

**Gutachten über die Bemessung und
Wirksamkeit von Rauch- und Wärme-
abzugsanlagen in unterirdischen Garagen**

T 1827

T 1827

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1999

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Gutachten über die Bemessung und Wirksamkeit von Rauch- und
Wärmeabzugsanlagen für unterirdische Garagen

durchgeführt von der Forschungsstelle für
Brandschutztechnik an der Universität
Karlsruhe (TH)

Auftraggeber:
Institut für Bautechnik
Berlin

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Sachverhalt	1
3. Literaturlauswertung	2
3.1 Zusammenstellung von Daten über Garagenbrände	2
3.2 Auswertung der Brandfälle	5
4. Brandablauf von PKW-Bränden	8
4.1 Entzündung	8
4.2 Brandablauf bei den Versuchen nach /1/	10
4.2.1 Brandablauf ohne Sprinklerschutz	10
4.2.2 Brandablauf mit Sprinklerschutz	10
4.3 Abbrandrate	11
4.3.1 Abbrandrate ohne Sprinklerschutz	13
4.3.2 Abbrandrate mit Sprinklerschutz	14
5. Entrauchungsanlagen	16
6. Bewertung	19
7. Literatur	21
8. Tabellen	22
9. Bilder	35

Gutachten über die Bemessung und Wirksamkeit von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen für unterirdische Garagen

1. EINLEITUNG

Der Auftrag zur Durchführung des Gutachtens über die Bemessung und Wirksamkeit von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen für unterirdische Garagen wurde der Forschungsstelle für Brandschutztechnik am 12.12.1984, Geschäftszeichen IV 1-5-425/85, vom Institut für Bautechnik, Berlin, erteilt.

Als Betreuer dieses Forschungsvorhabens wurden vom Institut für Bautechnik die Herren

Dipl.-Ing. Günther
Berufsfeuerwehr Hamburg

Dipl.-Ing. Klingelhöfer
Staatliches Materialprüfungsamt
Nordrhein-Westfalen

W.Müller
Verband der Sachversicherer
Köln

bestellt.

2. SACHVERHALT

Dem Forschungsvorhaben liegt ein Beschluß des Arbeitskreises "Sonderbauten", Sachgebiet "Geschäftshäuser, Versammlungsstätten, Garagen" der Fachkommission Bauaufsicht zugrunde, der auf dessen 7. Sitzung am 3. und 4. November 1983 in Düsseldorf getroffen wurde. Danach soll durch ein Gutachten geklärt werden, ob durch

den Einbau von Rauchabzugsanlagen in Tiefgaragen auf den Einbau von Sprinkleranlagen verzichtet werden kann. Grundgedanke für die Durchführung dieser Untersuchungen ist die Tatsache, daß bei Garagenbränden sehr schnell große Gebäudeteile verqualmt sind. Dies führt dazu, daß der Einsatz der Feuerwehr sehr erschwert wird und eine längere Zeit als bei ausreichender Sicht benötigt wird, um an den Brandherd vorzudringen.

In dieser zusätzlich bis zum Löschbeginn benötigten Zeit breitet sich der Brand weiter aus, wodurch das Löschen zusätzlich erschwert wird. Als Folge ergeben sich höhere Temperaturen der Gebäudestruktur sowie größere Mengen an freigesetzten Verbrennungsprodukten wie Brandrauch und korrosiv wirkender Gase, die wiederum zu höheren Brandschäden innerhalb des Gebäudes, am Gebäude selbst sowie außerhalb des Gebäudes führen.

3. LITERATURAUSWERTUNG

Zur Beurteilung der erforderlichen Absaugleistungen von Rauchabzugsanlagen in Tiefgaragen sowie deren Wirksamkeit ist es erforderlich, typische Brände in Garagen bezüglich ihres Ablaufes und der Auswirkungen auf den Einsatz der Feuerwehren zu untersuchen.

3.1 Zusammenstellung von Daten über Garagenbrände

In den Tabellen 1.1 bis 1.4 sind für einige deutsche Städte aufgrund von Aufzeichnungen der örtlichen Feuerwehren, Polizeiberichte sowie von deutschen Literaturangaben und in Tabelle 1.5 aufgrund internationaler Literaturstellen die Brände mit Kraftfahrzeugen in Garagen zusammen mit spezifischen Daten zusammengestellt. Bei dieser Aufstellung konnten jedoch nur solche Brände mit berücksichtigt werden, bei denen eine ausreichende Beschreibung des Brandgeschehens und des Löscheinsatzes sowie der entstandenen Schäden im Bericht angegeben waren. In den Tabellen 1.1 bis 1.3 sind die bei Beginn der Auswertung vorliegenden Daten

über Brandfälle in Deutschland aufgeführt und nach Städten geordnet. In der Tabelle 1.4 sind die während der Bearbeitung zusätzlich erhaltenen Angaben über Brandfälle aufgeführt. Die in den Tabellen 1.1 bis 1.5 verwendeten Abkürzungen sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Im einzelnen sind in den Tabellen 1.1 bis 1.5 folgende Daten aufgeführt:

Ort, laufende Nr. und Datum des Brandes sind in den Zeilen 1 bis 3 aufgeführt. Angaben über Art des Bauwerkes, die Anzahl der Stellplätze und Angaben über bestehende Brandschutzmaßnahmen sind in den Zeilen 4 bis 13 angegeben. Als Tiefgaragen werden ein- bis mehrgeschossige Garagen unterhalb der Erdgleiche bezeichnet. Liegen die Parkebenen ebenerdig oder über der Erdgleiche, so werden diese Garagen als Parkhäuser bezeichnet. Als kleine Garage werden ebenerdige private Einzelgaragen oder Garagenkomplexe bezeichnet. In den Zeilen 10 bis 13 sind bauliche Brandschutzmaßnahmen aufgeführt. Sie unterteilen sich in Angaben über vorhandene Sprinkleranlagen und sonstige Maßnahmen. Die dabei verwendeten Abkürzungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Mängel und Verstöße gegen die Garagenverordnung sind in Zeile 12 mit einem M gekennzeichnet.

Die Anzahl der in Brand geratenen Kraftfahrzeuge sowie anderer Gegenstände sind in den Zeilen 14 bis 18 angegeben. Mit Ausnahme der Brände 2, 3 und 8 in Tabelle 1.5 handelt es sich um Personenkraftwagen. In den genannten Brandfällen nach Tabelle 1.5 brannten Omnibusse.

Aus der Anzahl der in Brand geratenen Fahrzeuge ist jedoch nur in wenigen Fällen eine Beurteilung der Brandausweitung auf benachbarte Fahrzeuge möglich, da nur in wenigen Fällen Aussagen über die Anzahl der in der Nähe des Brandherdes geparkten Fahrzeuge vorliegen. In der Zeile 19 ist die Anzahl der neben dem Brandherd noch geparkten Wagen angegeben, soweit diese Daten vorliegen. In den meisten Fällen, siehe Zeile 20, liegen keine Angaben vor.

Soweit dies aus den vorhandenen Unterlagen hervorging, wurden die Brandursachen in den Zeilen 21 bis 26 angegeben. Bei Reparaturen entstanden die Brände in den meisten Fällen bei Schweiß- und Schleifarbeiten. Unter dem Begriff "sonstiges" in Zeile 25 sind Brände aufgeführt, bei denen durch Unachtsamkeit, z.B. durch brennende Zigaretten, Kraftfahrzeuge oder zunächst andere Gegenstände in Garagen in Brand gerieten und dieser Brand dann auf Kraftfahrzeuge übergriff.

In den Zeilen 27 bis 34 sind Angaben zur Brandbekämpfung aufgeführt, wie z.B. wurde Atemschutz benötigt, wieviel Rohre waren im Einsatz und wurde als Löschmittel auch Schaum verwendet. In der Zeile 33 "sonstiges" sind Angaben über weitere zum Löschen verwendete Hilfsmittel aufgeführt. In dieser Spalte sind auch die bei vorhandenen Sprinkleranlagen ausgelöste Anzahl von Sprinklerköpfen aufgeführt. Wurde der Brand allein durch Handfeuerlöscher und/oder durch die Sprinkleranlage vollständig gelöscht, so ist dies durch den Hinweis "kein Einsatz der FW" gekennzeichnet.

Aussagen über die bei dem Brand entstandenen Personen- und Sachschäden sind in den Zeilen 35 bis 49 dargelegt. Die Art der Schäden ist aufgeteilt in Personenschäden, in Schäden an Kraftfahrzeugen durch unmittelbare Brandeinwirkung sowie durch Hitze und Ruß an weiter vom Brandort entfernt stehenden Wagen und in Gebäudeschäden. Die geschätzten Schadenssummen durch die Brände sind in Zeile 49 aufgeführt.

In den Spalten 50 bis 55 "Bemerkungen" sind ergänzende Angaben über die Einsatzzeiten der Feuerwehren sowie über die neben dem Löschen des Brandes erforderlichen Tätigkeiten aufgeführt. Leider sind diese Angaben nur sehr selten in den ausgewerteten Unterlagen enthalten. In Zeile 50 ist als "Anrücken" die Zeitspanne zwischen der Alarmierung und dem Eintreffen am brennenden Gebäude eingetragen. Die Zeitspanne zwischen dem Eintreffen am brennenden Gebäude und dem tatsächlichen Löschbeginn am Brandherd ist in Zeile 51 aufgeführt. In den Zeilen 52 bis 54 sind, soweit vorhanden, Angaben darüber aufgeführt, ob bzw. wieviel Personen,

Kraftfahrzeuge oder andere Geräte, z.B. Gasflaschen, aus dem Brandbereich evakuiert wurden. In der Zeile 55 "sonstiges" sind Angaben darüber enthalten, durch welche Bedingungen und Umstände der Einsatz der Feuerwehren besonders erschwert wurde.

3.2 Auswertung der Brandfälle

In den Tabellen 1.1 bis 1.5 sind insgesamt 126 Brandfälle aufgeführt. Davon ereigneten sich 117 in Deutschland und 9 im Ausland. Von den Brandfällen in Deutschland ereigneten sich

in Tiefgaragen	86	(73,5%),
in Parkhäusern	7	(6,0%),
in Garagen	22	(18,8%) und
in Autohallen	2	(1,7%).

Werden die Brände in Autohallen den Parkhäusern zugeordnet, so erhöht sich die Anzahl der Brände in Parkhäusern auf 9 bzw. 8,0%.

Im Folgenden werden nur die Brände in Tiefgaragen, die in den Tabellen 1.1 bis 1.4 aufgeführt sind, weiter betrachtet.

Bei den 86 Bränden in Tiefgaragen wurde in 47 (54,7%) Fällen die Brandursache ermittelt. Die Brandursache war bei diesen 47 Bränden

in 39 Fällen (83,0%)	Brandstiftung,
in 4 Fällen (8,5%)	Reparaturen und
in 4 Fällen (8,5%)	technische Defekte.

Die oben angegebenen %-Zahlen beziehen sich auf die 47 Fälle, in denen die Brandursache ermittelt wurde. Werden die einzelnen Brändefälle auf die Gesamtzahl der Brände in Tiefgaragen bezogen, so betragen die entsprechenden Werte 45,3% Brandstiftung, 4,7% Reparaturen und 4,7% technische Defekte. Nicht ermittelt wurde die Brandursache in 45,3% der Brandfälle.

Von den 86 Tiefgaragen, in denen ein Brand ausbrach, waren 42 (48,8%) mit einer Sprinkleranlage ausgerüstet. Die folgende Aufstellung gibt an, wieviel Personenkraftwagen in jedem Brandfall in Tiefgaragen mit und ohne Sprinkleranlage brannten.

In Tiefgaragen mit Sprinkleranlage ereigneten sich 42 Brände. Dabei gerieten in Brand:

in 36 Fällen (94,7%) 1 Personenkraftwagen,
in 2 Fällen (5,3%) 2 bis 3 Personenkraftwagen und
in 4 Fällen liegen keine Angaben vor.

Die prozentualen Angaben beziehen sich auf die 38 Fälle, in denen genaue Angaben vorliegen.

In Tiefgaragen ohne Sprinkleranlage ereigneten sich 44 Brände. Dabei gerieten in Brand:

in 22 Fällen (50,0%) 1 Personenkraftwagen,
in 17 Fällen (38,6%) 2 bis 3 Personenkraftwagen und
in 5 Fällen (11,4%) mehr als 3 Personenkraftwagen.

Für die Anzahl der ausgebrannten und beschädigten Personenkraftwagen ergibt sich nach den Daten in den Tabellen 1.1 bis 1.4 folgende Aussage:

In Tiefgaragen mit Sprinkleranlage brannten im Durchschnitt je Brandfall 1,1 Personenkraftwagen. Durch Ruß und Hitze wurden bei den 42 Bränden insgesamt nur 3 Personenkraftwagen beschädigt (0,1 pro Brandfall). In Tiefgaragen ohne Sprinkleranlage brannten je Brandfall 1,9 Personenkraftwagen aus und 4,2 Personenkraftwagen wurden durch Ruß und Hitze beschädigt.

Bei den Löscheinsätzen der Feuerwehr wurde in Tiefgaragen mit Sprinkleranlage in 23,1% aller Fälle und in Tiefgaragen ohne Sprinkleranlage in 79,5% aller Fälle Atemschutz getragen.

Über besondere Erschwernisse beim Löscheinsatz durch Rauch wurden in 2 Fällen (4,8%) beim Einsatz in Tiefgaragen mit Sprinkleranlage und in 4 Fällen (9,1%) beim Einsatz in nicht mit Sprinkleranlage ausgestattete Tiefgaragen berichtet.

Die in den Tabellen 1.1 bis 1.4 aufgeführten Schadensummen bei Bränden in Tiefgaragen mit Sprinkleranlage betragen

500,-- DM (Nr.113),
3.000,-- DM (Nr.32),
10.000,-- DM (Nr.83),
15.000,-- DM (Nr.84) und
30.000,-- DM (Nr.104).

Die durchschnittliche Schadensumme beträgt 11.700,-- DM.

Für Tiefgaragen ohne Sprinklerschutz liegen für 17 Brandfälle Angaben über die Schadensumme vor. Die Schadensumme liegt dabei zwischen 2.000,-- DM und 600.000,-- DM. Der Mittelwert beträgt 119.600,-- DM.

In insgesamt 7 Fällen, ausschließlich in Tiefgaragen ohne Sprinkleranlage, mußten die Feuerwehren Personen evakuieren.

Bei den 86 Bränden in Tiefgaragen wurden insgesamt 22 Fälle registriert, in denen Schäden an der Bausubstanz auftraten. Davon ereigneten sich 18 Fälle (20,9% der Brände) in Tiefgaragen ohne Sprinkleranlage und 4 Fälle (4,7% der Brände) in Tiefgaragen mit einer Sprinkleranlage.

In Tabelle 3 sind die wesentlichsten der oben aufgeführten Angaben zum besseren Vergleich zusammengestellt.

Die erforderlichen Anfahrzeiten, in den Tabellen 1.1 bis 1.5 als Anrücken bezeichnet (Zeile 50), liegen zwischen 1 und 9 min. Im Mittel beträgt diese Zeit 4,6 min.

Die Zeiten zwischen dem Eintreffen der Feuerwehr und dem eigentlichen Löschbeginn bei den in den Tabellen 1.1 bis 1.5 aufgeführten Bränden sind in nur 4 Fällen angeführt. Diese Zeiten liegen zwischen 11 min und 54 min. Aufgrund der geringen Zahl der Angaben ist eine allgemeine Bewertung nicht möglich.

4. BRANDABLAUF VON PKW-BRÄNDEN

Der Brandablauf von PKW-Bränden kann aus den vorliegenden Daten über die Brandfälle (Tabellen 1.1 bis 1.5) nicht rekonstruiert werden. Es sind daher Angaben aus Brandversuchen erforderlich, die unter ähnlichen Bedingungen durchgeführt wurden, wie die in den Tabellen 1.1 bis 1.4 aufgeführten Brände in Tiefgaragen erfolgten.

Die für den Brandablauf charakteristischen Daten können den in /1/ beschriebenen Untersuchungen entnommen werden. Die Versuche im Rahmen dieser Untersuchung wurden von der Forschungsstelle für Brandschutztechnik 1975 durchgeführt.

Bei diesen Untersuchungen wurden insgesamt 6 Versuche durchgeführt, bei denen eine Entzündung eines PKWs von außen erfolgte. 3 Versuche fanden in einem Parkhaus ohne Sprinkleranlage statt und 3 Versuche wurden in einem Brandversuchshaus, in dem eine Sprinkleranlage installiert war, durchgeführt. Für jeden der Versuche im Parkhaus wurden 6 PKWs in 2 Reihen zu je 3 Wagen aufgestellt. Im Brandversuchshaus wurden 3 Wagen nebeneinander aufgestellt. Die Größe der Stellfläche pro PKW betrug in beiden Fällen 2,30 m Breite und 5,00 m Länge.

4.1 Entzündung

Bei den Versuchen nach /1/ wurden 2 Arten der Entzündung durchgeführt. Bei 4 Versuchen (2 im Parkhaus und 2 im Brandversuchshaus) wurde von einem in der Mitte einer Reihe aufgestellten PKW der vom Tank kommende Benzinschlauch von der Benzinpumpe abgezogen

und das auslaufende Benzin sofort entzündet. Der Tank dieser Fahrzeuge war voll (ca. 40 l). Diese Entzündungsart wird im Folgenden als "Zündung A" bezeichnet.

Bei 2 Versuchen, jeweils einer im Parkhaus und einer im Brandversuchshaus, wurde auf einen Ständer unter dem Anschlußstück der Benzinleitung an den Tank ein "Esbit"-Würfel (Trockenspirit) gelegt und drei weitere Stücke auf den Boden unter das Heck des Fahrzeugs gelegt und entzündet. Unmittelbar danach wurde ein offener 5 l-Kanister mit 5 l Benzin seitlich am hinteren Teil des Fahrzeuges umgekippt. Der Tank des entzündeten Fahrzeuges war in beiden Fällen voll (ca. 40 l). Das entzündete Fahrzeug war jeweils das mittlere in einer Reihe von 3 Wagen. Diese Entzündungsart wird mit "Zündung B" bezeichnet.

Die Entzündungsarten bei den Untersuchungen nach /1/ können im Vergleich zu einer großen Anzahl bekannter Brandfälle, wie z. B. durch Brandstiftung sowie bei Unfällen, z.B. beim Auftanken in der Garage, als vergleichbar angesehen werden. Der Ablauf und die Auswirkung von Brandfällen, in denen eine extrem schnelle Brandausbreitung durch die Entzündung großer Benzinmengen erfolgte, werden durch die Ergebnisse der Brandversuche nach /1/ nicht wiedergegeben.

Die überwiegende Anzahl der Brände in Tiefgaragen, (83% der ermittelten Brandursachen) ist auf Brandstiftung zurückzuführen. Über die Art der Brandstiftung liegen für 12 Fälle Angaben vor. In 9 dieser 12 Fälle wurde Benzin in Mengen bis ca. 15 l ausgegossen. Das Benzin wurde dabei z.T. über die Autos oder, nach dem Einschlagen von Scheiben, in die Autos gegossen sowie Textilien damit getränkt. Für einen möglichen Brandfall ist im Vergleich zu den Brandversuchen zu berücksichtigen, daß der Tankinhalt der heutigen PKWs durch die Verwendung von Kunststofftanks von ca. 40 l bei den für die Brandversuche verwendeten Fahrzeugen auf 60 l und mehr Inhalt angestiegen ist und dadurch die Brandintensität bei leckgeschlagenem Tank größer wird.

Die nach /1/ durchgeführten Versuche werden im folgenden Text mit den in Tabelle 4 angegebenen Versuchsnummern bezeichnet.

4.2 Brandablauf bei den Versuchen nach /1/

4.2.1 Brandablauf ohne Sprinklerschutz

Bei den Versuchen 1 und 2, "Zündung A", breitete sich der Brand nicht auf die angrenzenden Fahrzeuge aus. Das entzündete Fahrzeug brannte vollständig aus.

Bei dem Versuch 3, "Zündung B", breitete sich der Brand auf die benachbarten 5 Wagen aus. Alle 6 Fahrzeuge brannten vollständig aus. Nach ca. 60 min hat die Feuerwehr die noch brennenden Teile mit Schaum abgelöscht.

4.2.2 Brandablauf mit Sprinklerschutz

Bei den Versuchen 4 und 5 mit der "Zündung A" hatte sich nach 8 min 15 s bzw. 3 min 32 s jeweils ein Sprinklerkopf geöffnet. In beiden Fällen wurde das Feuer durch die Sprinkleranlage nicht vollständig gelöscht. Nach jeweils ca. 60 min wurde das Restfeuer mit einem Handfeuerlöscher gelöscht. Ausgebrannt war bei Versuch 4 nur der Motorraum. Die seitlich stehenden Fahrzeuge wurden bei diesem Versuch nicht beschädigt. Bei Versuch 5 lief das Benzin auf der rechten Seite des Wagens aus. Die Flammen, die im wesentlichen zwischen den beiden Wagen brannten, beschädigten die rechte Vorderseite des entzündeten Wagens sowie die linke Vorderseite des rechts stehenden Wagens. Brennendes Benzin lief nach einer Versuchszeit von ca. 18 min unter den rechten Wagen, verursachte aber keine Brandübertragung. Bei dem Versuch 6, Zündung B, öffnete der 1. Sprinklerkopf nach 4 min 31 s. Die seitlich vom entzündeten Fahrzeug stehenden Wagen wurden bei diesem Versuch nur geringfügig durch den Brand beschädigt. Das entzündete Fahrzeug brannte nicht aus. Die im Kofferraum vor dem Versuch eingelegte Holzwole und das Papier waren nach dem Versuch noch unverbrannt vorhanden.

Der Temperaturverlauf im Wageninnern bei den 6 Versuchen gibt das Bild 1 wieder. Die Temperaturmeßstelle war bei allen Versuchen in der Mitte zwischen dem Lenkrad und der Rückenlehne des Fahrersitzes im entzündeten Fahrzeug angeordnet.

4.3 Abbrandrate

Da die zur Beurteilung des Brandablaufes sowie des entstehenden Brandrauchvolumenstromes erforderliche Abbrandrate bei Brandversuchen mit PKWs bisher nicht gemessen wurde, wird diese aus den Temperaturmessungen bei den Versuchen nach /1/ abgeleitet. Aufgrund der registrierten Temperatur im Bereich des Brandortes erfolgt die Aufteilung des Brandablaufs in die Brandphasen I, II und III.

In der Brandphase I erfolgt eine stetige Zunahme der Brandintensität. Die Brandphase beginnt mit der Entzündung und reicht bis zu dem Zeitpunkt, zu dem etwa gleichbleibende Abbrandraten erreicht sind. Diese Brandphase ist durch einen stetig ansteigenden Temperaturverlauf gekennzeichnet.

In der Brandphase II erfolgt ein etwa konstanter, freigesetzter Wärmestrom. Dadurch ergibt sich auch etwa eine konstante Temperatur im Brandbereich.

In der Brandphase III geht die Abbrandrate und damit auch die Temperatur stetig zurück. In dieser Phase brennen die noch vorhandenen Reste des Brandgutes aus.

Für eine Aussage über die Abbrandrate ist es erforderlich, die in den einzelnen Brandphasen verbrannten Massen zu kennen. Aufgrund der in Brandräumen mit einer Waageeinrichtung durchgeführten Versuche an verschiedenen Brandstoffen sowie der Beobachtung und der Temperaturverläufe bei den Brandversuchen nach /1/ wird der Massenverlust in den einzelnen Brandphasen entsprechend Tabelle 5 festgelegt.

In der Tabelle 6 sind die Mittelwerte der brennbaren Anteile von Personenkraftwagen, bezogen auf ein Leergewicht der Fahrzeuge von 1000 kg angegeben. Diese Werte wurden aus den Herstellerangaben für 5 Mittelklassewagen verschiedener Fabrikate berechnet.

Der in Tabelle 6 für die einzelnen Stoffgruppen angegebene Heizwert wurde aus den Heizwerten der einzelnen Stoffarten und deren mittleren Massen pro PKW berechnet.

Die damit berechnete Brandlast von 8345 MJ für einen PKW von 1000 kg Leergewicht liegt um ca. 2400 MJ über dem in /2/ 1967 berechneten Wert für einen PKW mit etwa gleichem Leergewicht.

In /3/ wurde bei der Berechnung der Brandlast ein Abbrandfaktor berücksichtigt. Damit ergibt sich nach /3/ ein Wert von 5587 MJ für ein angenommenes Leergewicht von 1100 kg. Ohne Berücksichtigung eines Abbrandfaktors erhält man für die in /3/ aufgeführten brennbaren Stoffe für PKWs der Modelle 82/83 eine Brandlast von ca. 8000 MJ bezogen auf 1000 kg Leergewicht.

Aus diesen Daten ergibt sich eine Steigerung der Brandlast, die jedoch in der Zeit von 1983 an nur noch gering zunahm. Von der Automobilindustrie wird mit einer Zunahme des Kunststoffanteils im Automobilbau von ca. 5% in den nächsten 10 Jahren gerechnet.

Bei der Berechnung der Brandlast in Tabelle 6 wurden keine Abbrandfaktoren berücksichtigt, da die in Brand geratenen Fahrzeuge bei den Versuchen nach /1/ vollständig ausbrannten.

Das beim Abbrand entstehende Brandrauchvolumen VBr kann nach /4/ aus dem Heizwert der festen und flüssigen Stoffe berechnet werden. Eine genaue Aufteilung in die jeweils vorhandenen brennbaren Stoffe ist nicht erforderlich, wenn der mittlere Heizwert und die Masse der brennbaren Produkte bekannt sind. Aus diesem Grund sind die mittleren brennbaren Massen der einzelnen Stoffgruppe, bezogen auf ein Leergewicht von 1000 kg, sowie die mittleren Heizwerte zusammengefaßt worden (siehe Tabelle 6). Aus der Gesamt-

masse von 273 kg brennbarer Stoffe ergibt sich eine Verbrennungswärme Q von insgesamt 8.345 MJ. In der Spalte 5 dieser Tabelle ist das nach /4/ berechnete Brandrauchvolumen V_{Br} für eine angenommene Verbrennung mit der Luftzahl $n = 2$ eingetragen. Der Wert $n = 2$ wurde aufgrund der bei Brandversuchen in einem Tunnel gemessenen CO_2 -Konzentrationen ermittelt. Der bei $n = 2$ auftretende Massenstrom des Brandrauches entspricht auch dem nach /6/ berechneten Wert.

Geht man von einem mittleren Fahrzeugleergewicht der in einem Parkhaus abgestellten Fahrzeuge von 1000 kg einschließlich einer zusätzlich im Kofferraum und im Wageninneren durch z.B. Gepäck vorhandenen brennbaren Masse von 20 kg aus, so ergeben sich die in Tabelle 7 angegebenen Massenverluste pro brennendes Fahrzeug in den einzelnen Brandphasen. Dabei werden die Reifen sowie die übrigen Gummiteile und die in Tabelle 6 zusammengefaßten Massen von Lack, Wachs, Unterbodenschutz, Papier, Holz, Textilien zu den Feststoffen gezählt. Die Kunststoffe werden, da es sich vorwiegend um Thermoplaste handelt, zu den flüssigen Brennstoffen Treibstoff, Öl und Fette gerechnet.

4.3.1 Abbrandrate ohne Sprinklerschutz

Aufgrund der für die Brandphasen charakteristischen Temperaturverläufe wurde die Zeitdauer für die einzelnen Brandphasen bei den 3 Brandversuchen nach Abschnitt 4.2.1 (Versuche 1,2,3) ermittelt. In Bild 2 sind die Zeiten für die einzelnen Brandphasen auf den Abszissen aufgetragen.

Zur Berechnung der Abbrandraten werden die Massenverluste in den einzelnen Brandphasen auf die in Bild 2 für die jeweiligen Brandphasen angegebenen Zeiten bezogen.

Für die Brandphasen I, II und III ergeben sich für den Versuch 1, "Zündungsart A", 1 PKW ausgebrannt, die Zeiten 14 min, 8 min und 38 min.

Bei dem Versuch 2, ebenfalls "Zündungsart A", 1 PKW ausgebrannt, liegen die entsprechenden Zeiten bei 10 min, 14 min und 36 min.

Beim Versuch 3 wurde mit der "Zündungsart B" gezündet. Alle sechs aufgestellten PKWs brannten aus. Für die Brandphasen I, II und III ergaben sich die Zeiten 5,5 min, 21,5 min und 33 min.

Im Bild 2 sind die aus den Massenverlusten in den einzelnen Brandphasen nach Tabelle 7 sowie mit den o.g. Zeiten berechneten mittleren Abbrandraten in der jeweiligen Brandphase eingetragen. Aus diesen Abbrandraten und den Brandrauchvoluminas für die Verbrennung mit $n = 2$ ergeben sich die in Bild 3 über der Branddauer aufgetragenen Brandrauchvolumenströme bezogen auf den Normzustand (0 °C, 1,013 bar). Die einzelnen Werte der Abbrandraten und Brandrauchvolumenströme sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Bei den Brandversuchen nach /1/ ergaben sich folgende mittlere Temperaturen, arithmetische Mittelwerte aus jeweils 12 Meßstellen, unterhalb der Decke im Bereich der sechs Abstellplätze:

Versuch 1	186 °C
Versuch 2	165 °C
Versuch 3	562 °C

Diese Werte entsprechen etwa den Temperaturen, mit denen der Brandrauch abgesaugt würde. Bei diesen Werten erhöht sich der Brandrauchvolumenstrom in der Brandphase II gegenüber den Werten im Normzustand nach Tabelle 8 auf 14,2 m³/s bei Versuch 1, auf 7,8 m³/s bei Versuch 2 und auf 57,8 m³/s bei Versuch 3.

4.3.2 Abbrandrate mit Sprinklerschutz

Bei den in /1/ durchgeführten drei Brandversuchen in einem Brandversuchsraum mit Sprinkleranlage waren bei jedem Versuch drei Autos so nebeneinander aufgestellt, wie es einer Reihe bei den Versuchen im Parkhaus ohne Sprinkleranlage entsprach. Das mittlere Auto wurde in zwei Fällen mit der "Zündungsart A" und in

einem Fall mit der "Zündungsart B" entzündet (siehe Tabelle 4).

Bei den Versuchen 4 und 5 öffnete ein Sprinkler nach ca. 8 min bzw. 3,5 min. Bei dem Versuch 6 hat der erste Sprinkler nach 4,5 min, ein zweiter nach ca. 6,5 min geöffnet. Verbrannt ist bei allen drei Versuchen das auslaufende Benzin und schätzungsweise 10% der übrigen brennbaren Materialien des entzündeten Fahrzeuges. An den benachbarten Fahrzeugen traten keine oder nur geringe Schäden auf, die im wesentlichen auf Wärmeeinstrahlung zurückzuführen waren.

Die Branddauer und Intensität richtete sich ausschließlich nach der Zeit, in der Benzin auslief. Der Temperaturverlauf zeigt, daß bei allen Versuchen die Brandintensität nach ca. 30 min zurückging. Bei den Versuchen sanken die Temperaturen im Kofferraum und im Wageninnern erst nach dieser Zeit ab. Die Temperatur im Kofferraum war bei Versuch 6 so niedrig geblieben, daß sich die darin enthaltene Holzwolle nicht entzündet hat und der 5-l Reserverkanister aus Kunststoff nicht zerstört wurde. Bei den Versuchen 4 und 5 mußten nach ca. 60 min die noch vorhandenen Flammen mit einem Handfeuerlöscher abgelöscht werden. Bei dem Versuch 6 waren bei einer Versuchszeit von ca. 48 min keine Flammen mehr zu erkennen.

Da nur bei dem Versuch 6 sicher ist, daß der gesamte Kraftstoff von ca. 45 l entsprechend ca. 35 kg ausgelaufen und verbrannt war, kann nur für diesen Versuch die Abbrandrate abgeschätzt werden.

Für den Versuch 6 ergibt sich eine Abbrandrate von 1,2 kg/min Benzin und ca. 0,7 kg/min an anderen brennbaren Stoffen des Personenkraftwagens. Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Brandrauchvolumenstrom von ca. 0,7 m³/s bei 0 °C und 1,013 bar, wenn eine Verbrennung mit einer Luftzahl von $n = 2$, wie bei den Versuchen ohne Sprinklerschutz, angenommen wird. Bei einem Tankinhalt von ca. 60 l bis 80 l entsprechend 46 kg bis 61 kg, wie er

bei heutigen Autos üblich ist, erhöht sich der Brandrauchvolumenstrom auf 0,79 m³/s bis 0,99 m³/s bezogen auf den Normzustand.

Die Werte für den Brandrauchvolumenstrom ergeben sich aus den Massenverlusten der einzelnen Stoffe beim Abbrand unter Berücksichtigung ihres Heizwertes nach /4/ für eine Luftzahl $n = 2$.

Die mittlere Temperatur unterhalb der Decke im Bereich des Brandherdes, arithmetischer Mittelwert aus 4 Meßstellen, betrug bis zu einer Versuchszeit von 10 min bei den

Versuchen 4 und 5 ca. 80 °C und bei
Versuch 6 ca. 120 °C.

Während der Versuchszeit von 10 min bis 60 min betrug die mittlere Temperatur bei den Versuchen 4,5 und 6 ca. 25 °C. Die einzelnen Werte der Abbrandraten und Brandrauchvolumenströme sind für den Versuch 6 mit in der Tabelle 8 aufgeführt.

5. ENTRAUCHUNGSANLAGEN

Die Aufgabe einer Entrauchungsanlage in Tiefgaragen besteht darin, den im Brandfall entstehenden Brandrauch soweit abzusaugen, daß zu jedem Zeitpunkt während des Brandes eine ausreichende Sicht innerhalb des Gebäudes einschließlich des Bereiches um den Brandherd möglich ist. Als ausreichend kann die Sicht angesehen werden, wenn über dem Boden eine ca. 1,5 m hohe brandrauchfreie Zone besteht.

Der von der Entrauchungsanlage minimal abzuziehende Brandrauchvolumenstrom richtet sich nach der wahrscheinlichsten größten Abbrandrate in der Tiefgarage. Aufgrund der in /1/ erfolgten Versuche ohne Sprinkleranlage sowie der hier durchgeführten Berechnungen liegt der Brandrauchvolumenstrom zwischen 4,8 m³/s und 18,9 m³/s bezogen auf den Normzustand bzw. zwischen 7,8 m³/s und 57,8 m³/s bezogen auf die mittlere Brandrauchtemperatur.

Die Intensität eines Brandes in Garagen wird, wie verschiedene Versuche zeigten, hauptsächlich dadurch bestimmt, ob der Treibstoff im Tank des Fahrzeuges ausläuft und mit verbrennt oder nicht. Läuft der im Tank eines Fahrzeuges befindliche Treibstoff vollständig und in kurzer Zeit aus, so muß mit einem Übergreifen der Flammen auf benachbarte Fahrzeuge gerechnet werden. Läuft kein Treibstoff aus oder laufen nur geringe Mengen durch eine kleine Öffnung aus, so wird sich der Brand nur auf das eine Fahrzeug beschränken. Eine unter ein Fahrzeug ausgeschüttete Menge Benzin von ca. 5 l führte nach einem eigenen Versuch nicht unbedingt dazu, daß der Tankinhalt ausläuft. Dieser Versuch wurde im Freien an einem Fahrzeug mit einem Tank aus Blech durchgeführt. Ob und inwieweit die bei neuen Fahrzeugen zum großen Teil verwendeten Tanks aus Kunststoff und mit einem um 10 l bis 15 l größeren Inhalt als Blechtanks das gleiche Verhalten zeigen, müßte erst nachgeprüft werden.

Aufgrund der Angaben in den Tabellen 1.1 bis 1.4 sowie im Abschnitt 3.2 (siehe Tabelle 3) sind in ca. 90 % aller Brände in ungesprinklerten Tiefgaragen bis zu drei PKWs abgebrannt. Legt man diesen Wert für die Auslegung einer Entrauchungsanlage zugrunde, so ergibt sich folgender Wert für den abzusaugende Brandrauchvolumenstrom:

Für das Brandrauchvolumen von 3 PKWs ergibt sich auf Grund der Tabellen 5 und 6 ein Massenverlust in der Brandphase II von 282 kg festen Stoffen und 360 kg flüssigen Stoffen. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Heizwerte ergibt sich bei einer Verbrennung dieser Massen mit der Luftzahl $n = 2$ ein Brandrauchvolumen von 11.820 m³ bezogen auf 0 °C und 1.013 bar. Bei einer angenommenen Zeitdauer von 18 min für die Brandphase II ergibt sich ein Brandrauchvolumenstrom von 10,9 m³/s (39.240 m³/h) bezogen auf 0 °C und 1.013 bar.

Die mittlere Temperatur des abzusaugenden Brandrauchvolumenstromes wird mit 400 °C angenommen. Bei dieser Temperatur beträgt der abzusaugende Brandrauchvolumenstrom 26,9 m³/s (96.840 m³/h).

Damit der entstehende Brandrauch abgesaugt werden kann, muß im Bereich des Brandherdes ein Frischluftstrom von ca. 15 m³/s (54.000 m³/h) bei 20 °C zuströmen können. Dieser Luftvolumenstrom muß bei Tiefgaragen in der Regel durch gesonderte Zuluftsysteme zugeführt werden. Die abzuführenden Brandrauchvolumenströme bzw. die zuzuführenden Luftvolumenströme sind unabhängig von der Größe der Tiefgarage.

Die bauliche Ausführung der Lüftungsanlage ist sehr stark von der Bauweise der Tiefgarage abhängig. Bei Garagen mit geringen Geschoßhöhen müssen die Absaugöffnungen in einem geringen Abstand zueinander angeordnet werden, da hierbei die Brandrauchschicht unterhalb der Decke nur eine kleine Schichthöhe haben darf, um die rauchfreie Zone nicht unter ca. 1,5 m absinken zu lassen. Bei geringer Geschoßhöhe ist die Leistung der Abluftanlage auf kurzzeitige Spitzenbelastungen auszulegen, da unterhalb der Decke praktisch kein Speichervermögen für Brandrauch ist. Bei großen Geschoßhöhen können größere Brandrauchvolumen unterhalb der Decke bei noch ausreichender Höhe der rauchfreien Zone aufgefangen werden, wodurch Spitzenwerte bei der Brandrauchentstehung abgebaut werden können.

Die Frischluftzufuhr ist so auszuführen, daß in allen Bereichen, auch wenn Tore geschlossen werden, ein dem abzusaugenden Volumenstrom entsprechender Wert zuströmen kann. Aus diesen Gründen ist eine für alle Tiefgaragen gültige Auslegung der Lüftungsanlagen nicht möglich.

Die Brandausdehnung beim Eintreffen der Feuerwehr bzw. beim Beginn des Löschens richtet sich bei gleichen Wegezeiten vom Ausrücken bis zum Einsatz nach der Entzündungsart des Brandes. Läuft kein Benzin aus dem Tank des in Brand geratenen Fahrzeuges aus, so bleibt in der Regel der Brand auf ein Fahrzeug beschränkt und die Zeit bis zur Brandphase II ist groß. Bei den Versuchen 1 und 2 nach /1/, bei dem nur 1 Fahrzeug in Brand geriet, betrug die Zeit 10 bis 14 min. Bei einer durchschnittlichen Anfahrtszeit von ca. 5 min (siehe Abschnitt 3.2) wird die Feuerwehr noch vor

dem Erreichen des vollentwickelten Brandes löschen können. In diesem Fall ist auch das entstandene Brandrauchvolumen gering.

Wurden zum Entzünden der Fahrzeuge größere Mengen Benzin ausgegossen oder läuft bei dem Brand Treibstoff aus dem Fahrzeugtank in größeren Mengen aus, so beträgt die Zeit bis zum Erreichen der Brandphase II unter den Bedingungen der Versuche nach /1/ nur ca. 6 min. In ungünstigen Fällen, bei denen z. B. große Mengen Benzin entzündet werden, kann diese Zeit wesentlich kürzer sein. Da in diesen Fällen auch benachbarte Fahrzeuge mit großer Wahrscheinlichkeit in Brand geraten, ist bis zum Eintreffen der Feuerwehr eine große Brandrauchentwicklung vorhanden, die die Löscharbeiten verzögert. Eine Entrauchungsanlage ist daher immer für die Fälle, in denen mehr als ein Kraftfahrzeug brennt, auszulegen. Die zu Beginn dieses Abschnitts angegebenen Zahlenwerte für den abzusaugenden Brandrauchvolumenstrom von 26,9 m³/s bzw. 96480 m³/h sind daher als untere Leistungsgrenze anzusehen und gewährleisten höchstens in ca. 90% aller Brandfälle eine ausreichende Abführung des Brandrauches.

6. BEWERTUNG

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen ist in ungesprinkelten Garagen in 50% der Brandfälle damit zu rechnen, daß mehr als 1 PKW brennen (in gesprinkelten Garagen nur in 5% der Brandfälle). In diesen ungesprinkelten Garagen kann, jedoch nur für 90% aller Brandfälle (Brand von maximal 3 PKW, siehe Tabelle 3), eine ausreichende Rauchfreihaltung sichergestellt werden, wenn eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage mit einer Leistung von annähernd 100 000 m³/h eingebaut und gleichzeitig ein Zuluftstrom zum Brandherd von etwa 54 000 m³/h gewährleistet wird. In den übrigen 10% der Brandfälle, d. h. wenn mehr als 3 PKWs brennen, reichen auch diese bereits enorm großen Lüfterleistungen für eine wirksame Entrauchung nicht aus.

Geraten bereits bei der Entzündung größere Mengen Treibstoff in Brand, so wird sich ein Brand beim Eintreffen der Feuerwehr in jedem Fall bereits in der Brandphase II befinden. In dieser Phase entsteht die maximale Abbrandrate und damit der größte Brandrauchvolumenstrom.

Sind dagegen Sprinkleranlagen vorhanden, so breitet sich auch bei großen Benzinmengen, die bereits bei der Brandentstehung mit in Brand geraten sind, der Brand nicht wesentlich aus. Die Ergebnisse der Versuche nach /1/ werden hierin durch die realen Brandfälle voll bestätigt (siehe Tabellen 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 und 3). Ferner zeigt die Auswertung der realen Brandfälle (siehe Tabelle 3), daß in diesen Garagen nur bei 23% der Einsätze die Verqualmung so stark war, daß die Feuerwehr Atemschutzgeräte tragen mußte. Dagegen mußte sie dies bei 80% der Einsätze in ungesprinklerten Garagen tun. Die Sprinkleranlagen haben demnach nicht nur nicht zu einer Zunahme der Verqualmung geführt, sondern im Gegenteil zu einer Abnahme der Verqualmungen beigetragen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen ergibt sich die Schlußfolgerung, daß durch den Einbau großer Rauch- und Wärmeabzugsanlagen in Tiefgaragen in 90% aller Brandfälle zwar ein wirksamer Rauchabzug zu schaffen ist. Eine Begrenzung der Brandausweitung auf andere Fahrzeuge sowie eine Reduzierung der Gebäudeschäden ist hierdurch jedoch nicht gegeben. Dies kann nur durch eine Sprinkleranlage erreicht werden.

Karlsruhe, den 24.11.1986



(Dipl.-Ing. R. John)
Sachbearbeiter



(Dr.-Ing. P.G. Seeger)
Leiter der Forschungsstelle

7. LITERATUR

- /1/ Engels, H.; Huerne, W.: Die Ausbreitung von Kraftfahrzeugbränden und Temperaturbeanspruchung tragender Bauteile bei Kraftfahrzeugen in geschlossenen Garagen sowie die Wirksamkeit der Sprinkleranlagen
Bauforschung des Innenministers des Landes Nordrhein-Westfalen
Forschungsauftrag vom 22.8.1972
- /2/ Butcher, E.G.; Fire and car-park buildings
Langdon-Thomas, G.J.: Fire Note No 10,
Bedford, G.K.: London: her majesty's stationery office 1968
- /3/ Klingsohr, K.: Risikobetrachtung in unterirdischen Garagen mit und ohne Löschanlagen aus der Sicht des Brandschutzes
Februar 1983
- /4/ Arbeitsmappe Heizung/Lüftung
VDI-Verlag Düsseldorf 1968
- /5/ Schlußbericht der Brandversuche im Ofenegg-Tunnel, vom 17.5. - 31.5.1965
Schweiz. Feuerwehrverband (SFV), Bern
- /6/ Yamana, T. und Smoke control in large scale spaces
Tanaka, T.: Part 2: smoke control experiments in a large scale space
Fire Science and Technology
Vol. 5(1985 No. 1, S.41-53

Tabelle 1.2: Auswertung von Brandberichten, Deutschland, Abkürzungen siehe Tabelle 2

Ort		Nr.	Datum	Brandobjekt		es brannte		Aufstell- neben geb. Kfz		Brandursache		Brandbekämpfung		Brandschäden		Bemerkung		
Gelsenkirchen		35	5. 5. 1983	Tiefgarage	X	1 Kfz	X	Anzahl		Brandstiftung	X	Alarmschutz	X	Personen - verletzte		Zeit in Min.	Anrücken	
Gelsenkirchen		36	2. 8. 1983	Parkhaus		2-3 Kfz		keine Angab.	X	Reparaturen	X	1 C Rohr	X	keine	X		Ank.- Löscher	
Hagen		37	14. 7. 1976	Autohalle	X	mehr als 3 Kfz		keine Angab.	X	techn. Defekt		2-3 C Rohre		keine Angab.				
Hamburg		38	19. 10. 1980	kl. Garage 1-3	X	mehr als 3 Kfz		keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - tote				
Hamburg		39	1. 6. 1982	mehr als 3	X	sonstiges		keine Angab.	X	sonstige		Kleinlöschgerät	X	Personen - verletzte	2			
Hamburg		40	10. 6. 1982	keine Angab.	X	keine best. Ang.		keine Angab.	X	sonstige		sonstige	X	Personen - keine				
Hamburg		41	12. 6. 1982	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		42	17. 6. 1982	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		43	20. 6. 1982	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		44	26. 8. 1982	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		45	28. 8. 1982	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		46	10. 9. 1982	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		47	1. 10. 1982	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		48	26. 10. 1982	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		49	27. 11. 1982	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		50	10. 1. 1983	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		51	30. 1. 1983	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		52	11. 2. 1983	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		53	1. 3. 1983	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		54	19. 7. 1983	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		55	24. 7. 1983	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		56	12. 8. 1983	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		57	17. 9. 1983	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		58	16. 10. 1983	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		59	1. 11. 1983	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		60	10. 11. 1983	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		61	18. 2. 1984	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		62	7. 3. 1984	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		63	7. 3. 1984	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		64	31. 7. 1984	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		65	26. 8. 1984	Sprinkler-Anl.				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		66	10. 11. 1984	sonstiger				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
Hamburg		67	22. 2. 1985	kein				keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			
keine Angaben		68	15. 12. 1983	keine Angab.	X			keine Angab.	X	sonstige		Schaum		Personen - keine Angab.	X			

Tabelle 2: Verwendete Abkürzungen in den Tabellen 1.1 bis 1.5

Kurzzeichen:

A.BR	Löschangriff von außen mit B-Rohr
a.R.	auf der Rampe
bet	betanken eines PKWs
BA	Brandabschnitte
Benz	Benzin
BD	Benzindämpfe
BOX	Box mit einem Abstellplatz
BOX-3	Box mit drei Abstellplätzen
CO2-Anl.	CO2-Anlage
CONT	Container
EF	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch rasche Feuer- verbreitung (z.B. plötzlicher Luftzufuhr: Öffnen des Tores usw.)
el.Luft	elektrischer Kleinlüfter
EL	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch herabfallende el. Leitungen mit zerstörter Isolation
EO	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch fehlende Ortskenntnis
EP	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch herumlaufende Personen (wollen PKW herausfahren)
ER	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch dichten Rauch (keine Sicht)
ET	Erschwernis bei Brandbekämpfung durch geschlossene Tore oder Türen
Exp.	Explosion
F	Fahrrad
f.G.PKW	flüssig-Gas-betriebener PKW
FM	Feuermelder
FW	Feuerwehr
G	Garage allgemein

Tabelle 2 Fortsetzung: Verwendete Abkürzungen in den
Tabellen 1.1 bis 1.5

g.G.	ganze Garage
KD	Kabeldurchführung
KG	Kellergeschoß
KLL	Kleinlöschgeräte
L	Lüftung
LM	Lebensmittellager
m	mehrere
M	Mängel
MSp	Mängel an der Sprinkler-Anlage
n.n.i.B.	noch nicht in Betrieb
R	Ruß
R.W	Ruß in Wohnung über Garage
RW	Regenwand
Sp.	Sprinkler geöffnet
SpA	Sprinkleranlage
t.L.	Trockenleitung
t.D.	technischer Defekt
Tank	Fahrzeugtank
TL	Trockenleitung
voll	Vollständiger Brandschutz mit Sprinkler, Temperaturen, BA, WH, Abschlußtüren, u.a.
WH	Wandhydranten
WS	Wasserschaden
WW	Wasserwerfer

Quellen: Polizeiberichte (Strafanzeigen)
Feuerwehrberichte
Tagespresse
FW-Zeitschriften
BVFA-Berichte

Tabelle 3: Unterschiede zwischen den Bränden in Tiefgaragen mit und ohne Sprinkleranlagen

		Tiefgaragen	
		mit Sprinkler- anlage	ohne Sprinkler- anlage
Ausgewertete Brandfälle		86	
Brandfälle	Anzahl	42	44
	Anteil	48,8 %	51,2 %
Brandstiftung insgesamt		83%	
	davon	58,5 %	41,6 %
in Brand geraten			
	1 PkW	94,7 %	50,0 %
	2 - 3 PKWs	5,3 %	38,6 %
	mehr als 3 PKWs	0 %	11,4 %
pro Brandfall (Mittelwert)			
	ausgebrannte PKWs	1,1	1,9
	durch Ruß oder Hitze		
	beschädigte PkW	0,1	4,2
	Sachschaden	11.700,-- DM	119.600,-- DM
Ereignisse insgesamt			
	Schäden am Gebäude	9,5 %	40,9 %
	Einsatz von Atemschutz	23,1 %	79,5 %
	Besondere Behinderung		
	durch Brandrauch	4,8 %	9,1 %
	Evakuierung von		
	Personen	0	15,9 %

Tabelle 4: Durchgeführte Brandversuche nach /1/

Versuch Nr.	Gebäude	Anzahl der aufgestellten PKWs	Zündung	Anzahl der ausgebrannten PKWs
1	Parkhaus	6	A	1
2	ohne	6	A	1
3	Sprinkler	6	B	6
4	Brandhaus	3	A	0*
5	mit	3	A	0*
6	Sprinkler	3	B	0*

* nur zum Teil beschädigt

Zündung A: Benzinschlauch, der vom Tank kommt, an der Benzinpumpe abgezogen und das auslaufende Benzin sofort entzündet.

Zündung b: 3 Würfel Trockenspiritrus unter dem Heck des Fahrzeuges entzündet und 5 l Benzin durch Umstoßen eines offenen Benzinkanisters ausgegossen. Ein Würfel Trockenspiritrus lag auf einem Ständer unter dem Anschluß der Benzinleitung an den Tank.

Tabelle 5: Massenverlust an brennbaren Stoffen in den einzelnen Brandphasen

Brandphase I	10 % flüssige Stoffe
	5 % feste Stoffe

Brandphase II	90 % flüssige Stoffe
	75 % feste Stoffe

Brandphase III	0 % flüssige Stoffe
	20 % feste Stoffe

Abbrand von eingelegten brennbaren Stoffen im Kofferraum und/oder im Wageninneren

80 % Brandphase II
20 % Brandphase III

Tabelle 6: Mittlere Brandlast und Wärmekapazität von PKWs
(bezogen auf 1000 kg Leergewicht)

Art	Masse kg	Hu MJ/kg	Q MJ	VBr bei n = 2 m3/kg
Reifen und Gummi- material	51	30,0	1530	15,8
Lack, Wachs, Papier, Unterbodenschutz, Holz, Textilien	53	30,0	1590	15,8
Kunststoffe	73	35,0	2555	18,4
Treibstoff, Fette, Öle	<u>60</u>	44,5	<u>2670</u>	23,0
Summe	237		8345	

Tabelle 7: Massenverlust (Abbrand)

in den Brandphasen I, II und III aufgrund der Versuche nach /1/ bezogen auf ein Leergewicht eines PKWs von 1000 kg sowie einem zusätzlichen Anteil von 20 kg brennbaren Stoffen im Kofferraum und im Wageninnern.

Brandphase I	5 kg	feste Stoffe
	13 kg	flüssige Stoffe
Brandphase II	94 kg	feste Stoffe
	120 kg	flüssige Stoffe
Brandphase III	<u>25 kg</u>	feste Stoffe
Brandlast	257 kg	

Tabelle 8: Berechnete Abbrandraten aus Massenverlust nach Tabelle 7 (1000 kg Leergewicht + 20 kg) und der Zeiten nach Bild 1 sowie entstehende Brandrauchvolumenströme für eine Verbrennung mit $n = 2$

		Abbrandrate			Brandrauchvolumenstrom bei		
		fest	flüssig	Summe	tBR	0 °C	tBR °C
		kg/min	kg/min	kg/min	°C	m ³ /s	m ³ /s
ohne Sprinklerschutz							
Brandphase I							
Versuch 1	(1 PKW)	0,36	0,93	1,29		0,43	
Versuch 2	(1 PKW)	0,50	1,30	1,80		0,60	
Versuch 3	(6 PKWs)	5,45	14,81	20,26		6,47	
Brandphase II							
Versuch 1	(1 PKW)	11,75	15,00	26,75	186	8,47	14,24
Versuch 2	(1 PKW)	6,71	8,57	15,28	165	4,84	7,77
Versuch 3	(6 PKWs)	26,23	33,49	59,72	562	18,91	57,84
Brandphase III							
Versuch 1	(1 PKW)	0,66	0	0,66		0,17	
Versuch 2	(1 PKW)	0,69	0	0,69		0,18	
Versuch 3	(6 PKWs)	4,55	0	4,55		1,20	
mit Sprinklerschutz							
Brandphase II							
Versuch 6	(3 PKWs)	0,7	1,2	1,9	120	0,7	1,01

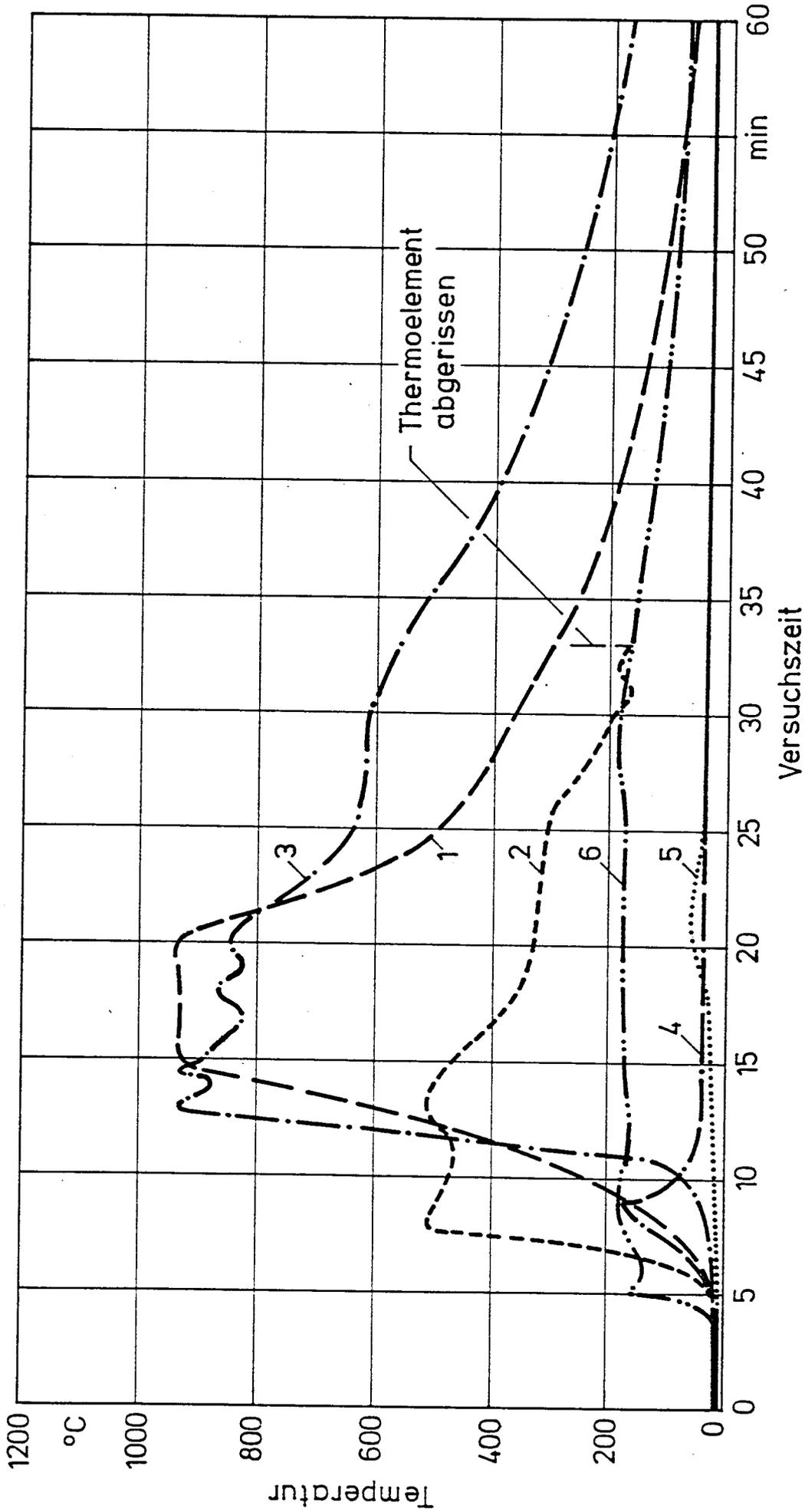
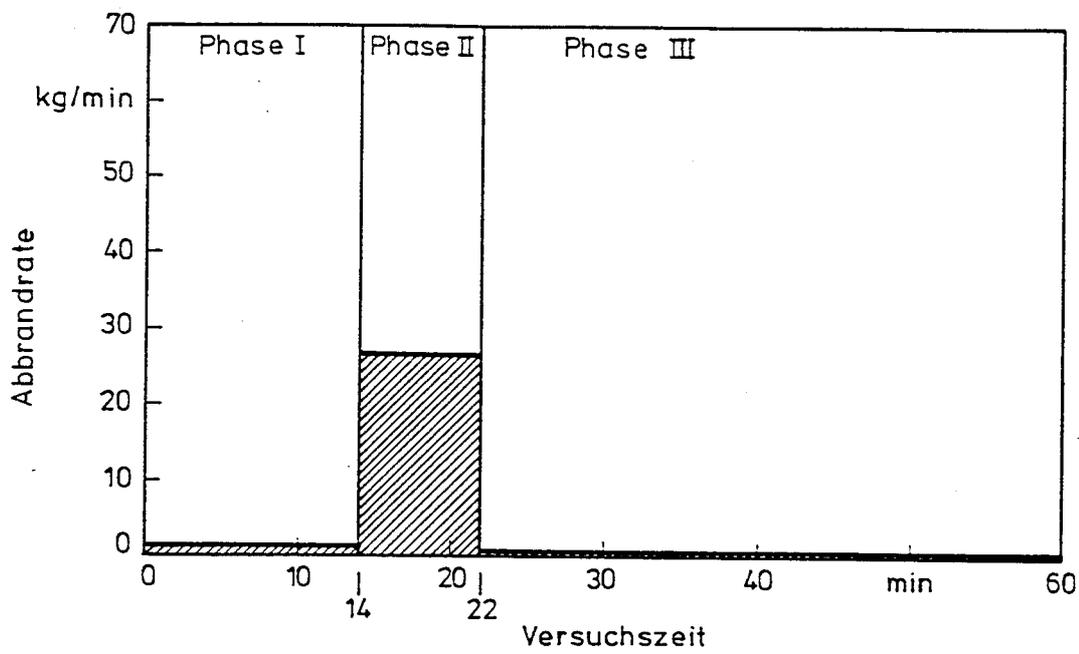
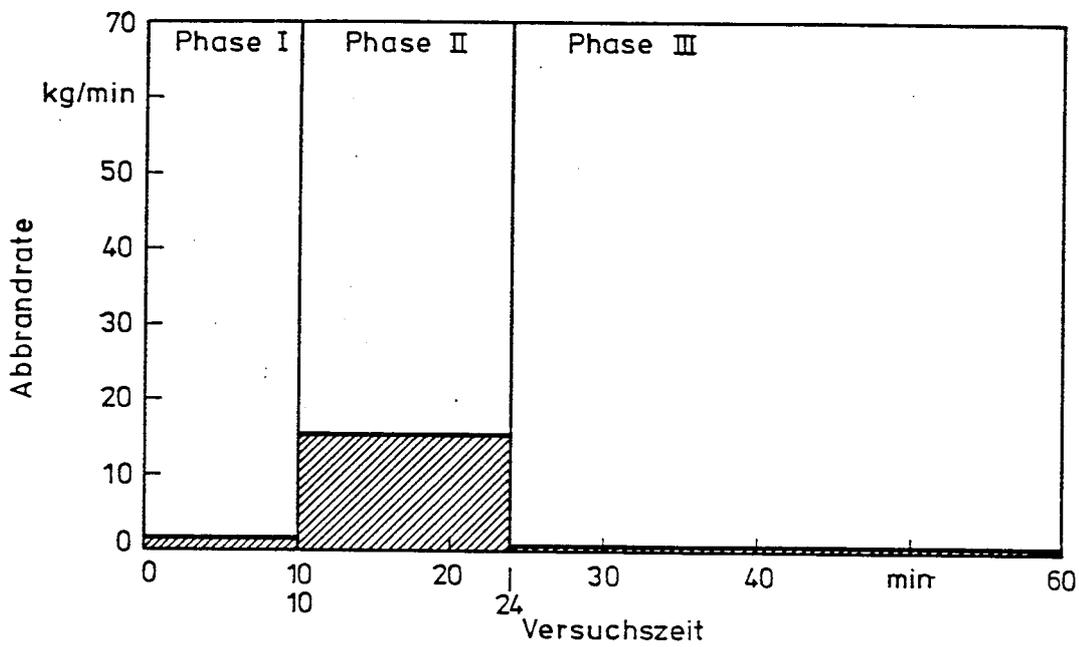


Bild 1: Temperaturverlauf im Wageninnern bei den Versuchen 1 bis 6
Anordnung der Temperaturmeßstelle: Mitte zwischen Lenkrad und Rückenlehne Fahrersitz
Versuch 1 bis 3 ohne Sprinkler
Versuch 4 bis 6 mit Sprinkler

Versuch 1



Versuch 2



Versuch 3

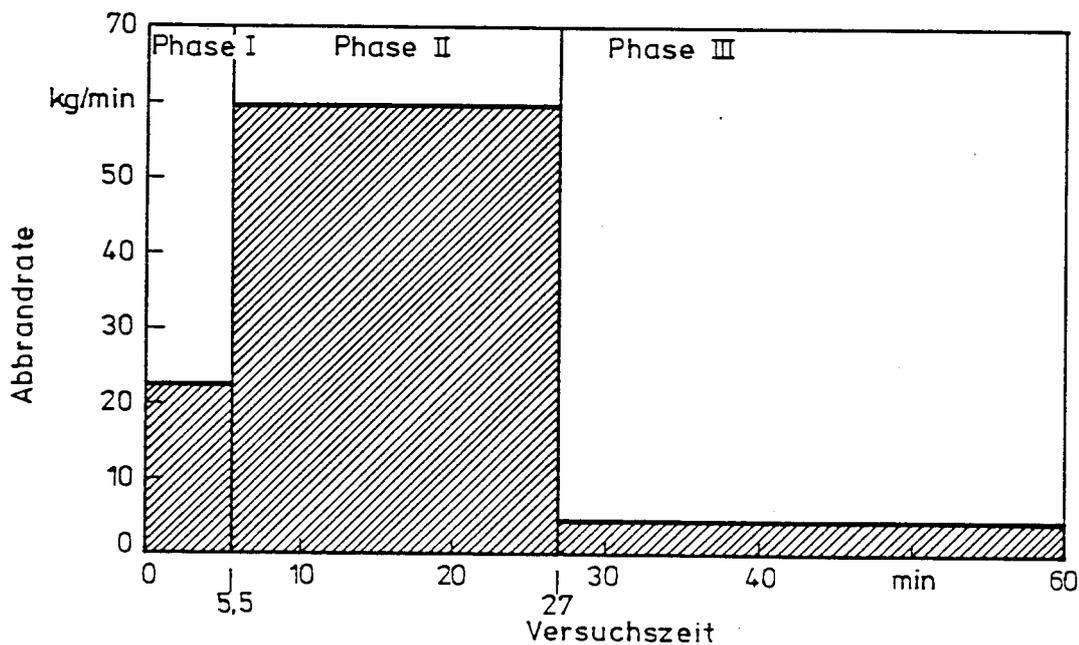


Bild 2: Zeitbereiche und Abbrandraten in den Brandphasen I, II und III für die Versuche 1, 2 und 3 (ohne Sprinkler)

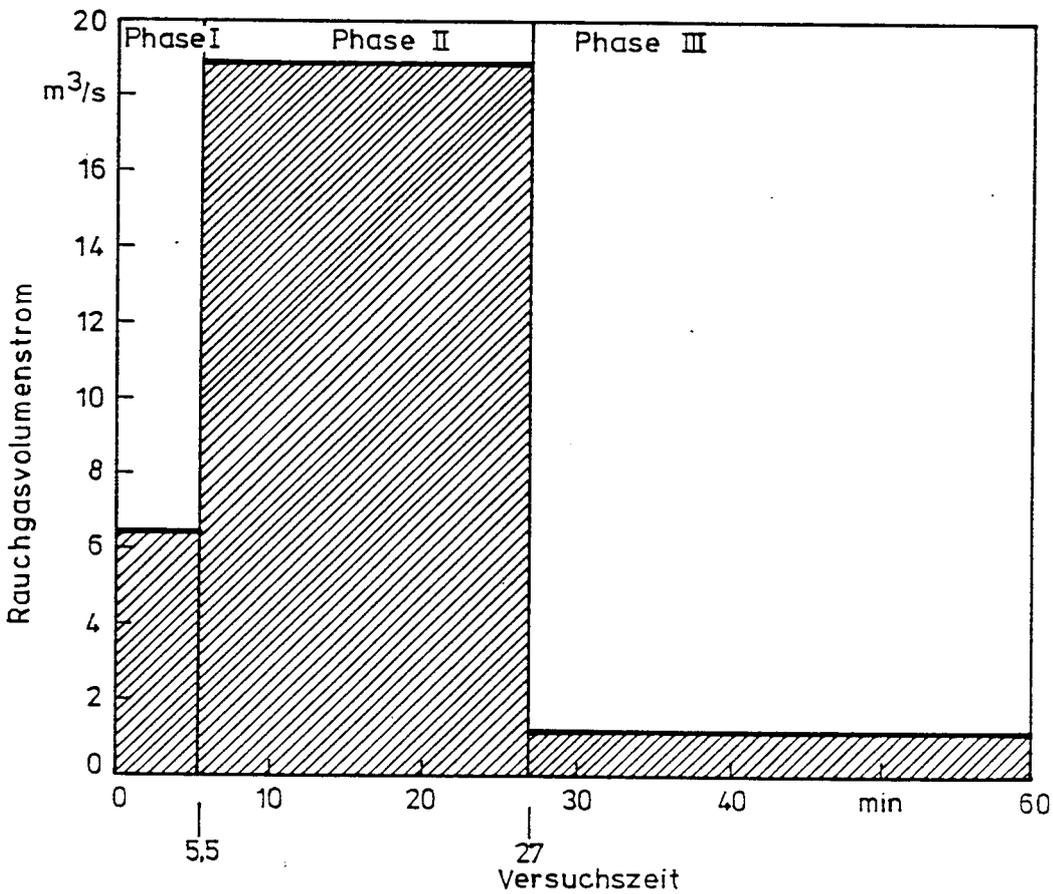
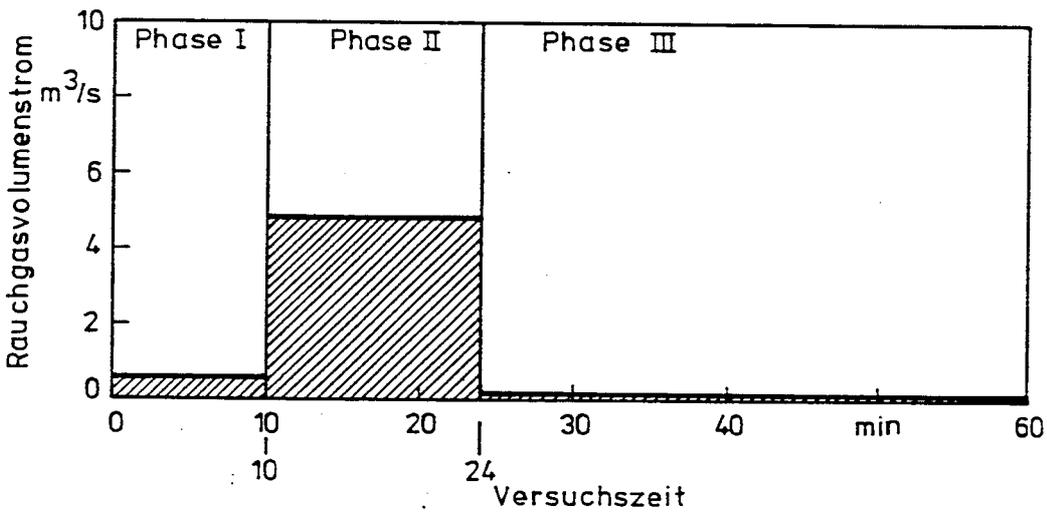
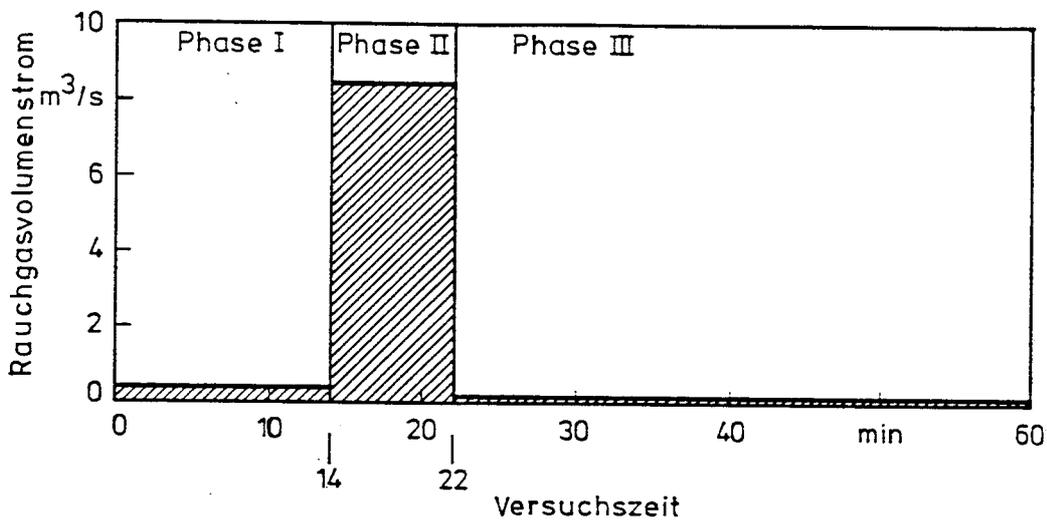


Bild 3: Entstehender Brandrauchvolumenstrom bei der Verbrennung $n = 2$, Volumenströme bezogen auf 0 °C und 1,013 bar