

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil 4: Löschversuche mit Sprinklern 1

62

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

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

Forschungsbericht Nr.62

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 4: Löschversuche mit Sprinklern 1

von
Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
November 1987

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG	2
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	5
3.1 Wasserbeaufschlagung ohne Brandeinwirkung	5
3.2 Brandmelder	12
3.3 Sprinkler	14
3.4 Brand- und Löschversuche	16
3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung	19
4. ZUSAMMENFASSUNG	22
5. LITERATURVERZEICHNIS	23
6. TABELLEN UND BILDER	23

1. EINLEITUNG

Die Lagerung von brennbaren Stoffen schafft Brandrisiken, die im Falle eines Brandes den Einsatz von Löschkraften erschweren können. Hierbei kommt es vor allem auf die Zusammensetzung der gelagerten Stoffe und deren Anordnung zueinander an.

Der Einsatz einer ortsfesten Löschanlage wird ebenfalls von diesen Einflüssen bestimmt. Bei einer ordnungsgemäßen Installation einer derartigen Anlage besteht der Unterschied zum Feuerwehreinsatz darin, daß dieser erst nach der Alarmierung und dem Anrücken erfolgen kann, während bei einer ortsfesten Löschanlage Wert darauf gelegt wird, daß sie nach dem Detektieren ohne wesentliche Zeitverzögerung, d.h. bereits bei einem Brand im Entstehungsstadium, eingesetzt werden kann.

Der Löscherfolg hängt nicht nur vom schnellen Einsatz der Löschanlage sondern auch maßgebend vom Lagergut selbst ab, das in den verschiedensten Arten in großen Lagerhallen aufbewahrt wird, sei es in Blocklagern, Palettenlagern, Regallagern, Hochregallagern oder auch in nebeneinander angeordneter Lagerung verschiedenartiger Lagergüter.

Im Rahmen eines längerfristigen Forschungsvorhabens werden Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, weitere Erkenntnisse beim Löscheininsatz mit Sprinklern in Lagern zu erhalten.

Der vorliegende Bericht umfaßt Untersuchungen des Einsatzes von Sprinklern. Es werden sowohl die Wasserbeaufschlagung und die Wasserverteilung als auch die Löschzeit und der Wasserverbrauch bei in Brand geratenen lagermäßig gestapelten Stoffen festgestellt. Es handelt sich dabei um Gitterboxen, die mit einer unterschiedlichen Anzahl Wellpappkartons mit verschiedenem Inhalt gefüllt wurden. Die ganze Problematik, den Versuchsaufbau den Untersuchungen anzupassen, wurde bereits in /1/ dargestellt. Dabei spielen z. B. stoffliche und geometrische Einflußgrößen sowie die Größe und Lage der Zündquelle eine entscheidende Rolle.

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 einer früheren Arbeit beschrieben wurde /2/.

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 Gitterboxen mit Inhalt geändert. 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 beim Versuchsaufbau 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 betrugen 52 cm x 38 cm x 34 cm. 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 von 3 cm bis 5 cm wurde bei einem Teil der Versuche mit Holzwohle, bei einem anderen Teil mit schwerentflammbar Polystyrolschaumwürfeln ausgefüllt, um die Unterschiede beim Brandverhalten und Löscheinsatz bei zwei der am häufigsten verwendeten Stoßschutzmittel beurteilen zu können.

Die Zündquelle bestand aus 50 g Holzwolle, die mit 100 ml Brennspritus getränkt und in einer kleinen Stahlblechwanne mit den Abmessungen 15 cm x 10 cm x 1 cm gezündet wurde. Die Zündquelle befand sich jeweils an den in Bild 1 gekennzeichneten Stellen Z1 (vorne links, VL) bzw. Z2 (vorne Mitte, VM).

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 /2/ ausführlich dargestellt wurde. Der Sprinkler befand sich bei den Warmversuchen zentral über dem Gitterboxenstapel in einer Höhe von 3,50 m bzw. bei einem Sprinkler in einer Höhe von 4 m über dem Waageboden. Bild 1 zeigt das Schema der Versuchsanlage mit den Auffangwannen unterhalb der Waagekonstruktion.

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.

Die Untersuchungen wurden mit 3 hängenden Normalsprinklern und einem stehenden Großtropfensprinkler durchgeführt. Bei den Warmversuchen kam bei den meisten Versuchen ein hängender Normalsprinkler zum Einsatz. Als Auslöseelemente wurden Glasfäßchen mit einer Auslösetemperatur von 68 °C und nur in 2 Fällen Schmelzlot mit einer Auslösetemperatur von 74 °C verwendet.

Ein Glasfaß-Sprinkler wird durch Zerstören des Glasfäßchens infolge des Überdruckes der eingeschlossenen Flüssigkeit geöffnet, während ein Schmelzlot-Sprinkler bei Wärmeeinwirkung durch Schmelzen eutektischer Lote ausgelöst wird.

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 nach dem Ansprechen oder spätestens vor dem Zerstören durch die nach oben gerichteten Flammen, mit einem Seilmechanismus weggezogen werden konnten. Bei den Brandmeldern handelte es sich um Wärmemelder (Maximal- und Differentialmelder) und um Rauchmelder (Ionisations- und optische Melder), die zum Teil gepulst waren.

Da dieses Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit dem Forschungsvorhaben "Brandausbreitung bei gelagerten Stoffen" durchgeführt wird, wurden an über 30 Meßstellen die Temperaturen gemessen, um Aussagen über die Ausbreitung des Brandes treffen zu können, was bereits in /1/ behandelt wurde und worauf hier nicht näher eingegangen werden soll. Zusätzlich wurde die Temperatur 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 auch ein Sprinkler mit Glasfaß als Auslöseelement ohne Wasseranschluß angebracht war.

Die Auslösung des Sprinklers erfolgte bei diesen Untersuchungen in den meisten Fällen dadurch, daß nach dem Platzen des direkt neben dem Sprinkler Nr.5 angebrachten Glasfäßchens 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 z. B. durch ein Glasfäßchen ausgelöst wurde.

*) Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik bedankt sich bei der Siemens AG für die Spende einer Brandmeldeeinrichtung.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

3.1 Wasserbeaufschlagung ohne Brandeinwirkung

In dem vorausgegangenen Bericht /2/ wurden bereits Untersuchungen über die Wasserbeaufschlagung auf die von den 25 Auffangwannen bedeckte Fläche beschrieben. Diese Versuchsreihe wurde hier mit anderen Sprinklertypen fortgesetzt.

Die für die Untersuchungen zur Verfügung stehende Fläche beträgt 16 m^2 und ist in einen Raster von $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ aufgeteilt. Die Bilder 2 bis 5 zeigen jeweils die Wasserbeaufschlagung in mm/min für die verschiedenen Auffangwannen. Am linken unteren Bildrand ist jeweils der Maßstab angegeben. Zusätzlich ist die jeweilige Sprinklerhöhe über den Wannen am rechten Bildrand vermerkt. Sie betragen $1,5 \text{ m}$, $3,0 \text{ m}$ und $4,5 \text{ m}$. Außerdem wurde der aus dem Sprinkler austretende Volumenstrom V_0 in l/min in jedem Bild eingetragen. Die Zeit der Sprinklerung betrug im Normalfall $3 \text{ min} / 3/$. Wenn die Auffangwannen nach dieser Zeit überliegen, wurde der betreffende Versuch mit einer entsprechend kürzeren Zeit durchgeführt.

Bild 2 zeigt die Wasserbeaufschlagung des Sprinklers Typ A aus verschiedenen Höhen. Bei einem Volumenstrom von ca. $90 \text{ l}/\text{min}$ gehen bei einer Höhe von $1,5 \text{ m}$ ca. 92% des Wassers in die Auffangwannen, bei einer Höhe von $3,0 \text{ m}$ ca. 73% und bei einer Höhe von $4,5 \text{ m}$ noch ca. 64% .

Wird der Volumenstrom auf ca. $120 \text{ l}/\text{min}$ erhöht, so treffen aus einer Höhe von $1,5 \text{ m}$ ca. 90% , aus einer Höhe von $3,0 \text{ m}$ ca. 72% und aus einer Höhe von $4,5 \text{ m}$ noch ca. 70% der ursprünglichen Wassermenge auf der vorgegebenen Fläche auf.

Bei einer weiteren Erhöhung des Volumenstromes auf ca. $140 \text{ l}/\text{min}$ gelangen bei einer Höhe von $1,5 \text{ m}$ ca. 93% , bei einer Höhe von 3 m ca. 78% und bei einer Höhe von $4,5 \text{ m}$ ca. 76% des austreten-

den Wassers in die Auffangwannen. In Tabelle 1 sind diese Werte für verschiedene Sprinklertypen aufgetragen.

Für den Sprinkler Typ A ist deutlich zu erkennen, daß die Wasserbeaufschlagung von der Mitte nach außen hin abnimmt. Sie weist bei einer Sprinklerhöhe von 1,5 m einen stärkeren Abfall auf als bei den Höhen von 3 m und 4,5 m, bei denen die Wasserverteilung gleichmäßiger wird. Eine Mindestwasserbeaufschlagung wird je nach Einstufung der Brandgefahr nur für einen Teil der hier vorgegebenen Schutzfläche erreicht.

Bild 3 zeigt die Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ B. Bei einem Volumenstrom von 90 l/min und einer Höhe des Sprinklers von 1,5 m gelangen 100 % des beaufschlagten Wassers in die Wannen, während bei einer Höhe von 3 m bzw. 4,5 m der Wasseranteil in den Wannen auf 87 % bzw. 79 % gefallen ist.

Bei einer höheren Wasserbeaufschlagung von 120 l/min ist die gleiche Tendenz wie bei 90 l/min erkennbar. Die Wassermenge in jeder einzelnen Wanne ist jedoch angestiegen. Es gelangen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Höhen von 1,5 m, 3 m und 4,5 m Wasseranteile von 100 %, 89 % und 80 % in die Auffangwannen.

Erhöht man den Druck und damit den Volumenstrom auf 140 l/min, so steigt die Wassermenge in den Wannen nochmals beträchtlich an. Die zuvor getroffenen Aussagen bleiben jedoch erhalten. Die aufgefangenen Mengen liegen bei den Höhen 1,5 m, 3 m und 4,5 m bei 98 %, 97 % und 88 %. Da die mittlere Auffangwanne überlief, mußte hier die Zeit der Sprinklerung auf 2,5 min festgelegt werden.

Dies bedeutet, daß bei einer Steigerung des Wasservolumenstromes infolge einer Druckerhöhung beim Sprinkler Typ B mehr Wasser auf der vorgegebenen Fläche auftrifft. Der aufgefangene Wasseranteil nimmt in einer Höhe von 4,5 m bei einer Wasserbeaufschlagung von 90 l/min um ca. 21 %, von 120 l/min um ca. 20 % und von 140 l/min

nur um ca. 12 % ab. Daraus ist zu schließen, daß bei einer höheren Ausflußrate aus einer größeren Höhe mehr Wasser auf der vorgegebenen Fläche von 16 m² auftrifft.

Auf Bild 4 ist jeweils die Wasserbeaufschlagung bei einem Volumenstrom von 90 l/min, 120 l/min und 140 l/min für den Sprinkler Typ C aufgetragen.

Im Gegensatz zum Sprinkler Typ B erkennt man deutlich eine Wasserverteilung, die über der gesamten vorgegebenen Fläche von 16 m² gleichmäßiger verteilt ist und im Zentrum nicht immer ein Maximum aufweist, wie dies zuvor der Fall war.

Bei einem Volumenstrom von 90 l/min und einer Höhe von 1,5 m wurden ca. 73 % des Wassers in den Wannen aufgefangen. Bei einer Höhe von 3,0 m waren es ca. 56 % und bei einer Höhe von 4,5 m noch ca. 53 %, d. h. fast die Hälfte des Wassers gehen über die vorgegebene Fläche hinaus. Dies sind 20 % mehr als bei einer Höhe von 1,5 m. Die Füllstandshöhen der Wannen insgesamt jedoch wurden gleichmäßiger.

Auch bei einem Volumenstrom von 120 l/min wird die Abhängigkeit von der Höhe des Sprinklers deutlich. Bei einer Höhe von 1,5 m wurden ca. 70 % des Wassers aufgefangen, bei einer Höhe von 3,0 m waren es ca. 56 % und bei der Sprinklerung aus 4,5 m Höhe waren es nur noch ca. 48 % des aus dem Sprinkler ausgetretenen Wassers. Dies sind 22 % weniger Wasser als bei niedriger hängendem Sprinkler.

Bei einem Volumenstrom von 140 l/min und einer Sprinklerhöhe von 1,5 m gelangten ca. 74 %, bei 3,0 m ca. 54 % und bei 4,5 m noch 49 % des austretenden Wassers in die Auffangwannen. Dies sind 25 % weniger als bei der Höhe von 1,5 m.

Diese Untersuchungen zeigen, daß der größte Anteil an Wasser bei einem höheren Volumenstrom und bei einem geringeren Abstand des

Sprinklers auf die vorgegebene Fläche auftrifft, was auch erwartet wurde. Durch die Vergrößerung des Abstandes des Sprinklers zu der Meßfläche wird der aufgefangene Anteil erheblich reduziert. Es wird damit jedoch noch nichts darüber ausgesagt, ob die beaufschlagte Wassermenge nach den Richtlinien des Verbandes der Sachversicherer e. V. /3/ auch ausreichend ist.

Enthält eine vom Zentrum weiter entfernte Wanne mehr Wasser als eine näher gelegene, so kann dies zum einen an einem etwas ungleichmäßigen Sprinklerbild oder zum anderen an einem Meßfehler liegen.

Es kann jedoch sehr gut beurteilt werden, ob bei der Verteilung die ungleichen Füllstandshöhen durch Meßfehler oder ungleichmäßiges Verteilen seitens des Sprinklers hervorgerufen wurden. Sind bei einer Höhe bei mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Volumenströmen dieselben Wannen immer von den anderen abweichend gefüllt, so deutet dies auf eine Ungleichmäßigkeit des betreffenden Sprinklertypes hin, wie z. B. in Bild 4 bei der mittleren Wanne rechts am Rand.

Bild 5 zeigt die aufgefangenen Wassermengen bei der Beaufschlagung aus einer Höhe von 4 m mit dem Sprinkler Typ D und den Volumenströmen von 110 l/min, 140 l/min und 165 l/min. Die Volumenströme sind aufgrund des größeren Öffnungsquerschnittes des Sprinklers höher. Aus diesem Bild ist zu entnehmen, daß bei einer Erhöhung des Volumenstromes von 110 l/min auf 140 l/min die aufgefangene Wassermenge stark zunimmt. Bei 110 l/min werden ca. 80 %, bei 140 l/min ca. 93 % der ursprünglichen Wassermenge aufgefangen. Wird der Druck und somit der Volumenstrom auf 165 l/min erhöht, so ändert sich die aufgefangene Wassermenge in den Wannen nicht mehr. Es werden daher nur ca. 80 % aufgefangen, d. h. die Restmenge des Wassers bzw. die Tropfen fliegen weiter nach außen. Es trifft demnach bei einer Höhe des Sprinklers von 4 m über den Wannen trotz des höheren Druckes, d. h. höheren Ausflußrate, nicht mehr Wasser auf die vorgegebene Fläche auf. Die Wirkfläche

jedoch wird größer, d. h. nach /3/ die Fläche, die gleichzeitig mit Löschwasser versorgt werden kann.

Die Bilder 6 bis 9 zeigen die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius. Dabei wurden auf dem gleichen Radius um den Sprinkler Mittelwerte für die Wasserbeaufschlagung ermittelt, da der Sprinkler oft kein symmetrisches Sprinklerbild liefert. Die entsprechende Kurve beginnt jeweils beim gemittelten Wert der zentralen Auffangwanne, d. h. in einem Abstand von 0,2 m der y-Achse. Für die Sprinkler Typen A, B, C bzw. D sind die Wasserbeaufschlagungen bei jeweils 3 verschiedenen Volumenströmen und 3 unterschiedlichen Höhen bzw. gleicher Höhe aufgetragen.

Wie bereits in /2/ für den Sprinkler Typ A (Bild 6) aufgezeigt, nimmt die Wasserbeaufschlagung bei gleichbleibender Höhe des Sprinklers mit zunehmendem Radius ab. Sie wird auch geringer, wenn der Radius bis ca. 2 m konstant gehalten und der Sprinklerabstand größer wird. Ein Volumenstrom von 90 l/min ergibt wegen des niedrigeren Druckes eine niedrigere Wasserbeaufschlagung als bei 120 l/min bzw. 140 l/min.

Bild 7 zeigt die entsprechenden Kurven für den Sprinkler Typ B. Es ist deutlich zu erkennen, daß bis zu einem Radius von ca. 0,5 m die Wasserbeaufschlagung höher liegt als beim Sprinkler Typ A und bis zu einem Radius von ca. 2,80 m die Kurven sehr ähnlich verlaufen wie beim Typ A.

Im Gegensatz zu den Sprinklern Typ A und Typ B ist für den Sprinkler Typ C in Bild 8 ein anderer Kurvenverlauf zu erkennen. Zwar bleibt die Abhängigkeit vom Sprinklerabstand bestehen, aber die Kurven verlaufen viel flacher, d. h. die Wasserbeaufschlagung über der vorgegebenen Fläche ist wesentlich gleichmäßiger. Eine Erhöhung des Volumenstromes hat eine Erhöhung der Wasserbeaufschlagung im gesamten Meßbereich zur Folge. Jedoch bleibt unabhängig vom Volumenstrom und der Höhe des Sprinklers die gleichmäßigere Wasserverteilung erhalten.

In Bild 9 handelt es sich um die Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ D. Die Wasserbeaufschlagung wurde hier bei einer Sprinklerhöhe von 4 m aufgenommen und der Volumenstrom variiert.

Es ist beim Sprinkler Typ D eine Ähnlichkeit im Kurvenverlauf zu den Sprinklern Typ A und Typ B festzustellen, nämlich eine starke Wasserabnahme mit zunehmendem Radius.

Vergleicht man nun die 4 Sprinkler untereinander, so läßt sich feststellen, daß unabhängig vom jeweiligen Volumenstrom bei den Sprinklern Typ A, B und D im zentralen Bereich um den Sprinkler sehr viel mehr Wasser auf die vorgegebene Fläche gelangt als beim Sprinkler Typ C. So werden bei einem Radius von ca. 1 m, einem Sprinklerabstand von 1,5 m und einem Volumenstrom von etwa 120 l/min bei den Sprinklern Typ A und Typ B eine Wasserbeaufschlagung von ca. 10 mm/min erreicht, beim Sprinkler Typ C sind es nur ca. 6 mm/min.

Bei einem Radius von ca. 2,5 m und sonst gleichen Einstellungen, d. h. unabhängig von der Sprinklerhöhe liegt die Wasserbeaufschlagung bei etwa 2,5 mm/min für die Typen A und B, während sie für den Typ C bei etwa 5 mm/min liegt. Dies bedeutet, daß z. B. bei der Überlagerung von 2 Sprinklern bei je 1 m Radius (Abstand 2 m zueinander) bei den Typen A und B ca. 20 mm/min erreicht werden können, beim Typ C dagegen nur ca. 12 mm/min, was in der Praxis von entscheidender Bedeutung sein kann. Werden 4 Sprinkler im Abstand von 2 m im Quadrat überlagert, so ergeben sich für die Typen A und B ca. 40 mm/min und für den Typ C ca. 24 mm/min, vorausgesetzt an jedem Sprinkler tritt derselbe Volumenstrom aus. Für den Sprinkler Typ D läßt sich bei einer Sprinklerhöhe von 4 m, wie aus Bild 9 zu ermitteln ist, bei einer Ausflußrate von ca. 120 l/min, die gleiche Aussage machen wie für die Sprinkler Typ A und Typ B.

Im Brandfall wird beim Auslösen mehrerer Sprinkler im Normalfall der Druck geringer und somit auch der Wasserausstoß. Die Aussagen

über die Wasserbeaufschlagung bei der Überlagerung mehrerer Sprinkler bleiben jedoch für die unterschiedlichen Sprinklertypen bestehen, nur die Wasserbeaufschlagung selbst wird lediglich geringer. Würde der Radius theoretisch auf ca. 2 m vergrößert (Abstand 4 m voneinander), so würde die Wasserbeaufschlagung bei allen 4 hier verwendeten Sprinklertypen 3 bis 4 mm/min betragen, d. h. bei 4 m Abstand im Quadrat angeordneten Sprinklern beträgt die Wasserbeaufschlagung an der überlagerten Stelle 12 bis 16 mm/min.

Während bei den Sprinklern Typ A, B und D bei noch größeren Radien die Wasserbeaufschlagung weiter abfällt, bleibt sie unabhängig von der Höhe und dem Volumenstrom beim Typ C noch über einen Radius von 2 m hinaus konstant. Durch Variation der Sprinklertypen, der Höhen, der Abstände zueinander und der Volumenströme lassen sich somit, wie im obigen Beispiel, bestmögliche Konfigurationen für die geforderte Wasserbeaufschlagung festlegen. Untersuchungen der Wasserbeaufschlagung mit 4 Sprinklern sind geplant.

In Bild 10 sind für den Sprinkler Typ B bei einem Volumenstrom von ca. 90 l/min und einer Höhe des Sprinklers von 3,5 m über der zu beaufschlagenden Fläche Kurven gegenübergestellt, die veranschaulichen sollen, ob ein Dach über dem Lagerstapel, Gitterboxen ohne und mit Füllung mit Wellpappkartons die Wasserverteilung wesentlich beeinflussen. In diesem Bild ist deutlich zu erkennen, daß die unter den verschiedenen Voraussetzungen ermittelten Kurven die gleiche Tendenz zeigen, d. h. der Einfluß der Wellpappkartons in den Gitterboxen bzw. das Dach über dem Lagerstapel macht sich bei einer Beaufschlagungszeit von 3 min, wie sie nach /3/ für die Wasserbeaufschlagung gefordert wird, kaum bemerkbar.

Bei der optischen Betrachtung ist direkt nach dem Auslösen des Sprinklers jedoch der Unterschied zu sehen, ob die Wassertropfen ungehindert in die Auffangwannen gelangen können, was in den Zwischenräumen der Stapel der Fall ist oder zunächst durch die

Gitterboxen mit Wellpappkartons mit oder ohne Inhalt aufgehoben werden. Nach kurzer Zeit jedoch tropft das Wasser von den Seiten der Wellpappkartons in die Auffangwanne. Durch das Auffangen in Wannen mit einer kleineren Kantenlänge könnte evtl. festgestellt werden, an welchen Stellen unterhalb der Kartons mehr Wasser abtropfen bzw. kaum Wasser gelangen kann. Die hier verwendeten Auffangwannen lassen dazu keine Schlüsse zu.

3.2 Brandmelder

Die bei den Brand- und Löschversuchen eingesetzten Brandmelder, waren 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. Im ersten Teil der Tabelle 2 sind die Ansprechzeiten bei Brandversuchen ohne Dach über der Brandlast eingetragen und im zweiten Teil der Tabelle 2 die Ansprechzeiten mit Dach über dem Versuchsstand. In der linken Spalte ist die jeweilige Brandlast eingetragen, der jedoch für das Auslösen der Brandmelder bei diesen Versuchen keine Bedeutung zukommt, da die ersten Melder bereits kurze Zeit nach der Zündung auslösen. 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 Melder nicht angeschlossen war oder einen Defekt auswies und kein Signal abgab, und das Zeichen zwei Striche "=" bedeutet, daß ein intakter Melder bis zum Zeitpunkt der Entfernung nicht ausgelöst hat.

Zum direkten Vergleich der Versuche mit und ohne Dach kann jedoch nur der Ionisationsmelder b herangezogen werden, der zentral über der Brandlast unter dem den gesamten Versuchsstand überdeckenden Dach angeordnet war und nach dem Ansprechen entfernt wurde. Die anderen Brandmelder wurden bei der Versuchsreihe mit Dach wegen der Gefahr des Zerstörens an der linken Seite vor dem Dach in

Dachhöhe angeordnet. Daher war kein unmittelbarer Vergleich aller Brandmelder möglich. Hier war lediglich der Auslösezeitpunkt der verschiedenen Melder von Interesse.

Anhand dieser Tabelle ist zu erkennen, daß in den meisten Fällen der Ionisationsmelder zuerst Alarm auslöste, wobei es unerheblich ist, ob dieser gepulst oder nicht gepulst ist. Die Pulsmeldetechnik hat lediglich aufgrund der elektrischen Abfrage mittels eines anders geschalteten elektrischen Systems Einfluß auf die Problematik der Fehlalarme.

Die optischen Melder lösten nur kurze Zeit später als die Ionisationsmelder aus, während die Differential- und Maximaltemperaturmelder sehr spät oder bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle Brandmelder weggezogen wurden, garnicht auslösten.

Bei den Untersuchungen ohne Dach wurde festgestellt, 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, als bei den Versuchen, bei denen die Zündung vorne links erfolgte.

Vergleicht man die Ansprechzeiten des Ionisationsmelders b bei den Versuchen mit und ohne Dach, so läßt sich kein Unterschied feststellen, obgleich mit Dach ein schnelleres Ansprechen erwartet wurde, da sich dort die Brandgase sammeln und eine Schicht bilden können. Hierbei spielte es keine Rolle, ob 4 Gitterboxen oder nur 3 Gitterboxen übereinander gestapelt wurden.

Die Installation der übrigen Brandmelder in Dachhöhe vor dem Dach bei den in der Tabelle 2 unten aufgeführten Versuche, ließ die Ansprechzeiten erwartungsgemäß ansteigen, da die Brandgase zu Beginn der Versuche zunächst diese Melder nicht beeinflussten. Es spielte im weiteren Versuchsablauf jedoch eine Rolle, ob ein Brandmelder näher zur Dachkante (opt. Melder) oder etwas

entfernter von der Dachkante (opt. und ion. Pulsmelder) angebracht war, was sich bei den Ansprechzeiten deutlich bemerkbar machte, d. h. sie waren in Dachnähe kürzer. Die gepulsten Melder waren aufgrund der Art der Anbringung an einem Gestell etwas weiter von der Dachkante entfernt und lösten etwas später aus. Die Wärmemelder lösten wie bei den meisten Versuchen zuvor garnicht aus.

Die Untersuchungen zeigten, daß die Ionisationsmelder und die optischen Melder, an den richtigen Stellen angebracht, ein frühes Ansprechen erwarten lassen. Dadurch kann der Brand bereits im Entstehungsstadium entdeckt und bekämpft werden. Die früheste Ansprechzeit war 9 s nach der Zündung, d. h. die Flammen hatten noch nicht einmal den Lagerstapel richtig in Brand gesetzt.

3.3 Sprinkler

Mit der bereits unter Abschnitt 2 beschriebenen Brandlast (Bild 1) wurden Brand- und Löschversuche durchgeführt. Der Löscheinsatz wurde eingeleitet, wenn das Glasfaß eines Sprinklers zersprang. Dieser Sprinkler mit Glasfaß befand sich an der in Bild 1 gekennzeichneten Stelle Nr.5 zentral über der Brandlast. Weitere Sprinkler mit Glasfaß wurden bei einigen Versuchen 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 3 sind für die jeweiligen Versuche die Zeiten bis zum Zerspringen der Sprinkler-Glasfäßchen 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 je nach Fortschreiten der Flammenfront das an der Stelle Nr.2 oder Nr.4 und erst nachdem der Brand bis zur Mitte vorgedrungen ist, das Sprinkler-Glasfäßchen an der Stelle Nr.5 zerspringt. In diesem

Moment wird auch der in der Mitte befindliche Sprinkler ausgelöst (vgl. Tabelle 3). Das Glasfäßchen Nr.6 wird in den meisten Fällen vom Brand nicht beeinflusst. Liegt die Zündquelle an der Stelle vorne Mitte (VM), so zerspringen zunächst das vordere Glasfäßchen Nr.2 und anschließend meist die Glasfäßchen Nr.1 und Nr.3 und erst dann das Glasfäßchen Nr.5, da durch den Abstand der Stapel von 20 cm die Flammen zunächst an der Frontseite angreifen.

Gleichartige Versuche zeigten, daß bedingt durch eine unterschiedlich schnelle Ausbreitung des Brandes die Sprinkler-Glasfäßchen innerhalb großer unterschiedlicher Zeitspannen zersprangen. Dabei spielte es keine Rolle, an welcher Stelle der Stapel gezündet wurde.

Die Betrachtungsweise von Brein /1/, der nicht den Zündzeitpunkt, sondern den Zeitpunkt als Anfangswert festlegt, an dem eine Masse von 1 kg abgebrannt ist, würde den Löschzeitpunkt durch die unterschiedliche Zeitdauer bis zum Abbrand von 1 kg Brandlast auch unterschiedlich verändern, aber es blieben trotzdem große Differenzen bestehen. Mit der Festlegung des Abbrandes von 1 kg Brandlast sollte der Einfluß des Zündvorganges, d. h. mehr oder weniger schnelle Zündung der Wellpappkartons durch die Zündquelle, ausgeschlossen werden. Dies hatte jedoch für den Zeitpunkt des Löscheinsatzes keinen Einfluß.

Die Thermolemente in der Nähe der Sprinkler-Glasfäßchen erreichten beim Zerspringen der Glasfäßchen bei diesen Untersuchungen Temperaturen von 70 °C bis 350 °C. Dies bedeutet, daß in den meisten Fällen die Temperatur in der Umgebung des auszulösenden Sprinklers viel höher lag, als die auf dem bei diesen Untersuchungen verwendeten Sprinkler angegebene Auslösetemperatur von z. B. 68 °C. Derartige Temperaturunterschiede sind auch aus der Literatur bekannt.

3.4 Brand- und Löschversuche

Bei den Brand- und Löschversuchen erfolgte der Löscheinsatz dann, wenn bei einem Sprinkler ein Glasfäßchen zersprang, was im Brandfall der Realität entspricht. Der Sprinkler mit Glasfaß wurde neben dem für den Einsatz vorgesehenen Sprinkler an der Stelle Nr.5 zentral über dem Stapel mit einem Draht befestigt. 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 eine kleine Flamme zu erkennen war, die jedoch keinen weiteren Wellpappkarton mehr zünden konnte. Auf diese Art wurde ein subjektives Kriterium für den erfolgreichen Löscheinsatz gewählt und somit Unzulänglichkeiten der Beobachter in Kauf genommen. Mit Hilfe von Messungen mit Thermoelementen war in diesem Brandstadium eine Beurteilung nicht mehr möglich.

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

Die Gegenüberstellung zeigt, daß die Dauer des Löscheinsatzes trotz gleicher Versuchsdurchführung unterschiedlich lang verlief, was auch an der Löschwassermenge deutlich zu erkennen ist. Es spielte dabei keine Rolle, ob über der Brandlast ein Dach installiert war oder die Brandgase direkt nach oben strömen konnten.

Die verwendeten Löschwassermengen waren im Mittel 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 wird größer und die Brandlast geringer, so sinkt im Mittel die zum Ablöschen benötigte Wassermenge etwas ab. Dies bedeutet, daß es richtig ist, für weniger hoch gestapelte Stoffe gleicher Art eine geringere Wasserbeaufschlagung zu fordern, wie dies auch in den Richtlinien für Sprinkleranlagen /3/ gefordert wird. Es zeigte sich aber auch, daß bei 2 von 7 durchgeführten Versuchen das Sprinklerfäßchen nicht zerplatzte, da die Temperatur am Sprinkler wohl nicht ausreichte, so daß kein Löscheinsatz erfolgte und somit der gesamte Stapel abbrannte. Dies würde bedeuten, daß die Sprinkler nicht in einem allzu großen Abstand von der obersten Lage des Stapels installiert werden sollten, um ein Nichtauslösen auszuschließen.

In diesem Zusammenhang wird auf die Tabelle 5 verwiesen. Es handelt sich dabei um die Darstellung 2/01 der neu erschienenen Sprinklerrichtlinien /3/ über die Kenngrößen und Gesamtwassermengen in Abhängigkeit der Brandgefahren. Zusätzlich wird in Tabelle 6 aus diesen Richtlinien die Darstellung A2/01 über die Zuordnung von Lagermaterialien in Verbindung mit Verpackungsarten bzw. Transporthilfen nach Brandgefahren aufgeführt. Diese beiden Tabellen sind u. a. maßgebend für die Stapelung in Lägern.

Anstatt des Sprinklers Typ B wurde bei einigen Versuchen der Sprinkler Typ D verwendet, was ebenfalls in Tabelle 4 eingetragen ist. Es kann im Vergleich festgestellt werden, daß bei gleichartigen Versuchen im Mittel eine gleich hohe Wassermenge benötigt wurde. Auch bei verschiedener Auslösung, entweder durch einen Schmelzlot-Sprinkler oder durch ein zerspringendes Glasfäßchen neben dem Sprinkler und anschließender Betätigung eines Magnetventils konnten bei diesen Untersuchungen keine relevanten Unterschiede festgestellt werden. Der Sprinkler wurde durch das

Schmelzlot bei im Abstand von 2 cm gemessenen Temperaturen von 93 °C und 97 °C ausgelöst, während die Glasfäßchen bei Temperaturen zwischen 120 °C und 222 °C zersprangen. Dies bestätigt für diese Versuche die schnellere Auslösung des Sprinklers mit Schmelzlot, weil dies bei der geringen Versuchszahl festgestellt werden konnte. Bei einem Versuch konnten nur 27 % der ursprünglichen Wassermenge in den Wannen aufgefangen werden. Dies lag daran, daß der Betriebsdruck auf 3 bar erhöht wurde und somit die meisten Wassertropfen über den Versuchsstand hinausflogen und daher bei diesem Versuch wenig zum Löscherfolg beitrugen. Von weiteren Versuchen mit dem Sprinkler Typ D wurde daher für diese Versuchsreihen Abstand genommen.

Wurde bei den Untersuchungen der Sprinkler Typ A anstelle des Sprinklers Typ B verwendet, so ließen sich auch hier keine gravierenden Unterschiede feststellen. Da sich der Brand trotz gleichen Versuchsaufbaus immer etwas anders entwickelt, wird auch eine Auslösung immer zu unterschiedlichen Zeitpunkten und voraussichtlich bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen, je nachdem, ob die Flammen den Sprinkler direkt erfassen oder heiße Brandgase das Element auslösen.

Außerdem war es immer sehr schwierig zu beurteilen, ob der Brand gelöscht war, da aufgrund der Rauchentwicklung und des Wassernebels die Sicht sehr erschwert wurde. 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.

Tabelle 7 zeigt zur Veranschaulichung, wieviele Kartons in jedem der 4 Lagerstapel ganz oder nur teilweise verbrannt waren. Zusätzlich wurde die Anzahl der durch den Sprinklereinsatz nur feucht gewordenen Kartons angegeben.

Die auf der Seite vorne links gezündeten Lagerstapel weisen in dem 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 Löschein-satz 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 Löschein-satz 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 Löschein-satz nur anbrannten bzw. beim Löschein-satz 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 sollen.

3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung

Bei den Brand- und Löschversuchen wurden ebenso wie bei den Untersuchungen zur Messung der Wasserbeaufschlagung ohne Brand die Wassermengen unterhalb der Waage für die Dauer des Löschein-satzes gemessen und in den Bildern 11 bis 13 festgehalten. Die einzelnen Bilder zeigen die jeweilige Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius. Es wurden immer mehrere 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 bei den Brandversuchen 5 Kartons in den Gitterboxen verwendet, so verlaufen die über dem Radius aufgetragenen Kurven sowohl bei Holzwolle als auch bei Polystyrol als Kartoninhalt und bei der Zündstelle vorne links oder vorne Mitte ab einem Radius von etwa 1 m sehr eng zusammen, während sie im mittleren Bereich unterhalb eines Radius von 1 m je nach Brandeinwirkung auf die einzelnen Gitterboxen bzw. Kartons voneinander abweichen.

Da der Inhalt der Wellpappkartons, die Stelle der Zündung und auch ein Dach über dem Brandgut keine Rolle spielen, ist die Abhängigkeit auf die Anzahl der Kartons in den Gitterboxen bzw. die dadurch entstehenden Zwischenräume beschränkt. Im Unterschied zur Lagerung von 5 Kartons in den Gitterboxen verlaufen die entsprechenden Kurven bei der Lagerung von 3 Kartons, Bild 12, nahezu bis zum Mittelpunkt ähnlich. Dies bedeutet, daß die Verteilung des Wassers eines Sprinklers durch die geometrische Anordnung des Lagerstapels verändert wird und bei weniger Lagergut in den Gitterboxen, z. B. jeweils 3 Wellpappkartons, gleichmäßiger verteilt wird, da das Wasser etwas besser in die Zwischenräume gelangen kann.

Die Messung der Wassermengen bei den Versuchen mit und ohne Brandlast zeigt, daß die Auffangwannen nach einem Sprinklereinsatz aus einer Höhe von 3,5 m von 3 min Dauer nicht gefüllt sind. Die in den Bildern aufgetragenen Kurven verlaufen dadurch sehr gleichmäßig. Die bei den Brand- und Löschversuchen ermittelten Wasserbeaufschlagungen ergaben, daß die im Zentrum befindliche Auffangwanne nach einer Sprinklerdauer von ca. 6 min gefüllt war. In den Bildern ist ganz deutlich zu erkennen, daß mit zunehmender Dauer des Sprinklereinsatzes die Kurven bei kleinen Radien flacher verlaufen. Die Wasserbeaufschlagung der mittleren Wanne entspricht dann nicht mehr der tatsächlich eingesetzten Wassermenge, sondern sie wird mit zunehmender Zeit geringer. Die Zeiten sind an der jeweiligen Kurve vermerkt. Verschiebt sich der flache Teil bei längeren Einsatzzeiten zu größeren Radien, dann sind auch die um die Mitte herumliegenden Auffangwannen übergelaufen.

Beim Ablöschen eines Lagerstapels mit 5 Wellpappkartons je Gitterbox gelangt das Löschwasser vermehrt in die mittleren Auffangwannen, da zwischen den Kartons praktisch keine Zwischenräume vorhanden sind, was dazu führt, daß diese zuerst überlaufen und damit nicht mehr die tatsächliche Wasserbeaufschlagung gemessen werden kann, die sie normalerweise erreichen würden.

Dies bedeutet, daß z. B. nach einer Löschzeit von ca. 6 min die mittlere Auffangwanne zuerst überläuft. Beträgt die Löschzeit aber insgesamt ca. 12 min, so errechnet sich die Wasserbeaufschlagung auf etwa die Hälfte, was auch anhand der aufgetragenen Kurven zu erkennen ist. Abweichungen hiervon sind vor allem vom jeweiligen Brandverlauf abhängig.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Im Brandfall wird beim Löscheinsatz auch heute noch das Löschmittel Wasser am häufigsten eingesetzt, da es im Gegensatz zu anderen Löschmitteln fast überall in genügender Menge vorhanden ist. Bei ortsfesten Löschanlagen mit Wasser als Löschmittel liegt das Einsatzgebiet hauptsächlich im Produktions-, Lager- und Verkaufsbereich, wobei in den meisten Fällen ein Brand sofort gelöscht oder bis zum Eintreffen der Feuerwehr klein gehalten werden kann.

Untersuchungen über den Sprinklereinsatz bei gelagerten Stoffen wurden zwar vereinzelt unternommen, aber es fehlen systematische Versuchsreihen, die z. B. die Wasserbeaufschlagung bei unterschiedlichen Lagerparametern und verschiedenen Sprinklerarten beinhalten.

Der vorliegende Bericht beschreibt Brand- und Löschversuche in unterschiedlichen Konfigurationen. Ausgehend von Versuchen zur Messung der Wasserverteilung bei verschiedenen Sprinklerarten aus unterschiedlichen Höhen wurde damit begonnen, bei Brandversuchen in Lageranordnung mit definierten Parametern, den Löscheinsatz mit einer ortsfesten Sprinkleranlage so durchzuführen, daß die benötigte Wassermenge möglichst klein gehalten werden kann. Zusätzlich wurden Informationen darüber erhalten, wie die Wasserverteilung bei derartigen Brandversuchen aussieht.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Brein, D.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen,
die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.
Teil 2: Großbrandversuche 1
Forschungsbericht Nr. 58 der Arbeitsgemeinschaft
der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrange-
legenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztech-
nik (1986)
- /2/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Teil 1: Literatúrauswertung und Errichtung
der Versuchsanlage
Forschungsbericht Nr. 53 der Arbeitsgemeinschaft
der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrange-
legenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztech-
nik (1985)
- /3/ Richtlinien für Sprinkleranlagen
Planung und Einbau 1
Verband der Sachversicherer e. V. Köln
VdS 2092 6/87 (6) (bisher Form 3003)

6. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. In den Wannen aufgefangener Wasseranteil.

Sprinkler	Höhe	Volumenstrom		
		90 l/min	120 l/min	140 l/min
Typ	m	%	%	%
A	1,5	92	90	93
	3,0	73	72	78
	4,5	64	70	76
B	1,5	100	100	98
	3,0	87	89	97
	4,5	79	80	88
C	1,5	73	70	74
	3,0	56	56	54
	4,5	53	48	49
D	4,0	110 l/min	140 l/min	165 l/min
		%	%	%
		80	93	80

Tabelle 2. Ansprechzeiten der Brandmelder.

<u>ohne Dach</u>							
Stelle	a	b	c	d	e	f	
Brandlast/ Zündstelle	Ion. Melder gepulst	Ion. Melder	opt. Melder gepulst	opt. Melder	Max. Melder	Diff. Melder	aus Brandnähe entfernt
	min:s	min:s	min:s	min:s	min:s	min:s	min:s
HW 5/VL	1:21	-	1:52	-	=	=	3:07
	1:43	4:02	1:55	4:32	=	=	5:30
	0:33	1:09	2:10	2:16	=	=	2:37
PS 5/VL	0:33	-	1:21	-	=	=	2:07
	1:00	-	2:43	-	7:15	=	7:50
HW 3/VL	0:45	0:33	3:10	2:19	=	=	-
	1:12	1:12	2:43	1:31	4:38	=	5:00
	1:13	0:30	2:31	2:25	=	=	-
PS 3/VL	0:33	1:28	2:16	2:16	=	3:22	3:25
	0:42	0:42	1:43	1:37	3:07	=	5:20
HW 5/VM	0:09	0:09	1:34	0:21	=	4:29	4:29
	0:12	0:12	1:12	-	=	=	2:37
	0:09	0:09	0:39	0:39	=	=	4:14
PS 5/VM	1:09	1:15	0:33	0:39	3:34	3:24	3:56
	0:12	0:18	1:00	-	=	=	3:30
	0:15	0:15	1:21	1:09	=	=	4:32
HW 3/VM	0:09	0:21	1:15	0:57	5:23	4:35	5:32
	0:12	0:24	1:18	-	6:33	5:14	6:40
	1:28	0:09	0:21	0:33	6:05	5:17	7:09
PS 3/VM	0:09	0:15	0:33	0:39	3:34	1:58	4:44
	0:12	0:18	1:18	-	=	=	2:45
	0:09	0:21	1:21	1:15	=	=	3:19
<u>mit Dach</u>							
HW 5/VL	o 1:03	0:39	4:11	1:58	=	=	-
PS 5/VL	o 2:22	0:57	2:22	1:40	=	=	5:10
	2:58	0:33	-	2:16	=	=	-
HW 3/VL	o 4:16	0:54	5:08	2:13	=	=	7:30
	o 2:52	0:51	2:34	1:46	=	=	7:15
	o 1:52	0:33	2:10	1:58	=	=	-
PS 5/VM	o 3:59	-	4:29	2:40	=	=	6:15

o bedeutet 3 Gitterboxen übereinander

Tabelle 3. Zerplatzen der Sprinkler-Glasfäßchen.

Stelle	1		2		3	
	min:s	°C	min:s	°C	min:s	°C
HW 5/VL	1:50	188	5:42	128	=	=
	2:15	137	7:15	111	=	=
	7:15	117	15:45	81	=	=
	3:35	177	10:40	157	=	=
	o -	-	-	-	-	-
PS 5/VL	1:00	233	4:20	156	=	=
	7:55	210	11:20	256	=	=
	3:50	74	-	-	=	=
	o -	-	-	-	-	-
HW 3/VL	4:30	144	7:05	104	=	=
	-	-	-	-	-	-
	5:15	161	=	=	=	=
	5:53	194	=	=	=	=
	o -	-	-	-	-	-
PS 3/VL	3:13	237	=	=	=	=
	7:00	183	=	=	=	=
	6:26	120	=	=	=	=
	o -	-	-	-	-	-
HW 5/VM	7:15	200	5:05	174	7:25	200
	-	-	-	-	-	-
	-	-	5:37	108	7:15	254
	9:08	105	-	-	-	-
o -	-	-	-	-	-	
PS 5/VM	=	=	4:15	148	6:22	150
	-	-	-	-	-	-
	=	=	4:05	151	5:55	137
	8:50	173	6:44	139	8:10	159
o -	-	-	-	-	-	
HW 3/VM	10:40	230	1:40	120	8:20	200
	8:11	300	9:11	100	=	=
	7:55	159	5:25	160	6:30	350
	-	-	-	-	-	-
	8:22	169	7:55	142	8:23	156
	7:20	131	7:00	146	7:05	83
	-	-	-	-	8:10	161
PS 3/VM	-	-	4:10	174	5:30	-
	=	=	4:20	172	5:15	105
	=	=	4:55	146	5:04	227
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

- nicht vorhanden

= nicht ausgelöst

o bedeutet 3 Gitterboxen übereinander

Tabelle 3. Zerplatzen der Sprinkler-Glasfäßchen. (Fortsetzung)

Stelle Brandlast/ Zündstelle	4		5 Löschbeginn		6	
	min:s	°c	min:s	°C	min:s	°c
HW 5/VL	7:36	140	9:38	145	=	=
	7:00	100	9:30	108	=	=
	12:25	251	16:20	161	=	=
	10:05	236	10:46	152	=	=
	o 10:00	264	12:05	121	-	-
PS 5/VL	4:49	180	5:25	129	=	=
	10:50	166	12:58	193	=	=
	6:15	157	7:03	220	=	=
	o 7:45	279	8:15	161	-	-
HW 3/VL	5:30	200	7:45	70	=	=
	-	-	7:55	119	-	-
	6:40	181	10:40	122	=	=
	7:12	245	8:03	237	=	=
	o 8:11	200	=	=	-	-
	o 7:59	198	=	=	-	-
PS 3/VL	4:13	350	5:02	118	-	-
	6:10	181	9:45	210	-	-
	5:24	216	7:03	220	-	-
	c 5:47	210	9:45	128	-	-
HW 5/VM	=	=	7:50	162	=	=
	-	-	8:45	210	-	-
	=	=	9:10	149	=	=
	=	=	8:58	168	=	=
	o -	-	9:10	158	-	-
PS 5/VM	=	=	7:12	137	=	=
	-	-	7:20	139	-	-
	=	=	6:50	205	=	=
	=	=	9:22	176	=	=
	o -	-	8:20	221	-	-
HW 3/VM	10:20	240	9:30	190	8:40	240
	8:45	170	11:30	111	=	=
	=	=	8:10	132	-	-
	-	-	9:00	220	-	-
	8:45	196	9:20	276	9:20	136
	7:55	307	8:15	350	-	-
	8:35	187	8:40	212	-	-
PS 3/VM	-	-	-	-	-	-
	-	-	5:30	106	5:30	220
	-	-	5:35	98	5:30	212
	-	-	6:02	212	-	-
	-	-	5:50	215	-	-

Tabelle 4. Aufgefangene Wassermengen in Abhängigkeit der Brandlast.

Sprinkler	Dach	HW		PS		Zündung		Wasser	Wasser	Wasser	
		3	5	3	5	VL	VM	insg. 1	Wannen 1	Wannen %	
Typ B	nein		x			x		1370	724	53	
	nein		x			x		1180	634	54	
	ja		x			x		580	409	71	
	ja		o			o		605	426	70	
	nein	x				x		610	489	80	
	nein	x				x		400	280	70	
	nein	x				x		310	207	67	
	ja	o				o		Glasfaß nicht geplatzt	-	-	
	ja	o				o			-	-	
	nein					x	x	1045	665	64	
	nein					x	x	640	463	72	
	ja					x	x	845	552	65	
	ja					o	o	550	372	68	
	nein				x		x	630	468	74	
	nein				x		x	320	240	75	
	ja				x		x	665	474	71	
	ja				o		o	170	140	82	
	nein		x					x	1210	701	58
	nein		x					x	560	412	74
	ja		x					x	1275	702	55
	ja		o					o	710	516	73
	nein	x						x	820	636	78
	nein	x						x	755	541	72
	ja	x						x	795	556	70
ja	x						x	840	584	70	
nein					x		x	1570	871	55	
nein					x		x	850	487	57	
ja					x		x	1140	623	55	
ja					o		o	990	649	66	
nein				x			x	595	477	80	
nein				x			x	390	301	77	
ja				x			x	400	296	74	
ja				x			x	745	526	71	
Typ D	nein		x			x		1120	648	58	
	nein	x				x		695	538	77	
	nein		x				x	785	560	71	
	nein	x					x	925	697	75	
	nein					x		1200	322	27	
	nein				x			x	747	-	-
Typ A	nein	x				x		995	618	62	
	nein	x				x		900	651	72	
	nein	x					x	715	523	73	

x bedeutet 4 Gitterboxen übereinander

o " 3 " "

Tabelle 5.

Darstellung 2/01
 Kenngrößen und Gesamtwassermenge in Abhängigkeit der Brandgefahren

Brandgefahr	Lagerhöhe* in m und Mindestbreite der Freistreifen in m Lagerart			Mindest- wasser- beauf- schlagung in mm/min	Wirkfläche in m ²		Mindest- betriebs- zeit in min	Maximale Schutz- fläche je Sprinkler in m ²	Mindestgesamt- wassermenge** in m ³		Mindest- größe des Zwischen- behälters in m ³
	A	B	C		Naß- anlage	Trocken- anlage			Naß- anlage	Trocken- anlage	
BG 1				2,5	150	150	30	21	16	16	5
BG 2.1				5,0	150	150	60	12	63	63	5
BG 2.2				5,0	260	260	60	12	109	109	20
BG 2.3				5,0	375	375	60	12	158	158	20
BG 3.1				7,5	260	325	90	9	246	307	70
BG 3.2				10,0	260	325	90	9	328	410	70
BG 3.3				12,5	260	325	90	9	410	512	70
BG 4.1 Grenzlagerhöhe 4,0 m (s. Abschnitt 2.1)											
BG 4.1	5,3 2,0	5,3 2,0	5,3 2,0	7,5	260	325	90	9	246	307	70
BG 4.1	6,5 2,5	6,5 2,5	6,5 2,5	10,0	260	325	90	9	328	410	70
BG 4.1	— —	7,6 3,0	7,6 2,5	12,5	260	325	90	9	410	512	70
BG 4.2 Grenzlagerhöhe 3,1 m (s. Abschnitt 2.1)											
BG 4.2	4,1 2,0	4,1 2,0	4,1 2,0	7,5	260	325	90	9	246	307	70
BG 4.2	5,0 2,5	5,0 2,5	5,0 2,5	10,0	260	325	90	9	328	410	70
BG 4.2	— —	5,9 3,0	5,9 2,5	12,5	260	325	90	9	410	512	70
BG 4.2	— —	— —	6,7 3,0	15,0	260	325	90	9	491	614	70
BG 4.2	— —	— —	7,5 3,0	17,5	260	325	90	9	573	717	70
BG 4.3 Grenzlagerhöhe 2,1 m (s. Abschnitt 2.1)											
BG 4.3	2,9 2,0	2,9 2,0	2,9 2,0	7,5	260	325	90	9	246	307	70
BG 4.3	3,5 2,0	3,5 2,0	3,5 2,0	10,0	260	325	90	9	328	410	70
BG 4.3	4,1 2,5	4,1 2,5	4,1 2,5	12,5	260	325	90	9	410	512	70
BG 4.3	4,7 3,0	4,7 3,0	4,7 2,5	15,0	260	325	90	9	491	614	70
BG 4.3	— —	5,2 3,0	5,2 2,5	17,5	260	325	90	9	573	717	70
BG 4.3	— —	— —	5,7 3,0	20,0	300	375	90	9	756	945	70
BG 4.3	— —	— —	6,3 3,0	22,5	300	375	90	9	851	1063	100
BG 4.4 Grenzlagerhöhe 1,2 m (s. Abschnitt 2.1)											
BG 4.4	1,6 2,0	1,6 2,0	1,6 2,0	7,5	260	325	90	9	246	307	70
BG 4.4	2,0 2,0	2,0 2,0	2,0 2,0	10,0	260	325	90	9	328	410	70
BG 4.4	2,4 2,0	2,4 2,0	2,4 2,0	12,5	260	325	90	9	410	512	70
BG 4.4	2,7 2,5	2,7 2,5	2,7 2,5	15,0	260	325	90	9	491	614	70
BG 4.4	3,0 2,5	3,0 2,5	3,0 2,5	17,5	260	325	90	9	573	717	70
BG 4.4	— —	— —	3,3 3,0	20,0	300	375	90	9	756	945	70
BG 4.4	— —	— —	3,6 3,0	22,5	300	375	90	9	851	1063	100
BG 4.4	— —	— —	3,8 3,0	25,0	300	375	90	9	945	1181	100
BG 4.4	— —	— —	4,1 3,0	27,5	300	375	90	9	1040	1299	100
BG 4.4	— —	— —	4,4 3,0	30,0	300	375	90	9	1134	1418	100

Für Zwischenwerte der Lagerhöhen kann die Wasserbeaufschlagung aus den Darstellungen 2/02, 2/03 und 2/04 entnommen werden. Werden die unter BG 4.1 bis BG 4.4 angegebenen Lagerhöhen überschritten oder werden Sprinkler-Zwischenebenen installiert, so ist die Planung der Sprinkleranlage nach Abschnitt 14.1 vorzunehmen.

* Lagerhöhe ist der Abstand zwischen Fußboden und Oberkante Lagergut.

** Die Mindestwassermengen sind Anhaltswerte mit einer angenommenen Ungleichförmigkeit von 40%. Maßgebend sind jedoch die aus der Hydraulikberechnung hervorgehenden Wassermengen bei Einhaltung der Mindestbetriebszeit.

Tabelle 6.

Darstellung A 2/01

Zuordnung von Lagermaterial (L 1 bis L 4) in Verbindung mit Verpackungsarten bzw. Transporthilfen (V 1 bis V 4) nach Brandgefahren (BG 4.1 bis BG 4.4)

<p>Verpackungen</p> <p>Lagermaterialien</p>	<p>V 1</p> <p>Nichtbrennbare Verpackungen, Holzpaletten und brennbarer „Kantenschutz“ sind zulässig. Der „Kantenschutz“ darf nicht mehr als 20 % der Oberfläche des verpackten Lagermaterials umschließen. Besteht der Kantenschutz aus Schaumstoff, so darf er nicht mehr als 5 % — bei Kantenschutz, der durch brennbare oder nichtbrennbare Materialien abgedeckt ist, nicht mehr als 10 % — der Oberfläche des verpackten Lagermaterials umschließen. Nicht zulässig sind Verpackungen aus Holz, Papier oder Kunststoffen.</p>	<p>V 2</p> <p>Holzboxen, Holzpaletten, Verpackungen aus Holz, Papier, Karton, Wellpappe und Kunststoff (ungeschäumt). Nicht zulässig sind Schaumstoffe, außer Schaumstoffe als Kantenschutz. Besteht Kantenschutz aus Schaumstoff, so darf er nicht mehr als 5 % — bei Kantenschutz innerhalb von Boxen und Kartons nicht mehr als 10 % — der Oberfläche des verpackten Lagermaterials umschließen.</p>	<p>V 3</p> <p>Verpackungen nach Art V 1 bzw. V 2 in Verbindung mit Schaumstoffen. Der Schaumstoffanteil der Verpackung, bezogen auf das Volumen des verpackten Lagermaterials, darf nicht größer als 15 % — innerhalb von Boxen und Kartons nicht größer als 30 % — sein.</p>	<p>V 4</p> <p>Verpackungen mit einem höheren Schaumstoffanteil als nach V 1 bis V 3.</p>
<p>L 1</p> <p>Nichtbrennbare Lagermaterialien, auch Nahrungsmittel in Gläsern oder Blechdosen</p>	<p>BG 4.1</p>	<p>BG 4.2</p>	<p>BG 4.3</p>	<p>BG 4.4</p>
<p>L 2</p> <p>Schwer- und mittelbrennbare Lagermaterialien wie Holz, Papier, Pappe, Kunststoffe, jeweils in fester Form. Schaumstoffe sind bis zu einem Anteil von 15 % bezogen auf das Bruttovolumen zulässig, wenn sie von nichtbrennbarem Material umschlossen sind. Ausgeschlossen sind z. B. Papier und Pappe in Rollen vertikal gelagert, sowie Wellpappe vertikal gelagert, Toilettenpapier.</p>	<p>BG 4.2</p>	<p>BG 4.2</p>	<p>BG 4.3</p>	<p>BG 4.4</p>
<p>L 3</p> <p>Leichtbrennbare Lagermaterialien, wie vertikal gelagerte Papier- und Papperollen, luftdurchlässige Holzstapel, Lagermaterialien mit einem Anteil von Schaumstoffen bis 15 %, bezogen auf das Bruttovolumen, und von nichtbrennbarem Material umschlossene Lagermaterialien mit einem Anteil von Schaumstoffen bis 30 % des Bruttovolumens.</p>	<p>BG 4.3</p>	<p>BG 4.3</p>	<p>BG 4.3</p>	<p>BG 4.4</p>
<p>L 4</p> <p>Lagermaterialien mit höheren Schaumstoffanteilen wie in L 3 aufgeführt.</p>	<p>BG 4.4</p>	<p>BG 4.4</p>	<p>BG 4.4</p>	<p>BG 4.4</p>

Tabelle 7. Anzahl der verbrannten, angebrannten und durchfeuchteten Wellpappkartons in Abhängigkeit des Sprinklers, der Brandlast und der Zündstelle.

Brandlast/ Zündstelle	verbrannt				angebrannt				feucht			
	an der Stelle											
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
HW 5/VL	20	0	6	0	0	8	14	0	0	12	0	20
	20	3	4	0	0	3	16	0	0	14	0	20
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20
HW 5/VM	17	16	0	0	3	4	2	6	0	0	18	14
	7	16	0	0	7	2	0	12	6	0	20	8
	11	12	0	0	6	6	0	0	3	2	20	20
HW 3/VL	12	0	9	0	0	3	3	0	0	9	0	12
	12	0	12	0	0	2	0	3	0	10	0	9
	12	0	0	0	0	0	12	0	0	12	0	12
HW 3/VM	9	12	0	0	3	0	6	6	0	0	6	6
	11	11	0	0	1	1	6	6	0	0	6	6
	9	10	0	0	3	1	0	0	0	1	12	12
	8	8	3	3	1	1	4	5	3	3	3	6
PS 5/VL	20	0	11	0	0	1	9	0	0	19	0	20
	14	0	7	0	6	0	5	0	0	20	8	20
PS 5/VM	11	16	0	0	5	3	0	9	4	1	20	11
	11	11	0	0	5	6	0	0	4	3	20	20
PS 3/VL	12	2	12	0	0	2	0	3	0	8	0	9
	11	0	6	0	1	1	3	0	0	11	3	12
PS 3/VM	9	10	0	0	0	2	0	10	3	0	12	2
	9	9	0	0	1	0	4	4	2	3	8	8
	6	6	0	0	2	3	6	4	4	3	6	8
<u>Typ D</u>												
HW 5/VL	20	0	17	0	0	3	0	3	0	17	3	17
HW 5/VM	8	16	0	0	8	4	0	0	4	0	20	20
HW 3/VL	12	0	0	0	0	1	0	0	0	11	12	12
HW 3/VM	10	7	0	0	2	5	4	4	0	0	8	8
PS 5/VM	16	16	0	0	2	2	9	10	2	2	11	10
PS 3/VM	9	9	0	0	0	0	4	0	3	3	8	12

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

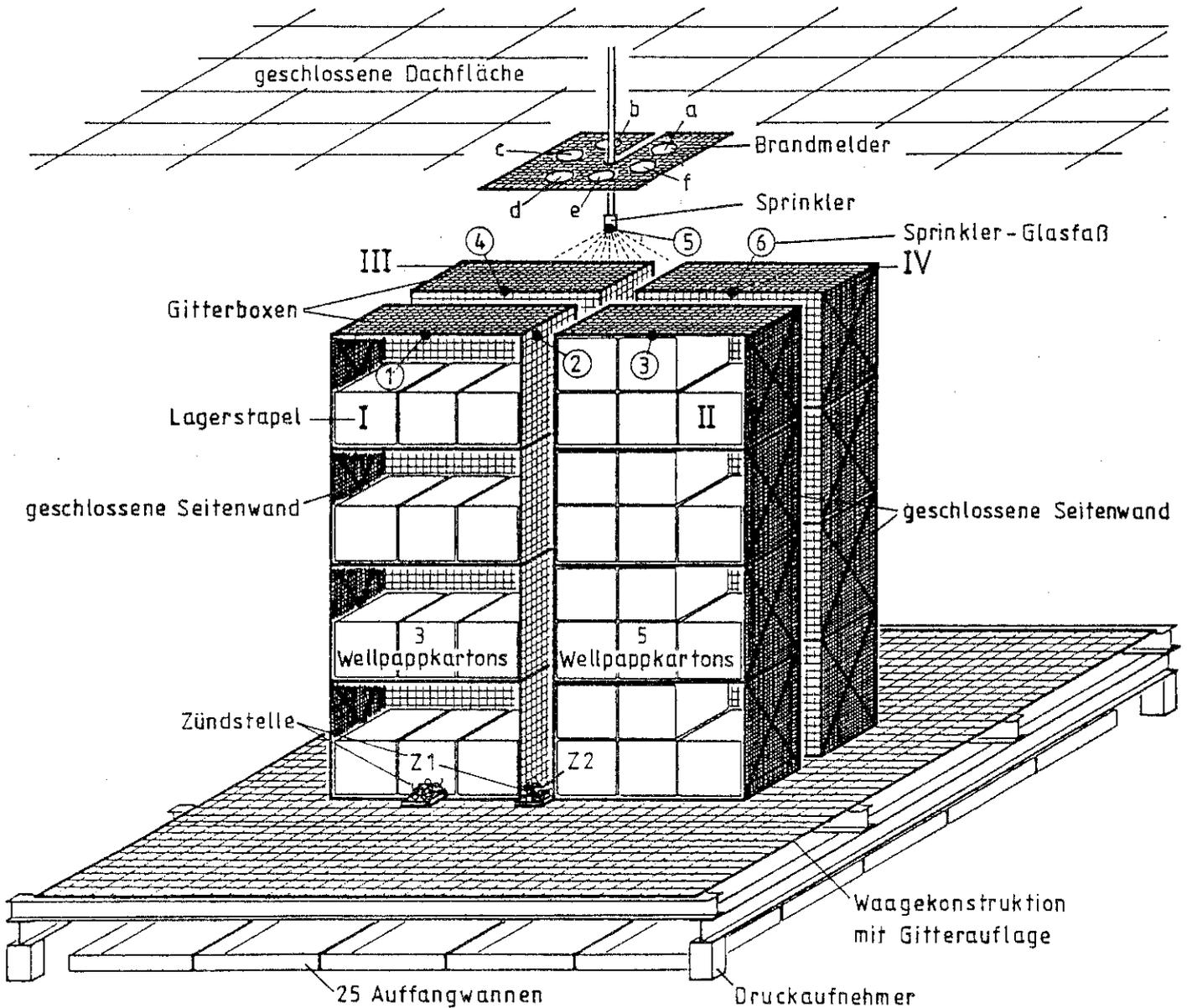
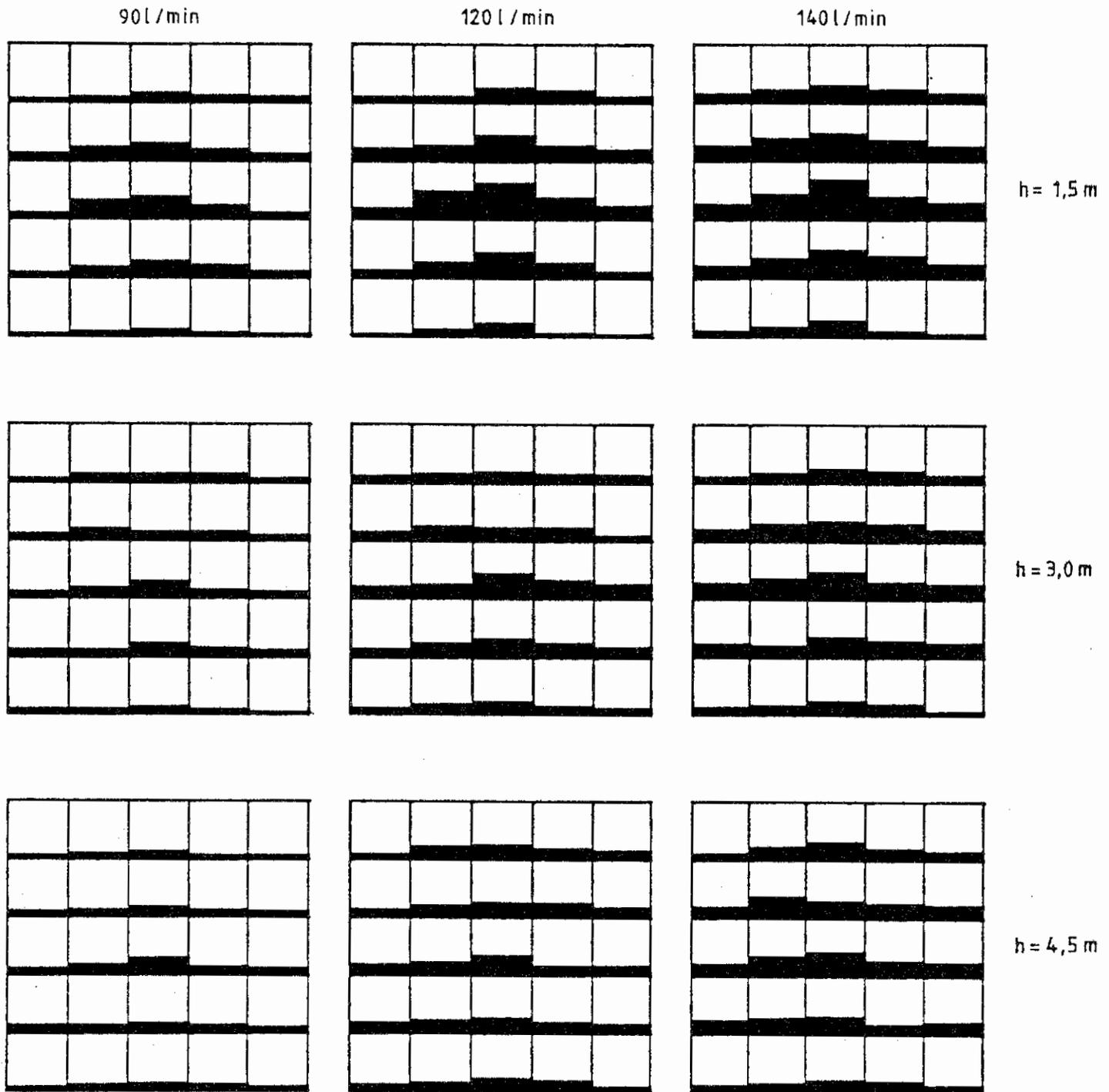


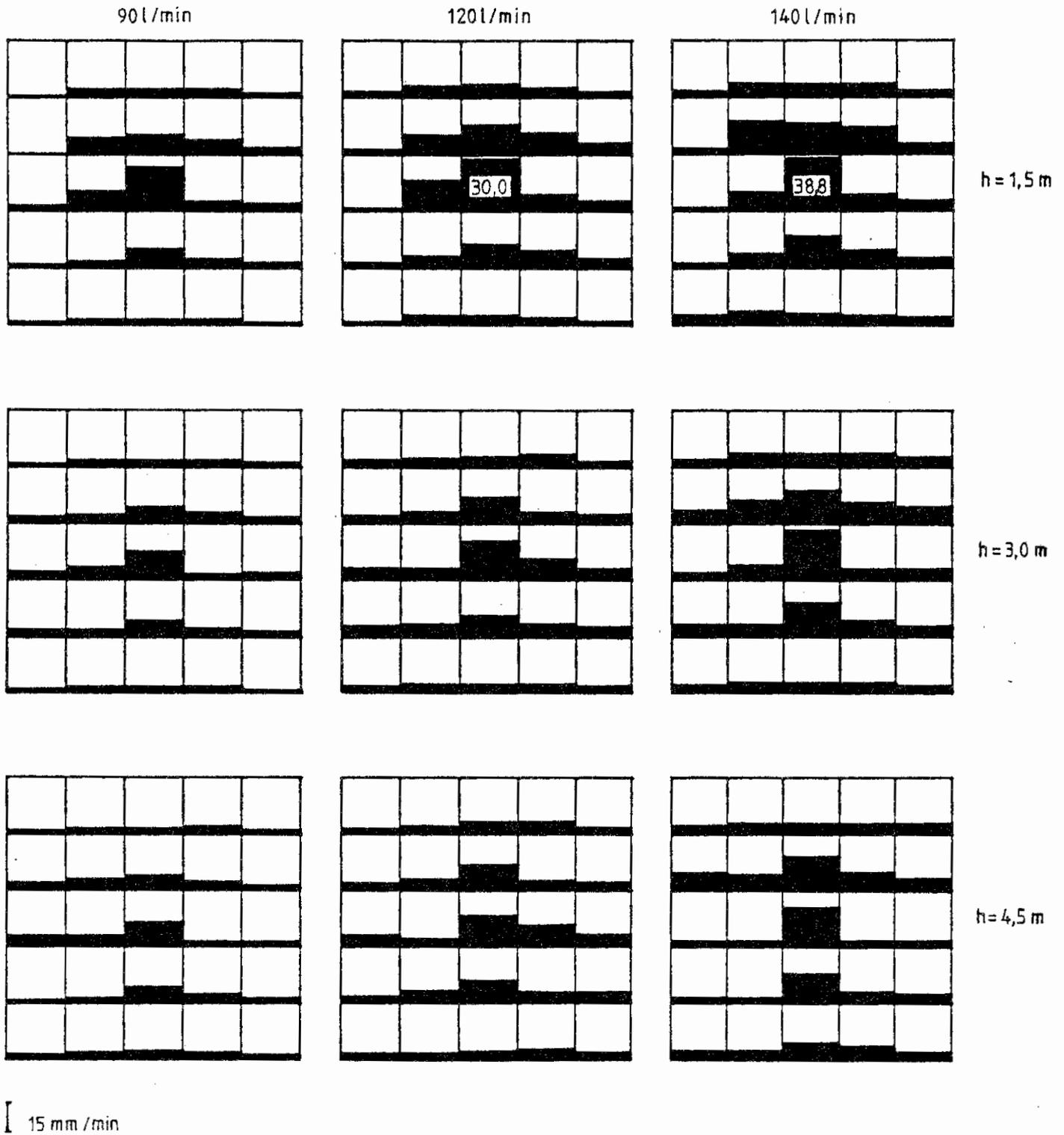
Bild 1. Schema der Versuchsanlage.



I 15 mm/min

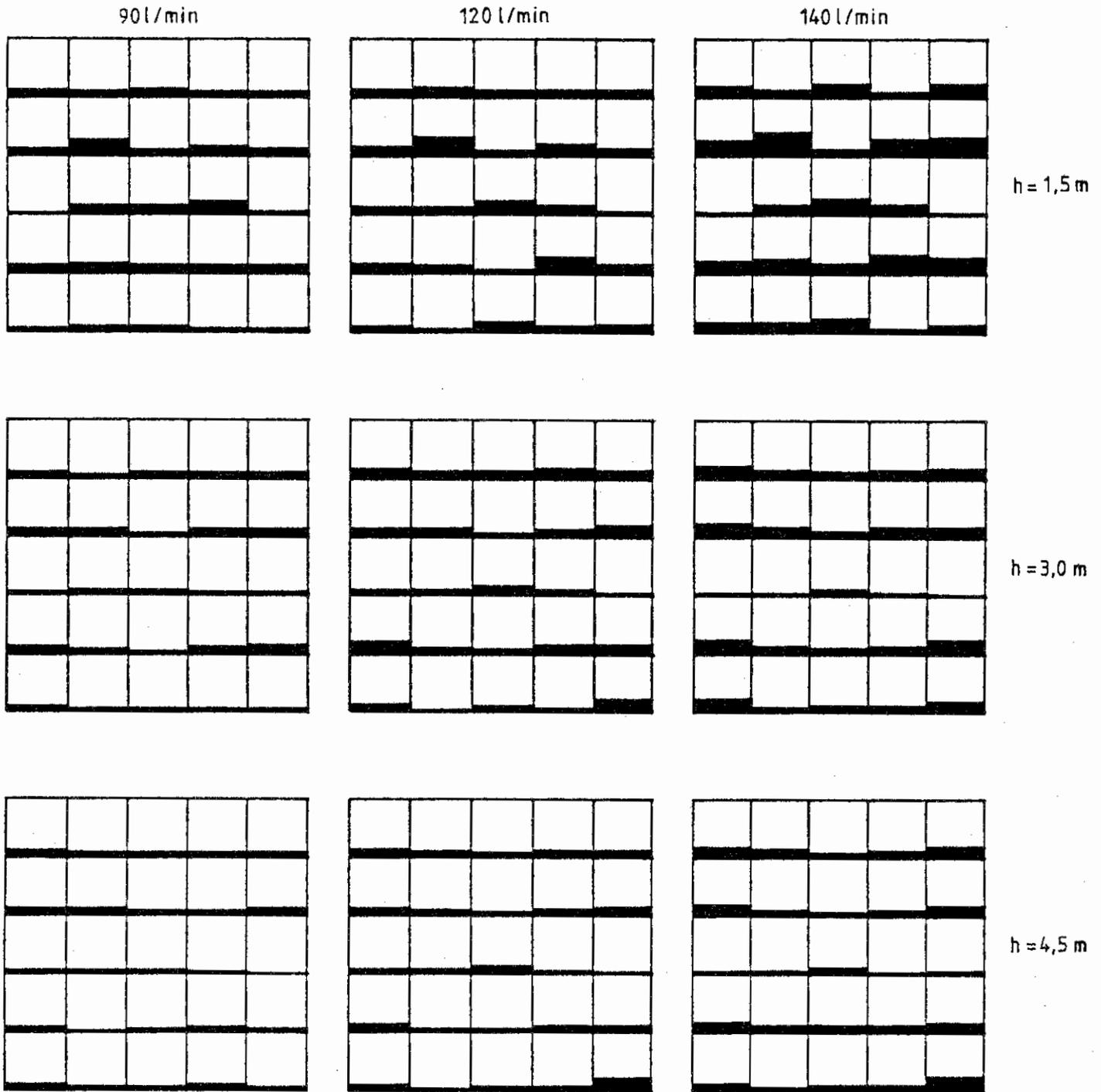
Sprinkler Typ A

Bild 2. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche und des Volumenstromes bei einem zentralen Sprinkler.



Sprinkler Typ B

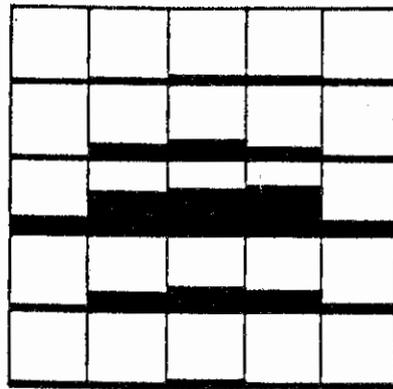
Bild 3. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche und des Volumenstromes bei einem zentralen Sprinkler.



I 15 mm/min

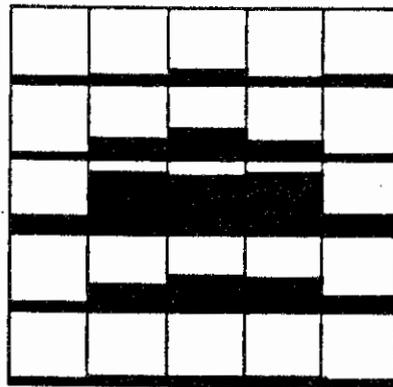
Sprinkler Typ C

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 einem zentralen Sprinkler.



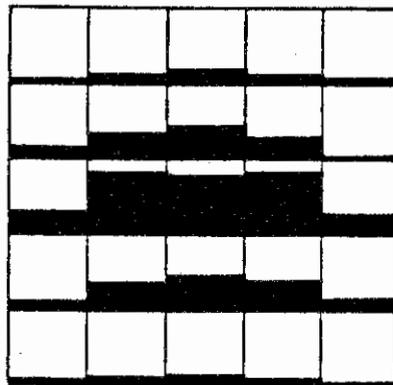
110 l/min

h = 4 m



140 l/min

h = 4 m



165 l/min

h = 4 m

I 15 mm/min

Sprinkler Typ D

Bild 5. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² bei einer Sprinklerhöhe in Abhängigkeit des Volumenstromes bei einem zentralen Sprinkler.

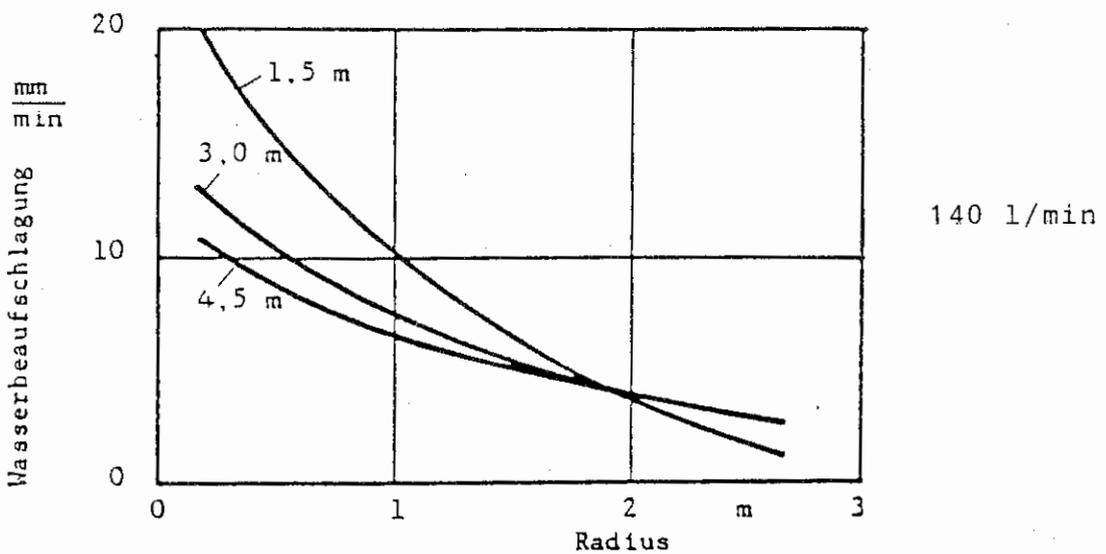
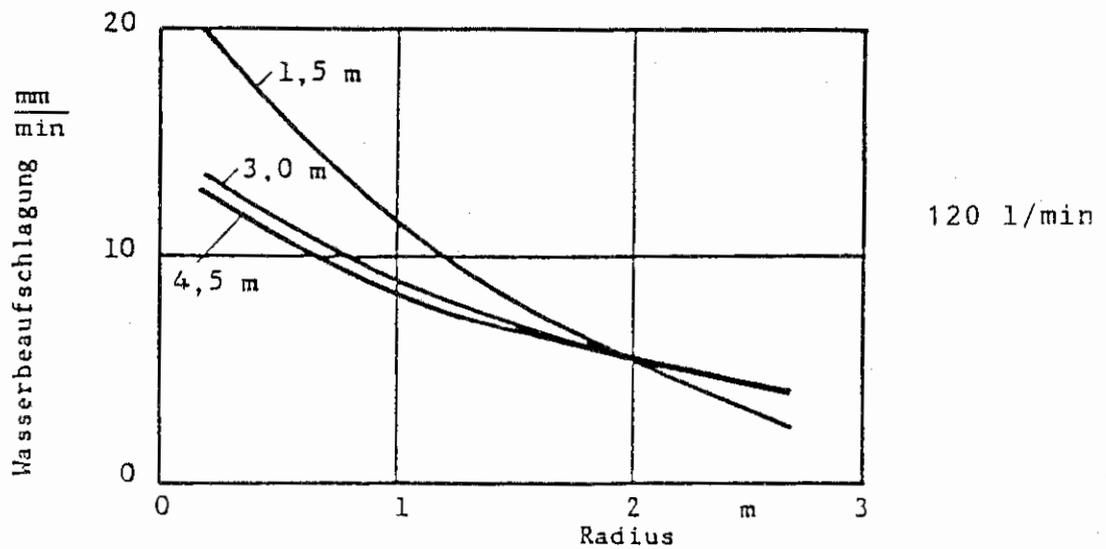
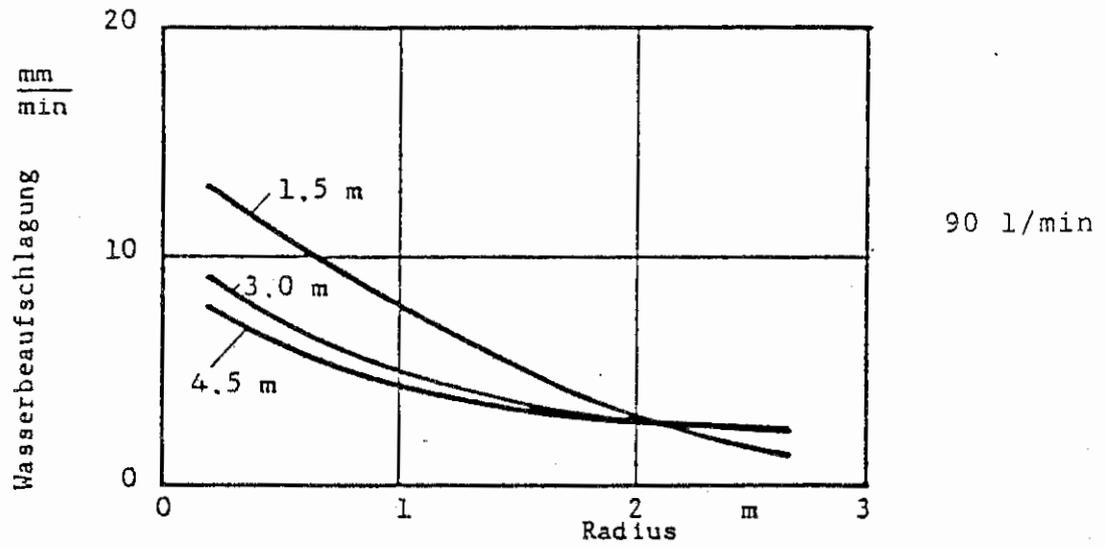


Bild 6. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei 3 Sprinklerhöhen (Typ A).

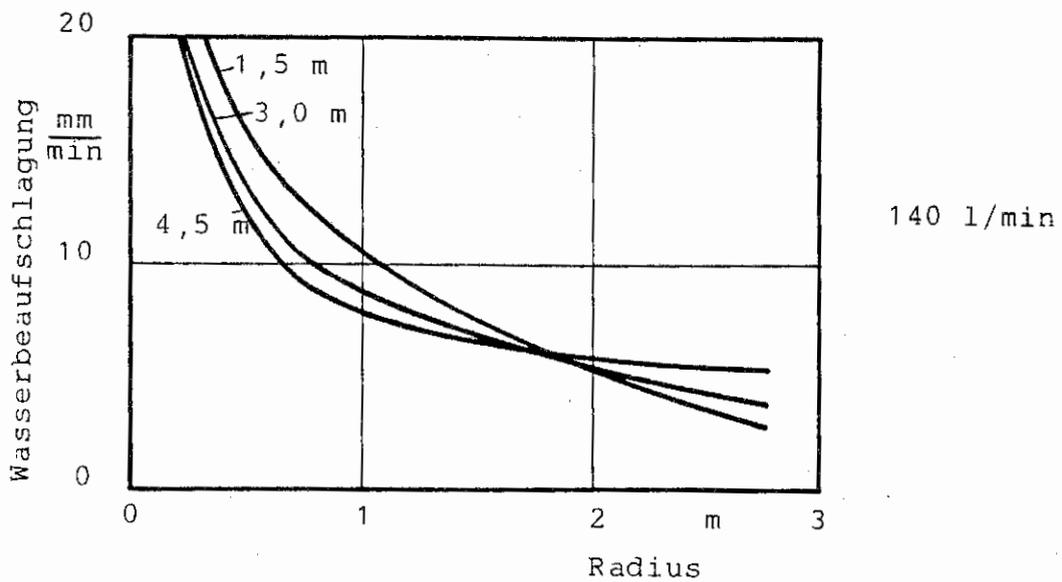
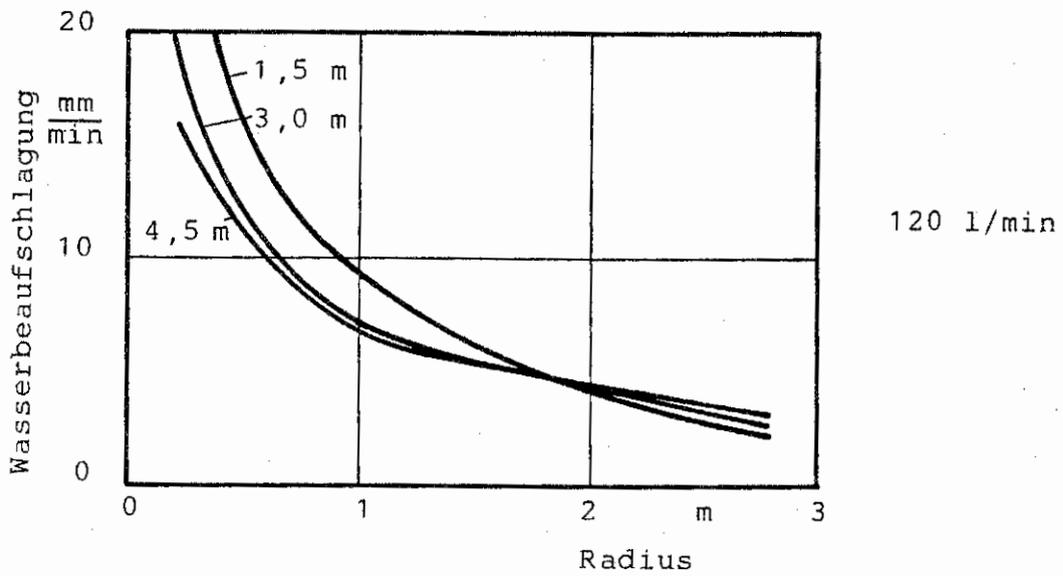
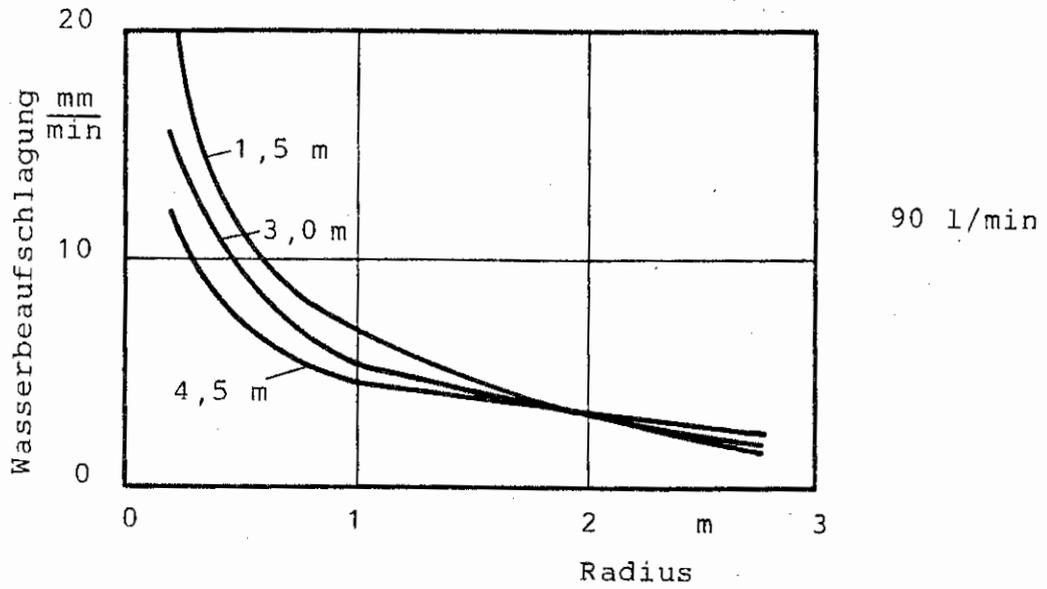


Bild 7. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei 3 Sprinklerhöhen (Typ E).

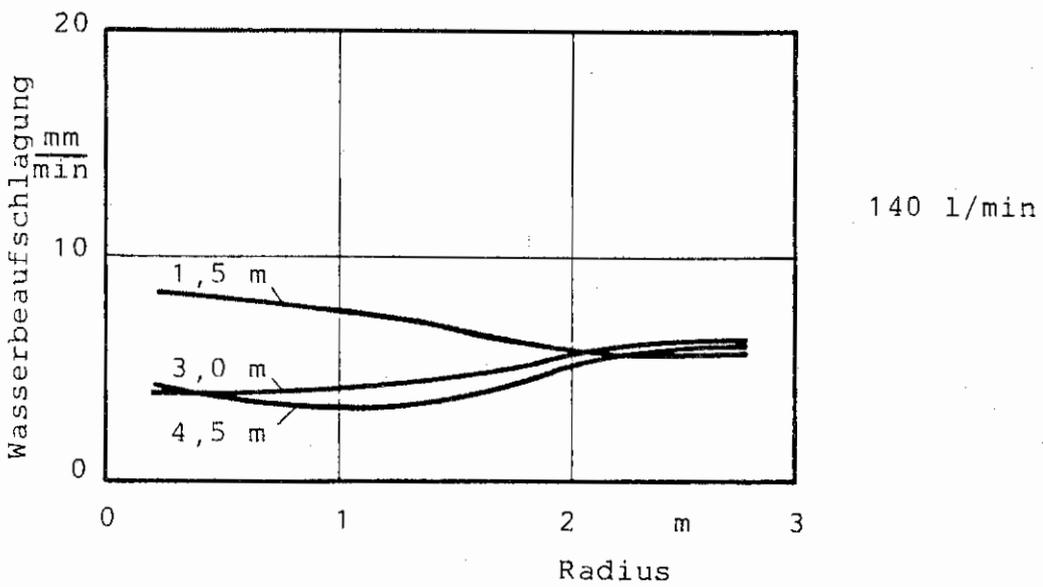
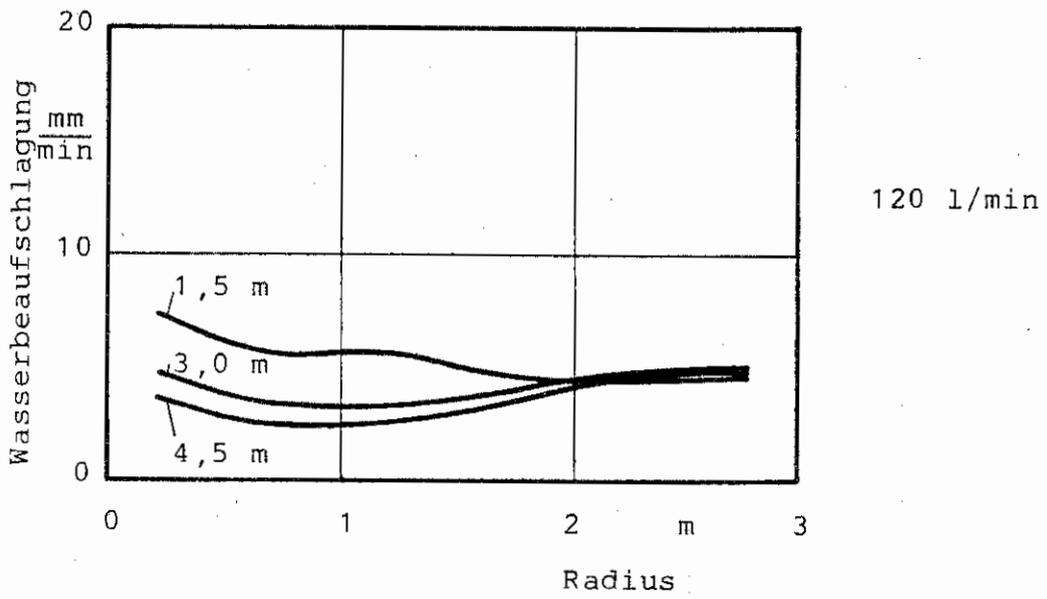
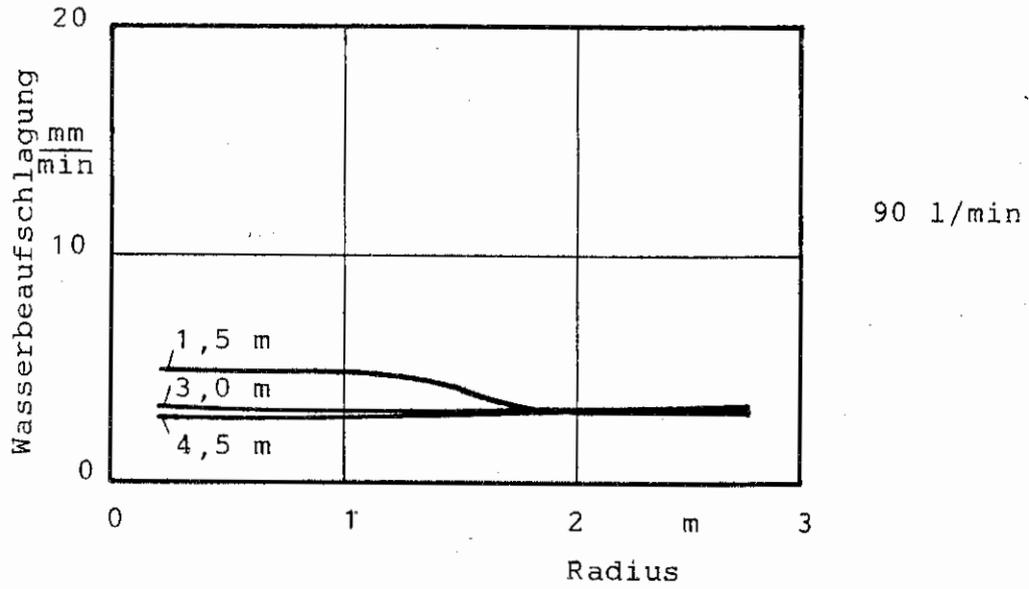


Bild 8. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei 3 Sprinklerhöhen (Typ C).

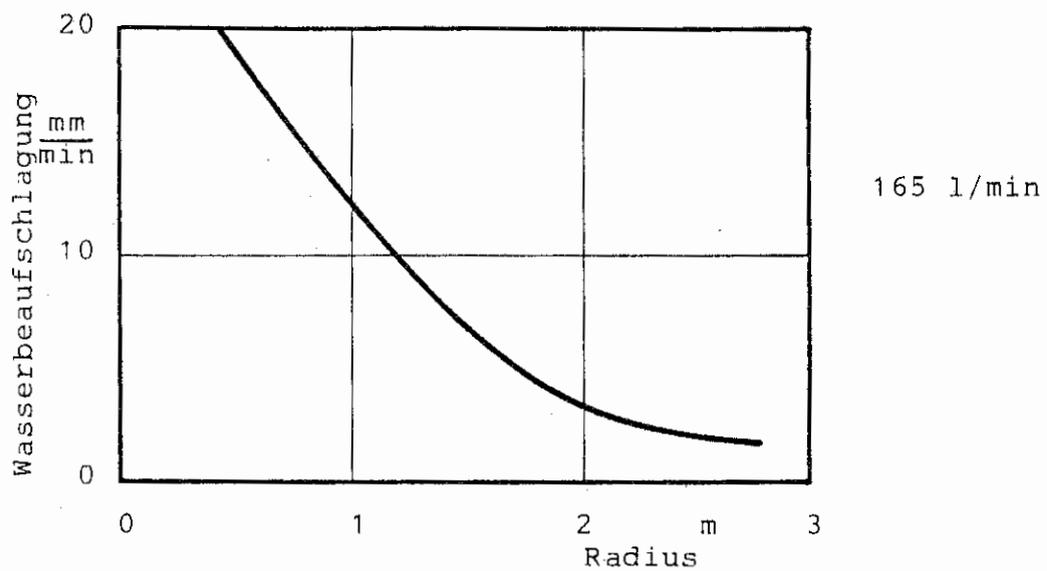
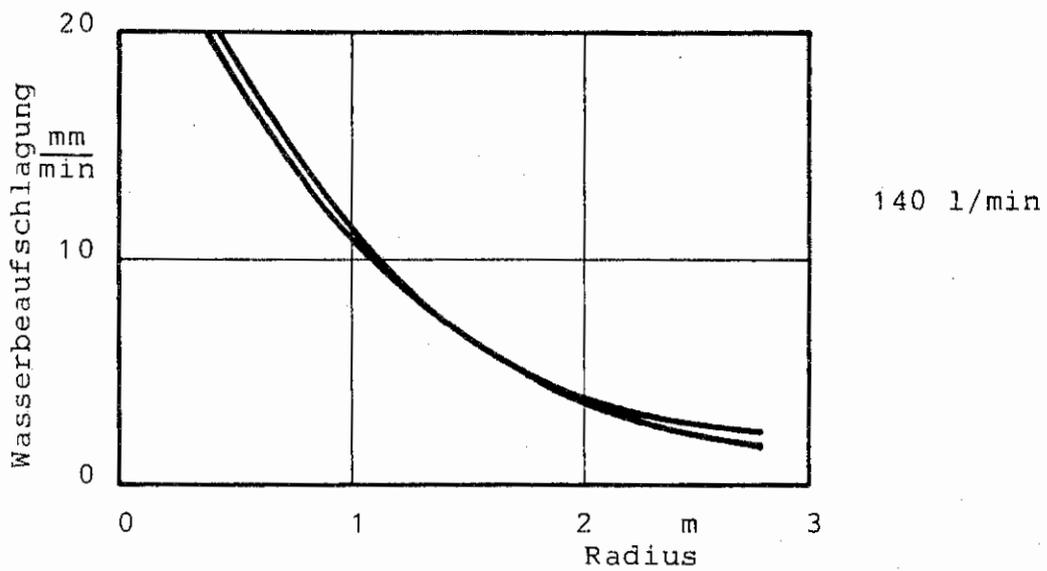
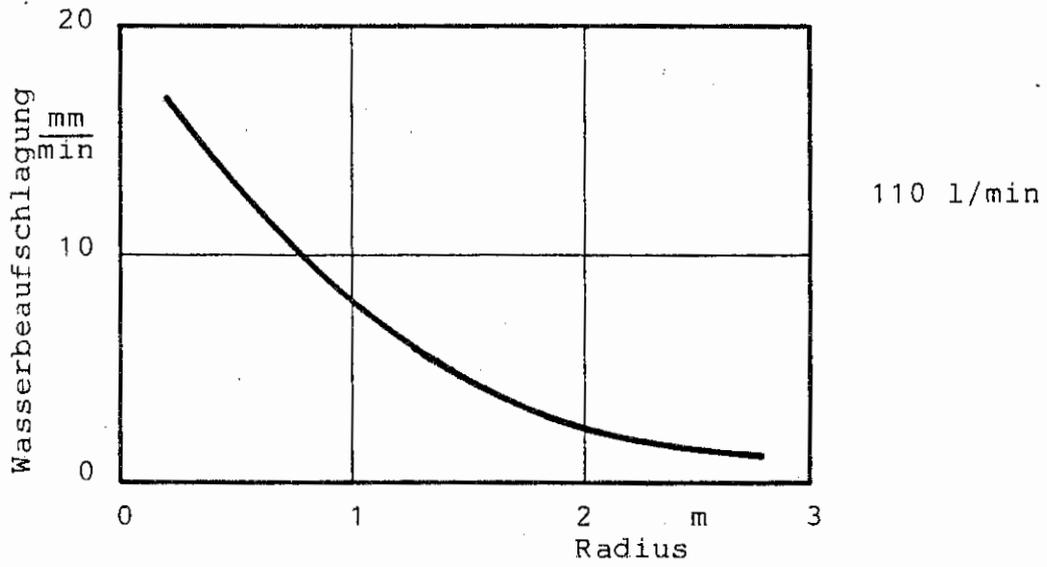
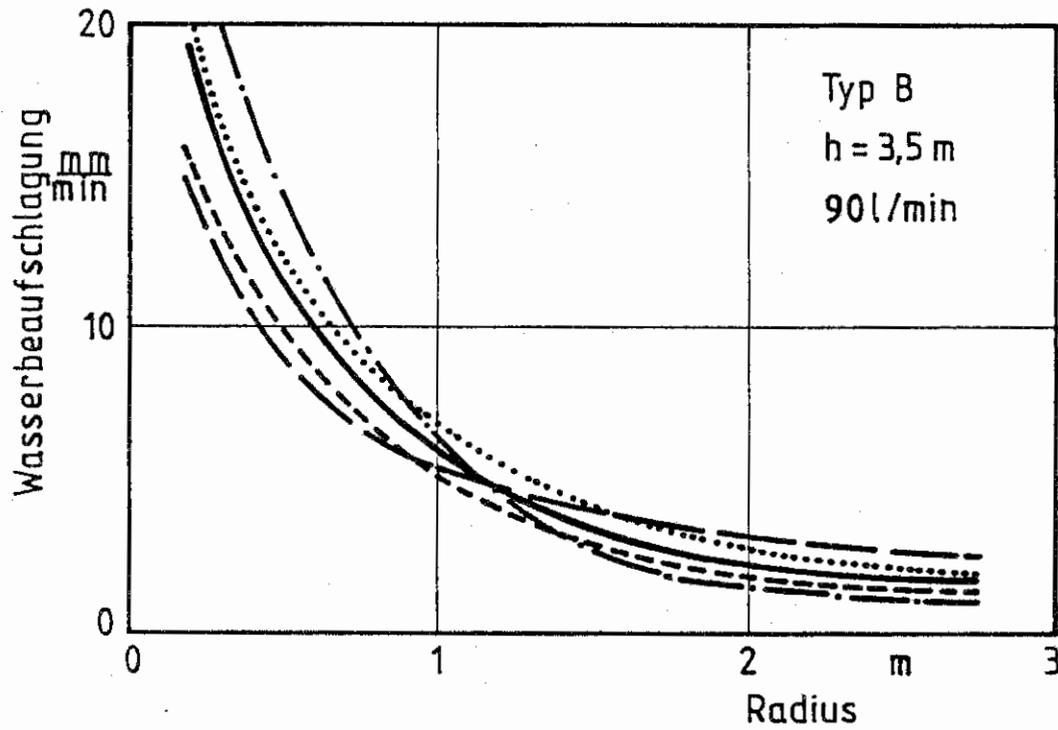


Bild 9. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei einer Sprinklerhöhe von 4 m (Typ D).



- ohne Gitterboxen, ohne Dach
- mit Gitterboxen, ohne Dach
- mit Gitterboxen, mit Dach
- .-.- mit Gitterboxen mit 48 Wellpappkartons, mit Dach
- - - - mit Gitterboxen mit 80 Wellpappkartons, mit Dach

Bild 10. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei einer Sprinklerhöhe von 3,5 m und 5 verschiedenen Aufbauten über den Auffangwannen (Typ B).

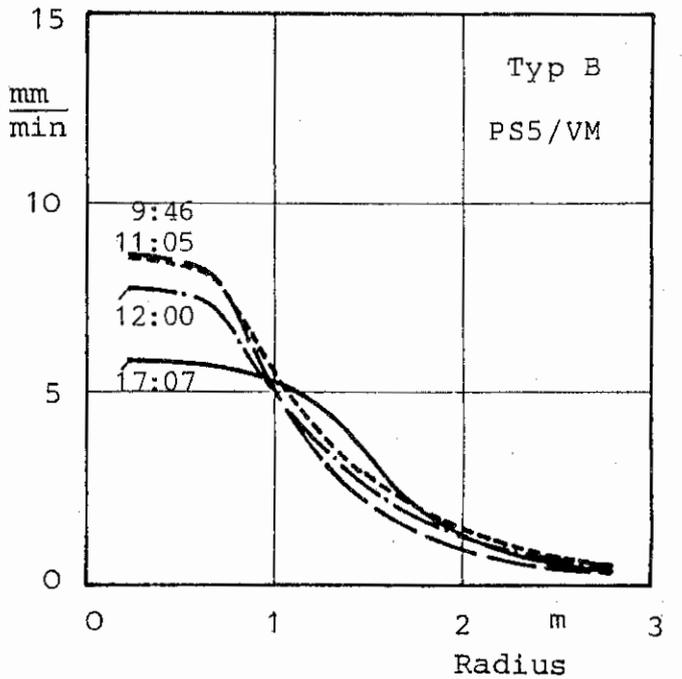
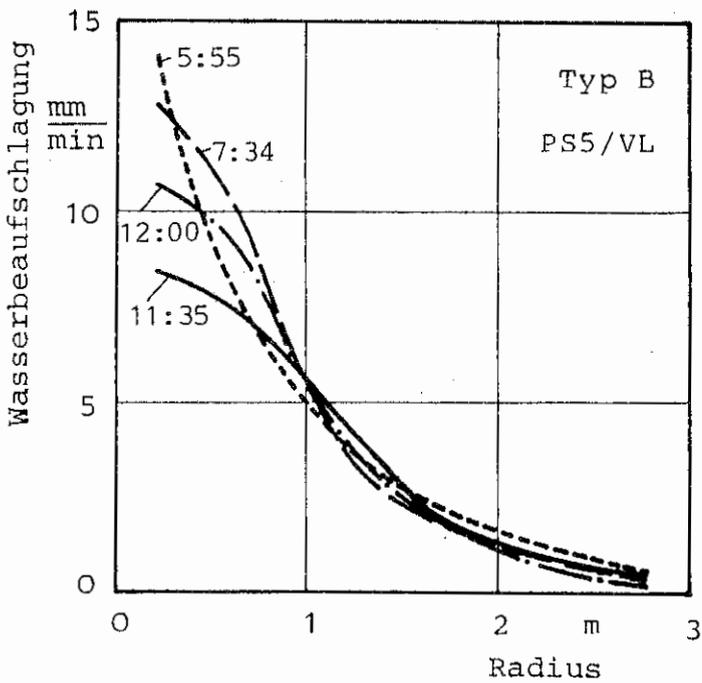
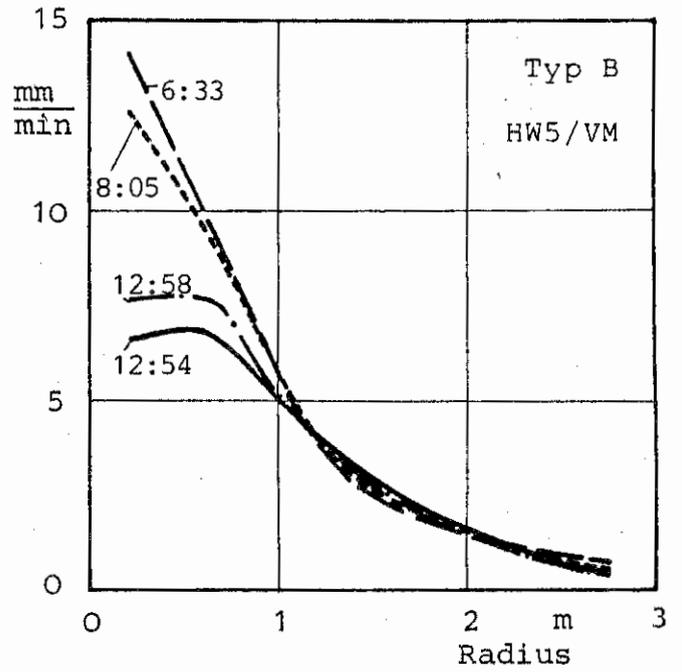
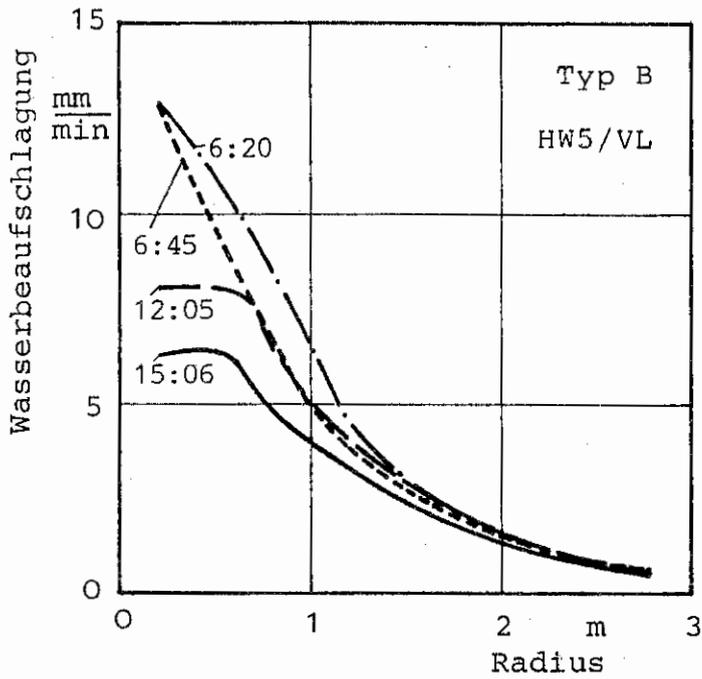


Bild 11. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius im Brandfall bei unterschiedlichen Brandlasten und Zündstellen.

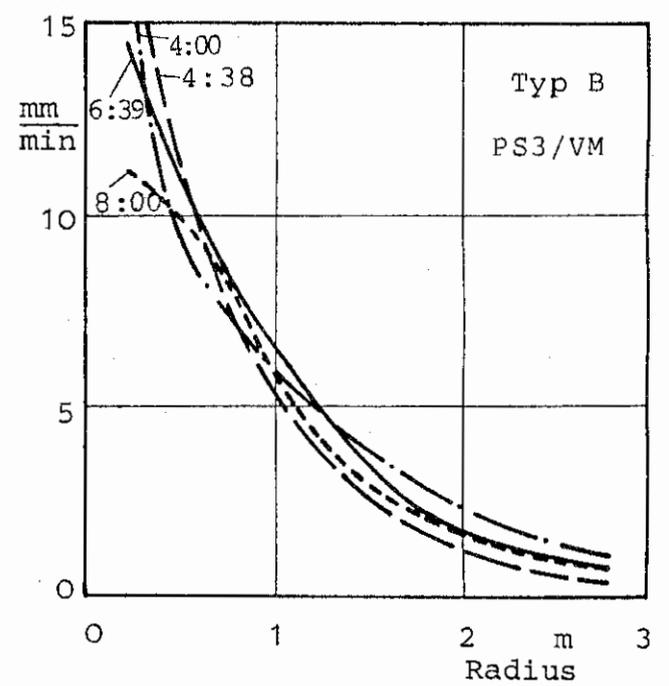
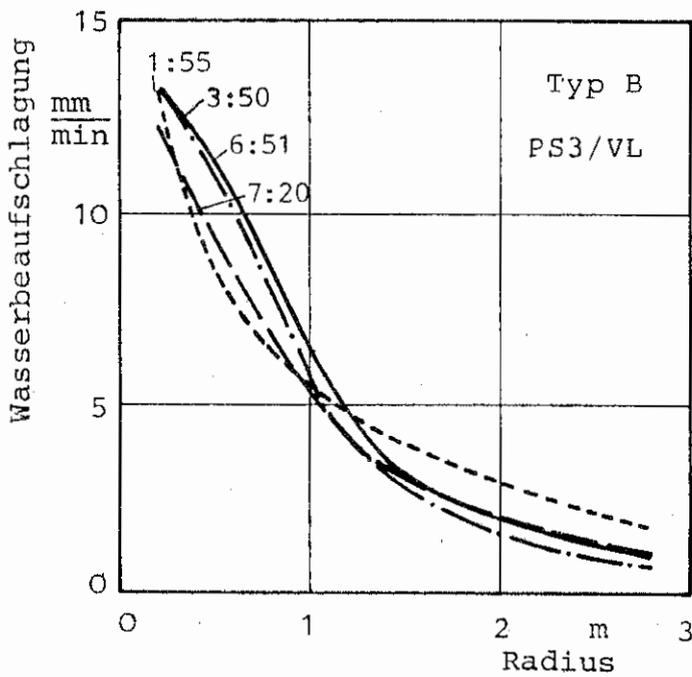
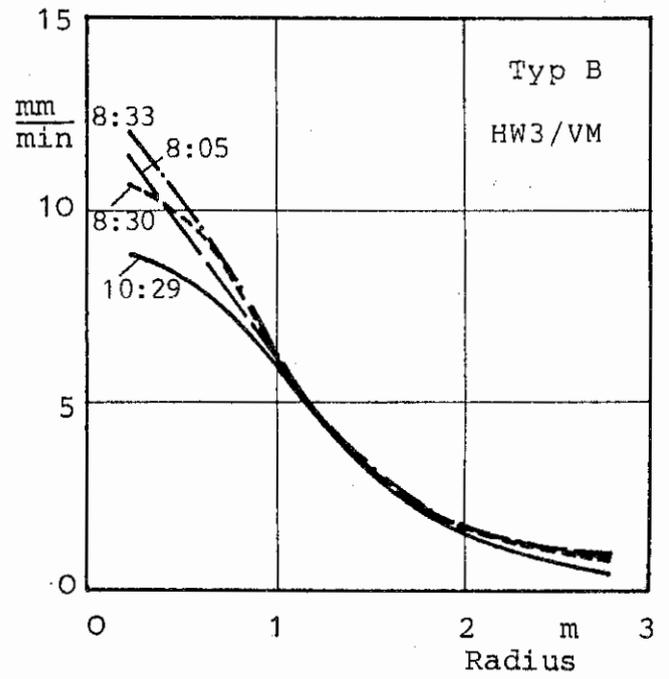
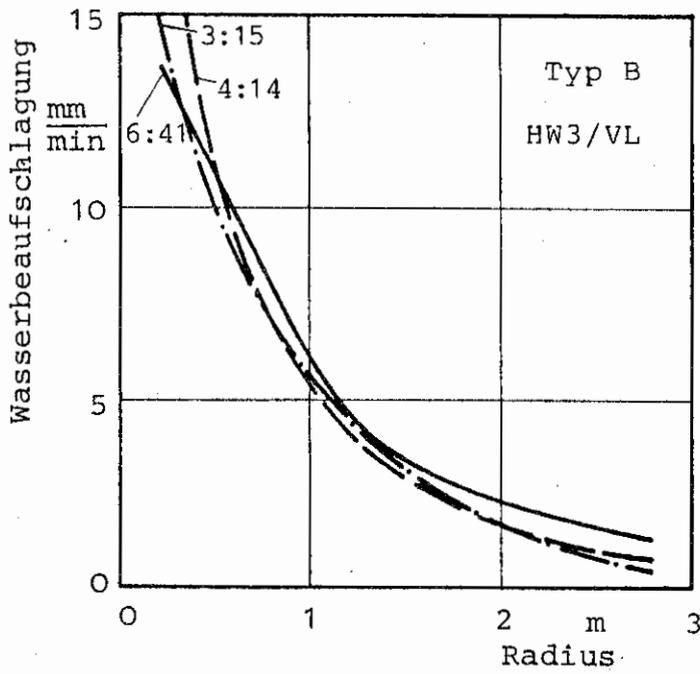


Bild 12. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius im Brandfall bei unterschiedlichen Brandlasten und Zündstellen.

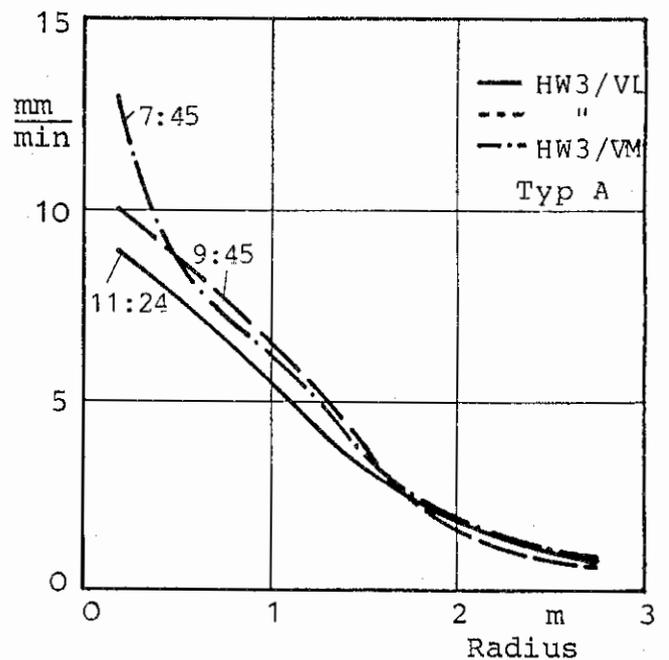
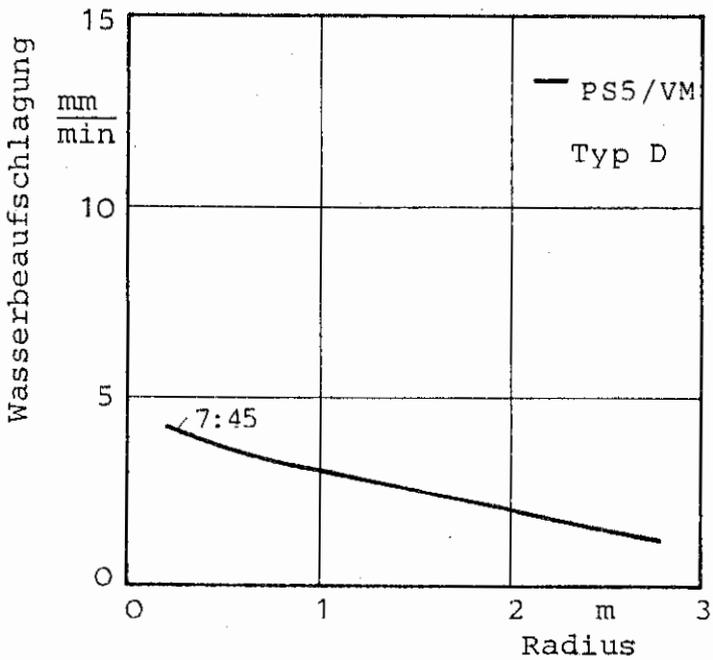
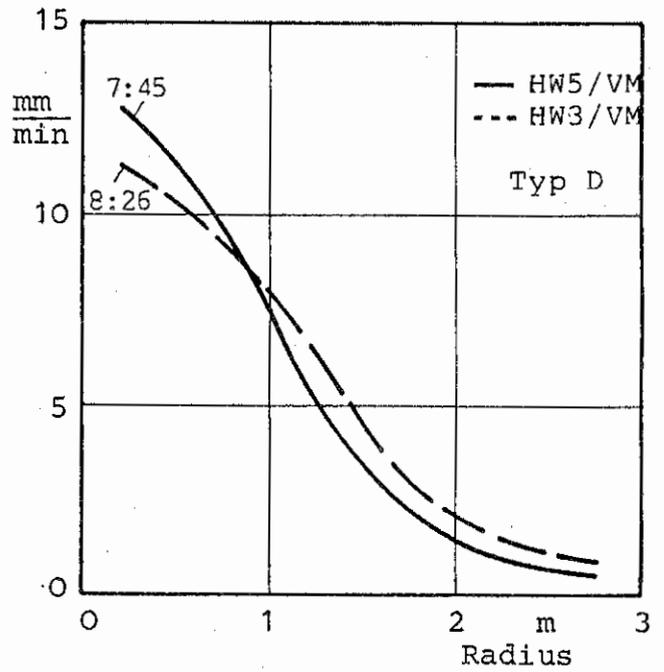
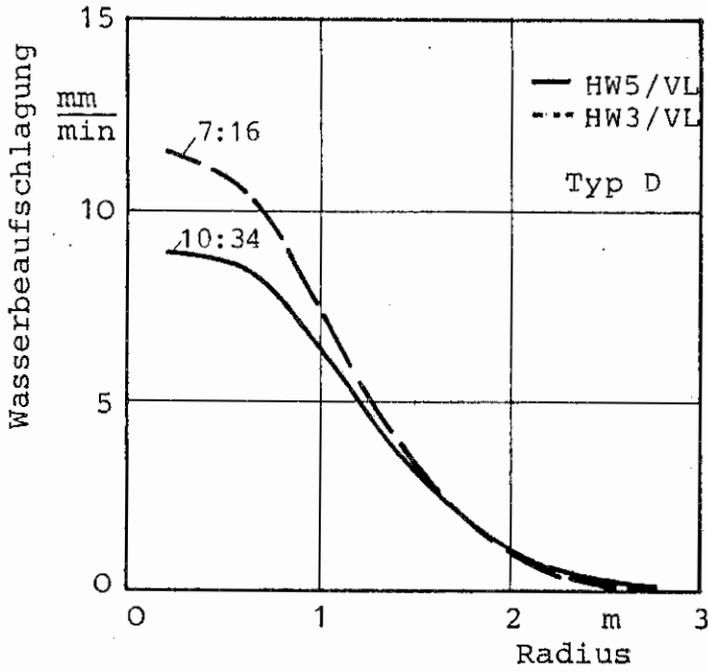


Bild 13. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius im Brandfall bei unterschiedlichen Brandlasten und Zündstellen.