

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil 9: Messung und Simulation der Wasser-
beaufschlagung – Flüssigkeitsverteilungen –
Bestimmung von Tropfengrößen

82

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

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

Forschungsbericht Nr.82

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 9: Messung und Simulation der Wasser-
beaufschlagung - Flüssigkeitsverteilungen -
Bestimmung von Tropfengrößen

von
Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
Dezember 1992

FA: Nr. 138 (4 / 91)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSANLAGE UND MEßEINRICHTUNG	2
2.1 Wasserversorgung	3
2.2 Versuchsaufbau	4
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	6
3.1 Wasserbeaufschlagung	6
3.2 Flüssigkeitsverteilung und Tropfengröße	15
3.2.1 Phasen/Doppler-Teilchenanalysator	15
3.2.2 Meßergebnisse	16
4. ZUSAMMENFASSUNG	21
5. LITERATURVERZEICHNIS	22
6. TABELLE UND BILDER	23

1. EINLEITUNG

Die Lagerung von Stoffen in hohen und weit ausgedehnten Gebäuden stellt in zunehmendem Maße ein hohes Brandrisiko dar. Sehr viele Gebäude dieser Art sind immer noch nicht mit ausreichenden Brandschutzmaßnahmen ausgerüstet, so daß es immer wieder vorkommt, daß ein ausgebrochener Brand nicht bereits im Entstehungsstadium bekämpft werden kann. Die eintreffende Feuerwehr ist dann oft nur noch in der Lage evtl. anwesende Personen aus dem brennenden Gebäude zu retten und die Umgebung vor dem Brand zu schützen.

Ortsfeste Löschanlagen sind sinnvolle Einrichtungen, die nach dem Detektieren eines Brandes ohne wesentliche Zeitverzögerung eingesetzt werden können. Auf diese Weise wird die Zeit von der Alarmierung bis zum Eintreffen der Feuerwehr am Einsatzort sinnvoll genutzt, da der Brand bereits im Entstehungsstadium bekämpft werden kann.

In den allermeisten Fällen wird in den ortsfesten Löschanlagen als Löschmittel Wasser benutzt. Bei der Installation derartiger Sprinkleranlagen ist es möglich, für die zu schützenden Stoffe und Räume entsprechende Sprinklertypen zu verwenden. Diese sollten vom Verband der Sachversicherer (VdS) zugelassen sein und den Richtlinien für Sprinkleranlagen für die Planung und den Einbau entsprechen /1/.

Die Sprinkler verschiedener Typen haben, auch wenn sie vom VdS zugelassen sind, sehr unterschiedliche Sprühbilder. Diese können sich sowohl bei gleichen als auch bei unterschiedlichen Sprinklertypen sehr stark unterscheiden.

Ein längerfristiges Forschungsvorhaben befaßt sich mit Untersuchungen über die Ausbreitung von Bränden und den Löscheinsatz mit Sprinklern in Lägern, um Erkenntnisse zu erhalten, die so-

wohl den Brandschaden begrenzen als auch die Löschmittelmengen gering halten können.

Bei Sprinklern ist neben dem Sprühbild die beim Austritt des Wassers aus einem Sprinkler entstehende Tropfengröße von entscheidender Bedeutung. Dazu ist es erforderlich, daß nach dem Auslösen eines Sprinklers beim Ausströmen des Wassers der in den Richtlinien angegebene Mindestdruck eingehalten wird.

Für die Untersuchungen wurden 6 handelsübliche hängende Sprinkler unterschiedlicher Typen ausgewählt und mit A, B, C, E, F und G bezeichnet. Ein Teil dieser Sprinkler stand auch für Messungen von Tropfengrößen und Flüssigkeitsverteilungen zur Verfügung, die jedoch nicht an der Forschungsstelle durchgeführt werden konnten¹⁾.

2. VERSUCHSANLAGE UND MEßEINRICHTUNG

Eine schematische Übersicht des Aufbaus der gesamten Versuchseinrichtung ist in den Bildern 1 bis 3 dargestellt.

Der für die Untersuchungen verwendete Versuchstand befindet sich in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH). Sie besteht im wesentlichen aus der Wasserversorgungseinrichtung der Sprinkler und der Versuchseinrichtung mit der Waagekonstruktion, der Modellbrandlast und den zugehörigen Aufbauten und Meßeinrichtungen.

Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) bedankt sich bei folgenden Firmen für ihre Spenden:

- 1) Fa. Lechler GmbH und Co.KG in Fellbach (Tropfen- und Verteilungsmessungen mit Sprinklern)
- 2) Fa. KSB Aktiengesellschaft in Frankenthal (Pumpe)
- 3) Fa. Leroy-Somer GmbH in Saarbrücken-St.Arnual (Pumpenmotor)
- 4) Fa. Total-Walther Feuerschutz GmbH in Köln (Sprinklersystem)
- 5) Fa. Krohne Meßtechnik GmbH & Co.KG in Duisburg (Durchflußmeßgerät)

2.1 Wasserversorgung

Das Wasser gelangt aus den Leitungen der städtischen Wasserversorgung (a) in einen Wasservorratsbehälter (b) mit einem Fassungsvermögen von ca. $2,4 \text{ m}^3$, der als zusätzliches Wasserreservoir dient. Zur Sicherheit ist an diesem Behälter ein Überlauf (c) angebracht. Über ein Ventil (d) wird das Wasser aus dem Behälter über eine Saugleitung (e) zur Pumpe (f) oder zur Pumpe (g) gefördert. Die Pumpe (f) ist eine Kreiselpumpe, hat eine Motorleistung von $18,5 \text{ kW}$ und eine Drehzahl von 2900 U/min . Die max. mögliche Fördermenge beträgt $77 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Förderhöhe von 52 m WS . Die Pumpe²⁾ (g) hat eine Motorleistung³⁾ von 37 kW und eine Drehzahl von 2900 U/min . Die max. mögliche Förderleistung beträgt $125 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Förderhöhe von 81 m WS . Die Umrüstung von einer Pumpe zur anderen erfolgt durch Ankoppeln der Saugleitung und Öffnen bzw. Schließen der jeweils anderen Leitung.

Eine Bypassleitung, die bei geschlossenem System für beide Pumpen als Entlastungskreislauf dient, wurde in 3 Leitungen mit je einem Ventil (h,i,j) aufgeteilt, um den Volumenstrom und den Druck besser einstellen zu können. Auf diese Art kann z. B. das Auslösen weiterer Sprinkler simuliert werden. Nach einem Absperrventil (k) kann an einer elektronischen Wasseruhr (l) die Durchflußmenge und an einem elektronischen Manometer (m) der jeweilige Druck abgelesen werden.

In einer Höhe von ca. 4 m beginnt der waagrechte Verlauf des Sprinklersystems⁴⁾. Es ist möglich, diesen Teil des Systems in andere Höhen bis zu ca. $7,5 \text{ m}$ zu verlegen, um darunter auch höhere Aufbauten installieren zu können. Die Rohrleitung ist so ausgelegt, daß entweder ein einzelner Sprinkler (S0), vier Sprinkler (S1,S2,S3,S4) oder auch fünf Sprinkler (S0,S5,S6,S7,S8) eingesetzt werden können. Bild 4 zeigt die Anordnung der Sprinkler S0 bis S8. Die Abstände der Sprinkler zueinander betragen bei diesen Anordnungen jeweils 3 m . Der mittlere Sprinkler S0 befindet sich genau über dem Zentrum der Waagekonstruktion.

Wird eine Rohrleitung nicht benutzt, kann sie jeweils durch ein Ventil (n) geschlossen werden. Für die jeweilige Anwendung wurden die Rohrleitungen mit den entsprechenden Durchmessern verlegt, so daß die hydraulischen Voraussetzungen erfüllt sind.

Um die Durchflußmengen für jeden Sprinkler bestimmen zu können, wurden in den entsprechenden Rohrleitungsstücken magnetisch-induktive Durchflußmesser⁵⁾ (o) eingebaut. Über ein Manometer (p) ist es möglich, unmittelbar vor dem Wasseraustritt den Druck abzulesen, um die geforderten Werte einhalten zu können. Am Ende der Rohrleitung wurde jeweils ein Ventil (q) angebracht, so daß das gesamte Rohrleitungssystem entlüftet werden kann. Anstelle eines Magnetventils (r), mit dessen Hilfe bei Kaltversuchen das Wasser freigegeben bzw. abgesperrt werden kann und anschließend offenen Sprinkler (s), wird bei Brandversuchen ein geschlossener Sprinkler (s) installiert.

2.2 Versuchsaufbau

In der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik mit den Abmessungen 30 m x 15 m x 12 m (L x B x H) wird eine Teilfläche für den Versuchsstand zur Durchführung der Untersuchungen für die Brandausbreitung und den Löscheinsatz benötigt. Auf dem Boden der Versuchshalle wurde eine Waagekonstruktion installiert, deren Fläche die Abmessungen 5 m x 5 m besitzt. Um diese Waage wurde zusätzlich ein etwa 3 m breiter Streifen freigehalten, damit die umliegenden Teile bezüglich Wärme und Wasser besser geschützt sind. Auf der Waage kann das während eines Brandversuches abnehmende Brandgut gewogen werden.

Die Waagekonstruktion ruht auf 4 Kraftmeßdosen, von denen je 2 über Doppel-T-Träger direkt miteinander verbunden sind. Die Querverbindung zwischen diesen beiden Trägern ist durch 11 angeschweißte Doppel-T-Träger hergestellt. Auf diesen Trägern liegen Gitterroste, die gegen Verrutschen gesichert, aber abnehmbar verlegt sind (Bild 1). Jeder der 4 Druckaufnehmer stellt eine

allseitig freibewegliche Pendelstütze dar. Die Kraft selbst wird über eine gehärtet 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 gespeichert.

Die Tragkraft der Waage beträgt ca. $8 \cdot 10^4$ N, die Ansprechempfindlichkeit ca. 1 N. Horizontale Verschiebungen und kleinere fertigungsbedingte Höhenunterschiede werden ausgeglichen und beeinträchtigen die Messung nicht.

Auf dieser Waagekonstruktion befindet sich die bereits erwähnte Gitterauflage mit der Größe 5 m x 5 m, bestehend aus einzelnen Gitterrosten. Auf diesen Rosten kann das Brandgut in beliebiger Weise angeordnet und die Luftzufuhr von unten sichergestellt werden. In den Bildern 1 und 2 sind als Beispiel quaderförmige Behälter nebeneinander bzw. übereinander dargestellt. In der Versuchshalle befindet sich in einer Höhe von 8 m ein Kran, mit dessen Hilfe die Aufbauten positioniert werden können.

Um die auf einer vorgegebenen Fläche auftreffende Wassermenge bestimmen zu können, werden bei Kaltversuchen Auffangwannen auf die Waagekonstruktion, bei Warmversuchen darunter gestellt (Bilder 1,2,3). Die quadratischen Auffangwannen haben eine Kantenlänge von 80 cm und eine Höhe von 10 cm.

Die Versuchsanlage kann in der Höhe variiert werden. Die max. mögliche Höhe für die Sprinkler ist bei ca. 7,5 m erreicht. Dazu ist es erforderlich die senkrecht nach oben führende Rohrleitung je nach Höhe mit verschiedenen langen Zwischenrohrstücken zu verlängern.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit Untersuchungen an Sprinklern, bei denen das austretende Wasser aus vorgegebenen Höhen in den bereits erwähnten Wannen aufgefangen wird. Bei diesen Kaltversuchen wurden die Auffangwannen auf die Gitterauflage der Waagekonstruktion gestellt, damit das Wasser ungehindert auf-treffen konnte. Die für diese Messungen zur Zeit zur Verfügung stehende Wannenfläche beträgt 16 m^2 , wobei die quadratischen Einzelwannen jeweils eine Kantenlänge von $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ besitzen. In diesen insgesamt 25 Auffangwannen wurden nach jedem Versuch die Wassermengen manuell festgestellt, die entsprechenden Werte in einen Computer eingegeben und mit einem an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik entwickelten Programm ausgewertet.

Bild 5 zeigt die Meßfläche mit der Nummerierung der einzelnen Auffangwannen und die Lage der Sprinkler S0 bis S4, wie sie bei der Messung (S0) und für die Berechnung (S1 bis S4) eingesetzt wurden.

Die Höhen der Sprinkler zur beaufschlagten Fläche betragen bei diesen Untersuchungen $0,9 \text{ m}$, $1,5 \text{ m}$ und $3,5 \text{ m}$. Die eingestellten Volumenströme reichten je nach Sprinklertyp von 60 l/min bis an-nähernd 500 l/min . Die gemessenen Wasserbeaufschlagungen von verschiedenen Sprinklertypen ergänzen die bei früher durchge-führten Untersuchungen /2,3,4/ gemessenen Werte.

3.1 Wasserbeaufschlagung

Tabelle 1 gibt für 6 verschiedene Sprinklertypen die auf einer Fläche von 16 m^2 (25 Auffangwannen à $0,8 \text{ m}$ Kantenlänge) ermit-telten Wassermengen wieder. Neben dem verwendeten Sprinklertyp sind die jeweiligen Höhen des Sprinklers über den Auffangwannen und die Volumenströme aufgeführt.

Es ist zu erkennen, daß bei einem Volumenstrom von ca. 60 l/min

und einem Abstand von 0,9 m unabhängig vom Sprinklertyp mehr als 95 % des Wassers auf die vorgegebene Fläche gelangt. Bei einer Höhe von 1,5 m zeigen sich bereits Unterschiede. Beim Sprinkler Typ F sind es nur noch 41 %, d. h. die Reichweite hat im Gegensatz zu den anderen Sprinklern stark zugenommen, da das meiste Wasser bereits über die Wannens hinaus versprüht wird.

Bei Volumenströmen zwischen ca. 90 l/min und ca. 140 l/min gelangen bei geringeren Höhen bis ca. 1 m je nach Sprinklertyp zwischen 90 % und 100 % des ausströmenden Wassers in die Auffangwannen. Bei größeren Höhen von 3 m bis zu 4,5 m nehmen diese Werte je nach Sprinklertyp (A, B, C, G) bis auf etwa die Hälfte ab. Ein Teil dieser Werte wurde bereits in /2/ aufgelistet.

Eine weitere Erhöhung des Volumenstromes auf ca. 180 l/min bewirkt bei den genannten Sprinklern keine wesentlichen Veränderungen. Auch der Sprinkler Typ E paßt von der aufgefangenen Wassermenge her in diese Reihe. Dieser sollte jedoch nach den Angaben des Herstellers bei einem Druck von mindestens 3,45 bar (50 psi) betrieben werden. Für die anderen Sprinkler wird ein Mindestdruck von 0,5 bar vorgeschrieben.

Der Sprinkler Typ F bildet, wie bereits beim geringeren Volumenstrom, auch beim höheren Volumenstrom eine Ausnahme. Hier gelangen bei einer Höhe von 0,9 m nur etwa 3/4 der ursprünglichen Wassermenge in die Wannens und bei einer Höhe von 1,5 m nur noch 30 %. Dies bedeutet, daß dieser Sprinkler zwar die Richtlinien erfüllt, bei denen 4 Sprinkler gemessen werden, aber bei einem Einzelsprinkler und Höhen über 1,5 m weniger als 30 % des ursprünglich austretenden Wassers auf eine Fläche von 16 m² gelangen.

Die Erhöhung des Volumenstromes auf ca. 200 l/min bei Sprinkler Typ G und ca. 300 l/min bei Sprinkler Typ C bringt keine grob abweichenden Werte gegenüber den geringeren Volumenströmen. Lediglich die Erhöhung beim Sprinkler Typ E auf Volumenströme zwischen 400 l/min und 500 l/min, die dem für diesen Sprinkler an

gegebenen Überdruck von ca. 5 bar entsprechen, lassen erkennen, daß auch bei größeren Höhen nahezu das gesamte Wasser auf der vorgegebenen Fläche von 16 m² auftrifft, so daß evtl. das Auslösen eines Sprinklers dieses Typs genügen kann, einen darunter liegenden Brand zu löschen.

Die Bilder 6 bis 22 zeigen jeweils im oberen Bildteil die mit den Sprinklern der Typen A, B, C, E, F und G aufgenommenen Wasserbeaufschlagungen in Abhängigkeit vom Radius, wenn der jeweilige Sprinkler zentral über dem Wannenfeld an der Stelle S0 installiert ist. Da ein Sprinkler kein symmetrisches Sprühbild liefert, wurden auf einem gleichen Radius um den Sprinkler Mittelwerte für die Wasserbeaufschlagung ermittelt, so daß die entsprechende Kurve beim gemittelten Wert der zentralen Auffangwanne bei einem Radius von 0,2 m beginnt. Die Werte bei dem Radius Null können demnach größer oder kleiner sein. Die jeweilige Kurve endet für diese Meßanordnung bei einem Radius von 2,6 m, obwohl je nach Sprinklertyp auch eine größere Reichweite zu verzeichnen ist.

In den Bildern ist als Parameter entweder die Höhe des Sprinklers über den Auffangwannen oder der Sprinklertyp angegeben. Rechts neben dem jeweiligen Bild ist der entsprechende Sprinklertyp oder die Höhe des Sprinklers über den Auffangwannen und der durch den Sprinkler austretende Volumenstrom aufgeführt.

Die im jeweiligen unteren Bildteil befindlichen Zahlenwerte zeigen die rechnerisch ermittelten Wasserbeaufschlagungen für 4 Sprinkler (S1, S2, S3, S4), die aus der Wasserbeaufschlagung von einem Sprinkler (S0) gewonnen wurden. Eine nähere Beschreibung der Berechnung der Überlagerung von 4 Sprinklern befindet sich in /4/. Die Reihenfolge der betreffenden Überlagerungen ist jeweils im Bild rechts oben angegebenen.

Das Diagramm in Bild 6 zeigt die Wasserbeaufschlagung für jeweils einen Sprinkler der Typen A, B, C, F und G bei einer Höhe von 0,9 m und einem Volumenstrom zwischen 60 und 70 l/min. Es

ist zu erkennen, daß der Kurvenverlauf bei den Sprinklern A, C und G die gleiche Tendenz aufweist und bei einem Radius von 0,5 m bis 1 m ein Maximum besitzt, während der Sprinkler Typ B seine höchste Wasserbeaufschlagung zentral unter dem Sprinkler in der Mitte und der Sprinkler Typ F erst bei einem Radius von ca. 1,8 m liefert.

Die rechnerische Überlagerung für 4 identische Sprinkler des jeweiligen Typs an den Stellen S1 bis S4 (Bild 5) ist auf dem unteren Bildteil anhand der Zahlenwerte zu erkennen. Hier ist je ein Zahlenwert für die entsprechende Auffangwanne ausgedruckt.

Es ist zu erkennen, daß bei den Sprinklern der Typen A, C und G die Auffangwannen bei einem Radius von 0,5 m bis 1 m um jeden Sprinkler (S1, S2, S3, S4 wie in Bild 5) deutlich mehr Wasser beinhalten als der mittlere Bereich des Wannensfeldes und die Eckwanne beim Typ A durch die etwas höhere Beaufschlagung beim Radius bis 0,4 m einen höheren Wert aufweist als bei den Typen C und G. Typ B mit der deutlich höchsten Beaufschlagung bei kleinem Radius weist auch bei der Überlagerung in der Eckwanne den höchsten Wert auf, der zur Mitte hin abnimmt, da wie bei den Typen A, C und G auch beim Typ B die Beaufschlagung bei einem Radius über 1,7 m stark abnimmt. Im Gegensatz dazu ist beim Typ F in der mittleren Auffangwanne das meiste Wasser zu verzeichnen, da bei der Überlagerung mit einem Radius von mehr als 1,6 m, den höchsten Werten der Wasserbeaufschlagung dieses Sprinklertyps, genau die mittlere Wanne erreicht wird.

Bild 7 zeigt die Wasserbeaufschlagung bei der gleichen Höhe von 0,9 m und einem Volumenstrom von ca. 180 l/min. Die einzelnen Kurven für die verschiedenen Sprinklertypen zeigen eine deutliche Erhöhung des Wertes beim jeweiligen Radius. Der Kurvenverlauf jedoch ist in etwa gleich geblieben.

Bei der rechnerischen Überlagerung von 4 Sprinklern des jeweiligen Typs im unteren Bildteil wird dies anhand der einzelnen Zahlenwerte für die Auffangwannen deutlich. Die Werte sind nur an

gestiegen, während beim Typ F zusätzlich die Reichweite etwas angestiegen ist, was an der Zunahme der Beaufschlagung der um die mittlere Wanne befindlichen Auffangwannen in Bild 7 (c) im Vergleich zu Bild 6 (d) zu erkennen ist.

Bild 8 zeigt die entsprechenden Kurven für eine Höhe von 1,5 m und einem Volumenstrom zwischen 60 l/min und 70 l/min. Hier wird deutlich, daß im Gegensatz zu einer Höhe von 0,9 m die Wasserbeaufschlagung bis zu einem Radius von ca. 1,6 m geringer ist und bei größeren Radien mit Ausnahme des Typs F zwar abnimmt, aber noch etwas höher liegt als bei einer Höhe von 0,9 m (Bild 6).

Im unteren Bildteil ist zu erkennen, daß durch die gleichmäßigere Beaufschlagung bei der Höhe von 1,5 m bei der Überlagerung von 4 Sprinklern die mittleren Wannen etwas mehr Wasser beinhalten. Der Sprinkler Typ B liefert durch die höhere Beaufschlagung bei Radien bis 0,3 m auch den höchsten Wert in der Eckwanne. Bei der Überlagerung von 4 Sprinklern des Typs F, die bei ca. 0,8 m fast kein Wasser liefern, gelangt jedoch von den anderen Sprinklern Wasser in die Wannen um die Eckwanne.

Bild 9 gibt die Verhältnisse bei einer Höhe von 1,5 m und einem Volumenstrom von ca. 180 l/min wieder. Die Kurven sind gleichmäßiger als bei 0,9 m. Sprinkler Typ B liefert auch hier bei kleinen Radien eine höhere Wasserbeaufschlagung als die anderen. Das Sprühbild des Sprinklers Typ G hat sich bei dieser Höhe wie bereits beim niedrigeren Volumenstrom von ca. 60 l/min vergleichmäßig. Der untere Bildteil zeigt bei der Überlagerung von 4 Sprinklern des Typs A, dessen Wasserbeaufschlagung zu größeren Radien leicht abnimmt, eine gleichmäßigere Verteilung und bei Typ B die schon zuvor erwähnte höhere Beaufschlagung bei kleinem Radius, d.h. in der Eckwanne. Bei den Sprinklern Typ F und G ist durch die Zunahme der Wasserbeaufschlagung bei größeren Radien bei der Überlagerung die Mitte stärker betont.

Die Bilder 10, 11 und 12 zeigen die Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ C bei 3 verschiedenen Höhen und unterschiedlichen

Volumenströmen.

In Bild 10 wird bei einer Höhe von 0,9 m mit zunehmendem Volumenstrom die Wasserbeaufschlagung höher und besitzt jeweils bei einem Radius zwischen 0,7 m und 1 m ein Maximum. Die Reichweiten liegen bei diesen Volumenströmen zwischen 1,7 m und 2,7 m. Die Werte im unteren Bildteil zeigen, daß bei den beiden kleineren Volumenströmen bei der Überlagerung der mittlere Bereich aufgrund der geringeren Reichweite weniger beaufschlagt wird, während bei den beiden höheren Volumenströmen durch die größeren Wasserbeaufschlagungen der gesamte Wannenbereich gleichmäßiger beaufschlagt wird.

Bild 11 zeigt die entsprechenden Wasserbeaufschlagungen bei einer Höhe von 1,5 m. Es ist festzustellen, daß sich die Maximalwerte stark verringern und zu größeren Radien hin verschoben haben. Dadurch bedingt sind die Zahlenwerte im unteren Bildteil direkt unter jedem der 4 Sprinkler geringer und steigen bei größeren Radien stark an, was auf die Überlagerung der 4 Sprinkler zurückzuführen ist.

Bild 12 zeigt, daß bei einer Höhe von 3,5 m die Wasserbeaufschlagungen mit zunehmendem Radius ansteigen und bei den höheren Volumenströmen eine größere Reichweite erzielt wird. Dies macht sich bei den Zahlenwerten im unteren Bildteil besonders stark bemerkbar. Bei der Überlagerung von 4 Sprinklern erhalten die Wannen direkt unter dem Sprinkler sehr wenig Wasser, während der mittlere Bereich der Auffangwannen durch die 4 überlagerten Sprinkler stark beaufschlagt wird.

Die Bilder 13 bis 15 zeigen die Wasserbeaufschlagungen für den Sprinkler Typ G bei 3 verschiedenen Höhen und unterschiedlichen Volumenströmen.

Bild 13 zeigt, daß die niedrigeren Wasserbeaufschlagungen bei kleinen Radien unabhängig vom Volumenstrom bis zu einem Maximum bei einem Radius von ca. 0,7 m ansteigen und danach wieder ab

nehmen. Die Zahlenwerte im unteren Bildteil für die Überlagerung von 4 Sprinklern zeigen, daß bei diesem Radius die Beaufschlagung am größten ist und zur mittleren Wanne hin wieder abnimmt.

Auf Bild 14 ist zu erkennen, daß bei einer Höhe von 1,5 m für den gleichen Sprinklertyp G die Kurven über den gesamten Radienbereich etwas gleichmäßiger geworden sind und wie zuvor mit zunehmendem Volumenstrom auch höhere Wasserbeaufschlagungen bringen. Im unteren Bildteil bei der Überlagerung von 4 Sprinklern gleichen Typs macht sich dies dadurch bemerkbar, daß die Werte im mittleren Bereich der Wannenfläche um ein Vielfaches höher sind als die Werte in den Eckwannen.

Wird wie in Bild 15 die Höhe des Sprinklers auf 3,5 m vergrößert, so wird unabhängig vom Volumenstrom die Wasserbeaufschlagung auf der Meßfläche niedriger und gleichmäßiger. Die Reichweite wird etwas größer. Wie anhand der Zahlenwerte im unteren Bildteil zu erkennen ist, bleibt bei der Überlagerung von 4 Sprinklern die Mittenbetonung bestehen, die Werte selbst sind jedoch niedriger.

Die Bilder 16 bis 19 zeigen den direkten Vergleich der Wasserbeaufschlagungen in Abhängigkeit vom Radius für die Sprinkler der Typen A, B, F und G bei 2 unterschiedlichen Höhen und 2 verschiedenen Volumenströmen.

In Bild 16 ist deutlich zu erkennen, daß bei jeweils gleicher Höhe und einer Zunahme des Volumenstromes auch die Wasserbeaufschlagung zunimmt. Bei gleichem Volumenstrom und unterschiedlicher Höhe kreuzen sich jedoch die Kurven bei ca. 1,4 m. Dies bedeutet, daß die Wasserbeaufschlagung mit zunehmender Höhe zu größeren Radien hin zunimmt. Die Zahlenwerte im unteren Bildteil für die Überlagerung von 4 Sprinklern weisen unabhängig vom Volumenstrom für die niedrigere Höhe von 0,9 m höhere Werte in den Eckwannen und für die Höhe von 1,5 m höhere Werte im mittleren Bereich auf.

In Bild 17 sind für den Typ B die entsprechenden Kurven aufgetragen. Auch bei diesem Sprinkler gelten die für den Typ A beschriebenen Bemerkungen. Im Unterschied dazu sind die Beaufschlagungen bei kleinen Radien bis ca. 0,4 m unabhängig vom Volumenstrom und der Höhe stark angestiegen. Bei den Überlagerungen macht sich dies durch die höheren Werte in den Eckwannen direkt unterhalb des jeweiligen Sprinklers bemerkbar.

Auf Bild 18 ist für den Sprinkler Typ F jeweils eine Erhöhung der Wasserbeaufschlagung bei gleicher Höhe und zunehmendem Volumenstrom vorhanden. Da bei diesem Sprinkler im Gegensatz zu den Typen A und B bei kleinen Radien weniger Wasser beaufschlagt wird als bei größeren Radien wirkt sich dies auch sehr stark bei der Überlagerung von 4 Sprinklern aus. In der Eckwanne direkt unter den Sprinkler ist wenig Wasser aufgetroffen und in der mittleren Wanne ein Vielfaches davon.

Bild 19 zeigt die Kurven für den Sprinkler Typ G. Es ist deutlich zu erkennen, daß dieser Sprinkler von den anderen insofern abweicht, daß bei kleinen Radien wenig Wasser in die Auffangwannen gelangt und mit zunehmendem Radius ein Maximum erreichen. Beim gleichen Volumenstrom und unterschiedlichen Höhen überschneiden sich die Kurven bei einem Radius von ca. 1,4 m. Dies bedeutet, daß bei den Höhen von 1,5 m die Wasserbeaufschlagung bei größeren Radien höher ist als bei den kleineren Höhen von 0,9 m. Im unteren Bildteil sind diese Unterschiede bei 4 Sprinklern klar zu erkennen. Während bei den Höhen von 0,9 m die höchsten Werte in den Wannen um die Eckwanne erreicht werden, werden diese bei einer Höhe von 1,5 m erst in den mittleren Auffangwannen erreicht.

Die Bilder 20 bis 22 zeigen für die Sprinkler der Typen C und E die Wasserbeaufschlagungen in Abhängigkeit vom Radius bei jeweils annähernd gleichen Volumenströmen und 3 verschiedenen Höhen. Sprinkler Typ C hat einen größeren Öffnungsquerschnitt und Typ E ist ein ESFR Sprinkler.

Bild 20 zeigt, daß unterhalb des in einer Höhe von 0,9 m hängenden Sprinklers bis zu einem Radius von 1,6 m bei gleichem Volumenstrom die Wasserbeaufschlagung höher ist als bei den Höhen von 1,5 m und 3,5 m. Bei größeren Radien über 2,3 m ist die Reichweite des Sprinklers größer und daher auch die Wasserbeaufschlagung höher als bei den kleinen Radien. Im unteren Bildteil macht sich dies bei der Überlagerung dadurch bemerkbar, daß bei der kleinen Höhe von 0,9 m in der Eckwanne und in der mittleren Wanne etwa gleiche Werte auftreten und dazwischen wenig höher sind. Bei einer Sprinklerhöhe von 1,5 m ist die Eckwanne jeweils wenig befüllt und in den mittleren Wannen eine höhere Wasserbeaufschlagung zu verzeichnen. Bei einer Höhe von 3,5 m sinkt der Wert in der Eckwanne weiter ab und nimmt in der Mitte weiter zu.

Bild 21 zeigt für den Sprinkler Typ E Kurven, die in der Tendenz denjenigen der Typen A und B bei höheren Volumenströmen (Bilder 16 und 17) ähneln. Direkt unter dem jeweiligen Sprinkler ist die Wasserbeaufschlagung hoch, fällt bis zu einem Radius von etwa 0,5 m zunächst steil und danach langsamer ab. Die Überlagerung von 4 Sprinklern zeigt bei den Zahlenwerten, daß die Eckwannen jeweils stärker beaufschlagt werden und mit zunehmender Höhe die Differenz bis zur mittleren Wanne abnimmt. Hier wird nochmals darauf hingewiesen, daß der vom Hersteller angegebene Mindestdruck für den Sprinkler Typ E höher ist als der für diese Messung eingestellte Druck bzw. Volumenstrom.

Auf Bild 22 sind für den Sprinkler Typ E bei einem höheren Volumenstrom bzw. Druck die entsprechenden Wasserbeaufschlagungen in Abhängigkeit vom Radius aufgetragen. Die Kurven weisen höhere Werte auf und liegen direkt unterhalb des jeweiligen Sprinklers sogar über 100 mm/min. Die für diese Höhe von 1,5 m eingetragene Kurve schneidet bei ca. 1,7 m die beiden anderen, so daß hier eine größere Wasserbeaufschlagung zu größeren Radien hin gegeben ist, was sich auch schon in Bild 21 andeutete. Die Zahlenwerte bei der Überlagerung der 4 Sprinkler zeigen deutlich, daß die Eckwannen die höchsten Werte aufweisen. Bei einem Radius ab ca. 0,3 m sind diese Werte bereits stark abgefallen, bleiben in etwa

auf gleichem Niveau, wenn bei der Einzelkurve ein Abfallen zu verzeichnen ist und steigen wieder an, wenn die Beaufschlagung beim Einzelsprinkler nicht abfällt.

3.2 Flüssigkeitsverteilung und Tropfengröße

3.2.1 Phasen/Doppler-Teilchenanalysator

Die Meßeinheit besteht aus einem Lasersender und -empfänger. Beide sind mit einem Personalcomputer und einem Drucker gekoppelt, über die sofort die Meßergebnisse ausgewertet bzw. ausgedruckt werden können. Die Funktionsweise dieses Phasen/Doppler-Teilchenanalysators wird von Bendig /5/ und in /6/ wie folgt beschrieben: Es handelt sich um den am weitesten fortentwickeltesten Tropfengrößenanalysator, der auf dem sogenannten Doppler-Effekt beruht. Hierbei wird Laserlicht an den zu messenden Partikeln gestreut und ändert dabei seine Frequenz und Phasenlage, bezogen auf das Ausgangssignal. Bild 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Meßanordnung. Der Laserstrahl wird durch eine spezielle Optik in 2 Strahlen aufgespalten, die sich mit einem kleinen Winkel zueinander ausbreiten. Diese Strahlen kreuzen sich an einem bestimmten Punkt im Raum. Dieser Punkt repräsentiert gleichzeitig den Meßpunkt. Tropfen, die durch diesen Bereich fallen, streuen das Licht der beiden Laserstrahlen und verschieben gleichzeitig die Frequenz (Doppler-Effekt) und die Phase der Lichtsignale. Während die Verschiebung der Phase mit der Größe der Tropfen zusammenhängt, ist die Frequenzverschiebung proportional zur Geschwindigkeit der Partikel. Das gestreute Licht wird durch ein System von Linsen aufgefangen und auf 3 Fotomultiplier fokussiert. Diese Detektoren zeichnen die Lichtsignale auf, die dann in einem schnellen Transientenrekorder gespeichert werden. Dieses Konzept gestattet Messungen mit hoher Zeit- und Raumauflösung von bis zu 50.000 Teilchen je Sekunde.

3.2.2 Meßergebnisse

Die Bilder 24 bis 28 zeigen die Ergebnisse der Messungen von Tropfengrößen und von Flüssigkeitsverteilungen wie sie für die Forschungsstelle für Brandschutztechnik bei der Fa. Lechler aufgenommen wurden. Für die Untersuchungen standen dabei die Sprinkler der Typen A, B, C, E und F zur Verfügung, wobei beim Sprinkler Typ A keine sinnvollen Tropfenmessungen und beim Sprinkler Typ E keine Vergleichsmessung der Flüssigkeitsverteilung bei einem höheren Druck durchgeführt werden konnte. Die Meßhöhe betrug bei den Verteilungsmessungen jeweils 0,9 m und bei den Tropfenmessungen jeweils 1,5 m. Andere Meßhöhen konnten aus anlagentechnischen Gründen nicht eingestellt werden. Die Verteilungsmessungen wurden quer zum Bügel aufgenommen. Die Tropfenmessungen wurden an mehreren radialen Positionen ebenfalls quer zum Bügel durchgeführt und anschließend über einen Flächenbewertungsfaktor zu einer Gesamtmessung aufaddiert.

Sowohl die erwähnten Meßhöhen als auch die verwendeten Volumenströme bzw. Drücke wurden bereits zuvor bei den Messungen der Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius und bei den Berechnungen zur Überlagerung von jeweils 4 Sprinklern in den entsprechenden Bildern 6 bis 22 und der Tabelle 1 aufgeführt, so daß darauf Bezug genommen werden kann.

Zu den Tropfen- und Flüssigkeitsverteilungsmessungen wurden zusätzlich verschiedene Arten von Verteilungen gemessen wie die Anzahlhäufigkeitsverteilung, die Geschwindigkeitsverteilung, die einfache und die kumulierte Volumenverteilung sowie weitere Kenndaten des Tropfenspektrums, auf die jedoch in diesem Bericht nicht näher eingegangen wird.

In den oberen Bildteilen der Bilder 24 bis 28 sind folgende Größen angegeben. Mit der X-Position ist der horizontale Radius bezeichnet. Die 2. Spalte gibt einen repräsentativen Radius wieder. Da mit zunehmendem Radius auch die Fläche größer wird, ist ein Flächenbewertungsfaktor wie in Spalte 3 notwendig. Wenn die

in Spalte 4 angegebenen Drücke eingestellt werden, ergeben sich die in Spalte 5 aufgeführten Volumenströme. Die Spalten 6, 7 und 8 enthalten jeweils die ermittelten Tropfendurchmesser.

In Spalte 6 handelt es sich um den mittleren Tropfendurchmesser oder arithmetischen Mittelwert (D_{10}), also den rechnerischen Durchschnittswert aller Tröpfchendurchmesser in der Sprühprobe.

Spalte 7 kennzeichnet den Tropfendurchmesser in der Mitte des zerstäubten Volumens ($D_{V50\%}$), d.h. 50 % der gemessenen Tropfen sind gleich oder kleiner als dieser angegebene Durchmesser. Analog dazu sind die restlichen 50 % der gemessenen Tropfen größer als dieser angegebene Wert.

In der 8. Spalte ist der Sauterdurchmesser (D_{32}) angegeben. Dieser kennzeichnet den Durchmesser eines Tröpfchens, der das gleiche Volumen/Oberflächen-Verhältnis hat wie die gesamte Sprühprobe.

Bild 24 zeigt die Flüssigkeitsverteilung für den Sprinkler Typ A aus einer Höhe von 0,9 m für 2 verschiedene Volumenströme. Ein Vergleich der beiden Volumenströme zeigt, daß bei dem höheren auch eine wesentlich höhere Wassermenge in den mittleren Wannen auftritt, wie anhand der dimensionslosen Randskala zu ersehen ist. Die angegebenen Strahlbreiten von lediglich 0,2 m und 1 m deuten darauf hin, daß der Sprinkler fast ausschließlich senkrecht nach unten sprüht. Hier war, wie bereits erwähnt, keine sinnvolle Tropfenmessung möglich.

Ein direkter Vergleich mit Bild 16 Sprinkler Typ A bei einer von 0,9 m Höhe ist nicht möglich, da hier die Sprühweite bis zu einem Radius von ca. 2,6 m bei etwa gleichen Bedingungen erfaßt werden konnte. Diese Diskrepanz kann nicht erklärt werden.

Bild 25 gibt im oberen Bildteil die Tropfenmessung aus einer Höhe von 1,5 m für den Sprinkler Typ B wieder. Es ist zu erkennen, daß die Tropfen beim niedrigeren Druck bzw. Volumenstrom

gegenüber den entsprechenden Radien beim höheren Druck bzw. Volumenstrom bei allen 3 angegebenen Tropfendurchmessern wesentlich größer sind. Bei beiden Volumenströmen ist der mittlere Tropfengrößendurchmesser (D_{10}) gegenüber dem mittleren Volumendurchmesser ($D_{V50\%}$) und dem Sauterdurchmesser (D_{32}) in Abhängigkeit vom Radius sowohl bei den einzelnen Werten als auch in der Gesamtheit sehr viel kleiner.

Im unteren Bildteil sind für die beiden Volumenströme die Flüssigkeitsverteilungen bei einer Höhe (Spritzabstand) von 0,9 m aufgetragen. Die jeweiligen Strahlbreiten betragen 3,4 m und 3 m (Radien 1,7 m und 1,5 m). Ein Vergleich mit Bild 17 für den Sprinkler Typ B und 0,9 m Höhe zeigt, daß das Minimum in der Mitte (Bild 25) bei der Wasserbeaufschlagung bei Radien unter 0,2 m (Bild 17 oben) wegen der großen Auffangwannen nicht erfaßt werden konnte. Zu größeren Radien hin ist auf beiden Bildern ein Abfallen zu verzeichnen, jedoch werden auf Bild 25 nur Strahlbreiten von 3,4 m und 3 m (Radien 1,7 m und 1,5 m) angegeben.

Bild 26 gibt im oberen Bildteil die Tropfenmessung aus einer Höhe von 1,5 m für den Sprinkler Typ C wieder. Hier zeigt sich wiederum, daß mit zunehmendem Volumenstrom die Tropfengröße kleiner wird. Bei dem Volumenstrom von 109 l/min sind die kleinsten Tropfen bei einem Radius (X-Position) von 0,6 m und beim größeren Volumenstrom von 326 l/min bei einem Radius von 1,2 m zu verzeichnen. Diese Tropfen sind auch gleichzeitig kleiner als die beim entsprechenden Radius des Sprinklers Typ B, während sie insgesamt gesehen größer sind. Auch bei diesen Untersuchungen ergeben sich beim mittleren Durchmesser (D_{10}) jeweils kleinere Werte.

Im unteren Bildteil sind die Flüssigkeitsverteilungen für den Sprinkler Typ C bei einer Höhe von 0,9 m aufgetragen. Die Strahlbreite wird mit 3,6 m und 3,8 m (Radius 1,8 m und 1,9 m) angegeben. Bei beiden Volumenströmen ist ausgehend von der Mitte zunächst ein Anstieg, nach einem Maximum ein Minimum, ein erneutes Ansteigen und Abfallen zu verzeichnen. Einen etwa ent-

sprechenden Kurvenverlauf zeigt Bild 10 für die entsprechenden Volumenströme. Abweichungen können damit erklärt werden, daß es sich in Bild 10 um eine Mittelung der Meßwerte über Radien auf der gesamten Fläche und in Bild 26 um Meßwerte der Gefäße auf einer Linie quer zum Bügel handelt.

Bild 27 zeigt die Tropfenmessung aus einer Höhe von 1,5 m für den Sprinkler Typ E. Bei beiden Volumenströmen sind die Tropfen bei den kleinen und bei den großen Radien am größten. Sie sind beim größeren Volumenstrom bzw. beim höheren Druck kleiner als beim niedrigeren. Wie bei den vorherigen Sprinklern ist auch hier jeweils der mittlere Tropfendurchmesser gegenüber den anderen Durchmessern kleiner. Besonders zu erwähnen ist, daß dieser Sprinkler Typ E bei gleichen Druckverhältnissen wie beim Sprinkler Typ C zwar jeweils einen höheren Volumenstrom, aber keine größeren Tropfen liefert.

Im unteren Bildteil ist die Flüssigkeitsverteilung bei einer Höhe von 0,9 m nur für den kleineren Volumenstrom aufgetragen. Der gemessene Radius beträgt nur 0,7 m. Ein Vergleich mit Bild 21 zeigt, daß bei entsprechender Höhe die Wasserbeaufschlagung bis zu einem Radius von über 2,6 m gemessen werden konnte. Der hohe Wasseranteil direkt unter dem Sprinkler und die Abnahme mit größeren Radien ist in beiden Fällen gegeben. Beim höheren Volumenstrom konnte keine Messung durchgeführt werden, weil das Meßgefäß in der Mitte zu schnell gefüllt und der Versuch abgebrochen werden mußte. In dieser kurzen Zeit konnte in den anderen Meßgefäßen kein Wasser aufgefangen werden. Der Vergleich mit Bild 22 zeigt, daß bei höheren Volumenströmen mit größeren Auffanggefäßen gemessen werden muß.

In Bild 28 ist die Tropfenmessung aus einer Höhe von 0,9 m für den Sprinkler Typ F aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß beim kleineren Volumenstrom direkt in der Mitte und bei größeren Radien auch die größeren Tropfen zu finden sind. Sie sind insgesamt sogar größer als beim Sprinkler Typ E. Demgegenüber sind sie beim größeren Volumenstrom wesentlich kleiner und viel

gleichmäßiger verteilt. Hier sind sie insgesamt auch kleiner als beim Sprinkler Typ E.

Im unteren Bildteil sind die Flüssigkeitsverteilungen bei einer Höhe von 0,9 m für den Sprinkler Typ F aufgetragen. Es werden bei den beiden Volumenströmen Strahlbreiten von 4,6 m und 5,8 m (Radien 2,3 m und 2,9 m) erreicht, wobei die höchsten Werte bei großen Radien verzeichnet werden. Im Vergleich mit den Wasserbeaufschlagungen bei entsprechender Höhe auf Bild 18 ist in etwa das gleiche Verhalten festzustellen.

Es kann festgestellt werden, daß für diese Messungen die Fläche bzw. das Volumen der Auffanggefäße eine große Rolle spielen, da kleine Gefäße je nach Sprühbild des betreffenden Sprinklers sehr schnell überlaufen können, so daß der Versuch abgebrochen werden muß. Gefäße mit großer Grundfläche können zwar mehr Wasser aufnehmen, haben aber den Nachteil, daß dadurch bereits ein mittlerer Wert gebildet wird. Gefäße mit kleiner Grundfläche und großem Volumen wären für eine genaue Messung am besten geeignet, was jedoch aus anlagetechnischen Gründen oft nicht durchführbar ist.

Als Weiterführung dieser Arbeit vergleicht Kunkelmann /7/ in seiner Arbeit die aus den angeführten Untersuchungen gewonnenen Meßergebnisse über die Wasserbeaufschlagung mit jeweils einem Sprinklertyp mit den aus einer numerischen Simulation erhaltenen Werten für einen Tropfenschwarm.

4. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird der in der neuen Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik errichtete Versuchsstand zur Untersuchung der Brandausbreitung und des Löscheinsatzes ausführlich beschrieben.

An dieser Anlage wurden die Messungen der Wasserbeaufschlagung über einer vorgegebenen Schutzfläche mit unterschiedlichen Sprinklertypen fortgeführt. Es handelt sich dabei um hängende Sprinkler verschiedener Hersteller. Die aus den Messungen jeweils eines Sprinklers aus unterschiedlichen Höhen erhaltenen Meßwerte für die Wasserbeaufschlagung wurden auf 4 im Quadrat angeordnete Sprinkler übertragen und rechnerisch überlagert. Auf diese Art können durch wahlweise Änderung von Parametern ohne zusätzliche Messungen die Wasserbeaufschlagungen von Sprinklern, die sich in unterschiedlichen Abständen zueinander befinden können, bestimmt und Rückschlüsse auf die Einhaltung der Sprinklerrichtlinien gezogen werden.

Parallel dazu wurden Messungen der Flüssigkeitsverteilung und der Tropfengrößen mit einem Phasen/Doppler-Teilchenanalysator durchgeführt. Die entsprechenden Daten wurden für den jeweiligen Sprinklertyp aus einer vorgegebenen Höhe in verschiedenen horizontalen Abständen aufgenommen. Je nach Sprinklertyp und durchgesetztem Volumenstrom ändern sich sowohl der Tropfendurchmesser als auch die Flüssigkeitsverteilung.

Aufgrund dieser Erkenntnisse sind Hinweise möglich, um Sprinkler mit entsprechend geeigneten Sprühbildern zum Schutz von gelagerten Stoffen einzusetzen.

5. LITERATURVERZEICHNIS

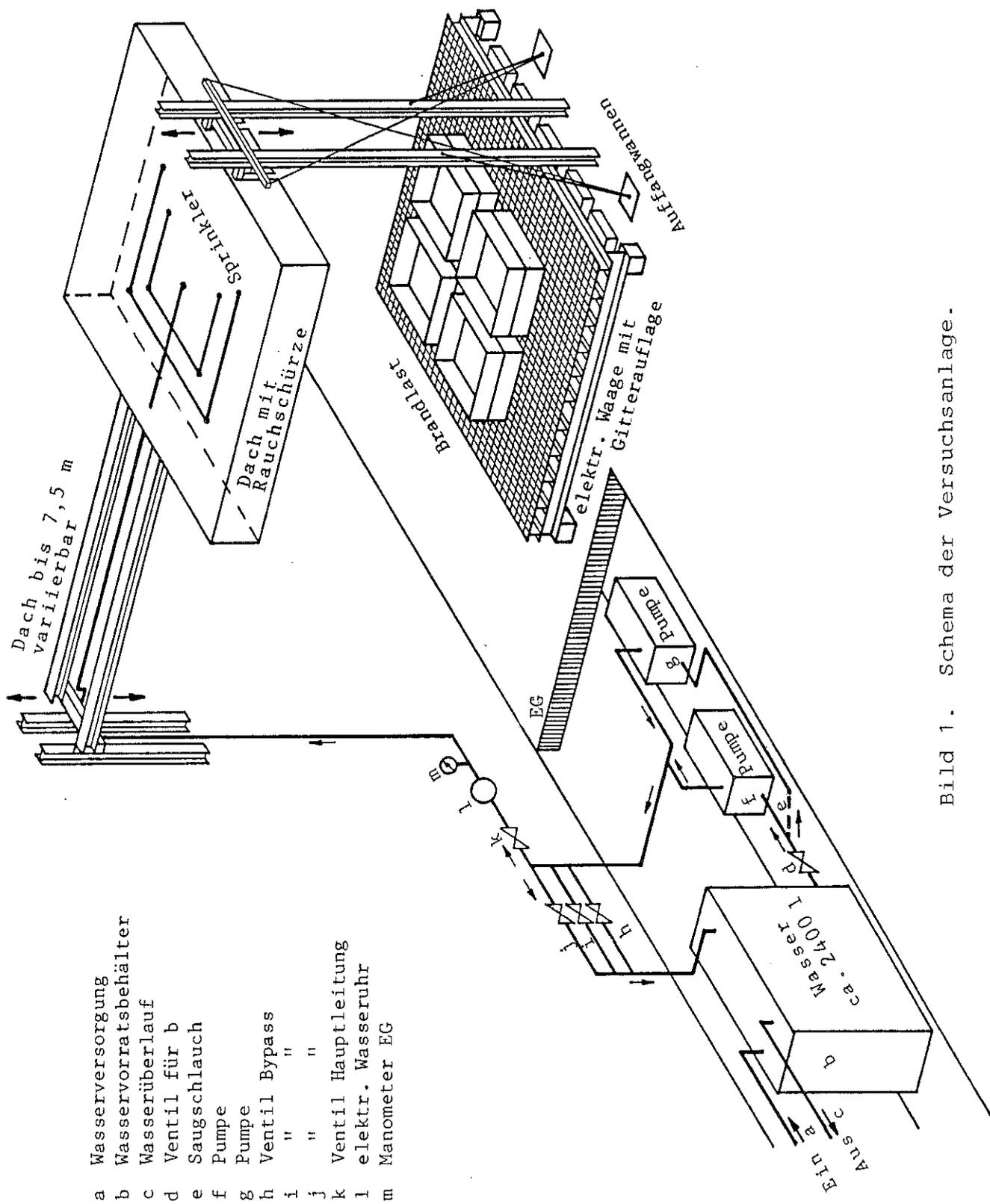
- /1/ Richtlinien für Sprinkleranlagen
Planung und Einbau 1
Verband der Sachversicherer e. V. Köln
VdS 2092 6/87 (6)
- /2/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 4: Löschversuche mit Sprinklern 1
Forschungsbericht Nr. 62 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1987)
- /3/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2
Forschungsbericht Nr. 67 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1988)
- /4/ Schatz, H.: Löschversuche bei gelagerten Stoffen
Teil 7: Literaturlauswertung und Simulation
der Wasserbeaufschlagung
Forschungsbericht Nr. 74 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1988)

- /5/ Bendig, L.: Tropfengrößenanalyse an Zerstäubungsdüsen
Firmenschrift der Firma Lechler.
Metzingen 1988
- /6/ Der Phasen/Doppler-Teilchenanalysator in der
Tropfengröße-Analyse
Firmenschrift der Firma Lechler AE 3/7 .87-D
Metzingen 1987
- /7/ Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen
die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.
Teil 9: Simulation der Wasserbeaufschlagung
eines Sprinklers.
Forschungsbericht Nr. 83 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1992)

6. TABELLE UND BILDER

Typ	Höhe	l/min	%	l/min	%	l/min	%	l/min	%	l/min	%	l/min	%
A	0,9 m	68	100	90	92	120	90	140	93	176	98		
	1,5 m	68	100	90	73	120	72	140	78	175	91		
	3,0 m			90	70	120	70	140	76				
	3,5 m			90	64								
	4,5 m			90									
B	0,9 m	67	100	90	100	120	100	140	98	177	96		
	1,5 m	61	94	90	87	120	89	140	97	180	96		
	3,0 m			90	84								
	3,5 m			90	79								
	4,5 m			90									
C	0,9 m	63	100	90	73	120	70	140	74	109	99	298	100
	1,5 m			90	56	120	56	140	54	109	91	290	83
	3,0 m			90	54								
	3,5 m			90	53							297	54
	4,5 m			90									325
E	0,9 m									186	100	452	100
	1,5 m									163	84	445	97
	3,0 m												
	3,5 m									162	65	485	96
	4,5 m												
F	0,9 m	60	97							180	77		
	1,5 m	61	41							180	30		
	3,0 m												
	4,5 m												
G	0,9 m	60	95	89	96	118	90			175	91		
	1,5 m	63	95	86	82	117	76			175	84	218	94
	3,0 m			91	53								
	4,5 m	62	57			120	54			177	61		

Tabelle 1. Bei verschiedenen Volumenströmen in den Wannen aufgefängerter Wasseranteil in Prozent für 6 verschiedene jeweils zentral angeordnete Sprinkler in verschiedenen Höhen.



- a Wasserversorgung
- b Wasservorratsbehälter
- c Wasserüberlauf
- d Ventil für b
- e Saugschlauch
- f Pumpe
- g Pumpe
- h Ventil Bypass
- i " "
- j " "
- k Ventil Hauptleitung
- l elektr. Wasseruhr
- m Manometer EG

Bild 1. Schema der Versuchsanlage.

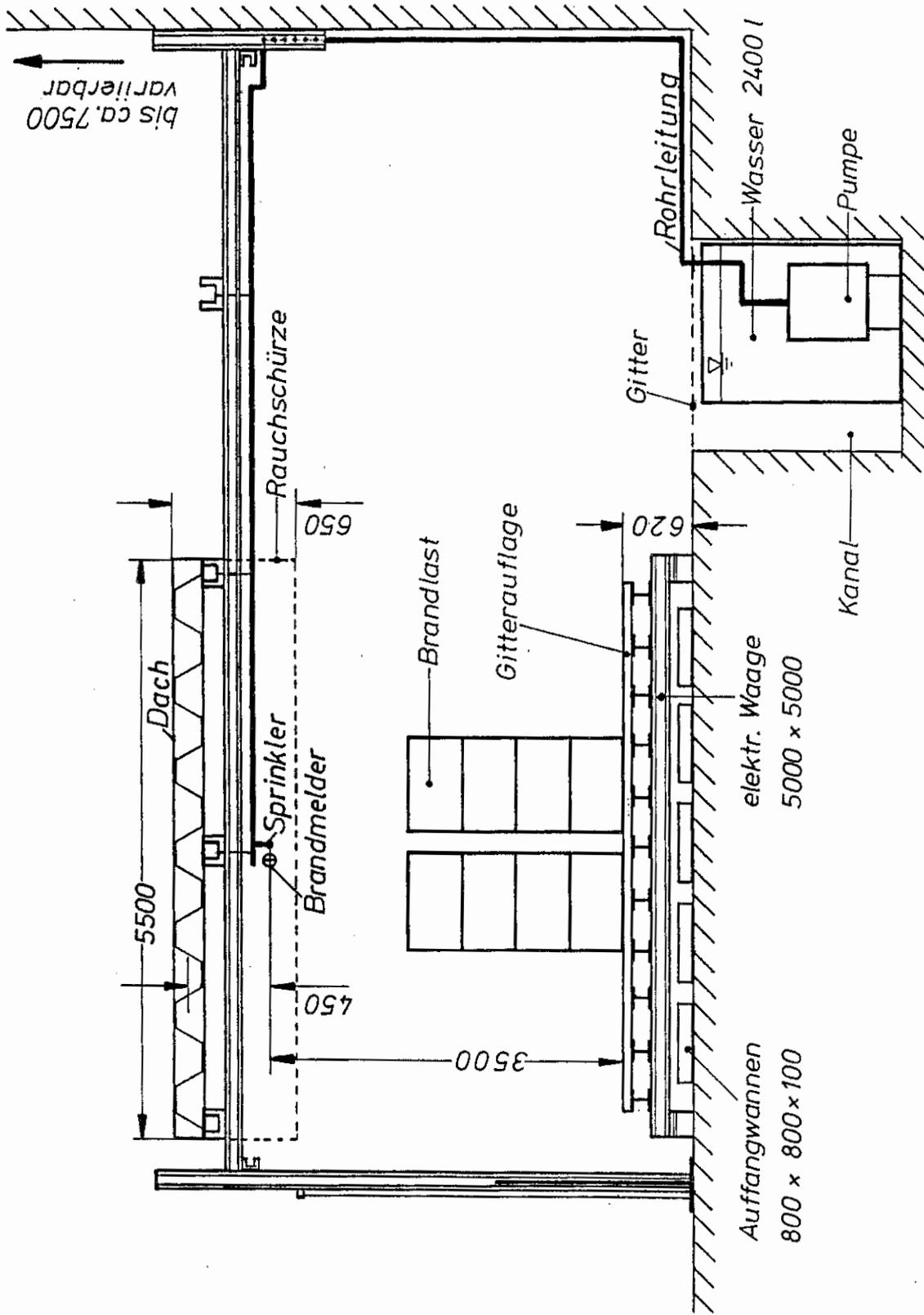


Bild 2. Vorderansicht der Versuchsanlage.

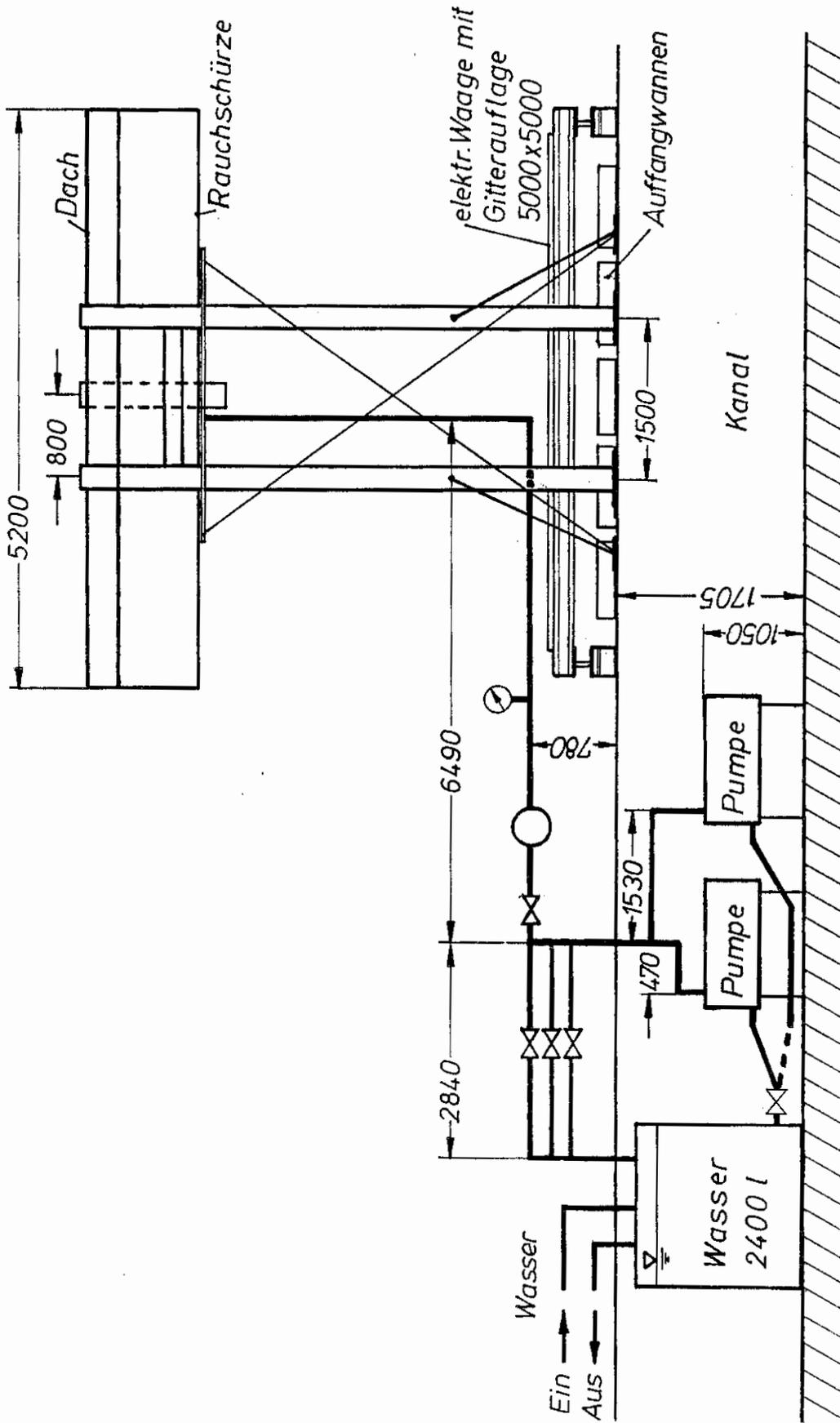


Bild 3. Seitenansicht der Versuchsanlage.

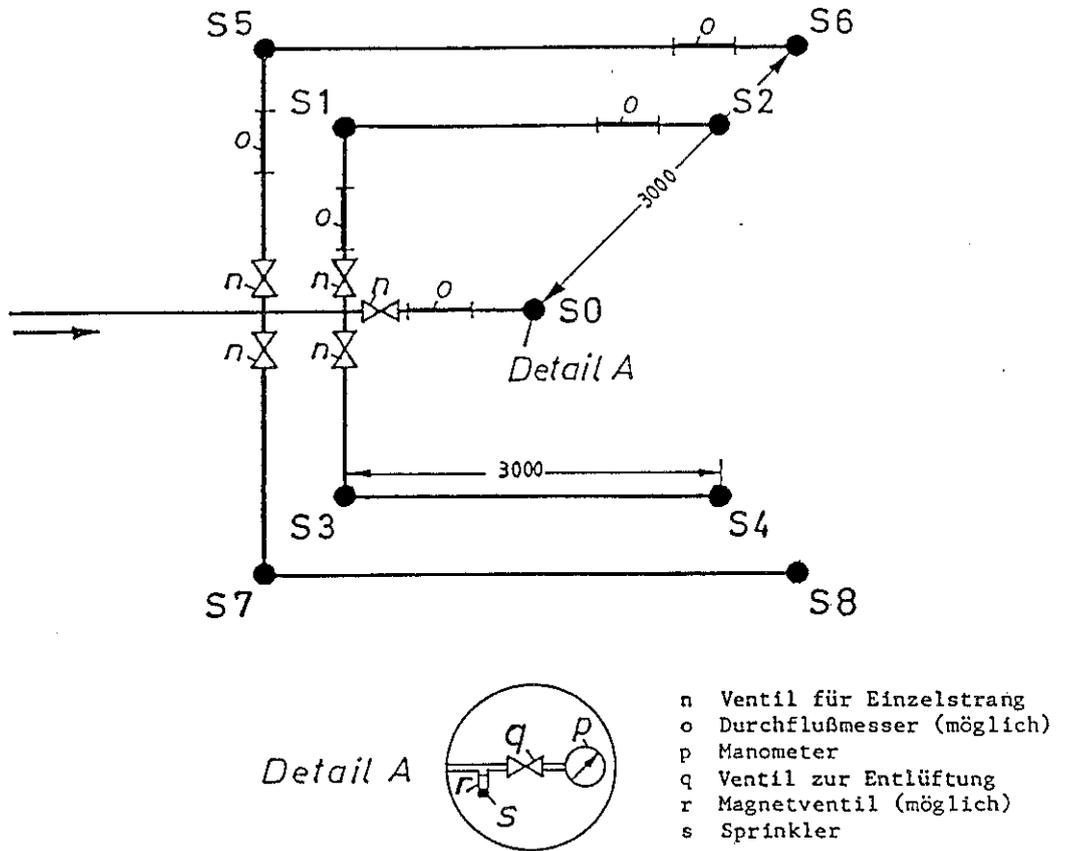


Bild 4. Mögliche Anordnung der Sprinkler S0 bis S8.

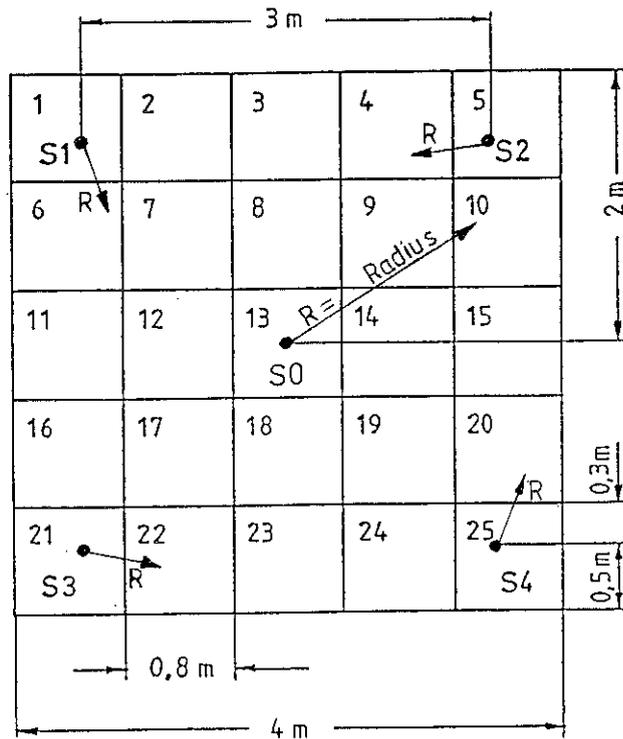
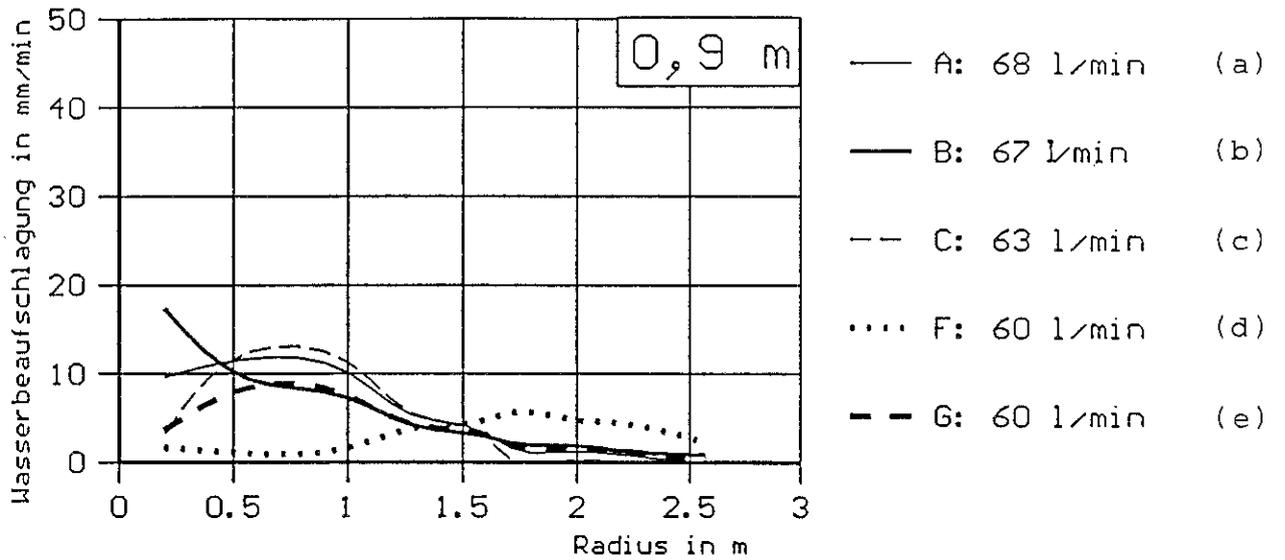
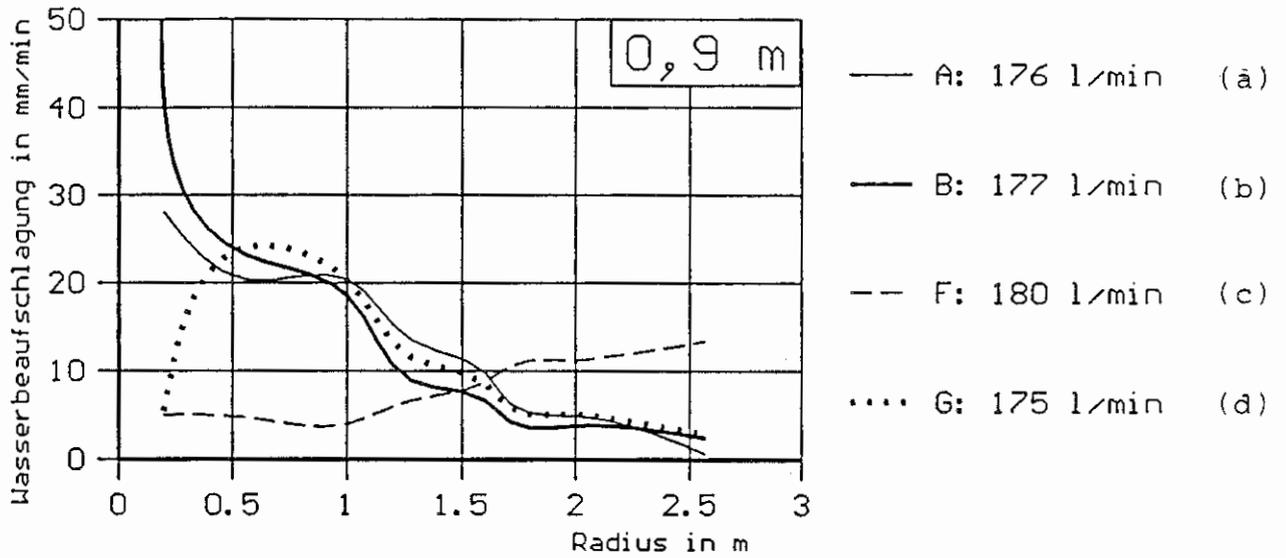


Bild 5. Meßfläche und Nummerierung der Auffangwannen.



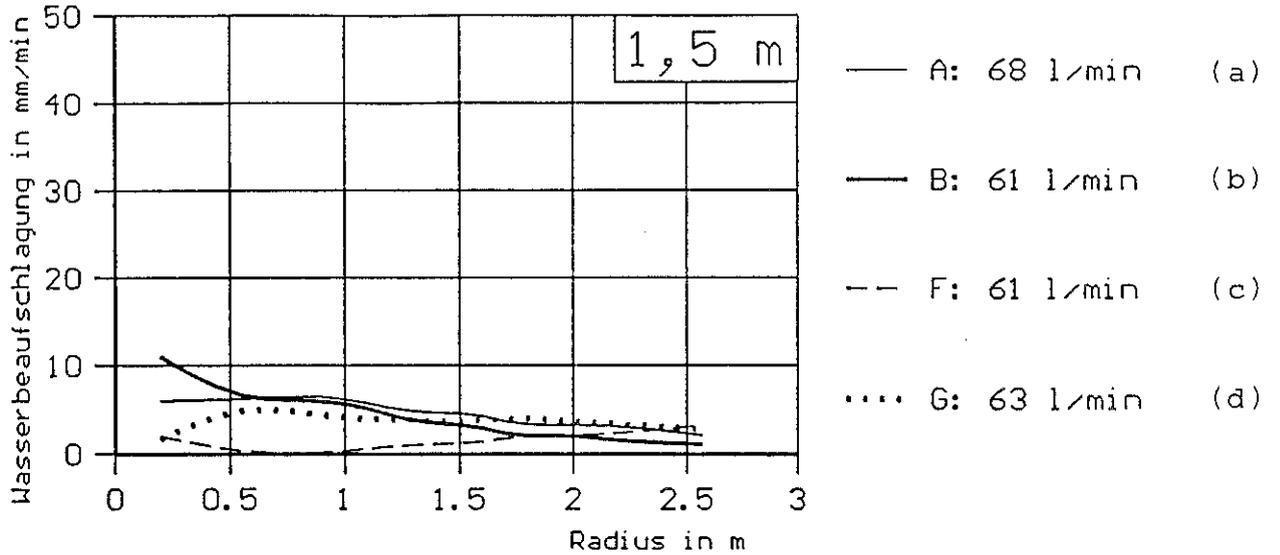
	10.0	11.5	5.6	11.5	10.0		16.6	9.3	5.4	9.3	16.6
	11.5	10.6	5.8	10.6	11.5		9.3	9.1	5.4	9.1	9.3
(a)	5.6	5.8	3.6	5.8	5.6	(b)	5.4	5.4	5.2	5.4	5.4
	11.5	10.6	5.8	10.6	11.5		9.3	9.1	5.4	9.1	9.3
	10.0	11.5	5.6	11.5	10.0		16.6	9.3	5.4	9.3	16.6
	3.3	13.6	6.0	13.6	3.3		1.5	4.5	9.4	4.5	1.5
	13.6	12.8	6.0	12.8	13.6		4.5	8.7	11.4	8.7	4.5
(c)	6.0	6.0	4.8	6.0	6.0	(d)	9.4	11.4	16.8	11.4	9.4
	13.6	12.8	6.0	12.8	13.6		4.5	8.7	11.4	8.7	4.5
	3.3	13.6	6.0	13.6	3.3		1.5	4.5	9.4	4.5	1.5
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3						
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4						
(e)	6.0	6.0	5.2	6.0	6.0						
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4						
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3						

Bild 6. Wasserbeaufschlagung für 5 verschiedene Sprinkler aus 0,9 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



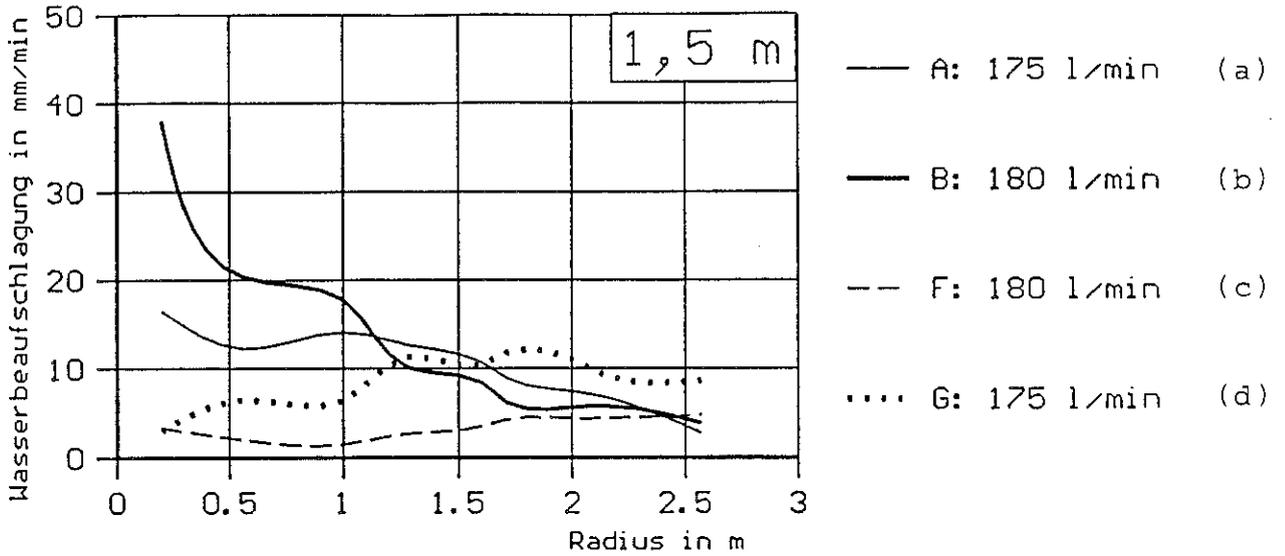
	26.7	22.4	19.4	22.4	26.7		38.5	22.8	12.4	22.8	38.5
	22.4	24.1	19.4	24.1	22.4		22.8	23.3	14.4	23.3	22.8
(a)	19.4	19.4	14.8	19.4	19.4	(b)	12.4	14.4	14.0	14.4	12.4
	22.4	24.1	19.4	24.1	22.4		22.8	23.3	14.4	23.3	22.8
	26.7	22.4	19.4	22.4	26.7		38.5	22.8	12.4	22.8	38.5
	5.0	16.1	18.0	16.1	5.0		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4
	16.1	28.6	44.0	28.6	16.1		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
(c)	18.0	44.0	47.2	44.0	18.0	(d)	15.6	17.6	14.8	17.6	15.6
	16.1	28.6	44.0	28.6	16.1		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
	5.0	16.1	18.0	16.1	5.0		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4

Bild 7. Wasserbeaufschlagung für 4 verschiedene Sprinkler aus 0,9 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



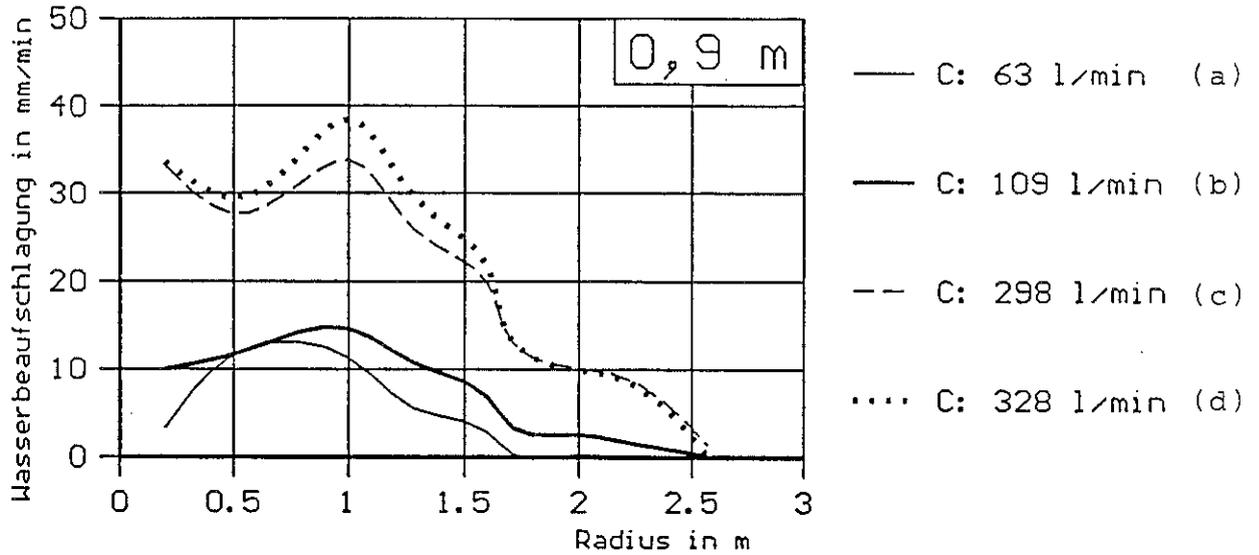
	5.8	8.8	8.0	8.8	5.8		10.9	7.5	5.4	7.5	10.9
	8.8	10.8	10.0	10.8	8.8		7.5	8.4	7.4	8.4	7.5
(a)	8.0	10.0	12.0	10.0	8.0	(b)	5.4	7.4	6.4	7.4	5.4
	8.8	10.8	10.0	10.8	8.8		7.5	8.4	7.4	8.4	7.5
	5.8	8.8	8.0	8.8	5.8		10.9	7.5	5.4	7.5	10.9
	1.7	2.6	2.8	2.6	1.7		1.7	7.5	7.2	7.5	1.7
	2.6	5.3	8.8	5.3	2.6		7.5	9.8	12.4	9.8	7.5
(c)	2.8	8.8	9.2	8.8	2.8	(d)	7.2	12.4	13.6	12.4	7.2
	2.6	5.3	8.8	5.3	2.6		7.5	9.8	12.4	9.8	7.5
	1.7	2.6	2.8	2.6	1.7		1.7	7.5	7.2	7.5	1.7

Bild 8. Wasserbeaufschlagung für 4 verschiedene Sprinkler aus 1,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



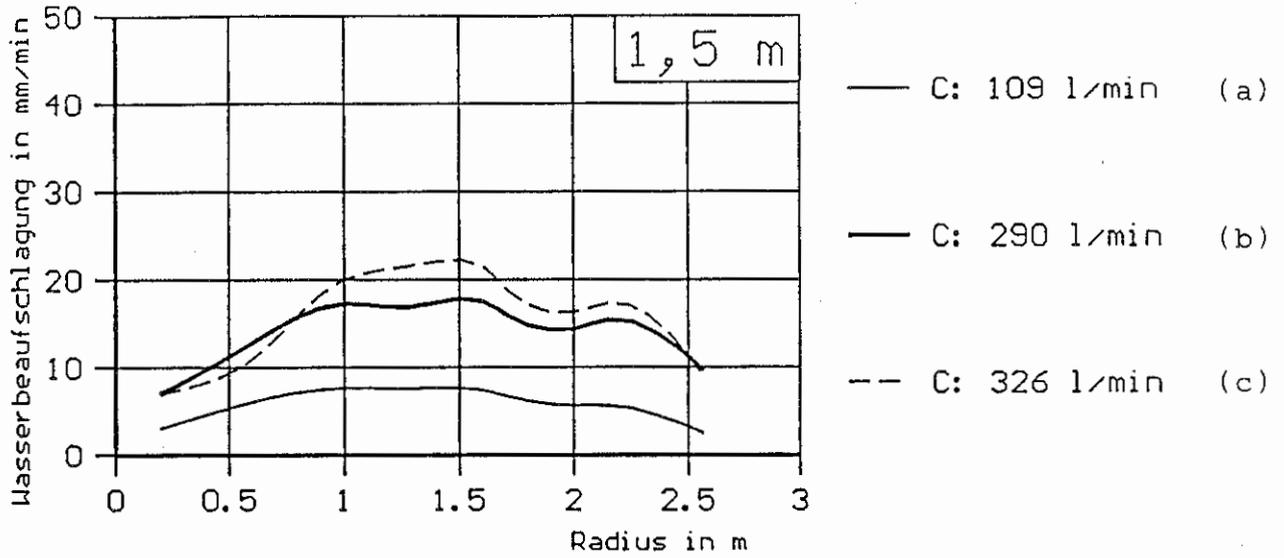
	16.1	17.0	20.8	17.0	16.1		37.3	23.3	16.4	23.3	37.3
	17.0	23.8	22.8	23.8	17.0		23.3	25.8	19.4	25.8	23.3
(a)	20.8	22.8	20.8	22.8	20.8	(b)	16.4	19.4	21.6	19.4	16.4
	17.0	23.8	22.8	23.8	17.0		23.3	25.8	19.4	25.8	23.3
	16.1	17.0	20.8	17.0	16.1		37.3	23.3	16.4	23.3	37.3
	3.3	6.1	6.6	6.1	3.3		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8
	6.1	11.2	15.6	11.2	6.1		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
(c)	6.6	15.6	16.8	15.6	6.6	(d)	21.0	36.0	33.2	36.0	21.0
	6.1	11.2	15.6	11.2	6.1		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
	3.3	6.1	6.6	6.1	3.3		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8

Bild 9. Wasserbeaufschlagung für 4 verschiedene Sprinkler aus 1,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



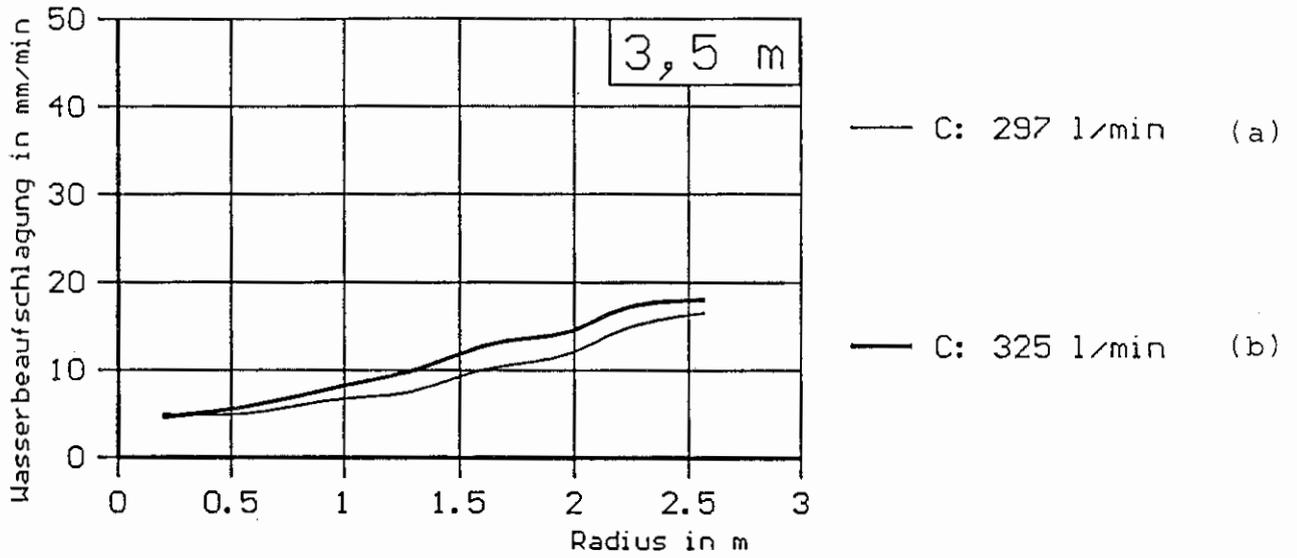
	3.3	13.6	6.0	13.6	3.3		10.0	15.2	10.4	15.2	10.0
	13.6	12.8	6.0	12.8	13.6		15.2	16.1	10.4	16.1	15.2
(a)	6.0	6.0	4.8	6.0	6.0	(b)	10.4	10.4	6.8	10.4	10.4
	13.6	12.8	6.0	12.8	13.6		15.2	16.1	10.4	16.1	15.2
	3.3	13.6	6.0	13.6	3.3		10.0	15.2	10.4	15.2	10.0
	33.0	38.2	36.8	38.2	33.0		33.5	39.8	41.0	39.8	33.5
	38.2	38.2	36.8	38.2	38.2		39.8	47.4	41.0	47.4	39.8
(c)	36.8	36.8	34.4	36.8	36.8	(d)	41.0	41.0	34.0	41.0	41.0
	38.2	38.2	36.8	38.2	38.2		39.8	47.4	41.0	47.4	39.8
	33.0	38.2	36.8	38.2	33.0		33.5	39.8	41.0	39.8	33.5

Bild 10. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 0,9 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



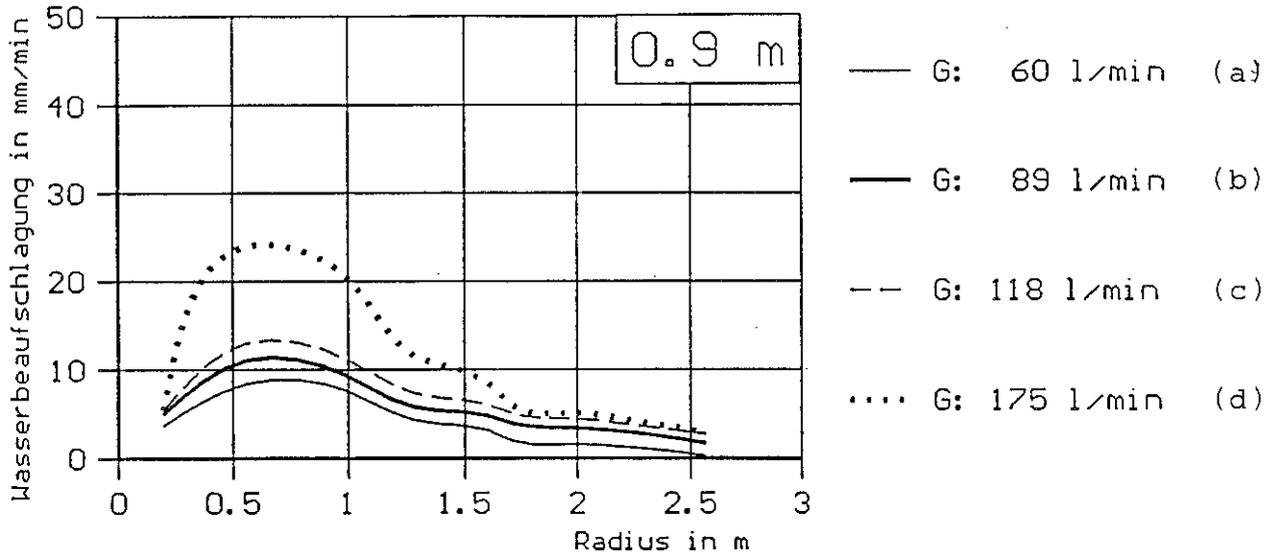
	2.8	11.4	14.8	11.4	2.8		7.2	27.9	33.2	27.9	7.2
	11.4	16.0	14.8	16.0	11.4		27.9	41.6	38.2	41.6	27.9
(a)	14.8	14.8	21.6	14.8	14.8	(b)	33.2	38.2	43.2	38.2	33.2
	11.4	16.0	14.8	16.0	11.4		27.9	41.6	38.2	41.6	27.9
	2.8	11.4	14.8	11.4	2.8		7.2	27.9	33.2	27.9	7.2
	7.2	25.0	42.4	25.0	7.2						
	25.0	46.6	48.4	46.6	25.0						
(c)	42.4	48.4	67.2	48.4	42.4						
	25.0	46.6	48.4	46.6	25.0						
	7.2	25.0	42.4	25.0	7.2						

Bild 11. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 1,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



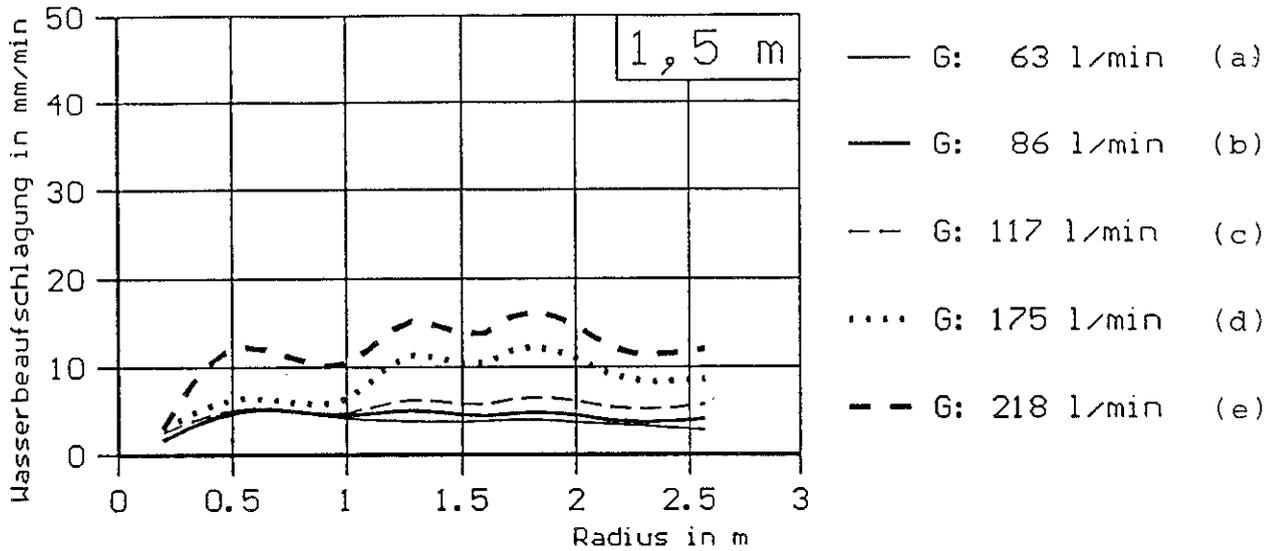
	4.2	21.3	20.0	21.3	4.2		4.6	24.6	25.0	24.6	4.6
	21.3	37.4	50.0	37.4	21.3		24.6	43.1	58.0	43.1	24.6
(a)	20.0	50.0	56.8	50.0	20.0	(b)	25.0	58.0	66.8	58.0	25.0
	21.3	37.4	50.0	37.4	21.3		24.6	43.1	58.0	43.1	24.6
	4.2	21.3	20.0	21.3	4.2		4.6	24.6	25.0	24.6	4.6

Bild 12. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 3,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



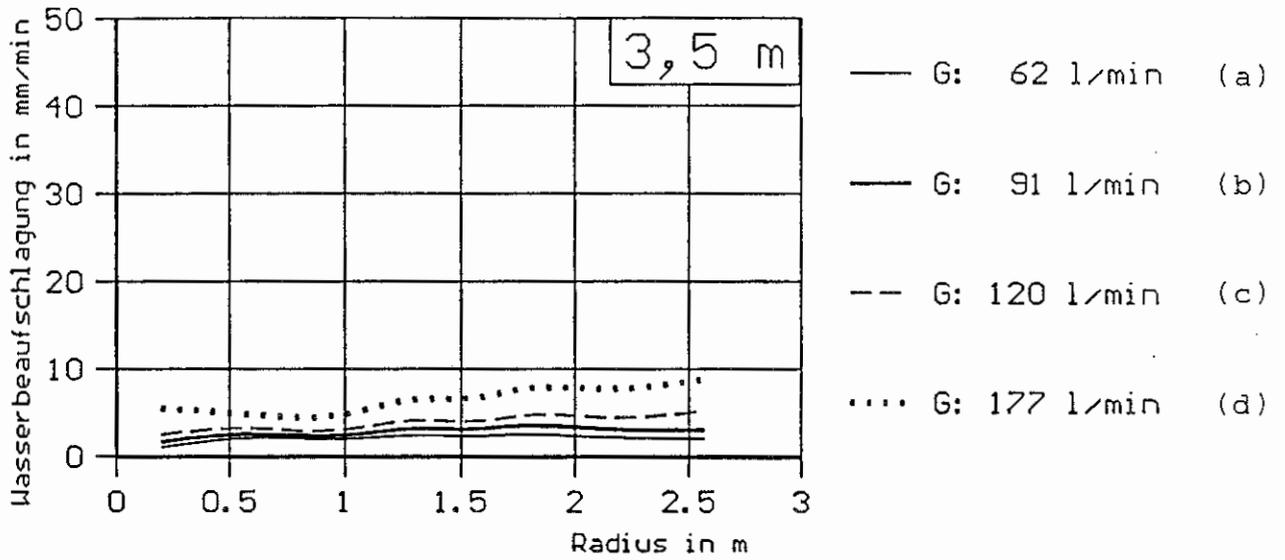
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3		5.0	12.9	9.2	12.9	5.0
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4		12.9	13.5	10.8	13.5	12.9
(a)	6.0	6.0	5.2	6.0	6.0	(b)	9.2	10.8	11.2	10.8	9.2
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4		12.9	13.5	10.8	13.5	12.9
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3		5.0	12.9	9.2	12.9	5.0
	5.0	15.6	11.6	15.6	5.0		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4
	15.6	16.8	15.6	16.8	15.6		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
(c)	11.6	15.6	14.8	15.6	11.6	(d)	15.6	17.6	14.8	17.6	15.6
	15.6	16.8	15.6	16.8	15.6		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
	5.0	15.6	11.6	15.6	5.0		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4

Bild 13. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 0,9 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



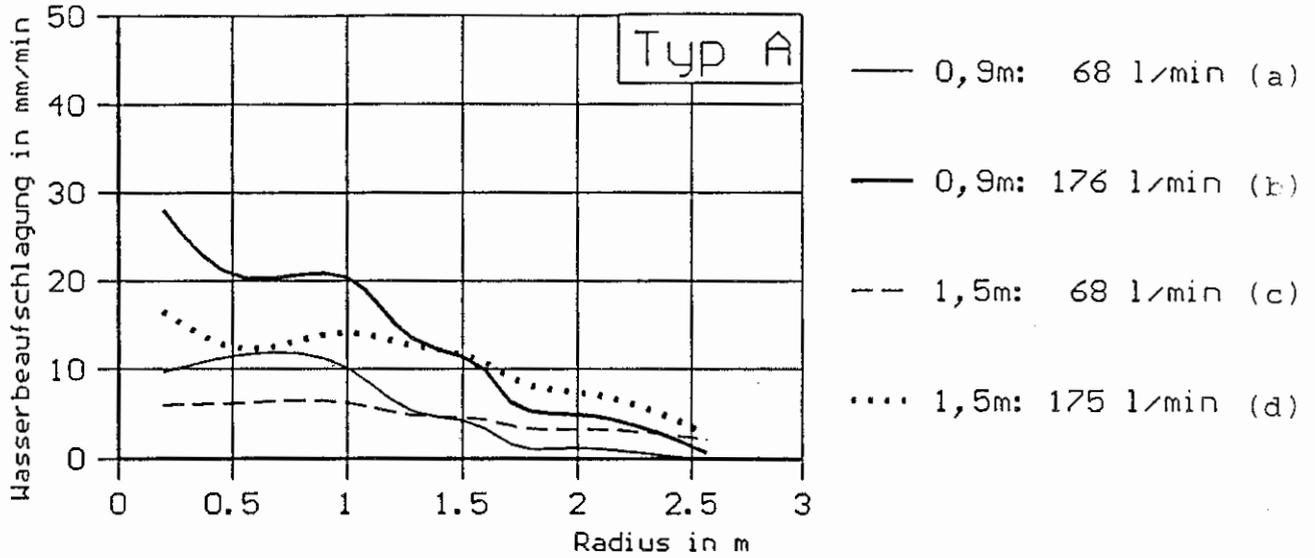
	1.7	7.5	7.2	7.5	1.7		1.7	8.5	8.4	8.5	1.7
	7.5	9.8	12.4	9.8	7.5		8.5	11.8	16.4	11.8	8.5
(a)	7.2	12.4	13.6	12.4	7.2	(b)	8.4	16.4	14.0	16.4	8.4
	7.5	9.8	12.4	9.8	7.5		8.5	11.8	16.4	11.8	8.5
	1.7	7.5	7.2	7.5	1.7		1.7	8.5	8.4	8.5	1.7
	2.5	9.8	11.2	9.8	2.5		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8
	9.8	14.9	21.2	14.9	9.8		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
(c)	11.2	21.2	20.0	21.2	11.2	(d)	21.0	36.0	33.2	36.0	21.0
	9.8	14.9	21.2	14.9	9.8		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
	2.5	9.8	11.2	9.8	2.5		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8
	2.8	21.6	27.6	21.6	2.8						
	21.6	32.8	49.2	32.8	21.6						
(e)	27.6	49.2	46.8	49.2	27.6						
	21.6	32.8	49.2	32.8	21.6						
	2.8	21.6	27.6	21.6	2.8						

Bild 14. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 1,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannensfeld in mm/min.



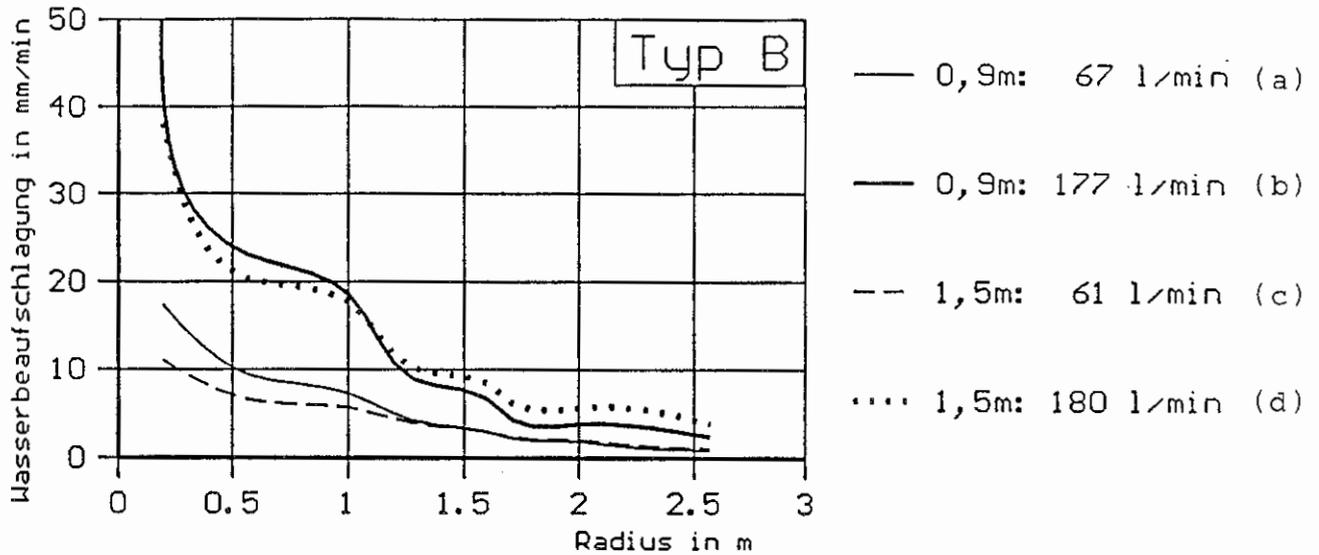
	1.0	4.3	4.8	4.3	1.0		1.7	5.2	6.6	5.2	1.7
	4.3	6.0	8.8	6.0	4.3		5.2	8.3	11.6	8.3	5.2
(a)	4.8	8.8	8.4	8.8	4.8	(b)	6.6	11.6	12.0	11.6	6.6
	4.3	6.0	8.8	6.0	4.3		5.2	8.3	11.6	8.3	5.2
	1.0	4.3	4.8	4.3	1.0		1.7	5.2	6.6	5.2	1.7
	2.5	7.9	8.4	7.9	2.5		5.4	12.4	14.0	12.4	5.4
	7.9	13.0	17.4	13.0	7.9		12.4	21.0	30.0	21.0	12.4
(c)	8.4	17.4	16.8	17.4	8.4	(d)	14.0	30.0	29.6	30.0	14.0
	7.9	13.0	17.4	13.0	7.9		12.4	21.0	30.0	21.0	12.4
	2.5	7.9	8.4	7.9	2.5		5.4	12.4	14.0	12.4	5.4

Bild 15. Wasserbeaufschlagung für einen Sprinkler aus 3,5 m Höhe und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



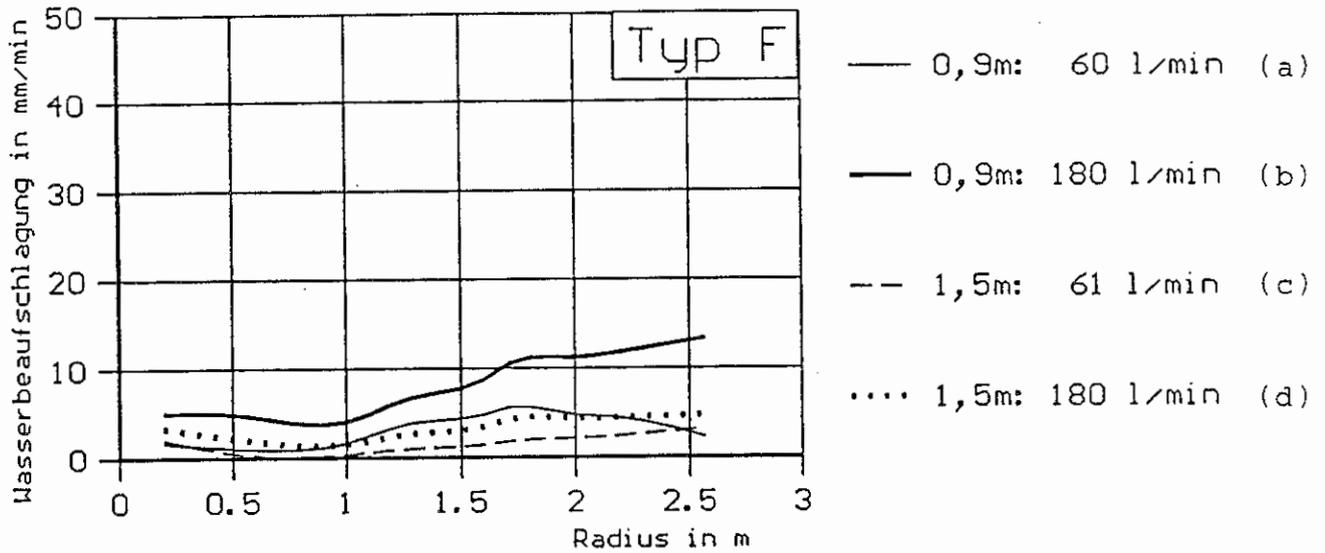
<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>10.0</td><td>11.5</td><td>5.6</td><td>11.5</td><td>10.0</td></tr> <tr><td>11.5</td><td>10.6</td><td>5.8</td><td>10.6</td><td>11.5</td></tr> <tr><td>(a)</td><td>5.6</td><td>5.8</td><td>3.6</td><td>5.8</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>11.5</td><td>10.6</td><td>5.8</td><td>10.6</td><td>11.5</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>11.5</td><td>5.6</td><td>11.5</td><td>10.0</td></tr> </table>	10.0	11.5	5.6	11.5	10.0	11.5	10.6	5.8	10.6	11.5	(a)	5.6	5.8	3.6	5.8	5.6	11.5	10.6	5.8	10.6	11.5	10.0	11.5	5.6	11.5	10.0	<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>26.7</td><td>22.4</td><td>19.4</td><td>22.4</td><td>26.7</td></tr> <tr><td>22.4</td><td>24.1</td><td>19.4</td><td>24.1</td><td>22.4</td></tr> <tr><td>(b)</td><td>19.4</td><td>19.4</td><td>14.8</td><td>19.4</td><td>19.4</td></tr> <tr><td>22.4</td><td>24.1</td><td>19.4</td><td>24.1</td><td>22.4</td></tr> <tr><td>26.7</td><td>22.4</td><td>19.4</td><td>22.4</td><td>26.7</td></tr> </table>	26.7	22.4	19.4	22.4	26.7	22.4	24.1	19.4	24.1	22.4	(b)	19.4	19.4	14.8	19.4	19.4	22.4	24.1	19.4	24.1	22.4	26.7	22.4	19.4	22.4	26.7
10.0	11.5	5.6	11.5	10.0																																																	
11.5	10.6	5.8	10.6	11.5																																																	
(a)	5.6	5.8	3.6	5.8	5.6																																																
11.5	10.6	5.8	10.6	11.5																																																	
10.0	11.5	5.6	11.5	10.0																																																	
26.7	22.4	19.4	22.4	26.7																																																	
22.4	24.1	19.4	24.1	22.4																																																	
(b)	19.4	19.4	14.8	19.4	19.4																																																
22.4	24.1	19.4	24.1	22.4																																																	
26.7	22.4	19.4	22.4	26.7																																																	
<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>5.8</td><td>8.8</td><td>8.0</td><td>8.8</td><td>5.8</td></tr> <tr><td>8.8</td><td>10.8</td><td>10.0</td><td>10.8</td><td>8.8</td></tr> <tr><td>(c)</td><td>8.0</td><td>10.0</td><td>12.0</td><td>10.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>8.8</td><td>10.8</td><td>10.0</td><td>10.8</td><td>8.8</td></tr> <tr><td>5.8</td><td>8.8</td><td>8.0</td><td>8.8</td><td>5.8</td></tr> </table>	5.8	8.8	8.0	8.8	5.8	8.8	10.8	10.0	10.8	8.8	(c)	8.0	10.0	12.0	10.0	8.0	8.8	10.8	10.0	10.8	8.8	5.8	8.8	8.0	8.8	5.8	<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>16.1</td><td>17.0</td><td>20.8</td><td>17.0</td><td>16.1</td></tr> <tr><td>17.0</td><td>23.8</td><td>22.8</td><td>23.8</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>(d)</td><td>20.8</td><td>22.8</td><td>20.8</td><td>22.8</td><td>20.8</td></tr> <tr><td>17.0</td><td>23.8</td><td>22.8</td><td>23.8</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>16.1</td><td>17.0</td><td>20.8</td><td>17.0</td><td>16.1</td></tr> </table>	16.1	17.0	20.8	17.0	16.1	17.0	23.8	22.8	23.8	17.0	(d)	20.8	22.8	20.8	22.8	20.8	17.0	23.8	22.8	23.8	17.0	16.1	17.0	20.8	17.0	16.1
5.8	8.8	8.0	8.8	5.8																																																	
8.8	10.8	10.0	10.8	8.8																																																	
(c)	8.0	10.0	12.0	10.0	8.0																																																
8.8	10.8	10.0	10.8	8.8																																																	
5.8	8.8	8.0	8.8	5.8																																																	
16.1	17.0	20.8	17.0	16.1																																																	
17.0	23.8	22.8	23.8	17.0																																																	
(d)	20.8	22.8	20.8	22.8	20.8																																																
17.0	23.8	22.8	23.8	17.0																																																	
16.1	17.0	20.8	17.0	16.1																																																	

Bild 16. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ A aus 2 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



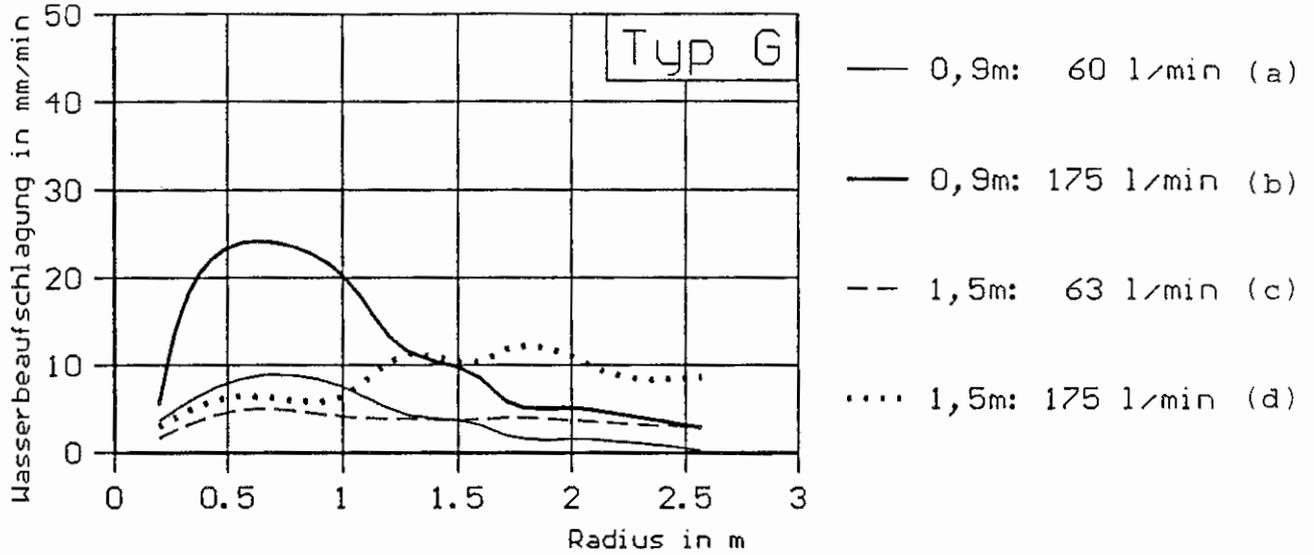
	16.6	9.3	5.4	9.3	16.6		38.5	22.8	12.4	22.8	38.5
	9.3	9.1	5.4	9.1	9.3		22.8	23.3	14.4	23.3	22.8
(a)	5.4	5.4	5.2	5.4	5.4	(b)	12.4	14.4	14.0	14.4	12.4
	9.3	9.1	5.4	9.1	9.3		22.8	23.3	14.4	23.3	22.8
	16.6	9.3	5.4	9.3	16.6		38.5	22.8	12.4	22.8	38.5
	10.9	7.5	5.4	7.5	10.9		37.3	23.3	16.4	23.3	37.3
	7.5	8.4	7.4	8.4	7.5		23.3	25.8	19.4	25.8	23.3
(c)	5.4	7.4	6.4	7.4	5.4	(d)	16.4	19.4	21.6	19.4	16.4
	7.5	8.4	7.4	8.4	7.5		23.3	25.8	19.4	25.8	23.3
	10.9	7.5	5.4	7.5	10.9		37.3	23.3	16.4	23.3	37.3

Bild 17. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ B aus 2 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



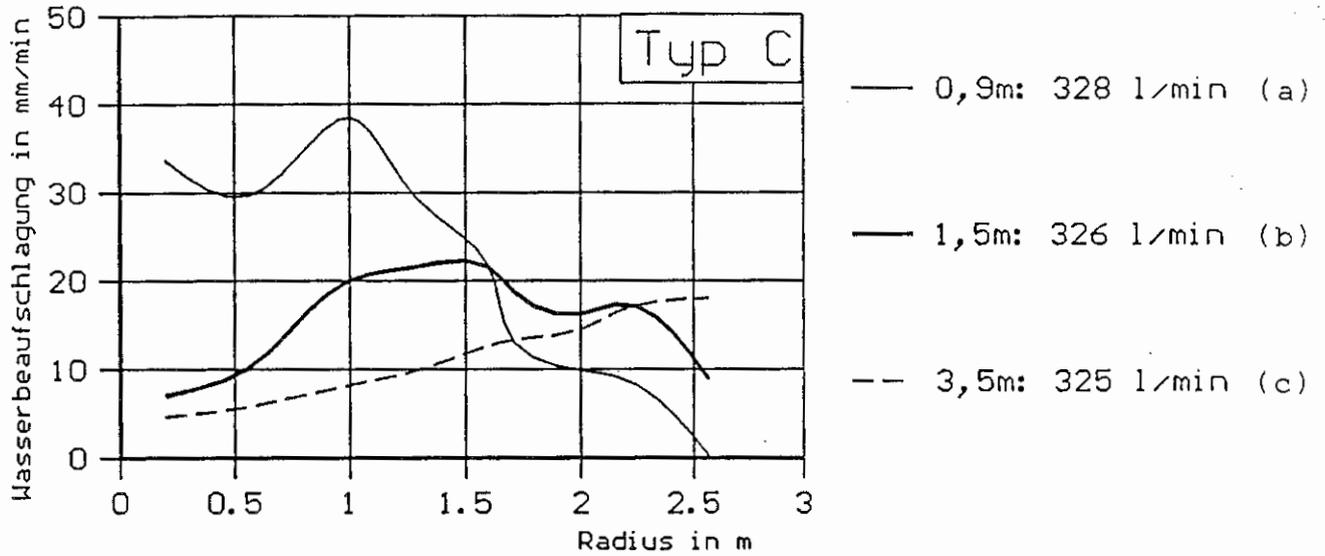
	1.5	4.5	9.4	4.5	1.5		5.0	16.1	18.0	16.1	5.0
	4.5	8.7	11.4	8.7	4.5		16.1	28.6	44.0	28.6	16.1
(a)	9.4	11.4	16.8	11.4	9.4	(b)	18.0	44.0	47.2	44.0	18.0
	4.5	8.7	11.4	8.7	4.5		16.1	28.6	44.0	28.6	16.1
	1.5	4.5	9.4	4.5	1.5		5.0	16.1	18.0	16.1	5.0
	1.7	2.6	2.8	2.6	1.7		3.3	6.1	6.6	6.1	3.3
	2.6	5.3	8.8	5.3	2.6		6.1	11.2	15.6	11.2	6.1
(c)	2.8	8.8	9.2	8.8	2.8	(d)	6.6	15.6	16.8	15.6	6.6
	2.6	5.3	8.8	5.3	2.6		6.1	11.2	15.6	11.2	6.1
	1.7	2.6	2.8	2.6	1.7		3.3	6.1	6.6	6.1	3.3

Bild 18. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ F aus 2 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



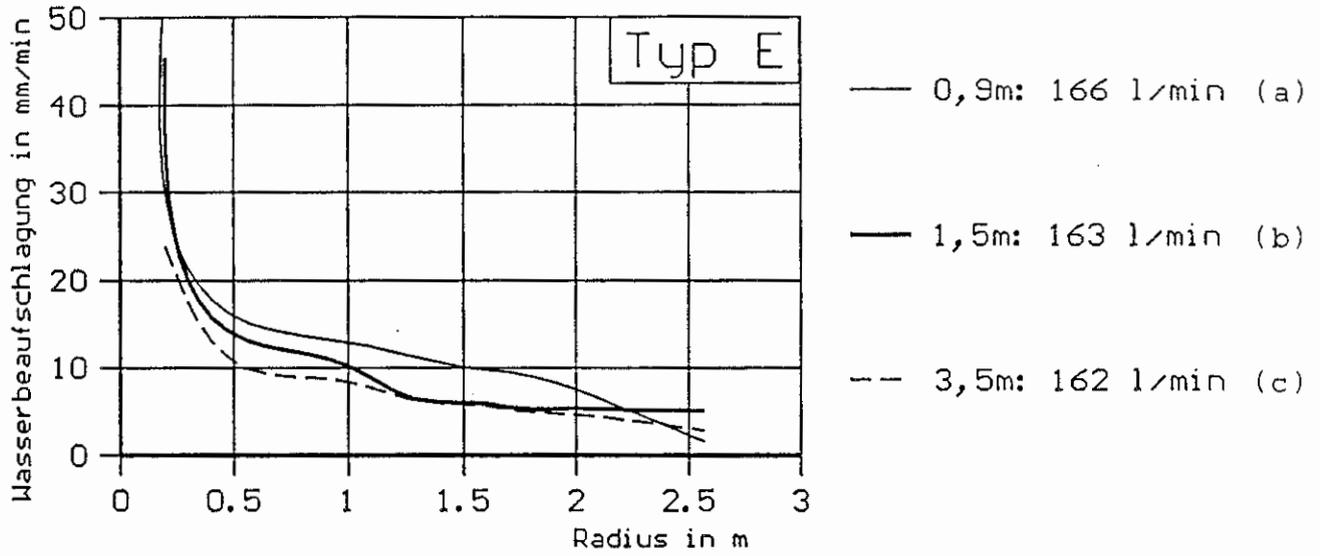
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
(a)	6.0	6.0	5.2	6.0	6.0	(b)	15.6	17.6	14.8	17.6	15.6
	9.4	8.5	6.0	8.5	9.4		25.5	25.3	17.6	25.3	25.5
	3.3	9.4	6.0	9.4	3.3		5.4	25.5	15.6	25.5	5.4
	1.7	7.5	7.2	7.5	1.7		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8
	7.5	9.8	12.4	9.8	7.5		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
(c)	7.2	12.4	13.6	12.4	7.2	(d)	21.0	36.0	33.2	36.0	21.0
	7.5	9.8	12.4	9.8	7.5		13.4	21.9	36.0	21.9	13.4
	1.7	7.5	7.2	7.5	1.7		2.8	13.4	21.0	13.4	2.8

Bild 19. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ G aus 2 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



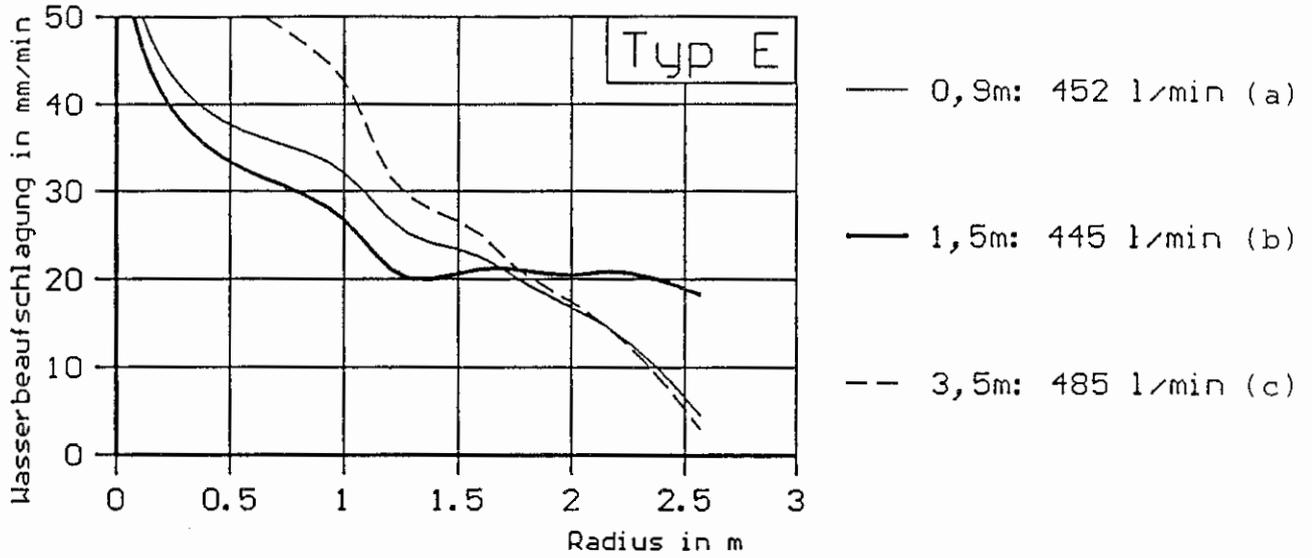
	33.5	39.8	41.0	39.8	33.5		7.2	25.0	42.4	25.0	7.2
	39.8	47.4	41.0	47.4	39.8		25.0	46.6	48.4	46.6	25.0
(a)	41.0	41.0	34.0	41.0	41.0	(b)	42.4	48.4	67.2	48.4	42.4
	39.8	47.4	41.0	47.4	39.8		25.0	46.6	48.4	46.6	25.0
	33.5	39.8	41.0	39.8	33.5		7.2	25.0	42.4	25.0	7.2
	4.6	24.6	25.0	24.6	4.6						
	24.6	43.1	58.0	43.1	24.6						
(c)	25.0	58.0	66.8	58.0	25.0						
	24.6	43.1	58.0	43.1	24.6						
	4.6	24.6	25.0	24.6	4.6						

Bild 20. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ C aus 3 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



	73.6	16.6	19.4	16.6	73.6		46.0	16.2	11.0	16.2	46.0
	16.6	19.1	19.4	19.1	16.6		16.2	20.0	21.0	20.0	16.2
(a)	19.4	19.4	20.8	19.4	19.4	(b)	11.0	21.0	20.0	21.0	11.0
	16.6	19.1	19.4	19.1	16.6		16.2	20.0	21.0	20.0	16.2
	73.6	16.6	19.4	16.6	73.6		46.0	16.2	11.0	16.2	46.0
	23.4	11.8	10.8	11.8	23.4						
	11.8	14.8	12.8	14.8	11.8						
(c)	10.8	12.8	14.8	12.8	10.8						
	11.8	14.8	12.8	14.8	11.8						
	23.4	11.8	10.8	11.8	23.4						

Bild 21. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ E aus 3 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.



	99.0	42.1	44.4	42.1	99.0		99.0	48.8	42.4	48.8	99.0
	42.1	48.0	44.4	48.0	42.1		48.8	65.8	66.4	65.8	48.8
(a)	44.4	44.4	54.0	44.4	44.4	(b)	42.4	66.4	82.4	66.4	42.4
	42.1	48.0	44.4	48.0	42.1		48.8	65.8	66.4	65.8	48.8
	99.0	42.1	44.4	42.1	99.0		99.0	48.8	42.4	48.8	99.0
	99.0	54.5	48.4	54.5	99.0						
	54.5	58.5	48.4	58.5	54.5						
(c)	48.4	48.4	53.6	48.4	48.4						
	54.5	58.5	48.4	58.5	54.5						
	99.0	54.5	48.4	54.5	99.0						

Bild 22. Wasserbeaufschlagung für den Sprinkler Typ E aus 3 Höhen und rechnerische Überlagerung für je 4 gleiche Sprinkler an den Stellen S1 bis S4 im Wannenfeld in mm/min.

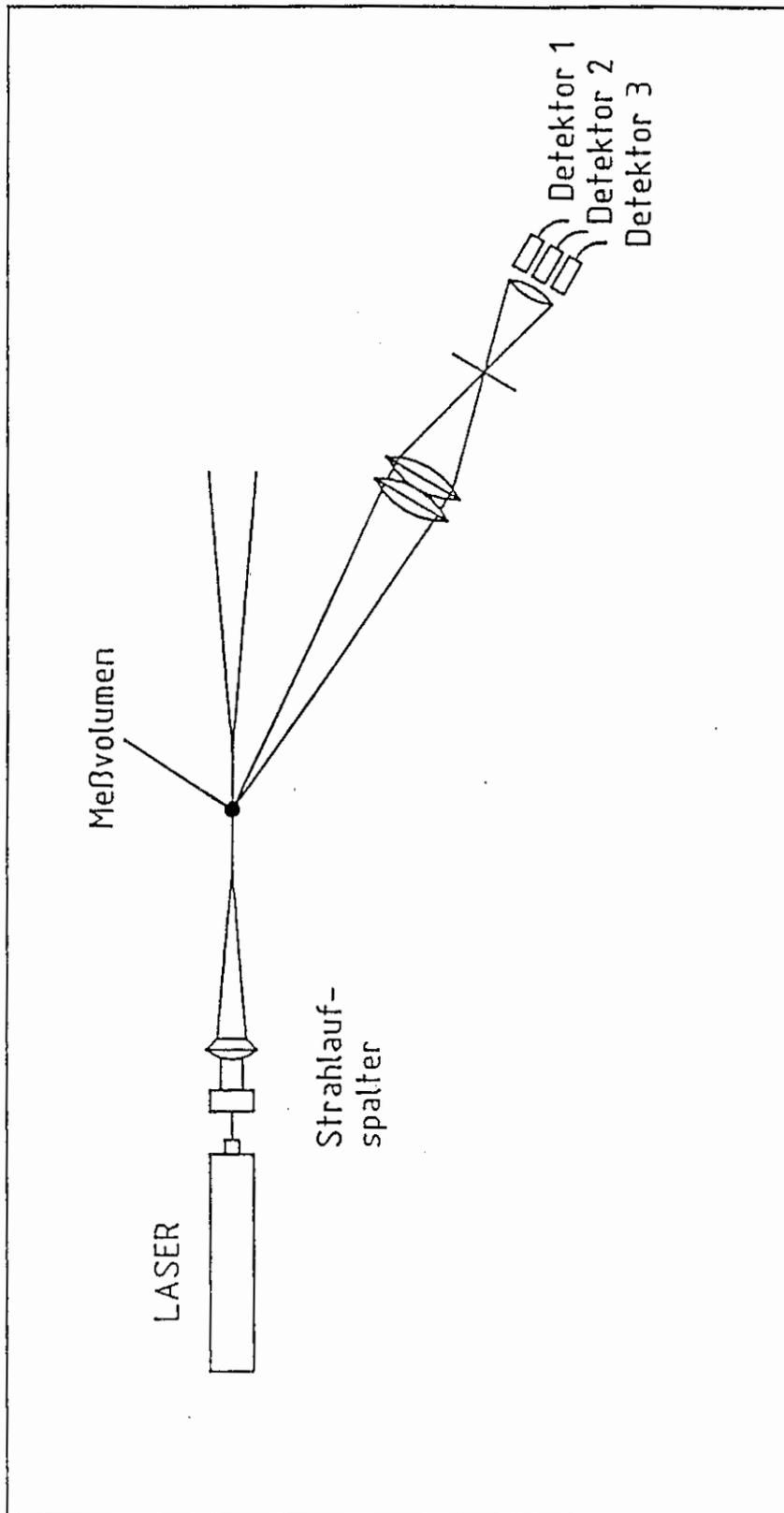


Bild 23. Aufbau der Meßanordnung des Phasen/Doppler-Teilchenanalysators.

keine Tropfenmessung möglich !

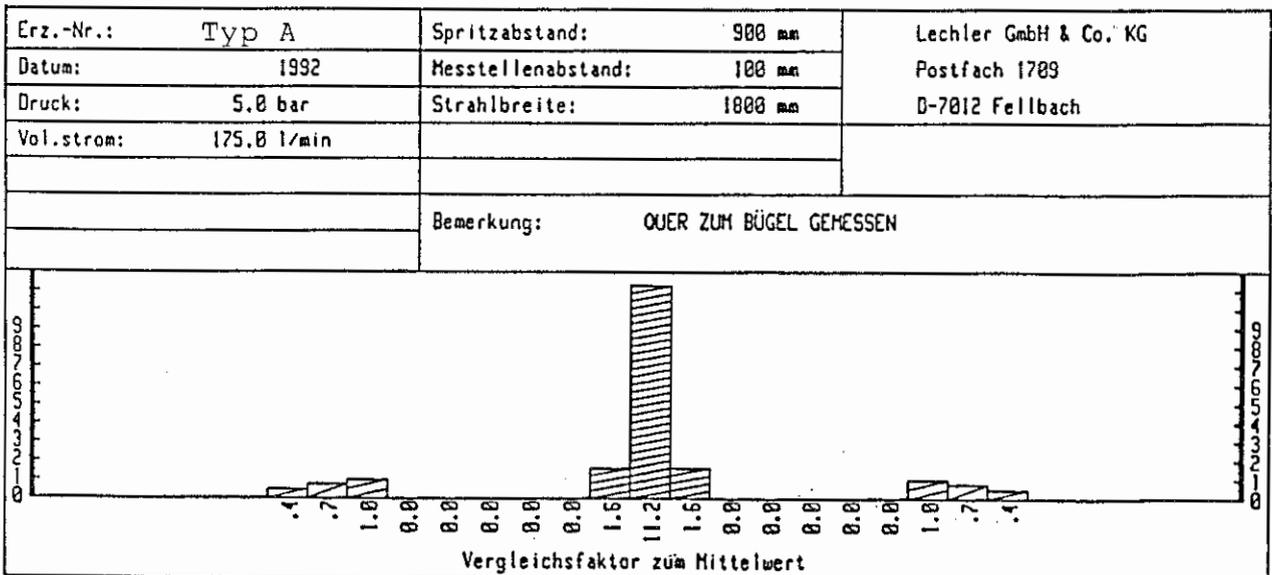
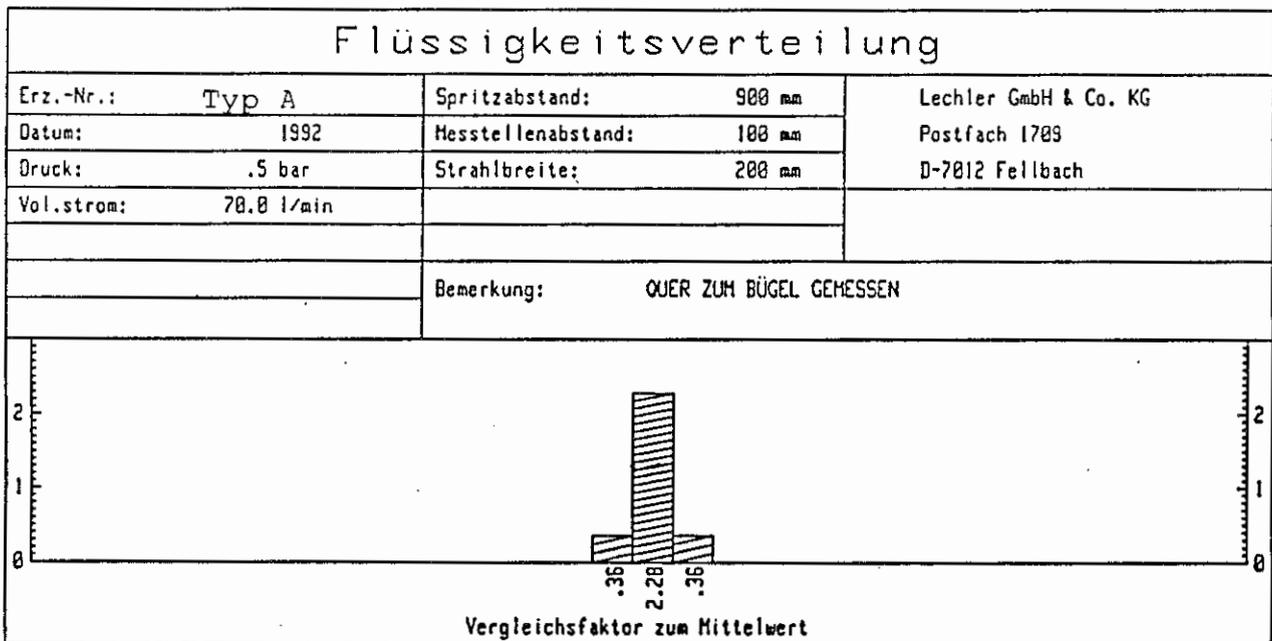


Bild 24. Flüssigkeitsverteilungen für den Sprinkler Typ A.

Tropfenmessung							
X-Position	repräsentativ für Radius	Bewertungsfaktor	P _{Wasser} bar	V _{Wasser} l/min	D ₁₀ um	D _{V50%} um	D ₃₂ um
2000	1800 - 2200	1.6	0.5	60	889	1021	1029
1600	1400 - 1800	1.3	0.5	60	753	815	859
1200	1050 - 1400	0.9	0.5	60	695	1224	1110
900	750 - 1050	0.5	0.5	60	406	1003	853
600	400 - 750	0.4	0.5	60	311	980	788
0	0 - 400	0.2	0.5	60	246	971	706
-	gesamt	-	0.5	60	396	1008	904
2000	1800 - 2200	1.6	5.0	176	193	685	561
1600	1400 - 1800	1.3	5.0	176	181	495	419
1200	900 - 1400	1.2	5.0	176	226	392	370
600	400 - 900	0.7	5.0	176	229	351	346
0	0 - 400	0.2	5.0	176	252	331	344
-	gesamt	-	5.0	176	220	396	369

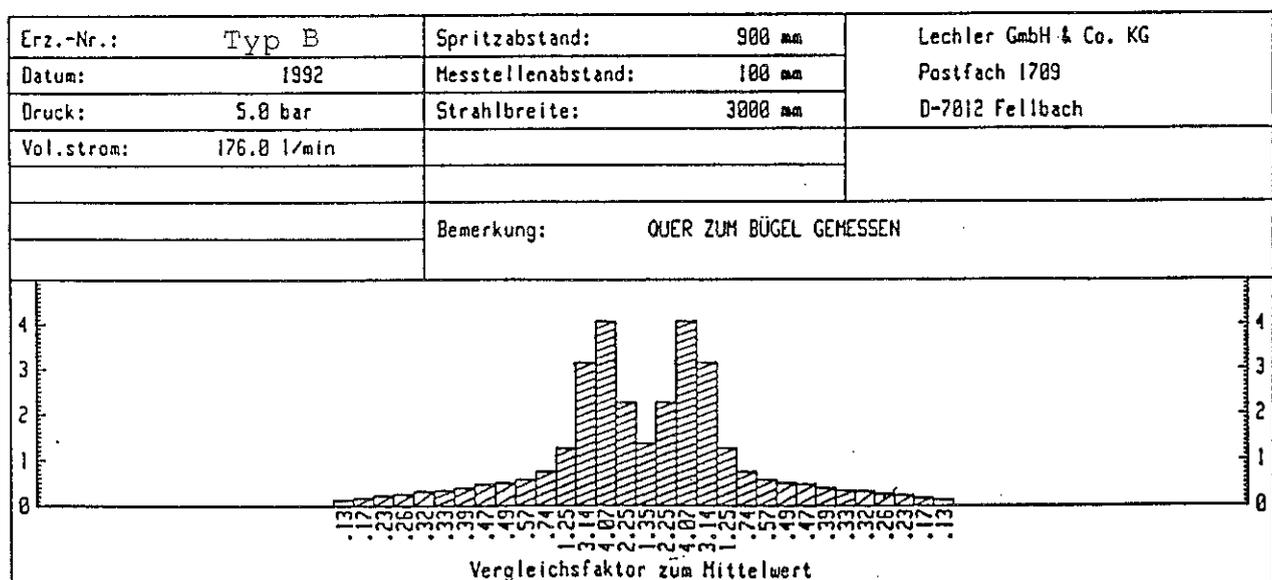
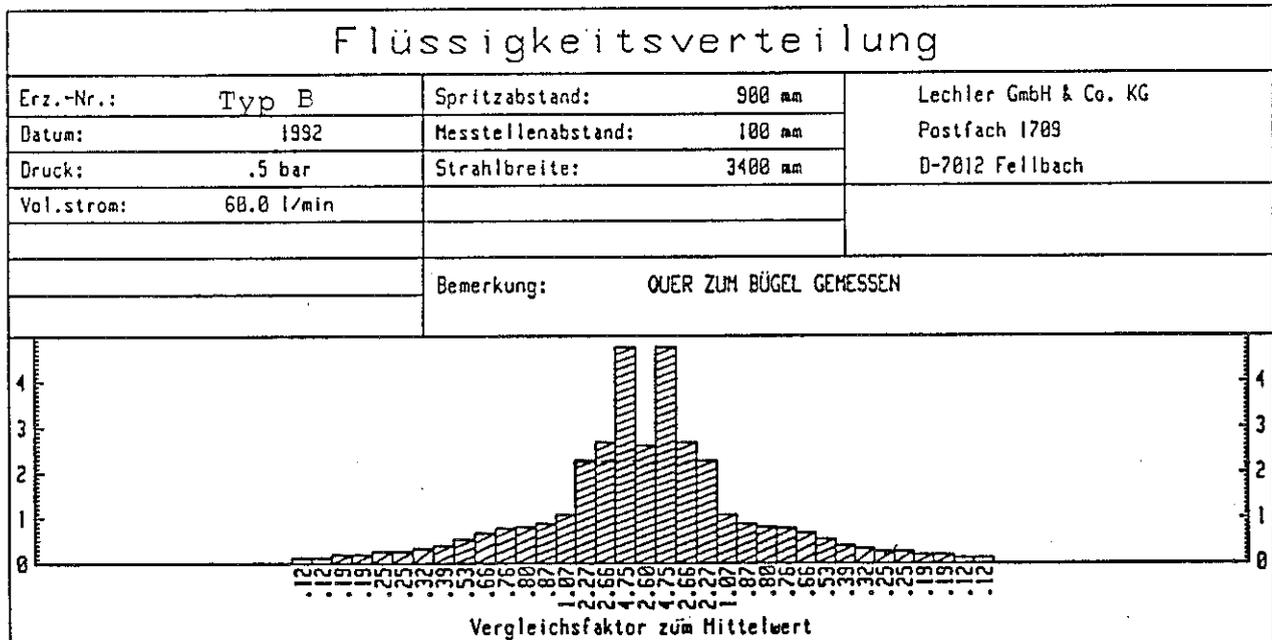


Bild 25. Tropfenmessung und Flüssigkeitsverteilung für den Sprinkler Typ B.

Tropfenmessung							
X-Position	repräsentativ für Radius	Bewertungs-faktor	P _{Wasser} bar	V _{Wasser} l/min	D ₁₀ um	D _{V50%} um	D ₃₂ um
2000	1600 - 2200	2,3	0,5	109	1052	1530	1425
1200	900 - 1600	1,8	0,5	109	480	1477	1064
600	400 - 900	0,7	0,5	109	197	399	338
0	0 - 400	0,2	0,5	109	313	784	645
-	gesamt	-	0,5	109	460	1494	1180
2500	2200 - 2800	3,0	5,0	326	757	983	973
2000	1600 - 2200	2,3	5,0	326	359	555	528
1200	900 - 1600	1,8	5,0	326	187	321	304
600	400 - 900	0,7	5,0	326	221	405	373
0	0 - 400	0,2	5,0	326	221	418	398
-	gesamt	-	5,0	326	239	637	529

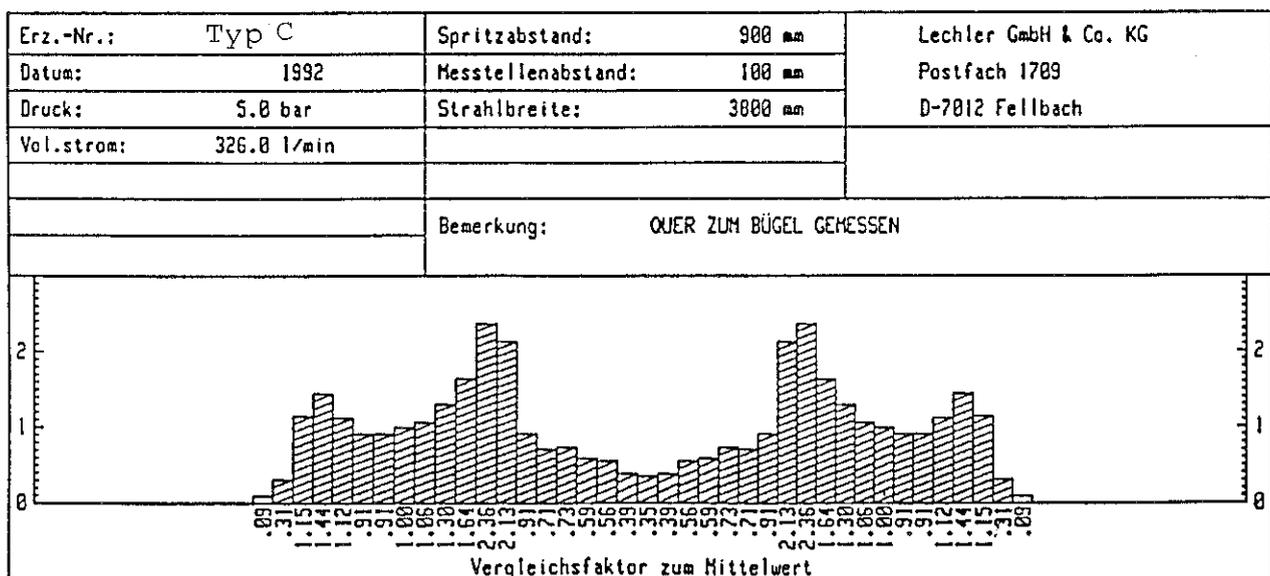
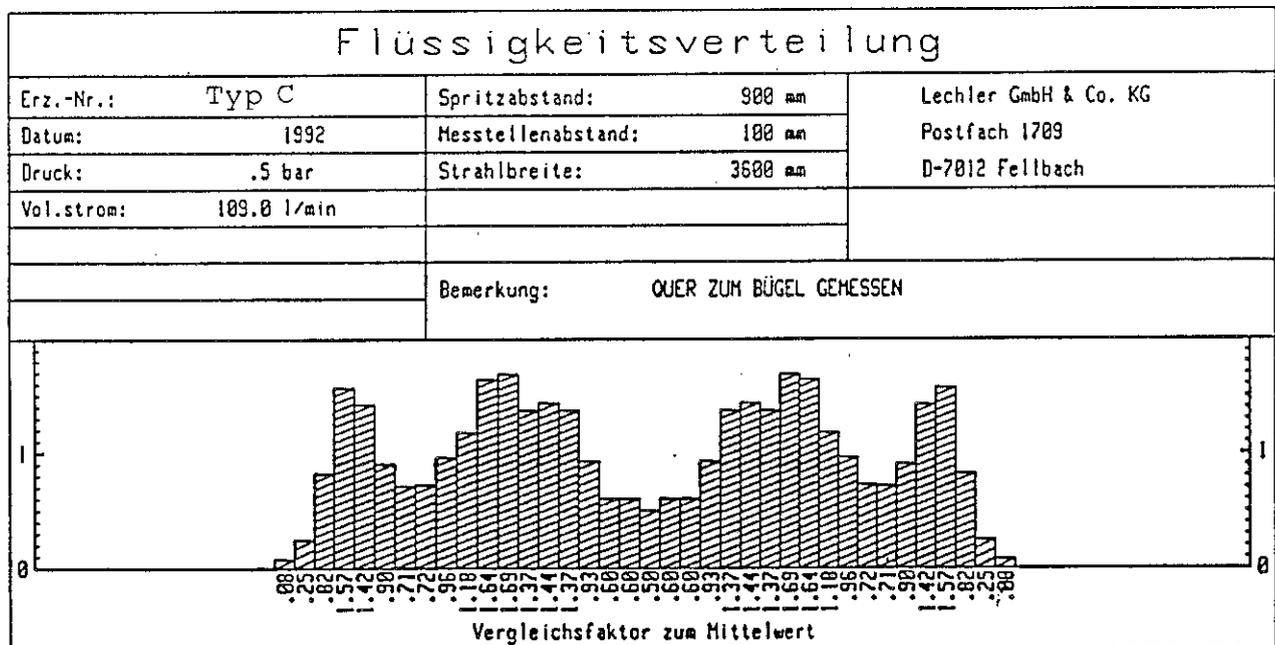
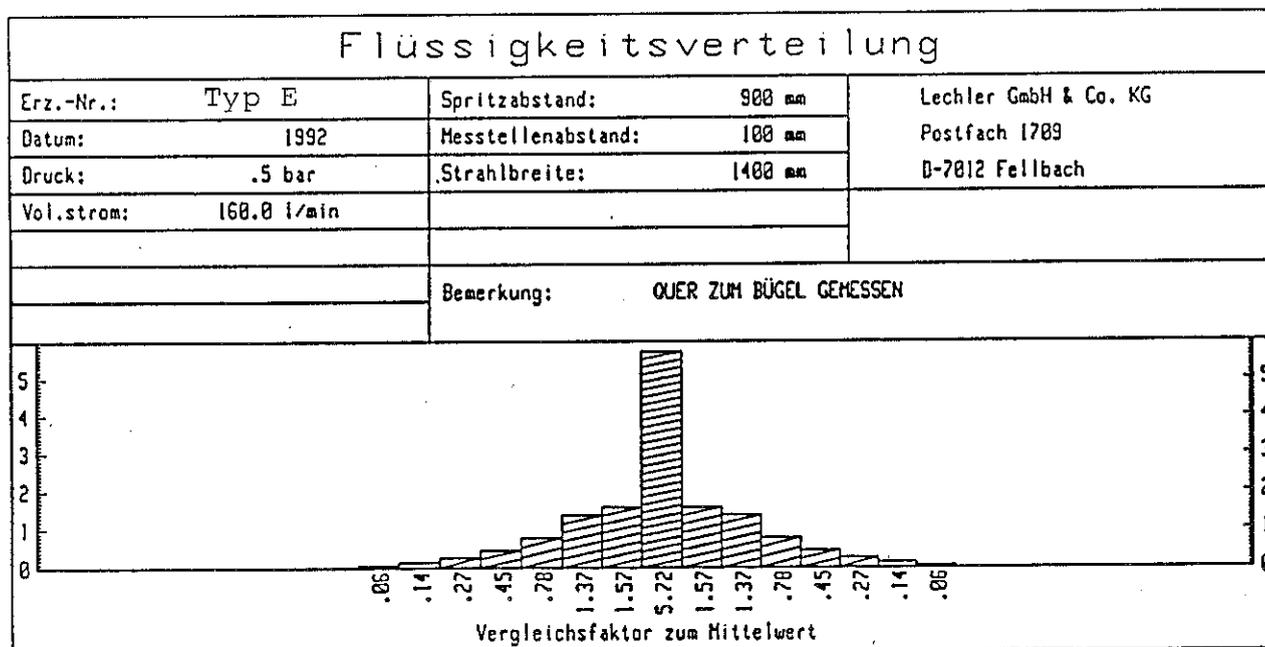


Bild 26. Tropfenmessung und Flüssigkeitsverteilung für den Sprinkler Typ C.

Tropfenmessung							
X-Position	repräsentativ für Radius	Bewertungsfaktor	P _{Wasser} bar	V _{Wasser} l/min	D ₁₀ um	D _{V50%} um	D ₃₂ um
2400	2200 - 2600	1.92	0.5	155	954	1516	1469
2000	1800 - 2200	1.6	0.5	155	914	1086	1062
1600	1400 - 1800	1.28	0.5	155	656	717	786
1200	1050 - 1400	0.86	0.5	155	473	542	580
900	750 - 1050	0.54	0.5	155	440	894	764
600	450 - 750	0.36	0.5	155	305	802	661
300	150 - 450	0.18	0.5	155	202	781	569
0	0 - 150	0.02	0.5	155	403	1708	1324
-	gesamt	-	0.5	155	408	1216	1015
2500	2300 - 2700	2.0	5.0	472	614	781	797
2100	1950 - 2300	1.49	5.0	472	449	575	550
1800	1650 - 1950	1.08	5.0	472	366	490	485
1500	1350 - 1650	0.90	5.0	472	323	380	384
1200	1050 - 1350	0.72	5.0	472	241	466	418
900	750 - 1050	0.54	5.0	472	206	275	279
600	450 - 750	0.36	5.0	472	201	308	294
300	150 - 450	0.18	5.0	472	230	461	415
0	0 - 150	0.02	5.0	472	317	783	630
-	gesamt	-	5.0	472	265	510	452



keine Flüssigkeitsverteilung bei 5 bar möglich !

Tropfenmessung							
X-Position	repräsentativ für Radius	Bewertungs-faktor	P _{Wasser} bar	V _{Wasser} l/min	D ₁₀ um	D _{V50%} um	D ₃₂ um
2500	2350 - 2650	1.5	0.5	61	817	2293	1898
2200	2000 - 2350	1.5	0.5	61	958	1205	1128
1800	1650 - 2000	1.3	0.5	61	678	929	926
1500	1350 - 1650	0.9	0.5	61	481	740	719
1200	900 - 1350	1.0	0.5	61	325	514	468
600	400 - 900	0.7	0.5	61	266	351	349
0	0 - 400	0.2	0.5	61	375	1152	921
-	gesamt	-	0.5	61	512	1496	1254
2500	2450 - 2550	0.5	5.0	180	225	385	360
2400	2250 - 2450	0.9	5.0	180	195	362	332
2100	1950 - 2250	1.3	5.0	180	155	386	323
1800	1650 - 1950	1.1	5.0	180	151	419	350
1500	1350 - 1650	0.9	5.0	180	198	490	431
1200	900 - 1350	1.0	5.0	180	202	453	413
600	400 - 900	0.7	5.0	180	216	390	369
0	0 - 400	0.2	5.0	180	215	467	468
-	gesamt	-	5.0	180	183	388	346

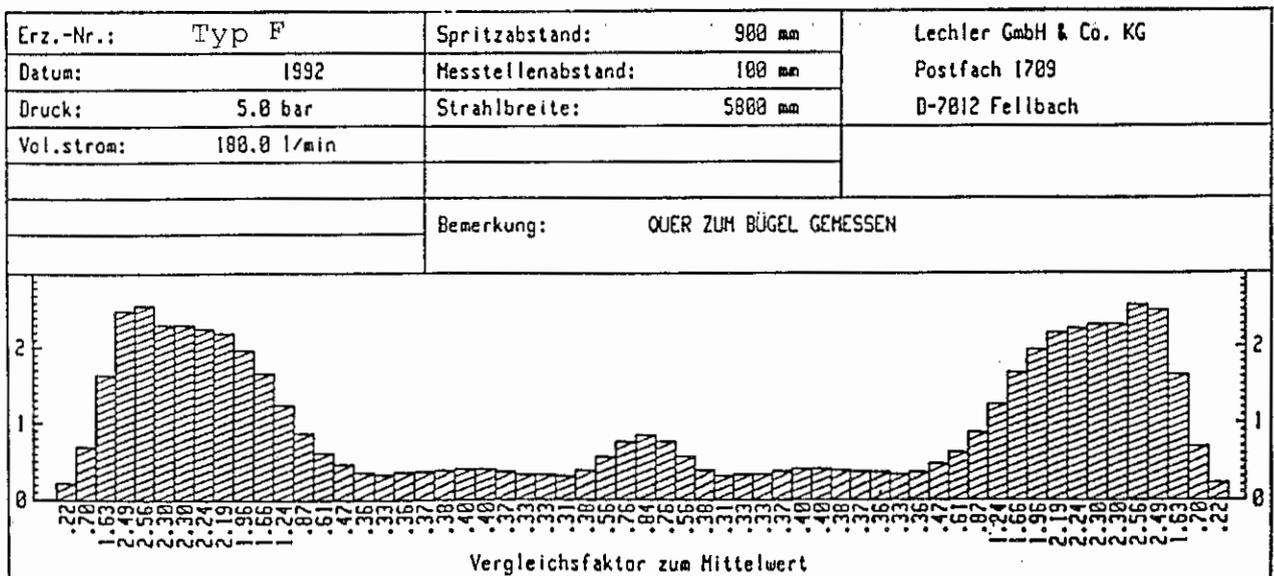
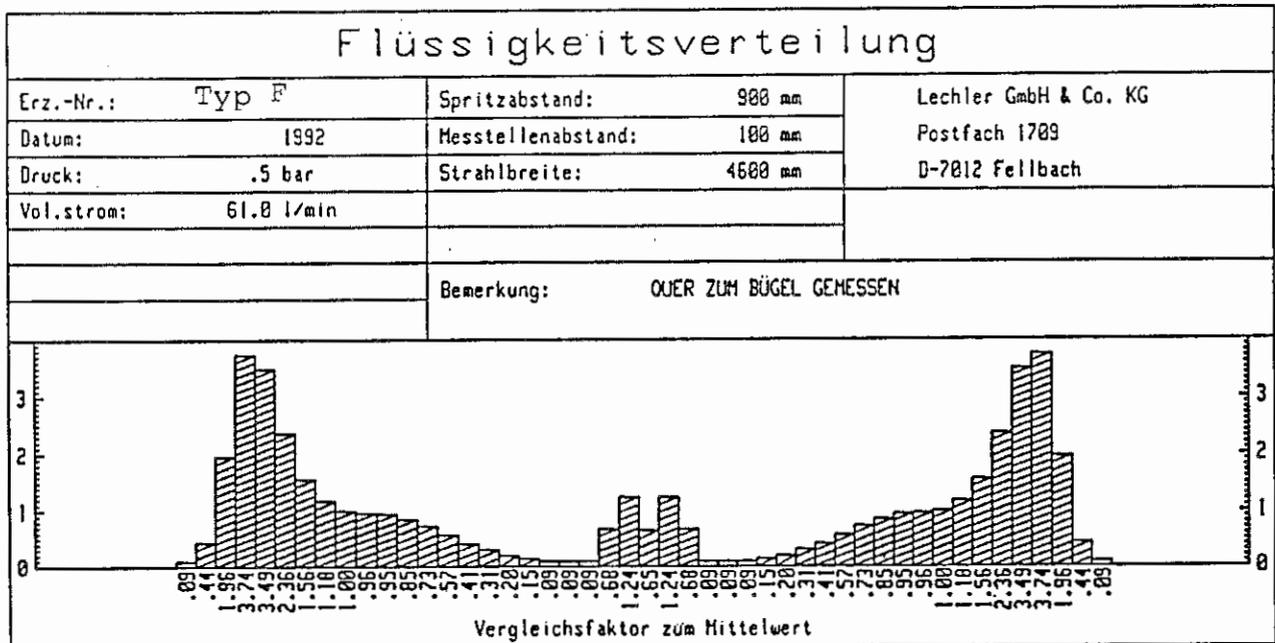


Bild 28. Tropfenmessung und Flüssigkeitsverteilung für den Sprinkler Typ F.