

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2

67

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

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

Forschungsbericht Nr. 67

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2

von
Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
September 1988

FA: Nr. 119 (4 / 87)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG	2
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	6
3.1 Wasserbeaufschlagung bei 4 Sprinklern ohne Brandeinwirkung	6
3.2 Brandmelder	11
3.3 Auslösen von Sprinklern	12
3.3.1 Parallele Lagerattrappen	12
3.3.2 Parallele Lagersäulen	13
3.3.3 Lagerstapel	14
3.4 Brand- und Löschversuche	16
3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung	20
4. ZUSAMMENFASSUNG	22
5. LITERATURVERZEICHNIS	24
6. TABELLEN UND BILDER	26

1. EINLEITUNG

Hohe und sich weit ausdehnende Gebäude zu Produktions- und Lagerzwecken haben das Schadensrisiko im Brandfall stark ansteigen lassen. Die sich in derartigen Komplexen befindenden Güter, d. h. die Einrichtung selbst oder auch die gelagerten Stoffe, erhöhen dieses Risiko noch, so daß die Löschkkräfte im Falle eines Schadenfeuers oft vor fast unlösbare Aufgaben gestellt werden.

Zu den vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen, die das Risiko senken können, gehören baulicherseits z. B. die Ausbildung von kleineren Brandabschnitten oder auch die Verwendung nichtbrennbarer Materialien. Ebenso ist es dringend erforderlich, eine ortsfeste Löschanlage zu installieren, die evtl. in Verbindung mit einer Brandmeldeanlage ausgelöst werden kann, um bereits auf diese Art wertvolle Zeit für den Löscheinsatz zu nutzen, bevor die Feuerwehr mit ihren Einsatzkräften am Ort des Geschehens einsatzbereit ist. In den meisten Fällen wird bei derartigen Anlagen als Löschmittel Wasser eingesetzt, das auch bei den meisten Stoffen, die lagermäßig gestapelt werden, Verwendung findet.

Die bisherigen Arbeiten /1,2,3,4/ befassen sich mit grundlegenden Ausführungen über Sprinkler und deren Installation in Anlagen, mit verschiedenen Vorschriften und Richtlinien sowie mit grundlegenden Veröffentlichungen über die Zerstäubung von Wasser und die Bildung von Tropfen /1/. Außerdem werden mathematische Ansätze für die Zerstäubung und den Wärmeübergang am Wassertropfen aufgezeigt und Hinweise auf löschwirksame Tropfengrößen gegeben. Zusätzlich wurde der Tropfenabbau durch Verdampfen in einer realen Brandbedingungen entsprechenden Heißgasströmung rechnerisch simuliert /2/. Das in- und ausländische Schrifttum über Sprinkler, über deren Entwicklung, über Brände und Statistiken, über die Stapellagerung sowie über Brand- und Löschversuche wurde ausgewertet /3/ und über Untersuchungen der Forschungsstelle für Brandschutztechnik berichtet /4/.

Im Rahmen eines längerfristigen Forschungsvorhabens werden Untersuchungen durchgeführt, die das Erfassen zahlreicher Meßdaten im Brandfall, angefangen von der Temperatur bis hin zum Löschmittel, beinhalten. Ziel der Untersuchungen ist es, durch theoretische Ansätze und praxisnahe Versuche Einzelheiten über den Brandablauf und den Löscheinsatz zu erhalten.

In der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurden Kaltversuche mit 4 Sprinklern durchgeführt, um Wasserverteilungen bzw. Wasserbeaufschlagungen auf der in der Versuchshalle zur Verfügung stehenden Fläche zu erhalten. Dabei kamen die Sprinkler Typ A, Typ B und Typ C zum Einsatz. Die Ergebnisse werden zu einem späteren Zeitpunkt mit den bereits vorhandenen Wasserverteilungen, die mit jeweils einem Sprinkler dieser drei Typen durchgeführt wurden, verglichen. Weiterhin wurden Brandversuche durchgeführt und beim Löscheinsatz der Sprinkler Typ C eingesetzt. Diese Untersuchungen werden mit den bereits durchgeführten Versuchen mit den Sprinklern der Typen A und B verglichen.

2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG

Der für die Untersuchungen verwendete Versuchsstand befindet sich in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik und besteht einerseits aus der Wasserversorgungseinrichtung von der Wasserzufuhr bis zum Sprinkler und andererseits aus dem Versuchsstand mit der Waagekonstruktion und der Brandlast, wie er bereits in früheren Arbeiten beschrieben wurde /1,4/ und in Bild 1 dargestellt ist.

Die Brandlast bestand aus einer Anordnung von Gitterboxen, die zu je 4 Stück in der Fläche und zu je 4 Stück bzw. 3 Stück übereinander aufgestellt wurden. Bei einigen Versuchen wurde die Höhe des Lagerstapels von 4 auf 3 mit Kartons beladenen Gitterboxen vermindert. Dadurch ergab sich ein größerer Abstand zwischen der

Oberkante des Lagergutes und dem an der gleichen Stelle belassenen Sprinkler. Der Abstand der Gitterboxen der 4 vertikalen Stapel zueinander betrug jeweils 20 cm. In diese Gitterboxen wurden Wellpappkartons eingesetzt, teils mit größeren (3 Kartons pro Gitterbox, Bild 1, linke Seite), teils mit kleineren Luftzwischenräumen (5 Kartons pro Gitterbox, Bild 1, rechte Seite). Dies bedeutete eine Änderung der Anzahl der gelagerten Kartons in den 4 übereinander gestapelten Gitterboxen von 48 auf 80 Stück bzw. bei jeweils 3 Gitterboxen übereinander von 36 auf 60 Stück. Die Abmessungen der einzelnen Wellpappkartons betragen 58 cm x 37 cm x 34 cm. Die Abmessungen der Wellpappkartons wurden aus Gründen der Handhabung gegenüber denen bei früheren Untersuchungen geringfügig verändert und somit das Volumen etwas vergrößert, was auf den Versuchsablauf jedoch keinen Einfluß hatte. Die als Umverpackung dienenden einlagigen Wellpappkartons umhüllten leere Stahlblechkanister mit einem Volumen von 30 l. Diese wurden als zu verpackendes Lagergut gewählt, um keine zusätzliche Brandlast im Karton zu erhalten. Der zwischen den Stahlblechkanistern und der Kartoninnenseite verbleibende Zwischenraum wurde bei einem Teil der Versuche mit Holzwohle, bei einem anderen Teil mit schwerentflammaren Polystyrolschaumwürfeln ausgefüllt, um die Unterschiede beim Brandverhalten und Löscheinsatz bei zwei der am häufigsten verwendeten Stoßschutzmittel beurteilen zu können.

Die Zündquelle bestand aus einem Faserstreifen mit den Abmessungen 15 cm x 3 cm x 1,8 cm, der mit 50 ml Brennspritus getränkt und gezündet wurde. Die Zündquelle befand sich jeweils an den in Bild 1 gekennzeichneten Stellen Z1 (vorne links, VL) bzw. Z2 (vorne Mitte, VM). Die früher verwendete Holzwohle wurde durch die Faserstreifen ersetzt, um beim Zündvorgang die Flammhöhe zu vermindern und damit die Brandausbreitung durch das Zündmaterial.

Die Stapellageranordnung wurde auf einem Waageboden mit den Abmessungen 4 m x 4 m installiert. So war es möglich, den Abbrand

des Brandgutes zu bestimmen. Der Waageboden bestand aus Gitterrosten, so daß das Löschwasser unter der Waagenebene in 25 einzelnen Wannen der Größe 80 cm x 80 cm aufgefangen werden konnte. Die Löschanlage wurde ausgehend von der städtischen Wasserversorgung über einen Vorratsbehälter mit einer Sprinklerpumpe betrieben. Das Wasser gelangte über eine mit mehreren Manometern versehene Rohrleitung bis zum Sprinkler, was bereits in /1/ ausführlich dargestellt wurde. Der Sprinkler befand sich bei den Warmversuchen zentral ca. 0,5 m über dem Gitterboxenstapel in einer Höhe von ca. 3,50 m über dem Waageboden. Bild 1 zeigt das Schema des Versuchsaufbaus mit den Auffangwannen unterhalb der Waagekonstruktion. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen wurde kein Dach über dem Versuchsstand installiert, da das durch das Dach erwartete frühere Auslösen der Brandmelder und das frühere Auslösen des Sprinklers für den Löscheinsatz nicht festgestellt werden konnte.

Bei den Kaltversuchen wurden die Auffangwannen auf die Gitterauflage der Waagekonstruktion gestellt, um somit das aus dem Sprinkler austretende Wasser ungehindert in den Wannen auffangen zu können. Der Abstand des Sprinklers zu den Auffangwannen wurde bei den Kaltversuchen in den 3 Höhen 1,5 m, 3,0 m und 4,5 m eingestellt. Einzelheiten der Versuche mit einem Sprinkler wurden bereits in /4/ ausführlich beschrieben. Hier wurden Untersuchungen mit 4 quadratisch angeordneten hängenden Sprinklern über der gleichen Fläche durchgeführt. Der Abstand der Sprinkler zueinander betrug jeweils 3 m, die Höhen wurden beibehalten, ebenso die Sprinkler Typ A, Typ B und Typ C. Um einen Vergleich mit einer bewährten Meßeinrichtung zu erhalten, wurden beim Verband der Sachversicherer e.V. (VdS) Messungen in Köln mit den gleichen Zustandsgrößen wiederholt.

Bei den Warmversuchen kam ein hängender Normalsprinkler vom Typ C ohne Glasfaß zum Einsatz. Der Typ C wurde deshalb gewählt, weil er sich bereits bei den Kaltversuchen wesentlich vom Typ B unterschied. Der Sprinkler Typ B wurde bereits bei den Warm-

versuchen in /4/ eingesetzt. In der vorliegenden Arbeit werden die Untersuchungen mit dem Sprinkler Typ C beschrieben. Die Auslösung des Sprinklers erfolgte dadurch, daß nach dem Platzen des Glasfäßchens des direkt neben dem zum Löschen eingesetzten Sprinklers die Wasserzufuhr über ein in die Leitung eingebautes Magnetventil freigegeben wurde. Auf diese Art wurde gewährleistet, daß die Freigabe der Wasserzufuhr des Sprinklers wie bei einem realen Brand ausgelöst wurde.

In Höhe des Sprinklers, in Bild 1 mit Nr. 5 gekennzeichnet, wurden um diesen herum verschiedene Brandmelder, mit a bis f gekennzeichnet, installiert, die entweder direkt nach dem Ansprechen oder spätestens vor dem Zerstoren durch die nach oben gerichteten Flammen, mit einem Seilmechanismus weggezogen werden konnten. Bei den Brandmeldern handelte es sich zunächst um Wärmemelder (Maximal- und Differentialmelder) und um Rauchmelder (Ionisations- und optische Melder), die zum Teil gepulst waren. Da die Wärmemelder für diese Untersuchungen nicht geeignet sind, was in /4/ bereits festgestellt wurde, wurden sie durch optische Melder ersetzt, um somit ein breiteres Spektrum der Auslösezeiten für diese Melder zu erhalten.

Da dieses Forschungsvorhaben in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungsvorhaben "Brandausbreitung bei gelagerten Stoffen" durchgeführt wird, wurden an über 30 Meßstellen die Temperaturen gemessen, die Aussagen über die Ausbreitung des Brandes zulassen, worauf hier aber nicht näher eingegangen wird. Zusätzlich wurden die Temperaturen an einigen für die Untersuchungen des Sprinklereinsatzes notwendigen Stellen gemessen wie z. B. direkt neben dem beim Brand ausgelösten Sprinkler oder auch an weiteren in Bild 1 mit den Zahlen 1 bis 6 gekennzeichneten Stellen, an denen ein Glasfaßsprinkler als Auslöseelement ohne Wasseranschluß angeordnet war.

Um diese Meßergebnisse zu ergänzen, wurden Glasfaßsprinkler ohne Wasseranschluß bei den in /5/ beschriebenen Untersuchungen

installiert. Es handelt sich dabei um zwei parallel senkrecht aufgestellte Lagerattrappen bzw. Lagersäulen. Die Flächen der Lagerattrappen, die mit einlagiger Wellpappe belegt waren, hatten eine Größe von jeweils 0,63 m x 3,0 m. Die Attrappen wurden jeweils an ihrem Fußpunkt mit einem mit Spiritus getränkten Faserstreifen gezündet. Bei den Lagersäulen waren, ähnlich einem Blocklager, mit Polystyrolpartikelschaum um einen Blechkanister gefüllte Kartons aufeinander gestapelt. Jeder Stapel hatte die Abmessungen 1,04 m x 0,34 m x 3,04 m. Die Abstände zueinander wurden von 0,05 m bis 0,90 m variiert. Die Sprinklerglasfäßchen und die zugehörigen Temperaturmeßstellen befanden sich jeweils oberhalb der Mitte der beiden Stapel in einer Höhe von 3,5 m und 5,5 m.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

3.1 Wasserbeaufschlagung bei 4 Sprinklern ohne Brandeinwirkung

Um die bereits durchgeführten Untersuchungen der Wasserbeaufschlagung mit einem Sprinkler, über die in /1,4/ berichtet wurde, zu ergänzen, wurden mit den gleichen Sprinklern Typ A, Typ B und Typ C Versuche durchgeführt. Dabei wurden 4 Sprinkler im Quadrat mit einem Abstand zueinander von jeweils 3 m installiert.

Die für die Untersuchungen zur Verfügung stehende Fläche betrug 16 m² und war in ein Raster von 80 cm x 80 cm aufgeteilt. Die Abstände der Sprinkler zur beaufschlagenden Fläche betragen 1,5 m, 3,0 m und 4,5 m.

Zunächst wurde mit dem Sprinkler Typ A aufgezeigt, wie sich das Wasser auf der vorgegebenen Fläche verteilt, wenn 4 Sprinkler der gleichen Bauart bei gleicher Höhe und gleichem Volumenstrom eingesetzt werden.

In Bild 2 sind die Ergebnisse dargestellt. Die Sprinkler wurden über dem Wannenfeld mit den Abmessungen 4 m x 4 m in einer Höhe von 1,5 m installiert. Um den Abstand von 3 m zueinander zu erhalten, wurden die Sprinkler an den in Bild 2 mit einem Kreis markierten Stellen installiert.

Das Bild zeigt deutlich, daß beim Einsatz eines Sprinklers nur die eine Ecke beaufschlagt wurde, wobei bereits Ungleichmäßigkeiten zu erkennen sind. In der Mitte ist die Wasserbeaufschlagung beim Einsatz von 2 Sprinklern dargestellt. Es wurde jedoch nicht jeder Sprinkler in der gleichen Richtung eingebaut, d. h. die Stege befinden sich willkürlich auf verschiedenen Seiten, wie dies auch bei der Installation von Sprinkleranlagen der Fall ist. Es ist zu erkennen, daß der rechte Sprinkler weniger Wasser senkrecht nach unten abgibt, aber dafür einen größeren Radius überdeckt und dies ebenso wie der erste Sprinkler nicht gleichmäßig in jeder Richtung.

Werden 4 Sprinkler eingesetzt, so gleichen sich die sowohl bereits von der Fertigung als auch vom Einbau herrührenden Unterschiede teilweise wieder aus oder sie addieren sich. Trotz dieser Unzulänglichkeiten erfüllen diese Sprinkler die Richtlinien. Hier z. B. werden die Unterschiede bei den diagonal gegenüber liegenden Sprinklern sehr deutlich, bei denen einmal mehr und einmal weniger Wasser in den Wannen auftritt. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik keine Sprinkler nach Richtlinien geprüft werden, sondern unabhängig davon Untersuchungen mit und an häufig eingesetzten Sprinklern durchgeführt werden.

Bild 3 zeigt die Wasserbeaufschlagung beim Einsatz von 4 Sprinklern vom Typ A aus 3 verschiedenen Höhen und mit zwei Volumenströmen von ca. 60 l/min und ca. 120 l/min. Bei einer Höhe von 1,5 m treffen ca. 52 % der aufgegebenen Wassermenge auf der vorgegebenen Fläche auf, bei einer Höhe von 3,0 m sind es ca. 45 % und bei einer Höhe von 4,5 m noch ca. 40 %. Wird der

Volumenstrom auf ca. 120 l/min erhöht, so differieren zwar die aufgefangenen Mengen etwas, liegen aber bei den bereits genannten Höhen mit 52 %, 43 % und 45 % in der gleichen Größenordnung. Dies bedeutet, daß bei Vervielfachung des Volumenstromes, das gleiche Vielfache in den Wannen aufgefangen wird.

Ändert man die Sprinklerhöhe von 1,5 m auf 3,0 m bzw. 4,5 m, so trifft, wie erwähnt, etwas weniger Wasser auf, aber es können sowohl bei ca. 60 l/min als auch bei ca. 120 l/min bis auf die durch den unterschiedlichen Druck und die bereits erwähnten Änderungen durch die Herstellungstoleranzen und den Einbau keine gravierenden Unterschiede bei der Wasserbeaufschlagung festgestellt werden. Abweichungen bei einer einzelnen Wanne können möglicherweise auch auf einen Ablesefehler zurückzuführen sein.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen in /4/ mit einem Sprinkler, kann hier durch die Überlagerung von 4 Sprinklern bei größeren Radien bei einer zunächst mittenbetonten Wasserbeaufschlagung eine Vergleichmäßigung erreicht und somit den Richtlinien entsprochen werden.

Bild 4 zeigt die Wasserbeaufschlagung beim Einsatz von 4 Sprinklern vom Typ B und sonst gleichen Einstelldaten. Bei einem Volumenstrom von 60 l/min und einer Höhe von 1,5 m treffen ca. 52 % auf die vorgegebene Fläche bei einer Höhe von 3,0 m bzw. 4,5 m sind es 45 % bzw. 41 %. Eine Erhöhung des Volumenstromes auf ca. 120 l/min bringt bei den Höhen 1,5 m, 3,0 m und 4,5 m nur eine unwesentliche Änderung in den aufgefangenen Wassermengen mit 54 %, 45 % und 43 %. Abweichungen dieser Größenordnung sind bereits von Versuch zu Versuch möglich.

Es ist jedoch eindeutig ersichtlich, daß die bereits in /4/ getroffenen Aussagen zutreffen, daß sich die Sprinkler Typ A und Typ B weitestgehend entsprechen. Auch beim Sprinkler Typ B wird die Mittenbetonung der Wasserbeaufschlagung beim Einsatz von 4 Sprinklern bei großen Radien überlagert, so daß das Wasser

gleichmäßiger verteilt wird. Durch eine Erhöhung des Volumenstromes auf ca. 120 l/min ist die größere Wassermenge direkt unter dem Sprinkler im Bild an den höheren Säulen in den Ecken deutlich zu erkennen. Wenn der Abstand des Sprinklers zu den Wannen vergrößert wird, dann wird die Beaufschlagung noch gleichmäßiger, was mit dem Sprühbild des Sprinklers zusammenhängt.

Bild 5 zeigt die Wasserbeaufschlagung beim Einsatz von 4 Sprinklern vom Typ C. In diesem Fall treffen bei einem Volumenstrom von 60 l/min und einer Höhe von 1,5 m ca. 43 % des Wassers auf die vorgegebene Fläche auf, bei einer Höhe von 3,0 m bzw. 4,5 m sind dies in beiden Höhen jedoch nur noch ca. 32 %. Bei einem Volumenstrom von 120 l/min sind es bei den Höhen 1,5 m, 3,0 m und 4,5 m Wassermengen von ca. 40 %, ca. 32 % und ca. 35 %. Diese Angaben können natürlich von einem Versuch zum anderen etwas schwanken, was, wie bereits erwähnt, mit der Sprinklerfertigung, dem Einbau und evtl. Meßfehlern zusammenhängt.

Bei dem Sprinkler Typ C ist jedoch deutlich zu erkennen, daß unabhängig vom Abstand jeweils ca. 10 % weniger Wasser in den Wannen aufgefangen wurde als bei den Sprinklern Typ A und Typ B. Dies zeigten bereits die Versuche mit einem Sprinkler /4/, wo der Prozentanteil sogar noch höher lag. Beim Sprinkler Typ C konnte mit 4 Sprinklern lediglich eine Erhöhung der Wasserbeaufschlagung erreicht werden, denn eine gleichmäßige Verteilung war bereits bei einem Sprinkler vorhanden.

In Tabelle 1 sind die Wasserbeaufschlagungswerte für die 3 verschiedenen Sprinklertypen eingetragen.

Die Wasserbeaufschlagung bei 4 Sprinklern zeigt deutlich, daß sie im Vergleich mit einem Sprinkler viel gleichmäßiger wird und bei geringem Abstand mehr Wasser auf der vorgegebenen Fläche auftrifft, was auch zu erwarten war. Eine Vergrößerung des Abstandes hatte eine Reduzierung des aufgefangenen Wasseranteils zur Folge.

Da beim Sprinkler Typ C sehr viel weniger Wasser auf der Fläche aufgefangen wurde, ist es z. B. möglich, diesen Sprinkler in größeren Abständen zu installieren und allein durch Änderung der Ausflußrate die notwendige Wasserbeaufschlagung zu erreichen, während bei den Sprinklern Typ A und Typ B die notwendige Wasserbeaufschlagung durch die Überlagerung von mehreren Sprinklern im geeigneten Abstand erreicht werden kann.

Als Ergänzung und zum Vergleich wurden mit den gleichen Sprinklern Typ A, Typ B und Typ C auf der Versuchsanlage des Verbandes der Sachversicherer e.V. (VdS) in Köln Wasserverteilungen gemessen. Die Meßeinrichtung ist geeignet, die in den Richtlinien geforderten Werte für die unterschiedlichen Sprinkler nachzumessen. Insgesamt steht für die Besprinklerung eine Fläche von 5 m x 5 m zur Verfügung, die in ein Raster von 0,5 m x 0,5 m großen Auffangwannen aufgeteilt ist. Der Sprinklerabstand zu den Wannen betrug 2,5 m und der Abstand der 4 Sprinkler zueinander 3 m und somit die Meßfläche 9 m². Die Ausflußrate wurde auf 60 l/min eingestellt.

Die Bilder 6 bis 8 zeigen die beim VdS aufgenommenen Wasserverteilungen im Vergleich zu denen der Forschungsstelle für Brandschutztechnik, wobei die Art der Darstellung so gewählt wurde, daß sie mit der an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik aufgenommenen übereinstimmt. Die Stelle, an der jeweils die Sprinkler angebracht wurden, sind wieder mit einem Kreis gekennzeichnet. Der direkte Vergleich zeigt, daß unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Einbaus der Sprinkler, der Meßungenauigkeiten, der differierenden Höhen und der unterschiedlichen Größe der Auffangwannen, die den Bereich von 9 m² bedecken bzw. darüberhinausgehen, die Werte gut übereinstimmen. Dies kann für alle 3 Sprinklertypen festgestellt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es sich hier nicht um Prüfungen handelt, sondern um Untersuchungen mit in der Praxis häufig verwendeten Sprinklern.

3.2 Brandmelder

Die bei den Brand- und Löschversuchen eingesetzten Brandmelder waren, wie bereits erwähnt, zentral über der Brandlast um den Sprinkler angeordnet. In Bild 1 ist die Lage der mit a bis f gekennzeichneten Brandmelder eingezeichnet und deren Auslöseprinzip angegeben. In Tabelle 2 wurden die bei den Untersuchungen ermittelten Ansprechzeiten für die verschiedenen Brandmelder aufgelistet. In der linken Spalte ist die jeweilige Brandlast eingetragen. Dabei bedeutet z. B. HW5/VL/4, daß in einer Gitterbox Holzwole in 5 Kartons verpackt waren, vorne links gezündet wurde und 4 befüllte Gitterboxen übereinander gestapelt waren oder PS3/VM/3, daß Polystyrolpartikelschaumwürfel in 3 Kartons verpackt waren, vorne in der Mitte gezündet wurde und 3 befüllte Gitterboxen übereinander gestapelt waren.

Der Brandlast kommt beim Auslösen der ersten Brandmelder bei diesen Versuchen jedoch keine Bedeutung zu, da diese Melder bereits kurze Zeit nach dem Zündvorgang auslösten. In der rechten Spalte ist der Zeitpunkt eingetragen, an dem die Brandmelder vor dem Zerstören aus der Brandnähe entfernt wurden. Das Zeichen ein Strich "-" bedeutet, daß der betreffende Melder nicht einsatzbereit war.

Anhand dieser Tabelle ist weiterhin zu erkennen, daß, wie bereits bei den Versuchen in /4/ beschrieben, in den meisten Fällen die Ionisationsmelder an der Stelle a und b zuerst Alarm auslösten, wobei es unerheblich ist, ob diese gepulst oder nicht gepulst sind. Die Pulsmeldetechnik hat aufgrund der elektrischen Abfrage mittels eines anders geschalteten elektrischen Systems lediglich Einfluß auf die Problematik der Fehlalarme. Die optischen Melder lösten nur kurze Zeit später als die Ionisationsmelder aus. Wie bereits erwähnt, wurden die Temperaturmelder durch optische Melder ersetzt, so daß nun sehr deutlich zu erkennen ist, daß alle 6 Melder trotz ihres etwas unterschiedlichen Abstandes zur Zündstelle, sie sind auf einem Kreis von je 20 cm zueinander

angeordnet, in sehr kurzen Zeitabständen auslösten.

Die Untersuchungen zeigten außerdem, daß die Brandmelder schneller auslösten, wenn der Lagerstapel vorne in der Mitte gezündet wurde, da aufgrund der Geometrie der gestapelten Gitterboxen der Weg der aufsteigenden Brandgase zu den zentral angebrachten Brandmeldern kürzer war. Der Brandrauch konnte direkt im mittleren Kanal aufsteigen, während bei den Versuchen, bei denen die Zündung vorne links erfolgte, der Brandrauch zunächst an der Frontseite aufstieg und um die Kartons herum strömen mußte. Die Brandlast selbst, Holzwolle oder Polystyrol, 3 oder 4 befüllte Gitterboxen übereinander oder der Füllgrad in den Gitterboxen, nämlich 3 oder 5 Kartons, hatten dabei keinen Einfluß auf das Auslösen der Brandmelder, da diese ansprechen, bevor die genannten Parameter zum Tragen kommen können.

Dies bedeutet, daß Brandmelder, wie z. B. Ionisationsmelder und optische Melder, an den richtigen Stellen eingesetzt, ein frühes Ansprechen erwarten lassen. Dadurch kann ein Brand bereits im Entstehungsstadium entdeckt und bekämpft werden. Dies wird durch die bereits in /4/ beschriebenen und die hier aufgeführten Versuche bestätigt, bei denen die Melder meist in den ersten 2 min nach Zündbeginn ansprachen. Die kürzesten Ansprechzeiten lagen in /4/ bei 9 s und hier bei 20 s nach der Zündung, d. h. die Flammen hatten noch nicht einmal den Lagerstapel richtig in Brand gesetzt.

3.3 Auslösen von Sprinklern

3.3.1 Parallele Lagerattrappen

An zwei parallel senkrecht aufgestellten Lagerattrappen, wie sie in /5/ näher beschrieben sind, wurden Untersuchungen über das Auslöseverhalten von Sprinklernglasfäßchen mit einer Auslösetemperatur von 68 °C durchgeführt, wobei jeweils eine Attrappe an

der Unterkante gezündet wurde. Die Attrappen hatten eine Höhe von 3,00 m und Abstände zueinander von 0,05 m bis 0,40 m. Die Flächen hatten die Abmessungen von jeweils ca. 2 m².

Über der jeweiligen Versuchsanordnung wurde im Schnittpunkt der Abstandsdiagonalen in einer Höhe von 3,5 m und 5,5 m jeweils ein Sprinkler mit einer Auslösetemperatur von 68 °C angebracht, um den Auslösezeitpunkt und die Auslösetemperatur direkt neben dem Sprinkler festzustellen.

Tabelle 3 zeigt neben dem verwendeten Brandmaterial und dem Abstand der Lagerattrappen eine Aufstellung der aufgenommenen Meßdaten. Hierbei ist zu erkennen, daß die Sprinklerglasfäßchen bei den angegebenen Abständen und Höhen bei einer Zeitdauer zwischen ca. 2 min und ca. 10 min zersprangen, wobei Temperaturen zwischen ca. 100 °C und ca. 700 °C erreicht wurden. In einer Höhe von 3,5 m zersprang das Glasfäßchen nur einmal nicht und in einer Höhe von 5,5 m zersprang es im Gegensatz dazu nur einmal. Dies bedeutet, daß bei dieser Anordnung die heißen Brandgase bzw. Flammen in größerer Höhe für das Auslösen eines Sprinklers nicht ausreichen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Wärmefreisetzung bei einer Lage Wellpappkarton auf einem nichtbrennbaren Untergrund nicht hoch ist. Bei noch größeren Abständen der Flächen zueinander wird das Auslösen des Sprinklers immer unwahrscheinlicher, da dadurch auch der Abstand der Attrappen zum Sprinkler zunimmt.

3.3.2 Parallele Lagersäulen

Eine weitere Versuchsreihe wurde mit 2 parallel aufgestellten Lagersäulen mit einer Höhe von 3,04 m durchgeführt. Die Zündung erfolgte wieder an einer Unterkante. Die Abstände betragen 0,40 m bis 0,90 m. Die gegenüberliegenden Flächen hatten eine Größe von jeweils ca. 3,2 m².

Bei dieser zweiten Versuchsreihe mit zwei parallelen Lagersäulen, d. h. jeweils 16 gegenüber gestapelten Kartons mit Polystyrolschaumwürfeln als Inhalt lösten die Sprinkler aufgrund der höheren Wärmefreisetzung im Mittel früher aus als bei den vorherigen Versuchen. Dabei spielt die Höhe von 3,5 m oder 5,5 m keine Rolle, denn alle Sprinklerglasfäßchen zerplatzten, wie auch aus der Tabelle 4 zu ersehen ist. Die Auslösetemperaturen schwanken sehr stark und sind ähnlich hoch wie die bereits zuvor genannten. Bei den Ansprechzeiten ist eine schwache Tendenz dahingehend zu erkennen, daß mit größer werdendem Abstand der beiden Lagersäulen zueinander die Zeiten leicht ansteigen. Im Gegensatz zu den Versuchen mit den Lagerattrappen ist aufgrund der höheren Brandlast bei den Lagersäulen eine größere Flammhöhe und eine höhere Wärmeentwicklung zu erwarten. Versuche mit unterschiedlichen Abständen der Lagerstapel, Auslösen des Sprinklers und anschließendem Löscheinsatz werden in die z. Z. laufenden Untersuchungen mit einbezogen.

3.3.3 Lagerstapel

Die Brand- und Löschversuche an Lagerstapeln wurden mit der bereits in Abschnitt 2 beschriebenen Anordnung durchgeführt. Der Löscheinsatz wurde eingeleitet, wenn das Glasfaß des Sprinklers an der in Bild 1 gekennzeichneten Stelle Nr.5 zentral über der Brandlast zersprang. Weitere Glasfaßsprinkler wurden an den Stellen Nr.1 bis Nr.6 angeordnet, um je nach Flammen- bzw. Wärmeausbreitung zu erkennen, ob diese früher oder später auslösten.

In Tabelle 5 sind für die jeweiligen Versuche neben der bereits beschriebenen Brandlast die Zeiten bis zum Zerspringen der Sprinklerglasfäßchen und die zu diesem Zeitpunkt direkt neben dem Glasfäßchen herrschende Temperatur aufgelistet. Wird an der Stelle vorne links (VL) gezündet, so ist klar ersichtlich, daß aufgrund der Ausbreitung der Flammen zunächst das Sprinkler-

glasfäßchen an der Stelle Nr.1, dann meistens das an der Stelle Nr.4, also am hinteren Stapel, und erst nachdem der Brand bis zur Mitte vorgedrungen ist, das Sprinklerglasfäßchen an der Stelle Nr.5 zerspringt. In diesem Moment wird auch der zentral in der Mitte befindliche Sprinkler ausgelöst (Tabelle 5). Die Glasfäßchen Nr.2, Nr.3 und Nr.6 werden in den meisten Fällen vom Brand nicht beeinflußt.

Liegt die Zündquelle an der Stelle vorne in der Mitte (VM), so werden die 4 Stapel gleichmäßiger von den Flammen erfaßt. Als erstes zerspringt das Glasfäßchen an der Stelle Nr. 2 und anschließend meist die Glasfäßchen Nr.1 und Nr.3. Durch den Abstand der Stapel von 20 cm setzen die Flammen zunächst die gezündeten Frontstapel in Brand und greifen dann erst auf die hinteren Stapel über, wobei das Glasfäßchen Nr.5 zerspringt.

Gleichartige Versuche zeigten, daß durch eine unterschiedlich schnelle Ausbreitung des Brandes die Sprinklerglasfäßchen innerhalb großer Zeitspannen zersprangen. Dabei spielte es keine Rolle, an welcher Stelle der Stapel gezündet wurde oder welches Stoßschutzmaterial in den Kartons verwendet wurde. Es war ebenso unerheblich, daß die Kartons in ihren Abmessungen geringfügig verändert waren, was anhand dieser Versuche deutlich zu ersehen ist.

Die Thermoelemente in der Nähe der Sprinklerglasfäßchen erreichten beim Zerspringen der Glasfäßchen bei diesen Untersuchungen Temperaturen von ca. 70 °C bis ca. 700 °C. Dies bedeutet, daß in den meisten Fällen die Temperatur in der Umgebung des auszulösenden Sprinklers viel höher liegt, als die auf dem bei diesen Untersuchungen verwendeten Sprinkler angegebene Auslösetemperatur von 68 °C, die in Laborversuchen festgelegt wurde. Derartige Temperaturunterschiede sind jedoch auch aus der Literatur bekannt.

In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß bei fünf Versuchen

das Sprinklerglasfäßchen an der Stelle Nr.5 nicht zerplatzt ist. Bei vier Versuchen erfolgte daher auch kein Löscheinsatz, während bei einem Versuch versehentlich nach fast 12 min gelöscht wurde, nachdem bereits die Glasfäßchen an den anderen Stellen geplatzt waren, das an der Stelle Nr.5 jedoch nicht, was erst nachträglich festgestellt wurde. Deshalb ist es auch unwahrscheinlich, daß bei 3 befüllten Gitterboxen übereinander das Glasfäßchen an der Stelle Nr.5 noch geplatzt wäre, da der größte Teil des Brandgutes bereits abgebrannt war. Bei den 4 Versuchen ohne Löscheinsatz handelte es sich bei dem Stoßschutzmaterial sowohl um Holzwolle als auch um Polystyrolpartikelschaum, wobei diese Versuche nur 3 Kartons pro Gitterbox beinhalteten, während der versehentlich gelöschte Versuch 5 Kartons enthielt. Es spielte hierbei auch keine Rolle, ob die Zündung vorne links oder vorne in der Mitte erfolgte. Wesentlich erscheint, daß bei 4 der 5 Versuche nur 3 Gitterboxen übereinander befüllt waren.

Dies bedeutet, daß für diese Art von Versuchsaufbau Sprinkler nicht auslösen können, wenn der Abstand von Sprinkler zum Brandgut größer wird und die Brandlast in den Gitterboxen geringer wird. Bereits bei 2 Versuchen in /4/ wurde bei dieser Anordnung mit 3 übereinander befüllten Gitterboxen der an der Stelle Nr.5 befindliche Sprinkler ebenfalls nicht ausgelöst. Zum gleichen Ergebnis führten die Versuche, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden.

3.4 Brand- und Löschversuche

Bei den Brand- und Löschversuchen erfolgte der Löscheinsatz zu dem Zeitpunkt, wenn neben dem für den Löscheinsatz vorgesehenen offenen Sprinkler das Glasfäßchen eines Sprinklers zersprang, was im Brandfall der Realität entspricht. Der Glasfaßsprinkler ohne Wasseranschluß wurde neben dem für den Löscheinsatz vorgesehenen Sprinkler an der Stelle Nr.5 zentral über dem Stapel mit einem Draht befestigt. Durch diese Vereinfachung entsteht sicherlich

ein geringer Fehler im Auslöseverhalten, der jedoch vernachlässigt wird.

Die Dauer des Löscheinsatzes richtete sich nach der optischen Beurteilung des Brandes. Der Brand wurde als gelöscht betrachtet, wenn keine Flamme mehr oder an einem Wellpappkarton höchstens noch kleine Flammen zu erkennen waren, die jedoch keinen weiteren Wellpappkarton mehr zünden und deshalb keinen weiteren Schaden anrichten konnten. Auf diese Art wurde ein subjektives Kriterium für den erfolgreichen Löscheinsatz gewählt und somit Unzulänglichkeiten bei der Beobachtung in Kauf genommen. Mit Hilfe von Messungen mit Thermoelementen war in diesem Brandstadium eine Beurteilung nicht mehr möglich, da diese durch den erfolgten Löscheinsatz bereits gekühlt wurden.

Als Weiterführung und Ergänzung der bisherigen Untersuchungen wurde der Sprinkler Typ C verwendet. In Tabelle 6 sind für die verschiedenen Versuchsreihen die aufgefangenen Wassermengen bei einem Volumenstrom von ca. 90 l/min eingetragen. Angegeben sind außerdem die Brandstoffe, Holzwolle (HW) oder Polystyrol (PS), 3 oder 5 Kartons in einer Gitterbox, der Ort der Zündung, vorne links (VL) oder vorne Mitte (VM), die zum Löschvorgang benötigte Wassermenge insgesamt sowie die davon in den unterhalb des Waagebodens sich befindenden Wannen beim Löschvorgang aufgefangene Wassermenge. Ein Kreis bedeutet, daß statt der normalerweise 4 übereinander gelagerten Gitterboxen mit Inhalt, was mit einem Kreuz gekennzeichnet wurde, nur 3 Gitterboxen übereinander gelagert waren, um einerseits die Brandlast zu verringern und andererseits den Sprinklerabstand zur Lagergutoberkante zu vergrößern.

Die Gegenüberstellung zeigt, daß die Dauer der Löscheinsätze trotz gleicher Versuchsdurchführung unterschiedlich lang verlief, was auch an der Löschwassermenge deutlich zu erkennen ist.

Die verwendeten Löschwassermengen waren im Mittel sowohl bei

Verwendung des Sprinklers Typ B, wie in /4/ bereits erwähnt, als auch bei Verwendung des Sprinklers Typ C etwas höher, wenn 5 Kartons in einer Gitterbox gestapelt, angezündet und abgelöscht wurden als bei einer Lagerung von 3 Kartons in einer Gitterbox. Werden statt 4 Gitterboxen nur 3 Gitterboxen übereinander gelagert, d. h. der Abstand Lagergut zum Sprinkler größer wird und die Brandlast geringer, so läßt sich ein Absinken der benötigten Löschwassermenge, wie dies beim Einsatz des Sprinklers Typ B in /4/ festgestellt wurde, jetzt beim Sprinkler Typ C nicht feststellen.

Es zeigte sich aber auch, daß, wie bereits erwähnt, bei 3 Versuchen mit 3 Gitterboxen und bei einem mit 4 Gitterboxen das Sprinklerglasfäßchen nicht zerplatzte, da die Temperatur am Sprinkler nicht ausreichte, so daß kein Löscheinsatz erfolgte und somit der gesamte Stapel abbrannte. Einerseits bedeutet dies, daß die Sprinkler nicht in einem allzu großen Abstand von der obersten Lage des Stapels installiert werden sollten, um ein Nichtauslösen auszuschließen und andererseits sollten evtl. Auslöselemente eingesetzt werden, die ein schnelleres Ansprechverhalten besitzen, d. h. einen kleineren RTI-Wert, wie dies bereits aus der Literatur zu ersehen ist /3/. In dieser Richtung ist die Entwicklung der Sprinkler bereits fortgeschritten.

Wie bei den Sprinklern Typ A und Typ B, wie sie in /4/ verwendet wurden, wurden auch beim Einsatz des Sprinklers Typ C beim Löscheinsatz unterschiedlich hohe Wassermengen benötigt. In Tabelle 7 sind alle Werte nochmals einander gegenübergestellt. Neben der Kennzeichnung des Sprinklers, der Lagerstapel und der Zündstelle sind die insgesamt eingesetzten Löschwassermengen und die Wassermengen in den Auffangwannen angegeben.

Mit dem Sprinkler Typ A wurde nochmals zusätzlich ein Versuch mit Polystyrol durchgeführt. Dabei ist die eingesetzte Wassermenge ebenso in der gleichen Größenordnung wie bei den in /4/ durchgeführten Versuchen mit Holzwolle. Bei den Versuchen mit dem

Sprinkler Typ B wurden beim Löscheinsatz unterschiedliche Wassermengen benötigt, was nicht mit der Lagerhöhe, den Lagermaterialien und der Zündstelle in Zusammenhang zu bringen ist. Weitere Einzelheiten wurden bereits in /4/ erwähnt.

Es kann weiterhin festgestellt werden, daß mit Zunahme der gesamten Löschwassermenge der prozentuale Anteil der in den Wannen aufgefangenen Wassermenge abnimmt. Dies bedeutet, daß prozentual mehr Wasser im Brandgut verbleibt und/oder verdampft, da der nach außerhalb gelangende Anteil praktisch gleich bleibt. Beim Einsatz des Sprinklers Typ C ist vor allem festzustellen, daß der Löschwasserverbrauch im Mittel, verglichen mit dem Sprinkler Typ B, etwa gleich geblieben ist, aber der prozentual in den Wannen aufgefangene Anteil wesentlich abgenommen hat. Es wurden nur noch ca. 50% Wasser aufgefangen, die andere Hälfte ging nach außerhalb und/oder verdampfte. Diese Tendenz machte sich bereits bei den Kaltversuchen bemerkbar, bei denen ebenfalls bei Versuchen mit dem Sprinkler Typ C auf der vorgegebenen Fläche wesentlich weniger Wasser in den Wannen aufgefangen wurde /4/.

Da sich der Brand trotz gleichen Versuchsaufbaus immer etwas anders entwickelt, wird auch eine Auslösung der Sprinkler immer zu unterschiedlichen Zeitpunkten und voraussichtlich bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen, je nachdem, ob die Flammen den Sprinkler direkt erfassen oder heiße Brandgase das Auslöseelement des Sprinklers ansprechen lassen.

Außerdem ist es immer sehr schwierig zu beurteilen, ob der Brand gelöscht ist, da aufgrund der Rauchentwicklung und des Wassernebels die Sicht sehr erschwert wird. Die erforderliche Löschwassermenge kann daher durch früheres oder späteres Abstellen der Wasserzufuhr zusätzlich differieren. In der Praxis hat dies z. B. einen mehr oder weniger großen Wasserschaden zur Folge. Da bei diesen Untersuchungen die Löschwassermengen stark differieren, ist es nicht möglich, einen Sprinklertyp als besser oder schlechter zu bezeichnen.

Tabelle 8 zeigt die Anzahl der Kartons in jedem der 4 Lagerstapel, die ganz (mehr als 50 %) oder nur teilweise (bis ca. 50 %) verbrannt waren. Zusätzlich wurde die Anzahl der durch den Sprinklereinsatz nur feucht gewordenen Kartons angegeben.

Die auf der Seite vorne links gezündeten Lagerstapel weisen, wie bereits in /4/ erwähnt, im Stapel Nr.1 die meisten verbrannten Kartons auf. Dies ist ganz unabhängig von der Anzahl der Kartons im Stapel, der Füllung der Kartons und des Einsatzes unterschiedlicher Sprinkler. Weiterhin ist zu erkennen, daß sich der Brand bis zum Löscheinsatz entweder auf den Stapel Nr.1 beschränkt oder sich auf den Stapel Nr.3 ausbreitet. Trotz des gleichen Abstandes von 0,20 m zum Stapel Nr.2 greift der Brand nur wenig auf diesen Stapel über. Der Stapel Nr.4 wird durch die Flammen oft nicht erreicht, so daß hier die Kartons nur leicht angebrannt waren oder lediglich beim Löscheinsatz durchfeuchtet wurden.

Wurde bei den Brand- und Löschversuchen vorne in der Mitte gezündet, so breitete sich der Brand hauptsächlich auf die beiden vorderen Stapel Nr.1 und Nr.2 aus, während die beiden hinteren Stapel bis zum Löscheinsatz in den meisten Fällen weniger vom Brand erfaßt wurden und beim Löscheinsatz durchfeuchtet wurden. Dies gilt ebenfalls unabhängig davon, wieviele Kartons mit welcher Füllung in den Gitterboxen vorhanden waren. Wie die Untersuchungen zeigten, sind die Abstände zwischen den einzelnen Stapeln für den Übergriff der Flammen von großer Bedeutung, so daß auch in dieser Richtung weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Erste Ergebnisse über die Brandausbreitung bei verschiedenen Abständen sind in /5/ aufgeführt.

3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung

Bei den Brand- und Löschversuchen mit dem Sprinkler Typ C wurden ebenso wie bei den Untersuchungen zur Messung der Wasserbeaufschlagung mit den Sprinklern Typ A und Typ B in /4/ die Wasser-

mengen unterhalb der Waage für die Dauer des Löscheinsatzes gemessen und in den Bildern 9 und 10 festgehalten. Die einzelnen Bilder zeigen die jeweilige Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius für unterschiedliche Brandlasten und Zündstellen. Der Radius wurde aus Mittelwerten der Wasserbeaufschlagung für die auf dem gleichen Radius um den Mittelpunkt liegenden Auffangwannen ermittelt. Es wurden immer gleichartige Versuche in einem Bild eingetragen, so daß trotz unterschiedlicher Löschdauer ein gewisser Vergleich möglich ist. Die Löschdauer wurde in jedem Bild an der entsprechenden Kurve angegeben.

Werden in den Gitterboxen 5 oder 3 Kartons gelagert und die Stapelhöhe von 4 befüllten Gitterboxen auf 3 geändert, so schneiden sich die Kurven zwischen einem Radius von 1,20 m und 1,80 m, unabhängig davon, ob der Karton Holzwolle oder Polystyrolpartikelschaumwürfel beinhaltet und an der Stelle vorne links oder vorne in der Mitte gezündet wurde. Bei kleineren und größeren Radien weichen die Kurven etwas voneinander ab, was bei Verwendung des Sprinklers Typ B in /4/ nicht festgestellt werden konnte. Dort lagen die Kurven dicht beieinander. Bei einigen Versuchen hier erfolgte kein Löscheinsatz (kL), was der Vollständigkeit halber in den Bildern mit erwähnt ist. Die weitere Kennzeichnung in den Bildern wurde bereits vorn erklärt.

Die Auffangwannen waren nach dem Sprinklereinsatz mit den in einer Höhe von 3,5 m installierten Sprinkler in den meisten Fällen nicht gefüllt bzw. übergelaufen. War sie gefüllt, so entspricht der in den Bildern 9 und 10 angegebene Kurvenverlauf nicht mehr der tatsächlich eingesetzten Wassermenge. Die Wasserbeaufschlagung wird ab diesem Zeitpunkt, der bei einer Löschzeit von ca. 11 min liegt, immer geringer. Dies bedeutet, daß in Bild 9 oben rechts und unten links je eine Kurve im Grenzbereich liegt und oben links und unten rechts jeweils die Kurve mit der längeren Löschzeit steiler verlaufen würde. Auf diese Problematik wurde bereits in /4/ hingewiesen, jedoch die Wannenhöhe beibehalten, da hierdurch keine weiteren Nachteile entstanden.

Die Löschdauer war bei 5 Kartons und dem Stoßschutzmaterial Holzwolle wesentlich kürzer, wenn nur 3 befüllte Gitterboxen statt 4 übereinander lagerten. Wurde das Stoßschutzmaterial Polystyrolpartikelschaum verwendet, war im Gegensatz dazu bei 3 befüllten Gitterboxen die Löschdauer wesentlich länger. Jedoch lagen bei kleineren Radien bis zum erwähnten Schnittpunkt die Kurven der Wasserbeaufschlagung bei den Versuchen mit 4 befüllten Gitterboxen immer über denjenigen mit 3 befüllten Gitterboxen bzw. nach dem Schnittpunkt darunter oder zumindest auf gleicher Höhe. Dies bedeutet, daß bei Holzwolle als Stoßschutzmaterial in den Kartons mehr Wasser in der Mitte der Wannenfläche aufgefangen wurde und bei einem größeren Radius weniger, wenn 4 Gitterboxen befüllt waren und bei Polystyrol, wenn 3 Gitterboxen befüllt waren. Dies ist unabhängig davon, ob 5 Kartons in einer Gitterbox gelagert waren und an welcher Stelle gezündet wurde. Da Sprinkler in den meisten Fällen nicht weiter als 3 m auseinander angeordnet werden, können diese Untersuchungen für ähnliche Konfigurationen herangezogen werden.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Lagerbereich ist es aufgrund der zunehmenden Wertekonzentration und der Verwendung von Stoffen mit hohem Brandrisiko erforderlich, eine ortsfeste Löschanlage zu installieren, um im Falle eines Schadenfeuers sofort mit der Brandbekämpfung beginnen zu können, da bis zum Eintreffen der Feuerwehr oft wertvolle Zeit verstreicht.

Als wichtigstes Löschmittel wird auch heute noch in ortsfesten Löschanlagen Wasser verwendet, da es bei den meisten Bränden einsetzbar und in genügend großen Mengen vorhanden ist.

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurden Kaltversuche mit vier Sprinklern durchgeführt, um die Wasserverteilungen bzw. Wasserbeaufschlagungen mit denen mit einem Sprinkler vergleichen zu können.

Weiterhin wurden die systematischen Untersuchungen über das Brandverhalten und den Löscheinsatz an gestapelten Stoffen weitergeführt. Die Versuchsreihen umfassen Temperaturmessungen, das Ansprechverhalten von unterschiedlichen Brandmeldern, das Auslöseverhalten von Sprinklern an unterschiedlichen Stellen sowie die Wasserbeaufschlagung bei verschiedenen Lagerparametern. Der Löscheinsatz mit der ortsfesten Sprinkleranlage wurde so durchgeführt, daß bei Auslösen eines Glasfaßsprinklers die Wasserzufuhr manuell freigegeben wurde. Um einen möglichst geringen Wasserschaden zu erhalten, wurde die Wasserzufuhr unterbrochen, wenn der Brand gelöscht war. Mittels Wannen unterhalb der Lageranordnung konnte der aufgefangene Wasseranteil ermittelt werden.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Teil 1: Literaturlauswertung und Errichtung
der Versuchsanlage
Forschungsbericht Nr. 53 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1985)
- /2/ Schatz, H. Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Kunkelmann, J.: Teil 2: Literaturübersicht und Berechnungs-
grundlagen für die Wärmeübertragung
bei Tropfen in einer Heißgasströmung.
Forschungsbericht Nr. 54 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1985)
- /3/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Teil 3: Entwicklung und Einsatz von
Sprinklern.
Forschungsbericht Nr. 57 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1986)
- /4/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Teil 4: Löschversuche mit Sprinklern 1
Forschungsbericht Nr. 62 der Arbeitsgemein-

schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.

Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1987)

/5/ Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen,
die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.
Teil 4: Großbrandversuche 3

Forschungsbericht Nr. 65 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.

Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1988)

Tabelle 1. In den Wannen aufgefangener Wasseranteil bei
4 Sprinklern im Abstand von 3 m zueinander.

Sprinkler	Höhe	Volumenstrom	
		60 l/min	120 l/min
		Wasseranteil	
Typ	m	%	%
A	1,5	52	53
	3,0	45	43
	4,5	40	45
B	1,5	52	54
	3,0	45	45
	4,5	41	43
C	1,5	43	40
	3,0	32	32
	4,5	32	35

Tabelle 2. Ansprechzeiten der Brandmelder.

Stelle	a	b	c	d	e	f	
Brandlast/ Zündstelle	Ion. Melder gepulst min:s	Ion. Melder min:s	opt. Melder gepulst min:s	opt. Melder min:s	opt. Melder min:s	opt. Melder min:s	aus Brandnähe entfernt min:s
HW5/VL/4	1:36	2:31	2:31	2:31	2:31	1:31	2:45
HW5/VL/3	2:31	2:31	2:31	4:12	2:31	2:31	4:30
PS5/VL/4	-	0:50 *	-	-	-	-	0:55
PS5/VL/3	1:16	1:31	1:36	1:41	1:36	1:41	2:10
HW3/VL/4	2:11	2:11	3:17	2:11	2:16	2:06	4:45
HW3/VL/3	1:46	2:01	1:56	2:01	2:01	2:01	2:45
PS3/VL/4	1:16	1:01	2:36	2:31	2:26	1:36	3:30
PS3/VL/3	0:45	0:45	1:46	2:21	1:21	1:16	1:45
HW5/VM/4	0:20	0:25	1:36	1:51	1:41	1:36	2:30
HW5/VM/3	0:30	0:25	1:11	1:16	1:16	1:16	1:45
PS5/VM/4	-	0:16 *	-	-	-	-	0:20
PS5/VM/3	0:25	0:20	1:06	1:31	1:11	1:16	2:10
HW3/VM/4	0:30	0:35	1:36	1:46	1:36	1:31	4:15
HW3/VM/3	0:45	1:01	1:31	2:01	1:36	1:41	2:30
PS3/VM/4	-	0:13 *	-	-	-	-	0:15
PS3/VM/3	0:25	0:25	0:56	1:31	1:16	1:16	2:00
PS3/VL/4 1)	-	0:36 *	-	-	-	-	0:40
PS6/VL/4 1)	0:50	1:01	3:42	3:07	3:07	1:46	4:50
PS3/VM/4 2)	0:30	0:35	1:21	1:26	1:26	1:21	2:15

* nur Ionisationsmelder eingesetzt

1) 140 l/min

2) Typ A

Tabelle 3. Auslösen von Sprinklern über 2 Lageratrappen aus einlagiger Wellpappe mit je ca. 2 m² Fläche.

Abstand der Atrappen m	Sprinkler			
	Höhe 3,5 m		Höhe 5,5 m	
	Zeit min:s	Temp. °C	Zeit min:s	Temp. °C
0,05	2:16	352	-	-
0,05	1:48	666	-	-
0,15	4:10	220	4:45	356
0,20	6:39	305	-	-
0,20	2:40	211	-	-
0,20	4:54	106	-	-
0,25	10:06	255	-	-
0,25	7:36	342	-	-
0,25	4:50	211	-	-
0,30	6:09	287	-	-
0,30	2:40	320	-	-
0,35	-	-	-	-
0,40	9:07	320	-	-

- nicht ausgelöst

Tabelle 4. Auslösen von Sprinklern über 2 Lagersäulen aus je 16 Kartons mit ca. 3,2 m² Fläche.

Abstand der Säulen m	Sprinkler			
	Höhe 3,5 m		Höhe 5,5 m	
	Zeit	Temp.	Zeit	Temp.
	min:s	°C	min:s	°C
0,40	1:16	667	1:29	259
0,50	2:16	193	2:32	320
0,60	2:23	104	3:13	255
0,70	3:02	115	3:22	126
0,80	3:28	615	3:32	463
0,90	3:48	386	3:32	104

Tabelle 5. Zerplatzen der Sprinklerglasfäßchen.

Stelle	1		2		3		
	Brandlast/ Zündstelle	min:s	°C	min:s	°C	min:s	°C
HW5/VL/4		2:13	359	9:06	90	=	=
HW5/VL/3		4:56	104	=	=	=	=
PS5/VL/4		3:30		-	-	-	-
PS5/VL/3		3:00	136	=	=	=	=
HW3/VL/4		6:33	337	=	=	16:40	119
HW3/VL/3		7:58	117	=	=	=	=
PS3/VL/4		5:50	188	=	=	=	=
PS3/VL/3		4:17	90	=	=	=	=
HW5/VM/4		6:50	698	4:43	258	7:00	178
HW5/VM/3		7:27	184	4:14	269	7:03	140
PS5/VM/4		6:45	125	-	-	7:45	398
PS5/VM/3		8:47	204	8:10	182	8:20	219
HW3/VM/4		9:45	266	10:10	85	8:50	191
HW3/VM/3		16:04	93	=	=	=	=
PS3/VM/4		8:34	225	8:45	140	8:56	206
PS3/VM/3		-	-	=	=	7:55	122
PS3/VL/4	1)	5:45	198	-	-	=	=
PS6/VL/4	1)	4:25	393	8:08	182	=	=
PS3/VM/4	2)	=	=	=	=	8:25	247

- nicht vorhanden (nicht angeschlossen oder defekt)

= nicht ausgelöst

1) 140 l/min

2) Typ A

Tabelle 5. Zerplatzen der Sprinklerglasfäßchen (Fortsetzung).

Stelle	4		5		6	
	Löschbeginn					
Brandlast/ Zündstelle	min:s	°C	min:s	°C	min:s	°C
HW5/VL/4	7:42	261	12:34	93	=	=
HW5/VL/3	9:08	269	17:40	117	=	=
PS5/VL/4	6:05	-	8:20	-	=	=
PS5/VL/3	7:37	367	10:15	137	=	=
HW3/VL/4	7:28	164	=	=	16:23	-
HW3/VL/3	8:25	163	=	=	=	=
PS3/VL/4	5:15	182	8:15	131	=	=
PS3/VL/3	-	-	8:46	124	-	-
HW5/VM/4	12:05	307	12:23	152	11:18	189
HW5/VM/3	=	=	12:23	112	11:23	122
PS5/VM/4	8:50	126	8:45	269	=	=
PS5/VM/3	11:11	268	11:43 *	-	11:25	171
HW3/VM/4	9:58	165	10:58	104	9:29	137
HW3/VM/3	13:37	120	-	-	10:55	-
PS3/VM/4	8:52	517	8:58	174	8:55	287
PS3/VM/3	-	-	=	=	-	-
PS3/VL/4 1)	5:50	164	8:09	167	=	=
PS6/VL/4 1)	8:26	172	11:00	-	=	=
PS3/VM/4 2)	8:41	154	9:24	176	7:54	80

- nicht vorhanden

= nicht ausgelöst

* Sprinkler versehentlich ausgelöst

1) 140 l/min

2) Typ A

Tabelle 6. Aufgefangene Wassermengen in Abhängigkeit von der Brandlast.

Sprinkler	HW		PS		Zündung		Wasser insges. l	Wasser Wannen l	Wasser Wannen %	
	3	5	3	5	VL	VM				
Typ C		x				x	1185	580	49	
"		o				o	920	440	48	
"	x					x	Glasfaß	nicht geplatzt		
"	o					o	Glasfaß	nicht geplatzt		
"				x		x	740	401	54	
"				o		o	1070	549	51	
"				x		x	680	337	50	
"				o		o	745	370	50	
"		x					x	1025	441	43
"		o					o	870	402	46
"	x						x	620	277	45
"	o						o	Glasfaß	nicht geplatzt	
"				x		x	770	386	50	
"				o		o	1385 *	663	48	
"				x		x	620	335	54	
"				o		o	Glasfaß	nicht geplatzt		
" 1)				x		x	590	301	51	
" 1)				6		x	1445	684	47	
Typ A				x			x	870	557	64

x 4 Gitterboxen übereinander beladen

o 3 Gitterboxen übereinander beladen

* Glasfaß nicht geplatzt, Sprinkler versehentlich ausgelöst

1) 140 l/min

Tabelle 7. Gegenüberstellung der Wassermenge für die Sprinkler Typ A, Typ B, Typ C.

Sprinkler Brandlast/ Zündstelle	Typ A		Typ B		Typ C	
	l	%	l	%	l	%
HW5/VL/4			1370	53	1185	49
			1180	54		
/3			x 580	71		
			x 605	70	920	48
HW3/VL/4	995	62	610	80	-	-
	900	72	400	70		
			310	67		
			x -	-		
/3			x -	-	-	-
PS5/VL/4			1045	64	740	55
			640	72		
			x 845	65		
/3			x 550	68	1070	51
PS3/VL/4			630	74 1)	590	51
			320	75	680	50
			x 665	71		
/3			x 170	82	745	50

HW5/VM/4			1210	58	1025	43
			560	74		
			x 1275	55		
/3			710	73	870	46
HW3/VM/4	715	73	820	78	620	45
			755	72		
			x 795	70		
			x 840	70	-	-
PS5/VM/4			1570	55	770	50
			850	57		
			x 1140	55		
/3			x 990	66	1385 *	48
PS3/VM/4	870	64	595	80 2)	620	54
			390	77		
			x 400	74		
/3			x 745	71	-	-

PS6/VL/4			1445	47 1)		

x mit Dach

* Sprinkler versehentlich ausgelöst, Glasfaß nicht geplatzt

1) 140 l/min

2) Typ A

Tabelle 8. Anzahl der verbrannten, angebrannten und durchfeuchteten Wellpappkartons in Abhängigkeit des Sprinklers, der Brandlast und der Zündstelle.

Typ C

Brandlast/ Zündstelle	verbrannt				angebrannt an der Stelle				feucht			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	HW5/VL/4	20	0	17	0	0	6	3	0	0	14	0
HW5/VL/3	15	8	13	0	0	1	2	0	0	6	0	15
HW5/VM/4	18	18	4	8	2	2	16	8	0	0	0	4
HW5/VM/3	15	15	0	0	0	0	12	12	0	0	3	3
HW3/VL/4	12	6	12	6	0	0	0	0	0	6	0	6
HW3/VL/3	9	0	6	0	0	0	0	0	0	9	3	9
HW3/VM/4	12	12	9	9	0	0	0	0	0	0	3	3
HW3/VM/3	12	6	12	4	0	0	0	2	0	6	0	6
PS5/VL/4	20	0	14	0	0	6	6	0	0	14	0	20
PS5/VL/3	15	5	15	1	0	1	0	4	0	9	0	10
PS5/VM/4	19	18	9	6	1	2	11	5	0	0	0	9
PS5/VM/3	15	15	7	4	0	0	6	11	0	0	2	0
PS3/VL/4	12	1	12	0	0	3	0	3	0	8	0	9
PS3/VL/3	9	5	9	2	0	2	0	2	0	2	0	5
PS3/VM/4	12	10	6	0	0	2	6	10	0	0	0	2
PS3/VM/3	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
PS3/VL/4 1)	12	0	12	0	0	4	0	4	0	8	0	8
PS6/VL/4 1)	24	2	12	0	0	7	12	5	0	15	0	19
PS3/VM/4 2)	7	12	3	9	2	0	6	2	3	0	3	1

1) 140 l/min

2) Typ A

- a Ionisations-Rauchmelder, gepulst
- b Ionisations-Rauchmelder
- c Optischer Rauchmelder, gepulst
- d Optischer Rauchmelder
- e Optischer Rauchmelder
- f Optischer Rauchmelder

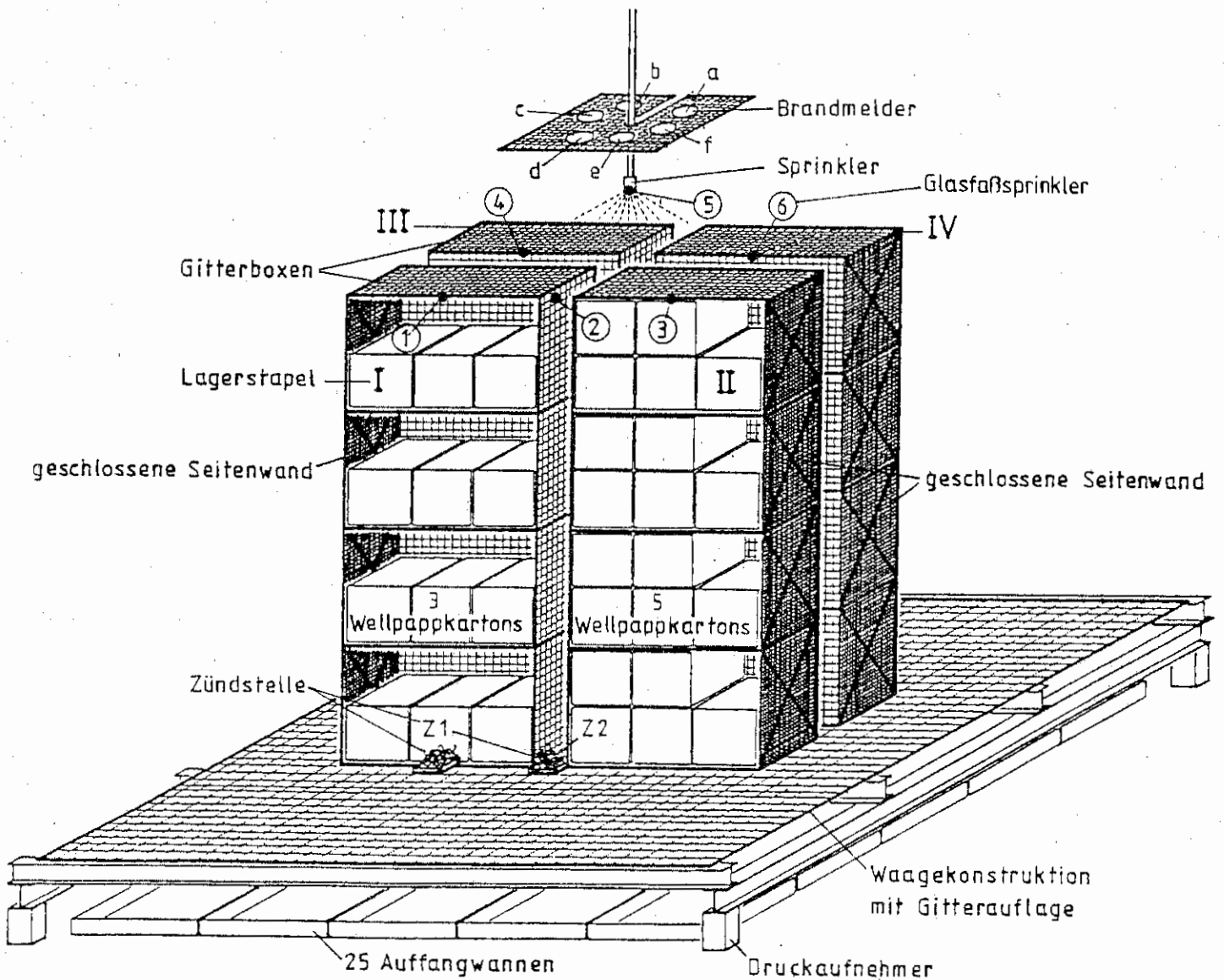
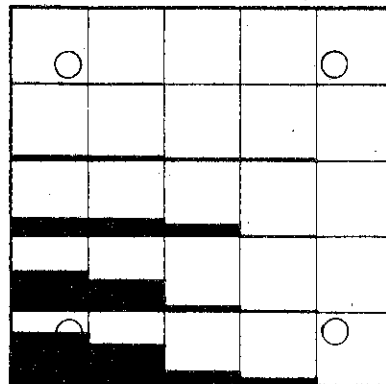
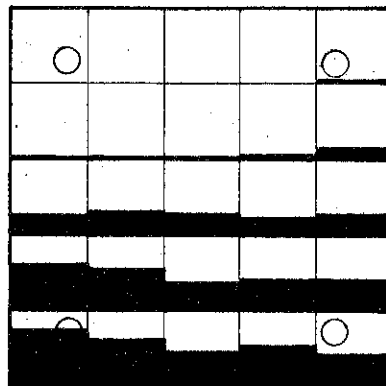


Bild 1. Schema des Versuchsaufbaus.

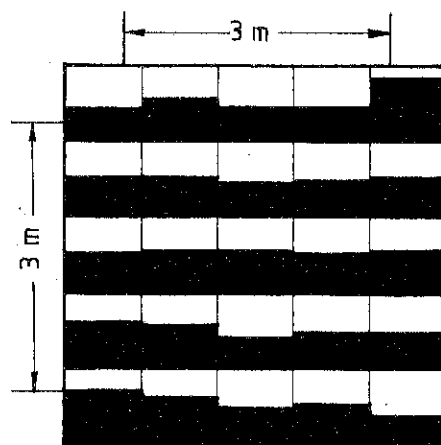
120 l/min



1 Sprinkler



2 Sprinkler

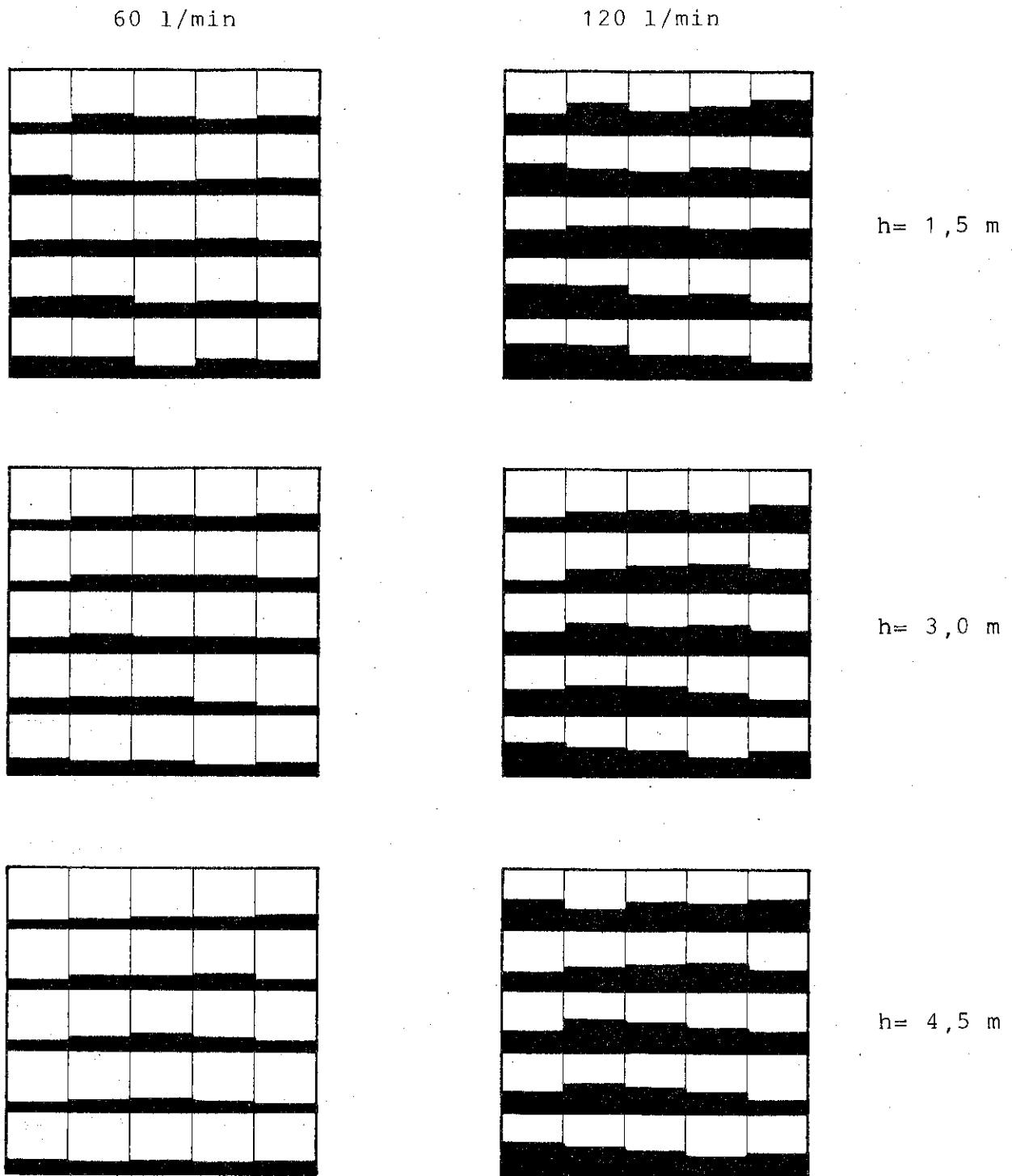


4 Sprinkler

I 15mm /min

Sprinkler Typ A

Bild 2. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m^2 aus einer Höhe von $1,5 \text{ m}$ bei einem, zwei und vier Sprinklern.

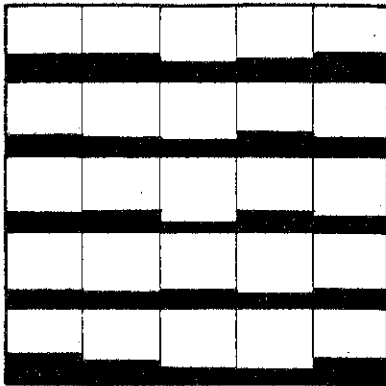


I 15 mm/min

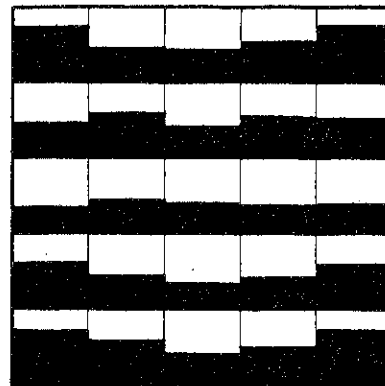
Sprinkler Typ A

Bild 3. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche und des Volumenstromes bei 4 Sprinklern.

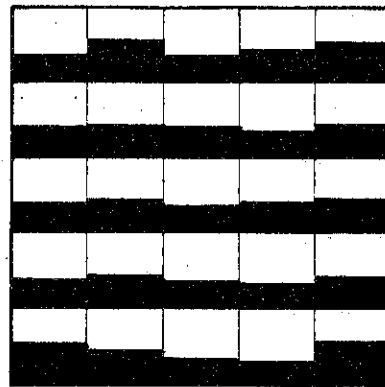
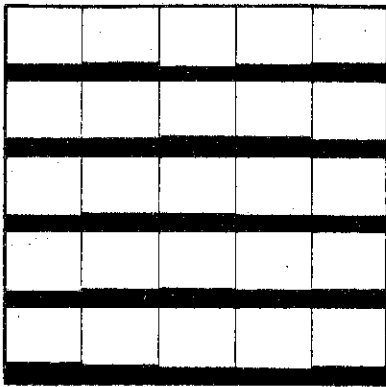
60 l/min



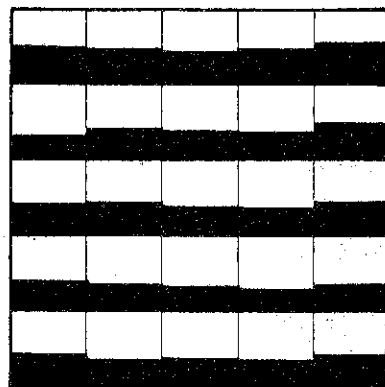
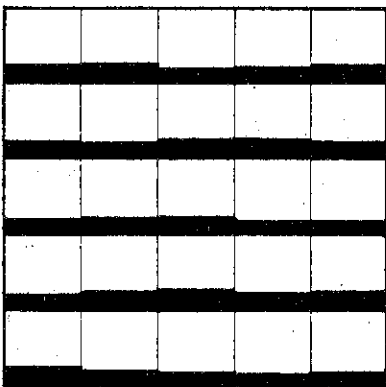
120 l/min



h= 1,5 m



h= 3,0 m

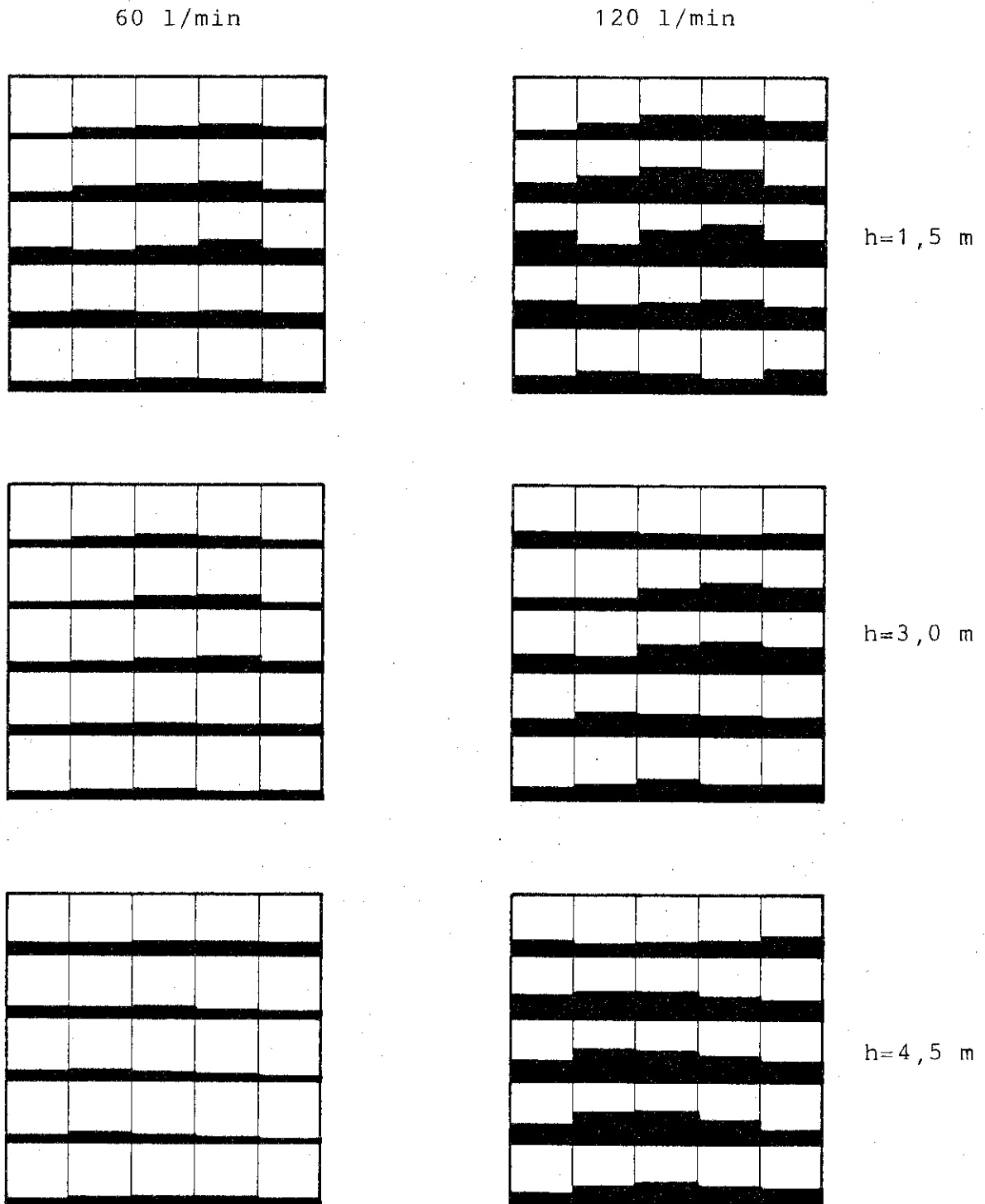


h= 4,5 m

I 15mm/min

Sprinkler Typ B

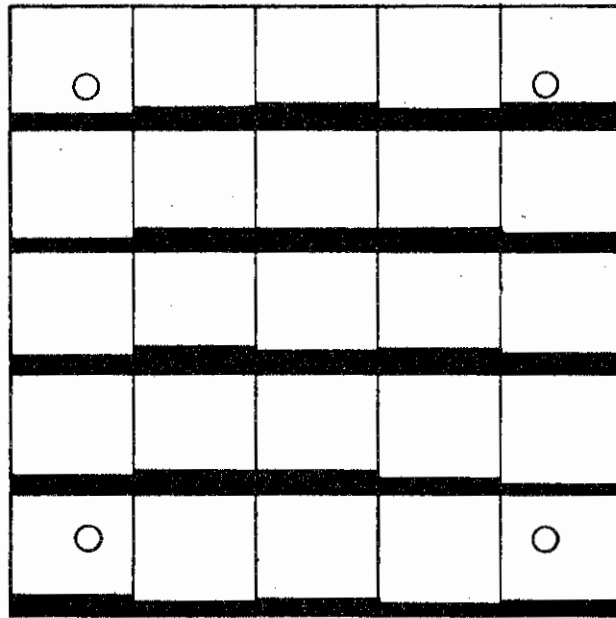
Bild 4. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche und des Volumenstromes bei 4 Sprinklern.



I 15mm/min

Sprinkler Typ C

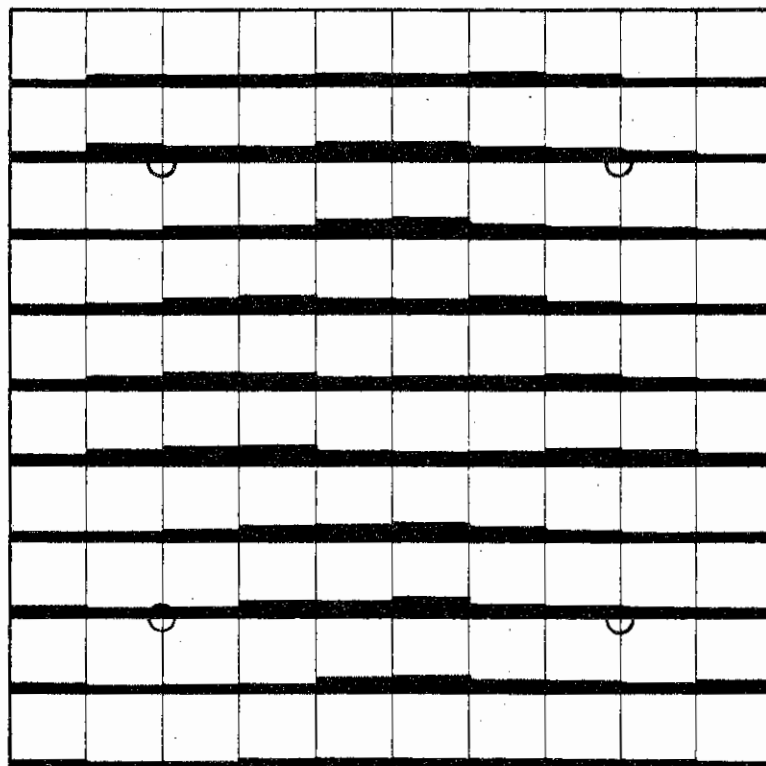
Bild 5. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche und des Volumenstromes bei 4 Sprinklern.



60 l/min

Sprinkler Typ A

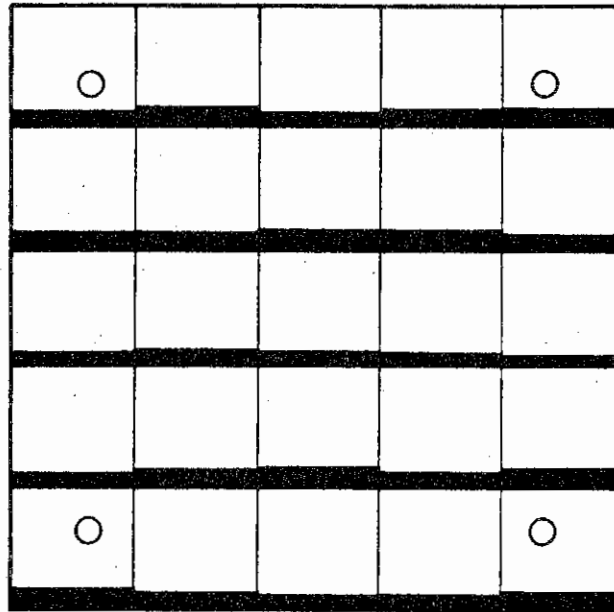
4 Sprinkler



h=2,5 m

I 15 mm/min

Bild 6. Wasserbeaufschlagung bzw. Wasserverteilung auf unterschiedlich großen Flächen.

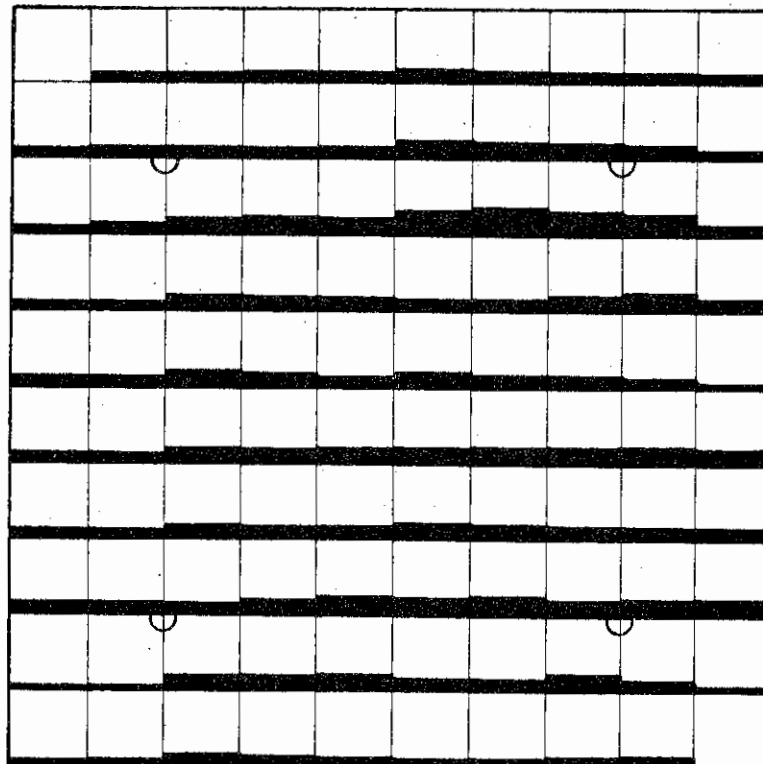


$h=3,0$ m

60 l/min

Sprinkler Typ B

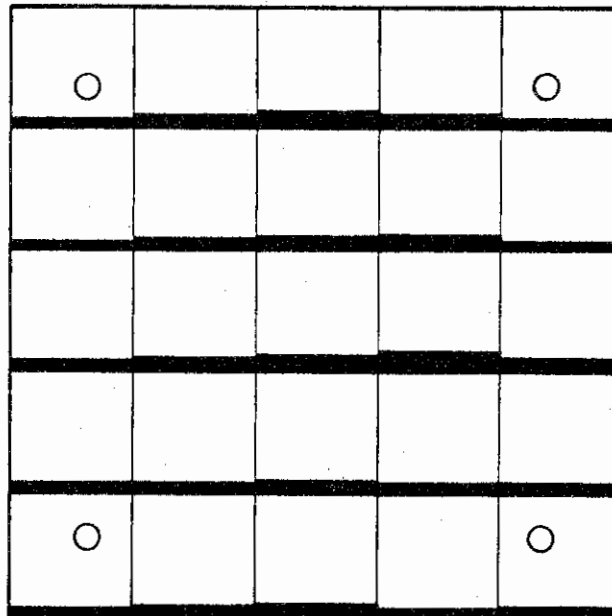
4 Sprinkler



$h=2,5$ m

I 15 mm/min

Bild 7. Wasserbeaufschlagung bzw. Wasserverteilung auf unterschiedlich großen Flächen.

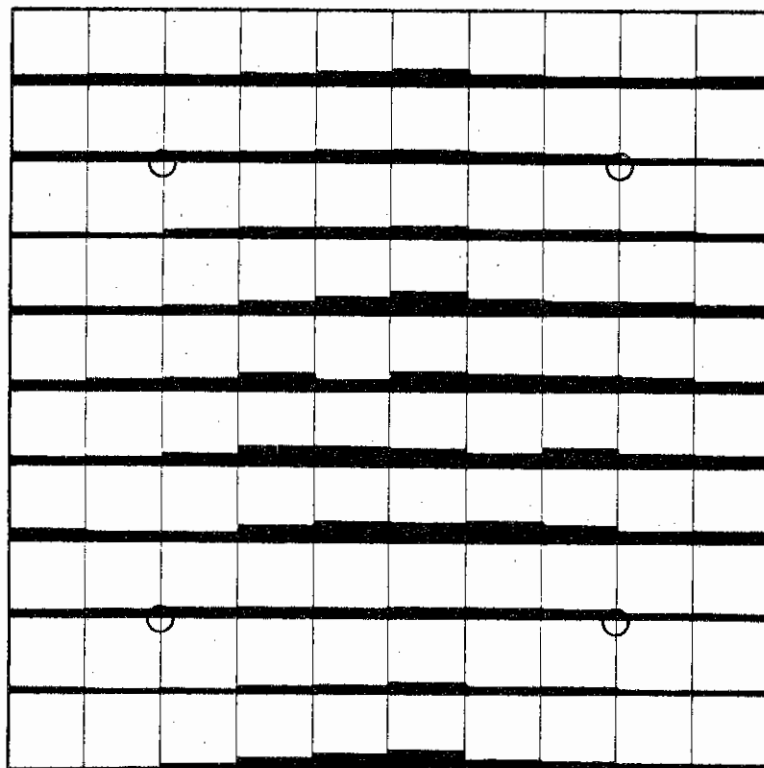


$h=3,0$ m

60 l/min

Sprinkler Typ C

4 Sprinkler



$h=2,5$ m

15 mm/min

Bild 8. Wasserbeaufschlagung bzw. Wasserverteilung auf unterschiedlich großen Flächen.

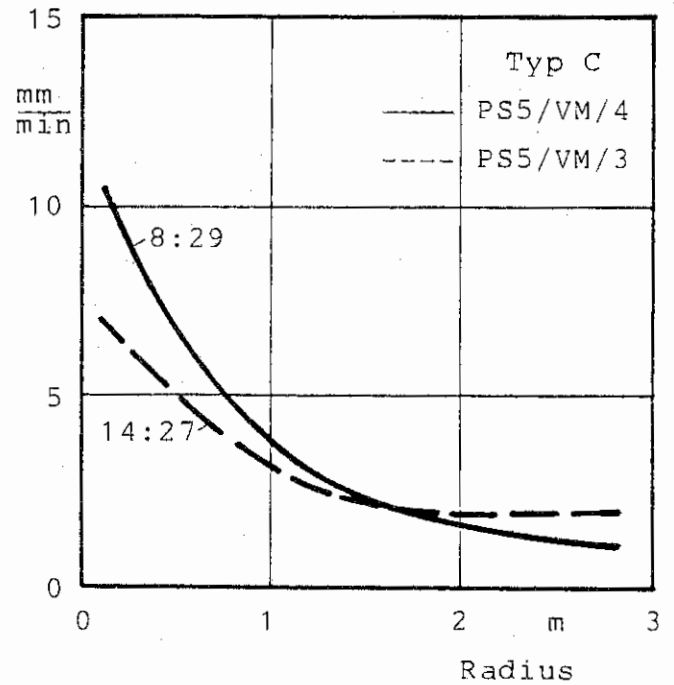
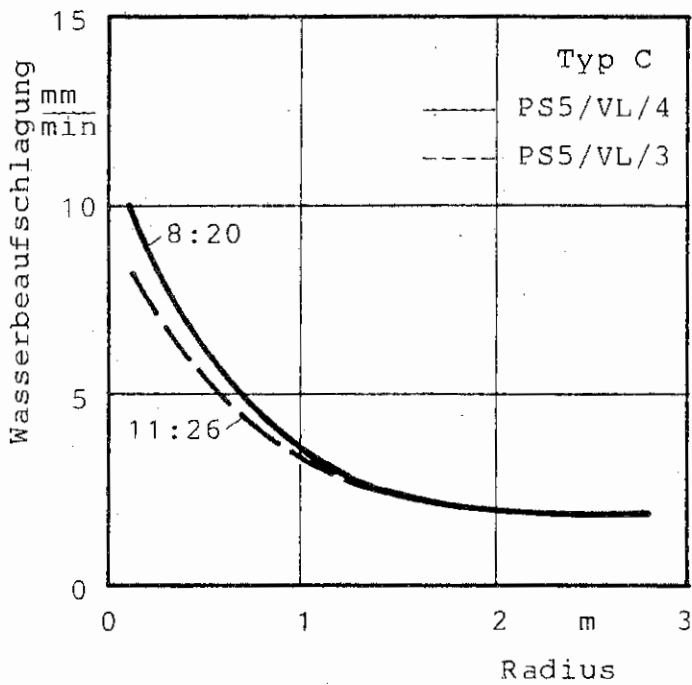
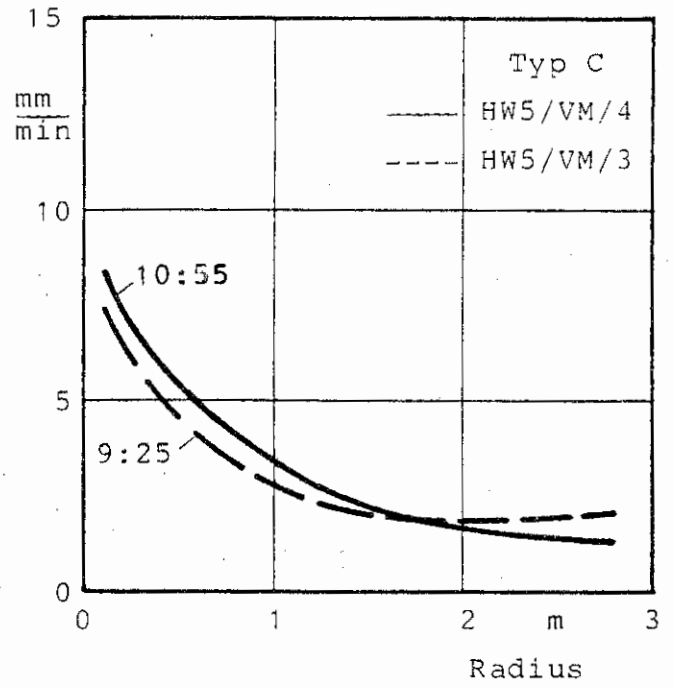
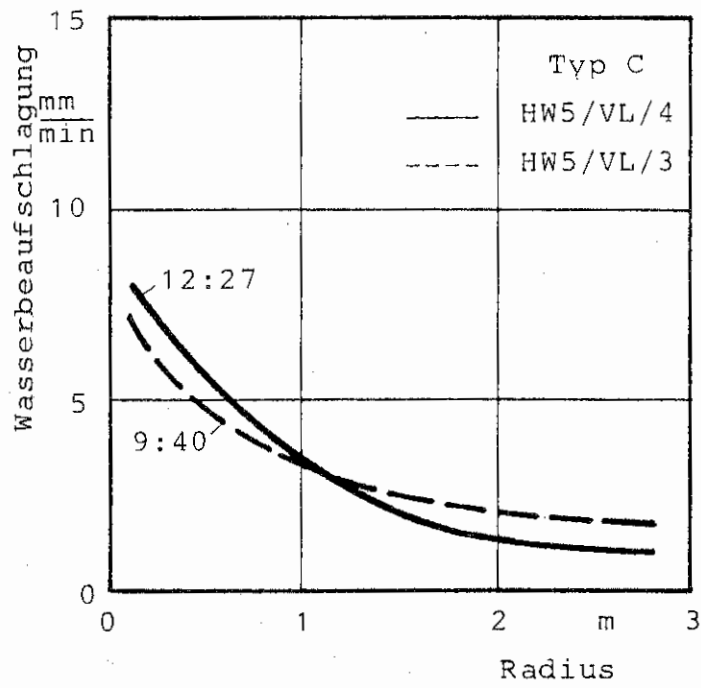


Bild 9. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei unterschiedlichen Brandlasten und Zündstellen.

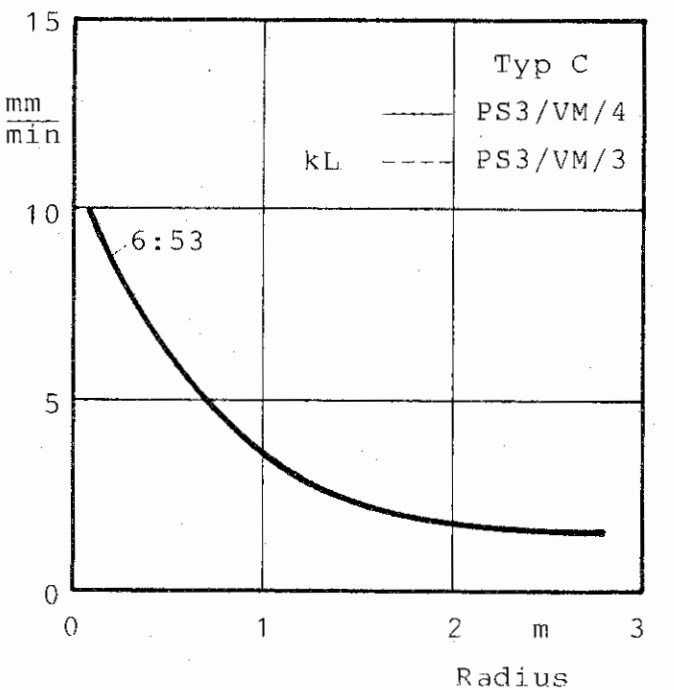
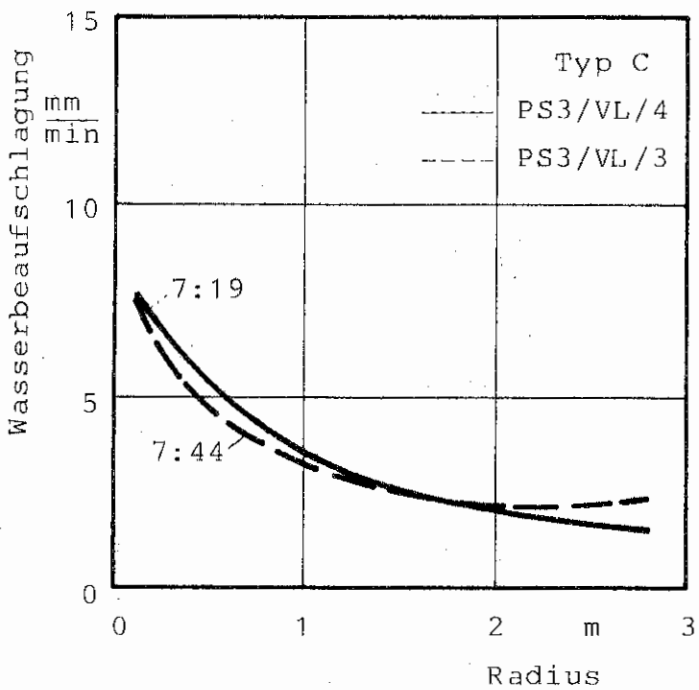
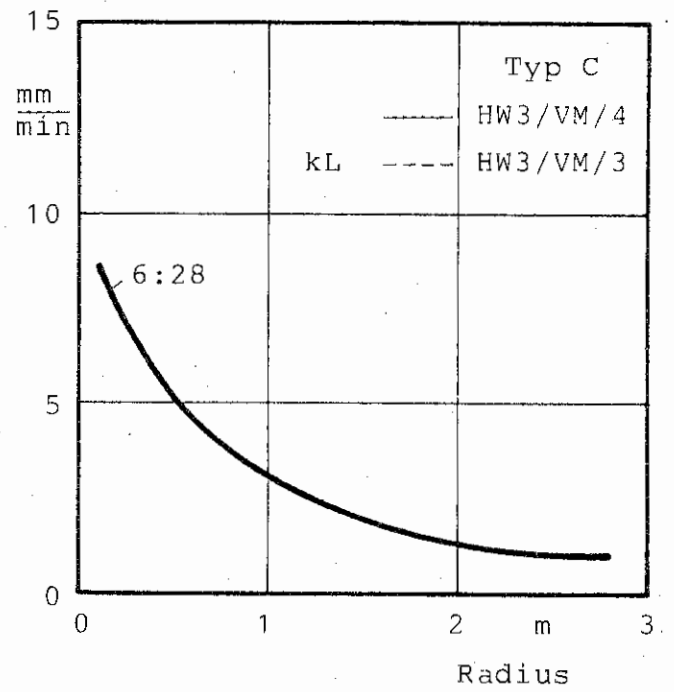
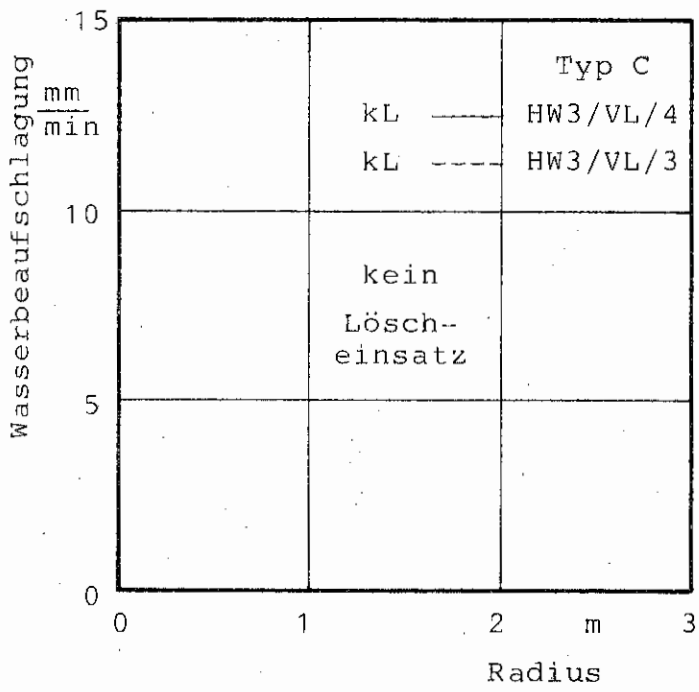


Bild 10. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei unterschiedlichen Brandlasten und Zündstellen.