm N_2-Konzentrationen$ geringfügig den Wert von 79 Vol.-% überschreiten.

Von diesen Meßwerten aus den Brandversuchen im natürlichen Maßstab und im Modellmaßstab sind in den Bildern 15 bis 30 neben den Konzentrationen der Löschmittel Halon 1211 bzw. Halon 1301 die O_2 -Konzentration und die CO_2 -Konzentration in Raummitte aufgetragen. Bei den Brandversuchen mit Kohlendioxid als Löschmittel sind die CO_2 -Konzentration, die O_2 -Konzentration und die CO-Konzentration in Raummitte eingezeichnet. Bei den im Versuchsraum im Modellmaßstab durchgeführten Kaltversuchen ist jeweils nur die Löschmittelkonzentration aufgetragen.

Die kontinuierlichen Messungen (durchgezogene Kurven) wurden an der Meßstelle Nr.1 direkt über der Holzkrippe aufgenommen. Die einzelnen Meßwerte aus der diskontinuierlichen Gasanalyse an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.3 (Versuch im natürlichen Maßstab) bzw. Nr.1 bis Nr.4 (Versuch im Modellmaßstab) in der Raummitte sind ebenfalls in die Bilder eingetragen.

Wie bereits in /3/ festgestellt wurde, stimmen die kontinuierlich gemessenen Konzentrationen mit den diskontinuierlich ermittelten weitgehend überein. Abweichungen sind damit zu erklären, daß mit den Gasanalysatoren (Uras, Binos, Magnos) nur zeitlich gemittelte Werte gemessen werden, während mit dem Gaschromatographen Momentanwerte festgestellt werden, die damit für den Zeitpunkt der Messung genauer sind.

4.3.1. Versuche im natürlichen Maßstab

In den Bildern 15 bis 17 sind die Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Gasanalysen beim Einsatz einer
mittleren Löschmittelkonzentration von 30,8 Vol.-%, 17,9 Vol.-%
und 14,8 Vol.-% Kohlendioxid eingetragen. Diese Meßwerte sind
bereits in /2/ dargestellt und in Tabellen aufgeführt, werden
hier jedoch zum Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen
mit den Halonen als Löschmittel herangezogen. Die Bilder
geben den zeitlichen Verlauf der örtlich gemessenen CO₂Konzentration, O₂-Konzentration und CO-Konzentration in der
Raummitte an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.3 wieder.

Vor dem Löschmitteleinsatz steigt bei allen 3 Versuchen je nach Brandverlauf die CO₂-Konzentration bei den kontinuierlich und diskontinuierlich gemessenen Werten auf 13 Vol.-% bis 22 Vol.-% an. Nach Löschbeginn wird je nach der eingesetzten Löschmittelkonzentration eine maximale CO₂-Konzentration von ca. 38 Vol.-%, ca. 28 Vol.-% und ca. 20 Vol.-% erreicht.

Bei der Messung der momentanen Einzelwerte werden diese Maximalwerte bereits in weniger als 30 s nach Löschbeginn angezeigt, wogegen bei der kontinuierlichen Messung, bedingt durch die träge Anzeige des Meßgerätes, eine Verzögerung bis zu 3 min eintritt. Nach einer Versuchszeit von 30 min hat die CO₂-Konzentration bis auf Werte zwischen 13 Vol.-% und 15 Vol.-% abgenommen. Während die Momentanwerte der CO₂-Konzentration beim Einsatz von 30,8 Vol.-% CO₂ etwas höher liegen, stimmen sie bei den beiden anderen Versuchen mit den kontinuierlich gemessenen Werten nahezu überein.

Unterhalb der Decke in einer Meßhöhe von 2,30 m fällt beim Einsatz von 30,8 Vol.-% Kohlendioxid die CO₂-Konzentration nach einer Versuchszeit von etwa 15 min auf ca. 17 Vol.-% ab und weist nach ca. 25 min nur noch 5 Vol.-% auf. In einer Meßhöhe von 1,50 m dagegen bleibt die CO₂-Konzentration noch bis zu einer Versuchszeit von 15 min auf über 30 Vol.-%, fällt dann langsam ab und erreicht nach einer Versuchszeit von ca. 25 min etwa 7 Vol.-%. Das bedeutet, daß in Bodennähe länger eine höhere CO₂-Konzentration erhalten bleibt als in Deckennähe; das schwerere Kohlendioxid sinkt langsam nach unten.

Bei den Versuchen mit 17,9 Vol.-% bzw. 14,8 Vol.-% Kohlendioxid als Löschmittel fallen die Meßwerte an den Meßstellen Nr.2 und Nr.3 mit denen an der Meßstelle Nr.1 zusammen, woraus geschlossen werden kann, daß das Löschmittel auch noch nach einer Versuchszeit von 30 min gleichmäßig im Raum verteilt ist.

Die O₂-Konzentration verläuft entgegengesetzt zur CO₂-Konzentration. Nach dem Zünden der Holzkrippe fällt die O₂-Konzentration bei den 3 Versuchen an der unmittelbar über der Krippe befindlichen Meßstelle Nr.1 stark ab und erreicht kurz vor Löschbeginn Werte unter 8 Vol.-%.

Nach dem Löscheinsatz steigt die O₂-Konzentration im gesamten Versuchsraum wieder an und erreicht nach einer Versuchszeit von 30 min sowohl direkt über die Krippe als auch unterhalb der Decke Werte von mehr als 15 Vol.-%, beim Einsatz von 30,8 Vol.-% CO₂ erreicht sie sogar mehr als 20 Vol.-%.

Die über der Holzkrippe gemessene CO-Konzentration steigt vor Löschbeginn bei allen 3 Versuchen je nach Brandverlauf auf Werte zwischen 5 Vol.-% und 9 Vol.-% an. Nach dem Löschmitteleinsatz fällt die CO-Konzentration im gesamten Versuchsraum auf den Wert Null ab.

Die vor Löschbeginn ermittelte geringe CH_4 -Konzentration von max. 2,5 Vol.-% direkt über der Holzkrippe, die auf die Pyrolyse des Holzes zurückzuführen ist, ist nach dem Löscheinsatz auf Null abgesunken.

Die Bilder 18 bis 20 zeigen die Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Gasanalysen beim Einsatz von mittleren Löschmittelkonzentrationen von 6,02 Vol.-%, 4,13 Vol.-% und 3,32 Vol.-% Halon 1211. In den Bildern ist der zeitliche Verlauf der Halon 1211-Konzentration, der O₂-Konzentration und der CO₂-Konzentration an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.3 in der Raummitte aufgetragen. In den Tabellen 3 bis 5 sind die jeweiligen Momentanwerte der Konzentrationen jeweils für alle 9 Meßstellen aufgeführt.

Vor Löschbeginn ergibt sich, abhängig vom Brandverlauf, ein ähnlicher Verlauf der gemessenen Konzentrationen der Gaskomponenten wie bei den Versuchen zuvor. Nach dem Einsatz des Löschmittels ist bei allen drei Versuchen sehr deutlich der steile Anstieg der Halon 1211-Konzentrationen auf Werte zwischen 7 Vol.-% und 4 Vol.-% an allen drei Meßstellen zu erkennen.

An der Meßstelle Nr.1 fallen diese Konzentrationen bei den drei Versuchen innerhalb der Versuchszeit von 30 min sehr langsam auf Werte zwischen 6 Vol.-% und 3,5 Vol.-% ab.

An der Meßstelle Nr.2 in einer Meßhöhe von 1,50 m fällt beim Einsatz von 6,02 Vol.-% bzw. 4,13 Vol.-% Halon 1211 die Halon 1211-Konzentration 5 min nach dem Löschbeginn nur leicht ab. Nach weiteren 5 min ist die Halon 1211-Konzentration bereits auf unter 2 Vol.-% bzw. 1,5 Vol.-% abgesunken. Beim Einsatz einer Konzentration von 3,32 Vol.-% Halon 1211 wird bereits der Einfluß der Konzentration deutlich, da jetzt im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Versuchen die Halon 1211-Konzentration während der gesamten Versuchszeit annähernd so hoch bleibt wie in Bodennähe.

Im oberen Teil des Versuchsraumes an der Meßstelle Nr.3 in einer Höhe von 2,30 m ist die Abhängigkeit von der eingegebenen Löschmittelkonzentration besonders deutlich zu erkennen. So fällt kurz nach dem Einsatz einer Konzentration von 6,02 Vol.-% Halon 1211 die Halon 1211-Konzentration stark ab und erreicht 15 min später den Wert von ca. 0,5 Vol.-% (siehe Tabelle 3). Nach dem Einsatz von 4,13 Vol.-% sinkt die Halon 1211-Konzentration im gleichen Zeitraum auf ca. 1 Vol.-% ab (siehe Tabelle 4) und nach dem Einsatz von nur 3,32 Vol.-% Halon 1211 auf ca. 1,5 Vol.-% (siehe Tabelle 5).

An den Meßstellen Nr.4 bis Nr.6 und Nr.7 bis Nr.9 (siehe Tabellen 3 bis 5) sind die jeweiligen Momentanwerte der Halon 1211-Konzentration ähnlich wie in der Raummitte, d.h. im gesamten Versuchsraum sind in den gleichen Meßhöhen etwa die gleichen Löschmittelkonzentrationen vorhanden. In der Raumhöhe von 1,50 m ist eine höhere Halonkonzentration länger vorhanden als unterhalb der Decke, d.h. das schwerere Löschmittel sinkt nach unten und Frischluft gelangt in den oberen Teil des Raumes, da dort Unterdruck herrscht.

Die ${\rm O_2}$ -Konzentration fällt während des Brandes im gesamten Versuchsraum stark ab, erreicht direkt über der Holzkrippe Werte von weniger als 5 Vol.-% und steigt bei Löschbeginn sofort wieder auf mehr als 15 Vol.-% an. Mit zunehmender Versuchszeit liegen im oberen Teil des Raumes die Werte der ${\rm O_2}$ -Konzentration etwas höher als in Bodennähe.

Der Verlauf der CO₂-Konzentration ist wiederum dem der O₂-Konzentration entgegengesetzt. Nach dem Zünden steigt die CO₂-Konzentration bei allen 3 Versuchen an der Meßstelle Nr.1 stark an, erreicht max. 20 Vol.-% und fällt nach dem Löschbeginn auf weniger als 3 Vol.-% ab. Im oberen Teil des Raumes an den Meßstellen Nr.2 und Nr.3 erreicht die CO₂-Konzentration 10 min nach Löschbeginn beim Einsatz von 6,02 Vol.-% Halon 1211 den Wert Null. Beim Einsatz der geringeren Löschmittelkonzentrationen von 4,13 Vol.-% bzw. 3,32 Vol.-% bleibt die CO₂-Konzentration von 3 Vol.-% bis zu einer Versuchszeit von 20 min bzw. von 25 min erhalten und fällt danach erst auf den Wert Null ab.

Die CO-Konzentration steigt vor Löschbeginn bis auf Werte von knapp 10 Vol.-% an und sinkt nach dem Löscheinsatz auf den Wert Null ab. Lediglich der Einsatz der geringeren Löschmittel-konzentration von 3,32 Vol.-% bewirkt nach dem Löscheinsatz ein langsameres Absinken der Werte auf Null. Die vor dem Löschbeginn vorhandene, aus der Pyrolyse des Holzes stammende, CH_4 -Konzentration über der Holzkrippe fällt nach dem Einsatz der jeweiligen Löschmittelkonzentration auf den Wert Null ab.

Die Bilder 21 bis 23 zeigen den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen von Halon 1301, O₂ und CO₂ bei den Brand- und Löschversuchen mit einer mittleren Konzentration von 4,58 Vol.-%, 2,78 Vol.-% und 1,95 Vol.-% Halon 1301 an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.3. Auf den Tabellen 6 bis 8 sind die Momentanwerte jeweils für alle 9 Meßstellen aus diesen 3 Versuchen eingetragen.

Mit zunehmender Versuchszeit nimmt bei dem Löschmitteleinsatz von 4,58 Vol.-% Halon 1301 die Halon 1301-Konzentration, wie auch bei den Versuchen mit Halon 1211, im oberen Teil des Versuchs-raumes schneller ab als im unteren Teil. Beim Einsatz von nur 1,95 Vol.-% Halon 1301 ist ein Absinken der Halon 1301-Konzentration im gesamten Versuchsraum nicht mehr zu erkennen, d.h. das Löschmittel bleibt gleichmäßig im Versuchsraum verteilt.

Die O_2 -Konzentration sinkt vor Löschbeginn auf weniger als 5 Vol.-% ab und steigt nach dem Löscheinsatz wie bei den vorherigen Versuchen mit Halon 1211 wieder steil an. Die ${\rm CO}_2$ -Konzentration verhält sich dazu gegenläufig und sinkt nach einer Versuchszeit von 12 min im gesamten Versuchsraum auf Werte unter 3 Vol.-% ab. Der Einsatz einer Löschmittelkonzentration von 1,95 Vol.-% weist Unterschiede bei der gemessenen CO- bzw. CH_4 -Konzentration auf. Die CO-Konzentration und CH_4 -Konzentration erfahren nach dem Löschbeginn eine Zunahme bevor sie nach einer Versuchszeit von ca. 20 min den Wert Null annehmen, wie Tabelle 8 zeigt. Dies deutet darauf hin, daß bei der Löschmittelkonzentration von ca. 2 Vol.-% die für diese Versuche löschfähige Konzentration erreicht ist, da noch nach Löschbeginn CO und CH_4 gebildet werden, die bei unvollständiger Verbrennung, d.h. Schwelbrand, vermehrt auftreten. Bei diesem Brandversuch reichte das Halon zum Löschen des Brandes gerade noch aus.

Ein Vergleich der mit Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 durchgeführten Versuche zeigt, daß die Ursache für die zeitlichen und örtlichen Konzentrationsverteilungen in der Konzentration des eingebrachten Löschmittels und in den damit verbundenen Druckverhältnissen im Brandraum zu suchen ist. So wird z.B. beim Einsatz der größeren Löschmittelmenge durch die Dichteunterschiede im oberen Teil des Raumes ein Unterdruck erzeugt, der durch Leckageöffnungen Luft einströmen läßt. Der Überdruck im unteren Teil des Versuchsraumes bewirkt,

daß Löschmittel und Rauchgase durch Leckageöffnungen aus dem Raum ausströmen. Im oberen Teil des Raumes nimmt deshalb bei größeren Löschmittelmengen die O_2 -Konzentration nach dem Löscheinsatz schneller wieder zu und die CO_2 -Konzentration erreicht schneller den Wert Null, als bei geringeren Löschmittelmengen.

4.3.2. Versuche im Modellmaßstab

Zunächst wurde im Versuchsraum im Modellmaßstab mit den Löschmitteln Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 je ein Kaltversuch durchgeführt, um die Verteilung des Löschmittels im Versuchsraum beurteilen zu können. Die mittleren Löschmittelkonzentrationen betrugen 23,5 Vol.-%, 6,24 Vol.-% und 5,58 Vol.-%. Bild 24 zeigt für jeden Versuch den zeitlichen Verlauf der kontinuierlich und diskontinuierlich gemessenen Konzentration des Löschmittels an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.4 in der Mitte des Modellraumes. In den Tabellen 9 bis 11 sind die momentanen Meßwerte der 3 Versuche jeweils für alle 8 Meßstellen eingetragen.

Wie Bild 24 zeigt, steigt beim Einsatz des jeweiligen Löschmittels die Konzentration etwa auf den theoretisch ermittelten Wert an. Während im unteren Teil des Raumes die Konzentration bei diesen 3 Versuchen sehr langsam abfällt, ist im oberen Teil des Versuchsraumes an den Meßstellen Nr.4 und Nr.8 wenige Minuten nach dem Einsatz ein stärkerer Abfall zu verzeichnen, was wiederum auf die Dichteunterschiede zwischen Löschmittel und Umgebungsluft zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse der Brandversuche im Modellmaßstab sind in den Tabellen 12 bis 17 aufgelistet und in den Bildern 25 bis 30 teilweise dargestellt. Bild 25 zeigt den zeitlichen Verlauf der kontinuierlich und diskontinuierlich gemessenen Konzentrationen an den Meß-stellen Nr.1 bis Nr.4 beim Einsatz von 23,5 Vol.-% Kohlendioxid. Nach dem Löscheinsatz steigt die ${\rm CO_2}$ -Konzentration und ${\rm O_2}$ -Konzentration an der Meßstelle Nr.1 in einer Meßhöhe von 0,15 m in der Mitte des Raumes steil an. Aufgrund des Unterdruckes unterhalb der Decke nimmt die ${\rm CO_2}$ -Konzentration im oberen Teil des Raumes etwas schneller ab, die ${\rm O_2}$ -Konzentration zentration etwas schneller zu, was besonders deutlich anhand der Momentanwerte zu erkennen ist. Dies ist, wie bereits erwähnt, auf die Dichteunterschiede zurückzuführen.

Die CO-Konzentration, die vor Löschbeginn auf mehr als 15 Vol.-% (siehe Tabelle 12) ansteigt, fällt nach dem Löscheinsatz auf den Wert Null ab. Die während des Brandes direkt über der Holzkrippe gemessene CH₄-Konzentration von ca. 3,3 Vol.-% kann nach dem Löschen nicht mehr festgestellt werden.

In Bild 26 ist der zeitliche Verlauf der kontinuierlich und diskontinuierlich gemessenen Konzentrationen an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.4 beim Einsatz von 7,3 Vol.-% Kohlendioxid dargestellt. Tabelle 13 zeigt die einzelnen Momentanwerte. Vor Löschbeginn sind bei der kontinuierlichen Messung im Gegensatz zu den Momentanwerten und den Meßwerten aus den anderen Brandversuchen Unterschiede im Konzentrationsverlauf zu erkennen, die nicht erklärt werden können.

Nach dem Löschmitteleinsatz fällt die CO₂-Konzentration nach einem kurzen Anstieg auf ca. 7 Vol.-% und die O₂-Konzentration bis auf Werte von ca. 10 Vol.-% ab. Die Momentanwerte der O₂-Konzentration liegen bei ca. 16 Vol.-%, weisen aber auch eine abfallende Tendenz auf. Die momentanen Einzelwerte der CO-Konzentration fallen nach Löschbeginn auf Null ab, steigen jedoch erneut an.

Diese Konzentrationsmessungen zeigen, wie bereits anhand der Temperatur- (siehe Bild 8a) und Druckmessungen (siehe Bild 12c) festgestellt werden konnte, daß der Einsatz einer geringen Konzentration von 7,3 Vol.-% Kohlendioxid nicht zum Löschen ausreicht. Die Holzkrippe schwelte unter Sauerstoffmangel weiter, bis nach ca. 20 min nur noch verkohltes Holz vorhanden war.

Die Bilder 27 und 28 zeigen den zeitlichen Verlauf der kontinuierlich und diskontinuierlich gemessenen Konzentrationen an den Meßstellen Nr.1 bis Nr.4 der Löschversuche mit Halon 1211 bei einer mittleren Konzentration von 4,9 Vol.-% und 2,9 Vol.-%. In den Tabellen 14 und 15 sind die einzelnen Momentanwerte aufgeführt. Bei beiden Versuchen steigt die Halon 1211-Konzentration nach dem Löschen wie bei allen bisherigen Versuchen sofort auf den theoretischen Wert an und fällt dann langsam ab. Die Konzentrationswerte an den restlichen Meßstellen zeigen, daß das Halon bei beiden Versuchen gleichmäßig im Raum verteilt ist. Die Momentanwerte der O_2 -Konzentrationen und $\text{CO}_{\overline{2}}$ Konzentrationen weisen für beide Löschversuche mit Halon 1211 bis auf kleinere Abweichungen, die von der Löschmittelmenge abhängen, praktisch keine Unterschiede auf. Die O2-Konzentration liegt bei über 17 Vol.-% bzw. 18 Vol.-%. Kohlenmonoxid und Methan sind nach dem Löschen auf den Wert Null abgesunken.

Die Meßwerte der beiden mit den mittleren Halon 1301-Konzentrationen von 5,48 Vol.-% bzw. 3,62 Vol.-% durchgeführten Versuche sind in den Bildern 29 bzw. 30 und in den Tabellen 16 bzw.17 eingetragen. Ein Unterschied zu den Brandversuchen im Modellmaßstab mit Halon 1211 besteht darin, daß in Bodennähe die Halon 1301-Konzentration über der Holzkrippe bei beiden Versuchen geringfügig niedriger liegt als im übrigen Versuchsraum. Die O₂-Konzentration steigt auch bei diesen Versuchen über 18 Vol.-% an. Nach dem Löschen liegt die CO₂-Konzentration bei ca. 1,5 Vol.-%,also nur noch etwa halb so hoch wie beim Einsatz von Halon 1211.

4.4. Konzentrationsmessung mit Prüfröhrchen

Der Einsatz der Gaschromatographie für die Analyse geringer Mengen an Pyrolyseprodukten beim Einsatz von Halonen als Löschmittel ist z.Zt. noch nicht möglich. Bisher wurde nur Chlor und Chlorwasserstoff in einem Prüfgasgemisch in größeren Mengen analysiert /3/. Deshalb wurde bei den Versuchen, die mit den Löschmitteln Halon 1211 und Halon 1301 im Versuchs-raum im Modellmaßstab durchgeführt wurden, mit Hilfe geeigneter Prüfröhrchen untersucht, ob nach dem Löscheinsatz Pyrolyseprodukte der Halone entstanden sind. Die gemessenen Konzentrationen wurden in Tabelle 18 angegeben. Neben der Versuchszeit sind die entsprechenden Konzentrationen einiger Pyrolyseprodukte eingetragen.

Da bei den Prüfröhrchen je nach Typ eine bestimmte Hubzahl mit der Gasspürpumpe eingehalten werden muß, stellt die bis zu einigen Minuten dauernde Messung der Konzentration der jeweiligen Gaskomponente einen zeitlichen Mittelwert dar. Der Prüfröhrchentyp, die Hubzahl und der Meßbereich sind nach /5,6/ in die Tabelle 19 eingetragen.

Anhand dieser Tabellen wird deutlich, daß Pyrolyseprodukte im Brandraum auftreten, deren Konzentrationen teilweise über den MAK-Werten liegen. Zum Vergleich sind für einige Pyrolyseprodukte die MAK-Werte nach /5/ in Tabelle 20 eingetragen.

4.5. Optische Rauchdichte

Bei den Untersuchungen im natürlichen Maßstab wurde die optische Rauchdichte an der in Bild 3 eingezeichneten Stelle bestimmt. Die Bilder 31a-c bis 33a-c zeigen als Maß für die optische Rauchdichte die Beleuchtungsintensität I/I_{O} in Abhängigkeit von der Versuchszeit.

Aus Vergleichsgründen ist auf Bild 31a-c die bei den in /2/durchgeführten Brand- und Löschversuchen mit Kohlendioxid als Löschmittel gemessene Beleuchtungsintensität mit aufgeführt.

Alle 9 Versuche zeigen die starke Abhängigkeit der Beleuchtungsintensität I/I von der Brandentwicklung der Holzkrippen.
Je nach der Rauchentwicklung treffen bis zum Zeitpunkt des
Löscheinsatzes nur noch zwischen 15% und 40% der ursprünglichen
Lichtemission auf den Empfänger auf.

Der Einsatz eines der gasförmigen Löschmittel bewirkt, daß die Beleuchtungsintensität sofort den Wert Null erreicht, d.h. der Versuchsraum ist nach dem Löschbeginn vollständig dunkel. Beim Einsatz der höheren Konzentration des jeweiligen Löschmittels (30,8 Vol.-% CO2, 6,02 Vol.-% Halon 1211 und 4,58 Vol.-% Halon 1301) nimmt nach weiteren 2 min bis 5 min die Beleuchtungsintensität wieder zu, d.h. im Versuchsraum werden in Höhe der Meßstrecke die Sichtverhältnisse wieder besser, weil das schwerere Löschmittel in dem unteren Teil des Raumes absinkt; die Beleuchtungsintensität I/I steigt bis auf Werte zwischen 40% und 70% wieder an. Während nach dem Einsatz der geringeren CO₂-Konzentrationen von 17,9 Vol.-% und 14,8 Vol.-% die Beleuchtungsintensität über der gesamten Versuchszeit den Wert Null behält, erfolgt nach dem Einsatz der Halon 1211-Konzentrationen von 4,13 Vol.-% und 3,32 Vol.-% wieder ein Anstieg, der umso später auftritt und geringer ist, je kleiner die eingesetzte Halon 1211-Konzentration ist. Dies bedeutet, daß beim Einsatz der kleineren Halon 1211-Konzentration die Sichtverhältnisse im Versuchsraum natürlicher Größe in Höhe der Meßstrecke schlechter sind als beim Einsatz der höheren Halon 1211- Konzentration.

Im Falle des Einsatzes von Halon 1301 als Löschmittel mit einer Konzentration von 2,78 Vol.-% steigt die Beleuchtungsintensität ca. 10 min nach dem Löschbeginn wieder minimal an, während sie beim Einsatz von 1,95 Vol.-% Halon 1301 auf dem Wert Null

verbleibt, d.h. der Raum ist auch nach einer Versuchszeit von 30 min immer noch dunkel.

4.6. Brandmelder

Im Versuchsraum natürlicher Größe wurde über der Tür ein Ionisationsrauchmelder installiert (Bild 3). Dieser sprach bei allen durchgeführten Versuchen nach einer Versuchszeit zwischen 1 min und 2 min an, sodaß im Ernstfall die Löschanlage nicht erst nach einem Abbrand der Holzkrippe von ca. 20 Gew.-%, sondern bereits bei einer viel geringeren Brandentwicklung anspricht und den Brand dementsprechend früher löscht.

5. VERGLEICH DER VERSUCHE IM NATÜRLICHEN MASSTAB UND IM MODELLMASSTAB

Die Untersuchungen wurden in 2 Versuchsräumen durchgeführt, deren Rauminhalt 50 m³ bzw. 1,45 m³ beträgt. Um die Versuche vergleichen zu können, wurden jeweils Holzkrippen als Brandgut verwendet und die Brandlast in beiden Versuchsräumen auf jeweils ca. 250 g/m³ Raum, der Abbrand bei Löschbeginn auf ca. 20 Gew.-% festgelegt (siehe Tabelle 1 und 2).

Es wurde versucht, auch die beim Einsatz verwendeten Löschmittelkonzentrationen für die einzelnen Versuche mit Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 sowohl im Versuchsraum natürlicher Größe als auch im Versuchsraum im Modellmaßstab gleich zu wählen, was jedoch mit Schwierigkeiten verbunden war. So war es z.B. nicht möglich, die Druckflaschen mit den Löschmitteln bei allen Einsätzen immer auf der gleichen Temperatur und damit auf dem gleichen Dampfdruck zu halten, da sie in nicht klimatisierten Räumen aufbewahrt wurden, sodaß selbst bei gleichen Flutungszeiten an verschiedenen Tagen unterschiedliche Konzentrationen in den Versuchsraum gelangen konnten.

Wie die Temperaturmessungen zeigen, kann vor Löschbeginn bei den Versuchen sowohl im natürlichen Maßstab als auch im Modellmaßstab der zeitliche Temperaturverlauf bis auf geringere Unterschiede in der erreichten Maximaltemperatur, die zwischen 900 °C und 1 000 °C liegt, als annähernd gleich betrachtet werden.

Nach dem Einsatz der gasförmigen Löschmittel Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 ist der Temperaturverlauf bei allen Versuchen im natürlichen und im Modellmaßstab ebenfalls ähnlich, wobei mit abnehmender Löschmittelmenge die Endtemperatur später erreicht wird. Dabei ist beim Einsatz von Kohlendioxid der Einfluß einer unterschiedlich hohen Konzentration deutlicher zu erkennen als beim Einsatz der Löschmittel Halon 1211 und Halon 1301, bei denen bei geringeren Konzentrationen beim Abfall der Temperatur nur noch kleinere Differenzen auftreten.

Die Druckdifferenzen zwischen Brandraum und Umgebung hängen nicht nur von der Dichte und der Temperatur der sich im Brandraum befindenden Gase ab, sondern auch von der Höhe des Raumes sowie von den sich darin befindenden Leckageöffnungen.

Vor dem Einsatz des jeweiligen Löschmittels befindet sich in beiden Versuchsräumen die neutrale Druckzone in einer Meßhöhe von 0,9 m bis 1,0 m. Im Versuchsraum im Modellmaßstab liegt sie somit im oberen Teil des Versuchsraumes, während sie sich im Versuchsraum im natürlichen Maßstab etwas unterhalb der halben Raumhöhe befindet, d.h. im Versuchsraum im Modellmaßstab sind die Druckdifferenzen unterhalb der Decke geringer als die im Versuchsraum im natürlichen Maßstab, da auch der Abstand zur neutralen Druckzone geringer ist. Daß die neutrale Druckzone in beiden Versuchsräumen etwa in gleicher Höhe liegt, ist darauf zurückzuführen, daß im Versuchsraum im Modellmaßstab die Leckage-öffnungen in Deckennähe etwas größer sind als in Bodennähe, während sie im Versuchsraum im natürlichen Maßstab gleichmäßig im gesamten Raum verteilt sind.

Nach dem Löschmitteleinsatz kann bei allen Versuchen ein von der eingegebenen Löschmittelkonzentration abhängiger Verlauf der Druckdifferenzen zwischen Versuchsraum und Umgebung festgestellt werden.

Der Einsatz höherer Löschmittelkonzentrationen verursacht im jeweiligen Versuchsraum eine von oben nach unten gerichtete Strömung, die auf die größeren Dichteunterschiede zurückzuführen ist. Das schwerere Löschmittel sinkt jeweils nach unten, was besonders gut bei den im Versuchsraum im Modellmaßstab durchgeführten Kaltversuchen zu erkennen ist.

Beim Einsatz geringerer Löschmittelkonzentrationen sind die Druckdifferenzen im oberen und unteren Teil des jeweiligen Versuchsraumes geringer, d.h. das Löschmittel ist gleichmäßig im Raum verteilt; eine Entmischung findet praktisch nicht mehr statt.

Weiterhin sind im Versuchsraum sowohl im natürlichen Maßstab als auch im Modellmaßstab vor dem Löschmitteleinsatz keine gravierenden Unterschiede im Konzentrationsverlauf der Brandgase festzustellen. Nach dem Einsatz der gasförmigen Löschmittel entsprechen die Konzentrationen bei allen Versuchen etwa den theoretisch ermittelten Werten. Die Verteilung der Konzentrationswerte in beiden Versuchsräumen ist insofern etwas verschieden, daß im Versuchsraum natürlicher Größe und bei den Kaltversuchen im Versuchsraum im Modellmaßstab das Absinken des schweren Löschmittels deutlicher festgestellt werden konnte. Die Abhängigkeit des Absinkens von der eingesetzten Löschmittelkonzentration ist bei allen Versuchen deutlich zu erkennen.

Nach diesen Untersuchungen ist es daher möglich, die zukünftigen Versuche nur noch im Versuchsraum im Modellmaßstab durchzuführen, was einen viel geringeren Aufwand an Zeit und Material bedeutet. Sie werden mit einzelnen im Versuchsraum natürlicher Größe durchgeführten Versuchen verglichen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines langfristigen Forschungsauftrages wurden Untersuchungen mit den gasförmigen Löschmitteln Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 sowohl in einem Versuchsraum natürlicher Größe mit einem Volumen von 50 m³ als auch in einem Versuchsraum im Modellmaßstab mit einem Volumen von ca. 1,5 m³ durchgeführt. Bei allen Versuchen wurden Holzkrippen verwendet, die auf den Rauminhalt bezogen das gleiche Gewicht hatten. Während des Versuchsablaufes wurde jeweils der Massenverlust des Brandgutes durch Abbrand mittels einer elektrischen Waage bestimmt. Der Löschbeginn wurde bei einem Abbrand von 20 Gew.-% festgelegt.

Die gasförmigen Löschmittel Kohlendioxid, Halon 1211 und Halon 1301 wurden aus Druckgasflaschen entnommen und im Versuchsraum natürlicher Größe über 2 Düsen, im Versuchsraum im Modellmaßstab über 1 Düse ins Innere des Versuchsraumes eingegeben.

Das Temperaturfeld wurde im Versuchsraum natürlicher Größe mit 32, im Versuchsraum im Modellmaßstab mit 14 Thermoelementen bestimmt. Die Messung der Druckdifferenzen erfolgte jeweils an mehreren über der Raumhöhe verteilten Meßstellen. Zusätzlich wurden durch kontinuierliche und diskontinuierliche Konzentrationsmessungen die während der Brand- und Löschversuche auftretenden Gaskomponenten ermittelt.

Im Versuchsraum natürlicher Größe wurde außerdem eine Meßstrecke zur Bestimmung der optischen Rauchdichte eingebaut, die die Beurteilung der Sichtverhältnisse im Brandraum sowohl durch den Brand als auch durch den Einsatz des Löschmittels ermöglicht. Die Höhe der Maximaltemperatur vor dem Löscheinsatz lag je nach Brandraumgröße und Abbrandverhalten der Holzkrippe zwischen 900 °C und 1 000 °C direkt über der Holzkrippe und bei 200 °C an der Wand des jeweiligen Versuchsraumes. Der Löscheinsatz bewirkte eine sofortige steile Temperaturabnahme und im Falle des Löscherfolges ein allmähliches Angleichen an die Ümgebungstemperatur.

Die Druckmessungen im Versuchsraum natürlicher Größe und im Versuchsraum im Modellmaßstab zeigten, daß beim Einsatz größerer Löschmittelmengen im oberen Teil des Versuchsraumes jeweils ein Unterdruck auftrat, so daß durch Leckageöffnungen Luft eindringen konnte. Im unteren Teil des Versuchsraumes herrschte Überdruck, so daß das Löschmittel und die Rauchgase nach außen entweichen konnten. Beim Einsatz geringerer Löschmittelkonzentrationen wurden jeweils nur geringe Druckdifferenzen festgestellt, d.h. das Löschmittel wurde gleichmäßiger im Versuchsraum verteilt. Die Druckdifferenzen hängen dabei nicht nur von der Dichte und Temperatur der Gase im Versuchsraum, sondern ebenfalls von der Höhe des Versuchsraumes und der darin befindlichen Leckageöffnungen ab.

Die Bestimmung der optischen Rauchdichte ergab, daß beim Einsatz kleinerer Löschmittelkonzentrationen während der gesamten Versuchszeit im Versuchsraum eine stärkere Sichtbehinderung auftritt als beim Einsatz größerer Löschmittelkonzentrationen.

Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die Versuche im Versuchsraum in natürlicher Größe und im Modellmaßstab ähnlich verlaufen, so daß zukünftige Versuche in Abhängigkeit von Brandgut und Brandlast vor allem im Modellmaßstab durchgeführt werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

/1/ Schatz, H.:

Brand- und Löschversuche mit gasförmigen Löschmitteln in Räumen natürlicher Größe.

Teil 1: Auswertung des in- und ausländischen Schrifttums über Untersuchungen mit Halon als Löschmittel. Forschungsbericht Nr.32 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer Arbeitskreis V - Unterausschuß

"Feuerwehrangelegenheiten" (1978)

/2/ Schatz,H.:

Brand- und Löschversuche mit gasförmigen Löschmitteln in Räumen natürlicher Größe.

Teil 3: Über die Löschwirksamkeit von Kohlendioxid beim Entstehungsbrand in einem Versuchsraum natürlicher Größe. Forschungsbericht Nr.37 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer

Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten" (1979)

/3/ Schatz,H.: Basmer, P.: Brand- und Löschversuche mit gasförmigen Löschmitteln in Räumen natürlicher Größe.

Teil 5: Gaschromatographie für die Analyse der Brand- und Löschgase im Vergleich mit kontinuierlichen Meßverfahren.

Forschungsbericht Nr. 40 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer

Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten" (1980) /4/

Standard on carbon dioxide extinguishing systems.

NFPA No.12 - 1977, S.1-93;

Standard on halogenated fire extinguishing agent systems - Halon 1301

NFPA No. 12A - 1977, S.1-128;

Halon 1211

NFPA No. 12B - 1977, S.1-91;

In: National Fire Codes,

Boston: NFPA (1980)

/5/

Prüfröhrchen-Taschenbuch Luftuntersuchungen und technische Gasanalyse mit Dräger-Röhrchen. Lübeck, 4. Ausgabe, 1979

/6/ Hommel,G.:

Handbuch der gefährlichen Güter, Teil 2. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, 1978 8. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. Schematische Übersicht der Versuchsdaten im Versuchsraum natürlicher Größe.

Löschmittel		co ₂	c02	c02	Halon 1211	Halon 1211	Halon 1211	Halon 1301	Halon 1301	Halon 1301
Rauminhalt	ш ₃	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Brandgut		Holz- krippe								
Brandlast	kg	12,65	13,4	13,0	12,87	12,7	12,9	13,0	12,85	12,9
Brandlast je Volumeneinheit g/m³	g/m ³	253,0	268,0	260,0	257,4	254,0	258,0	260,0	257,0	258,0
Abbrand bei Löschbeginn	kg	2,28	2,9	2,79	2,36	2,35	2,33	2,6	2,35	2,83
Abbrand bei Löschbeginn	Gew%	18	21,6	21,5	18,3	18,5	18,1	20,02	18,3	21,9
Löschbeginn	min	9	9,25	8,75	8,5	0'6	0'6	10,25	9,5	10,25
Flutungszeit	ល	28	80	16	15	10	6	10	ω	5,5
Löschmittel- menge	Жg	39,7	19,4	15,5	21,8	14,6	11,7	14,68	8,79	6,12
Löschmittel- menge je Volumeneinheit kg/m ³	kg/m ³	67,0	. 68 '0	0,31	0,44	0,29	0,23	0,29	0,18	0,12
Mittlere Löschmittel- konzentration	Vol8	30,8	17,9	14,8	6,02	4,13	3,32	4,58	2,78	1,95
Löscherfolg		ge- löscht								

Schematische Übersicht der Versuchsdaten im Versuchsraum im Modellmaßstab. Tabelle 2.

Löschmittel		co ₂	co_2	co ₂	Halon 1211	Halon 1211	Halon 1211	Halon 1301	Halon 1301	Halon 1301
Rauminhalt	т	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Brandgut		1	Holz- krippe	Holz- krippe	1	Holz- krippe	Holz- krippe	I	Holz- krippe	Holz- krippe
Brandlast	g	ı	375	365	ı	370	375	ı	356	371
Brandlast je Volumeneinheit	g/m ³	ı	259	252	ı	255	259	l	246	256
Abbrand bei Löschbeginn	מ	1	78	78	ı	78	78	ı	75	73
Abbrand bei Löschbeginn	Gew%	1	20,8	21,3	1	21,0	20,8	1	21,06	19,7
Löschbeginn	min	j	3,25	3,25	ı	3,5	3,3	ı	2,3	2,25
Flutungszeit	ល	5	2	1,5	4,5	m	2	4,5	4	1,5
Löschmittel- menge	ъg	0,8	0,82	0,21	09'0	0,46	0,33	0,52	0,51	0,33
Löschmittel- menge je Volumeneinheit	kg/m ³	0,53	0,55	0,14	0,40	0,31	0,22	0,35	0,34	0,22
Mittlere Löschmittel- konzentration	Vol %	23,5	23,6	7,3	6,24	4,9	2,9	5,58	5,48	3,62
Löscherfolg		I	ge- löscht	Schwel- brand	I	ge- löscht	ge- löscht	1	ge- löscht	ge- löscht

Tabelle 3. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1211 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 6,02 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1211	02	co ₂	СО	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 5.69 8.37 5.92 6.35	5.24 15.60 16.77 17.19 17.17	10.91 3.33 2.36 2.27 2.44	9.39 1.23 0.00 0.00	1.08 0.00 0.00 0.00 0.00	73.39 74.15 72.50 74.62 74.05
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 7.09 5.79 1.62 0.74	14.66 16.78 17.16 19.78 20.36	5.37 2.43 2.51 0.19 0.00	0.12 0.00 0.00 0.01 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.84 73.69 74.54 78.40 78.90
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 5.06 2.72 1.17 0.55	16.78 17.18 19.05 20.13 20.43	3.95 2.66 1.62 0.08 0.00	0.00 0.04 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.26 75.06 76.60 78.63 79.02
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 7.05 6.42 5.34 4.53	19.09 16.92 17.06 17.75 18.13	2.16 2.33 2.32 2.03 2.07	0.00 0.06 0.03 0.03	0.00 0.00 0.00 0.00	78.74 73.64 74.18 74.86 75.27
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 6.98 4.66 1.33 0.53	18.14 16.86 17.77 19.92 20.40	2.44 2.67 2.26 0.14 0.00	0.00 0.00 0.02 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.43 73.49 75.29 78.61 79.07
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 6.63 1.19 0.49 0.34	17.46 16.85 20.11 20.48 20.49	3.31 2.76 0.09 0.00 0.00	0.03 0.06 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.19 73.70 78.62 79.03 79.17
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 5.58 5.91 6.04 4.45	17.86 17.07 17.22 17.36 18.37	2.99 2.54 2.46 2.41 1.89	0.02 0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.13 74.81 74.40 74.19 75.29
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 6.91 3.10 1.76 1.10	*15.12 16.87 18.73 19.85 20.13	3.18 2.68 1.80 0.15 0.05	*0.02 0.02 0.01 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	*81.68 73.51 76.37 78.24 78.71
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5	8.0 9.0 14.0 19.0 24.0	0.00 4.79 0.77 0.32 0.21	17.55 17.70 20.24 20.51 20.58	3.24 2.34 0.05 0.00 0.00	0.00 0.01 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	79.21 75.16 78.94 79.17 79.21

Tabelle 4. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1211 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 4,13 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1211	02	co ₂	СО	CH ₄	^N 2
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 6.40 5.96 5.53 5.34	1.75 15.63 16.99 17.28 17.37	16.43 3.85 2.71 2.56 2.49	5.91 0.67 0.00 0.00 0.00	0.79 0.00 0.00 0.00 0.00	75.11 73.46 74.33 74.63 74.80
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 6.48 5.55 4.50 1.45	*45.59 16.66 17.12 17.88 19.77	6.96 3.04 2.91 2.32	*0.04 0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	* 47.41 73.83 74.43 75.31 78.54
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 6.34 3.04 1.87 0.90	16.15 16.68 18.60 19.38 20.09	4.93 3.26 2.06 1.35 0.10	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.92 73.72 76.29 77.41 78.91
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 3.67 5.63 4.97 4.38	19.76 17.99 17.10 17.54 17.88	1.59 2.32 2.68 2.40 2.20	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.65 76.03 74.60 75.08 75.53
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.18 5.24 2.31 1.31	17.56 17.58 17.18 19.07 20.00	3.43 2.79 3.23 1.75 0.20	1.79 0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	77.22 74.45 74.34 76.88 78.49
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.93 1.77 0.97 0.01	17.47 16.88 19.41 20.27 20.65	3.58 2.90 1.32 0.10 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.95 74.30 77.50 78.66 79.35
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.83 5.63 5.04 4.05	17.28 16.93 17.18 17.52 18.50	3.40 3.11 2.90 2.71 2.10	2.10 0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	77.22 74.13 74.29 74.74 75.35
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.87 5.47 2.78 1.55	17.55 16.93 17.25 18.93 19.53	3.85 3.13 2.80 1.91 1.45	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.60 74.07 74.48 76.38 77.47
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 4.90 1.07 0.54 0.47	17.44 17.24 19.85 20.26 20.37	3.89 3.04 0.24 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.67 74.82 78.84 79.20 79.16

Tabelle 5. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1211 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 3,32 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1211	02	CO ₂	СО	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 4.79 4.53 4.30 4.36	1.13 14.69 * 30.07 16.99 16.78	16.47 4.86 3.00 3.02 3.08	9.64 1.95 *31.46 1.32 1.35	1.63 0.00 0.00 0.00 0.00	71.13 73.71 * 30.94 74.37 74.44
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.15 4.52 3.84 3.64	13.85 16.20 16.65 17.24 17.46	7.03 3.63 3.23 2.91 2.80	0.29 1.55 1.36 1.21 1.07	0.00 0.00 0.00 0.00	78.84 73.47 74.24 74.80 75.04
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.14 4.40 2.00 1.43	15.85 16.52 17.02 18.99 19.34	5.28 3.61 3.18 1.97 1.64	0.08 0.07 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.79 74.67 75.41 77.04 77.60
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.18 4.55 4.34 4.13	18.66 16.58 17.18 17.15 17.32	2.55 3.53 3.29 3.17 3.04	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.79 74.72 74.99 75.34 75.51
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 4.95 4.44 3.94 3.87	17.66 16.69 17.04 17.46 17.44	3.60 3.54 3.27 3.01 2.91	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.74 74.83 75.25 75.60 75.78
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 5.07 2.67 1.24 0.75	16.90 16.48 18.41 19.43 19.85	4.36 3.61 2.38 1.61 1.31	0.06 0.06 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.69 74.79 76.55 77.72 78.09
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 4.21 4.46 4.49 3.87	17.36 16.98 16.98 17.11 17.53	3.89 3.26 3.25 3.27 2.89		0.00 0.00 0.00 0.00	78.75 75.55 75.30 75.13 75.71
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 4.32 4.22 3.95 3.57	16.99 16.74 17.25 17.44 17.75	4.19 3.60 3.11 2.97 2.72	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.82 75.33 75.42 75.63 75.97
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5	8.5 9.5 14.5 19.5 24.5	0.00 3.89 2.03 1.05 *5.72	16.98 16.84 18.63 19.56 *19.06	4.14 3.53 2.06 1.52 0.00	0.07 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.82 75.74 77.28 77.88 *75.22

Tabelle 6. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1301 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 4,58 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1301	02	co ₂	со	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.22 4.51 4.31 4.19 4.18	2.32 12.99 - 17.63 - 17.79	18.07 5.43 2.32 2.05 1.97	8.52 3.71 - 0.00	2.47 0.73 0.00	68.61 72.92 - 76.01 - 76.06
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.66 4.65 4.37 3.58 3.05	15.44 17.21 - 17.72 - 18.56	5.51 2.37 2.27 2.16 1.71 1.47	0.00	0.00	79.06 75.75 - 75.75 - 76.92
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.85 4.64 4.30 1.91 1.34	17.10 17.25 - 17.54 - 19.99	3.86 2.41 2.28 2.09 0.95 0.71	0.00	0.00	79.04 75.50 - 76.06 - 77.97
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	- - - 4.28 3.81	- - - - 18.16	- - - 2.09 1.85			- - - - 76.18
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 3.47 3.09 - 3.78 3.19	19.08 18.31 - - - 18.52	1.94 1.67 1.49 - 1.80 1.55	0.00 0.00 - - - 0.00	0.00 0.00 - - - 0.00	78.98 76.56 - - - 76.74
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.08 3.89 2.31 0.80 0.72	18.38 17.68 - 19.09 - 20.42	2.68 2.07 1.90 1.17 0.47 0.41	0.00	0.00 0.00 - 0.00	78.95 76.17 - 77.44 - 78.45
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.90 4.45 4.23 4.26 3.37	18.46 17.23 - 17.78 - 18.45	2.52 2.37 2.16 2.05 2.07	0.00	0.00	79.02 75.51 - 75.94 - 76.61
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 4.86 4.46 4.24 3.46 3.00	18.06 17.24 - 17.74 - 18.68	2.95 2.41 2.16 2.08 1.67 1.41	0.00 0.00 - 0.00	0.00	79.00 75.50 75.94 76.91
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 5.06 4.24 2.01 0.84 0.56	18.10 17.18 - 18.99 - 20.63	2.95 2.38 2.13 1.94 0.46 0.37	0.00	0.00	78.96 75.37 - 77.06 - 78.44

Tabelle 7. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1301 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 2,78 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1301	02	co ₂	со	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.28 2.13 2.20 2.10 0.58	1.16 12.37 - 18.05 - 20.32	19.40 6.42 2.08 2.01 1.84 0.66	8.97 4.53 - 0.00 -	2.89 0.95 - 0.00	67.58 73.44 - 77.74 - 78.44
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.60 2.33 1.97 2.14 2.04	16.08 17.50 18.49 18.49	4.80 2.65 2.12 1.79 1.99 1.82	0.00	0.00	79.12 77.25 - 77.75 - 77.65
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.89 2.29 2.18 2.25 1.97	16.42 17.45 - 18.25 - 18.62	3.96 2.65 2.17 2.03 2.00 1.82	0.00	0.00	79.61 77.01 - 77.53 - 77.60
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.57 2.09 2.17 2.27 2.13	19.10 17.42 - 18.26 - 18.52	1.38 2.63 2.02 1.93 2.09 1.88	0.00	0.00	79.53 77.38 - 77.64 - 77.47
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.77 2.57 2.32 2.16 1.97	18.55 17.51 - 18.04 - 18.65	2.48 2.63 2.37 2.13 1.94 1.78	0.00	0.00	78.96 77.09 - 77.51 - 77.59
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 1.45 1.96 1.75 1.51	18.53 18.19 - 18.77 - 19.32	2.45 2.32 1.92 1.60 1.41 1.28	0.00	0.00	79.02 78.04 - 77.88 - 78.04
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 - 2.21 2.16 1.98	18.56 - - 18.17 - 18.61	2.39 - 1.99 1.91 1.73	0.00	0.00	79.04 - - 77.63 - 77.68
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5 6	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 2.67 2.35 2.12 2.09 1.82	17.96 16.54 - 18.39 - 18.79	2.90 2.58 2.14 1.97 1.83 1.59	0.00	0.00	79.14 78.21 - 77.52 - 77.80
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5	9.0 10.0 12.5 15.0 20.0 25.0	0.00 0.89 2.41 2.08 1.77 1.28	18.87 17.86 - 18.36 - 19.32	2.12 2.80 2.37 1.99 1.59	0.00 0.00 - 0.00	0.00	79.00 78.45 - 77.57 - 78.19

Tabelle 8. Im Versuchsraum natürlicher Größe beim Brand- und , Löschvorgang mit Halon 1301 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-% (Löschmittelkonzentration 1,95 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1301	02	co ₂	СО	СН ₄	^N 2
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 0.78 1.08 0.99 0.89 0.83	3.14 7.10 18.11 19.14	16.62 10.68 4.58 2.32 1.95 1.48	5.50 8.42 - 0.25 -	1.19 1.98 - 0.00	73.55 71.04 - 78.32 - 78.55
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.82 1.22 1.22 0.93 0.88	13.00 16.69 - 18.16 - 19.07	7.88 3.57 2.33 2.28 1.73 1.56	0.00 0.47 - 0.00 -	0.00	79.12 77.45 - 78.34 - 78.49
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.74 1.39 1.18 0.97 0.91	16.36 16.88 - 18.25 - 19.05	4.55 3.32 2.52 2.21 1.86 1.62	0.00 0.20 - 0.00	0.00	79.09 77.86 - 78.36 - 78.42
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.88 1.09 1.02 0.81 0.75	18.64 17.29 - 18.72 - 19.31	2.35 3.05 2.05 1.88 1.55 1.44	0.00	0.00	79.01 77.78 - 78.38 - 78.50
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.82 1.61 1.52 1.17	17.34 17.22 - 17.67 - 18.78	3.46 3.14 2.85 2.70 2.13 1.86	0.00 0.00 - 0.00	0.00	79.20 77.81 - 78.11 - 78.33
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.59 1.30 1.17 0.89 0.78	17.23 17.67 - 18.54 - 19.21	3.69 2.79 2.40 2.11 1.68 1.46	0.00	0.00 0.00 - 0.00	79.08 77.95 - 78.18 - 78.55
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.54 1.27 1.28 0.95 0.71	17.04 17.52 18.07 19.23	3.65 2.85 2.33 2.38 1.80 1.39	0.00	0.00	79.31 78.10 - 78.28 - 78.66
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.69 1.47 1.38 1.12 0.94	16.77 17.22 - 17.96 - 18.81	4.10 3.21 2.74 2.49 2.04 1.71	0.00	0.00 0.00 - 0.00	79.13 77.89 - 78.16 - 78.54
Sonde Nr.9	1 2 3 4 5 6	9.75 10.75 13.25 15.75 20.75 25.75	0.00 1.75 1.52 1.42 1.09 0.91	16.90 17.23 - 17.99 - 18.93	4.01 3.18 2.87 2.74 1.98	0.00	0.00	79.09 77.84 - 77.84 - 78.45

Tabelle 9. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Kaltversuch mit Kohlendioxid gemessene Gaskomponente in Vol.-%. (Löschmittelkonzentration 23,5 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	co ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	21.37 23.95 23.43 22.43 21.34
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	23.04 23.66 20.19 23.00 22.85
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	23.19 23.60 22.67 20.89 21.80
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	22.80 19.08 14.52 18.25 13.91
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	23.93 23.77 21.70 19.65 23.06
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	23.86 * 12.07 23.14 21.57 22.75
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	23.72 23.60 22.94 22.62 19.43
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	22.94 23.24 20.42 15.26 15.56

Tabelle 10. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Kaltversuch mit Halon 1211 gemessene Gaskomponente in Vol.-%. (Löschmittelkonzentration 6,24 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1211
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.39 6.25 6.59 6.50 6.31
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.09 6.39 5.87 5.35 5.77
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	3.17 6.43 6.18 6.09 5.91
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.12 5.95 3.34 2.62 2.21
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.27 6.32 6.38 5.85 6.00
sonde Nr.6	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.34 5.51 6.39 6.32 6.35
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.26 6.42 6.33 6.09 5.78
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	0.5 5.5 10.5 15.5 20.5	6.32 5.85 4.28 3.17 2.43

Tabelle 11. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Kaltversuch mit Halon 1301 gemessene Gaskomponente in Vol.-%. (Löschmittelkonzentration 5,58 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchszeit min	Halon 1301
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.23 * 4.13 5.22
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.91 5.93 5.74 5.80 5.70
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.98 5.95 5.76 5.69 5.23
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.77 5.80 5.18 4.51 3.43
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	6.00 6.03 5.98 5.88 5.12
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.78 5.88 5.71 5.77 5.68
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.92 6.03 5.76 5.69 5.06
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	0.5 3.0 8.0 13.0 23.0	5.79 5.76 4.94 4.10 3.11

Tabelle 12. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Kohlendioxid als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.

(Löschmittelkonzentration 23,6 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	co ₂	02	со	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	18.69 32.73 28.81 * 15.87 25.92	2.21 12.57 13.87 *17.06 14.58	15.79 0.28 0.00 0.00	3.34 0.00 0.00 0.00 0.00	59.97 54.42 57.33 *67.08 59.49
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	8.08 31.89 25.15 27.38 26.11	12.79 12.98 14.73 14.19 14.42	0.21 0.12 0.00 0.00 0.00	0.15 0.00 0.00 0.00	78.77 55.01 60.12 58.43 59.47
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	3.74 31.81 29.34 26.97 18.67	17.39 13.07 13.70 14.22 16.41	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.87 55.12 56.96 58.82 64.92
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	2.95 30.80 26.19 23.31 22.51	18.17 13.14 14.51 15.17 15.54	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.87 56.06 59.31 61.52 61.95
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	0.14 33.19 29.64 27.38 25.91	20.91 12.63 13.51 14.05 14.46	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.96 54.18 56.85 58.57 59.62
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	2.04 31.51 22.82 21.43 25.42	18.99 13.10 15.25 15.63 14.63	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.97 55.39 61.93 62.93 59.96
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	- 32.10 29.15 26.21 24.51	13.00 13.67 14.40 14.88	0.00 0.00 0.00 0.00	- 0.00 0.00 0.00	54.90 57.19 59.39 60.61
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	0.71 28.61 27.24 24.98 22.69	18.65 13.82 14.16 14.82 15.45	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	80.64 57.58 58.59 60.21 61.85

Tabelle 13. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Kohlendioxid als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.

(Löschmittelkonzentration 7,3 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	co ₂	02	СО	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	18.16 10.87 12.65 15.01 12.15	* 1.34 16.00 14.21 10.72 13.18	* 18.51 0.88 1.62 2.79 1.71	3.81 0.00 0.00 0.46 0.00	* 58.19 72.25 71.52 71.02 72.97
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	9.16 12.54 9.36 12.46 13.55	9.96 15.56 16.19 13.80 12.33	3.57 0.58 0.84 1.58 1.91	0.00 0.00 0.00 0.01 0.00	77.31 71.32 73.62 72.16 72.22
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	3.98 3.37 12.32 12.64 13.19	16.50 20.01 14.93 13.81 12.90	0.00 0.00 0.96 1.41 1.65	0.00 0.00 0.00 0.00	79.52 76.62 71.78 72.14 72.26
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	2.94 9.55 10.48 14.04 12.12	17.69 16.99 15.68 12.51 13.22	0.00 0.00 0.93 1.86 1.69	0.00 0.00 0.00 0.02 0.00	79.37 73.46 72.90 71.57 72.97
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	0.14 12.14 11.21 10.31 11.52	20.82 16.15 15.52 14.87 13.57	0.00 0.00 1.09 1.29 1.64	0.00 0.00 0.00 0.00	79.05 71.70 72.18 73.52 73.27
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	2.12 6.85 12.03 13.70 13.42	18.53 18.09 15.18 13.06 12.36	0.00 0.00 0.83 1.75 1.92	0.00 0.00 0.00 0.01 0.01	79.35 75.06 71.96 71.47 72.28
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	3.01 12.18 12.44 14.20 13.08	17.55 16.01 14.68 12.50 12.62	0.00 0.00 1.07 1.83 1.83	0.00 0.00 0.00 0.00 0.01	79.44 71.81 71.81 71.45 72.47
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	2.75 3.75 8.75 13.75 18.75	3.10 12.32 12.62 14.12 13.19	17.59 16.02 14.62 12.54 12.57	0.00 0.00 1.16 1.81 1.84	0.00 0.00 0.00 0.03 0.01	79.31 71.66 71.60 71.50 72.38

Tabelle 14. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1211 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.

(Löschmittelkonzentration 4,9 Vol.-%)

	Probe	Versuchs- zeit min	Halon 1211	02	co ₂	СО	CH ₄	^N 2
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 5.15 5.88 5.69 5.00	9.35 17.09 17.34 17.64 17.84	11.42 3.42 3.14 3.02 2.86	9.71 0.18 0.00 0.00 0.00	1.25 0.00 0.00 0.00 0.00	68.27 74.16 73.63 73.65 74.30
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 4.27 5.85 5.59 5.58	12.96 14.83 17.48 17.57 17.58	9.69 5.78 3.18 3.01 3.02	2.98 0.88 0.00 0.00	0.66 0.00 0.00 0.00	73.71 74.24 73.49 73.83 73.82
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 6.47 5.88 4.78 5.41	15.91 19.25 17.49 17.97 17.54	5.95 3.35 3.13 2.76 3.04	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.14 70.93 73.50 74.49 74.01
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 5.14 5.77 5.38 5.27	17.17 16.90 17.53 17.68 17.57	4.76 3.59 3.17 2.98 2.98	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.06 74.37 73.53 73.96 74.18
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 4.30 5.59 4.41 4.85	20.43 18.35 17.64 18.16 17.92	1.58 2.62 3.08 2.64 2.75	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	77.99 74.74 73.69 74.79 74.48
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 3.98 5.89 5.68 5.55	18.13 18.52 17.66 17.48 17.41	3.68 2.52 3.18 3.11 3.04	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.19 74.98 73.27 73.73 74.00
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 4.91 5.85 5.40 5.19	17.70 16.87 17.70 17.65 17.74	4.25 3.64 3.17 2.98 2.93	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.05 74.58 73.28 73.96 74.15
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	3.0 4.0 9.0 14.0 19.0	0.00 5.37 5.86 5.50 5.15	17.56 17.16 17.14 17.05 17.90	4.41 3.58 3.19 3.03 2.93	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.02 73.89 73.82 74.42 74.02

Tabelle 15. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1211 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.
(Löschmittelkonzentration 2,9 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1211	02	co ₂	СО	CH ₄	^N 2
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 3.96 3.39 3.35 2.99	6.48 16.01 18.25 18.32 18.56	14.21 4.33 2.66 2.59 2.41	15.01 0.91 0.00 0.00 0.00	1.83 0.01 0.00 0.00	62.47 74.78 75.70 75.74 76.04
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 1.90 3.42 3.32 3.13	13.05 15.59 18.20 18.24 18.62	8.32 5.50 2.71 2.60 2.47	2.85 1.43 0.00 0.00 0.00	0.03 0.01 0.00 0.00	75.75 75.57 75.68 75.83 75.77
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 3.42 3.15 3.30 2.86	15.89 17.69 18.30 18.23 18.70	5.70 3.01 2.54 2.59 2.26	0.00 0.14 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.41 75.74 76.01 75.88 76.18
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 3.99 3.41 3.01 3.09	18.49 17.46 18.13 18.42 18.48	3.08 3.12 2.70 2.47 2.49	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.42 75.43 75.76 76.09 75.94
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 2.48 3.31 3.03 3.18	21.11 18.88 18.27 18.53 18.48	0.00 2.19 2.62 2.43 2.58	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.89 76.46 75.81 76.01 75.76
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 1.27 3.42 2.95 3.24	18.14 19.90 18.20 18.59 18.27	3.73 1.71 2.67 2.41 2.55	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.13 77.12 75.70 76.05 75.94
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 2.44 3.40 3.11 3.14	17.23 19.09 18.21 18.48 18.34	4.55 2.31 2.70 2.52 2.53	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.23 76.17 75.68 75.90 75.99
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	2.8 3.8 8.8 13.8 18.8	0.00 4.01 3.41 3.00 2.89	16.95 17.68 18.12 18.41 18.69	4.82 3.15 2.67 2.48 2.32	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	78.23 75.16 75.80 76.10 76.11

Tabelle 16. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1301 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.

(Löschmittelkonzentration 5,48 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1301	02	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	4.91 4.28 4.32 4.20 4.23	17.30 18.33 18.16 18.44 18.41	2.03 1.40 1.40 1.33 1.33	0.32 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	75.44 75.99 76.11 76.03 76.03
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.89 5.38 *3.56 5.00 4.88	17.13 17.57 *18.82 17.93 18.05	1.95 1.75 * 1.14 1.59 1.54	0.08 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	74.96 75.30 *76.48 75.48 75.52
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.94 5.24 5.15 4.87 4.33	17.20 17.73 17.75 18.01 18.43	1.89 1.74 1.66 1.55 1.37	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	74.96 75.30 75.45 75.56 75.86
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.73 5.41 5.07 4.94 4.07	17.53 17.57 17.76 17.90 18.47	1.84 1.77 1.66 1.55 1.26	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	74.90 75.25 75.51 75.61 76.19
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.86 5.35 5.15 4.98 4.91	17.53 17.57 17.92 18.15 17.95	1.90 1.74 1.67 1.58 1.58	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	74.71 75.34 75.26 75.30 75.57
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.88 5.38 5.11 * 2.51 4.81	17.52 17.73 17.82 * 18.69 18.12	1.88 1.77 1.63 *O.79 1.54	0:00 0.00 0.00 *0.01 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	74.72 75.12 75.43 * 78.00 75.53
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	5.61 5.06 4.74 4.84	17.48 17.96 18.18 18.18	1.83 1.66 1.54 1.52	0.00 0.00 0.00 0.00		75.08 75.33 75.54 75.47
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	2.8 7.8 12.8 17.8 27.8	* 24.83 5.32 4.94 4.05 3.85	*8.08 17.79 17.91 18.55 18.83	*37.19 1.73 1.60 1.27 1.21	*8.65 0.00 0.00 0.00 0.00	*12.95 0.00 0.00 0.00 0.00	* 8.31 75.16 75.55 76.13 76.12

Tabelle 17. Im Versuchsraum im Modellmaßstab beim Brand- und Löschvorgang mit Halon 1301 als Löschmittel gemessene Gaskomponenten in Vol.-%.

(Löschmittelkonzentration 3,62 Vol.-%)

	Probe Nr.	Versuchs- zeit min	Halon 1301	02	co ₂	СО	CH ₄	N ₂
Sonde Nr.1	1 2 3 4 5	2.75 * 7.75 12.75 17.75 27.75	3.29 3.01 2.81 2.67 2.40	17.46 18.34 18.88 18.92 19.25	2.57 1.53 1.42 1.33 1.17	0.63 1.12 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.06 76.01 76.88 77.08 77.18
Sonde Nr.2	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.97 3.49 3.19 3.13 2.78	17.65 18.24 18.61 18.59 18.86	2.29 1.76 1.58 1.57	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.10 76.51 76.62 76.71 76.99
Sonde Nr.3	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.97 3.52 3.28 3.12 2.76	17.91 18.23 18.37 18.55 18.88	1.99 1.78 1.65 1.53	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.14 76.48 76.70 76.80 77.03
Sonde Nr.4	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.63 3.48 3.35 3.14 2.53	18.26 18.21 18.43 18.55 19.19	1.80 1.78 1.66 1.55 1.23	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.31 76.53 76.56 76.76 77.05
Sonde Nr.5	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.87 3.52 3.26 3.13 2.80	18.03 18.23 18.40 18.55 18.84	1.93 1.78 1.63 1.54 1.38	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.17 76.47 76.70 76.78 76.98
Sonde Nr.6	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.97 3.51 3.29 3.10 2.76	17.93 18.27 18.43 18.64 19.04	1.94 1.77 1.65 1.50 1.33	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.16 76.45 76.63 76.76 76.87
Sonde Nr.7	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.96 3.52 3.23 2.99 *24.83	17.86 18.25 18.53 18.66 * 8.08	1.98 1.76 1.60 1.48 *37.19	0.00 0.00 0.00 0.00 *8.65	0.00 0.00 0.00 0.00 *12.95	76.20 76.47 76.64 76.88 * 8.31
Sonde Nr.8	1 2 3 4 5	2.75 7.75 12.75 17.75 27.75	3.84 3.50 3.25 3.00 2.54	18.02 18.35 18.49 18.83 19.06	1.93 1.75 1.61 1.47	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00	76.21 76.41 76.66 76.69 77.15

Tabelle 18. Im Versuchsraum im Modellmaßstab direkt über der Holzkrippe gemessene Pyrolyseprodukte von Halon 1211 und Halon 1301.

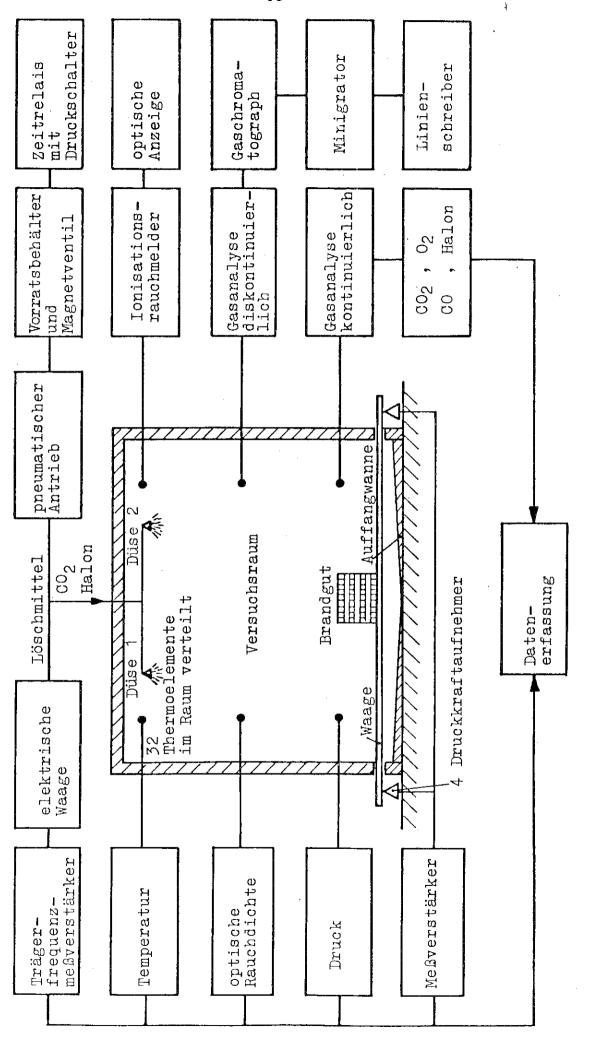
Löschmittel	Versuchszeit	Meßwert
Halon 1211 (4,9 Vol%)	min	ppm
co cl ₂ + co Br ₂	4	0,1
$Cl_2 + Br_2$	6	2
H Cl	7	12
H F	8	0
Cl ₂ + Br ₂	8	0
Halon 1211		
(2,9 Vol%)		
Cl ₂ + Br ₂	4	0
H Cl	5,5	16
H F	7	0
CO Cl ₂ + CO Br ₂	7,5	<0,1
Halon 1301		
(5,48 Vol%)		
H F	2,3	10
Br ₂	4,5	7
Br ₂	7	1
CO Br ₂	7,5	0
Halon 1301		
(3,62 Vol%)		
Br ₂	4,5	3,5
Br ₂	7	0,5
H F	7	0

Tabelle 19. Prüfröhrchentyp nach /5,6/.

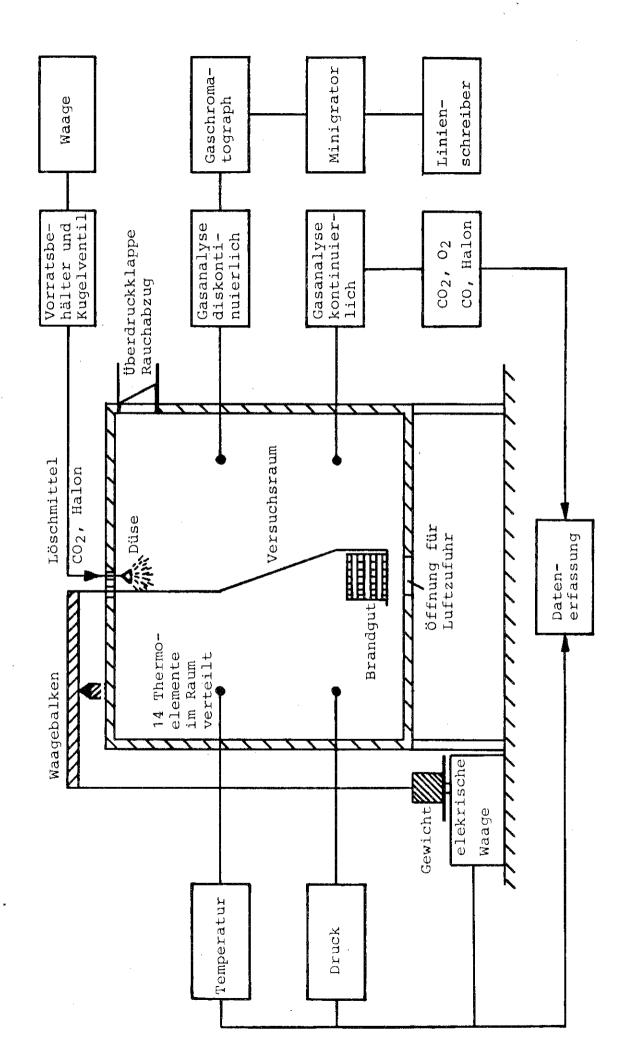
Gas	Prüfröhrchentyp	Hubzahl n	Meßbereich ppm
Chlor (Brom)	0,2/a	10	0,2 bis 30
Chlorwasser- stoff	1/a	10	1 bis 20
Phosgen (Carbonylbromid)	0,25/b	5	1 bis 15
Fluorwasser- stoff	1,5/b	20	1,5 bis 15

Tabelle 20. Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) für einige mögliche Pyrolyseprodukte nach /5/.

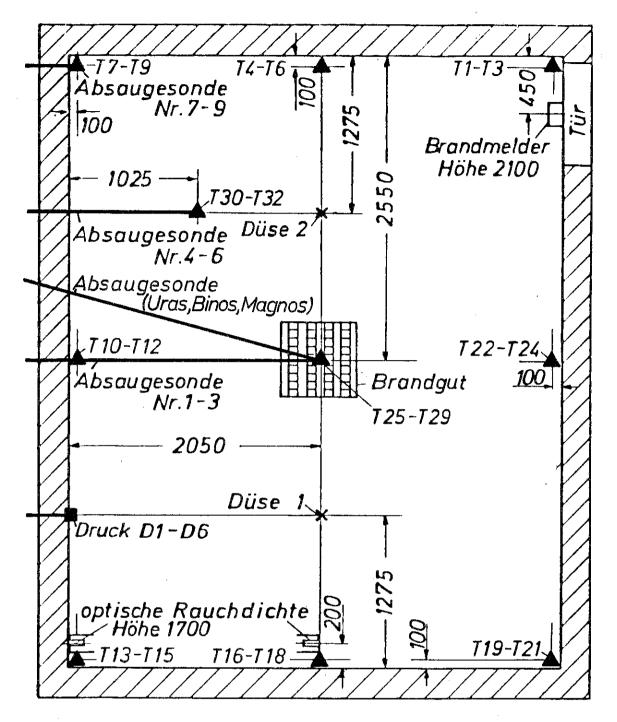
cl_2	H Cl	co cl ₂	F ₂	HF	\mathtt{Br}_2	H Br	
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
0,5	5,0	0,1	1,0	3,0	0,1	5,0	



Schema der Versuchsanordnung im Versuchsraum natürlicher Größe, Bild 1.

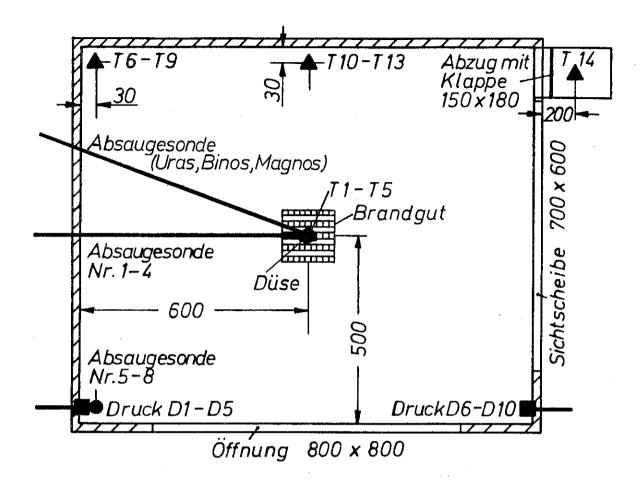


Schema der Versuchsanordnung im Versuchsraum im Modellmaßstab. Bild 2.



Absaugesonde	Thermoelement	Meßhöhe
	T1,T4,T7,T10,T13,	0,10 m
	T16,T19,T22,T28,T30	
Nr. 1, 4,7	<i>T 25</i>	0,35 m
	T 29	0,75 m
Nr. 2,5,8	T2,T5,T8,T11,T14,	1,50 m
	T17,T20,T23,T26,T31	
Nr.3,6,9	T3,T6,T9,T12,T15,	2,30 m
	T18,T21,T24,T27,T32	•

Druck D1 D2 D3 D4 D5 D6 Meßhöhe 0,00m 0,10m 0,65m 1,20m 1,75m 2,30m



Absaugesonde Nr.1,5 Nr.2,6 Nr.3,7 Nr.4,8	Thermoelement T1 T2,T6,T10 T3,T7,T11 T4,T8,T12 T5,T9,T13	Meßhöhe 0,05m 0,15 m 0,35 m 0,75 m 1,05 m
	Druck D1,D6 D2,D7 D3,D8 D4,D9 D5,D10	Meßhöhe 0,05m 0,30m 0,60m 0,90m 1,15m

Bild 4. Lage der Meßstellen im Versuchsraum im Modellmaßstab.

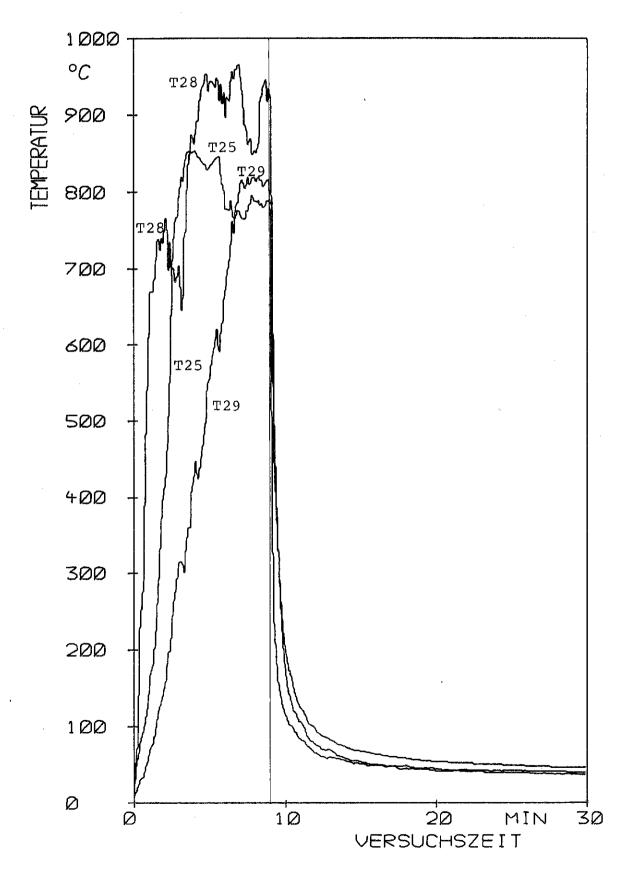
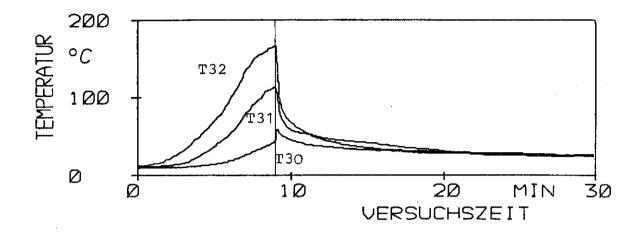


Bild 5a. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T25, T28 und T29 im Versuchsraum natür-licher Größe.



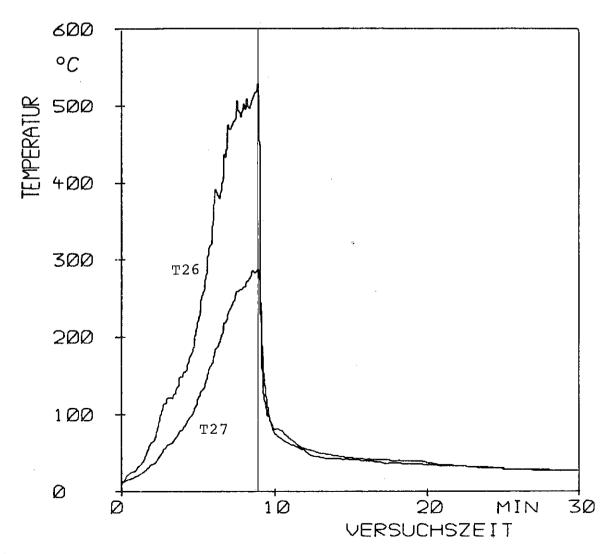


Bild 5b. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T26, T27, T30, T31 und T32 im Versuchsraum natürlicher Größe.

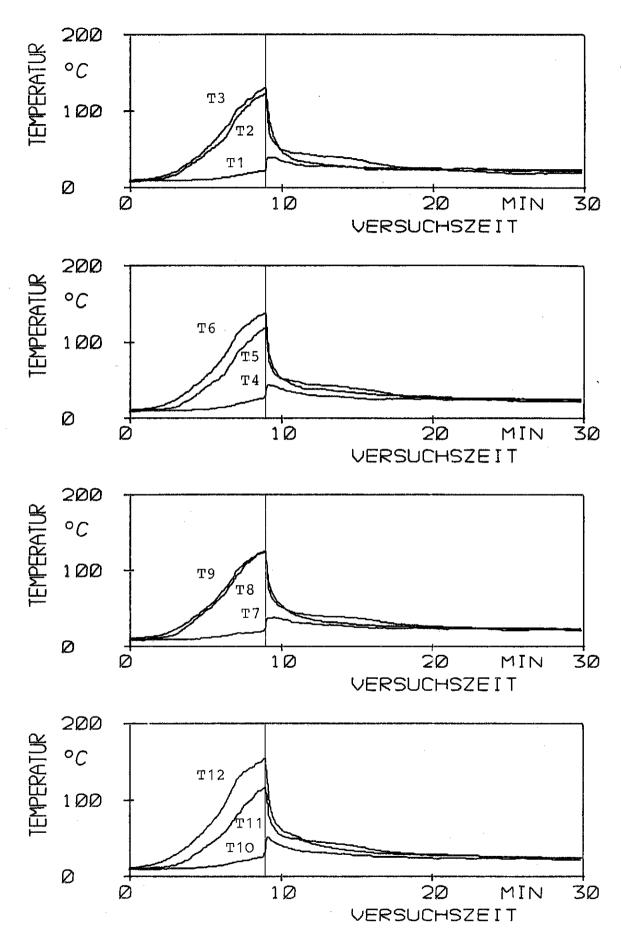


Bild 5c. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T12 im Versuchsraum natürlicher Größe.

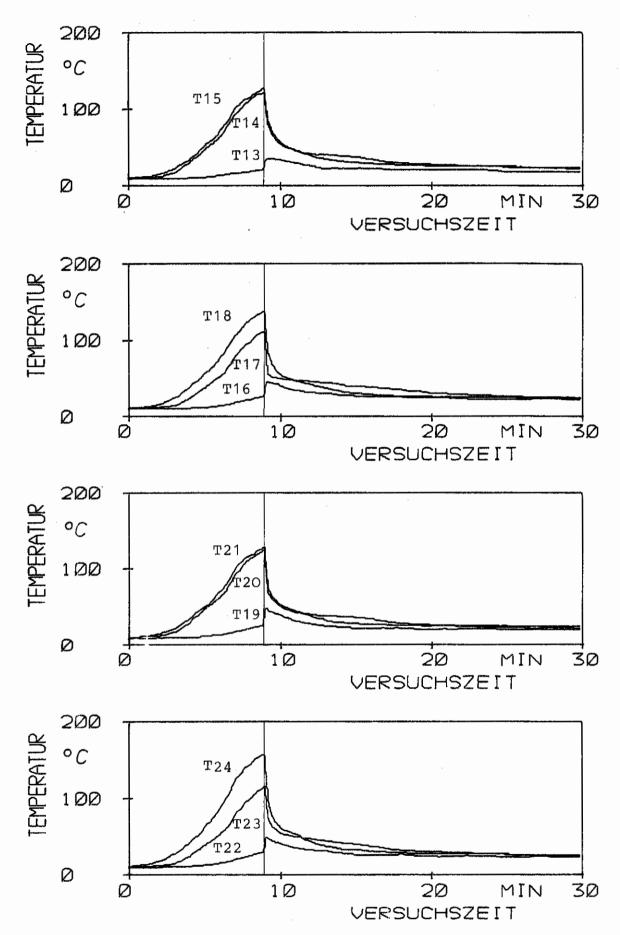


Bild 5d. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T13 bis T24 im Versuchsraum natürlicher Größe.

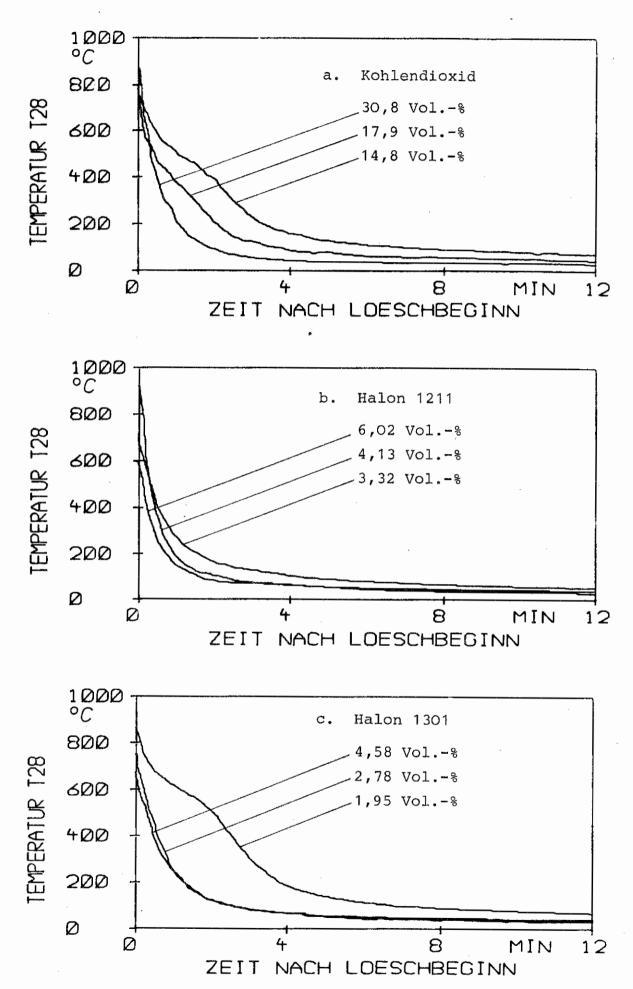


Bild 6a-c. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an der Meßstelle T28 nach dem Löschmitteleinsatz von CO₂, Halon 1211 und Halon 1301 im Versuchsraum natürlicher Größe.

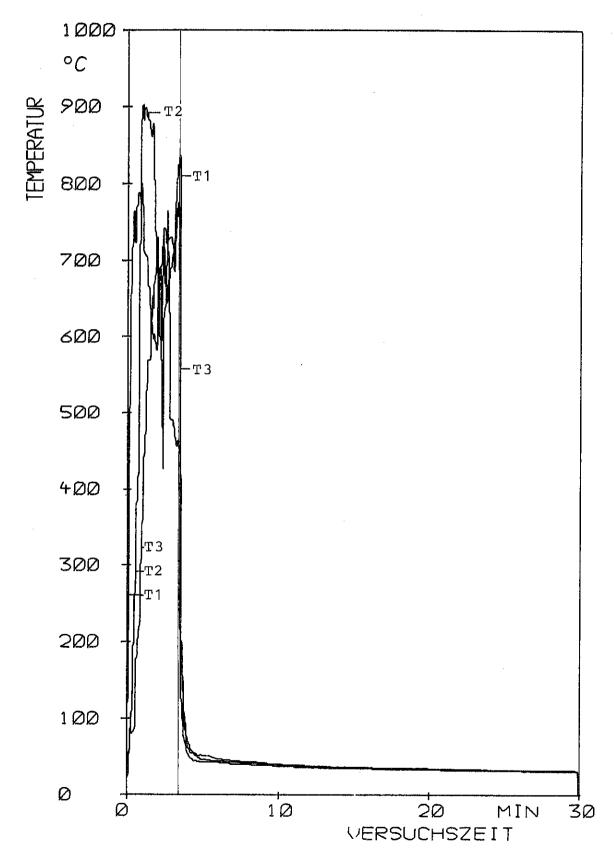
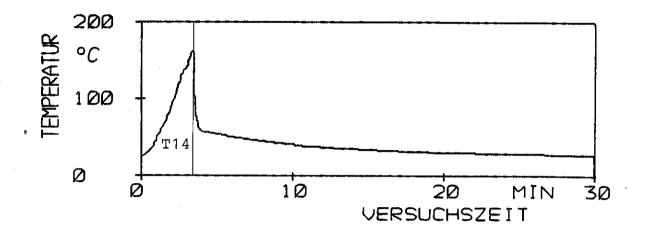


Bild 7a. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T3 im Versuchsraum im Modellmaßstab.



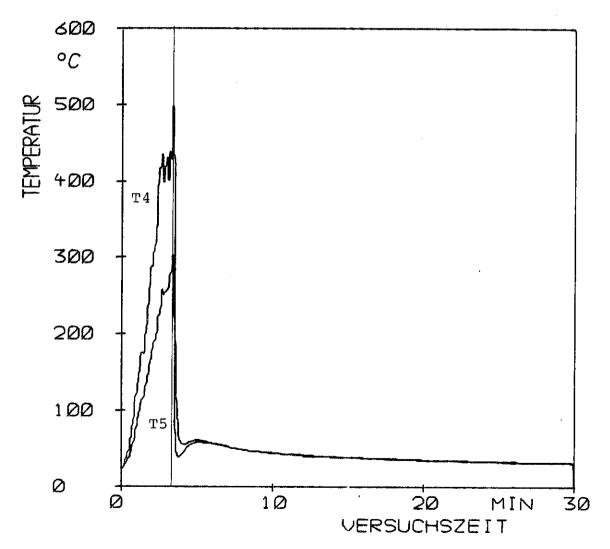


Bild 7b. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T4, T5 und T14 im Versuchsraum im Modellmaßstab.

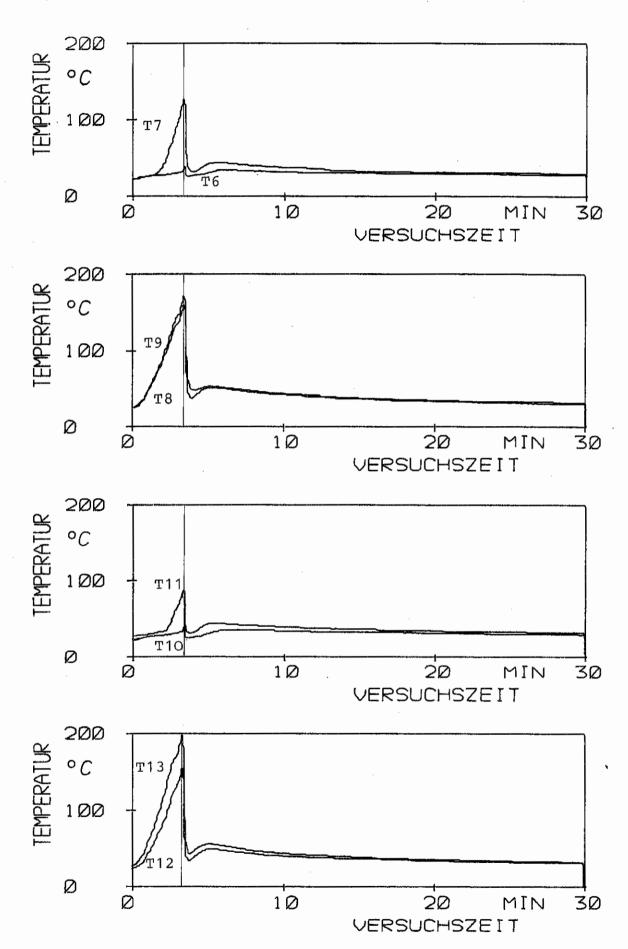


Bild 7c. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an den Meßstellen T6 bis T13 im Versuchsraum im Modellmaßstab.

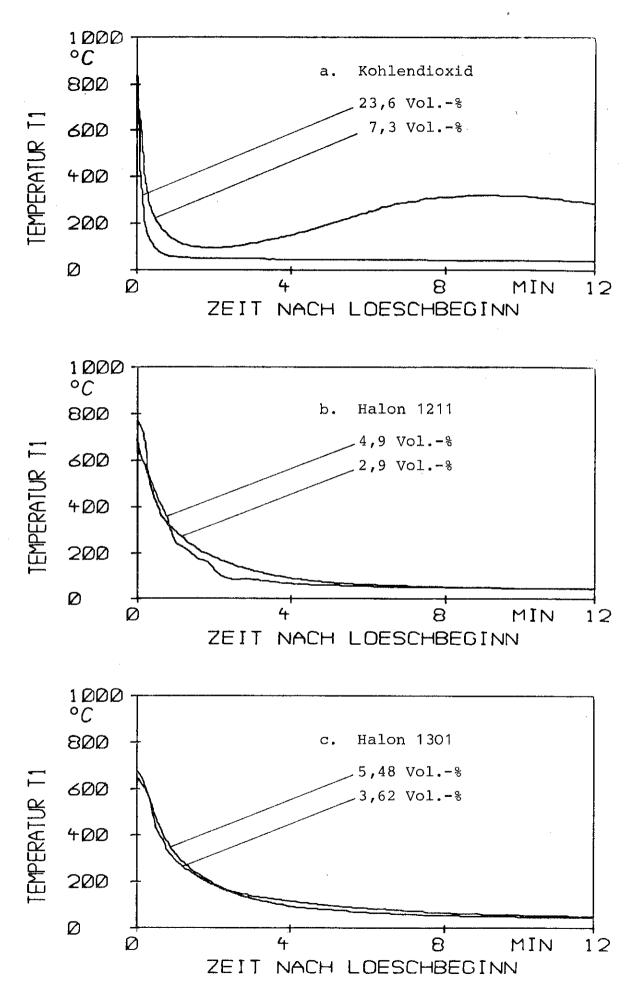
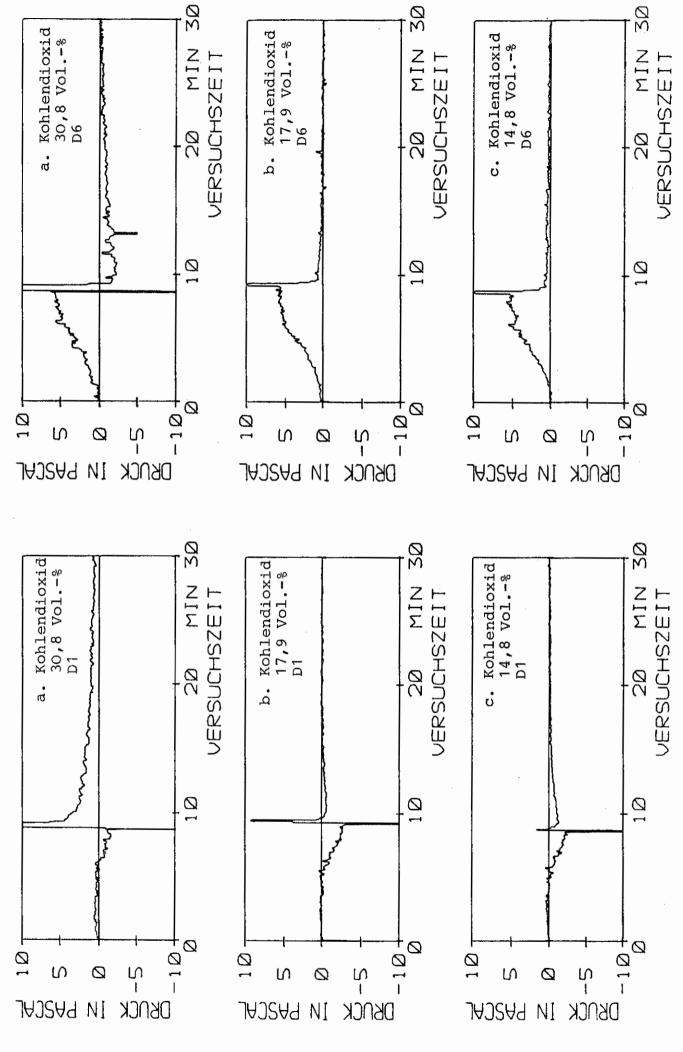


Bild 8a-c. Zeitlicher Verlauf der mittleren Temperaturen an der Meßstelle T1 nach dem Löschmitteleinsatz von CO₂, Halon 1211 und Halon 1301 im Versuchsraum im Modellmaßstab.



beim Einsatz von Kohlendioxid in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum natürlicher Größe. Bild 9. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D6

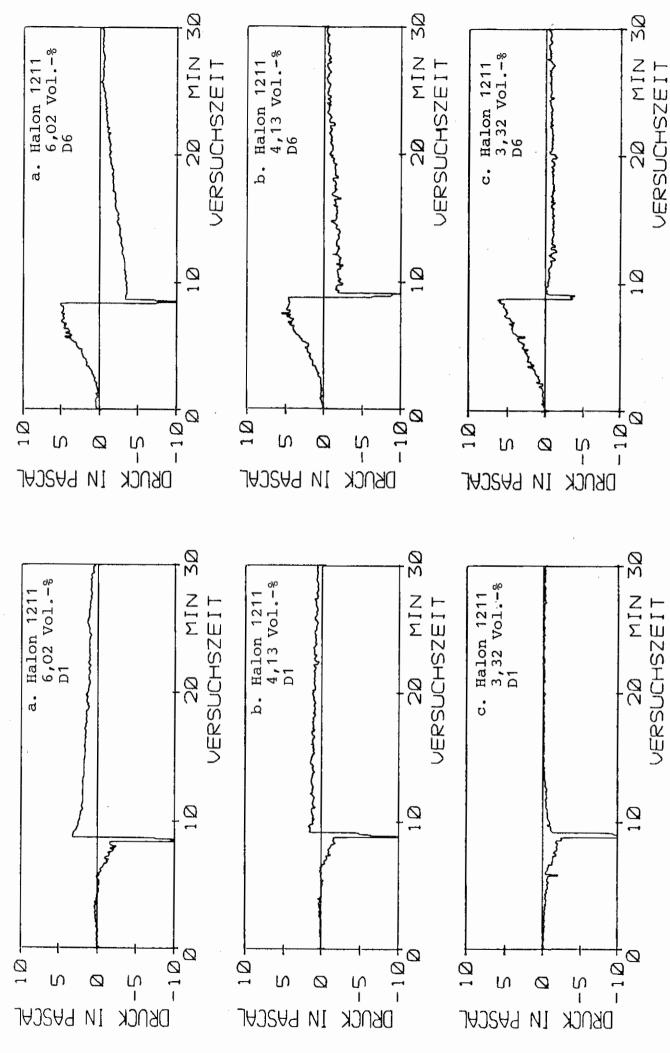


Bild 10. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D6 beim Einsatz von Halon 1211 in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum natürlicher Größe.

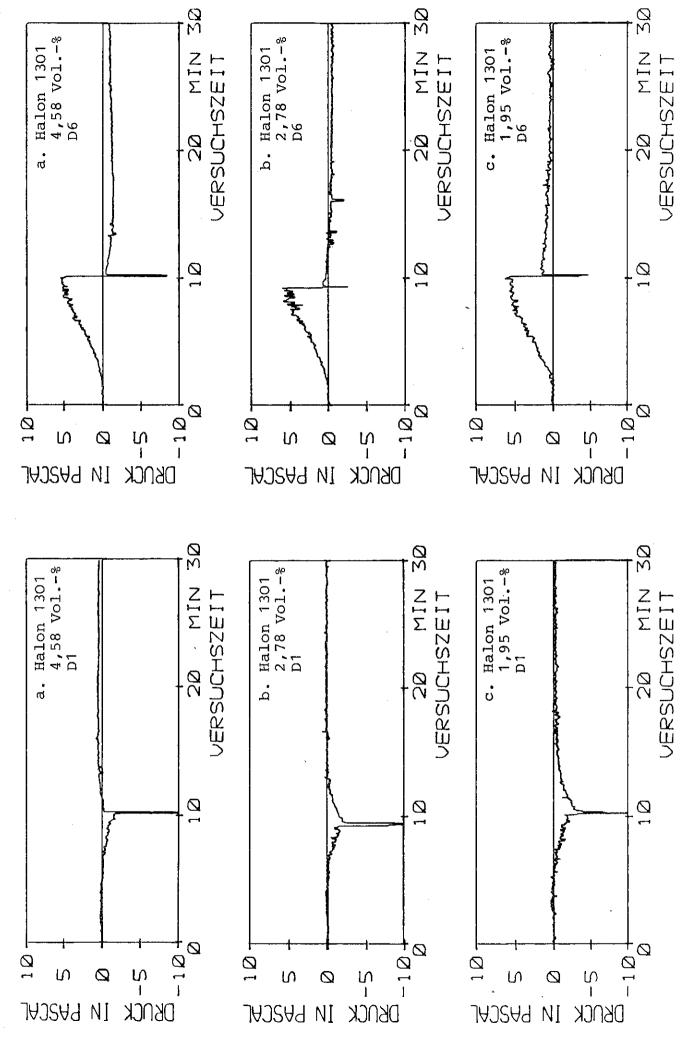


Bild 11. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D6 beim Einsatz von Halon 1301 in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum natürlicher Größe.

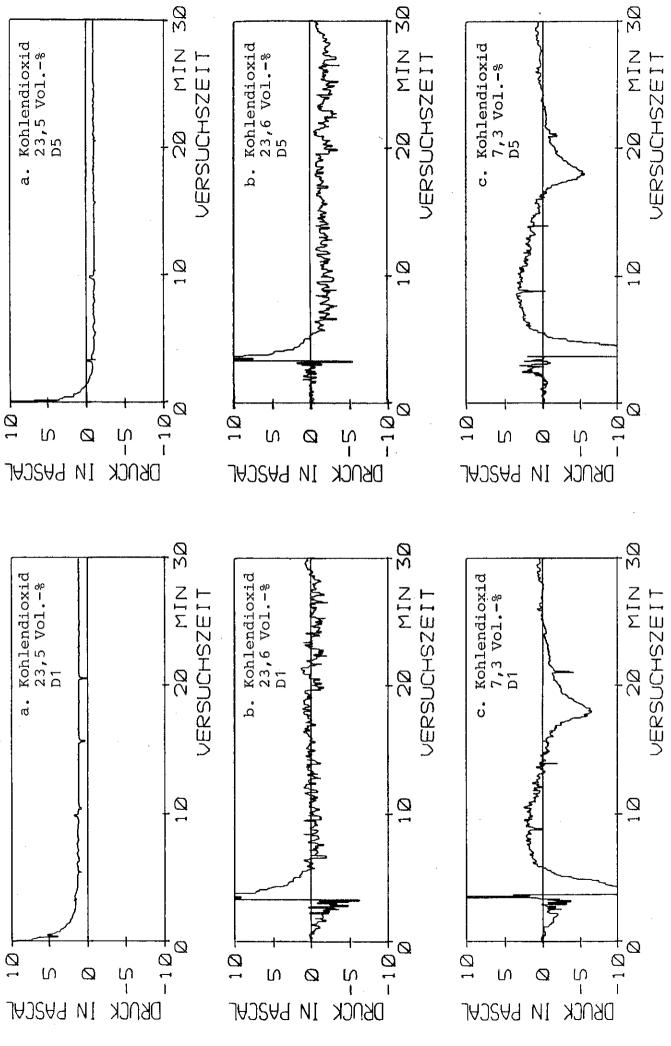


Bild 12. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D5 beim Einsatz von Kohlendioxid in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum im Modellmaßstab.

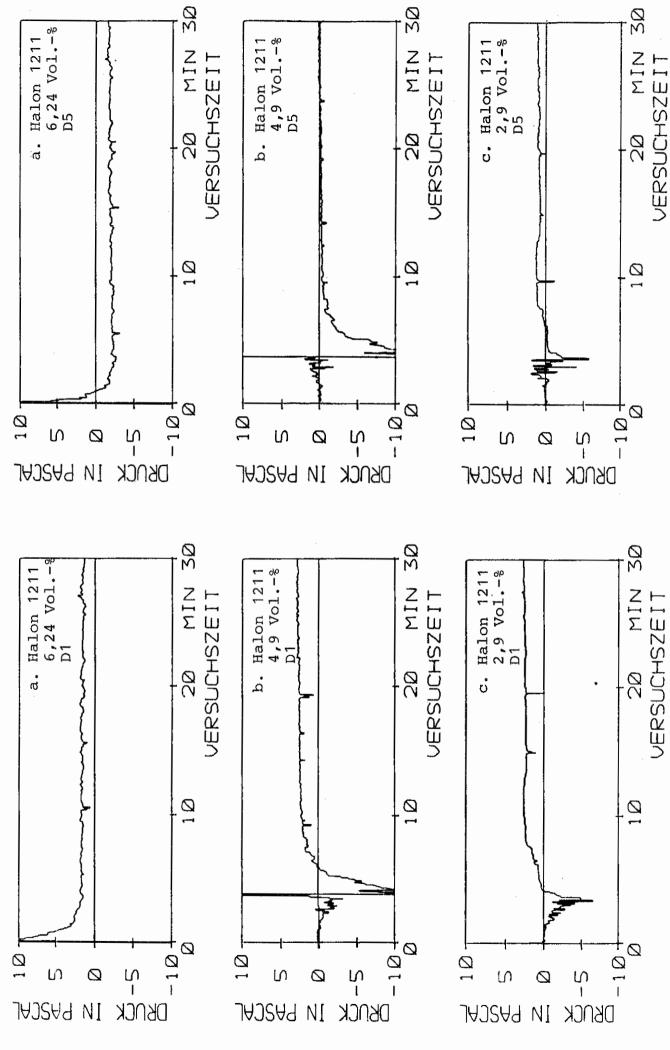


Bild 13. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D5 beim Einsatz von Halon 1211 in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum im Modellmaßstab.

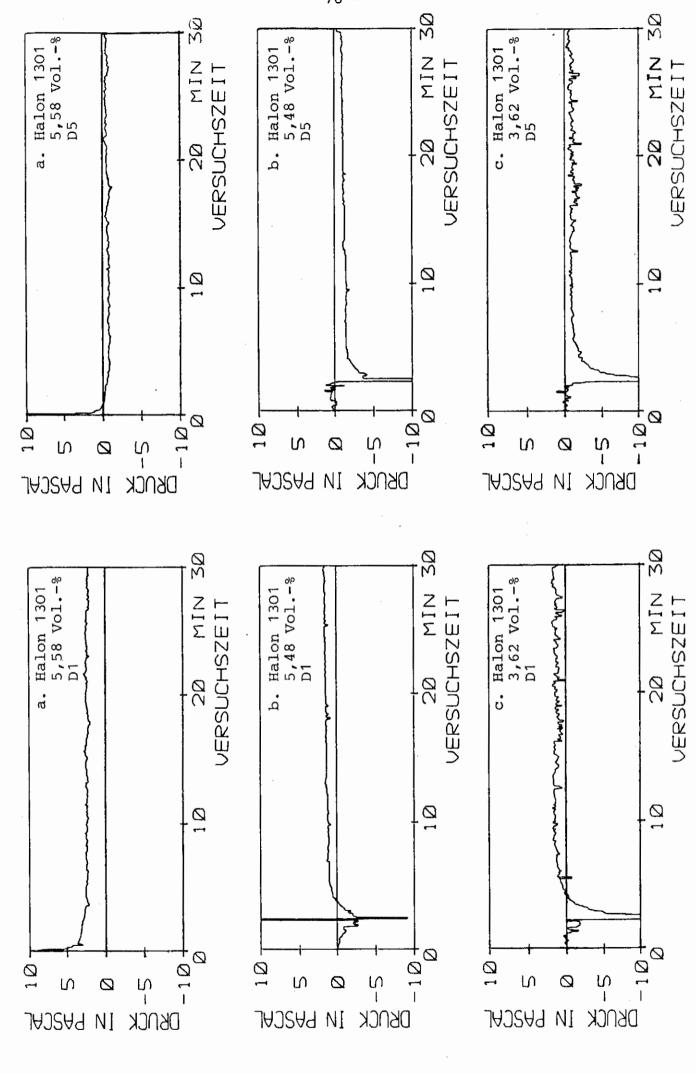


Bild 14. Druckdifferenz (Brandraum-Umgebung) in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den Meßstellen D1 und D5 beim Einsatz von Halon 1301 in unterschiedlichen Konzentrationen im Versuchsraum im Modellmaßstab.

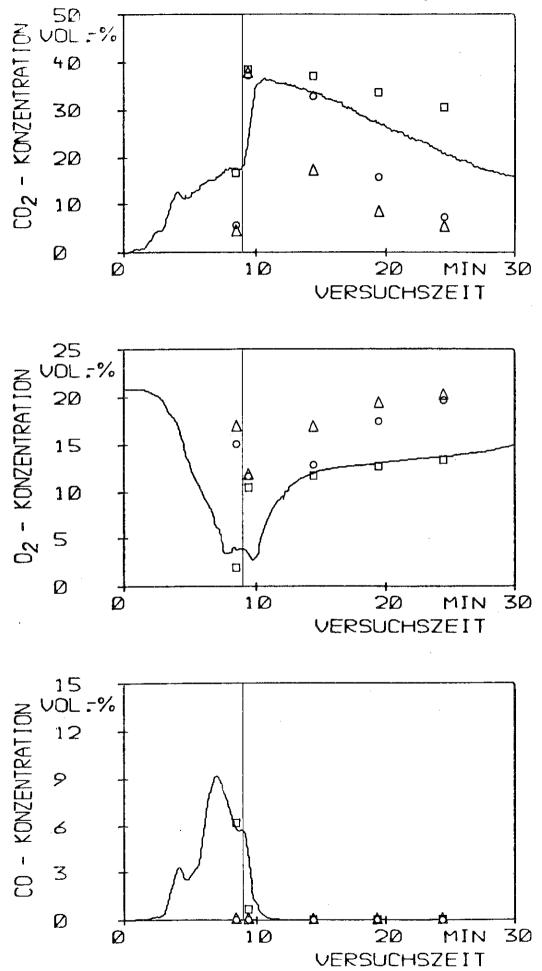


Bild 15. Verlauf der örtlichen Konzentration von CO₂, O₂ und CO in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 30,8 Vol.-% Kohlendioxid im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 \circ , Nr.3 \triangle .

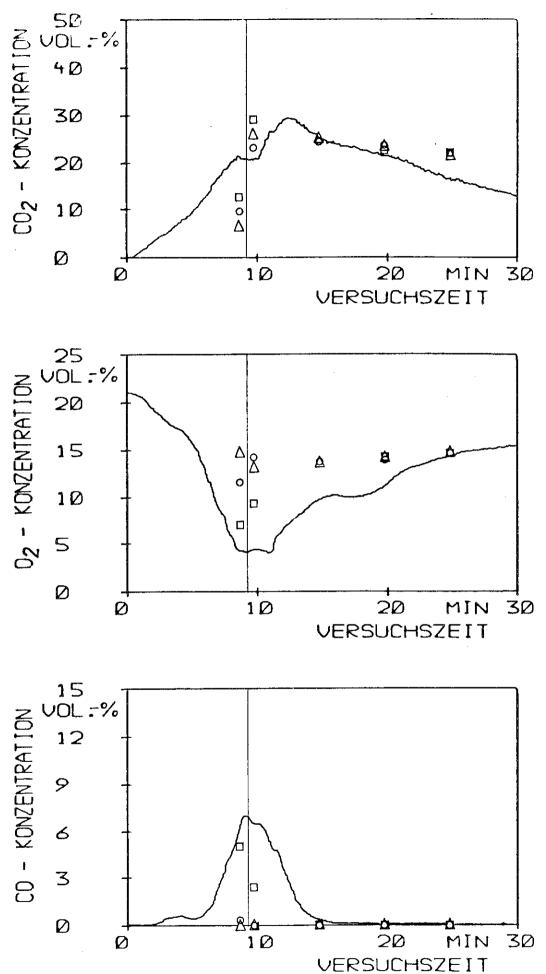


Bild 16.

Verlauf der örtlichen Konzentration von CO₂, O₂ und CO in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 17,9 Vol.-% Kohlendioxid im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 \longrightarrow Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 \circ , Nr.3 \triangle .

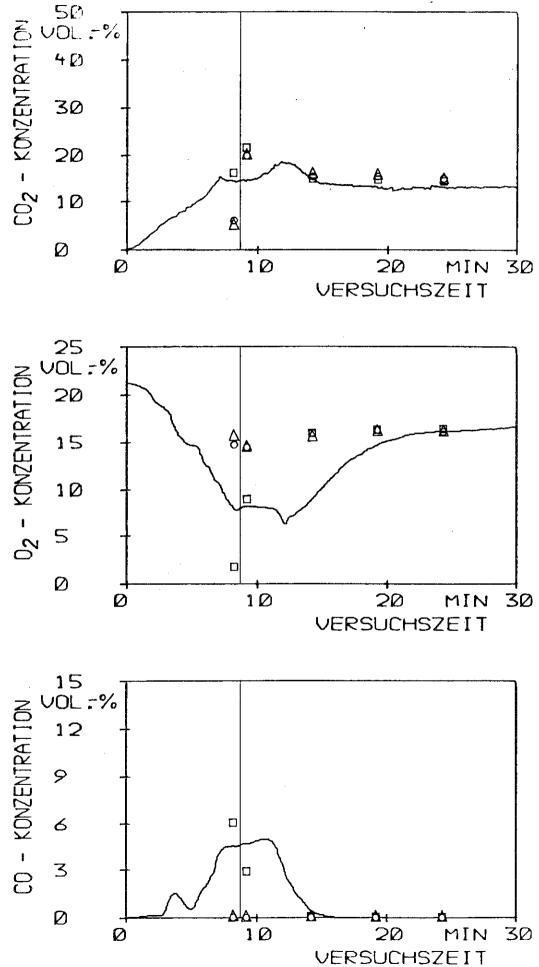
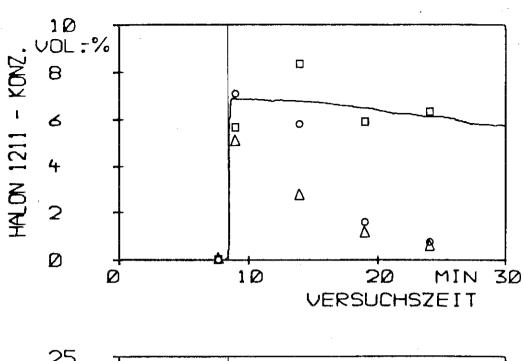
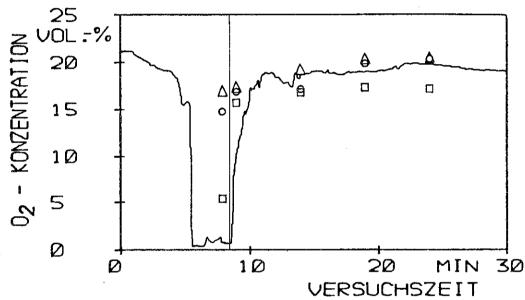


Bild 17.

Verlauf der örtlichen Konzentration von CO₂, O₂ und CO in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 14,8 Vol.-% Kohlendioxid im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatcgraph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 \circ , Nr.3 \triangle .





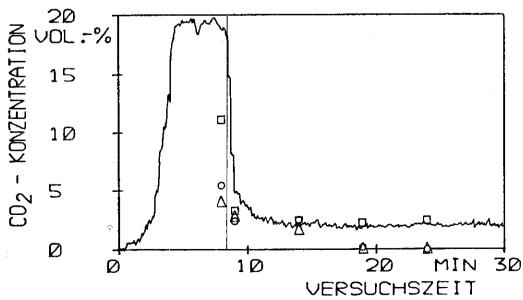
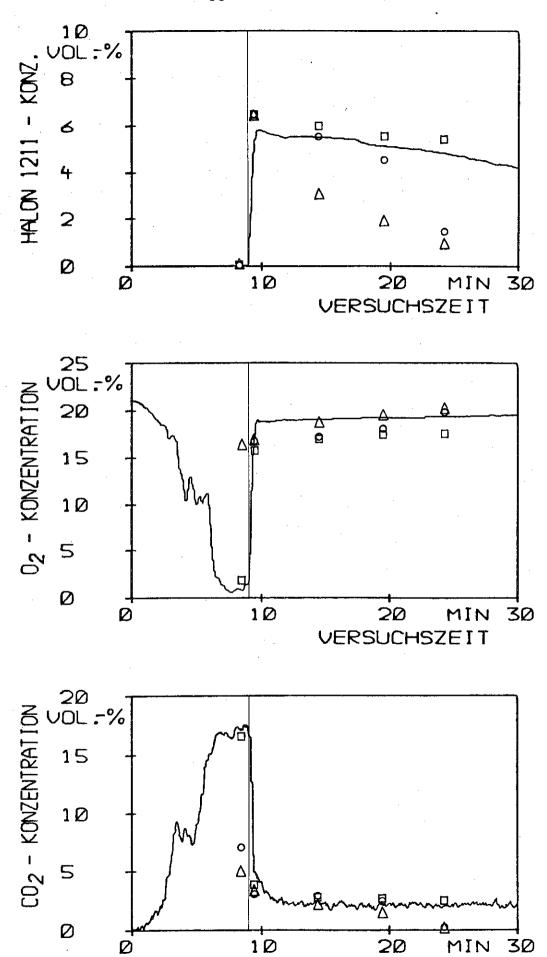


Bild 18. Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1211, O2 und CO2 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 6,02 Vol.-% Halon 1211 im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \Box , Nr.2 \circ , Nr.3 \triangle .



VERSUCHSZEIT
Bild 19.
Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1211, O2 und CO2 in
Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 4,13 Vol.-% Halon 1211
im Versuchsraum natürlicher Größe.
Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1—

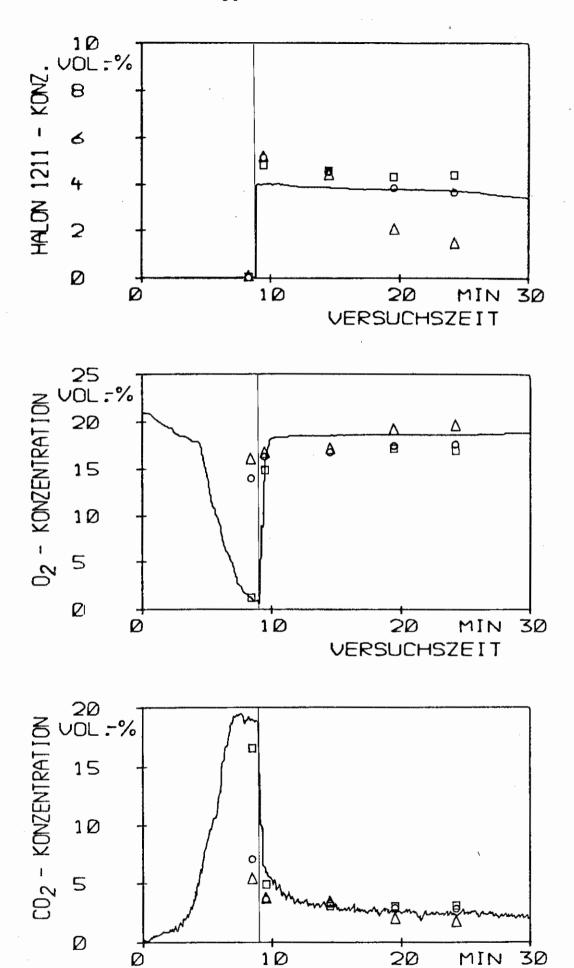


Bild 20.

VERSUCHSZEIT

Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1211, 02 und CO2 in

Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 3,32 Vol.-% Halon 1211
im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 \circ , Nr.3 \triangle .

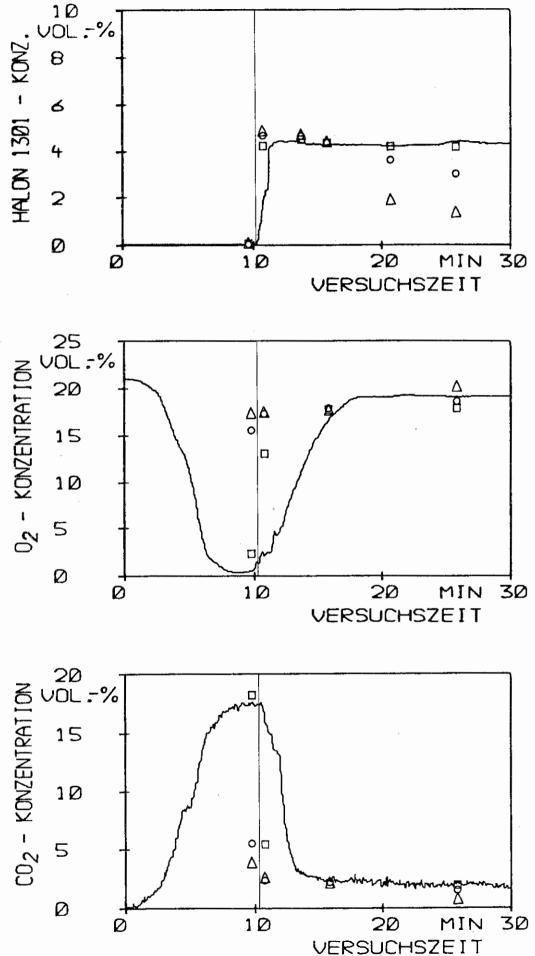
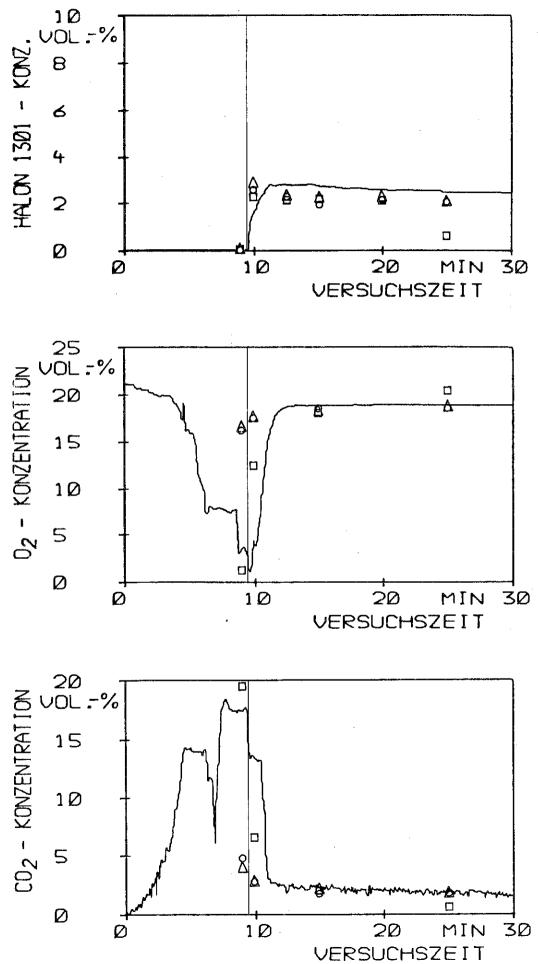


Bild 21. Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1301, O_2 und CO_2 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 4,58 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr. 1 -



Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1301, O₂ und CO₂ in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 2,78 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1—

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Caschromatograph: Meßstelle Nr. 1 R Nr. 2 0 Nr. 2 0

Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square ,Nr.2 \circ ,Nr.3 \triangle .

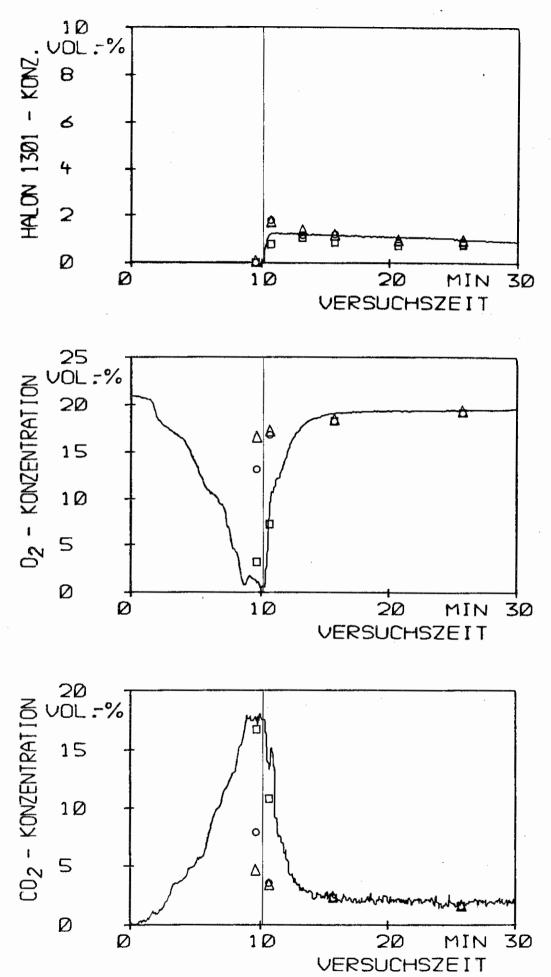


Bild 23.

Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1301,02 und CO2 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 1,95 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum natürlicher Größe.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1

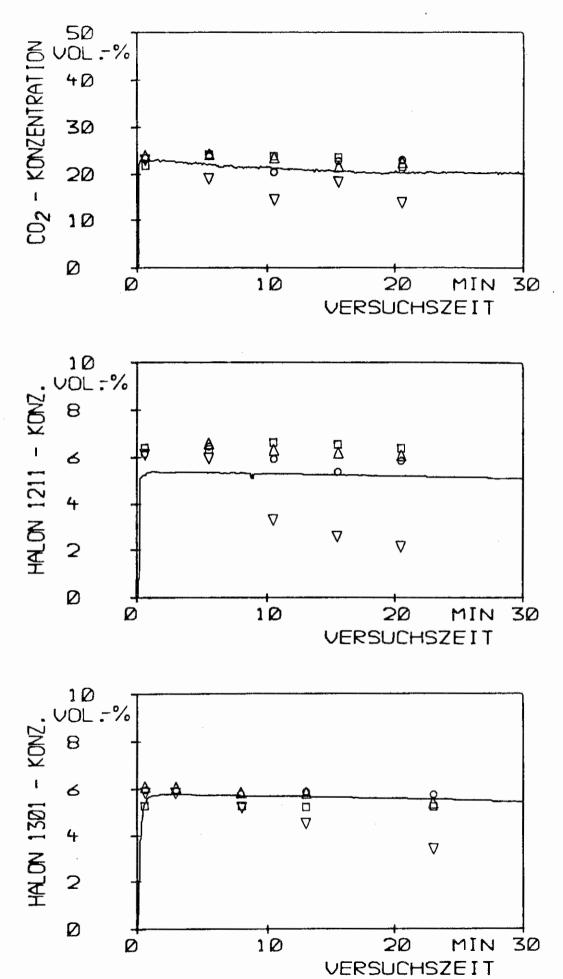


Bild 24. Verlauf der örtlichen Konzentration von CO2, Halon 1211 und Halon 1301 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 23,5 Vol.-% CO2 6,24 Vol.-% Halon 1211 und 5,58 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum im Modellmaßstab. Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 o , Nr.3 \triangle , Nr.4 ∇ .

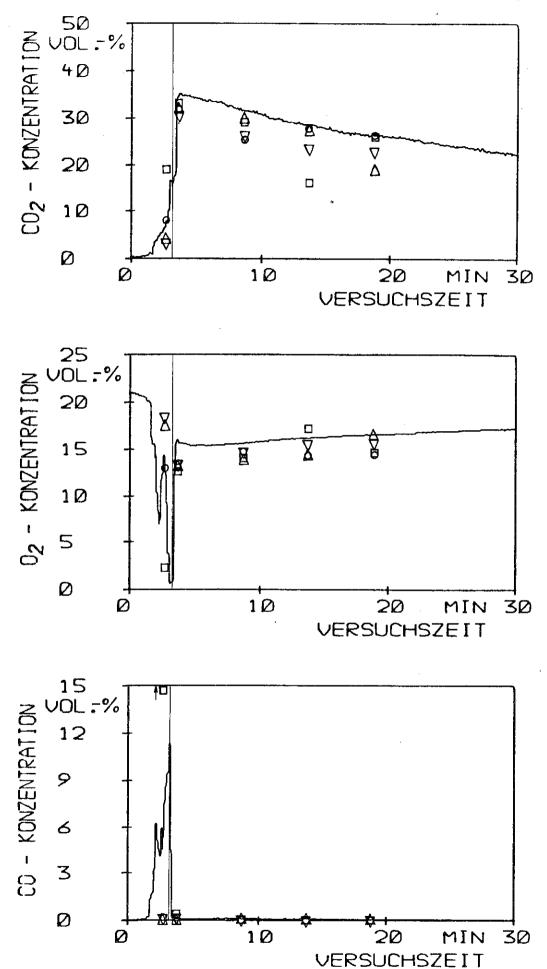


Bild 25. Verlauf der örtlichen Konzentration von CO₂, O₂ und CO in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 23,6 Vol.-% Kohlendioxid im Versuchsraum in Modellmaßstab.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 — Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 o , Nr.3 Δ , Nr.4 ∇ .

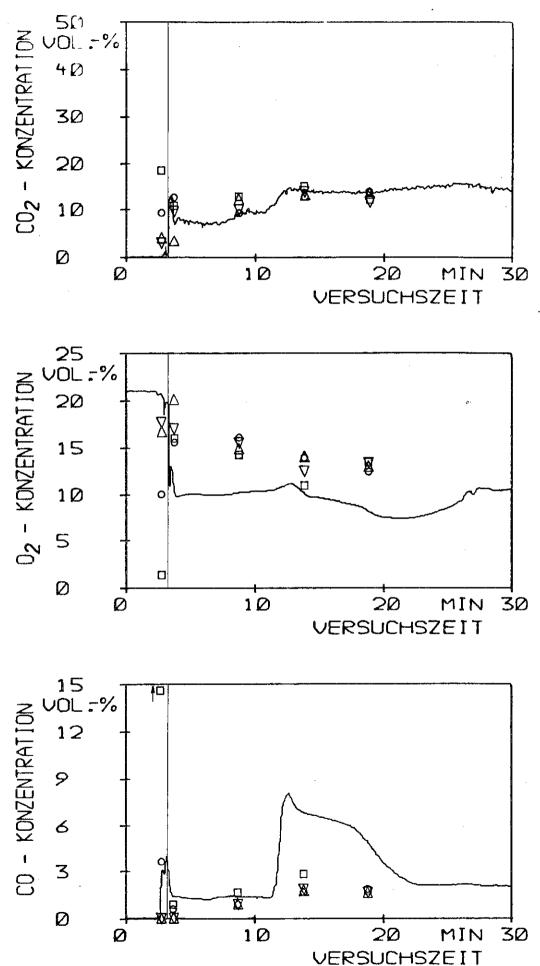
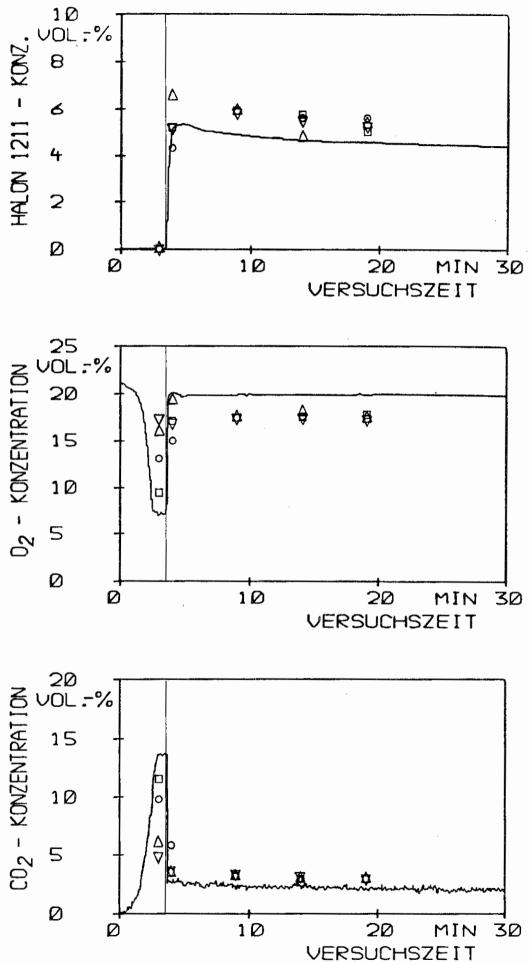


Bild 26. Verlauf der örtlichen Konzentration von CO₂, O₂, CO in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 7,3 Vol.-% Kohlendioxid im Versuchsraum im Modellmaßstab. Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 —

Gaschromatograph: Meßstelle Nr.1 \square , Nr.2 \lozenge , Nr.3 \lozenge , Nr.4 \triangledown .



VERSUCHSZEII

Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1211, O2 und CO2 in

Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 4,9 Vol.-% Halon 1211
im Versuchsraum im Modellmaßstab.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 —

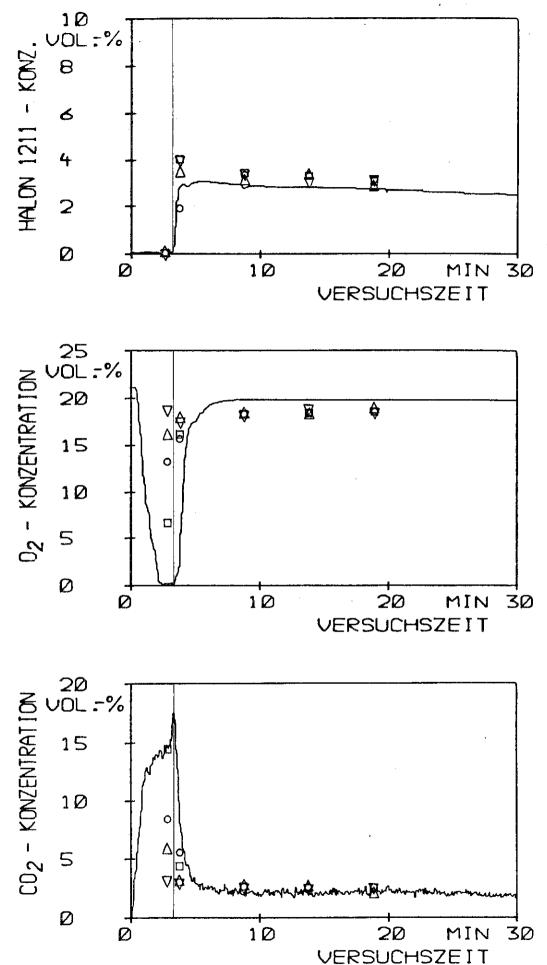
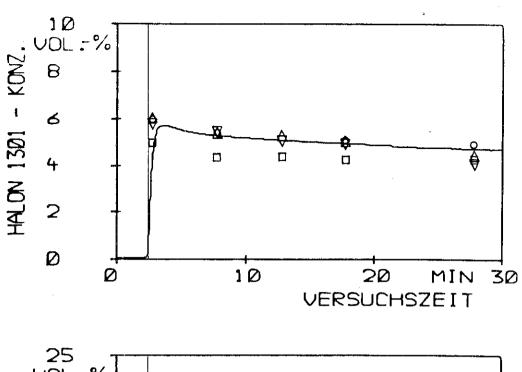
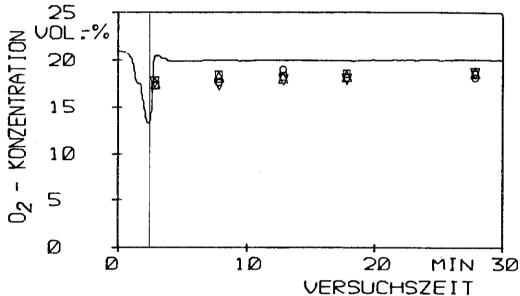


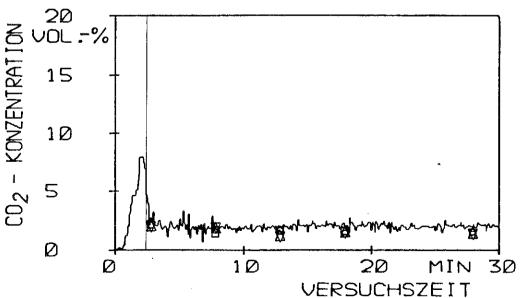
Bild 28.

Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1211, O₂ und CO₂ in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 2,9 Vol.-% Halon 1211 im Versuchsraum im Modellmaßstab.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 ——







Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1301, O2 und CO2 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 5,48 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum im Modellmaßstab.
Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 —

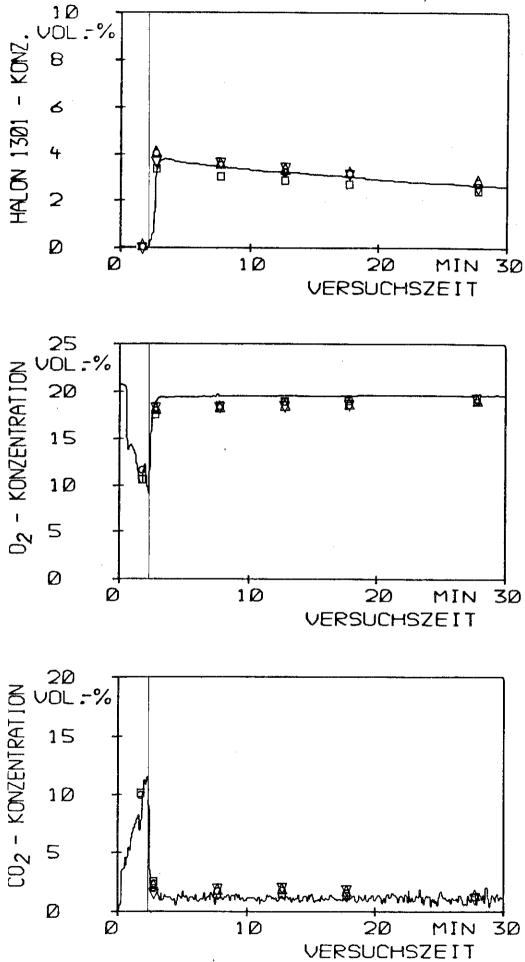


Bild 30. Verlauf der örtlichen Konzentration von Halon 1301, O_2 und CO_2 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz von 3,62 Vol.-% Halon 1301 im Versuchsraum im Modellmaßstab.

Kontinuierliche Messung: Meßstelle Nr.1 -

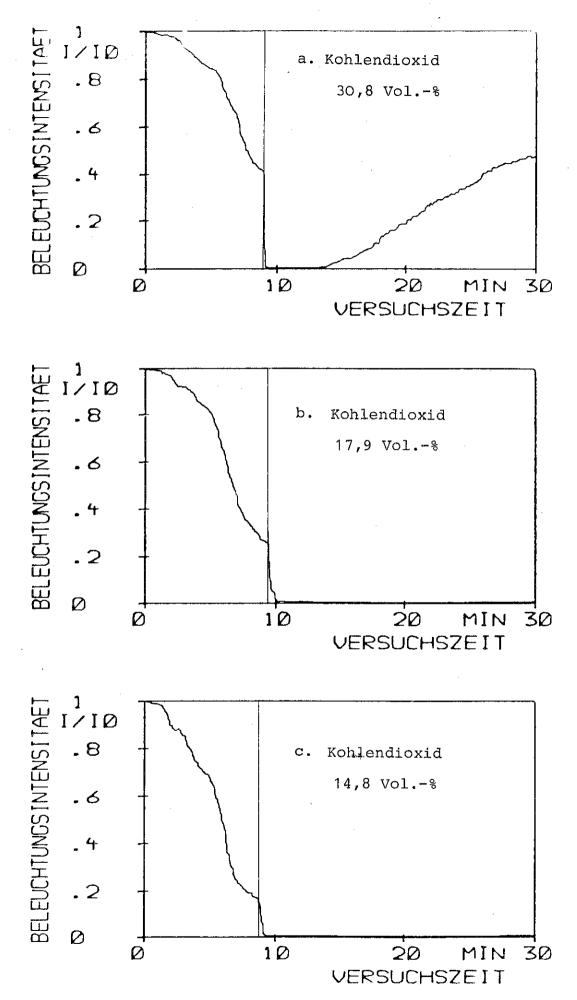


Bild 31a-c. Verlauf der Beleuchtungsintensität I/I_0 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz des Löschmittels ${\rm CO}_2$ im Versuchsraum natürlicher Größe.

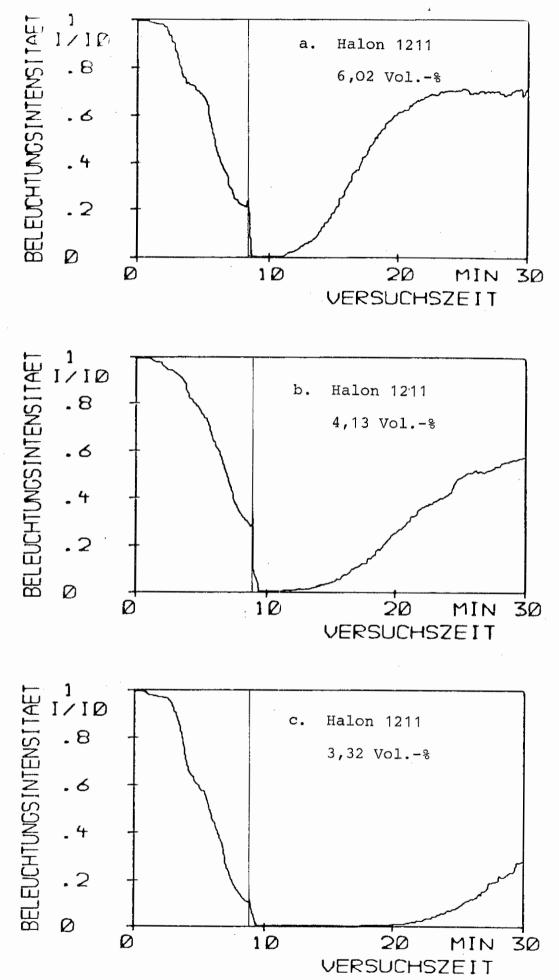


Bild 32a-c. Verlauf der Beleuchtungsintensität I/I_{O} in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz des Löschmittels Halon 1211 im Versuchsraum natürlicher Größe.

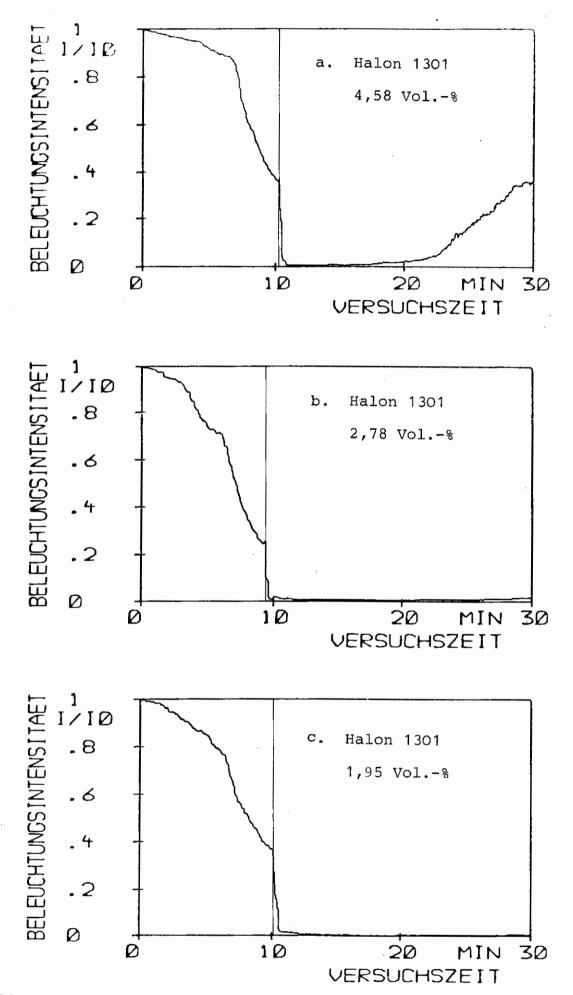


Bild 33a-c. Verlauf der Beleuchtungsintensität I/I_0 in Abhängigkeit von der Versuchszeit beim Einsatz des Löschmittels Halon 1301 im Versuchsraum natürlicher Größe.