

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil I: Literaturlauswertung und
Errichtung der Versuchsanlage

53

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

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

Forschungsbericht Nr. 53

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 1: Literaturlauswertung und
Errichtung der Versuchsanlage

von

Dipl. Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
März 1985

FA.Nr: 101(5/83)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2. SPRINKLERANLAGEN	2
2.1. Vorschriften und Richtlinien	2
2.2. Prüfanordnungen	4
2.3. Bemessungsgrundlagen	4
3. LITERATURÜBERSICHT	6
3.1. Zerstäubung	6
3.2. Mathematische Ansätze	9
3.3. Tropfen	12
3.4. Tropfengröße	14
4. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANLAGE	16
4.1. Wasserversorgung	16
4.2. Versuchsraum	18
5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	20
5.1. Versuchsergebnisse und Diskussion	20
6. ZUSAMMENFASSUNG	26
7. FORMELZEICHEN	27
8. LITERATURVERZEICHNIS	28
9. TABELLEN UND BILDER	33

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Errichtung großer Gebäudekomplexe für Produktions- und Lagerzwecke schafft hohe Brandrisiken, wodurch in einem Schadensfall die Höhe der Kosten an Materialverlust enorm ansteigt. Das Risiko kann gesenkt werden, indem bereits baulicherseits Brandabschnitte gebildet und zusätzlich schwerentflammbare Stoffe verwendet werden. Bei der Lagerung selbst wird das Brandrisiko je nach Art des jeweiligen Lagergutes und der jeweiligen Lagerhaltung mehr oder weniger stark erhöht und eine Brandbekämpfung im Falle eines Schadenfeuers durch die Feuerwehren sehr schwierig.

Es ist daher dringend erforderlich, vorbeugende Brandschutzmaßnahmen zu treffen, wozu auch die Einrichtung einer ortsfesten Löschanlage gehört. Bei diesen Anlagen wird als Löschmittel hauptsächlich Wasser eingesetzt, das auch bei den meisten Stoffen, die lagermäßig gestapelt werden, Verwendung findet. Der Vorteil einer ortsfesten Löschanlage besteht u.a. darin, daß sie ohne wesentliche Zeitverzögerung eingesetzt werden kann, um auf diese Weise die Zeit bis zum Eintreffen der Feuerwehr zu überbrücken.

Im Rahmen eines längerfristigen Forschungsauftrages werden Untersuchungen durchgeführt, die Aufschluß geben sollen über die Verteilung des Löschmittels Wasser über das Gut in Abhängigkeit der relativen Position der Sprinklerdüse zum Lagergut.

Sprinkleranlagen werden zur Bekämpfung von Entstehungsbränden installiert, wobei die Verteilung des Löschmittels sehr stark von der Brandausbreitung bzw. der Brandintensität abhängt. Deshalb werden diese Untersuchungen auf das Stadium des Entstehungsbrandes beschränkt.

Im vorliegenden Bericht werden einige grundlegende Ausführungen über Sprinkler und deren Installation in Anlagen zusammengestellt, wobei verschiedene Vorschriften und Richtlinien Anwendung finden.

Weiterhin wird eine Auswertung des der Forschungsstelle für Brandschutztechnik zugänglichen in- und ausländischen Schrifttums durchgeführt, wobei zunächst auf grundlegende Veröffentlichungen über die Zerstäubung von Wasser und die Bildung von Tropfen eingegangen wird.

Anschließend wird der Aufbau der Versuchsanlage beschrieben und erste Ergebnisse ihrer Arbeitsweise aufgezeigt.

2. SPRINKLERANLAGEN

2.1 Vorschriften und Richtlinien

Für die Errichtung von Sprinkleranlagen gelten verschiedene Vorschriften und Richtlinien /1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8/.

Unter dem Begriff Sprinkleranlagen versteht man ortsfeste selbsttätige Feuerlöscheinrichtungen, die das Löschwasser durch festverlegte Rohrleitungen unmittelbar bis an den Brandherd heranführen. Die Sprinkler sind im Bereitschaftszustand geschlossen und öffnen sich erst bei einer bestimmten Brandwärme. Sie leiten damit automatisch die Funktionen der Anlage ein, verteilen das Löschmittel Wasser auf den Brandherd und geben gleichzeitig Feueralarm. Sprinkleranlagen sind also sowohl Feuerlöschanlagen als auch Feuermeldeanlagen /1/.

Der Sprinkler besitzt ein wärmeempfindliches Auslöseelement, das die Düse freigibt, wenn eine vorgegebene Temperatur erreicht ist. Die Sprinkler werden nach Art ihrer Auslöser eingeteilt in Schmelzlot-Sprinkler und Glasfaß-Sprinkler.

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

Die Sprinkler besitzen die in Tabelle 1 aufgeführten Nennauslösetemperaturen, wobei den verschiedenen Temperaturen unterschied-

liche Farben zugeordnet sind. Der Wasserdurchfluß eines Sprinklers errechnet sich nach folgender Formel:

$$Q = K \cdot \sqrt{P} \quad (1)$$

wobei sich der Faktor K nach der Nennweite der Düse richtet. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Werte aufgeführt.

Eine weitergehende Unterscheidung der Sprinkler ist durch die Art der Wasserverteilung bzw. die Art der Anordnung gegeben. So unterscheidet man Normalsprinkler, Flachschild-Sprinkler, Schirmsprinkler, Seitenwand-Sprinkler bzw. Stehende-, Hängende- und Horizontal-Sprinkler. Außerdem werden Sprinkler in Spezialausführung angeboten. Nähere Einzelheiten dazu sind in /3,4/ angegeben.

Bei den Anlagen unterscheidet man im wesentlichen 2 Arten, nämlich die Naßanlage, deren Rohrnetz bis zu den Sprinklern ständig mit Wasser gefüllt ist und die Trockenanlage, deren Rohrnetz nach dem Alarmventil mit Luft gefüllt ist. Davon abweichende Konstruktionen werden als Sonderanlagen bezeichnet.

Die Anzahl der Sprinkler richtet sich nach der zu schützenden Fläche. Für eine vorgegebene Bodenfläche der zu sprinklernden Räume, die je nach Sprinklertyp unterschiedlich groß ist, ist ein Sprinkler vorgesehen. Der Durchmesser des Hauptrohres muß dabei der Sprinkleranzahl entsprechen. Die Rohre sind für eine vorgegebene Sprinkleranzahl nach /1,2/ zu bemessen (Tabelle 3). Jeder Sprinkler soll mindestens ca. 60 l/min Wasser liefern. Weitere Einzelheiten und Abweichungen sind aus den Vorschriften und Richtlinien zu entnehmen. Sie können innerhalb dieses Berichtes nicht alle aufgeführt werden.

2.2 Prüfanordnungen

Um die Wasserverteilung von Sprinklern beurteilen zu können, werden sie in Prüfanordnungen getestet, wie sie in Bild 1 für Normal-, Schirm-, Flachschild- und Trockensprinkler dargestellt sind. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 4 angegebenen Werte müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein. So muß mindestens 50% der austretenden Wassermenge in der Meßzonenfläche auftreffen. Die Meßzonenflächen befinden sich in einem quadratischen Raum mit einer Seitenlänge von 7m bis 8m und die Sprinkler in vorgegebenen Abständen zueinander in einer Höhe von 2,70m. Auf der Meßzonenfläche befinden sich Behälter mit einer Kantenlänge von jeweils 50cm. In Bild 1 sind zusätzlich die Größen der Meßzonenflächen und die Rohrleitungsdurchmesser eingetragen.

Weitere Prüfmethode für Sprinkler wie z.B. der Korrosionstest, Wärmebeständigkeitstest, Druckstoßprüfungstest und Holzkippenstest werden in /3,4/ ausführlich beschrieben.

2.3 Bemessungsgrundlagen

In Produktionsbereichen mit Lagerungen kann die Auslegung einer Sprinkleranlage hinsichtlich ihrer Kenngrößen nach der entsprechenden Brandgefahr (BG 2.1 bis BG 3.3) erfolgen, wenn die in Tabelle 5 aufgeführten Grenzstapelhöhen nicht überschritten werden /2/.

Die wesentlichen Kenngrößen für Sprinkleranlagen wie Brandgefahr, Grenzstapelhöhe, Betriebszeit, Wasserbeaufschlagung und max. Schutzfläche je Sprinkler sind in Tabelle 5 ebenfalls aufgelistet. Für ein Übersteigen der Grenzstapelhöhe und für Zwischenwerte der Lagerhöhen kann die Wasserbeaufschlagung für 3 verschiedene Lagerarten aus Bild 2 entnommen werden. Für besondere Art und Nutzung der Gebäude und Einrichtungen ist die Planung gesondert vorzunehmen. Dabei können nach /2/ z.B. Sprinkler in Zwischenebenen erforderlich werden, deren Wasserbeaufschlagung aus Bild 2 zu ersehen ist.

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Bezeichnung der Brandgefahr-Einstufung, wobei Verpackungs- und Lagermaterialien mit aufgeführt sind. So läßt sich bei vorgegebenem Lagergut (L) und der zugehörigen Verpackung (V) sofort die Brandgefahr (BG) ablesen und mittels Tabelle 5 und Bild 2 eine Wasserbeaufschlagung bei gegebener Lagerhöhe ermitteln.

Tabelle 7 zeigt die Sprinklerabstände in Abhängigkeit der Brandgefahren, der Schutzfläche und der Aufteilung für verschiedene Sprinkler, während in Tabelle 8 die Sprinklerabstände zu den Decken und Dächern angegeben sind.

Die Sprinkleraufteilung wird für die normale und versetzte Anordnung in Bild 3 aufgezeigt. Weitere Vorschriften sind in den Richtlinien für Sprinkleranlagen /2/ nachzulesen, da innerhalb dieses Berichtes wegen der Vielfalt der zu beachtenden Einzelheiten nur ein Teil wiedergegeben werden kann.

In den National Fire Codes /5/ werden weitere Richtlinien zur Errichtung von Sprinkleranlagen aufgeführt. So werden die Einrichtungen in Gefahrenklassen eingestuft, wobei die jeweilige Brandbelastung eine Rolle spielt. Es wird auf die Wasserversorgung der Sprinkler, die Rohrleitungen, den Druck in den Leitungen und den Korrosionsschutz eingegangen, wie auch die für die unterschiedlichen Gefahrenklassen zu schützenden Flächen angegeben, die z.B. bei Lagern mit Paletten max. 3 716 m² (40 000 sq ft) groß sein dürfen. Ebenso wird auf die je nach Einrichtung nicht zu überschreitende Fläche für jeden Sprinkler hingewiesen, die zwischen 8,4 m² (90 sqft) und 20,9 m² (225 sq ft) liegt. Die Einbauabstände und die Verwendung unterschiedlicher Sprinkler für verschiedene Konstruktionen werden ausführlich beschrieben.

Aus Bild 4 kann für bestimmte zu schützende Flächen für die entsprechend den Gefahrenklassen (leicht-, normal-, extra gefährlich, Gruppe 1,2,3) eingestuften Einrichtungen die Wasserbeaufschlagung ermittelt werden /5,7/. Die Klassifikation geht dabei von leicht- über normal- bis hin zu extra gefährlichen Einrichtungen.

In diesen Richtlinien /5/ wird auch über die Installation von Sprinklern in kleineren Wohneinheiten (Dwellings, Mobile Homes) berichtet sowie anhand von 7694 Brandfällen aufgelistet, welche Einrichtung vorhanden war, wo der Ursprung des Brandes lag und welcher Art die Zündung war, so daß gewisse Rückschlüsse in bezug auf mehr Brandsicherheit gezogen werden können.

Um den Einfluß der Druckabhängigkeit auf den Durchflußvolumenstrom aus der Düse aufzuzeigen, ist diese in Bild 5 für einen 1/2"-Sprinkler dargestellt. Mit der Zunahme des Druckes steigt auch der Durchflußvolumenstrom deutlich an.

Im Unterschied zu den Sprinkleranlagen gibt es die Sprühwasser-Löschanlagen, die ebenfalls ortsfest, aber mit offenen Düsen installiert werden /8/. Auf diese wird hier nicht weiter eingegangen.

3. LITERATURÜBERSICHT

3.1 Zerstäubung

Eine Verbesserung der Löschwirkung von Wasser durch Versprühen ist bei vielen Brandfällen bekannt. Die Löschwirkung zerstäubten Wassers beruht hauptsächlich darauf, daß durch die Zerlegung des Wassers in kleine Tröpfchen seine freie Oberfläche erheblich vergrößert wird. Dadurch wird die Wärmebindung wesentlich verbessert, wobei die Verdampfungsgeschwindigkeit der Oberfläche der Tröpfchen direkt und dem Durchmesser umgekehrt proportional ist /9,10,11/.

Herterich /12/ hat bereits auf die bessere Löschwirkung fein verteilten Wassers hingewiesen. Je feiner die Zerstäubung, d.h. je größer die freie Oberfläche als Reaktionsfläche ist, desto größer wird die Verdampfungsgeschwindigkeit. Jedoch hängt die Verdampfungsgeschwindigkeit nicht nur von der Oberfläche, sondern auch von der Wärmeübergangszahl ab und diese wiederum vom

Durchmesser. Darauf machten bereits Radusch und Krüger /13,14/ aufmerksam.

Die Tropfengröße ist ein Maß für die Zerstäubung /15/. Ein Tropfen mit einem Durchmesser von 12,4 cm, d.h. 1 l Wasser, hätte eine Oberfläche von 485 cm². Dagegen hat 1 l Wasser mit Tropfen mit einem Durchmesser von 1 mm eine Oberfläche von ca. 60 000 cm². Durch die größere Oberfläche wird die Wärmebindung außerordentlich beschleunigt /16/. Die Wärmemenge kann pro Zeiteinheit 125 mal so schnell aufgenommen werden, d.h. die Löschwirkung wird erhöht. Statt des einen Tropfens sind bei dieser Annahme aus 1 l Wasser 1,9 Mio Tropfen entstanden.

Bild 6 zeigt die Abhängigkeit der Oberfläche und der Tropfenzahl vom Tropfendurchmesser nach Radusch /17/. Unter gleichbleibenden Bedingungen wächst demnach die Verdampfungsgeschwindigkeit proportional mit der Oberflächenvergrößerung.

Mit feinst zerstäubtem Wasser müßte die beste Löschwirkung zu erreichen sein, aber, der Löschwirkung sind Grenzen gesetzt, denn je kleiner die Tröpfchen werden, desto leichter werden sie vom Luftwiderstand gebremst. Windeinflüsse sind dabei noch garnicht berücksichtigt. Die Tropfen können so klein sein, daß sie nur noch in der Luft schweben, d.h. einen nebelähnlichen Zustand erreichen und vom Auftrieb der Flammengase fortgerissen werden. Eine Löschwirkung ist nicht mehr möglich.

Bild 7 zeigt den Widerstandsbeiwert kleiner kugelförmiger Teilchen im Luftstrom bei konstanter Temperatur nach /13/. Es ist deutlich zu erkennen, daß z.B. bei konstanter Geschwindigkeit der Widerstandsbeiwert zu größeren Tropfen hin abnimmt.

Wenn eine Flüssigkeitsmasse zerfällt und die entstehenden Tropfen einen Größtwert nicht überschreiten können, so wird die Aufteilungsenergie dann minimal, wenn alle Teilchen dasselbe, maximal mögliche Volumen aufweisen. Eine solche Verteilung mit einheitlicher Tropfengröße wird bei den Zerstäubungsvorgängen i.a. nicht beobachtet /18/.

Hinrichs /19/ bemerkt, daß die zur Zerstäubung aufzubringende Energie erst in der freien Atmosphäre dem Wasserstrom entzogen und der kinetischen Strömungsenergie entnommen wird.

Durch eine Erhöhung des Druckes an der Düse werden die Wassertropfen kleiner und die Wärme kann dadurch besser aufgenommen werden. Durch die bessere Kühlwirkung wird auch der Wasserverbrauch kleiner, was für Radusch /13/ eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Trösch /18/ hat mit seiner Arbeit die Möglichkeit geschaffen, aus dem größten in einem Gemisch vorkommenden Tropfen die Verteilung aller weiteren bezüglich ihres Durchmessers zu bestimmen. Bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung wurde die Gesamtoberfläche als konstant angenommen. Die Ausflußgeschwindigkeit legt bei sonst gleichen Bedingungen den größten Tropfen fest. Über eine Tropfenzahlhäufigkeit erhält man durch Integration eine Summenkurve, d.h. die kleineren Tropfen entstehen nach einem statistischen Gesetz, während der größte Tropfen durch ein Stabilitätsgesetz bestimmt wird. Außerdem werden eine Volumenverteilungsfunktion, Volumendichtefunktion und -häufigkeit aufgestellt. Der Zerfall von Tropfen wird als Folge einer inneren Turbulenz sowie von rotationssymmetrischen Schwingungen angesehen.

Bär /20/ betrachtet in seiner Arbeit die Zerstäubung durch rotierende Scheiben und hat bereits eine Beziehung für den maximalen Tropfendurchmesser aufgestellt, wobei die Oberflächenkräfte überwiegen und die Zähigkeit nicht in Erscheinung tritt.

Bei Hinrichs /21/ beeinflußt die Viskosität von allen Flüssigkeitseigenschaften die Tropfengröße am meisten, d.h. mit sinkender Viskosität wird ein gleichmäßigeres Tropfengemisch mit kleineren Durchmessern erreicht.

3.2 Mathematische Ansätze

Bei der Zerstäubung von Flüssigkeiten wird ein Sprühstrahl nach der Größe der vorhandenen Tropfen beurteilt. Haenlein /22/ hat erstmals den Zerfall eines Flüssigkeitstrahles erforscht. Er konnte nachweisen, daß die Zerstäubung z.B. von der Strahlgeschwindigkeit abhängt.

Trösch /18/ geht von einem größten Durchmesser aus, der im Sprühstrahl vorhanden sein kann und dessen Durchmesser durch ein Stabilitätsgesetz bestimmt wird. Unter Berücksichtigung aller Kräfte kommt er zu einer Gleichung, aus der sich der größte Tropfen in Abhängigkeit vom Druck berechnen läßt. Einflußgrößen für den größten Tropfen werden in einer Potenzfunktion zusammengefaßt, wobei Konstanten und Stoffwerte bekannt sein müssen und andere Parameter wie z.B. Konstruktion unberücksichtigt bleiben.

Gebhardt /23,24/ führte Ähnlichkeitsbetrachtungen durch und verglich mit Versuchen, wobei Trägheits- und Oberflächenkräfte, sowie physikalische Werte der Flüssigkeit eine Rolle spielen. Außerdem wird hier die Konstruktion berücksichtigt. Durch seine Überlegungen ist es möglich aus dem Wasserdurchfluß, dem Rückdruck an der Düse, dem Düsendurchmesser und den physikalischen Eigenschaften den größten in einem Gemisch vorkommenden Tropfendurchmesser zu berechnen.

Herterich /25/ berücksichtigte die Wassermenge und die Tropfenoberfläche, um bei einheitlicher Tropfengröße ein Ersatzgemisch mit demselben Volumen- und Flächenverhältnis herzustellen.

Edeling /26/ hat erstmals für die für die Zerstäubung notwendige Energie den folgenden Ansatz aufgestellt:

$$A = \frac{\sigma \cdot 6}{d} \quad (2)$$

und mit der vorhandenen Energie des Wassers in Beziehung gesetzt

$$E = \frac{m \cdot v_D^2}{2} = G \cdot H \quad (3)$$

Mittels des Wertes für die Oberflächenspannung, einem vorgegebenen Tropfendurchmesser und Druck vor der Düse läßt sich die Zerstäubungsarbeit berechnen. Je nach Ansatz oder Bestimmungsmethode erhält man verschiedene mittlere Tropfendurchmesser.

Magnus /15/ erwähnt, daß durch zerstäubtes Wasser, in Abhängigkeit von der Tropfengröße, Brände von flüssigen und festen Stoffen mit gutem Erfolg gelöscht wurden. Der Tropfen muß dabei einerseits genügend Widerstand gegen den Auftrieb der heißen Brandgase leisten und andererseits mindestens soviel Wasser pro Zeiteinheit auf die Oberfläche des brennenden Materials bringen, daß die pro Zeiteinheit entwickelte Wärme gebunden wird. Dies bedeutet, daß dem Tropfendurchmesser des aus einer Düse austretenden Löschwassers eine entscheidende Rolle zukommt.

Ten Bosch /27/ hat den Wärmeübergang von Luft an kugelige Teilchen untersucht, wobei sich die Luft und die Wasserstropfen in völligem Ruhezustand befanden. Er fand heraus, daß die Wärmeübergangszahl mit der Krümmung des Teilchens, d.h. kleiner werdendem Tropfenradius zunimmt, wie folgende Beziehung erkennen läßt:

$$\alpha = \frac{\lambda}{r} \quad (4)$$

Edeling /26/ stellte eine Beziehung für den Wärmeübergang an bewegten kleinen Wassertröpfchen auf:

$$Nu = 0,75 \cdot Pe^{0,5} \quad (5)$$

Für die Wärmeübergangszahl erhält man folgende Gleichung:

$$\alpha = 0,75 \cdot \frac{\lambda}{a^{0,5}} \cdot \frac{v^{0,5}}{d^{0,5}} \quad (6)$$

Hierbei ist zu beachten, daß die Geschwindigkeit und der Tropfendurchmesser in Abhängigkeit von Luftwiderstand und Schwerkraft bzw. Verdampfung abnehmen.

Radusch /13/ führte, um die Verdampfungszeiten von Tropfen verschiedener Größe zu bestimmen, bereits früher an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik Versuche durch. Dabei

wurde ein einzelner Tropfen an einem dünnen Faden aufgehängt und in einem Heißluftstrom verdampft, wobei die Temperatur und die Geschwindigkeit als konstant angesetzt wurden. Bild 8 zeigt, daß die Verdampfungszeit mit zunehmendem Durchmesser des Tropfens größer wird. Für das Beispiel wurde für $t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ und für $v = 25 \text{ cm/s}$ angenommen. Als Ergebnis dieser Versuche wurde u.a. festgestellt, daß die gemessenen Verdampfungszeiten kürzer waren als die berechneten, was mit der Tropfenaufhängung in Verbindung gebracht wurde. Unter Berücksichtigung, daß der jeweilige Tropfen seine Kugelgestalt verliert, liegt der Exponent von "d" eher höher als 0,5.

Krüger und Radusch /14/ führten außerdem Versuche durch, bei denen sie einen Wassertropfen an einer Kapillaren aufhängten und diesen mit erhitzter Luft umströmten. Während der Verdampfung des Tropfens wurde durch geregelten Nachfluß von Wasser der Durchmesser konstant gehalten. Dabei wurden jeweils die Zeiten gemessen, in denen eine bestimmte Wassermenge in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit verdampfte. Die daraus erhaltenen Kurvenwerte für die Wärmeübergangszahl waren größer als die errechneten in /28/.

Ranz und Marshall /28/ gaben folgende Beziehung an:

$$\text{Nu} = 2 + 0,6 \text{ Pr}^{1/3} \cdot \text{Re}^{1/2} \quad (7)$$

Frössling /29/ und Findeisen /30/ stellten mit der Beziehung für die meteorologische Verdunstung eine Gleichung auf:

$$\frac{dW}{dz} = 24,3 \cdot \eta \cdot r \cdot \Delta x \cdot F \quad (8)$$

Diese Gleichung geht mit Hilfe der Beziehungen (4) und (7) über in

$$\text{Nu} = 2,83 + 0,6 \text{ Pr}^{1/3} \cdot \text{Re}^{1/2} \quad (9)$$

Diese Gleichung beschreibt den Wärmeübergang an einen in heißer Luft verdampfenden Wassertropfen, wobei die Autoren annehmen, daß

die sich um den Wassertropfen bildende Dampfhülle den Wärmeübergang fördert, was durch die Wärmeleitfähigkeit und durch die Oberflächenvergrößerung durch die Dampfhülle verursacht wird.

Bild 9 zeigt die Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit nach /13, 14/. Es ist zu erkennen, daß bei konstanter Luftgeschwindigkeit und konstantem Tropfendurchmesser die Wärmeübergangszahl mit zunehmender Temperatur steigt. Sie nimmt ebenfalls zu, wenn die Temperatur konstant ist und der Tropfendurchmesser abnimmt.

In /31/ wird von Schiller über Verdampfungsvorgänge von Flüssigkeiten in porösen Kugeln in einem Luftstrom von 30 °C bis 500 °C berichtet. Dabei wird vom Nusselt-Ansatz ausgegangen und Verdampfungszeiten und -temperaturen bestimmt.

3.3 Tropfen

Krüger /32/ führte bereits Untersuchungen mit dem Ziel durch, daß bei einem Brand nicht nur Wasser in ausreichender Menge vorhanden sein und an den Brandherd herangebracht werden muß, sondern bei der Brandbekämpfung auch so weit als möglich Wasserschaden vermieden werden sollte.

Das Aufbringen von Wasser verändert den Brandablauf, d.h. innere Oberflächen und Gase werden gekühlt und die Ventilation und Schadstoffbildung wird verändert. Dabei entzieht 1 Liter Wasser dem Brandobjekt bei Erwärmung von 10 °C auf 100 °C ca. 376 kJ/kg und beim Verdampfen ca. 2257 kJ/kg. Dies ergibt zusammen 2633 kJ/kg und es entstehen dabei ca. 1700 l Dampf. Die größte Kühlwirkung entsteht also durch das Verdampfen. Verdampfungs- und Kühleffekt sind proportional zur Oberfläche der Tropfen /34/. Dies bedeutet, daß der Tropfengröße beim Löscheinsatz eine entscheidende Rolle zukommt.

Der Wassertropfen ist nun aber kein fester Körper und kann keinen beliebig hohen Staudruck der Luft aushalten. Überschreitet der Staudruck und damit die Tropfengeschwindigkeit einen bestimmten

Wert, dann wird der Tropfen zunächst eingedrückt und dann zer-
spalten. Radosch gibt in /13/ eine Beziehung an, damit ein
Tropfen nicht auseinanderreißt. Dabei ist der innere Druck defi-
niert als Quotient der Oberflächenspannungskraft zum Tropfenquer-
schnitt.

$$p = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d}{\pi \cdot \frac{d}{4}} = \frac{\sigma \cdot 4}{d} \quad (10)$$

Daher muß sein

$$\frac{v^2 \rho}{2} \leq \frac{\sigma \cdot 4}{d} \quad (11)$$

d.h.

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{8 \cdot \sigma}{d \cdot \rho}} \quad (11a)$$

Diese Stabilitätsbedingung besteht zwischen der oberen Geschwin-
digkeitsgrenze und dem Tropfendurchmesser.

Bei Wassertropfen von etwa 6 mm Durchmesser überschreitet die
Endfallgeschwindigkeit die Stabilitätsgrenze, d.h. größere sind
deshalb in der Natur nicht möglich. Mit abnehmendem Durchmesser
wächst die Stabilität des Tropfens und die Endfallgeschwindigkeit
nimmt ab. Ein Tropfen mit einem Durchmesser von z.B. 0,35 mm
erreicht nach Gleichung (11a) eine Geschwindigkeit von 36,2 m/s.

In /33/ wird berichtet, daß Tropfen mit dem Durchmesser von
weniger als 1 mm kugelförmig sind, zwischen 1 mm und 5 mm infolge
größerer Kräfte davon abweichen und bei größeren als 6 mm fallen
die Tropfen auseinander. Außerdem wird erwähnt, daß die Tropfen-
größe abnimmt, wenn die Dichte der Flüssigkeit zunimmt. Zusätz-
lich wird die für einzelne Tropfen übertragene Wärmemenge ange-
geben.

Radosch erwähnt in /13/, daß experimentell keine ausgeprägte
Abhängigkeit der Tropfengröße von der Dichte gefunden wurde,
während auf theoretischen Ableitungen beruhende Formeln eine
umgekehrte Proportionalität aufweisen.

3.4 Tropfengröße

Da bei einem Löscheinsatz zum einen die Tropfen wegen des zu erwartenden Auftriebes genügend groß, zum anderen wegen der Löschwirkung die Oberfläche, wie bereits erwähnt, ebenso genügend groß, d.h. kleine Tropfen, sein sollte, wurden zahlreiche Untersuchungen zur Bestimmung der Tropfengröße durchgeführt.

Friedrich /34/ berichtet, daß die Bestimmung der Tropfengröße von Sprühdüsen auf anderen Gebieten bereits durchgeführt wurde wie z.B. Bespritzung von Obstanlagen oder anderer landwirtschaftlicher Kulturen sowie Einspritzung von Kraftstoff in Verbrennungsmotore oder Ermittlung der Regentropfengröße in der Meteorologie. Jedoch sind wegen der feineren Zerstäubung oder der größeren Wassermenge die Ergebnisse nicht direkt übertragbar. Dagegen sind nach seinen Überlegungen zur Bestimmung geeignet:

das Auffangen der Tropfen auf Filterpapier nach DIN 143 65, das Auffangen der Tropfen in tiefgekühlten Flüssigkeiten und eine photographische Methode, die an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik Anwendung fand.

Radusch gibt in /13/ an, daß bei Untersuchungen in England festgestellt wurde, daß bei einer Tropfengröße zwischen 0,4 mm und 0,6 mm die beste Löschwirkung erzielt werden konnte.

In /33/ wurden Untersuchungen mit Testbränden durchgeführt, die zeigten, daß mit Tropfen, deren Durchmesser kleiner als 0,15 mm war, keine Benzinbrände gelöscht werden konnten. Bei Versuchen mit größeren Tropfen nahm die Löschkraft zu. Kerosinbrände konnten mit Tropfen der Größe 0,6 mm bis 1,5 mm abgelöscht werden. Brände mit Äthylalkohol wurden mit Tropfen der Durchmesser 0,1 mm bis 0,9 mm und Holzbrände mit Tropfen zwischen 0,1 mm und 1,5 mm Durchmesser gelöscht. Als optimaler Durchmesser werden 0,35 mm genannt.

Hinrichs /35, 36, 37/ gibt als günstige Tropfengröße 0,1 mm bis 1 mm Durchmesser an, wobei als Einflußgröße die Art des Brennstoffes, die freiwerdende Wärme, der Auftrieb, die

Verdampfungsgeschwindigkeit und die kinetische Energie der Tropfen angeführt werden. In /11/ werden von ihm Durchmesser von 0,3 mm bis 1 mm Durchmesser genannt.

Krüger und Radusch /14/ geben zum Löschen von niedersiedenden Flüssigkeiten Tropfen mit 0,28 mm Durchmesser an, während für höher siedende größere Tropfen von 0,49 mm Durchmesser am besten löschen. Dabei wird darauf hingewiesen, daß kleine Tropfen hauptsächlich durch Flammenlöschung, und größere durch Kühlung des Materials zur Löschung beitragen. Es wird auch erwähnt, daß jeder Tropfengröße eine Endfallgeschwindigkeit zugeordnet ist, wie es auf Bild 10 dargestellt ist. Sie wird größer, wenn der Durchmesser der Tropfen zunimmt.

Gorbatschew und Nikiforowa gehen in /38/ für den Löschvorgang ebenfalls von Tropfen der Größe zwischen 0,1 mm und 1,5 mm Durchmesser aus, wobei hier mehr auf das Zusammenfließen bzw. Zerreißen der Tropfen eingegangen wird.

Von Untersuchungen mit Tropfengrößen von kleiner 0,2 mm bis ca. 3 mm Durchmesser wird von Burgoyne und Rasbash /39/ berichtet und festgestellt, daß der Kühleffekt bei feinen Tropfen größer war als bei größeren Tropfen.

Rasbash und Ragowski stellten in /40/ fest, daß die Löschzeit abnimmt, wenn auch die flüchtigen Bestandteile aus dem Brandstoff abnehmen. Weiterhin wird erwähnt, daß bei Bränden mit Alkohol, Benzol, Benzin und Kerosin die Löschzeit zunimmt, wenn auch die Tropfengröße zunimmt. Mit großen Tropfen war dagegen die Löschzeit bei Gasöl- und Trafoölbränden am kürzesten.

Rasbash und Nash berichten in /41/, daß Kerosin bei kurzer Vorbrennzeit mit kleinen Tropfen und bei langer Vorbrennzeit mit großen Tropfen am besten gelöscht werden konnte.

Rasbash und Skeet /42/ berichten über Kerosinbrände, die mit Tropfen zwischen 0,2 mm und 2 mm Durchmesser gelöscht wurden.

Beim Einsatz von Tropfen mit dem Durchmesser von 1,5 mm wurde das Kerosin aus der Wanne geblasen, während Tropfen von 0,2 mm bis 0,4 mm Durchmesser ein Sprudeln des Kerosins verursachten.

Mugele und Evens geben in ihrer Arbeit /43/ mehrere Tropfenverteilungskurven an.

Frazer und Eisenklamm /44/ befaßten sich überwiegend mit der Zerstäubung von Öltropfen, während Ranz und Hofelt /45/ sich mehr mit der Tropfenbewegung beschäftigten.

Bei Findeisen /30/ werden Formeln angegeben, die sich mehr auf das Verdampfen in Wolken beziehen, wobei Verdampfungszeiten und -strecken angegeben werden.

4. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANLAGE

Eine schematische Übersicht des Aufbaus der gesamten Versuchseinrichtung ist in Bild 11 dargestellt.

Der für die Untersuchungen verwendete Versuchsstand befindet sich in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik und besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten, nämlich der Wasserversorgungseinrichtung von der Wasserzufuhr bis zur Sprinklerdüse und dem Versuchsraum mit der Waagekonstruktion und der Modellbrandlast, wie auf Bild 11 zu erkennen ist.

4.1 Wasserversorgung

Nach dem Wassereintritt aus der städtischen Wasserversorgung wird das Wasser in einem Wasservorratsbehälter a von 1100 l aufgefangen, der als zusätzliches Wasserreservoir dient. An diesem Behälter ist ein Überlauf angebracht, der ins Freie führt. Über ein Ventil b wird das Wasser aus dem Behälter über eine Sauglei-

tung entweder zur Pumpe c * oder zur Pumpe d * gefördert. Die Pumpe c ist eine Kreiselpumpe, hat eine Motorleistung von 18,5 kW und eine Drehzahl von 2900 U/min. Die max. mögliche Fördermenge beträgt ca. 77 m³/h bei einer Förderhöhe von ca. 52 m WS. Die Pumpe d ist eine Stufenkreiselpumpe, hat eine Motorleistung von 4 kW und eine Drehzahl von 2900 U/min. Die max. möglich Fördermenge beträgt ca. 16 m³/h bei einer Förderhöhe von ca. 34 m WS. Am Austritt der Pumpe c befindet sich ein Ventil e, das geschlossen wird, wenn die Pumpe d in Betrieb ist.

Das Magnetventil f dient zum Öffnen und Schließen der Bypassleitung, die für beide Pumpen als Entlastungskreislauf bei geschlossenen Sprinklerdüsen eingebaut wurde. Durch teilweises Öffnen der Bypassleitung ist es auch möglich, im Gesamtsystem eine Druckänderung hervorzurufen. Auf diese Art kann z.B. das Zuschalten eines weiteren Sprinklerbereiches simuliert werden. Am Manometer g läßt sich der jeweilige Druck ablesen. Die Ventile h und i sind die Hauptabsperrventile im Erdgeschoß, wobei das Ventil i geschlossen wird, wenn die Pumpe c in Betrieb ist.

Der Absperrhahn j befindet sich im 1.Obergeschoß und ebenso das Manometer k. Mit Hilfe der elektronischen Wasseruhr l läßt sich die Durchflußmenge bestimmen. Die Ventile m und n auf den Enden eines Verteilers im 2.Obergeschoß dienen jeweils als Absperrventil bzw. als Zusatzanschluß. An diesem Verteiler zweigen 5 Leitungen ab, die jeweils mit einem Ventil o abgesperrt werden können.

Nach jedem Ventil ist es möglich an jeder Leitung ein Manometer p anzubringen, um den Druck im 2.OG zu messen. Über eine je ca. 6 m lange Schlauchleitung q ist die nach unten führende Rohrleitung verbunden. Dabei ist es möglich mittels eines elektrischen Manometers r an jedem Kupplungsstück s den Druck abzulesen. Am Ende der Rohrleitung wird durch ein Magnetventil t die Wasserzufuhr über die Sprinklerdüse u freigegeben oder unterbrochen.

* Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik bedankt sich bei der Fa. Total Walther Feuerschutz GmbH für die Spende der Speck-Sprinklerpumpen.

4.2 Versuchsraum

Für die Untersuchungen wurde ein in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik bestehender Versuchsraum umgebaut, so daß er für Brand- und Löschversuche geeignet ist. Die Abmessungen der zur Verfügung stehenden Fläche betragen in der Gesamtlänge ca. 16,00 m und in der Gesamtbreite 4,90 m. Die Gesamthöhe beträgt 6,40 m. Bild 2 zeigt den Versuchsraum in der Seitenansicht mit den wichtigsten Abmessungen.

Der eigentliche Versuchsraum ist nach 3 Seiten mit Wänden umgeben und nach vorne offen. Die Abmessungen einer seitlichen Wand beträgt in der Länge 11,50 m und in der Höhe 3,90 m (Bild 11). Die Wände sind in Reichweite der Sprinkler mit nichtrostenden Blechen geschützt, was auch auf Bild 13 deutlich zu erkennen ist.

Auf dem Boden des Versuchsraumes befindet sich eine Waagekonstruktion, mit deren Hilfe sowohl das Brandgut als auch das Löschwasser gewogen werden kann (Bild 12). Diese Waagekonstruktion ruht auf 4 Kraftmeßdosen, von denen je 2 über Doppel-T-Träger direkt miteinander verbunden sind. Die Querverbindungen zwischen den beiden Trägern ist durch 5 angeschweißte Doppel-T-Träger hergestellt. Auf diesen Trägern liegen Gitterroste, die gegen Verrutschen gesichert, aber abnehmbar verlegt sind (Bilder 13a und 13b).

Jeder Druckaufnehmer stellt eine allseitig freibewegliche Pendelstütze dar. Die Kraft selbst wird über eine gehärtete Zentrierdruckplatte und über eine darunter befindliche Kugelfläche auf die Kraftmeßdose übertragen. Das Meßsignal wird durch eine Widerstandsänderung der in den Kraftmeßdosen befindlichen Dehnmeßstreifen hervorgerufen. Über einen Meßverstärker gelangt das Signal in einen Rechner und wird auf Disketten gespeichert.

Die Tragkraft der Waage beträgt ca. $8 \cdot 10^4$ N, die Ansprechempfindlichkeit ca. 1 N. Fertigungsbedingte Höhenunterschiede der Konstruktion und horizontale Verschiebungen gleichen sich aus und beeinträchtigen die Messung nicht.

Auf dieser Waagekonstruktion befindet sich die bereits erwähnte Gitterauflage der Größe 4 m x 4 m aus einzelnen Gitterrosten. Auf diesen Rosten kann das Brandgut in beliebiger Weise angeordnet werden. In Bild 12 sind als Beispiel rechteckige Behälter nebeneinander und übereinander dargestellt. Unter der Decke vom 2.OG wurde ein Kran mit einer Laufkatze installiert, die über die gesamte Längs- und Querrichtung verschiebbar ist und eine Tragkraft von 500 kp besitzt. Mit Hilfe dieses Krans wurde z.B. bereits die Waagekonstruktion und kann das Brandgut positioniert werden.

Unterhalb der Waagekonstruktion können 25 Auffangwannen der Größe 80 cm x 80 cm x 10 cm aufgestellt werden, um die auf einer vorgegebenen Fläche auftretenden Wassermenge zu bestimmen (Bild 12). Diese Auffangwannen können ebenso auf den Gitterrosten angeordnet werden, wie auf Bild 13a gut zu erkennen ist. Auf den Bildern 13a und 13b sind außer dem Versuchsraum mit der Waagekonstruktion auch die herabhängenden Sprinklerrohre deutlich zu sehen. Die elektrischen Anschlüsse der Magnetventile müssen im Brandfall geschützt werden.

Die Sprinkler können, wie dies in Bild 12 angedeutet ist, beliebig in jeder Höhe eingesetzt werden. Dazu ist es lediglich erforderlich, mit verschieden langen Zwischenrohrstücken die senkrechte Rohrleitung zu verkürzen oder zu verlängern. In Bild 12 sind die Rohrstücke der Längen 1 m, 1,50 m und 1,70 m eingezeichnet.

Zusätzlich können Zwischenabmessungen durch Hochziehen der Rohrleitung, in Bild 12 gestrichelt angedeutet, erreicht werden. Auf diese Art können die Sprinklerdüsen stufenlos vom Boden bis unterhalb der Gitterauflage im 2.OG installiert werden.

Bild 14 zeigt den Verteiler im 2.OG und die Anschlüsse samt Schlauchleitungen. Die Gitterrostaufgabe wurde schematisch dargestellt. Der Wasserzufluß wird hinter der elektronischen Wasseruhr in 5 Einzelleitungen aufgeteilt, die über separate Ventile abgesperrt werden können. Dabei ist es möglich, jeweils an einem Kupplungsstück ein Manometer anzubringen, um z.B. den Druck an der höchsten Stelle der Anlage zu bestimmen. In Bild 14 ist der

Abstand der 4 äußeren nach unten führenden Leitungen mit 2 m angegeben. Der mittlere Sprinkler ist genau in der Mitte und ebenfalls über dem Zentrum der Waagekonstruktion (Bild 13). Durch die Verwendung der Gitterauflage kann der Abstand der senkrechten Leitungen jeweils im Abstand eines Rohrdurchmesser beliebig verändert werden.

Die Bilder 15a und 15b zeigen den bereits erwähnten Verteiler, die davor installierte elektronische Wasseruhr, die Ventile, ein elektrisches Manometer sowie die Gitterauflage und die Schlauchleitungen zu den 5 Sprinklern. Die Gitterauflage im 2.OG ist ähnlich konstruiert wie die auf der Waagekonstruktion.

5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden Versuche durchgeführt, wobei entweder jeweils ein oder fünf hängende Normalsprinkler im Einsatz waren, wie dies in den Bildern 16a und 16b deutlich zu erkennen ist. Diese Untersuchungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, die Anlage zu testen und die maximal möglichen Einstellwerte beim Betrieb von einem und von fünf Sprinklern zu ermitteln.

5.1 Versuchsergebnisse und Diskussion

In den Tabellen 9 und 10 sind jeweils für die Pumpen c und d Drücke in unterschiedlichen Höhen eingetragen (siehe Bild 11), die von verschiedenen Parametern abhängig sind, wie z.B. dem Öffnen und Schließen der Sprinklerdüsen und der Bypassleitung.

Ein Vergleich der vor der Düse herrschenden Drücke bei diesen Untersuchungen mit den in Bild 5 eingetragenen, zeigt, daß bei konstanten Durchflußmengen eine Abweichung zu höheren Drücken vorhanden ist. Dies liegt daran, daß der Meßort nicht genau

übereinstimmt und auch die Sprinklerdüse selbst nicht von der gleichen Konstruktion war.

Bei den Untersuchungen waren die Sprinklerdüsen zunächst kurzzeitig geschlossen, so daß von den Pumpen jeweils kein Wasser gefördert werden konnte. Die entsprechenden Drücke wurden in den Tabellen 9 und 10 eingetragen. Wird nun eine Sprinklerdüse geöffnet, so sinkt der Druck und es fließt der in den Tabellen angegebene Volumenstrom. Bei Einsatz der Pumpe c (Tabelle 9) bleibt dieser aufgrund ihrer hohen Förderleistung etwa konstant, unabhängig vom Schließen oder Öffnen der Bypassleitung. Beim Einsatz der kleineren Pumpe d (Tabelle 10) ist beim Öffnen der Bypassleitung deutlich eine Abnahme des Druckes bzw. des Volumenstromes zu erkennen. Dies gilt sowohl beim Einsatz von einem als auch von fünf Sprinklern.

Vergleicht man die Drücke an den 4 Meßstellen, so zeigt sich deutlich jeweils eine Abhängigkeit von der Rohrleitungslänge. Dabei spielt die Höhe, in der die Sprinklerdüse installiert ist keine Rolle. Weiterhin ist deutlich aus den Tabellen zu erkennen, daß, wie erwartet, bei höheren Drücken an der Düse ein größerer Volumenstrom aus der Düse austritt als bei kleineren Drücken. Bei kurzfristig geschlossener Bypassleitung und geschlossenen Sprinklerdüsen sind die Drücke bei der großen Pumpe c an allen Meßstellen niedriger als bei der kleinen Pumpe d, da diese höher verdichtet. Wird der Bypass geöffnet, bleibt der Druck unabhängig von der Höhe beim Einsatz der großen Pumpe c konstant, während er beim Einsatz der kleinen Pumpe d um ca. 40% bis 60% kleiner wird (s. Tabellen 9 und 10).

Wird eine Sprinklerdüse geöffnet und der Bypass geschlossen, so ist beim Einsatz der großen Pumpe c bis zum 1. OG fast kein Druckabfall meßbar, während beim Einsatz der kleinen Pumpe d der Druck in der Leitung bis zum 1. OG wieder ansteigt. Wenn man den Druck im 2. OG und an der Düse betrachtet, so sinkt er aufgrund der größeren Verluste bei beiden Pumpen deutlich ab. Wird die Bypassleitung geöffnet, so spielt dies beim Einsatz der großen Pumpe c keine Rolle, wirkt sich aber beim Einsatz der kleinen Pumpe d an

allen Meßstellen durch eine erneute Druckverminderung aus.

Für den Fall von fünf geschlossenen Sprinklerdüsen gelten die gleichen Werte wie zuvor. Werden 5 Sprinklerdüsen geöffnet, so ist auch beim Einsatz der großen Pumpe c der Druckabfall, unabhängig vom Bypass, an allen Meßstellen deutlich zu erkennen. Beim Einsatz der kleinen Pumpe d werden die Druckwerte in Abhängigkeit der geöffneten oder geschlossenen Bypassleitung noch geringer als zuvor.

Die Bilder 17 bis 20 zeigen jeweils die Wasserbeaufschlagung auf die von den 25 Auffangwannen bedeckte Fläche bei unterschiedlichen Parametern und einer Versuchszeit von mehreren Minuten. Die eingetragenen Zahlenwerte in der Einheit mm/min gelten immer für eine Wanne. Außerdem wird der aus der Sprinklerdüse austretende Volumenstrom V_0 und der in den Wannen aufgefangene Volumenstrom V_1 eingetragen. Der Volumenstromdifferenz traf jeweils außerhalb der Wannen auf.

Bild 17 zeigt die Wasserbeaufschlagung bei Betrieb der großen Pumpe c in Abhängigkeit der Höhe der Sprinklerdüse von der Waageplattform. Der Bypass hat, wie bereits erwähnt, dabei keinen Einfluß und wurde deshalb nicht gesondert behandelt. Ist ein Sprinkler in einer Höhe von 1,5 m bei einem Volumenstrom von ca. 120 l/min geöffnet, so verteilt sich das Wasser zu 90% wie auf der in Bild 17 vorgegebenen Fläche. In einer Höhe von 3 m und von 4,5 m treffen nur noch 72% bzw. 70% der Wassermenge auf der Fläche auf.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Wasserbeaufschlagung von der Mitte nach außen hin abnimmt. Sie weist bei einer geringeren 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, da hier nur der zentrale Teil der Wassermenge des Sprinklers auf die vorgegebene Fläche auftrifft. Bei diesen Höhen macht sich bereits bemerkbar, daß die Flugbahn der Tropfen nach außen beendet ist und diese nur noch senkrecht nach unten fallen. Eine Mindestwasserbeaufschlagung wie sie in Tabelle 5 gefordert

wird, wird je nach Brandgefahr nur für einen Teil der hier vorgegebenen Schutzfläche erreicht.

Bild 18 zeigt die Wasserbeaufschlagung bei Betrieb der kleinen Pumpe d in Abhängigkeit der Sprinklerhöhe. Bei geöffnetem Bypass gehen bei der Höhe 1,5 m ca. 92% des Wassers in die Auffangwannen, bei der Höhe 3,0 m sind es ca. 73% und bei der Höhe 4,5 m ca. 64%. Die Werte für die Wasserverteilung, die in mm/min aufgetragen sind, zeigen die gleiche Tendenz wie zuvor, d.h. sie nehmen am gleichen Meßort mit zunehmendem Radius und zunehmender Höhe ab. Vergleicht man die Werte mit denen in der Tabelle 5, so wird deutlich, daß die Mindestwasserbeaufschlagung je nach Brandgefahr wieder nur für einen Teil der Schutzfläche ausreicht.

Bild 19 zeigt die Werte für den Betrieb der Pumpe d, wenn der Bypass geschlossen ist. Die Wasserbeaufschlagung in mm/min nimmt über der gesamten Fläche deutlich zu, jedoch bleibt auch hier die gleiche Tendenz bestehen. Es erreichen ca. 93% des Wassers bei 1,5 m Höhe, 78% bei 3 m Höhe und 76% bei 4,5 m Höhe die vorgegebene Fläche.

Bild 20 zeigt für die gleiche Höhe von 1,5 m die Wasserbeaufschlagung bei 5 geöffneten Sprinklern beim Einsatz der kleinen Pumpe d und der großen Pumpe c. Beim Einsatz der kleinen Pumpe d und bei geschlossenem Bypass trifft ca. 78% und bei geöffnetem Bypass ca. 82% des Wassers auf die vorgegebene Fläche auf. Dies bedeutet, daß bei der vorgegebenen Sprinkleranordnung und geschlossenem Bypass ein größerer Volumenstrom aus den Düsen austritt, aber prozentual weniger in die Auffangwannen gelangt, da 4 der 5 Sprinkler näher am Rand installiert sind und deshalb bei höherem Druck eine größere Wassermenge außerhalb der Wannen auftrifft.

Beim Einsatz der großen Pumpe c ist die durchgeflossene Wassermenge insgesamt etwa doppelt so hoch wie bei der kleinen Pumpe d. Dabei gelangen ca. 68% des ursprünglichen Volumenstromes in die Auffangwannen. Bei der hier gewählten Anordnung der Sprinkler bedeutet dies eine sehr hohe Wasserbeaufschlagung auf die

vorgegebene Fläche. Ein Öffnen oder Schließen der Bypassleitung hatte wiederum keinen Einfluß.

Bei diesen mit 5 Sprinklern durchgeführten Untersuchungen wurden die Höhen nicht variiert, da mit der Zunahme der Sprinklerhöhe noch mehr Wasser als beim Einsatz eines Sprinklers außerhalb der Auffangwannen auftreffen würde, und es hier zunächst mehr auf die Prüfung der Leistungsfähigkeit der Anlage ankam.

Durch Änderung der Sprinkleranzahl, der Abstände der Sprinkler zueinander, der Sprinklerhöhe, des Druckes bzw. des Volumenstromes lassen sich mit dieser Anlage beliebige Zwischenwerte erreichen, was für den Anwendungsfall sicherlich von Bedeutung ist.

Die Bilder 21 und 22 zeigen die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius. Auf Bild 21 wurden jeweils 3 Kurven für 3 Sprinklerhöhen und einem geöffneten Sprinkler, auf Bild 22 wurden jeweils 3 Kurven für 3 Sprinklerhöhen und einem geöffneten Sprinkler und auf Bild 22 wurden jeweils für eine Sprinklerhöhe und 5 geöffnete Sprinkler je eine Kurve aufgetragen. In den Kurven sind mittlere Werte aus den Versuchen angegeben, die mit den in den Tabellen 9 und 10 angegebenen Einstelldaten durchgeführt wurden. Dabei wurden für die auf dem gleichen Radius um den Mittelpunkt liegenden Auffangwannen Mittelwerte für die Wasserbeaufschlagung ermittelt. Somit beginnt die entsprechende Kurve jeweils nicht auf der y-Achse, sondern beim Mittelwert der Wasserbeaufschlagung der zentralen Auffangwanne. Die Wasserbeaufschlagung nimmt, eine konstante Höhe vorausgesetzt, mit zunehmendem Radius ab (Bild 21). Sie wird auch geringer, wenn der Radius gleich bleibt und die Sprinklerhöhe zunimmt. Wie bereits erwähnt, ist die Wasserbeaufschlagung bei kleineren Drücken, d.h. kleineren Volumenströmen geringer als bei höheren.

In Bild 22 wurde die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius für eine Höhe für die hier gewählte spezielle Anordnung von 5 Sprinklern aufgetragen. Auch bei 5 geöffneten Sprinklern ist die Abhängigkeit vom Druck deutlich zu erkennen.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Versuche nur mit einem Sprinklertyp hängender Bauart durchgeführt wurden und Abweichungen bei anderen Sprinklern durchaus auftreten können. Jedoch kann mit Hilfe derartiger Kurven eine für eine bestimmte Brandgefahr notwendige Wasserbeaufschlagung bestimmt und auf die Abstände der einzelnen Sprinkler zueinander geschlossen werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Sprinkler werden in ortsfesten Löschanlagen eingesetzt, wobei Wasser immer noch als wichtigstes Löschmittel Verwendung findet. Das Anwendungsgebiet für Sprinkleranlagen liegt vor allem in Produktions-, Lager- und Verkaufsräumen.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wurden einige Vorschriften und Richtlinien zusammengestellt, um einen Überblick über die unterschiedlichen Sprinklerarten, deren Einsatzbereiche und deren Betrieb zu geben. Zusätzlich wird über Prüfanordnungen und Bemessungsgrundlagen für den Sprinklereinsatz berichtet.

Ferner wird in einer Zusammenstellung grundlegender Literatur über die Zerstäubung von Wasser und Bildung von Tropfen sowie deren Größe berichtet. Anhand mathematischer Ansätze und Untersuchungen am Modell wurde versucht, die Löschwirkung von Wassertropfen näher zu erfassen.

Anschließend wird in diesem Bericht die an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik errichtete Versuchsanlage beschrieben, mit deren Hilfe Untersuchungen durchgeführt werden, die das Löschverhalten bzw. die Löschwirkung an gelagerten Stoffen beim Einsatz einer ortsfesten Sprinkleranlage aufzeigen sollen. Hierzu wurden bereits Testversuche über die Leistungsfähigkeit der Anlage durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß beim Einsatz der Sprinklerpumpen jeweils der Druck vom Pumpen- bis zum Düsenaustritt von der geöffneten Sprinklerzahl abhängt. Die Druckwerte werden umso kleiner je mehr Sprinkler geöffnet werden. Mit Hilfe einer Bypassleitung ist es möglich, Druckänderungen im Gesamtsystem hervorzurufen, die sich umso mehr auswirken je geringer die Leistung der Pumpe ist. Zusätzlich wurde unter Vorgabe von Parametern die Wasserbeaufschlagung gemessen. Dabei wird deutlich, daß die Wasserbeaufschlagung auf eine vorgegebene Fläche mit dem Abstand von der Düse abnimmt. Diese Ergebnisse sind als Grundlage für weitere Untersuchungen anzusehen.

7. FORMELZEICHEN

A	Energie (Zerstäubungsarbeit)
E	Energie des Wassers
F	Korrekturfaktor ($1 + \text{const} \cdot \text{Re}^{1/2}$)
G	Gewicht
H	Höhe
K	Faktor
Nu	Nusselt-Zahl ($\text{Nu} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$)
P	Druck an der Düse
Pe	Peclet-Zahl ($\text{Pe} = \frac{v \cdot d}{a}$)
Pr	Prandtl-Zahl ($\text{Pr} = \frac{\nu}{a}$)
Q	Wasserdurchfluß
Re	Reynolds-Zahl ($\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}$)
W	in der Zeit verdampfte Wassermenge
a	Temperaturleitzahl ($a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$)
c	spez. Wärme
d	Tropfendurchmesser
m	Masse
p	innerer Druck beim Tropfen
r	Tropfenradius
v	Relativgeschwindigkeit
v	Austrittsgeschwindigkeit an der Düse
v	max. Geschwindigkeit
x	Feuchtigkeitsdifferenz zwischen ungestörtem Luftkern und Dampfgrenzschicht an der Tropfenoberfläche
z	Zeit
α	Wärmeübergangszahl
η	dynam. Zähigkeit der Luft
λ	Wärmeleitzahl
ν	kinematische Viskosität
ρ	Dichte
σ	Oberflächenspannung

8. LITERATUR

- /1/ Vorschriften für die Errichtung von Sprinkleranlagen.
VdS Form 155 (Verband) 1968
- /2/ Richtlinien für Sprinkleranlagen
Planung und Einbau.
VdS Form 3003 (Sachverband) 1981
- /3/ Sprinkler.
Anforderungen und Prüfung.
DIN 14490, Entwurf Okt.1976
- /4/ Fire protection - Automatic sprinkler systems -
Part 1: Requirements and methods of test for sprinklers.
Draft International Standard ISO/DIS 6182/1
International Organization for Standardization, 1984
- /5/ National Fire Codes.
Standard for the installation of sprinkler systems.
NFPA 13, 1980
- /6/ Sprinkleranlagen.
DIN 14489, Entwurf Okt.1982
- /7/ Fire Protection Handbook.
National Fire Protection Association
Boston: 14.Auflage, 1976
- /8/ Sprühwasser-Löschanlagen.
DIN 14494, 1976

- /9/ Hinrichs, B.R.: Brandbekämpfung mit versprühtem Wasser.
Umschau (1960) Nr.5
- /10/ Hinrichs, B.R.: Wasserversprühung bei der Brandbekämpfung.
gwf 101 (1960) Nr.44, S.1133-1135
- /11/ Hinrichs, B.R.: Die Tropfengröße unter dem Einfluß von
Zusätzen zum Löschwasser bei der Ver-
sprühung.
VFDB-Zeitschrift (1961) Nr.12, S.14,19
- /12/ Herterich, O.: Die Steigerung der Löschwirkung des Wassers
durch Zerstäubung und Netzmittelzusatz.
Sonderdruck VFDB-Zeitschrift (1950)
- /13/ Radusch, R.: Betrachtungen über die günstige Tropfen-
größe durch zerstäubtes Wasser und über die
Reichweite eines Wasserstrahles.
VFDB-Zeitschrift 2 (1953) S.47-55
- /14/ Krüger, A.
Radusch, R.: Wasserzerstäubung im Strahlrohr.
Forch.Bericht Nr.329 des Wirtschafts- und
Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen
Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag (1956)
- /15/ Magnus, G.: Forschungsstelle für Feuerlöschtechnik an
der Technischen Hochschule in Karlsruhe
und ihre Arbeit
VFDB-Zeitschrift 1 (1952) Nr.3
- /16/ Magnus, G.: Zur Löschwirkung fein zerstäubten Wassers.
Brandschutz 6 (1952) Nr.1, S.20; Nr. 2,
S.36

- /17/ Radusch, R.: Über die Verdampfungsgeschwindigkeit von Wassertropfen.
Chemie-Ing.-Technik (1956) Nr.28, S.275-277
- /18/ Troesch, H.A.: Die Zerstäubung von Flüssigkeiten.
Chemie-Ing.-Technik (1954) Nr.26,
S.311/320
- /19/ Hinrichs, B.R.: Wasserzerstäubung in Mehrzweckstrahlrohren.
Forschungsbericht Nr.7 der Arbeitsgemeinschenschaft Feuerschutz (1965)
- /20/ Bär, P.: Über die physikalischen Grundlagen der Zerstäubungs-Trocknung
Karlsruhe: Dissertation (1935)
- /21/ Hinrichs, B.R.: Wasserzerstäubung in Mehrzweckstrahlrohren bei Drücken bis zu 250 m WS.
VFDB-Zeitschrift (1963) Nr.12, S.14/17
- /22/ Haenlein, A.: Über den Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles.
Forsch.Gebiete Ingenieurwesen (1931) Nr.2, S.139/149
- /23/ Gebhardt, H.: Die Tropfengröße bei Drallzerstäubung.
BWK (1958) Nr.10, S.361/366
- /24/ Gebhardt, H.: Zerstäubung mit Dralldüsen.
Wissenschaftl.Zeitschrift der TH Dresden 7, (1957/58) S.249-273
- /25/ Herterich, O.: Wasser als Löschmittel.
Heidelberg: Dr.A.Hüthig-Verlag GmbH (1960)

- /26/ Edeling, K.: Untersuchungen zur Zerstäubungstrocknung.
Karlsruhe: Dissertation
Weinheim: Verlag Chemie (1949)
- /27/ ten Bosch, M.: Die Wärmeübertragung.
Berlin: (1936)
- /28/ Ranz, W.E.
Marshall, W.R.: Evaporation from drops. Part I, II.
Chemical Engineering Progress 48
(1952) Nr.3, S.141-180
- /29/ Frössling, N.: Über die Verdunstung fallender Tropfen.
Beitr. Geophys. 52 (1938) S.170-216
(AERE Harwell, Translation Aug. 1963)
- /30/ Findeisen, W.: Das Verdampfen der Wolken und Regentropfen.
Meteorologische Zeitschrift 12 (1939)
- /31/ Schiller, L.: Verdampfungsbeträge für reine Flüssigkeitstropfen im Luftstrom.
CIT 26 (1954) Nr.7
- /32/ Krüger, A.: Wurfweitenmessungen an Zerstäubestrahlerohren.
Brandschutz (1953) Nr.11
- /33/ The mechanism of extinguishment of fire
by finally divided water.
The national board of fire underwriters
N.B.F.U. Research Report No.10 (1955)

- /34/ Friedrich, M.: Löschversuche mit versprühten wässrigen Salzlösungen.
Chem. Zeitung, Chem. Apparatur
85 (1961) Nr.12
- /35/ Hinrichs, B.R.: Die Ermittlung der Tropfengrößen von Sprühdüsen und der Einfluß von Zusätzen zum Löschwasser bei der Versprühung.
Chem. Rundschau 14 (1961) Nr.15, S.417
- /36/ Hinrichs, B.R.: Ermittlung des Tropfenspektrums von Sprühdüsen auf fotografischem Wege.
Sonderheft VFDB-Zeitschrift 9 (1960)
Nr.3, S.61
- /37/ Hinrichs, B.R.: Tropfengrößen und Einfluß von Zusätzen zum Löschwasser.
Chem. Ing. Technik 33 (1961) Nr.10
- /38/ Gorbatschew, S.W.,
Nikiforowa, W.M.: Über die obere Stabilitätsgrenze von Tropfen bei ihrem Zusammenprall.
Kolloid-Zeit. 73 (1935) S.14
- /39/ Burgoyne, J.H.
Rasbash, D.J.: Use of water sprays to improve light transmission through oil smoke.
Fuel 28 (1949) Nr.12, S.281-285
- /40/ Rasbash, D.J.
Rogowski, Z.W.: The extinction of liquid fires with water sprays.
Chemistry and Industry (1954) S.693-695
- /41/ Rasbash, D.J.
Nash, P.: The use of water in fire-fighting.
Institution of Fire Engineers,
Folkstone (1955)

- /42/ Rasbash, D.J. The effect of water spray on burning
Skeet, G.: kerosine.
 Boreham Wood: Fire Research Station
 FC Note Nr. 41/1951
- /43/ Mugele, R.H. Dropleid distribution in sprays.
Evens, H.D.: Ind.Eng.Chem. 43 (1951) S.1317/24
- /44/ Fraser, R.P. Liquid atomisation and the drop size
Eisenklamm, P.: of sprays.
 Trans.Inst.Chem.Engineers 34 (1956)
- /45/ Ranz, W.E. Determing drop size distribution of a
Hofelt, C.: nozzle spray.
 Ind.Eng.Chem. 49 (1957) S.288-93

9. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. Nenn-Auslösetemperaturen nach /1,2,3,4/.

Schmelzlotsteg-Sprinkler VdS		Glasfaß-Sprinkler VdS		Schmelzlotsteg-Sprinkler ISO		Glasfaß-Sprinkler ISO	
Nenn- temperatur °C	Farbe am Haltebügel	Nenn- temperatur °C	Farbe der Flüssigkeit	Nenn- temperatur °C	Farbe am Haltebügel	Nenn- temperatur °C	Farbe der Flüssigkeit
57 *	orange	57	orange	57-77	ohne Farbe	57	orange
68-74	ohne Farbe	58	schwarz	80-107	weiß	68	rot
72	ohne Farbe bzw. rot*	68	rot	121-149	blau	79	gelb
93*	grün	72	ohne Farbe bzw. rot*	163-191	rot	93	grün
93-100	weiß	79	gelb	204-246	grün	141	blau
96	weiß	93	grün	260-302	orange	182	violett
141	blau	141	blau	320-343	orange	227	schwarz
182	gelb	182	violett			260	schwarz
182*	violett	204-260	schwarz			343	schwarz
183	rot	232*	schwarz				
227	rot	260*	schwarz				
232	schwarz						
260*	schwarz						

* im Entwurf DIN 14 490 zusätzlich

Tabelle 2. Düsen-Nennweiten und K-Faktor nach /3,4/.

Nennweite	K-Faktor	K-Faktor Trockensprinkler
10	57 ± 3	57 ± 5
15	80 ± 4	80 ± 6
20	115 ± 6	115 ± 9

Tabelle 3. Sprinkleranzahl und zugehörige Rohrnnennweiten nach /1/.

a		b	
Sprinkleranzahl	Nennweite DN	Sprinkleranzahl	Nennweite DN
bis 3	25	bis 2	25
" 5	32	" 4	32
" 9	40	" 6	40
" 18	50	" 9	50
" 28	70	" 16	70
" 46	80	" 28	80
" 78	90	" 50	90
" 115	100	" 70	100
" 150	125	" 120	125
über 150	150	über 120	150

Tabelle 4. Werte zur Prüfung der Wasserverteilung nach /3,4/.

Nennweite	Wasser- beaufschlagung mm/min	Durchfluß- menge je Sprinkler l/min	Schutz- fläche m ²	Sprinkler- abstand m ²	Meßzonen- fläche m ²	* nach /4/
10	2,5	50,6	21	4,5	20,25	8
15	5,0	61,3	12	3,5	12,25	5
	15,0	135,0	9	3	9	4
20	10,0	90,0	9	3	9	4
	30,0	187,5	6	2,5	6,25	3

nach /3/: Nicht mehr als 10% der Meßzonenfläche dürfen weniger als die geforderte minimale Wasserbeaufschlagung aufweisen.

* nach /4/: Anzahl der Behälter, die weniger als die geforderte Wassermenge enthalten dürfen.

Tabelle 5. Kenngrößen entsprechend der Betriebsart nach /2/.

Brandgefahr	Lagerhöhe in m und Mindestbreite der Freistreifen in m			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
	Lagerart				Naß- anlage	Trocken- anlage			Naß- anlage	Trocken- anlage	
	A	B	C								
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 Grenzstapelhöhe 4,0 m											
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 Grenzstapelhöhe 3,1 m											
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 Grenzstapelhöhe 2,1 m											
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 4.4 Grenzstapelhöhe 1,2 m											
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

Tabelle 6. Zuordnung von Lagermaterialien (L1 bis L4) in Verbindung mit Verpackungsarten bzw. Transporthilfen (V1 bis V4) nach Brandgefahren (BG 4.1 bis BG 4.4) nach /2/.

Verpackungen	V 1	V 2	V 3	V 4
Lagermaterialien	Nichtbrennbare Verpackungen, Holzpaletten und brennbarer „Kantenschutz“ sind zulässig. Der „Kantenschutz“ darf nicht mehr als 20% der Oberfläche des verpackten Lagergutes 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 Lagergutes umschließen. Nicht zulässig sind Verpackungen aus Holz, Papier oder Kunststoffen	Holzkisten, Holzpaletten, Verpackungen aus Holz, Papier, Karton, Wellkarton 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 Kisten und Kartons nicht mehr als 10% – der Oberfläche des verpackten Lagergutes umschließen.	Verpackungen nach Art V 1 bzw. V 2 in Verbindung mit Schaumstoffen. Der Schaumstoffanteil der Verpackung, bezogen auf das Volumen des verpackten Lagergutes, darf nicht größer als 15% – innerhalb von Kisten und Kartons nicht größer als 30% – sein.	Verpackungen mit einem höheren Schaumstoffanteil als nach V 1 bis V 3.
L 1 Nichtbrennbare Lagermaterialien, auch Nahrungsmittel in Gläsern oder Blechdosen.	BG 4.1	BG 4.2	BG 4.3	BG 4.4
L 2 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.	BG 4.2	BG 4.2	BG 4.3	BG 4.4
L 3 Leichtbrennbare Lagermaterialien, Papier und Pappe (in Rollen, vertikal gelagert), luftdurchlässige Holzstapel, Lagergüter mit einem Anteil von Schaumstoffen bis 15%, bezogen auf das Bruttovolumen, oder Lagergüter, die von nichtbrennbarem Material umschlossen sind mit einem Anteil von Schaumstoffen bis 30% des Bruttovolumens	BG 4.3	BG 4.3	BG 4.3	BG 4.4
L 4 Lagermaterialien mit höheren Schaumstoffanteilen wie in L 3 aufgeführt	BG 4.4	BG 4.4	BG 4.4	BG 4.4

Tabelle 7. Sprinklerabstände in Abhängigkeit der Brandgefahren, der Schutzfläche und der Aufteilung nach /2/.

Art der Sprinkler	Brandgefahren	Schutzfläche je Sprinkler in m ²	Maximaler Abstand zwischen Sprinklern in m	Maximaler Abstand zur Wand in m ⁵⁾	Minimaler Abstand zur Wand in m
Normal-sprinkler	BG 1	9	3,75	1,90	0,3
	BG 2	9	3,75	1,90	0,3
	BG 3	9	3,75	1,90	0,3
	BG 4	9	3,75	1,90	0,3
Schirm-sprinkler	BG 1	21	4,60	2,30	0,3
	BG 1 ⁶⁾	15	4,25	2,10	0,3
	BG 2	12	4,00	2,00	0,3
	BG 3	9	3,75	1,90	0,3
	BG 4	9	3,75	1,90	0,3
Seitenwand-sprinkler	BG 1	9	4,60 ^{3) 4)}	0,30 ²⁾	
	BG 2				
	BG 3	9	3,40 ^{3) 4)}	-	

- 1) Der Abstand ist horizontal zu messen. Bei Dach- oder Deckenschrägen über 60 Grad muß der Abstand parallel zum Dach bzw. zur Decke gemessen werden.
- 2) Gegen die Sprühdichtung des Sprinklers.
- 3) Der höchstzulässige Abstand der Seitenwandsprinkler einer Sprinklerreihe errechnet sich aus maximaler Schutzfläche pro Sprinkler, geteilt durch den halben Abstand zwischen den Sprinklerreihen bzw. durch die Raumbreite bei Vorhandensein von nur einer Sprinklerreihe. Die in der Darstellung angegebenen Werte dürfen jedoch nicht überschritten werden.
- 4) In Räumen, die nicht breiter als 3,75 m sind, ist nur eine Sprinklerreihe mit Seitenwandsprinklern parallel zur Längswand erforderlich. In Räumen über 3,75 m bis maximal 7,5 m Breite muß an beiden Längswänden eine Sprinklerreihe vorgesehen werden. Die Sprinkler sind versetzt anzuordnen. In Räumen mit einer Breite von mehr als 7,5 m sind zusätzlich Sprinkler unter der Decke anzuordnen.
- 5) Die Innenseite der Decken oder Wände muß aus nichtbrennbaren Materialien entsprechend DIN 4102 bestehen, ansonsten verringert sich der Abstand auf 1,5 m.
- 6) Dies gilt nur für Hohlräume mit brennbaren Decken und Dächern

Tabelle 8. Sprinklerabstände zu Decken und Dächern nach /2/.

Brandeigenschaften ¹⁾ der Decken bzw. Dächer	Sprinklerart	Abstände ²⁾ in mm	
		minimal	maximal
brennbar	Normalsprinkler	75	300
	Schirmsprinkler	20	300
nichtbrennbar	Normalsprinkler	75	450
	Schirmsprinkler	20	450
	Seitenwandsprinkler	100	300

- 1) Die Brandeigenschaften verstehen sich für die Dachinnenseite und für die Dämmschicht bei Formblechdächern.
- 2) Gemessen zwischen Sprühdüse des Sprinklers und Unterkante der Decke.

Tabelle 9. Drücke in Abhängigkeit der Sprinkleranzahl, der Höhe über der Waage und der Durchflußmenge beim Einsatz der großen Pumpe c.

Sprinkleranzahl	Höhe der Düse m	Sprinklerdüse	Bypass	Volumenstrom l/min	Druck EG Pa·10 ⁵	Druck 1.OG Pa·10 ⁵	Druck 2.OG Pa·10 ⁵	Druck Düse Pa·10 ⁵
1	1,5	zu	zu	-	6,5	6,3	5,8	5,8
1	3,0	zu	zu	-	6,5	6,2	5,8	5,8
1	4,5	zu	zu	-	6,5	6,2	5,7	5,8
1	1,5	zu	auf	-	6,4	6,2	5,7	5,8
1	3,0	zu	auf	-	6,5	6,2	5,7	5,8
1	4,5	zu	auf	-	6,5	6,2	5,7	5,8
1	1,5	auf	zu	120	6,5	6,0	3,8	3,2
1	3,0	auf	zu	120	6,5	6,2	3,9	2,8
1	4,5	auf	zu	119	6,4	6,2	3,9	2,9
1	1,5	auf	auf	122	6,5	6,3	3,9	2,9
1	3,0	auf	auf	121	6,5	6,2	3,9	2,8
1	4,5	auf	auf	120	6,4	6,2	3,9	2,9
5	1,5	zu	zu	-	6,5	6,3	5,7	5,8
5	1,5	zu	auf	-	6,5	6,3	5,8	5,7
5	1,5	auf	zu	565	5,8	5,6	2,8	2,2
5	1,5	auf	auf	560	5,8	5,6	2,9	2,2

Tabelle 10. Drücke in Abhängigkeit der Sprinkleranzahl, der Höhe über der Waage und der Durchflußmenge beim Einsatz der kleinen Pumpe d.

Sprinkleranzahl	Höhe der Düse m	Sprinklerdüse	Bypass	Volumenstrom l/min	Druck EG Pa·10 ⁵	Druck 1.OG Pa·10 ⁵	Druck 2.OG Pa·10 ⁵	Druck Düse Pa·10 ⁵
1	1,5	zu	zu	-	11,6	11,0	10,4	10,6
1	3,0	zu	zu	-	11,6	10,9	10,4	10,3
1	4,5	zu	zu	-	11,7	10,9	10,4	10,4
1	1,5	zu	auf	-	6,9	6,4	5,9	5,9
1	3,0	zu	auf	-	6,9	6,4	5,9	5,9
1	4,5	zu	auf	-	6,9	6,4	5,9	5,9
1	1,5	auf	zu	139	9,0	8,4	5,3	3,7
1	3,0	auf	zu	140	8,9	8,3	5,2	3,9
1	4,5	auf	zu	140	8,8	8,4	5,1	3,9
1	1,5	auf	auf	90	4,3	3,9	2,2	1,3
1	3,0	auf	auf	92	4,3	3,9	2,2	1,8
1	4,5	auf	auf	92	4,3	3,9	2,2	1,7
5	1,5	zu	zu	-	11,6	10,9	10,4	10,5
5	1,5	zu	auf	-	6,9	6,4	5,9	5,8
5	1,5	auf	zu	278	2,1	1,6	0,5	0,7
5	1,5	auf	auf	208	1,4	1,0	0,2	0,4

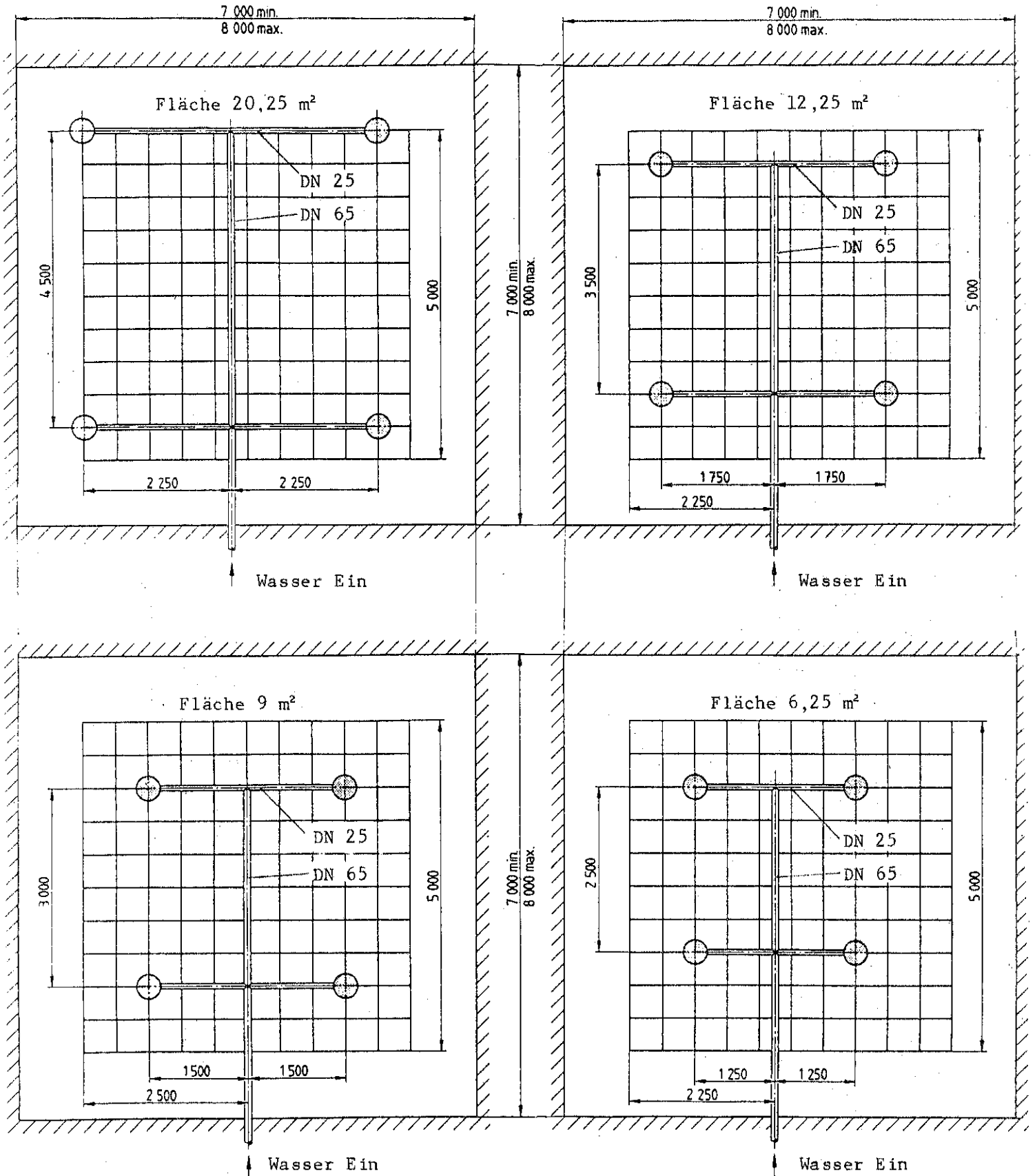


Bild 1. Prüfanordnung für die Messung der Wasserverteilung für 4 Meßzonenflächen nach /3/.

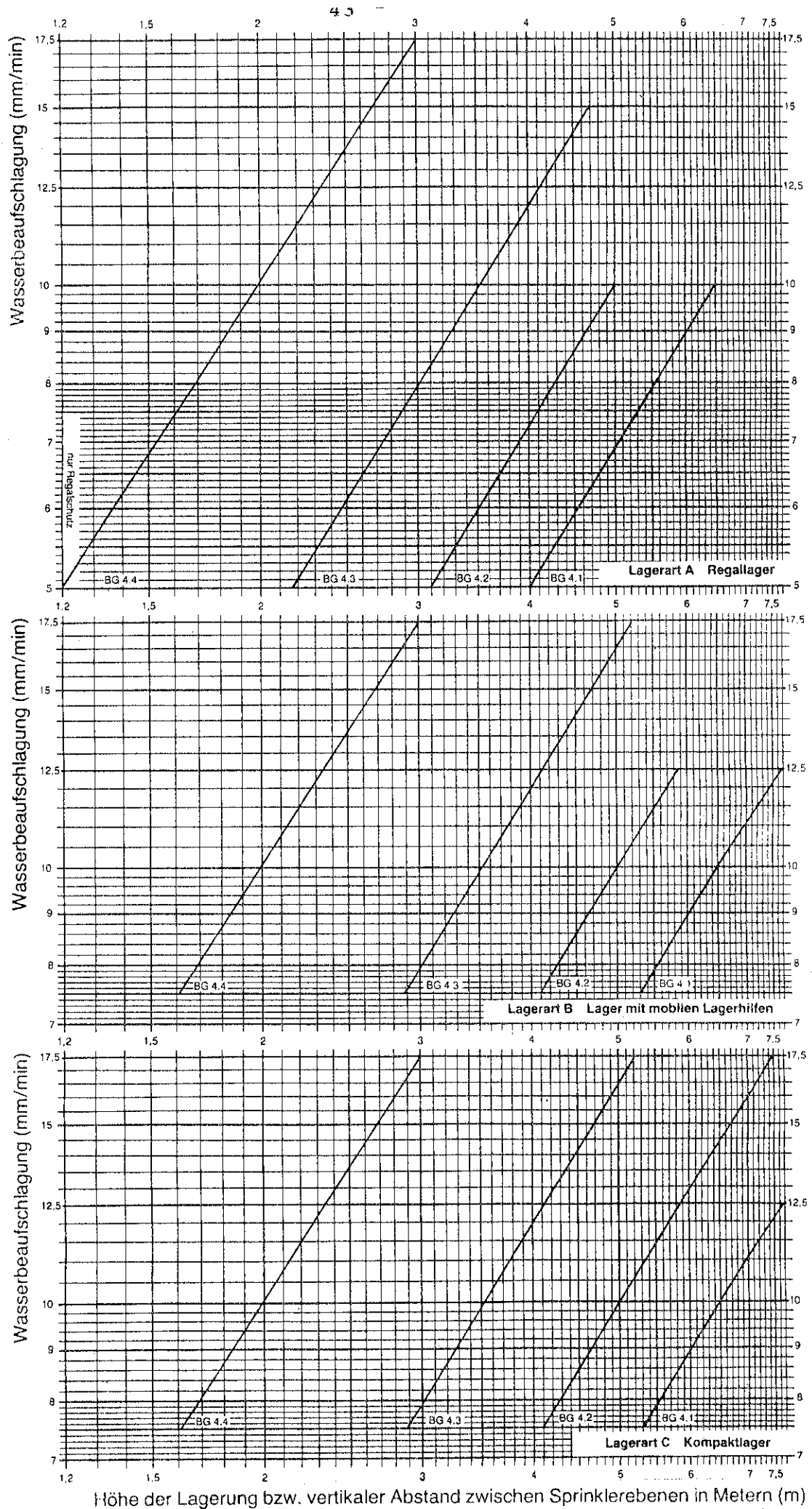
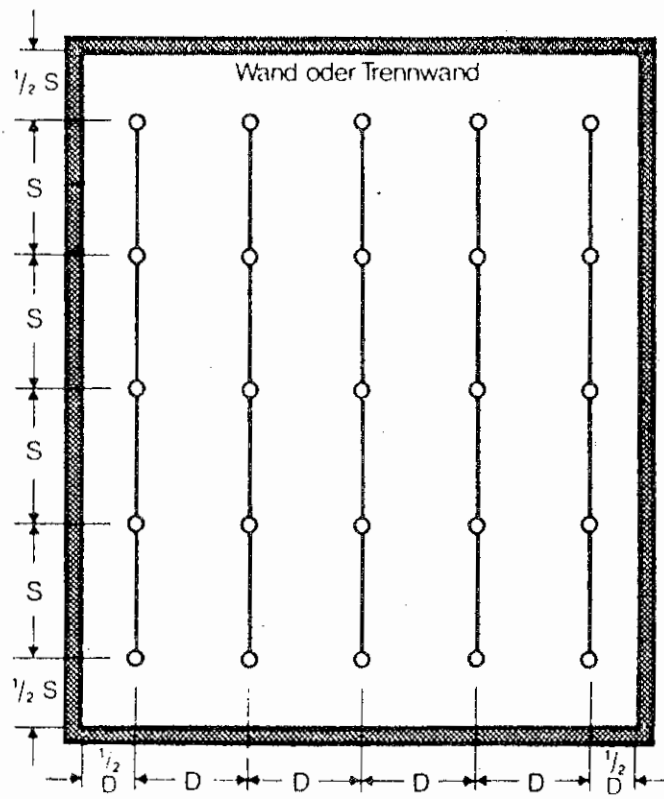
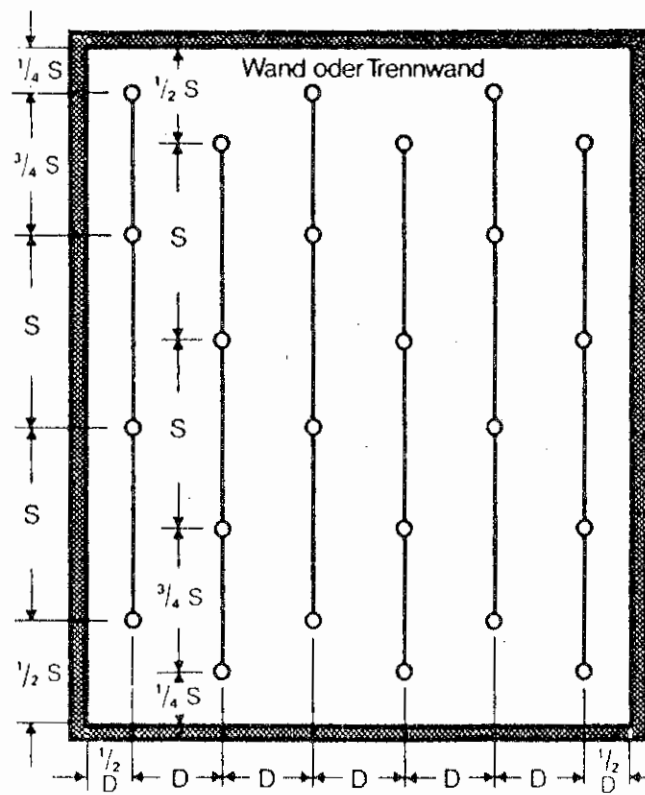


Bild 2. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit von der Brandgefahr und Höhe der Lagerung nach /2/.

Normale Sprinkler-Aufteilung



Versetzte Sprinkler-Aufteilung



D = Abstand zwischen den Strangrohren
 S = Abstand zwischen den Sprinklern auf Strangrohren
 Schutzfläche = D x S

Bild 3. Sprinkleraufteilung nach /2/.

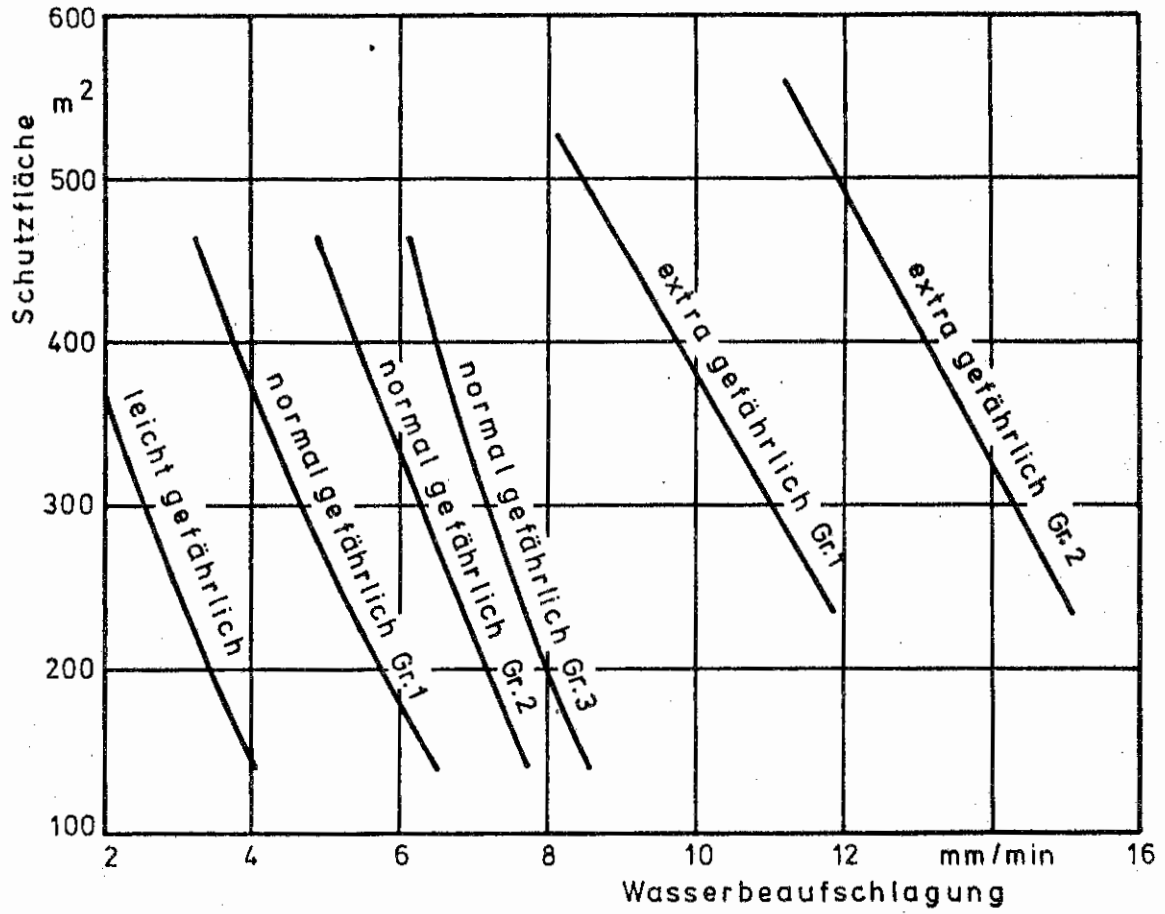


Bild 4. Schutzfläche in Abhängigkeit der Wasserbeaufschlagung nach /5,7/.

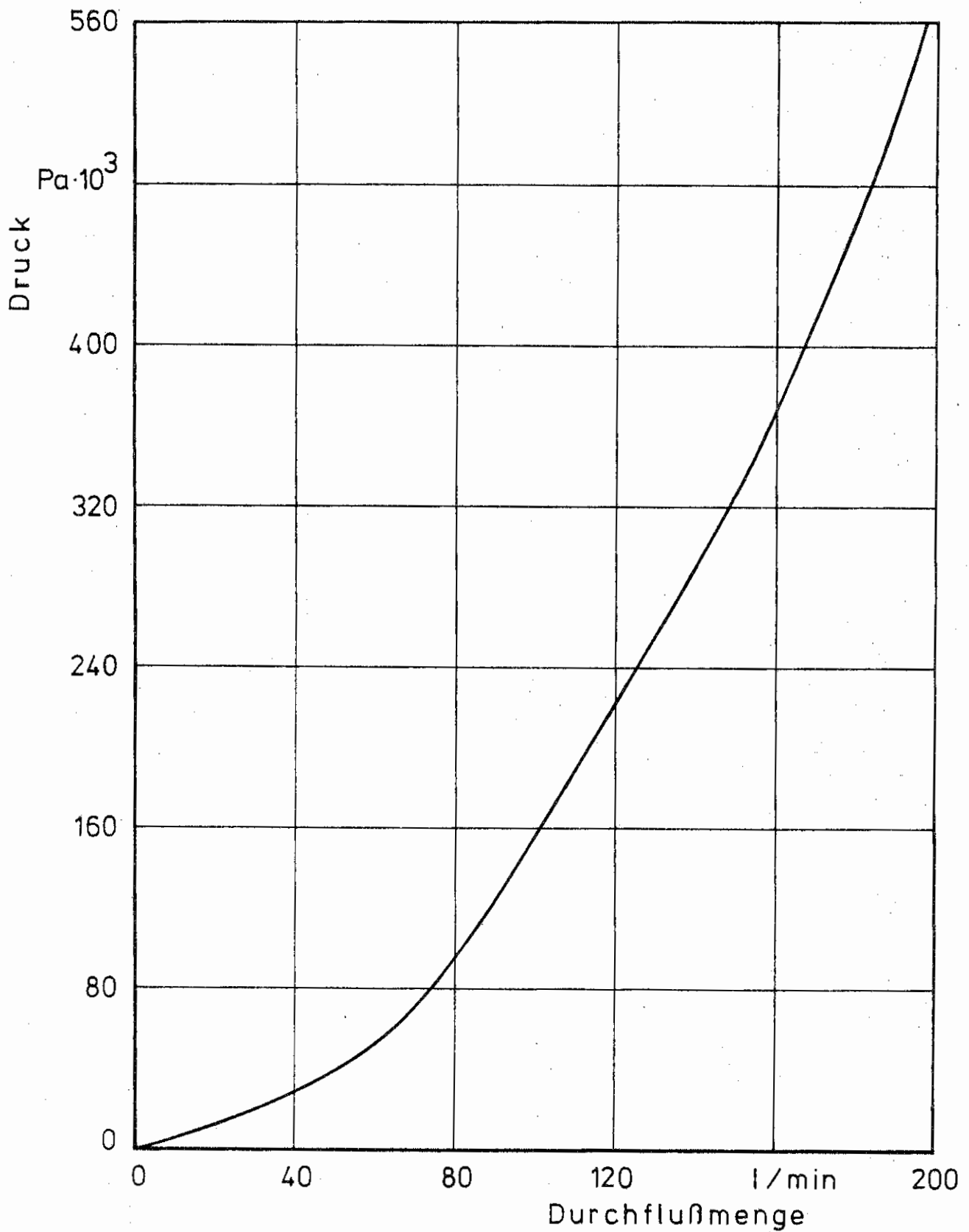


Bild 5. Abhängigkeit der Durchflußmenge eines 1/2"-Sprinklers vom Druck nach /7/.

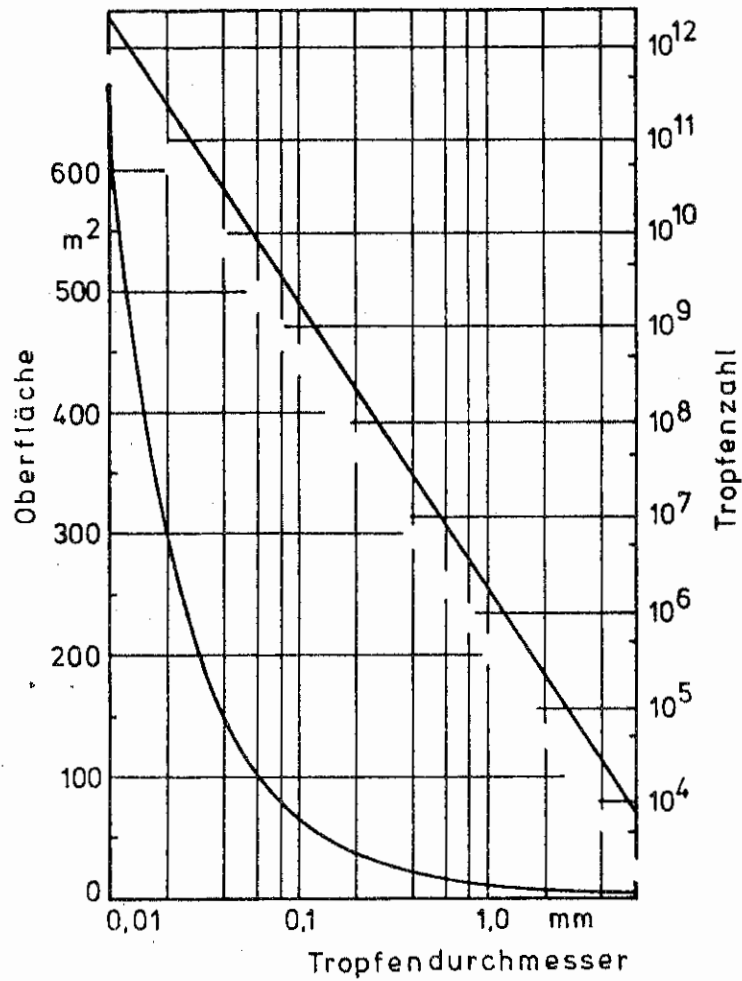


Bild 6. Oberfläche und Tropfenzahl von 1 l Wasser in Abhängigkeit vom Tropfendurchmesser nach /17/.

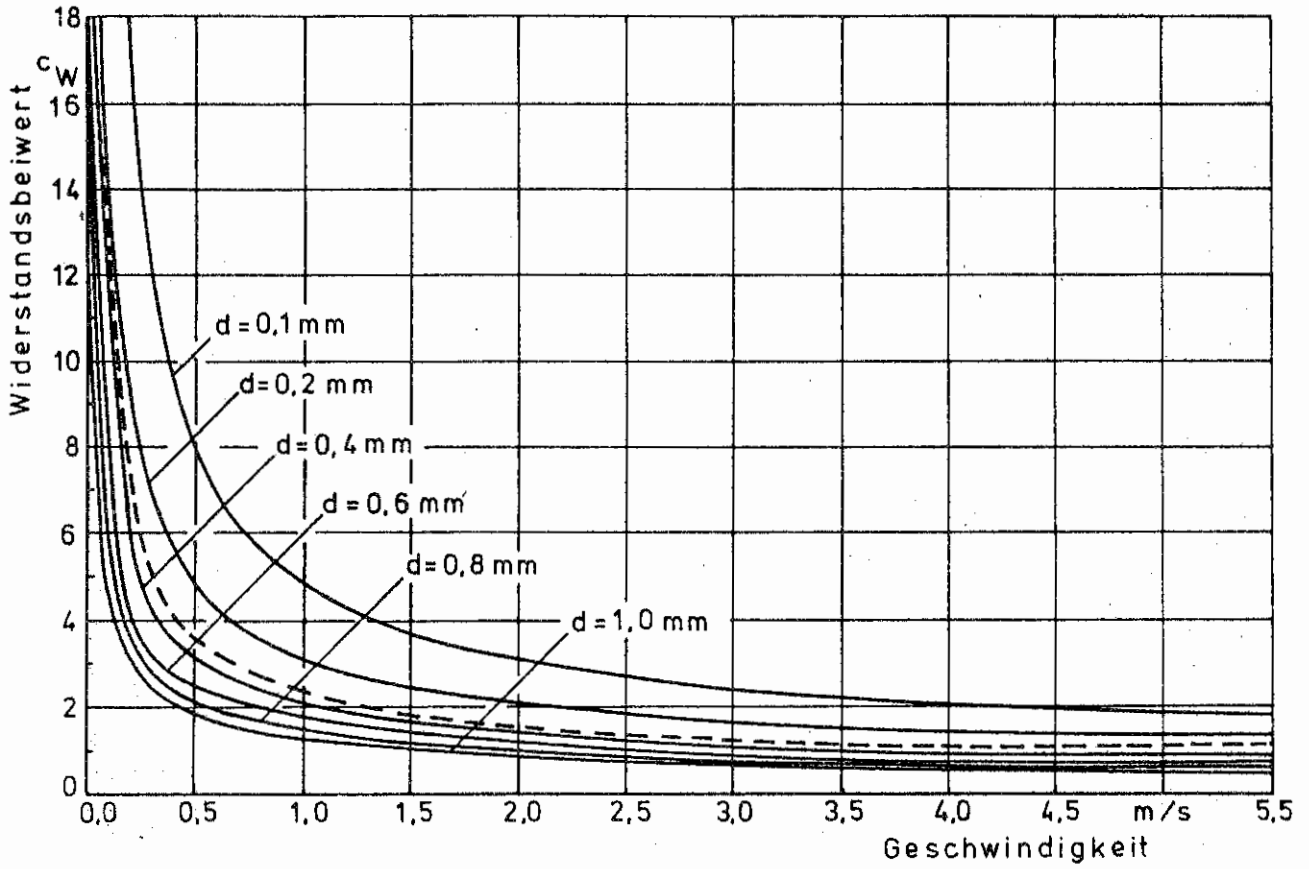


Bild 7. Widerstand als Funktion der Geschwindigkeit bei Tropfendurchmessern von 0,1 mm bis 1,0 mm nach /15/.

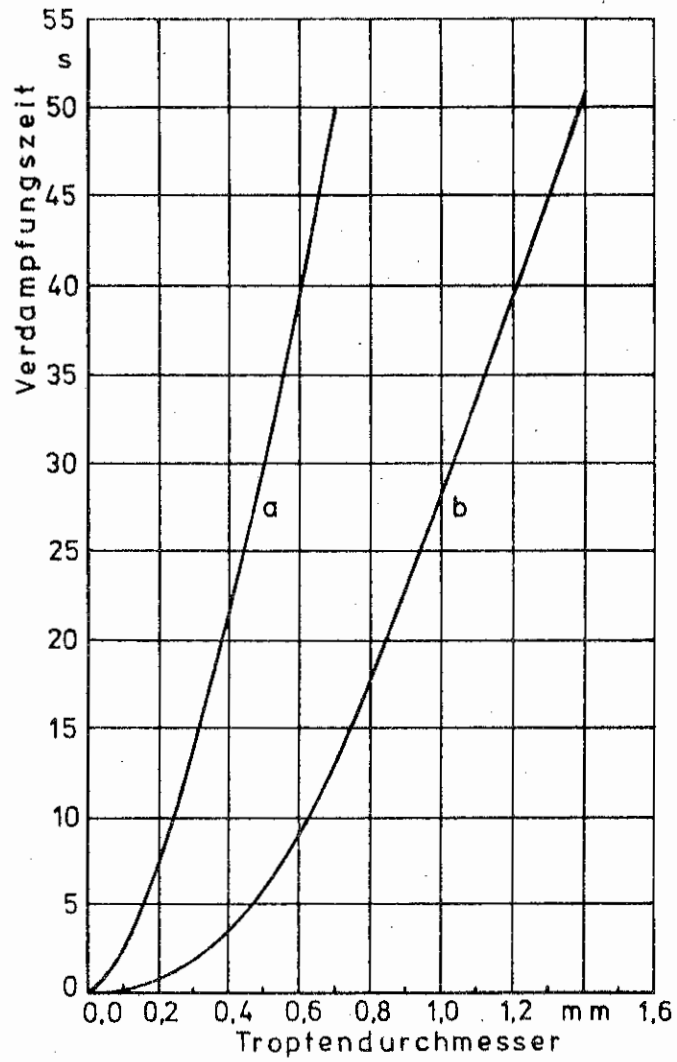


Bild 8. Verdampfungszeit in Abhängigkeit vom Tropfendurchmesser nach /15/.
(a = gerechnet, b = gemessen)

$$\text{Nu} = 0,75 \cdot \text{Pe}^{0,5}, \quad t = 200 \text{ }^\circ\text{C}, \quad v = 25 \text{ cm/s.}$$

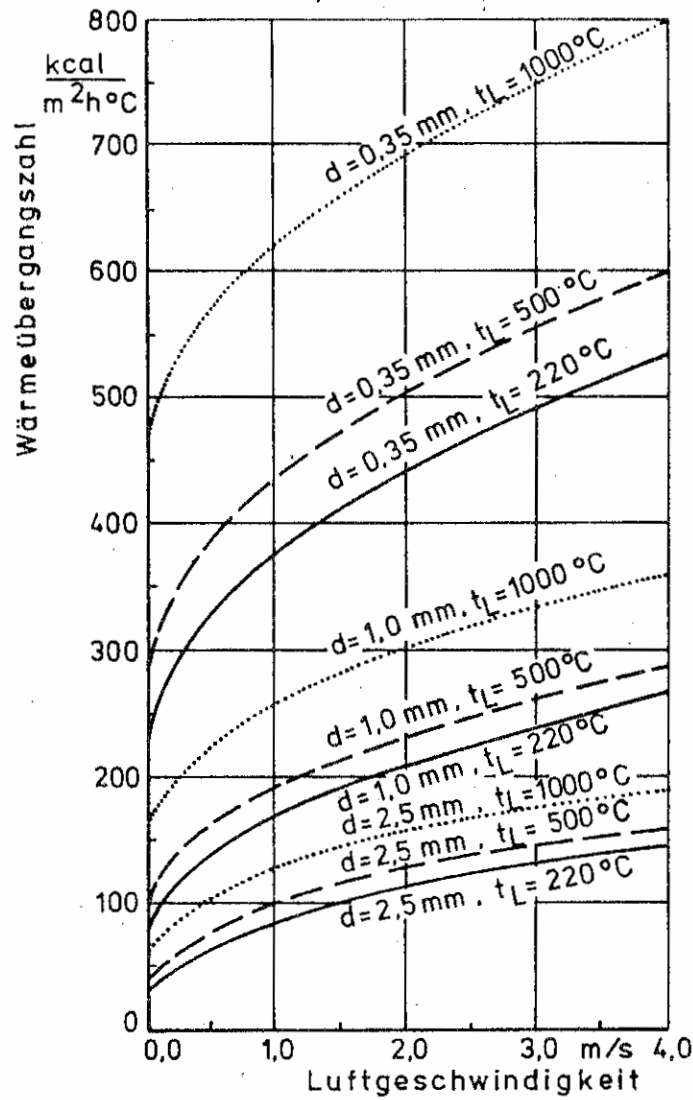


Bild 9. Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit für 3 Temperaturen und 3 Tropfendurchmesser nach /15,16/.

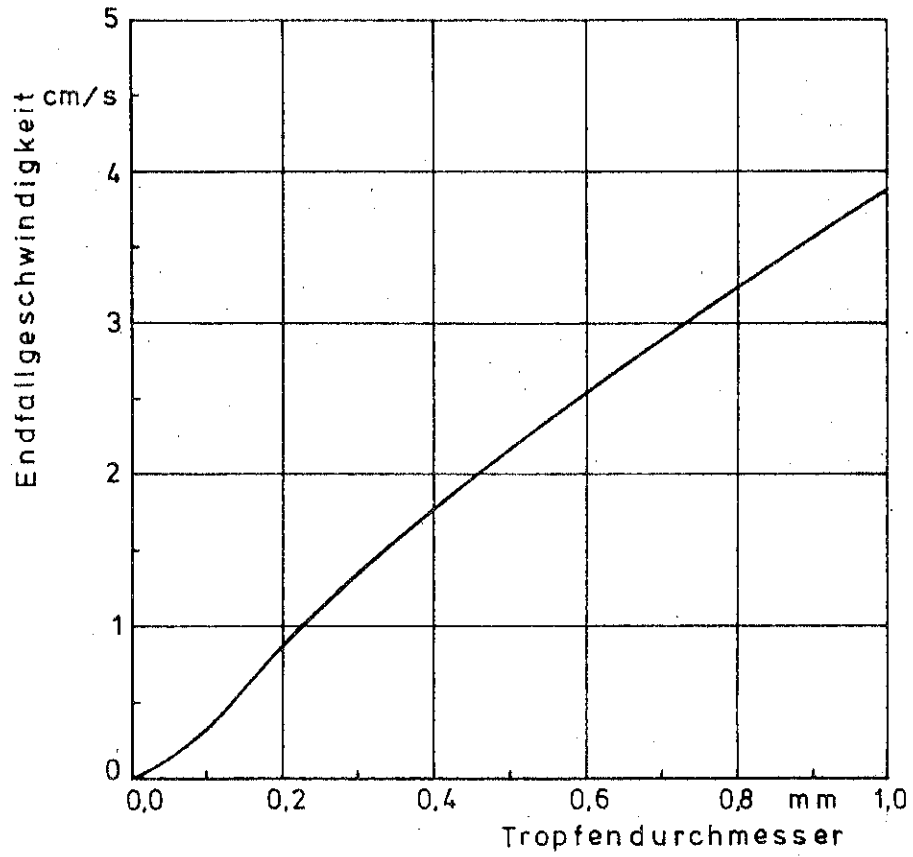
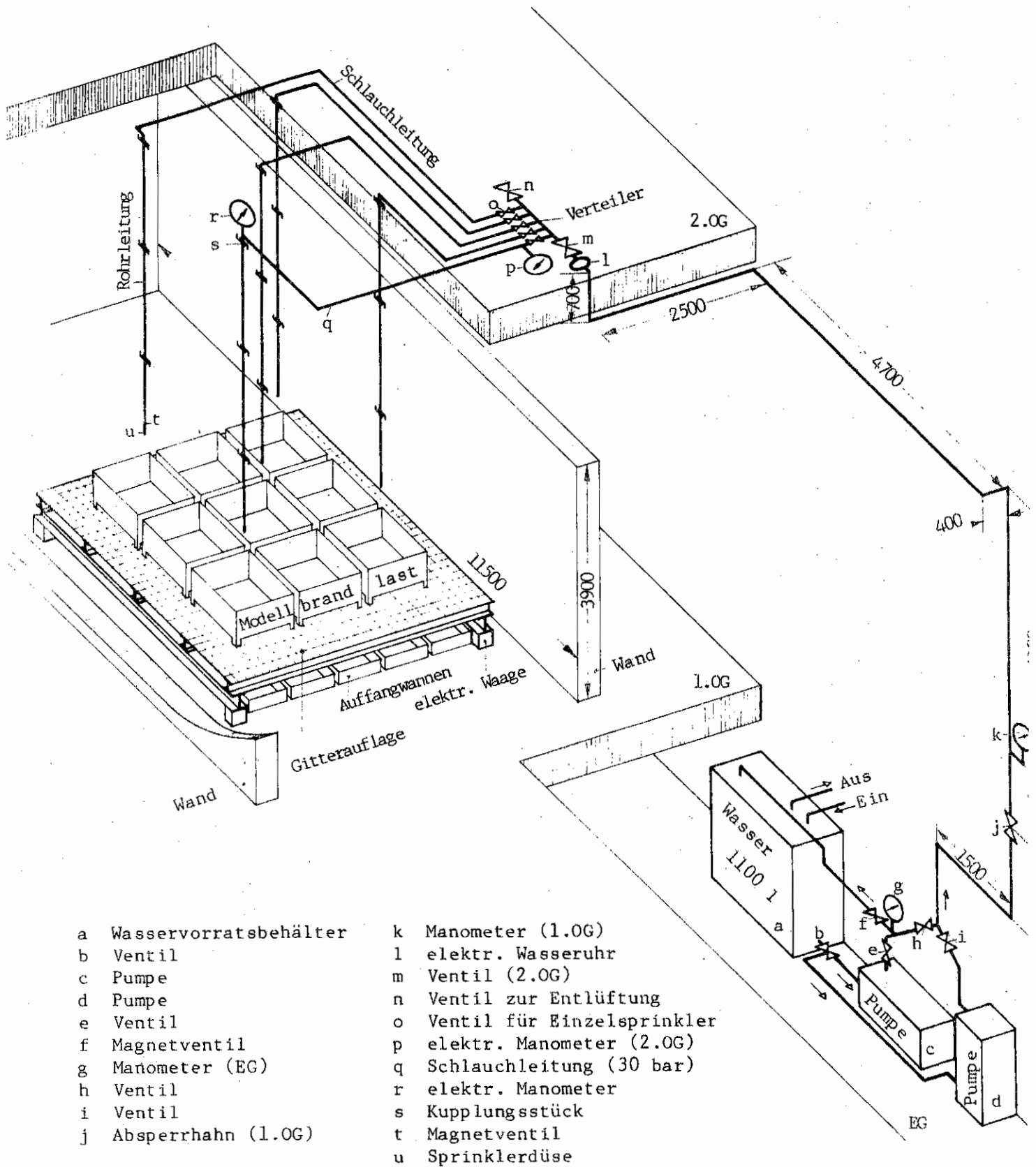


Bild 10. Endfallgeschwindigkeit eines Tropfens in Abhängigkeit von seinem Durchmesser nach /16/.



- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| a Wasservorratsbehälter | k Manometer (1.OG) |
| b Ventil | l elektr. Wasseruhr |
| c Pumpe | m Ventil (2.OG) |
| d Pumpe | n Ventil zur Entlüftung |
| e Ventil | o Ventil für Einzelsprinkler |
| f Magnetventil | p elektr. Manometer (2.OG) |
| g Manometer (EG) | q Schlauchleitung (30 bar) |
| h Ventil | r elektr. Manometer |
| i Ventil | s Kupplungsstück |
| j Absperrhahn (1.OG) | t Magnetventil |
| | u Sprinklerdüse |

Bild 11. Schema der Versuchsanlage.

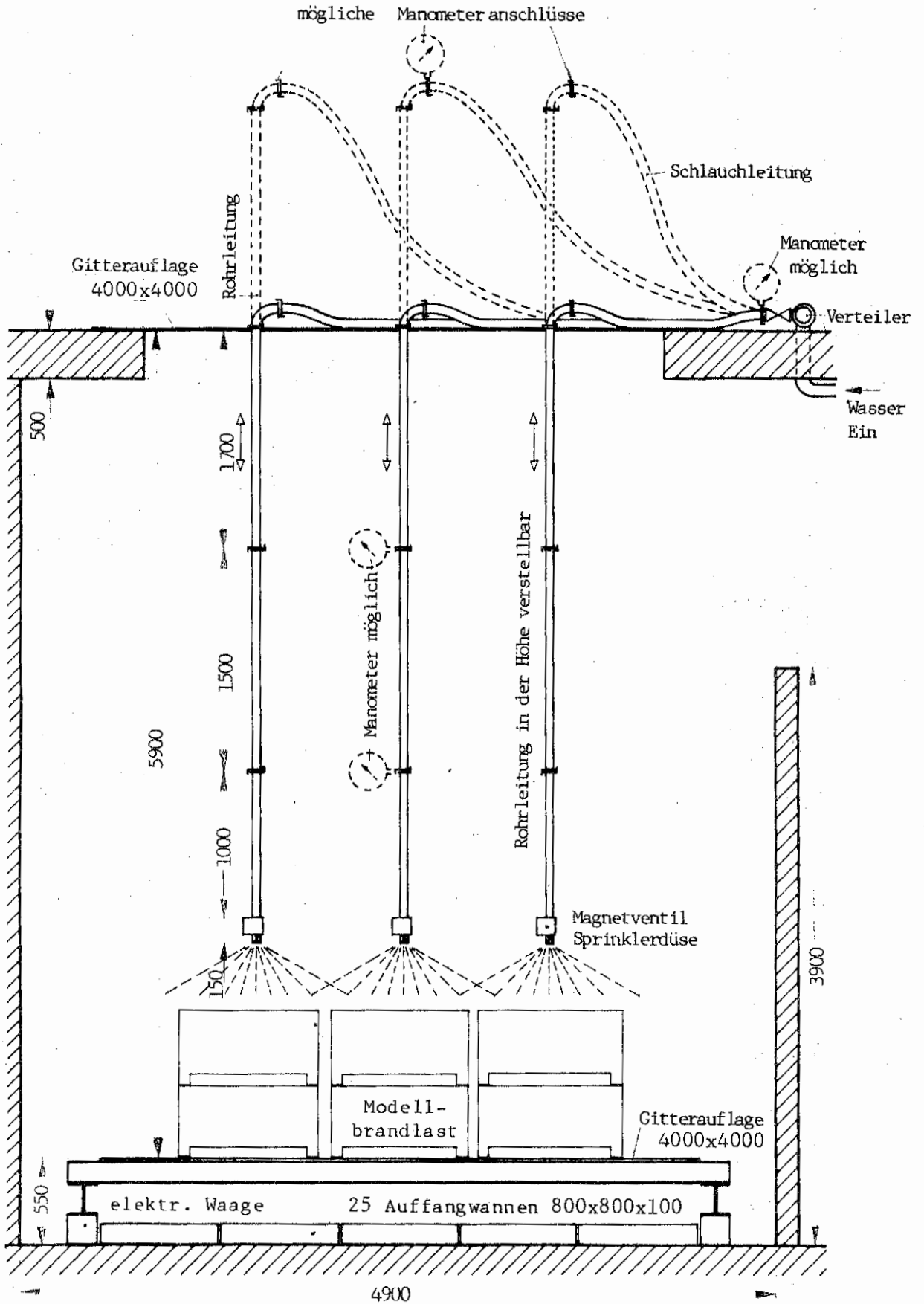


Bild 12. Versuchsraum in der Seitenansicht.

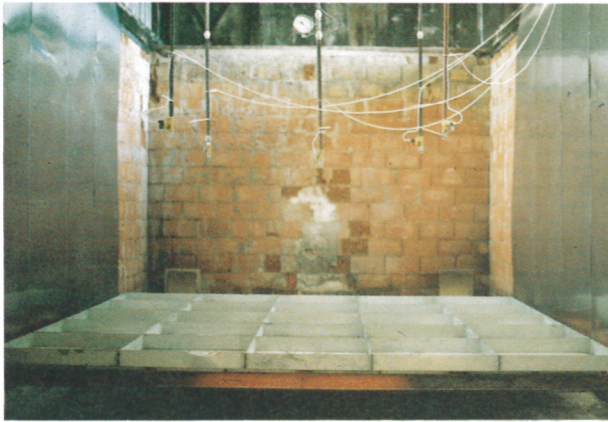


Bild 13a. Seitenansicht des Versuchsraumes mit den Auffangwannen auf der Waage.

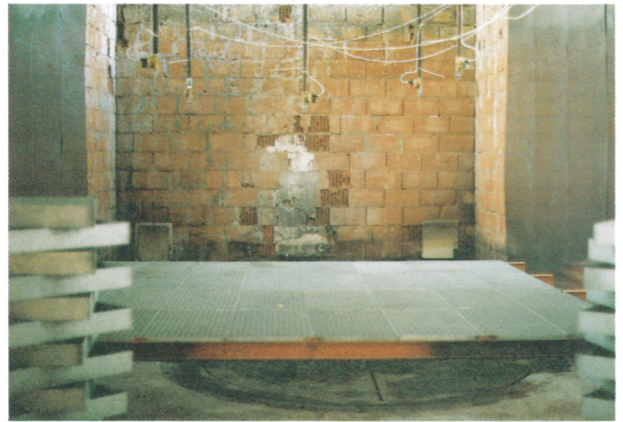


Bild 13b. Seitenansicht des Versuchsraumes mit der Waage und den Auffangwannen seitlich.

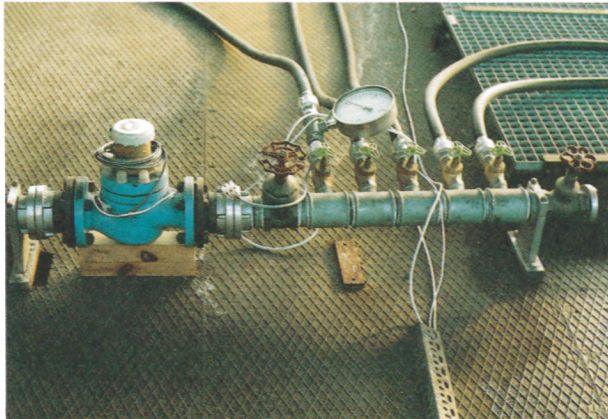


Bild 15a. Elektronische Wasseruhr und Verteiler mit 5 Anschlüssen.



Bild 15b. Gitterauflage und Schlauchleitungen für 5 Sprinkler.



Bild 16a. Eine Sprinklerdüse im Einsatz in 1,50 m Höhe.



Bild 16b. 5 Sprinklerdüsen im Einsatz in 1,50 m Höhe.

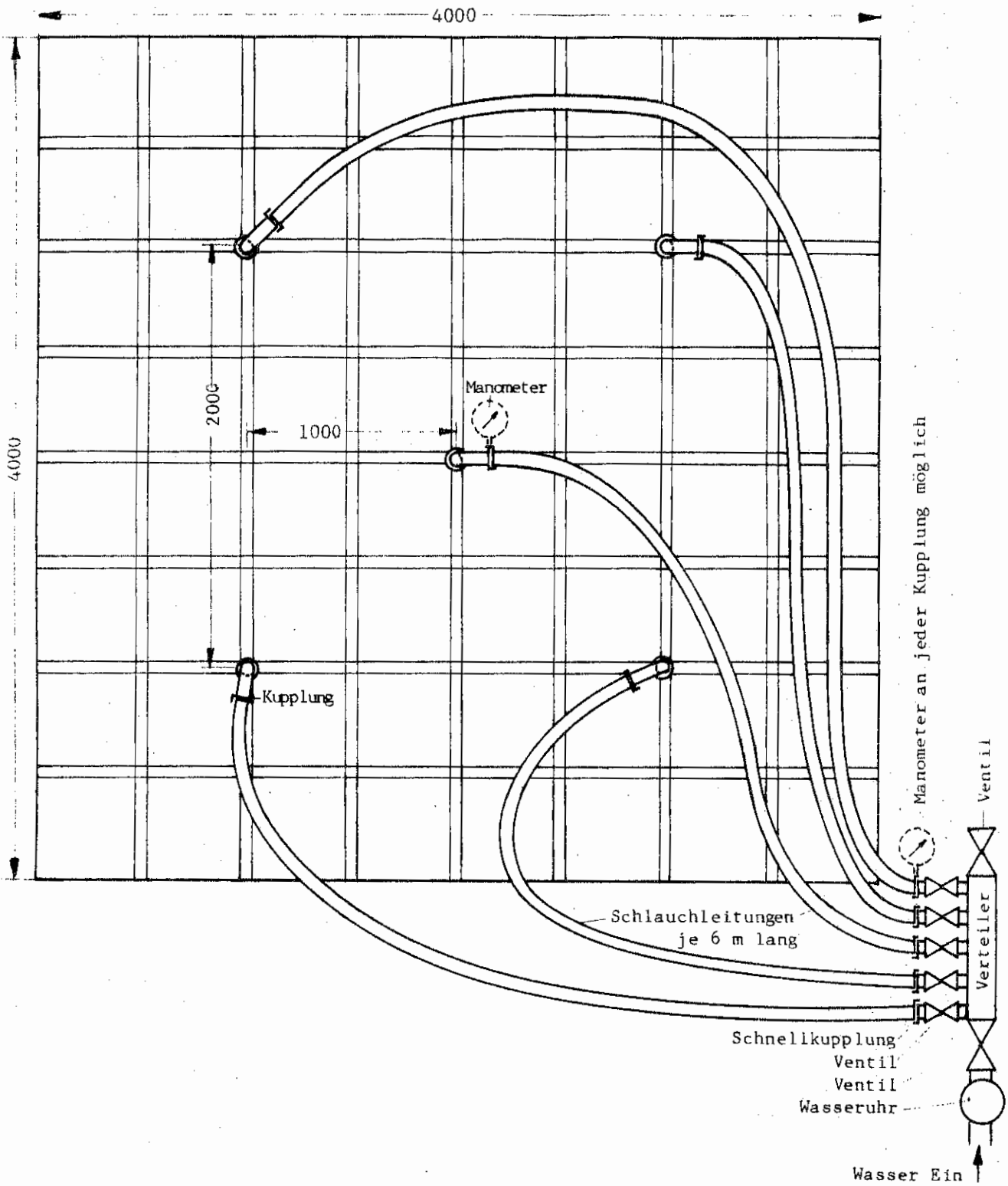


Bild 14. Verteiler mit Anschlüssen.

2,6	3,0	7,4	5,8	3,4
6,8	8,0	12,6	8,4	5,8
5,9	13,8		11,2	6,6
		17,9		
4,5	7,8	13,4	7,8	2,8
1,5	3,6	6,7	1,5	0,6

Pumpe c
1 Sprinkler auf
Bypass auf oder zu

Höhe = 1,5 m

$V_0 = 122,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 108,4 \text{ l/min}$

3,0	4,0	4,6	4,0	3,0
4,0	6,1	5,6	5,6	2,5
6,1	6,8	11,8	8,6	7,2
4,2	6,6	8,6	7,0	5,2
3,5	5,0	6,2	3,8	2,8

Höhe = 3,0 m

$V_0 = 121,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 86,9 \text{ l/min}$

2,2	5,6	6,0	4,8	3,6
4,2	5,8	6,8	6,8	4,8
6,2	7,1	10,2	5,4	5,4
4,6	6,4	6,6	4,7	3,6
3,0	3,9	6,4	5,4	2,1

Höhe = 4,5 m

$V_0 = 119,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 84,2 \text{ l/min}$

Bild 17. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m^2 in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche, der Sprinkleranzahl und des Volumensstromes.

2,5	3,0	4,6	3,3	2,7
3,7	6,7	8,6	6,0	3,8
3,9	9,6	12,1	7,8	4,2
3,2	5,8	9,4	6,6	3,8
1,9	2,8	4,4	2,4	1,8

Pumpe d
1 Sprinkler auf
Bypass auf

Höhe = 1,5 m

$V_0 = 90,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 82,6 \text{ l/min}$

2,2	4,2	4,0	4,0	2,2
3,8	6,0	5,4	4,6	3,4
4,0	5,6	8,6	4,6	4,0
3,6	4,5	6,8	4,6	3,6
3,2	3,0	4,0	3,5	2,1

Höhe = 3,0 m

$V_0 = 92,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 67,4 \text{ l/min}$

2,0	3,4	3,9	2,4	2,4
3,2	4,4	5,4	4,2	2,8
3,2	5,0	7,8	4,4	3,5
3,9	4,2	4,6	4,4	3,0
2,0	3,2	3,4	3,1	2,0

Höhe = 4,5 m

$V_0 = 92,0 \text{ l/min}$

$V_1 = 58,8 \text{ l/min}$

Bild 18. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche, der Sprinkleranzahl und des Volumensstromes.

3,6	5,9	7,7	5,9	3,8
7,0	10,6	13,4	9,8	6,7
7,0	12,4		11,0	8,2
		18,8		
5,6	9,6	14,0	11,0	7,0
3,0	4,8	7,6	3,3	2,4

Pumpe d
1 Sprinkler auf
Bypass zu

Höhe = 1,5 m

$V_0 = 139,0$ l/min

$V_1 = 128,8$ l/min

3,4	5,2	7,0	5,8	4,0
5,9	8,8	10,1	9,0	6,0
7,4	10,0	13,0	7,6	6,8
6,8	6,0	9,8	8,5	7,0
4,1	4,8	6,6	5,5	2,4

Höhe = 3,0 m

$V_0 = 140,0$ l/min

$V_1 = 109,6$ l/min

3,0	5,8	7,6	4,6	3,6
5,6	9,9	8,2	7,3	6,7
6,2	10,0	11,8	8,4	7,4
6,6	8,0	8,3	5,3	6,0
4,0	5,4	6,4	5,9	3,6

Höhe = 4,5 m

$V_0 = 140,0$ l/min

$V_1 = 106,0$ l/min

Bild 19. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche, der Sprinkleranzahl und des Volumensstromes.

9,5	10,0	14,5	11,7	8,5
9,8	18,0	19,5	18,8	10,2
14,5	20,2	19,5	19,5	14,5
11,7	15,0	20,2	14,8	12,5
8,0	10,0	12,7	9,5	7,0

Pumpe d
5 Sprinkler auf
Bypass zu

Höhe = 1,5 m

$V_0 = 278,0$ l/min

$V_1 = 218,0$ l/min

7,5	7,5	12,0	8,8	6,3
7,0	12,5	15,8	14,2	7,5
11,3	16,3	16,3	15,8	11,3
8,8	11,5	17,2	10,5	9,0
7,0	9,0	10,0	8,0	6,7

Pumpe d
5 Sprinkler auf
Bypass auf

Höhe = 1,5 m

$V_0 = 208,0$ l/min

$V_1 = 171,4$ l/min

14,0	19,0	30,0	21,0	12,5
20,5	31,5		33,0	18,0
		37,3		
23,3	31,3		34,5	26,3
		38,5		
21,5	32,5	33,5	27,0	20,2
12,0	15,0	21,0	16,5	12,5

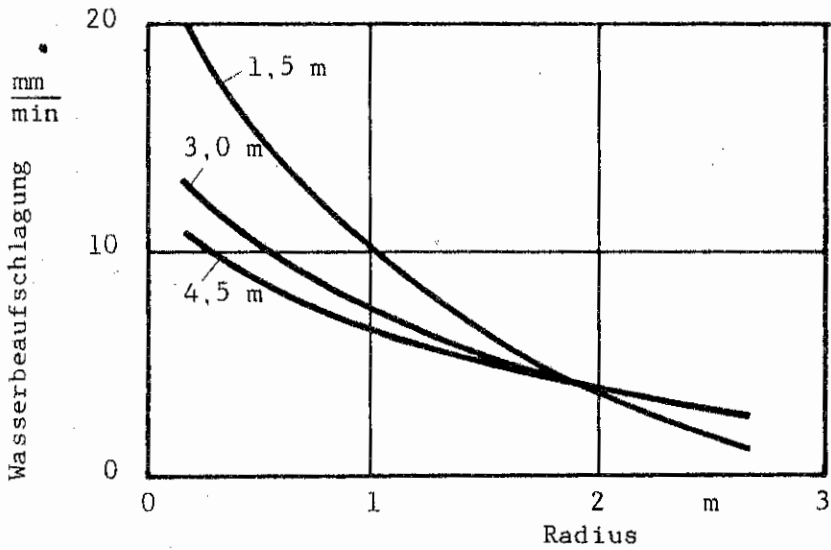
Pumpe c
5 Sprinkler auf
Bypass auf oder zu

Höhe = 1,5 m

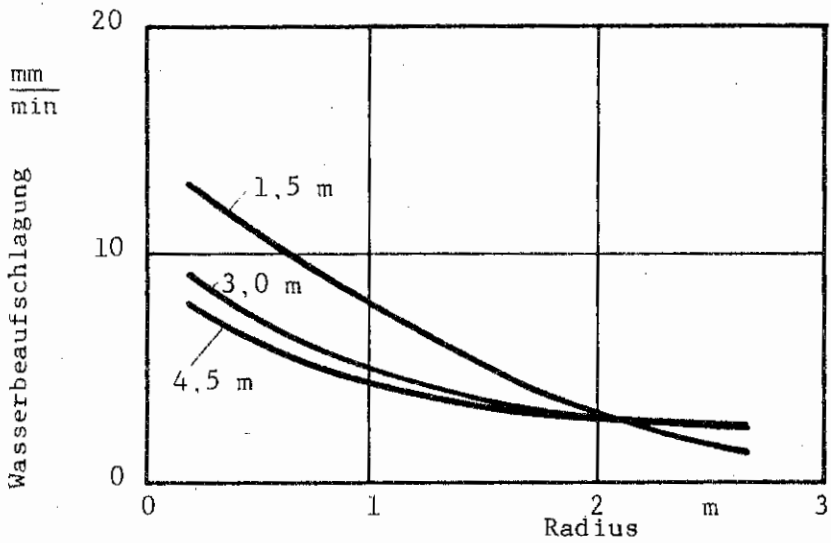
$V_0 = 565,0$ l/min

$V_1 = 385,5$ l/min

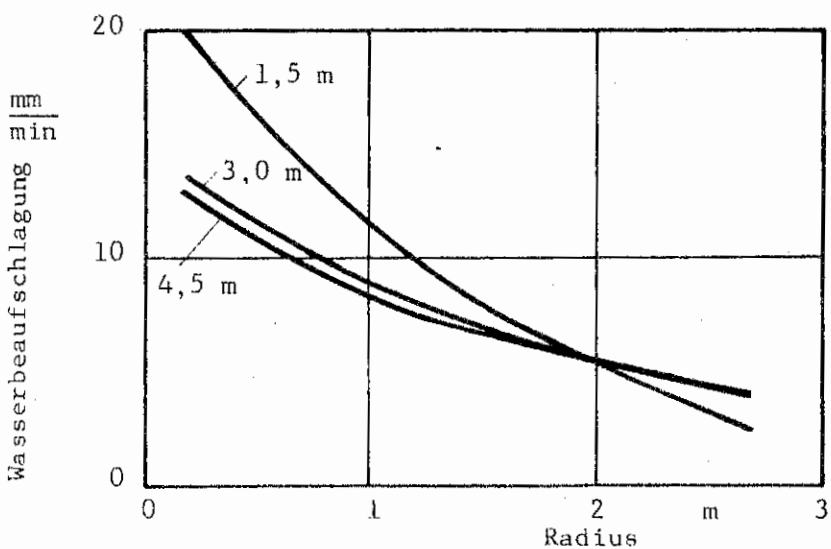
Bild 20. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf eine vorgegebene Fläche von 16 m² in Abhängigkeit von der Sprinklerhöhe über der Fläche, der Sprinkleranzahl und des Volumensstromes.



Pumpe c
Bypass auf oder zu
1 Sprinkler

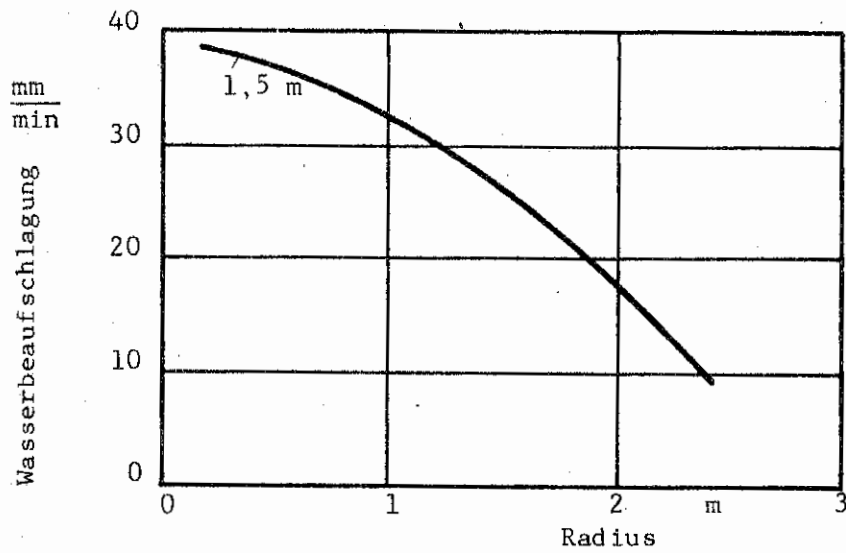


Pumpe d
Bypass auf
1 Sprinkler

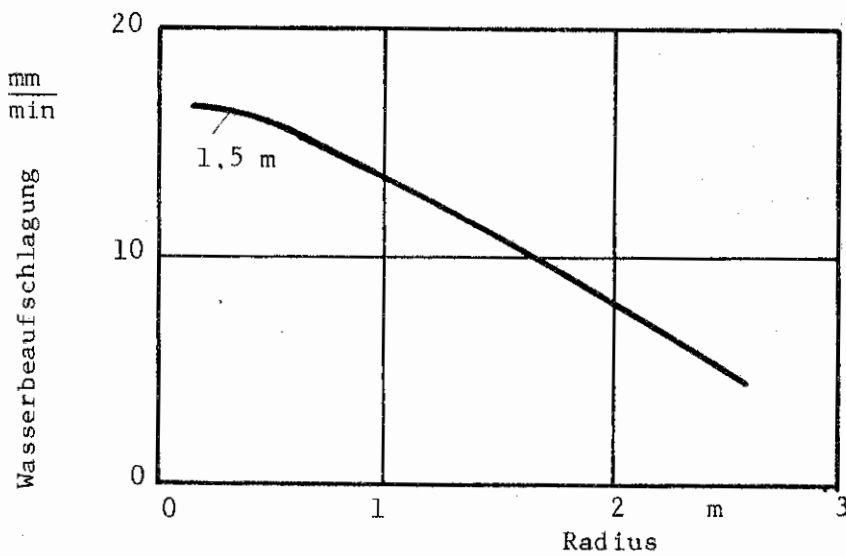


Pumpe d
Bypass zu
1 Sprinkler

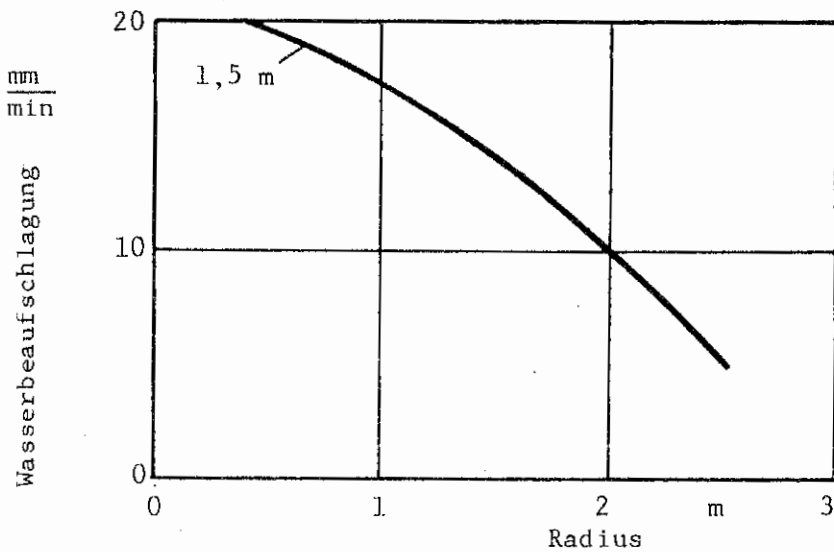
Bild 21. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei 3 Sprinklerhöhen und einem geöffneten Sprinkler.



Pumpe c
Bypass auf oder zu
5 Sprinkler



Pumpe d
Bypass auf
5 Sprinkler



Pumpe d
Bypass zu
5 Sprinkler

Bild 22. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei einer Sprinklerhöhe und 5 geöffneten Sprinklern.