

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 7: Literaturlauswertung und
Simulation der Wasserbeaufschlagung

74

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

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

Forschungsbericht Nr.74

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 7: Literaturlauswertung und
Simulation der Wasserbeaufschlagung

von
Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
August 1990

FA: Nr. 128 (3 / 89)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER SPRINKLER	2
3. BRÄNDE UND SPRINKLER	5
4. STAPPELLAGERUNG UND SPRINKLER	8
5. LÜFTUNG UND SPRINKLER	12
6. ANZAHL DER AUSGELÖSTEN SPRINKLER	12
7. BRANDVERSUCHE UND SPRINKLER	13
8. EINFLUßGRÖßEN VON SPRINKLERN	19
9. SPRINKLER IN KLEINEN WOHNEINHEITEN	23
10. TROPFEN UND SPRINKLER	25
11. GEMESSENE UND BERECHNETE WASSERBEAUFSCHLAGUNGEN	29
12. ZUSAMMENFASSUNG	35
13. LITERATURVERZEICHNIS	36
14. TABELLEN UND BILDER	52

1. EINLEITUNG

In einer Zeit, in der Halogenkohlenwasserstoffe (Halone) wegen evtl. Umweltbeeinträchtigungen nicht mehr unbegrenzt als Löschmittel eingesetzt werden können, muß auch bei ortsfesten Löschanlagen wieder auf die bewährten Löschmittel Kohlendioxid und insbesondere Wasser zurückgegriffen werden. Wasser war bereits bisher das in ortsfesten Löschanlagen am häufigsten eingesetzte Löschmittel.

Sprinkleranlagen dienen einerseits zum Schutz von gelagerten Stoffen und andererseits von Personen in bestimmten Bereichen. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, daß Sprinkleranlagen, evtl. in Verbindung mit einer Brandmeldeanlage, zum richtigen Zeitpunkt auslösen und genügend Wasser zur Brandbekämpfung im Anfangsstadium zur Verfügung steht, so daß die Feuerwehr bei ihrem Eintreffen nicht bereits vor einem Großbrand steht.

Der erste Teil dieses Forschungsberichtes beinhaltet als Weiterführung der vorangegangenen Forschungsberichte eine Auswertung des in- und ausländischen Schrifttums über Sprinkler, Brände und Brandversuche mit Sprinklereinsatz und Einflußfaktoren bei Sprinklern.

Der zweite Teil beschreibt eine Simulation der Wasserbeaufschlagung mehrerer Sprinkler mit Hilfe eines Rechenprogrammes. Ausgehend von der gemessenen Wasserbeaufschlagung eines Sprinklers wird die Wasserbeaufschlagung mehrerer sich überdeckender Sprinkler berechnet.

2. ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER SPRINKLER

Nach Schifiliti /1/ können bei bekannter Geschwindigkeit und Temperatur der Brandgase das Ansprechverhalten von Brandmeldern und Sprinklern als Funktion der Zeit bestimmt werden. Weiterhin werden 3 Sprinklerkonfigurationen mit den Sprinklerabständen 3 m, 3,7 m und 4,6 m Abstand erwähnt, wobei das Ansprechen bei kleinerem Abstand schneller erfolgt. Ebenso beeinflussen die Deckenhöhe und die Wärmeleistung des Brandes das Auslösen von Meldern und Sprinklern entscheidend.

Münch /2/ erwähnt grundsätzliche Anforderungen an die Aufbau-technik der unterschiedlichen Sprinklersysteme.

Nach Cooper und Stroup /3/ hängt das Ansprechverhalten eines Sprinklers von seiner Ausführung, seiner Lage und von der Zeit vom Brandbeginn ab. Da die heißen Brandgase unterhalb der Decke entlangströmen, sollte ein Sprinkler in diesem Bereich liegen, jedoch nicht zu dicht, aber auch nicht zu weit unterhalb der Decke. Gasgeschwindigkeiten, Temperaturgrenzschichten, begrenzte oder unbegrenzte Decken beeinflussen das Auslöseverhalten von Sprinklern.

In /4/ wird in einer kurzen Arbeit über Sprinkleranlagen in Hochregallagern berichtet.

Domecq /5/ erwähnt Sprinkler mit unterschiedlichen Auslösetemperaturen für spezielle Risiken wie Heizräumen oder punktförmige Wärmequellen. Der Abstand zum Sprinkler oder ob ein Sprinkler große oder kleine Tropfen bildet, ist von großer Bedeutung. Schnell ansprechende Sprinkler gibt es seit ca. 10 Jahren, sehr schnelle seit etwa 3 Jahren. Dazu kommen noch die offenen-, die "on-off"- und die Spray-Sprinkler.

In /6/ berichtet Domecq über Wasservorhänge und den lokalen

Einsatz von Sprinklern, wie z. B. in Personalräumen, Elektro-
räumen, Büros, Hallen und Jägern.

Rost und Beilicke /7/ geben eine Auswahl von Erkenntnissen über
automatische Feuerlöschanlagen und Auslegungsparameter wie die
Wasserbeaufschlagung, die Löschzeit, die Wirkfläche, die Schutz-
fläche, die Ansprechzeit, die Wasserversorgung und den An-
sprechzeitindex wieder.

In /8/ wird auf die Zunahme von Kunststoffmaterialien und auf die
bei einem Brand auftretende schnelle Ausbreitung und große
Wärmeentwicklung hingewiesen. Die Lagerung von Flüssigkeiten ist
ebenso problematisch. Für all diese Fälle sind spezielle Lager-
höhen, Lagerarten (z.B. Paletten, Reihen) und auch der entspre-
chende Sprinklerschutz (z.B. Auslösetemperatur, Schutzfläche,
Sprinklerart) anzuwenden.

Lavin /9/ gibt einen Auszug von Ergebnissen von mehr als 250
Versuchen des Fire Office Committee (FOC) wieder, bei denen mit
zwei verschiedenen Sprinklern über einem Wannenfeld mittlere
Wasserbeaufschlagungen gemessen wurden. Als weitere Parameter
wurde der Wasserdruck und der Abstand der Sprinkler von der
Wannenfläche veriiert.

Walton /10/ gibt in einem kurzen Bericht einen Überblick über
zwei von anderen Autoren herausgegebene Bücher, die Berechnungen
von Sprinklersystemen beinhalten.

In einem kurzen Bericht /11/ werden für die Personenrettung
Untersuchungen mit "Wasserspray"-Anlagen in einem Flugzeugrumpf
erwähnt. Für den Löschvorgang befinden sich an Bord 200 l Wasser.

Chicarello /12/ berichtet über Messungen von Strömungswerten und
Berechnungen von Sprinkleranlagen mit Hilfe von Bernoulli und
Hazem-Williams.

Takeda und Yung /13/ beschreiben in einer Kurzfassung eine Risiko-Kosten-Analyse in bezug auf die Brandausbreitung, Rauchbildung und die Auslösezeiten von Sprinklern.

Von Chaillot /14/ wird in einem aus 11 Aufsätzen bestehenden Bericht auf einen Sprinkler hingewiesen, der nach dem Löschein-satz wieder automatisch schließt.

Gray /15/ weist auf preiswerte Sprinklersysteme für Wohneinheiten hin, die durch kostensparende Verbesserungen in der Konstruktion, der Installation und auch durch geförderte Forschungsarbeiten erzielt wurden.

Hammerman /16/ gibt Informationen über die Entwicklung und Kosten eines Sprinklersystems für ein Altenwohnheim und vergleicht diese mit denen eines handelsüblichen nach den NFPA-Richtlinien zu installierenden Systems.

In /17/ wird von der Problematik bei der Installation von Sprinklersystemen in zwei Kühlhäusern in London berichtet, wobei z. B. die tiefen Temperaturen berücksichtigt werden mußten.

Jackson /18/ erwähnt ein Rechenprogramm, bei dem in Verbindung mit einem Brandmodell das Ansprechverhalten eines Sprinklers, die Löschzeit, die Tropfengröße und die Art des Sprinklers eingehen.

Für Stein /19/ bieten Sprinkleranlagen den größtmöglichen Schutz, der noch viel zu wenig eingesetzt wird. Als Beispiel werden Kabeltrassen erwähnt.

Grubits /20/ beschreibt Untersuchungen über das Verhalten der Auslöseelemente von Sprinklern, die unterschiedlich lange Zeiträume installiert waren und listet die Ergebnisse in Tabellenform auf.

Nach Reynolds /21/ sollte beim Einbau einer Sprinkleranlage auf 10 Punkte besonders geachtet werden, angefangen bei der Wassermenge über die Rohrleitungen bis hin zum Alarm. Dabei sollten die NFPA-Richtlinien beachtet werden.

Bruno /22/ berichtet über ein Bauprojekt mit 3-stöckigen Einfamilienhäusern, bei deren Planung bereits Brandschutzmaßnahmen wie feuerwiderstandsfähige Baustoffe, Brandmelder und auch Sprinkler eingeplant wurden.

Harmathy /23/ nimmt Stellung zur Installation von Sprinkleranlagen in neu erbauten Hochhäusern, die keinen umfassenden Schutz bieten können. Vielmehr müssen auch bauliche Maßnahmen ergriffen und Brandschutzexperten ausgebildet werden.

In /24/ werden vom Verband europäischer Hersteller Richtlinien für die Installation, die Handhabung und die Instandhaltung von Kontrollinstrumenten für Sprinkler-Naßanlagen und -Trockenanlagen zusammengestellt.

Hinze /25/ erwähnt die beim Bau eines Berliner U-Bahnhofes aufgetretenen Schwierigkeiten, in einer Ladenzeile, trotz des bereits verplanten Raumes, eine Sprinkleranlage zu installieren.

3. BRÄNDE UND SPRINKLER

Courtney /26/ beschreibt mehrere Brände, bei denen Sprinkleranlagen fehlten oder vorhandene Sprinkler zum Einsatz kamen. So entstand z. B. in einem Azetylen-Flaschenlager durch eine Explosion und einen Brand trotz Sprinklereinsatzes ein Schaden von 350000 Dollar.

In /27/ berichtet er neben einigen anderen Bränden mit und ohne Sprinklereinsatz von einem brennenden Papierrollenlager, bei dem

5 Sprinkler den Brand bis zum Eintreffen der Feuerwehr unter Kontrolle halten konnten. Die Feuerwehr löschte den Brand vollständig. Der Sachschaden betrug 77000 Dollar.

McCaffrey /28/ erwähnt ein mathematisches Modell, das auf die Wechselwirkungen zwischen Spraysprinklern und Bränden eingeht. Als Wärmequelle wird wie bei Tankbränden eine Wärmeleistung von 800 kW/m^3 bis 1200 kW/m^3 angenommen.

Kirsch /29/ berichtet von einem beim Schweißen entstandenen Brand in einem mit Papierrollen bestückten Lager, das durch ein Sprinklersystem geschützt war. Es entstand jedoch ein Sachschaden von 14 Mio Dollar. Die beim Brand auftretenden hohen Temperaturen ließen selbst Stahlteile erweichen.

O'Connor /30/ berichtet über einen Steinkohlenteerbrand auf einer Werft, die völlig zerstört wurde. Außerdem wird die Installation eines ca. 700 m langen Sprinklersystems über eine aus einer Holzkonstruktion bestehenden Werft erwähnt, die nicht gesprinklert war. Weiterhin wird auf mit automatischen Sprinkleranlagen versehene Werften hingewiesen, die trotzdem durch Brände völlig zerstört wurden.

In /31/ wird von mehreren Bränden mit PU-Schaum berichtet, bei denen zahlreiche Sprinkler, auch weiter vom Brandherd entfernte, auslösten, so daß das Wasser nicht ausreichte und eine völlige Zerstörung des Gebäudes die Folge war.

In /32/ werden anhand von 4 Beispielen aus 79 Bränden in den Jahren 1979 bis 1985, die in Geschäftszentren ausbrachen, in Tabellenform einzelne Schadenssummen aufgeschlüsselt. Es entfielen davon auf Brandschäden 15 %, auf Rauchschäden 35 % und auf Wasserschäden 50 %. Sprinkler werden dennoch als bester Schutz für den Einsatz rund um die Uhr betrachtet.

Hajduk /33/ erwähnt ein durch eine brennende Zigarette in Brand geratenes Bett in einem Krankenhaus. Der Brand konnte mit einem automatischen Sprinkler bereits im Anfangsstadium gelöscht werden.

In /34/ werden für den Großbrand bei Ford in Köln verantwortliche Fakten dargestellt. Dabei werden genannt: zu hohe Regale, zu geringe Berieselungsdichte der Sprinkler, falsche Bemessung der Öffnungsquerschnitte u. a. mehr.

Günther /35/ berichtet vom ersten gesprinklerten U-Bahn-Zug in Hamburg. In einem Abteil wurde bei einem Entstehungsbrand auf einer Sitzbank ein Versuchssprinkler mit Erfolg eingesetzt.

Von Lugon und Zeberli /36/ werden in kurzer Form der Aufbau eines Sprinklers und einer Anlage beschrieben. Zusätzlich werden Systeme für die gasförmigen Löschmittel Halon und CO₂ sowie für Schaum und Pulver aufgeführt.

Aresu de Seui /37/ und Bell /38/ beschreiben einen Brand in einem Hotel sowie den jeweiligen Aufenthaltsort der insgesamt 95 sich im Hotel befindenden Personen, von denen 26 ums Leben kamen. Im Gebäude waren nur 4 Sprinkler in der Nähe der Treppe installiert, die nur diesen Bereich schützten, aber das Unglück nicht verhindern konnten.

Herzog und Broehm /39/ berichten von einem Brand in einem mit einer Sprinkleranlage geschützten Kaufhaus. Der Brand konnte sich über den Geschäftsräumen in der mit Holzbalken ausgeführten Dachkonstruktion ausbreiten. Das Auslösen der darunter befindlichen Sprinkler führte deshalb nicht zu einem Löscherfolg. Es entstand ein Schaden von 2 Mio Dollar. Beim Wiederaufbau wurden die Zwischenwände der Geschäftsräume bis zum Dach hochgezogen.

Forsman /40/ weist auf einen in einem Restaurant durch eine

explodierende Propangasflasche entstandenen Brand hin. Das Propan wurde zum Fahren eines Heißluftballons benötigt. Dabei wurden 10 Personen verletzt. Der Brand konnte mit 6 Sprinklern bis auf kleine unzugängliche Bereiche gelöscht werden.

Fessey, Long und Langford /41/ führen als Beispiel einen Krankenhausbrand in Montreal an, bei dem lediglich in kleinen Bereichen Sprinkler vorhanden waren und sich deshalb der Brand rasch ausbreiten konnte. Weiterhin werden in einer kleinen Tabelle Brände und Opfer aufgeführt sowie Untersuchungen mit Branddetektoren in Räumen erwähnt.

4. STAPPELLAGERUNG UND SPRINKLER

In /42/ wird der Sprinklerschutz für Regallager, für feste, bewegliche und offene Gestelle, auch in mehreren Reihen, bis zu einer Lagerhöhe von 7,6 m in Gebäuden bis zu 9,1 m erwähnt. Versuche zeigten, daß beim Einsatz von ESFR Sprinklern gegenüber konventionellen Sprinklern die Deckentemperatur beim Brand niedriger gehalten werden kann.

Auch Casaccio /43/ erwähnt 11 Versuche mit ESFR Sprinklern und Kartons mit Kunststofffüllung als Brandlast. Die Stapelhöhe des Lageraufbaues betrug zwischen 4,3 m und 7,6 m, die Deckenhöhe 9,1 m und die Abstände der Sprinkler über den Stapeln bei den einzelnen Versuchen zwischen 0,9 m und 4,6 m. Die Brandlast wurde zentral unter einen oder unter vier Sprinkler von insgesamt 36 Sprinklern aufgebaut. Bei diesen Untersuchungen kam es darauf an, die Anzahl der ausgelösten Sprinkler in dem vorgegebenen Bereich festzustellen.

In /44/ werden die in /43/ genannten Versuche ebenfalls erwähnt. Bei den hier durchgeführten Versuchen betrugen die Stapelhöhen 4,4 m bis 7,5 m. Es kamen 17 Sprinkler-Prototypen zum Einsatz,

wobei die Abstände der Sprinkler zum Lagergut zwischen 0,9 m und 4,6 m variierten.

In /45/ werden Untersuchungen erwähnt, bei denen Kartons auf Holzpaletten bis zu einer Höhe von 8 m gelagert waren. Nach dem Zünden an der untersten Palette erreichten die Flammen innerhalb von 2 min die volle Höhe der Stapel. Aufgrund dieser Tatsache werden Sprinkler als notwendig erachtet.

Fleming /46/ berichtet u.a. von Großversuchen mit Lagerhöhen von 7,5 m und Deckenhöhen von 9 m. Bei allen Versuchen öffneten weniger als 11 Sprinkler. Die Gesamtzahl wurde nicht angegeben.

Bei Gärtl /47/ wird ein Hochregallager in Kiel mit einer Fläche von 1174 m² angesprochen. Die Wände und das Dach bestehen aus Trapezblechen. Sicherheitsvorkehrungen bestehend aus Wärmedämmung, Brandabschnitten, Brandschutzklappen, Rauch- und Wärmeabzügen sowie eine Brandmelde- und Sprinkleranlage mit 3810 Sprinklern sind vorhanden. Die Wasserbeaufschlagung ist für 17,5 mm/min ausgelegt. Das Lager wurde vom Verband der Sachversicherer in die Brandgefahrklasse 4.4 eingestuft.

In /48/ werden zahlreiche Brandversuche an gestapelten Stoffen und Flüssigkeiten erwähnt. Bei einem Versuch mit in Kartons gefüllten Plastikbehältern traten bereits 6 min nach der Zündung Temperaturen bis 1018 °C an der Decke auf, obwohl 13 Sprinkler öffneten. Zusätzlich werden Wasserbeaufschlagungen und Sprinklerauslösetemperaturen beim Brand unterschiedlich hoch gelagerter Stoffe angegeben.

In /49/ wird von einem Lager mit 2 Gängen, 7,4 m lang, 1,2 m breit und 2,3 m hoch berichtet. Darin lagerten Teile in Kartons oder Kunststoffen verpackt direkt auf Gestellen. Vorangegangene Untersuchungen ohne Sprinklereinsatz zeigten, daß bei einem Brand in einem derartigen Lager die Lagergüter und das Gebäude völlig

zerstört wurden. Weiterhin wird berichtet, daß stehende Sprinkler gegenüber mechanischen Beanspruchungen weniger empfindlich sind als hängende. Windtunnelversuche haben gezeigt, daß Schmelzlot-sprinkler schneller und bei niedrigeren Temperaturen ansprechen als Glasfaßsprinkler und außerdem die im Standard-Test angegebenen Temperaturen überschritten werden.

Isner /50/ berichtet über einen Großbrand in Ohio (USA), bei dem 1,5 Mio Gallonen Farbe in Metallkannen und PE-Kanistern als Stapel und in Gestellen gelagert waren. Der Brand wurde durch ausgelaufene Flüssigkeit, die ein Gabelstapler durch Funkenbildung zündete, ausgelöst. Obwohl die Sprinkleranlage und die Rauch- und Wärmeabzugsanlage ansprachen, begannen bereits nach einer Zeit von 15 min Teile des Daches einzustürzen. Interne Löscharbeiten hatten keinen Erfolg und ein verspätetes Alarmieren der Feuerwehr ließen das Gebäude völlig abbrennen. Der Brand war nach 7 Tagen gelöscht und der Schaden betrug 49 Mio Dollar.

Yao /51/ gibt als Ziel für seine Forschungen an, daß Wasser einerseits den Brandherd sehr schnell erreichen und andererseits der Verbrauch möglichst gering sein sollte. Er stellt fest, daß ESFR-Sprinkler praktisch für alle Lagerarten bis zu einer Höhe von 7,6 m bis 9,1 m geeignet sind. Sie sollten zwischen 100 mm und 330 mm unterhalb der Decke angebracht sein. Die Sprinklerabstände und Schutzflächen sind ebenso zu beachten.

In /52/ wird von ESFR-Sprinklern als bedeutende Entwicklung berichtet, wobei das Auslöseverhalten sehr von der Ausbildung der Decke bzw. des Daches abhängig ist. Sie sind bei ein- und doppelreihigen Palettenlagern für die 4 Brandklassen bis zu einer Höhe von 9,1 m einsetzbar und sollten für Gebäude bis zu 12,2 m geeignet sein.

In /53/ werden Untersuchungen an gestapelten Stoffen und der Einsatz von Sprinklern beschrieben.

In /54/ wird auf die Kombination einer wasserführenden Stahlkonstruktion und den daran angeschlossenen Sprinklern berichtet. Mit diesem System Maurer wurde in der Chemischen Fabrik Pfersee ein Hochregallager gesprinklert.

Casaccio /55/ erwähnt Brandversuche mit gestapelten Holzpaletten, bei denen Deckentemperaturen bis zu 815 °C erreicht wurden. Diese Temperaturen lassen selbst Stahl erweichen. Da derartige Paletten häufig Verwendung finden, stellen sie ein besonderes Brandrisiko dar und werden daher in den Richtlinien je nach Höhe eines Stapels in unterschiedliche Risiken mit entsprechenden Wasserbeaufschlagungen eingeordnet.

Fardeyn /56/ berichtet über die Brandschutzvorrichtungen im Neubau eines Papierrollenlagers, nachdem dieses im Jahre 1980 abgebrannt war. Die Fläche des neuen Lagers beträgt 3000 m² und die Höhe 9 m. So wurde eine Sprinkleranlage installiert, deren Pumpen bei einem Betriebsdruck von 10 bar 700 m³/h leisten. Die Auslösetemperatur der Sprinkler beträgt 138 °C und die geforderte Wasserbeaufschlagung 27,5 l/min/m².

In /57/ werden 3 Brandversuche mit einer Lagerhöhe von 6 m beschrieben, die mit unterschiedlichen Sprinklertypen bzw. Wasserbeaufschlagungen durchgeführt wurden. Der Brand konnte mit Großtropfensprinklern schneller unter Kontrolle gebracht werden als mit Normalsprinklern. Der Löschzeitpunkt hängt von der Temperatur am Auslöseelement ab.

Watson /58/ erwähnt Branduntersuchungen mit PS-Chips in Kartons, die als Stapel bis zu einer Höhe von 9 m gelagert wurden. Für den Löscheinsatz wurden 2 Sprinklertypen mit den Auslösetemperaturen von 74 °C und 141 °C eingesetzt. Aus einer kleinen Tabelle geht hervor, daß beim Löschen weniger Wasser benötigt wurde, wenn sowohl die Auslösetemperatur als auch der RTI-Wert niedrig waren.

5. LÜFTUNG UND SPRINKLER

Heselden /59/ betrachtet Gebäude mit Sprinklern in Verbindung mit Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. Untersuchungen zeigten, daß bei intakter Lüftung die Sichtverhältnisse besser waren und der Brandherd somit besser festgestellt werden konnte. Unterschiede bestehen bei niedrigen und hohen Gebäuden sowie großen und kleinen Bränden. Auch die Flammenhöhen und die Größe der Öffnungen spielen eine große Rolle. Eine hohe Effektivität der Lüftungsanlage kann jedoch den Sprinklereinsatz beeinträchtigen, da kleinere Wassertropfen mit weggesaugt werden können.

Bei Isner /50/ wird von einem Großbrand berichtet, bei dem sowohl die Sprinkler auslösten als auch die Rauch- und Wärmeabzugsanlage ansprach. Trotz dieser Brandschutzmaßnahmen konnte ein Totalschaden nicht verhindert werden.

6. ANZAHL DER AUSGELÖSTEN SPRINKLER

Ranthe /60/ gibt in seinem Bericht für sechs Länder die in den Jahren 1980 bis 1984 in Gebäuden installierten Sprinkler an. In einer Tabelle führt er zusätzlich die Anzahl der bei Bränden ausgelösten Sprinkler auf.

In /48/ werden die gelagerten Stoffe in mehrere Klassen eingeteilt. Für diese Stoffe sind in einer Tabelle jeweils eine aus Versuchen ermittelte mittlere Anzahl der geöffneten Sprinkler angegeben wie z.B. bei Maschinenteilen auf Holzpaletten 6,5 Sprinkler (Klasse I), bei verpackten Teilen in Kartons auf Paletten 4,4 Sprinkler (Klasse II), bei Lederhandschuhen 6,8 Sprinkler (Klasse III), bei elektronischen Teilen mit Kunststoffanteilen in Kartons 8,3 Sprinkler (Klasse IV), bei Kunststoffen 12,5 Sprinkler und bei Polyurethan 15,1 Sprinkler.

Lugon und Zeberli /36/ weisen darauf hin, daß in 70 % der Brandfälle nur ein bis drei Sprinkler auslösen und für den Löscheinsatz ausreichen.

Bei Casaccio /43/ werden bei 11 Brand- und Löschversuchen in einer Tabelle die Anzahl der ausgelösten Sprinkler angegeben. Von 36 vorhandenen lösten je nach Versuchsaufbau ein bis elf Sprinkler aus.

Field /61/ erwähnt, daß bei einer nicht genannten Gesamtzahl von installierten Sprinklern bei unterschiedlichen Brandversuchen mit der jeweiligen Brandlast in Gestellen 1 bis 3 Sprinkler, bei brennenden Flüssigkeiten 2 bis 9 Sprinkler und einmal 10 Sprinkler auslösten und den Brand unter Kontrolle brachten.

In /62/ werden für 5 Brandversuche mit unterschiedlichen Brandlasten aus einer nicht angegebenen Gesamtzahl die Anzahl der ausgelösten Sprinkler mit 2 bis zu 42 Sprinklern erwähnt.

7. BRANDVERSUCHE UND SPRINKLER

Milke /63/ beschreibt sechs vom NBS durchgeführte Großbrandversuche mit Kunststoffleitungen für automatische Sprinkler. Es werden Gleichungen für die Wärmekonvektion im Leitungsrohr bei stehendem und fließendem Wasser angegeben. Als Brandherd wurde eine 13,6 kg schwere Holzkrippe verwendet. Die Haltbarkeit der Leitungen waren z. B. vom Wasserdruck und der Temperatur abhängig.

Kainz und Höfling /64/ berichten über Brandversuche, die mit den Löschmitteln Halon, CO₂ und Wasser durchgeführt wurden. Beim Einsatz von Sprinklern mit einer Auslösetemperatur von 68 °C lösten die Sprinkler zu spät oder auch garnicht aus und es entstand ein hoher Brandschaden. Die Wasserbeaufschlagung wurde

auf 5 mm/min bei einer Fläche von 9 m² festgelegt. Zusätzlich wurden Kaltversuche mit Halon und CO₂ in EDV-Räumen durchgeführt.

Kung /65/ erwähnt 25 Brandversuche in einem Raum von der Größe 3,66 m x 7,32 m x 2,44 m mit Türöffnung und den Einsatz von 3 Sprinklern mit den Austrittsöffnungen von 11 mm, 8,3 mm und 6,9 mm und einer Auslösetemperatur von 100 °C. Als Brandmaterial wurde Heptan verwendet. Bei diesen Untersuchungen wurden der Wärmefluß, die Gaskomponenten CO, CO₂, H₂O, O₂ und Gesamtkohlenwasserstoffe sowie die Tropfengröße mit dem von FMRC entwickelten Meßgerät festgestellt.

Murrel und Field /66/ berichten von schnell ansprechenden Sprinklern, die speziell für Hochregallager bis zu einer Höhe von 10 m entwickelt wurden. Mit Hilfe von 3 Sprinklertypen (Schmelzlot, Becher, Glasfaß) sollte festgestellt werden, bei welchen Flammenlängen die Sprinkler auslösen, da in derartigen Lägern die schnelle Brandausbreitung ein großes Problem darstellt. Die für die Versuche verwendete Brandlast bestand aus in Regalen stehenden Holzpaletten, die mit Wellpappkartons und dem Füllmaterial Holzwole bzw. Polystyrol-Chips bestückt waren.

Cooper und Stroup /3/ beschreiben Untersuchungen in einem Raum mit Tür mit den Abmessungen 2,44 m x 3,66 m x 2,44 m , bei denen ein Papierkorb in Brand gesetzt wurde, um das Ansprechverhalten der Sprinkler zu erfassen. Dabei wurde festgestellt, daß der 10 cm unterhalb der Decke angebrachte Sprinkler mit einem RTI-Wert von 46 nach einer Versuchszeit von 175 s auslöste und die in diesem Bereich niedrigste Temperatur in der Grenzschicht bis zu 1 cm unterhalb der Decke lag.

Neuenschwander /67/ berichtet von Brandversuchen in einem Raum mit einer Fläche von 6,15 m x 5,20 m und einer Höhe von 6,70 m mit Paletten mit darauf befindlichem Schaumstoff, Spanplatten und anderem Verpackungsmaterial. Die Auslösetemperaturen der schnell

ansprechenden Sprinkler lagen zwischen 75 °C und 280 °C.

Heselden /59/ macht Angaben über 76 Brände, wovon 15 mit Sprinklereinsatz durchgeführt wurden. Dabei fielen einerseits Sprinkler aus und andererseits sprachen alle Sprinkler an. Als Brandlast wurden sowohl Propan als auch Holzpaletten mit Kunststoffen verwendet.

Wegen der nach Besson /68/ nur mittelmäßig arbeitenden klassischen Sprinkler in Palettenlagern wurden in Großbritannien Kaltversuche durchgeführt, die mit einer Wasserbeaufschlagung von 5 mm/min "normale Risiken" und mit 10 mm/min "Ausnahmefälle" abdecken sollten. Der Öffnungsquerschnitt der Sprinkler betrug 15 mm. Das Wasser wurde in Wannen mit einer Kantenlänge von 50 cm aufgefangen. Insgesamt 200 Versuche wurden mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführt.

In /61/ berichtet Field über Brand- und Löschversuche mit in Gestellen gelagerten Kartons mit Polystyrol und Gummiwaren und 3 Sprinklertypen (68 °C mit Glasfaß, 74 °C mit Becher und 74 °C schnell ansprechend) bis zu einer Höhe von 9 m. Innerhalb von 2 min hatten die Flammen bereits die Oberkante des Lagergutes erreicht. Bei allen 30 Versuchsbränden wurde der Brand mit 1 bis 3 Sprinklern und 95 l bis 900 l Wasser kontrolliert. Bei Bränden mit Flüssigkeiten lösten 2 bis 9 Sprinkler aus und wesentlich höhere Wassermengen von 3500 l bis 17750 l wurden benötigt. Weitere Versuchskonfigurationen sind dem Bericht zu entnehmen.

In /69/ wird die Brandversuchshalle in Boras (Schweden) mit den Abmessungen von 18 m x 22 m und einer Höhe von 9 m erwähnt, in der 16 Sprinkler im Abstand von 3 m installiert sind. Brandversuche und Messungen von Gaskonzentrationen mit MS (Massenspektrometer) und GC (Gaschromatografie) sind vorgesehen.

Kirsch /29/ beschreibt einen Brandversuch mit lagermäßig senk-

recht angeordneten Papierrollen und weist auf die Gefährlichkeit bei Abständen von mehr als 10 cm hin, da dadurch ein starker Kamineffekt entsteht. Bei diesem Versuch verbrannten 16 Papierrollen und 31 Sprinkler lösten aus. Die Versuchszeit betrug nur 20 min. Mit Metallbändern, die die einzelnen Rollen besser zusammenhielten, konnte der Schaden verringert werden. Bei Höhen über 6 m werden Zwischenebenensprinkler notwendig. Der Abstand von den Sprinklern zur Oberkante des Lagergutes sollte zwischen 0,9 m und 1,5 m betragen.

Casaccio /70/ erwähnt Lagerbrandversuche mit Stapelhöhen von 7,6 m bis 9,1 m im Zusammenhang mit dem Auslöseverhalten von ESFR Sprinklern.

In /71/ wird auf das bei Kunststoffen 2,5 mal so schnelle Abbrennen gegenüber anderen Stoffen hingewiesen. Deshalb wurden bei FM 65 Großversuche mit derartigen in gestapelten Kartons gelagerten Stoffen durchgeführt und festgestellt, daß eine Wasserbeaufschlagung von 120 mm/min wegen des hohen Auftriebes nicht zum Löschen ausreichte. Die Sprinkleröffnung und die Wassermenge mußten vergrößert werden.

Bei den in /48/ genannten Untersuchungen wurden zahlreiche Tests mit in Kartons verpackten Kunststoffbehältern durchgeführt. Trotz Auslösen von 13 Sprinklern wurden Deckentemperaturen von über 1000 °C gemessen. Daher sollten bei derartigen Stoffen räumliche Trennungen erfolgen oder kleine Mengen gelagert werden. Der Sprinklerschutz ist je nach Höhe und Deckenabstand z. B. mit Zwischenebenensprinklern oder Großtropfensprinklern zu gewährleisten. Mehrere Tabellen und Bilder zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchungen.

In /72/ werden Branduntersuchungen mit gestapelten Kartons und Spraydosen als Inhalt beschrieben. So wurden z. B. 100 Kartons auf 8 Paletten gelagert. Die Flüssigkeiten in den Spraydosen

werden je nach Gefährlichkeit in Klasse I, II oder III eingestuft. Bei einem Versuch lösten 64 Sprinkler an der Decke aus und die Dosen (Klasse II) flogen bis zu 30 m hoch. Bei Aerosolen (Klasse III) breitete sich der Brand trotz Erhöhung der Wasserzufuhr auf 24 mm/min unter Bildung von schwarzem Qualm weiter aus. Der Test wurde abgebrochen. Weitere Versuche mit unterschiedlichen Parametern wie Material, Sprinkler, Auslösetemperatur und Abstand wurden durchgeführt.

Vincent, Kung und Hill /73/ berichten über 6 Versuche in einem Raum der Größe 4,6 m x 9,1 m und der Höhe von 2,4 m mit jeweils 2 normal, 2 schnell ansprechenden und 2 verdeckten Sprinklern. Die brennenden diversen Möbelstücke im Raum lösten den ersten Sprinkler frühestens nach 1 min 9 s aus, die weiteren 9 Sprinkler in weniger als 3 min und 2 Sprinkler garnicht. Wassermengen von 68 l/min, 85 l/min und 129 l/min brachten den Brand in allen 6 Fällen unter Kontrolle. Beim Einsatz von weniger Wasser erhöhte sich die Branddauer sowie der CO-Gehalt. Ventilation im Raum ließ die Temperatur abnehmen. Die Einrichtung selbst muß jedoch immer in Betracht gezogen werden.

In /74/ werden für die Versuchslageranordnungen bis 7,5 m Höhe folgende Parameter aufgeführt: Lagerhöhe, Abstand der Regale, Lagergut, Zwischenböden, Auslösetemperatur, Anordnung und Wasserdruck der Sprinkler sowie Eigenschaften der Materialien. Die Brandausbreitung hing im wesentlichen von den Abständen und Oberflächen ab. Beim Löscheinsatz gelangte mit zunehmender Stapelhöhe immer weniger Wasser in die Zwischenräume. Auch löste ein Brand im Anfangsstadium die Sprinkler mit hoher Auslösetemperatur nur begrenzt aus. Der Einsatz von Regalsprinklern reduzierte den Wasserschaden beträchtlich.

Marty /75/ beschreibt die Unterschiede, die beim Abbrennen von unterschiedlich aufgeschichteten Hölzern ablaufen. Er weist auf die langsame Brandausbreitung in horizontaler Richtung bei den

Lagerbrandversuchen in Cardington hin. Für eine Lagerung mit frei aufeinander gestapelten Paletten, Paletten in Käfigen oder auch Kästen in Reihen werden beim Löscheinsatz Wasserbeaufschlagungen von $7,5 \text{ l/min/m}^2$ bis 30 l/min/m^2 angegeben und anhand von Bildern verdeutlicht.

Budnick und Fleming /76/ führten 12 Brandversuche durch, bei denen z. B. 48 Kartons in 4 Reihen bis zu 1,8 m hoch gestapelt wurden. Die Gangbreite betrug 1,2 m. Die insgesamt 96 Sprinkler wurden in einer Höhe von 6,1 m installiert. Beim Vergleich der bei den Versuchen verwendeten 5 Normal- und 7 schnell ansprechenden Sprinklertypen schnitten die letzteren besser ab.

In /62/ werden 5 Brandversuche beschrieben, bei denen entflammbare Flüssigkeiten wie Farbverdünnung, Haarspray oder Maisöl in Kunststoffbehältern gestapelt wurden. Die brennbaren Flüssigkeiten wurden je nach Flammpunkt in Klassen eingeteilt. Beim Brand platzten Behälter auf, wobei in zwei Fällen je 42 Sprinkler (Normal- oder Großtropfensprinkler) auslösten, der Brand jedoch nicht gelöscht werden konnte. In 2 weiteren Fällen mit unterschiedlicher Brandlast konnte auch nur ein Kontrollieren des Brandes erreicht werden. Maisöl dagegen entzündete sich auch nach einer Versuchszeit von 30 min nicht. Es wird darauf hingewiesen, daß derart gefährliche Materialien getrennt gelagert werden sollten.

Evans /77/ weist in kurzer Form auf ein Modell hin, das einerseits Brandgefahren berücksichtigt und andererseits das Ablöschen von Holzkrippen mit Normalsprinklern einschließt. Zusätzlich wird bei Brandversuchen die Wasserverteilung und das Auslöseverhalten von Sprinklern festgestellt.

You und Kung /78/ stellen in ihrem Kurzbericht fest, daß Voraussagen über das Auslösen von Sprinklern bei verschiedenen Bränden sehr schwierig sind. Sie berücksichtigen in einem Raum die

Ausbreitung und Strömungsverhältnisse unterhalb der Decke. Zusätzlich wird bei Brandversuchen das Auslöseverhalten von Sprinklern untersucht.

Cooper weist in /79/ und /80/ auf mathematische Modelle über die Brandausbreitung und das Auslösen von Sprinklern hin. Maßgebend ist dabei der Abstand des Sprinklers von der Decke und vom Brandherd.

In /81/ geht er ebenfalls kurz auf das Brandmodell mit Flammen unterhalb der Decke, Schichtenbildung des Brandrauches, die Temperaturverteilung und das Auslösen von Sprinklern ein.

Murrel und Field /82/ erwähnen die Brandausbreitung und Wasserverteilung bei 3 Versuchen in einem Hochregallager aus Metall. In den Regalen lagerten insgesamt 72 Kartons mit Holzwolle oder mit PS-Chips. Die 3 unterschiedlichen Sprinklerkonfigurationen, die eingesetzt wurden, konnten den Brand nicht löschen, da sowohl die Flammen als auch das Wasser von den Kartons abgeschirmt wurden.

Reiss /83/ berichtet über 12 in einem Hotel in verschiedenen Räumen durchgeführte Brandversuche, wobei das Ansprechverhalten von Brandmeldern und Sprinklern erfaßt und das Auftreten von Rauch registriert wurde. Je nach Größe und Art des Brandraumes lagen die in der Tabelle angegebenen Ansprechzeiten der Melder zwischen 9 s und 59 s und die der Sprinkler je nach Typ zwischen 9 s und 9 min.

8. EINFLUßGRÖßEN VON SPRINKLERN

In Untersuchungen von Yao /51/ wird näher auf die Bestimmung der Einflußgrößen eingegangen. Der RTI-Wert (Response Time Index, Ansprechzeitindex, $m^{1/2} \cdot s^{1/2}$) eines Sprinklers wird in einem Luftstrom konstanter Temperatur und Geschwindigkeit bestimmt.

Der ADD-Wert (Actual Delivered Density, tatsächliche Wasserbeaufschlagung) wird mit einem n-Heptanbrand und Auffangwannen ermittelt. Der RDD-Wert (Required Delivered Density, erforderliche Wasserbeaufschlagung) wird auf einer Fläche von 2,4 m x 2,4 m bei einer bestimmten Wärmeleistung gemessen. Je schneller ein Sprinkler anspricht, desto kleiner ist der RTI-Wert und der RDD-Wert und desto größer ist der ADD-Wert.

Theobald, Westley und Whitbread beschreiben in /84/ ebenfalls diese Testmethoden, die das Ansprechverhalten von Sprinklern erfassen. Dabei werden auch die Anströmgeschwindigkeit oder auch die Temperatur eines Flüssigkeitsbades variiert, in dem sich der Sprinkler befindet. Die entsprechenden Ergebnisse werden anhand von Gleichungen, Tabellen und Bildern angegeben.

Göransson, Persson und Rydermann /85/ berichten über mit vier Sprinklertypen durchgeführte Tests, um die Einflußgrößen RTI, ADD und RDD festzustellen.

In /44/ wird kurz über Versuche zur Bestimmung der Einflußgrößen ADD und RDD berichtet, die auf einer Fläche von 2,4 m x 2,4 m durchgeführt wurden.

Cote /86/ berichtet über die von FM entwickelte Zeitkonstante und die Bestimmung des RTI-Wertes. Ebenfalls wird auf die Größen ADD und RDD hingewiesen.

Von Fleming /46/ werden die Untersuchungen zur Festlegung des ADD- und RDD-Wertes beschrieben.

Melinek /87/ gibt für einen schnell ansprechenden Sprinkler zwei Testmethoden an. Beim "Plunge Test" wird eine Kurzzeitkonstante und beim "Ramp Test" eine Langzeitkonstante bei einer konstanten Gastemperatur von 25 °C und einer Luftgeschwindigkeit von 1,1 m/s bzw. 1,0 m/s bestimmt.

Goodfellow /88/ stellt für die Wasserverteilung von Sprinklern Verteilungsfunktionen auf und gibt in mehreren Tabellen die aus Versuchen ermittelten ADD- und RDD-Werte an. Er stellt fest, daß die Sprinkler nicht immer den gestellten Forderungen entsprechen.

Theobald /89/ macht Angaben über die beiden Testmethoden aus Großbritannien (rate of rise Test) und den USA (plunge Test). Der für die Versuche verwendete Windkanal wird ausführlich beschrieben und auf seine Gleichmäßigkeit bei der Durchströmung getestet.

Theobald und Westley /90/ berichten über Untersuchungen zur Bestimmung des Ansprechverhaltens von in verschiedenen Positionen unter der Decke hängenden Sprinklern, wobei es z. B. auf die Anströmrichtung (parallel oder senkrecht) der Gase ankommt.

Budnick und Fleming /76/ geben in mehreren Tabellen und Bildern für unterschiedliche Sprinkler ADD-Werte und RDD-Werte an. Bei den zugehörigen Brandversuchen wurden die Deckenhöhe, die zu beaufschlagende Fläche, der Wasserdruck und die Wärmeleistung des Brandes variiert. Diese Untersuchungen sollten dazu führen, die schnell ansprechenden Sprinkler in die NFPA-Richtlinien aufnehmen zu können.

Thorne, Theobald und Melinek /91/ beschreiben anhand zahlreicher Gleichungen und Bilder das Auslöseverhalten von Sprinklern, indem sie auf Wärmebilanzen sowohl für das Auslöseelement als auch für die Halterung eingehen und Zeitkonstanten angeben. Sie beziehen sich dabei auf die "ramp" und "plunge" Tests. Unter anderem zeigen sie, daß der Strahlungswärmestrom etwa 1/10 des konvektiven Wärmestromes beträgt.

Heskestad und Bill /92/ untersuchen das Ansprechverhalten von Sprinklern, indem sie die RTI-Werte mit Hilfe des "plunge" Tests in einem Brandraum mit einem Heptan- und Holzkrippenfeuer

bestimmen. In den aufgeführten Gleichungen wird u. a. die Wärmebilanz am Sprinkler angegeben und die Wärmeleitungsverluste berücksichtigt. Normalsprinkler besitzen einen hohen RTI-Wert (z.B. $250 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$) und schnell ansprechende Sprinkler einen niedrigen (z.B. $25 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$).

Casaccio /70/ erwähnt die Einführung des RDD-Tests, bei dem die Wärmeleistung und die Wassermenge festgestellt werden, um die hohen Kosten bei Großversuchen zu vermeiden.

Fleming /93/ gibt Anwendungen und Grenzen für mehrere verschiedene schnell ansprechende Sprinklertypen an. Neben der Sprinklerbezeichnung werden in Tabellenform Öffnungsquerschnitte, Temperaturen und Drücke bei Anwendung von einem oder zwei Sprinklern in kleinen Wohneinheiten aufgeführt. Außerdem wird auf die Einflußgrößen ADD und RDD sowie auf die Wärmefreisetzung bei unterschiedlichen Brandsituationen eingegangen.

In /57/ werden die von FM gemessenen RTI-Werte von Industriesprinklern mit Werten von 225 bis 700 angegeben. Weiterhin werden die Einflußgrößen ADD und RDD erwähnt, die in Richtlinien für eine frühe Brandbekämpfung eingehen sollen.

Watson /58/ gibt für einen konventionellen Großtropfensprinkler einen RTI-Wert von 1968 und für einen schnell ansprechenden Sprinkler einen RTI-Wert von 26 an. Für das Ansprechverhalten werden z. B. Faktoren wie die Empfindlichkeit, die Temperatur, der Brand selbst und die Umgebung genannt. Zusätzlich werden der "rate of rise test" und der "plunge test" sowie die ADD- und RDD-Werte angesprochen.

9. SPRINKLER IN KLEINEN WOHNEINHEITEN

Cote /86/ geht für Sprinkler in kleinen Wohneinheiten von einem Volumenstrom von 76 l/min bis 114 l/min aus. Da meist nur ein Sprinkler vorhanden ist, sollte dieser ein gleichmäßiges Sprühbild besitzen. Bei einer Deckenhöhe von 2,40 m wird gefordert, daß der Sprinkler innerhalb von 10 min den Brand unter Kontrolle haben sollte.

Fleming /94/ fordert, daß ein Wohnungssprinkler wenig kosten und für Personen mindestens 10 min Schutz bieten sollte, denn es würde bereits etwa 1/4 l Wasser pro Minute ausreichen, um einen mit Polyurethan gepolsterten Sessel unter Kontrolle zu halten. Für weitere Anwendungen wird auf die NFPA-Richtlinien verwiesen.

Cooper /80/ erwähnt die Strömungsverhältnisse bei auftriebsbehafteten Diffusionsflammen und bei Rauchgasen durch Deckenöffnungen. Das Auslöseverhalten von Schmelzlotsprinklern ist abhängig von ihrem vertikalen Abstand von der Decke und von ihrer radialen Entfernung zur Flammenachse, d.h. es wird von der Rauchgasschicht unter der Decke, der Flammengeschwindigkeit und der Wärmeübertragung an der Decke beeinflusst.

Kainz /95/ beschreibt Versuche mit EDV-Anlagen in einem Raum der Größe 6 m x 10 m x 4,1 m mit doppeltem Boden und abgehängter Decke, in der Brandmelder installiert waren. Der Brand im doppelten Boden wurde mit den Löschmitteln Halon 1301, CO₂ und Wasser gelöscht. Während beim Ablöschen mit Gas kaum Schaden angerichtet wurde, war nach dem Auslösen eines 68 °C Sprinklers bei einer Wasserbeaufschlagung von 5 mm/min eine starke Verqualmung und ein größerer Schaden zu verzeichnen.

Vincent, Kung und Hill /96/ beschreiben 4 Versuche in einem zweigeteilten Raum der Größe 4,3 m x 11,0 m und der Höhe von 2,4 m für den Einsatz von Sprinklern in Wohnbereichen. Die

Einrichtung bestand aus einem Stuhl, einem Tisch, einem Sofa, einem Teppisch und einem Vorhang. Die eingesetzten Sprinkler lösten nach 1 min bis 2 min aus. Es gab im Raum keinen Feuerübergang, aber der Brand konnte auch nicht vollständig gelöscht werden. Die CO-Konzentration lag max. bei 1505 ppm, die O₂-Konzentration bei mehr als 16 % und die max. Temperatur bei ca. 900 °C.

Wie in /97/ erwähnt, waren im Jahr 1983 in den USA von den 5290 Brandopfern 80 % in kleinen Wohneinheiten zu beklagen, was oft auf die Brandgase und den zu geringen Sauerstoffgehalt (<14 %) zurückzuführen war. Diese kritischen Werte sollten durch den Einsatz eines schnell ansprechenden Sprinklers nicht erreicht werden.

In /98/ wird von der Entwicklung eines wirtschaftlichen Sprinklersystems für den Wohnbereich berichtet, bei dem auch nicht näher bezeichnete Testversuche in einzelnen Räumen durchgeführt wurden.

In /99/ wird anhand von zwei Wohnungsbränden geschildert, daß Sprinkler eine notwendige Maßnahme für den Brandschutz darstellen. So kam bei einem Brand ohne Sprinkler ein Kind ums Leben und konnte bei einem anderen Brand mit Sprinklereinwirkung ein Kind gerettet werden.

Für Teague /100/ sind Sprinkleranlagen in kleinen Wohneinheiten von besonderer Bedeutung, da dort die meisten Menschenleben und Verletzten zu beklagen sind. Im Jahre 1987 waren dies 80,2 % bzw. 72,5 % aller Brandopfer. In den USA werden in Städten und Gemeinden Anstrengungen unternommen, Sprinkler zu installieren. In Tabellen werden Vorschriften aufgeführt, auf Brände verwiesen, bei denen ein oder zwei Sprinkler installiert waren und die Anzahl der geretteten Personen angegeben.

In /101/ wird über die Anstrengungen berichtet, Sprinkler in kleinen Wohneinheiten populärer zu machen. Ein Förderverein, dessen Mitglieder genannt werden, tritt dafür ein. In einer Tabelle werden die erlaubten nicht gesprinklerten Gebäudeflächen aufgelistet.

10. TROPFEN UND SPRINKLER

Heselden /59/ erwähnt, daß die Sprinkler in der Nähe des Brandes ansprechen sollten, wobei kleine Tropfen eine bessere Kühlwirkung besitzen als große, die jedoch den Brandherd besser erreichen. Weiterhin werden Untersuchungen über die Tropfendynamik, die Sprinkleransprechzeiten sowie die Anzahl der geöffneten Sprinkler erwähnt.

Bei Chopra /102/ wurden "on-off" Sprinkler in Verbindung mit Naßleitungen eingesetzt, die bei 62,5 °C öffnen und bei 35 °C schließen. Auf diese Weise soll der Wasserschaden reduziert werden. Die Versuche wurden mit Holzkrippen und 18 Sprinklern in einer Höhe von 4,7 m durchgeführt und dabei z.B. die Dichtheit der einzelnen Elemente, die Haltbarkeit und die Temperaturbeständigkeit getestet.

Evens /103/ beschreibt Untersuchungen über die Wasserverteilung von Sprinklern, wobei ein Sektor von 22,5 ° betrachtet und auf den gesamten Kreis von 360 ° geschlossen wird. Dabei wird darauf hingewiesen, daß handelsübliche Sprinkler das Wasser nicht symmetrisch verteilen. Ein Tropfenstrahlmodell verbunden mit einer Rosin-Rammler Verteilungs-Funktion zeigt qualitative Übereinstimmung.

Yao und Kalelkar /104/ erwähnen in einem ausführlichen Bericht, daß bei Bränden in Gebäuden mit Sprinklern die Verluste nur etwa 1/10 so hoch sind wie bei nicht gesprinklerten. Um die Effektivität

tät weiter zu steigern, wurde von FM ein Untersuchungsprogramm gestartet. Dabei wird der Wassertropfen beim Verlassen des Sprinklers und das optimale Aufbringen des Wassers auf den Brandherd z. B. durch größere Wassermengen oder durch höhere Drücke betrachtet. Die Tropfen müssen einerseits durch die Flammen auf den Brand gelangen und andererseits die Umgebung benetzen und kühlen. Es wurden bei hängenden Sprinklern 15 % größere Tropfen als bei stehenden Sprinklern festgestellt. Bei Tropfen mit einem Durchmesser von unter 0,5 mm war die Kühlwirkung besser, während bei Tropfen mit einem Durchmesser von über 3 mm die Löschwirkung überwog. Für den größten stabilen Tropfen wurde ein Durchmesser von 6 mm angegeben. Weitere Informationen sind dem Bericht zu entnehmen.

Bei McCaffrey /28/ werden Tropfenflugbahnen eines Sprinklers aus einer Höhe von 3 m über dem Boden aufgezeigt. Als Tropfendurchmesser werden 0,6 mm bis 1,4 mm angegeben.

Felton und Ewan /105/ bestimmten für mehrere Sprinklertypen die Tropfengrößen mit dem Meßgerät von Malvern. Der Meßbereich der Tropfengrößen lag zwischen 29 μm und 2820 μm . So wurden z. B. bei höherem Druck auf der Achse kleinere Tropfen gemessen als weiter außen und beim Großtropfensprinkler bei kleinerem Druck größere Tropfen festgestellt. Als Parameter wurden die Abstände in horizontaler und vertikaler Richtung variiert. In zahlreichen Tabellen und Bildern sind für die einzelnen Versuche Tropfendurchmesser aufgelistet.

You und Symonds /106/ beschreiben ein Meßgerät für Tropfen der Größe 100 μm bis 6000 μm . Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß feste Körper wie Stahlkugeln oder Glasperlen besser zu untersuchen sind. Es wurden damit 2 Testserien durchgeführt, die in zahlreichen Tabellen dokumentiert sind.

In einem anderen umfangreichen Bericht geht You /107/ auf die bei

verschiedenen Drücken und Höhen gemessenen Charakteristiken von 3 stehenden Sprinklern mit unterschiedlichen Öffnungsquerschnitten ein. Die Tropfenverteilung ist eine Normalverteilung nach Rosin-Rammler. Die Tropfengröße nimmt sowohl mit zunehmendem horizontalem Abstand als auch mit größerem Öffnungsquerschnitt des Sprinklers zu. Höherer Druck dagegen verursacht kleinere Tropfen. Bei 6 mm großen Tropfen wurden Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s und bei 1 mm großen Tropfen bis zu 4 m/s festgestellt. In Tabellen und Bildern werden die Ergebnisse verdeutlicht.

Croce u. a. /108/ beschreiben Untersuchungen zur Messung von Tropfengrößen mit einem Durchmesser von 495 μm bis 5550 μm . Bei den Versuchen kommen verschiedene Sprinkler mit unterschiedlichen Drücken bzw. Ausströmgeschwindigkeiten zum Einsatz, wodurch die Tropfengröße beeinflusst wird. Ein höherer Druck ließ kleinere Tropfen entstehen, die nicht soweit flogen wie größere. Das Tropfenspektrum jedoch wurde enger. Die Tropfengröße nahm mit zunehmendem horizontalem Abstand zu. Zusätzlich wurden mit 4 Sprinklertypen Wasserverteilungen gemessen, indem 13 quadratische Wannen mit der Kantenlänge 1 ft (30,48 cm) in einer Reihe aufgestellt wurden. Da festgestellt wurde, daß die Verteilung nicht nach allen Seiten gleichmäßig und von Sprinkler zu Sprinkler sehr unterschiedlich war, ließ man die Wannen um den Sprinkler rotieren. Die Reichweiten lagen zwischen 3,5 m und 4 m. In zahlreichen Tabellen und Bildern wurden die Ergebnisse zusammengestellt.

Alpert und Mathews /109/ berichten ausführlich über die aus Sprinklern austretenden Tropfen und weisen auf wichtige bei Rechnungen zu berücksichtigende Faktoren hin wie z. B. Geschwindigkeiten, Strahlwinkel, Turbulenzen, Wirbel, Boden- und Deckeneinflüsse, Größe der Sprinkleröffnungen, Lufteinmischung, Auftrieb oder auch die Schwerkraft. Für den Brandschutz ist die Flugbahn nach seiner Meinung von entscheidender Bedeutung, ist aber selbst in ruhender Umgebung noch nicht geklärt. Rechnungen

im Vergleich mit Messungen werden als zufriedenstellend bezeichnet. Weitere Einzelheiten sind dem umfangreichen Bericht zu entnehmen.

Prahl und Wendt /110/ beschreiben die Tropfengrößenverteilungen aus einem Sprinkler als eine Funktion von mechanischen und thermischen Eigenschaften der Flüssigkeit, des Anfangsimpulses, der Gas- und Flüssigkeitsströmungen und des Sprinklers. Mit Hilfe eines axensymmetrischen Sprinklers werden auf einem $22,5^\circ$ Sektor Tropfenbahnkurven festgestellt. Ein theoretisches Modell zeigt, daß bei den meisten Sprinklertypen die Starrkugelbetrachtung möglich ist. Für unterschiedliche Einsprühwinkel wird ein mittlerer Tropfendurchmesser berechnet und danach die Rosin-Rammler Verteilung angewendet. Etwa 98 % der Tropfendurchmesser liegen zwischen 0,2 mm und 3,2 mm.

Alpert /111/ beschreibt die Zusammenhänge beim Auftreffen von Wassertropfen aus einem Sprinkler auf eine auftriebsbehaftete Diffusionsflamme mit kleiner Froude-Zahl und mit Reaktion. Die Flammenhöhe beträgt 80% des Durchmessers. Anhand mehrerer Tabellen und Bilder werden Tropfeneindringtiefen, Gasstromlinien und Tropfenflugbahnen dargestellt und das Zusammenwirken von Druck, Volumenstrom, Tropfengröße, -geschwindigkeit, -temperatur und Ausströmwinkel beschrieben.

In /57/ werden Strömungen mit einer Geschwindigkeit von 6 m/s aufgeführt, in die ein Tropfen mit einem Durchmesser von 1 mm eindringen kann ohne mitgerissen zu werden. Bei Tropfen mit den Durchmessern von 1,5 mm bzw. 2 mm werden Strömungen von 9,1 m bzw. 12,2 m angegeben.

11. GEMESSENE UND BERECHNETE WASSERBEAUFSCHLAGUNGEN

Bei den bisherigen Untersuchungen für die Beurteilung von Sprinklern wird vom Verband der Sachversicherer e.V. in Köln die Wasserverteilung von Sprinklern verschiedener Typen mit einer eigens dafür installierten Meßeinrichtung bestimmt. Diese umfaßt eine Fläche von 5 m x 5 m und ist in Flächenelemente der Größe 0,5 m x 0,5 m eingeteilt, so daß sich 100 Einzelflächen ergeben, die als Auffangwannen ausgebildet und mit einer elektronischen Meßeinrichtung für die in den einzelnen Wannen aufgefangenen Wassermengen ausgestattet sind. Die aufgenommenen Meßdaten werden auf einem Computer gespeichert, verarbeitet und die Ergebnisse ausgedruckt. Anhand dieser Auswertung ist zu erkennen, ob der betreffende Sprinkler den Richtlinien entspricht.

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurden mehrere Arbeiten /112-117/ durchgeführt und dabei u.a. Wasserverteilungen bzw. Wasserbeaufschlagungen in mm/min von den bei den Brand- und Löschversuchen verwendeten handelsüblichen Sprinklern aufgenommen. Wie bereits bei früheren Untersuchungen hatte die beaufschlagte Fläche die Abmessungen von 4 m x 4 m und die quadratischen Auffangwannen jeweils eine Kantenlänge von 0,8 m x 0,8 m, so daß insgesamt 25 Wannen zur Verfügung standen (Bild 1). Die Wasserstände wurden manuell festgestellt, in einen Computer eingegeben und mittels eines an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik erstellten Programmes so aufgearbeitet, daß der Füllgrad der Wannen in einem Bild dargestellt werden kann. Bei diesen Untersuchungen handelte es sich nicht um Prüfungen, sondern lediglich um vergleichende Messungen.

Der Abstand der Sprinkler zueinander betrug bei den Untersuchungen 3 m (Bild 1), was einer Meßfläche von 9 m² entsprach. In Bild 1 ist weiterhin die beaufschlagte Fläche mit dem zentral installierten Sprinkler S0 und den vier Sprinklern S1 bis S4 eingezeichnet. Die Höhen sind variabel einstellbar und betragen

1,5 m, 3,0 m und 4,5 m, so daß unterschiedliche Wassermengen auf die vorgegebene Fläche auftrafen. Der eingestellte Volumenstrom je Sprinkler betrug 120 l/min.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird erklärt, wie aus den mit einem Sprinkler gemessenen Werten rechnerisch die Werte für die Wasserbeaufschlagungen mehrerer Sprinkler überlagert werden können.

Zunächst werden wie bereits bei früheren Untersuchungen die Wasserbeaufschlagungen in den 25 Auffangwannen in mm/min für den zentral installierten Sprinkler S0 (siehe Bild 1) ermittelt und daraus die Abhängigkeit dieser Wasserbeaufschlagung vom Radius berechnet und aufgetragen. Eine Berechnung dieser Werte nur aus einem Kreisausschnitt ist möglich. Der Sprinkler müßte dazu anstatt in der Mitte in einer Ecke der Wannenfläche angeordnet werden. Dies kann jedoch zu größeren Fehlberechnungen führen, weil ein Sprinkler über dem gesamten Vollkreis kein gleichmäßiges Sprühbild liefert.

Die Bilder 2 bis 4 zeigen in der ersten Reihe für den jeweils zentralen Sprinkler S0 (Bild 1) der Sprinklertypen A, B und C die entsprechenden gemessenen Werte der Wasserbeaufschlagung für die 3 genannten Sprinklerhöhen. Mit Hilfe dieser Meßwerte wird die Abhängigkeit der Wasserbeaufschlagung vom radialen Abstand des Sprinklers (Radius) bestimmt und als Mittelwertkurve in Bild 5 dargestellt.

In Bild 5 wurden für die Sprinkler der Typen A, B und C die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius für die 3 Höhen des zentralen Sprinklers S0 (Bild 1) von 1,5 m, 3,0 m und 4,5 m dargestellt. Die Werte dieser Kurven wurden verwendet, um die Überlagerung der 4 Sprinkler S1 bis S4 (Bild 1) zu berechnen.

Beim Sprinkler Typ A traf bei einer Sprinklerhöhe von 1,5 m und

einem Volumenstrom von 120 l/min das Wasser zu 90 % auf der vorgegebenen Wannenfläche auf, während bei den Höhen 3,0 m und 4,5 m nur noch ca. 70% der ursprünglichen Wassermenge aufgefangen wurde. Weiterhin ist deutlich zu erkennen, daß die Wasserbeaufschlagung bei einer geringeren Höhe einen stärkeren Abfall mit zunehmendem Radius aufweist als bei den größeren Höhen.

Beim Sprinkler Typ B gelangte bei einer Höhe von 1,5 m das gesamte Wasser in die Auffangwannen und bei den Höhen 3,0 m und 4,5 m ca. 90% bzw. 80% der ursprünglichen Wassermenge. Auch hier ist die Abnahme mit zunehmendem Radius deutlich zu erkennen.

Beim Sprinkler Typ C sind die Werte deutlich niedriger. Bei einer Höhe von 1,5 m wurden ca. 70% und bei den Höhen 3,0 m und 4,5 m nur noch ca. 60% bzw. ca. 50% der aufgegebenen Wassermenge auf der Fläche von 16 m² aufgefangen. Bei diesem Sprinkler tritt die Abnahme mit zunehmendem Radius nicht mehr auf. Das Wasser ist in den Wannen gleichmäßiger verteilt, d. h. der Sprinkler liefert im Gegensatz zu den Sprinklern Typ A und Typ B ein völlig anderes Sprühbild.

In der zweiten Reihe der Bilder 2 bis 4 sind für die Sprinkler der Typen A, B und C jeweils die gemessenen überlagerten Wasserbeaufschlagungen in mm/min der 4 Sprinkler S1 bis S4 (Bild 1) eingetragen.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen mit dem einen zentralen Sprinkler S0, kann hier durch die Überlagerung der Wasserbeaufschlagungen aus den 4 Sprinklern S1 bis S4 aus der zunächst mittenbetonten Wasserbeaufschlagung auf der Fläche von 16 m² bei den Typen A und B eine Vergleichmäßigung erreicht werden. Beim Sprinkler Typ C war die Verteilung bereits mit einem Sprinkler gleichmäßiger.

Diese mit einem Sprinkler ermittelten Werte werden nun mit denen

eines zweiten Sprinklers überlagert, der sich vom ersten Sprinkler in einem horizontalen Abstand von bis zu 5 m befinden kann. Auf diese Art lassen sich die Sprühbilder von bis zu 4 quadratisch angeordneten Sprinklern (S1 bis S4) überlagern.

Für die Berechnung ist es erforderlich, einige Annahmen für die Anfangs- und Randbedingungen festzulegen, die es ermöglichen, einzelne Wasserteilmengen in den Auffangwannen genauen Koordinaten zuzuordnen.

Zunächst muß ein Koordinatenursprung festgelegt werden, von dem aus während des Rechenvorganges schrittweise vorgegangen wird. Es muß weiterhin festgelegt werden, wie groß die Fläche sein soll, auf der die von den bis zu 4 Sprinklern versprühte Wassermenge auftrifft. Dies wird durch Angabe der Anzahl der Auffangwannen erreicht, die hier bis zu 100 betragen kann. Die Abmessung einer einzelnen quadratischen Auffangwanne ist zusätzlich frei wählbar.

Nach Festlegung eines Sprinklers muß der Abstand zu den im Quadrat angeordneten Sprinklern festgelegt werden, der gering sein, aber auch einige Meter betragen kann, so daß sich die Sprinkler nicht mehr gegenseitig beeinflussen können.

Die Sprinklerreichweite muß ebenfalls berücksichtigt werden. Sie kann aus Angaben des Herstellers oder auch aus Sprinklerkurven, wie sie in Bild 5 für die Sprinkler der Typen A, B und C dargestellt sind, entnommen werden. Ist die Sprinklerreichweite bekannt, werden Werte aus dieser Kurve ausgewählt. Die Anzahl der Werte ist variierbar.

Die Genauigkeit des Rechenverfahrens der überlagerten Wassersprühbilder liegt einerseits in der Wahl der bereits oben erwähnten Wannengröße und andererseits aber auch in der Wahl der Anzahl der sich in einer Auffangwanne überlagernden einzelnen Wasserteilmengen. Bei einer hohen Anzahl der genannten Größen

wird die Berechnung für jeden Ort auf dem Wannensfeld genauer, aber auch sehr umfangreich.

Auf diese Art wird das aufgrund der Messung erhaltene Sprühbild des zentralen Sprinklers auf den zweiten Sprinkler übertragen und die jeweiligen Wasserteilmengen mit dem ersten überlagert. Anschließend werden die für zwei Sprinkler errechneten Wasserteilmengen mit einer dritten bzw. einer vierten überlagert. Dies entspräche einer Messung mit 4 identischen Sprinklern.

Auf den Bildern 2 bis 4 sind in der dritten Reihe jeweils die Zahlenwerte der 4 rechnerisch überlagerten Wasserteilmengen der Sprinkler S1 bis S4 auf der Fläche von 16 m^2 angegeben. Es ist zu erkennen, daß für alle 3 Sprinklertypen und Höhen die Werte jeweils symmetrisch sind, d. h. 4 identisch gleiche Sprinkler wurden überlagert.

Da die Sprinkler jedoch fast alle, auch die vom selben Hersteller, unterschiedliche Sprühbilder liefern, kann dies mit Hilfe des Rechenprogrammes z. B. durch Zuhilfenahme einer Zufallsverteilung simuliert werden, wobei bestimmte Grenzwerte angenommen werden können. Dies bedeutet, daß jeder Sprinkler ein anderes Sprühbild liefert und die Überlagerung sehr unterschiedliche Werte auf der vorgegebenen Fläche ergeben kann. Diese Berechnung wurde mit einer Zufallsverteilung mit einer Abweichung bis zu 30% durchgeführt und auf den Bildern 2 bis 4 in der unteren Reihe dargestellt.

Ein Vergleich der Meßwerte (2.Reihe) mit den gerechneten Werten ohne (3.Reihe) und mit Abweichung (4.Reihe) macht deutlich, daß das Zufallsergebnis einer Messung, d. h. 4 willkürlich ausgewählte Sprinkler wurden verwendet, durch Variieren einzelner Parameter rechnerisch sehr gut angenähert werden kann. Wären andere einzelne oder vier andere Sprinkler zur Messung verwendet und diese evtl. noch untereinander vertauscht worden oder andere

Sprinklerreichweiten und Abweichungen benutzt worden, so hätte bei den Rechenergebnissen evtl. eine noch bessere Übereinstimmung erzielt werden können.

Auf diese Weise ist es möglich, durch die Messung der Wasserbeaufschlagung mit einem einzelnen Sprinkler festzustellen, ob bei der Überlagerung von 4 Sprinklern mit vorher festgelegten Parametern den Richtlinien entsprochen werden kann.

Anhand von zwei Beispielen soll erläutert werden, daß es auch möglich ist, mit diesem Rechenprogramm durch Simulation die Sprinkler S1 bis S4 an anderen Stellen des Wannenfeldes zu installieren, wie es in Bild 6 angedeutet ist. In der oberen Bildhälfte befindet sich der Sprinkler S1 in der linken Ecke und in der unteren Bildhälfte 1 m innerhalb des Wannenfeldes. Die Anzahl der Auffangwannen beträgt 5 im oberen bzw. 10 im unteren Teil des Bildes und die Abmessung einer einzelnen Wanne 1 m bzw. 0,5 m. Der Sprinklerabstand und die Sprinklerreichweite wurden mit jeweils 3 m angenommen.

Bei der rechnerischen Überlagerung der Wasserteilmengen aus diesen 4 Sprinklern ist es nun möglich sowohl innerhalb des Quadrates jeden Ort (A) als auch außerhalb des Quadrates im vorgewählten Feld jeden Ort (B und C) durch Angabe von x y - Koordinaten oder durch Radien (RA1 bis RA4) festzulegen. In den Tabellen 1 und 2 sind die Beaufschlagungen in mm/min für einen, zwei, drei und vier Sprinkler in Abhängigkeit von den Koordinaten bzw. Radien sowie die Nummer der jeweiligen Auffangwanne, in der die Wasserteilmenge auftrifft, aufgelistet.

Weiterhin ist in jeder Tabelle ein Wannenschema mit den Orten, an denen die Sprinkler angeordnet sind, aus der die entsprechenden Zahlenwerte für die Wasserbeaufschlagung entnommen werden können, aufgeführt. Ist die Sprinklerreichweite geringer als die Entfernung zu einer Auffangwanne, so enthält die jeweilige Wanne in der

Tabelle den Wert Null. Während in Tabelle 1 ohne Abweichung gerechnet wurde und deshalb die Zahlenwerte im Quadrat der Sprinkleranordnung symmetrisch sind, enthält Tabelle 2 eine Abweichung von weniger als 30%. Obwohl es sich bei den Werten beider Tabellen um die Überlagerung der Wasserbeaufschlagung des gleichen Sprinklertyps handelt, stimmen trotzdem die Teilmengen der Wasserbeaufschlagungen nicht überein. Dies ist damit zu erklären, daß die gewählten Koordinaten bzw. Radian auch nicht identisch sind.

Durch eine derartige Berechnung ist es möglich, die Durchführung von Versuchen auf einen Sprinkler zu beschränken und nach Festlegung von Parametern durch eine Berechnung festzustellen, ob ein Sprinklertyp ein vorgegebenes Kriterium erfüllt oder eine Anordnung sinnvoll erscheint.

12. ZUSAMMENFASSUNG

Ortsfeste Löschanlagen mit dem Löschmittel Wasser sind am meisten verbreitet. Zum Schutz besonderer Einrichtungen werden auch andere Löschmittel wie Pulver, Halon, Kohlendioxid und Schaum verwendet. Im Brandfall sollte der Löschvorgang so schnell wie möglich eingeleitet werden, was mit einer automatischen Löschanlage, evtl. gekoppelt mit einer Brandmeldeanlage, ohne Zeitverzögerung möglich ist. Dadurch kann ein Brand bereits im Anfangsstadium bekämpft werden und somit den Einsatz der Feuerwehr wesentlich erleichtern.

Bisherige an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durchgeführte Arbeiten umfassen Ausführungen über die Anwendung von Sprinklern, theoretische Betrachtungen über Wassertropfen, Auswertungen von Schrifttum sowie Löschversuche mit Sprinklern mit unterschiedlichen Parametern.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Fortführung der Auswertung des in- und ausländischen Schrifttums über Sprinkler in verschiedenen Bereichen sowie Berechnungen der Überlagerung der Wasserbeaufschlagung von bis zu vier Sprinklern, die in beliebigen Abständen im Quadrat angeordnet sein können. Dafür liegen Messungen an nur einem Sprinkler zugrunde. Auf diese Art und Weise können durch wahlweise Veränderung einzelner Parameter ohne zusätzliche Messungen weitere Sprinklerkonfigurationen simuliert werden.

13. LITERATURVERZEICHNIS

- /001/ Schifiliti, R.P : Engineering fire detector and sprinkler response
SFPE Bulletin 87/2, April 1987
- /002/ Münch, K. : Sprinkleranlagen; Überlegungen zu neuen Konzeptionen und deren Anwendungen im Anlagenbau
VFDB Zeitschrift 3 (1986) Nr.1, S.2-10
- /003/ Cooper, L.Y. : Test results and predictions for the
Stroup, D.W. : response of near-ceiling sprinkler links in a full scale compartment fire
Gaithersburg: MD 20899 (1987) 39 S.
NBSIR 87-3633
- /004/ Sprinkleranlagen richtig montiert
Allianz, Brandschutz, Produktion,
(1986) Nr.10, S.26
- /005/ Domecq, L. : Sprinkleurs. La panoplie des exception
Face au Risque (1988) Nr.242, S.47-49

- /006/ Domecq, L. : Sprinkleurs. Des conditions spéciales d'extinction
Face au Risque (1988) Nr.245, S.63-65
- /007/ Rost, M. Stationäre Wasser-Feuerlöschanlagen
Beilicke, G. : Gedanken zur Berechnung, Dimensionierung und Gestaltung
Brandschutz, Explosionsschutz.
Aus Forschung und Praxis
Berlin: Staatsverlag der DDR (1989)
S.116-124
- /008/ Large-scale solutions for large-scale problems
Warehouse storage
FM Engineering and Research P 8324 (1983)
- /009/ Lavin, K. : New in-rack sprinkler head for warehouse protection
Fire Surveyor 16 (1987) Nr.3, S.33-36
- /010/ Walton, W.D. : Fire sprinkler system hydraulic calculations and computer aided design methods
Fire Technology 21 (1985) Nr.1, S.69-75
- /011/ Aircraft fuselage for fire testing
Fire and Flammability 10 (1989) Nr.10, S.3
- /012/ Chicarello, P.J. : Analytical methods for calculating sprinkler discharge
Fire Technology 8 (1972) Nr.1, S.45-53

- /013/ Takeda, H. : Simplified fire growth models for rich
Yung, D. : cost analysis
Ottawa: Institute for Construction
K1A0R6 Feb. 1990
- /014/ Chaillot, M. : Les agents extincteurs
Revue Technique du Feu 21 (1980) Nr.195,
S.28-98
- /015/ Gray, R.J. : Low cost residential sprinkler systems -
a new technology
SFPE Bulletin (1980) Nr.5, S.1,7-8
- /016/ Hammerman, D.M. : 'Project Home'- a pilot program for a
low-cost residential sprinkler system
Fire Journal 75 (1981) Nr.2, S.66-69
- /017/ : Sprinkler protection of small cold stores
Fire Prevention (1981) Nr.143, S.17
- /018/ Jackson, L. : Modelling the future by computer
Fire Prevention (1988) Nr.215, S.34-35
- /019/ Stein, R. : Brandschutz für elektrische Anlagen
Teil IV
Der Maschinenschaden 62 (1989) Nr.2,
S.82-87
- /020/ Grubits, S.J. : Performance of piston actuators used for
triggering valves of sprinkler systems
EBS Technical Record 480 (1982) 10 S.
- /021/ Reynolds, K.P. : Tips on sprinkler plans review
Fire Service Today 49 (1982) Nr.11,
S.16-17

- /022/ Bruno, A.A. : New construction trends give rise to
innovative fire strategy
Fire Engineering 137 (1984) Nr.4,
S.40-42,44
- /023/ Harmathy, T.Z. : To sprinkler or not to sprinkler: that is
not the question
Fire Technology 20 (1984) Nr.3, S.64-66
- /024/ Supervision of sprinkler systems
Fire Prevention (1985) Nr.176, S.30-33
- /025/ Hinze, P. : Neuer Berliner U-Bahnhof mit Brandschutz
nach Maß
Brandschutz, Deutsche Feuerwehr Zeitung
39 (1985) Nr.7, S.260-262
- /026/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 81 (1987) Nr.2, S.14,16-17,
19-20,68
- /027/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 81 (1987) Nr.1, S.14-15,
18-20,22,73
- /028/ McCaffrey, B. : Calculated interaction of water droplet
sprays with fire plumes in compartments.
Gaithersburg: US Department of Commerce
NBS MD 20899 (1985) S.66-69
- /029/ Kirsch, A. : Reducing the risk of roll papier storage
Record 66 (1989) Nr.5, S.3-8

- /030/ O'Conner, D.B. : Wharf test burn Santa Cruz, California
Fire Protection Contractor (1989) July
S.56,58
- /031/ Polyurethanschaum, der Feststoff, der wie
eine feuergefährliche Flüssigkeit brennt
FM Engineering and Research P6805G (1975)
- /032/ Sprinklers - a german viewpoint
Fire Prevention (1987) Nr.200, S.23-24
- /033/ Hajduk, T.J. : A small fire that stayed small
Fire Journal 74 (1980) Nr.2, S.41-42,53
- /034/ Anatomy of a fire
Record 58 (1981) Nr.1, S.3-15
- /035/ Günther, K.P. : Warum gesprinklerte U-Bahn-Wagen?
BVD/SPI Bulletin (1989) Nr.2, S.19-20
- /036/ Lugon, P. Comment utiliser les different agents
Zeberli, W. : extincteur?
BVD/SPI Bulletin (1989) Nr.1, S.7-13
- /037/ Aresu de Seui, H: Hotel Stouffer at Westchester (USA)
Revue Belge du Feu (1982) Nr. 63, S.20-23
- /038/ Bell, J.R. : Anatomy of an American hotel fire: why so
many people failed to reach safety
Fire 75 (1982) Nr.928, S.239-242
- /039/ Herzog, C. Two million Dollar loss occur in shopping
Broehm, K. : mall fire
Fire Command 55 (1988) Nr.8, S.18, 20-22

- /040/ Forsman, D. : Restaurant explosion injures ten
Fire Command 51 (1984) Nr.2, S.36-37
- /041/ Fessey, M. Support for sprinkler protection.
Long, R. Patients should not be put in peril by
Langford, R.F. : use of 'proven lethal' materials. Watch
out for this risk in selective analysers
Fire 77 (1984) Nr.952, S.27,32-34
- /042/ ESFR Installation Guidelines Set
FMRC Update 1 (1987) Nr.2, S.3-4
- /043/ Casaccio, E.K. : ESFR prototype meets objectives in large
scale fire tests
FMRC Update 1 (1987) Nr.1
- /044/ Casaccio, E.K. : ESFR prototype selected, final tests
underway
FMRC Update 2 (1986) Nr.3
- /045/ Rapid-acting sprinkler system for high-
racked storage
BRE News of Construction Research 12
(1985)
und
BRE News of Fire Research 1 (1986)
- /046/ Fleming, R.P. : Update on the quick response sprinkler
research project
Fire Journal 81 (1987) Nr.1, S.34-38,77
und
Quick response sprinklers: A technical
analysis
ISBN: 0-87765-330-5, April 1985

- /047/ Gärtel, D. : Vorbeugender Brandschutz in Hochregal-
lagern
VFDB-Zeitschrift 27 (1988) Nr.2, S.78-81
- /048/ Warehouse storage: old problems and new
challenges
Record 63 (1986) Nr.2, S.3-10
- /049/ Bin-storage fire hazards
BRE News of fire research
Borehamwood: Fire Research Station
WD6.2BL, Jan.1988
- /050/ Isner, M.S. : \$ 49 million loss in Shervin-Williams
ware house fire
Fire Journal 82 (1988) Nr.3 u.4, S.65-73
- /051/ Yao, C. : The development of the ESFR sprinkler
system
Fire safety Journal 14 (1988)
Nr.1 u.2, S.65-73
- /052/ ESFR research continues
FMRC Update 2 (1988) Nr.2
- /053/ Fuldskalaforsög
Brandvaern 12 (1986) Nr.8, S.60-61
- /054/ Hochregallager mit wasserführender
Stahlkonstruktion
Magazin der Feuerwehr 8 (1983) Nr.5,
S.247

- /055/ Casaccio, E.K. : Problems Stack up. Storage of idle pallets
Record 65 (1988) Nr.3, S.9-12
- /056/ Fardeyn, E. : Protection incendie d'un entrepot de papier aux papeteries de Belgique - usine de Langerbruegge
Revue Belge du Feu (1982) 62, S.46-49
- /057/ Early supression fast response sprinklers?
Fire International 8 (1984) Nr.87, S.44-46
- /058/ Watson, B. : Fast response sprinkler heads
Fire Surveyor 13 (1984) Nr.4, S.25-29
- /059/ Heselden, A.J.M. : The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings: the current knowledge Report
Borehamwood: Fire Research Station
WD6 2BL (1984) 28 S.
- /060/ Ranthe, F. : Sprinkling og den organisatoriske baggrund
Brandvaern 12 (1986) Nr.4, S.8-13
- /061/ Field, P. : How in-rack sprinkler protection was developed for Donnington
Fire 79 (1986) Nr.973, S.47-48
- /062/ Flammable liquids in plastic containers
Record 64 (1987) Nr.1, S.3-9

- /063/ Milke, J.A. : Calculating the performance of sprinkler pipe exposed of fire conditions.
Fire Technology 22 (1986) Nr.2, S.104-121
- /064/ Kainz, C. Brand- und Löschversuche an EDV-Anlagen
Höfling, B. : Allianz Risiko Service
F/ABS 1465/1, 05.09.1987
- /065/ Kung, H.Ch. : Effects of water discharge rate and drop on spray cooling in residential fires
Gaithersburg: US Department of Commerce
NBS MD 20899 (1985) S.74-78
- /066/ Murrel, J.V. Selection of sprinklers for high rack
Field, P. : storage in warehouses
BRE Information Paper, IP 5/88 (1988)
- /067/ Neuenschwander, H: Brandversuch mit schnellansprechenden Sprinklern.
BVD/SPI Bulletin (1987) Nr.4, S.32-34
- /068/ Besson, P. : Nouveaux deversoirs pour la protection des entrepots.
R.G.S. 67 (1987) Nr.10, S.43-44
- /069/ Boras burns big
Fire and Flammability Bulletin 10
(1988) Nr.4
- /070/ Casaccio, E.K. : Research - Into the Nineties
'Flammability and Extinguishability'
Record 66 (1989) Nr.5, S.14-21

- /071/ The new high challenge risk
Stored plastics
FM Engineering and Research P7422 (1975)
- /072/ Aerosol storage: the problems and
solutions
FM Approved Product News 2 (1986) Nr.5
- /073/ Vincent, B.G. Sprinklered executive office fire tests
Kung, H.C. Fire Science and Technology 8 (1988)
Hill, E.E. : Nr.2, S.29-39
- /074/ Das Problem ist gelöst
Brandschutz für Regallager bis 7,5m Höhe
FM Engineering and Research P7136G (1975)
- /075/ Marty, M. : La securite incendie de differents types
des stockages
R.G.S. (1987) Nr.60, S.62-67
- /076/ Budnick, E.K. Developing an early suppression design
Fleming, R.P. : procedure
Fire Journal 83 (1989) Nr.6, S.40-46
- /077/ Evans, D.D. : Wood crib fire based suppression model
Gaithersburg: National Institute for
Standarts and Technology, MD 20899 (1990)
- /078/ You, H.Z. A sprinkler response prediction model
Kung, H.C. : Gaithersburg: FMRC, MD 20899 (1990)

- /079/ Cooper, L.Y. : Estimating the environment and the response of sprinkler links in compartment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents.
Part I, Theory
Forsch.-Bericht d. National Bureau of Standards NBSIR-88-3734, April 1988
- /080/ Cooper, L.Y. : Estimating the environment and the response of sprinkler links in compartment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents - an overview
Gaithersburg: Center for Fire Research
NBS (1988)
- /081/ Cooper, L.Y. : The capabilities of a new, single compartment, zone fire computer program
la vent
Gaithersburg: Center for Fire Research,
MD 20899, Feb. 1990
- /082/ Murrel, J.V. Sprinkler protection of post pallet
Field, P. : storage in high racks
Fire Surveyor 19 (1990) Nr.1, S.7-13
- /083/ Reiss, M.H. : Operation San Francisco - from the smoke detection and alarm point of view
The International Fire Chief 50 (1984)
Nr.5, S.22-24
- /084/ Theobald, C.R. Thermal response of sprinklers
Westley, S.A. Part II: Characteristics and test methods
Whitbread, S. : Fire Safety Journal 13 (1988) Nr.2 u.3,
S.99-114

- /085/ Göransson, U. Snabbare sprinkler och säkrare godsklass-
Persson, H. ificering
Rydermann, A. : SP Rapport 1988:05, Brandteknik Boras
(1988)
- /086/ Cote, A.E. : QRS: Do you understand the technology?
Fire Journal 81 (1987) Nr.1,
S.27-30,76-77
- /087/ Melinek, S.J. : Thermal response of sprinklers -
a theoretical approach
Fire Safety Journal 13 (1988) Nr.2 u.3
S.169-180
- /088/ Goodfellow, D.G. : A statistical model for analysis of
sprinkler water-spray distribution
Norwood: Technical Report
FMRC MA 02062, J.I.OMOJ5.RR (1985)
- /089/ Theobald, C.R. : Thermal response of sprinklers
Part I. FRS heated wind tunnel
Fire safety Journal 12 (1987) Nr.1,
S.51-63
- /090/ Theobald, C.R. Factors affecting the sensitivity
Westley, S.A. : sprinklers
Fire Surveyer 17 (1988) Nr.3, S.5-11
- /091/ Thorne, P.F. The thermal performance of sprinkler
Theobald, C.R. heads
Melinek, S.J. : Fire Safety Journal 14 (1988) Nr.1 u.2,
S.89-99

- /092/ Heskestad, G. Quantification of thermal responsiveness
Bill, R.G. : of automatic sprinklers including
conduction effects
Fire Safety Journal 14 (1988) Nr.1 u.2,
S.113-125
- /093/ Fleming, R.P. : Applications/limitations of QRS
technology
Fire Safety Journal 14 (1988) Nr.1 und 2
- /094/ Fleming, P.E. : A closer look at the NFPA residential
sprinkler standards
Fire Journal 82 (1988) Nr. 2, S.51-55,91
- /095/ Kainz, C. : Brand und Löschversuche an EDV-Analgen
München: Allianz Risiko Service
Sonderdruck ABS-SD6, Sept. 1987
- /096/ Vincent, B.G. Residential sidewall sprinkler fire tests
Kung, H.C. with limited water supply
Hill, E.E. : Fire Science and Technology 8 (1988)
Nr.2, S.41-53
- /097/ Quick response sprinklers
Fire and Flammability Bulletin 9 (1987)
Nr.3, S.7
- /098/ Factory Mutual is developing a practical
residential sprinkler
Record 58 (1981) Nr.4, S.5-10
- /099/ What residential sprinklers can do
Fire Journal 82 (1988) Nr. 5, S.60-61

- /100/ Teague, P.E. : An idea whose time has almost come
Fire Journal 82 (1988) Nr.5,
S.46-49, 52-54, 57, 59.
- /101/ McGibeny, M.D. Landmark sprinkler legislation in Florida
Campbell, C.A. Promoting residential sprinklers
Coleman, R. : Dallas adopts ordinances for increased
sprinkler use
The International Fire Chief 50 (1984)
Nr.3, S.16-25
- /102/ Chopra, J. S. : UL tests zhe on-off sprinkler for listing
Fire Journal 80 (1986) Nr.6, S.19-22
- /103/ Evans, D.D. : Experimental and analytical study of fire
sprinkler scaling laws
Gaithersburg: U.S. Department of Commerce
NBS, MD 20899 (1985) S.54-60
- /104/ Yao, C. Effect of drop size and sprinkler
Kalelkar, A.S. : performance
Fire Technology 6 (1970) Nr.4, S.254-268
- /105/ Felton, P.G. Drop size distribution measurement of
Ewan, B.C.R. : sprinklers
Sheffield: Chemical Engineering and Fuel
Technology Department, 85/13
- /106/ You, H.Z. Sprinkler drop-size measurement
Symonds, A.P. : Part I
Technical Report
Norwood: FMRC J.I. 0G1E7.RA (1982)

- /107/ You, H.Z. : Sprinkler drop-size measurement
Part II
Technical Report
Norwood: FMRC J.I. 0G1E7.RA (1983)
- /108/ Croce, P.A. : Calibration and preliminary measurement
You, H.Z. with FMRC's PMS dropsize measuring system
Khan, M.M. Technical Report
u.a. : Norwood: FMRC J.I. 0F0E2.RA (1981)
- /109/ Alpert, R.L. : Calculation of large scale flow fields
Mathews, M.K. : included by droplet sprays
Norwood: FMRC J.I. OE0J4.BU RC79-BT-14
(1979)
- /110/ Prahl, J.M. : Discharge distribution performance for an
Wendt, B. : axisymmetric model of fire sprinkler head
Fire Safety Journal 14 (1988) Nr.1 u.2,
S.101-111
- /111/ Alpert, R.L. : Numerical modeling of the interaction
between automatic sprinkler sprays and
fire plumes
Fire Safety Journal 9 (1985) Nr.305,
S. 157-163
- /112/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 1: Literaturlauswertung und
Errichtung der Versuchsanlage
Forschungsbericht Nr.53
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1985)

- /113/ Schatz, H. Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Kunkelmann, J. : Teil 2: Literaturübersicht und
Berechnungsgrundlagen für die Wärme-
übertragung bei Tropfen in einer
Heißgasströmung
Forschungsbericht Nr.54
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1985)
- /114/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 3: Entwicklung und Einsatz von
Sprinklern
Forschungsbericht Nr.57
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1986)
- /115/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 4: Löschversuche mit Sprinklern 1
Forschungsbericht Nr.62
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1987)
- /116/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2
Forschungsbericht Nr.67
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1988)
- /117/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 6: Löschversuche mit Sprinklern 3
Forschungsbericht Nr.70
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1989)

14. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. Rechnerische Überlagerung von bis zu 4 Sprinklern mit Angabe der x y - Koordinaten, der Radien, der Wasserbeaufschlagungen und der Nummern der zugehörigen Auffangwannen sowie Angabe der Werte im Wannenfeld. Lage der Sprinkler als Punkt markiert.

X m	Y m	RA1 m	RA2 m	RA3 m	RA4 m	BEAUF1 mm/min	BEAUF2 mm/min	BEAUF3 mm/min	BEAUF4 mm/min	Wanne Nr.
0.50	0.50	0.71	2.55	2.55	3.54	12.50	15.30	18.10	18.10	1
1.50	0.50	1.58	1.58	2.92	2.92	7.50	15.00	16.50	18.00	2
2.50	0.50	2.55	0.71	3.54	2.55	2.80	15.30	15.30	18.10	3
3.50	0.50	3.54	0.71	4.30	2.55	0.00	12.50	12.50	15.30	4
4.50	0.50	4.53	1.58	5.15	2.92	0.00	7.50	7.50	9.00	5
0.50	1.50	1.58	2.92	1.58	2.92	7.50	9.00	16.50	18.00	6
1.50	1.50	2.12	2.12	2.12	2.12	3.80	7.60	11.40	15.20	7
2.50	1.50	2.92	1.58	2.92	1.58	1.50	9.00	10.50	18.00	8
3.50	1.50	3.81	1.58	3.81	1.58	0.00	7.50	7.50	15.00	9
4.50	1.50	4.74	2.12	4.74	2.12	0.00	3.80	3.80	7.60	10
0.50	2.50	2.55	3.54	0.71	2.55	2.80	2.80	15.30	18.10	11
1.50	2.50	2.92	2.92	1.58	1.58	1.50	3.00	10.50	18.00	12
2.50	2.50	3.54	2.55	2.55	0.71	0.00	2.80	5.60	18.10	13
3.50	2.50	4.30	2.55	3.54	0.71	0.00	2.80	2.80	15.30	14
4.50	2.50	5.15	2.92	4.53	1.58	0.00	1.50	1.50	9.00	15
0.50	3.50	3.54	4.30	0.71	2.55	0.00	0.00	12.50	15.30	16
1.50	3.50	3.81	3.81	1.58	1.58	0.00	0.00	7.50	15.00	17
2.50	3.50	4.30	3.54	2.55	0.71	0.00	0.00	2.80	15.30	18
3.50	3.50	4.95	3.54	3.54	0.71	0.00	0.00	0.00	12.50	19
4.50	3.50	5.70	3.81	4.53	1.58	0.00	0.00	0.00	7.50	20
0.50	4.50	4.53	5.15	1.58	2.92	0.00	0.00	7.50	9.00	21
1.50	4.50	4.74	4.74	2.12	2.12	0.00	0.00	3.80	7.60	22
2.50	4.50	5.15	4.53	2.92	1.58	0.00	0.00	1.50	9.00	23
3.50	4.50	5.70	4.53	3.81	1.58	0.00	0.00	0.00	7.50	24
4.50	4.50	6.36	4.74	4.74	2.12	0.00	0.00	0.00	3.80	25

12.5	7.5	2.8	0.0	0.0
7.5	3.8	1.5	0.0	0.0
2.8	1.5	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

18.1	16.5	15.3	12.5	7.5
16.5	11.4	10.5	7.5	3.8
15.3	10.5	5.6	2.8	1.5
12.5	7.5	2.8	0.0	0.0
7.5	3.8	1.5	0.0	0.0

15.3	15.0	15.3	12.5	7.5
9.0	7.6	9.0	7.5	3.8
2.8	3.0	2.8	2.8	1.5
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

18.1	18.0	18.1	15.3	9.0
18.0	15.2	18.0	15.0	7.6
18.1	18.0	18.1	15.3	9.0
15.3	15.0	15.3	12.5	7.5
9.0	7.6	9.0	7.5	3.8

Tabelle 2. Rechnerische Überlagerung von bis zu 4 Sprinklern mit Angabe der xy-Koordinaten, der Radien, der Wasserbeaufschlagungen und der Nummern der zugehörigen Auffangwannen sowie Angabe der Werte im Wannengebiet. Lage der Sprinkler als Punkt markiert.

X	Y	RA1	RA2	RA3	RA4	BEAUF1	BEAUF2	BEAUF3	BEAUF4	Wanne
m	m	m	m	m	m	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min	Nr.
0.25	0.25	1.06	3.82	3.82	5.30	8.20	8.20	8.20	8.20	1
0.75	0.25	0.79	3.34	3.76	4.96	10.00	10.00	10.00	10.00	2
1.25	0.25	0.79	2.85	3.76	4.65	10.00	11.34	11.34	11.34	3
1.75	0.25	1.06	2.37	3.82	4.37	8.20	10.70	10.70	10.70	4
2.25	0.25	1.46	1.90	3.95	4.14	7.50	11.97	11.97	11.97	5
2.75	0.25	1.90	1.46	4.14	3.95	5.00	11.71	11.71	11.71	6
3.25	0.25	2.37	1.06	4.37	3.82	2.80	10.13	10.13	10.13	7
3.75	0.25	2.85	0.79	4.65	3.76	1.50	10.44	10.44	10.44	8
4.25	0.25	3.34	0.79	4.96	3.76	0.00	8.94	8.94	8.94	9
4.75	0.25	3.82	1.06	5.30	3.82	0.00	7.33	7.33	7.33	10
0.25	0.75	0.79	3.76	3.34	4.96	10.00	10.00	10.00	10.00	11
0.75	0.75	0.35	3.26	3.26	4.60	16.00	16.00	16.00	16.00	12
1.25	0.75	0.35	2.76	3.26	4.26	16.00	17.79	17.79	17.79	13
1.75	0.75	0.79	2.26	3.34	3.95	10.00	12.50	12.50	12.50	14
2.25	0.75	1.27	1.77	3.48	3.69	8.20	12.67	12.67	12.67	15
2.75	0.75	1.77	1.27	3.69	3.48	5.00	12.33	12.33	12.33	16
3.25	0.75	2.26	0.79	3.95	3.34	2.80	11.74	11.74	11.74	17
3.75	0.75	2.76	0.35	4.26	3.26	2.00	16.30	16.30	16.30	18
4.25	0.75	3.26	0.35	4.60	3.26	0.00	14.30	14.30	14.30	19
4.75	0.75	3.76	0.79	4.96	3.34	0.00	8.94	8.94	8.94	20
0.25	1.25	0.79	3.76	2.85	4.65	10.00	10.00	11.65	11.65	21
0.75	1.25	0.35	3.26	2.76	4.26	16.00	16.00	18.20	18.20	22
1.25	1.25	0.35	2.76	2.76	3.89	16.00	17.79	19.99	19.99	23
1.75	1.25	0.79	2.26	2.85	3.55	10.00	12.50	14.15	14.15	24
2.25	1.25	1.27	1.77	3.02	3.26	8.20	12.67	12.67	12.67	25
2.75	1.25	1.77	1.27	3.26	3.02	5.00	12.33	12.33	12.33	26
3.25	1.25	2.26	0.79	3.55	2.85	2.80	11.74	11.74	12.86	27
3.75	1.25	2.76	0.35	3.89	2.76	2.00	16.30	16.30	17.80	28
4.25	1.25	3.26	0.35	4.26	2.76	0.00	14.30	14.30	15.80	29
4.75	1.25	3.76	0.79	4.65	2.85	0.00	8.94	8.94	10.06	30
0.25	1.75	1.06	3.82	2.37	4.37	8.20	8.20	11.28	11.28	31
0.75	1.75	0.79	3.34	2.26	3.95	10.00	10.00	13.08	13.08	32
1.25	1.75	0.79	2.85	2.26	3.55	10.00	11.34	14.42	14.42	33
1.75	1.75	1.06	2.37	2.37	3.18	8.20	10.70	13.78	13.78	34
2.25	1.75	1.46	1.90	2.57	2.85	7.50	11.97	14.17	15.29	35
2.75	1.75	1.90	1.46	2.85	2.57	5.00	11.71	13.35	14.85	36
3.25	1.75	2.37	1.06	3.18	2.37	2.80	10.13	10.13	12.22	37
3.75	1.75	2.85	0.79	3.55	2.26	1.50	10.44	10.44	12.53	38
4.25	1.75	3.34	0.79	3.95	2.26	0.00	8.94	8.94	11.03	39
4.75	1.75	3.82	1.06	4.37	2.37	0.00	7.33	7.33	9.42	40
0.25	2.25	1.46	3.95	1.90	4.14	7.50	7.50	13.00	13.00	41
0.75	2.25	1.27	3.48	1.77	3.69	8.20	8.20	13.70	13.70	42
1.25	2.25	1.27	3.02	1.77	3.26	8.20	8.20	13.70	13.70	43
1.75	2.25	1.46	2.57	1.90	2.85	7.50	9.29	14.78	15.90	44
2.25	2.25	1.77	2.15	2.15	2.47	5.00	8.40	12.57	14.67	45
2.75	2.25	2.15	1.77	2.47	2.15	3.80	8.27	11.35	14.19	46
3.25	2.25	2.57	1.46	2.85	1.90	2.00	8.71	10.35	14.09	47
3.75	2.25	3.02	1.27	3.26	1.77	0.00	7.33	7.33	11.07	48
4.25	2.25	3.48	1.27	3.69	1.77	0.00	7.33	7.33	11.07	49
4.75	2.25	3.95	1.46	4.14	1.90	0.00	6.71	6.71	10.44	50

Tabelle 2. Fortsetzung

0.25	2.75	1.90	4.14	1.46	3.95	5.00	5.00	13.24	13.24	51
0.75	2.75	1.77	3.69	1.27	3.48	5.00	5.00	14.01	14.01	52
1.25	2.75	1.77	3.26	1.27	3.02	5.00	5.00	14.01	14.01	53
1.75	2.75	1.90	2.85	1.46	2.57	5.00	6.34	14.59	16.08	54
2.25	2.75	2.15	2.47	1.77	2.15	3.80	6.30	11.80	14.64	55
2.75	2.75	2.47	2.15	2.15	1.77	2.80	6.20	10.37	14.11	56
3.25	2.75	2.85	1.90	2.57	1.46	1.50	5.97	8.17	13.77	57
3.75	2.75	3.26	1.77	3.02	1.27	0.00	4.47	4.47	10.60	58
4.25	2.75	3.69	1.77	3.48	1.27	0.00	4.47	4.47	10.60	59
4.75	2.75	4.14	1.90	3.95	1.46	0.00	4.47	4.47	10.07	60
0.25	3.25	2.37	4.37	1.06	3.82	2.80	2.80	11.81	11.81	61
0.75	3.25	2.26	3.95	0.79	3.34	2.80	2.80	13.79	13.79	62
1.25	3.25	2.26	3.55	0.79	2.85	2.80	2.80	13.79	14.91	63
1.75	3.25	2.37	3.18	1.06	2.37	2.80	2.80	11.81	13.91	64
2.25	3.25	2.57	2.85	1.46	1.90	2.00	3.34	11.59	15.32	65
2.75	3.25	2.85	2.57	1.90	1.46	1.50	3.29	8.78	14.39	66
3.25	3.25	3.18	2.37	2.37	1.06	0.00	2.50	5.58	11.71	67
3.75	3.25	3.55	2.26	2.85	0.79	0.00	2.50	4.15	11.62	68
4.25	3.25	3.95	2.26	3.34	0.79	0.00	2.50	2.50	9.98	69
4.75	3.25	4.37	2.37	3.82	1.06	0.00	2.50	2.50	8.63	70
0.25	3.75	2.85	4.65	0.79	3.76	1.50	1.50	12.49	12.49	71
0.75	3.75	2.76	4.26	0.35	3.26	2.00	2.00	19.59	19.59	72
1.25	3.75	2.76	3.89	0.35	2.76	2.00	2.00	19.59	21.08	73
1.75	3.75	2.85	3.55	0.79	2.26	1.50	1.50	12.49	14.58	74
2.25	3.75	3.02	3.26	1.27	1.77	0.00	0.00	9.01	12.75	75
2.75	3.75	3.26	3.02	1.77	1.27	0.00	0.00	5.50	11.62	76
3.25	3.75	3.55	2.85	2.26	0.79	0.00	1.34	4.42	11.89	77
3.75	3.75	3.89	2.76	2.76	0.35	0.00	1.79	3.99	15.94	78
4.25	3.75	4.26	2.76	3.26	0.35	0.00	1.79	1.79	13.74	79
4.75	3.75	4.65	2.85	3.76	0.79	0.00	1.34	1.34	8.81	80
0.25	4.25	3.34	4.96	0.79	3.76	0.00	0.00	10.99	10.99	81
0.75	4.25	3.26	4.60	0.35	3.26	0.00	0.00	17.59	17.59	82
1.25	4.25	3.26	4.26	0.35	2.76	0.00	0.00	17.59	19.08	83
1.75	4.25	3.34	3.95	0.79	2.26	0.00	0.00	10.99	13.08	84
2.25	4.25	3.48	3.69	1.27	1.77	0.00	0.00	9.01	12.75	85
2.75	4.25	3.69	3.48	1.77	1.27	0.00	0.00	5.50	11.62	86
3.25	4.25	3.95	3.34	2.26	0.79	0.00	0.00	3.08	10.55	87
3.75	4.25	4.26	3.26	2.76	0.35	0.00	0.00	2.20	14.15	88
4.25	4.25	4.60	3.26	3.26	0.35	0.00	0.00	0.00	11.96	89
4.75	4.25	4.96	3.34	3.76	0.79	0.00	0.00	0.00	7.47	90
0.25	4.75	3.82	5.30	1.06	3.82	0.00	0.00	9.01	9.01	91
0.75	4.75	3.76	4.96	0.79	3.34	0.00	0.00	10.99	10.99	92
1.25	4.75	3.76	4.65	0.79	2.85	0.00	0.00	10.99	12.11	93
1.75	4.75	3.82	4.37	1.06	2.37	0.00	0.00	9.01	11.11	94
2.25	4.75	3.95	4.14	1.46	1.90	0.00	0.00	8.24	11.98	95
2.75	4.75	4.14	3.95	1.90	1.46	0.00	0.00	5.50	11.10	96
3.25	4.75	4.37	3.82	2.37	1.06	0.00	0.00	3.08	9.21	97
3.75	4.75	4.65	3.76	2.85	0.79	0.00	0.00	1.65	9.12	98
4.25	4.75	4.96	3.76	3.34	0.79	0.00	0.00	0.00	7.47	99
4.75	4.75	5.30	3.82	3.82	1.06	0.00	0.00	0.00	6.13	100

Tabelle 2. Fortsetzung

8.2	10.0	11.3	10.7	12.0	11.7	10.1	10.4	8.9	7.3
10.0	16.0	17.8	12.5	12.7	12.3	11.7	16.3	14.3	8.9
11.6	18.2	20.0	14.2	12.7	12.3	11.7	16.3	14.3	8.9
11.3	13.1	14.4	13.8	14.2	13.4	10.1	10.4	8.9	7.3
13.0	13.7	13.7	14.8	12.6	11.3	10.4	7.3	7.3	6.7
13.2	14.0	14.0	14.6	11.8	10.4	8.2	4.5	4.5	4.5
11.8	13.8	13.8	11.8	11.6	8.8	5.6	4.2	2.5	2.5
12.5	19.6	19.6	12.5	9.0	5.5	4.4	4.0	1.8	1.3
11.0	17.6	17.6	11.0	9.0	5.5	3.1	2.2	0.0	0.0
9.0	11.0	11.0	9.0	8.2	5.5	3.1	1.6	0.0	0.0

8.2	10.0	11.3	10.7	12.0	11.7	10.1	10.4	8.9	7.3
10.0	16.0	17.8	12.5	12.7	12.3	11.7	16.3	14.3	8.9
11.6	18.2	20.0	14.2	12.7	12.3	12.9	17.8	15.8	10.1
11.3	13.1	14.4	13.8	15.3	14.8	12.2	12.5	11.0	9.4
13.0	13.7	13.7	15.9	14.7	14.2	14.1	11.1	11.1	10.4
13.2	14.0	14.0	16.1	14.6	14.1	13.8	10.6	10.6	10.1
11.8	13.8	14.9	13.9	15.3	14.4	11.7	11.6	10.0	8.6
12.5	19.6	21.1	14.6	12.7	11.6	11.9	15.9	13.7	8.8
11.0	17.6	19.1	13.1	12.7	11.6	10.6	14.2	12.0	7.5
9.0	11.0	12.1	11.1	12.0	11.1	9.2	9.1	7.5	6.1

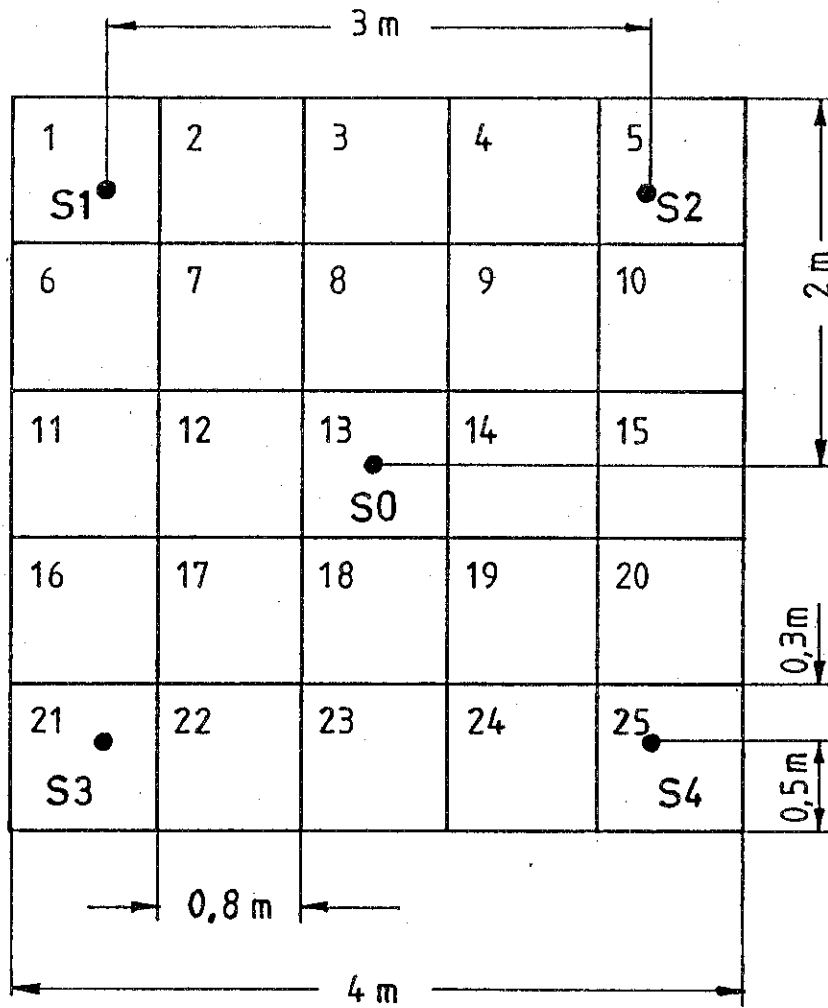


Bild 1. Meßfläche mit Nummerierung der Auffangwannen und Lage der Sprinkler S0 bis S4.

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

1,5 m

1 Sprinkler gemessen

3,0	4,0	4,6	4,0	3,0
4,0	6,1	5,6	5,6	3,0
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

3,0 m

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

4,5 m

9,4	14,8	10,3	12,9	15,8
15,2	13,2	11,6	13,5	12,9
13,5	14,8	14,8	13,5	14,2
16,1	15,8	11,0	11,3	7,7
13,2	15,8	11,3	11,3	8,1

1,5 m

4 Sprinkler gemessen

6,4	9,4	10,1	9,0	12,7
6,0	11,2	12,4	13,9	12,0
11,2	15,0	13,5	14,6	11,2
12,4	14,6	14,2	11,2	7,9
16,1	14,2	13,1	9,4	13,1

3,0 m

14,9	9,9	13,9	12,9	14,9
8,9	11,9	12,9	13,9	9,9
10,9	15,8	14,9	11,9	9,9
10,9	14,9	12,9	10,9	6,9
15,8	13,9	11,9	8,9	10,9

4,5 m

19,5	15,3	15,0	15,3	19,5
15,3	15,6	14,0	15,6	15,3
15,0	14,0	15,2	14,0	15,0
15,3	15,6	14,0	15,6	15,3
19,5	15,3	15,0	15,3	19,5

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet

13,3	12,0	10,4	12,0	13,3
12,0	13,7	14,5	13,7	12,0
10,4	14,5	15,0	14,5	10,4
12,0	13,7	14,5	13,7	12,0
13,3	12,0	10,4	12,0	13,3

3,0 m

11,5	10,8	10,0	10,8	11,5
10,8	12,8	13,8	12,8	10,8
10,0	13,8	15,2	13,8	10,0
10,8	12,8	13,8	12,8	10,8
11,5	10,8	10,0	10,8	11,5

4,5 m

19,5	14,5	12,8	11,6	13,7
15,8	15,3	12,4	11,9	10,8
16,5	13,8	13,8	11,5	10,7
17,8	16,8	13,0	12,6	11,0
23,3	17,0	14,4	12,4	14,1

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet (< 30 % Abweichung)

13,3	12,0	10,3	11,9	13,1
13,0	14,6	15,5	13,9	12,2
12,0	16,1	16,4	15,7	10,8
14,6	16,1	16,2	15,3	12,7
17,2	14,9	12,4	13,7	14,4

3,0 m

11,5	11,2	10,7	11,9	13,2
11,2	13,7	15,5	14,6	12,8
10,7	15,5	17,4	16,0	12,1
11,8	14,6	16,0	15,5	13,3
13,1	12,7	12,1	13,3	14,7

4,5 m

Bild 2. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf der vorgegebenen Fläche von 16 m² mit den Sprinklern S0 (Reihe 1) und S1 bis S4 (Reihe 2 bis 4).
Typ A Nummerierung der Wannen, Lage der Sprinkler s. Bild 1.

3,0	6,3	7,0	5,3	2,7
3,0	9,7	14,7	11,0	6,0
2,3	16,0	30,0	9,3	6,0
4,0	7,3	13,3	9,7	6,3
3,3	5,7	6,0	5,3	3,0

1,5 m

1 Sprinkler gemessen

3,3	5,8	5,0	6,0	2,8
4,5	6,5	13,3	6,0	4,8
6,0	6,0	19,8	11,5	6,0
5,8	7,0	11,3	7,0	6,5
4,3	4,8	5,0	5,0	4,0

3,0 m

3,0	4,0	5,8	6,0	3,0
4,5	6,3	13,5	5,0	3,8
6,0	4,5	16,0	11,0	6,3
4,5	6,8	12,3	6,3	4,3
3,8	4,5	5,0	6,0	4,3

4,5 m

22,1	13,9	13,2	15,5	22,8
14,2	17,8	12,2	16,5	15,5
10,0	13,2	12,2	11,2	11,9
18,8	13,5	10,6	13,2	18,1
21,4	18,1	12,2	14,8	22,1

1,5 m

4 Sprinkler gemessen

11,3	17,2	10,8	13,3	15,7
12,3	13,3	12,3	10,8	13,3
12,3	13,3	11,3	12,3	13,8
11,8	13,3	11,3	9,8	12,8
16,7	14,3	10,8	9,8	17,2

3,0 m

15,0	14,3	12,7	14,0	17,0
9,7	12,7	12,3	12,0	14,7
12,7	13,0	11,7	11,3	13,7
12,3	11,3	10,7	10,0	11,3
13,0	11,3	11,7	11,3	13,3

4,5 m

26,9	15,5	13,0	15,5	26,9
15,5	16,0	15,0	16,0	15,5
13,0	15,0	16,0	15,0	13,0
15,5	16,0	15,0	16,0	15,5
26,9	15,5	13,0	15,5	26,9

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet

22,4	14,0	11,2	14,0	22,4
14,0	15,9	16,6	15,9	14,0
11,2	16,6	18,4	16,6	11,2
14,0	15,9	16,6	15,9	14,0
22,4	14,0	11,2	14,0	22,4

3,0 m

17,6	13,6	10,6	13,6	17,6
13,6	14,9	16,0	14,9	13,6
10,6	16,0	17,2	16,0	10,6
13,6	14,9	16,0	14,9	13,6
17,6	13,6	10,6	13,6	17,6

4,5 m

26,9	16,2	14,5	18,3	32,9
15,3	16,5	16,3	18,6	18,7
12,7	15,6	17,2	16,6	15,3
14,9	15,9	15,9	17,8	17,8
25,5	15,2	13,5	16,9	30,3

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet (< 30 % Abweichung)

22,4	13,2	10,0	11,8	17,5
15,0	16,1	15,8	13,4	11,1
12,7	16,6	17,8	15,5	9,0
16,7	17,4	16,3	14,7	11,5
28,2	16,0	11,7	13,3	18,6

3,0 m

17,6	13,3	10,2	12,8	16,2
14,6	15,6	15,8	13,6	12,1
11,9	16,4	17,2	15,6	9,2
16,1	16,1	16,1	14,2	11,5
22,1	15,4	11,0	12,8	14,4

4,5 m

Bild 3. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf der vorgegebenen Fläche von 16 m² mit den Sprinklern S0 (Reihe 1) und S1 bis S4 (Reihe 2 bis 4). Typ B Nummerierung der Wannen und Lage der Sprinkler s. Bild 1.

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

1,5 m

1 Sprinkler gemessen

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

3,0 m

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

4,5 m

4,3	7,6	11,5	11,5	8,6
8,9	12,5	16,5	15,8	8,2
15,8	9,2	16,5	19,1	11,9
13,2	11,5	12,5	13,9	11,6
7,3	9,2	8,6	6,3	10,6

1,5 m

4 Sprinkler gemessen

8,3	8,3	8,0	7,3	7,6
6,3	6,3	11,3	13,9	11,6
9,3	8,6	14,3	15,3	12,6
8,6	11,6	11,3	10,9	9,3
6,0	7,6	9,6	8,3	8,3

3,0 m

8,2	6,3	7,0	8,2	9,5
12,0	13,9	13,9	11,4	10,1
10,7	15,8	15,2	12,6	10,1
9,5	15,2	15,8	12,0	7,0
7,6	10,7	12,6	10,7	9,5

4,5 m

10,0	9,6	11,2	9,6	10,0
9,6	15,6	19,1	15,6	9,6
11,2	19,1	19,2	19,1	11,2
9,6	15,6	19,1	15,6	9,6
10,0	9,6	11,2	9,6	10,0

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet

6,9	7,7	8,4	7,7	6,9
7,7	13,4	18,4	13,4	7,7
8,4	18,4	18,4	18,4	8,4
7,7	13,4	18,4	13,4	7,7
6,9	7,7	8,4	7,7	6,9

3,0 m

4,8	7,7	6,6	7,7	4,8
7,7	13,0	17,5	13,0	7,7
6,6	17,5	17,2	17,5	6,6
7,7	13,0	17,5	13,0	7,7
4,8	7,7	6,6	7,7	4,8

4,5 m

10,0	10,5	12,3	10,5	11,9
10,6	17,6	20,8	16,5	10,2
12,5	20,8	21,0	20,8	12,0
10,6	16,7	20,8	17,3	10,2
12,2	10,4	12,2	10,4	9,5

1,5 m

4 Sprinkler gerechnet (< 30 % Abweichung)

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

3,0 m

4,8	8,3	7,1	8,0	5,4
9,1	15,1	20,0	14,0	8,6
7,5	19,8	19,5	19,9	7,4
8,4	14,4	19,7	15,4	8,6
6,1	9,0	7,9	9,4	5,3

4,5 m

Bild 4. Wasserbeaufschlagung in mm/min auf der vorgegebenen Fläche von 16 m² mit den Sprinklern S0 (Reihe 1) und S1 bis S4 (Reihe 2 bis 4). Typ C Nummerierung der Wannen und Lage der Sprinkler s. Bild 1.

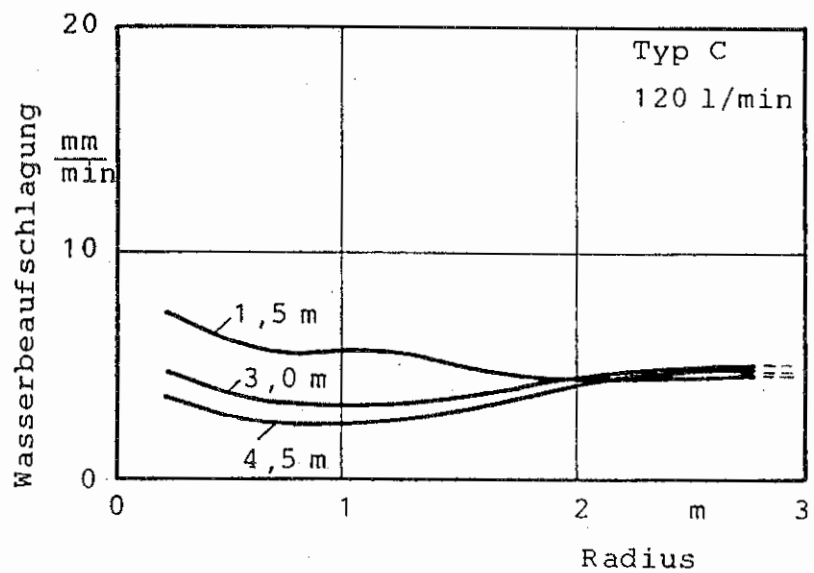
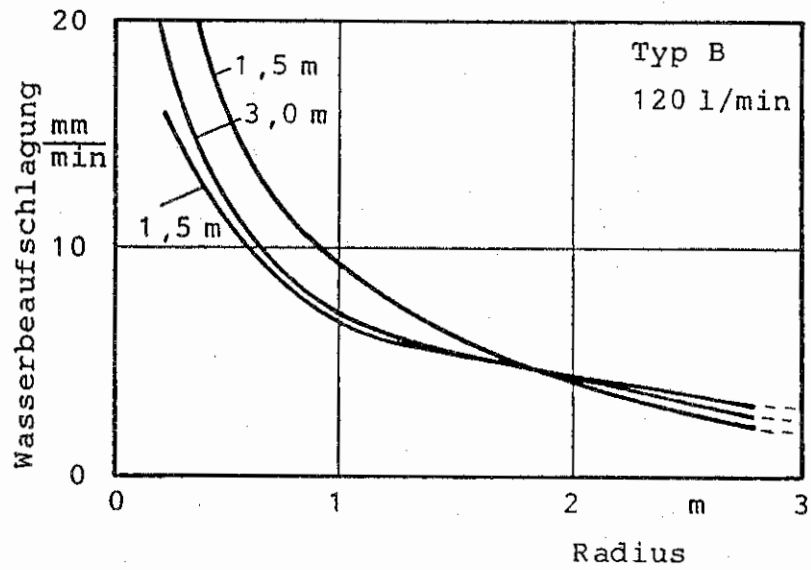
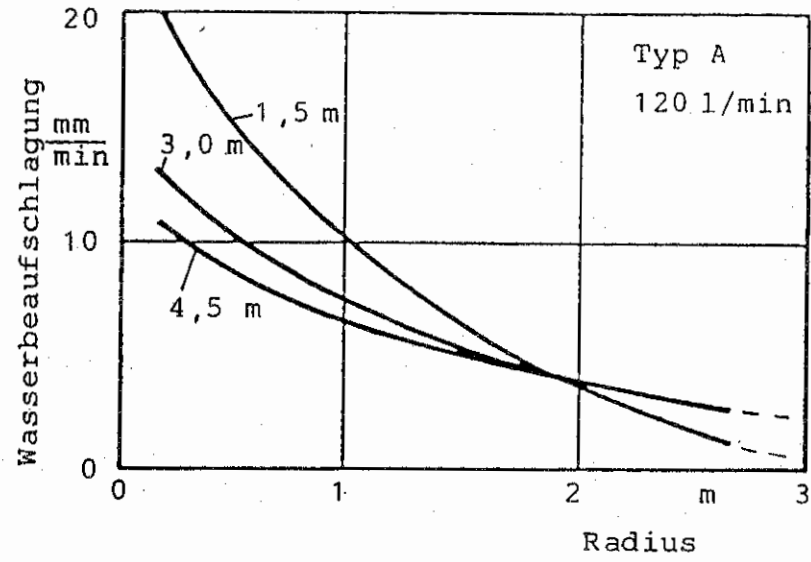


Bild 5. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius für 3 Sprinklertypen bei jeweils 3 Sprinklerhöhen und dem Volumenstrom von 120 l/min.

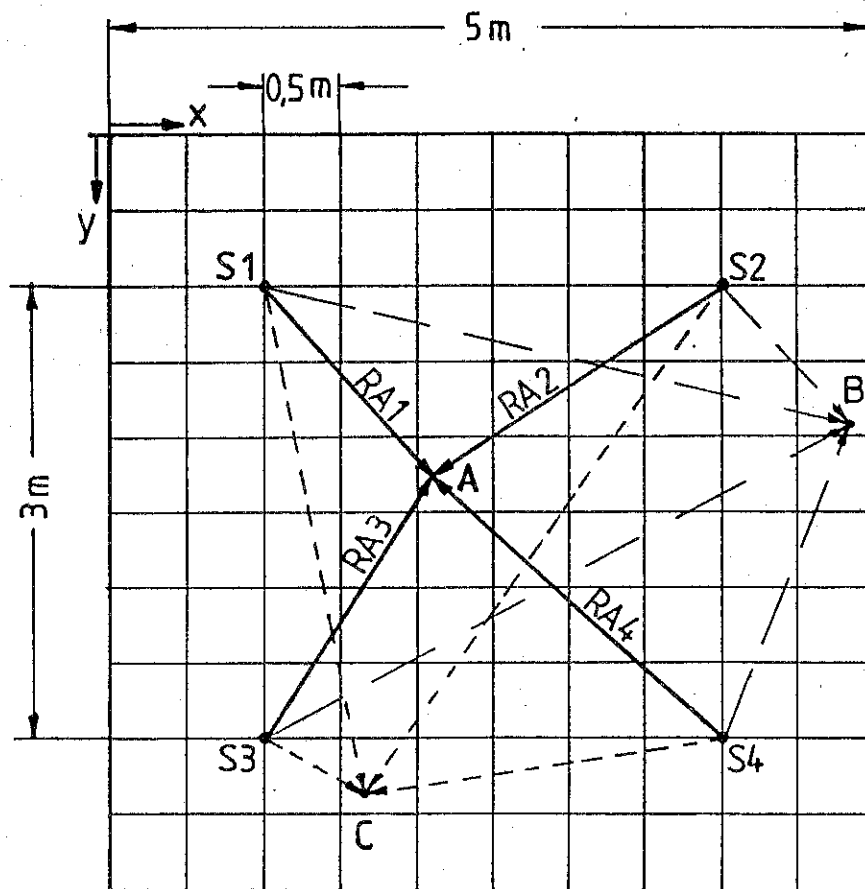
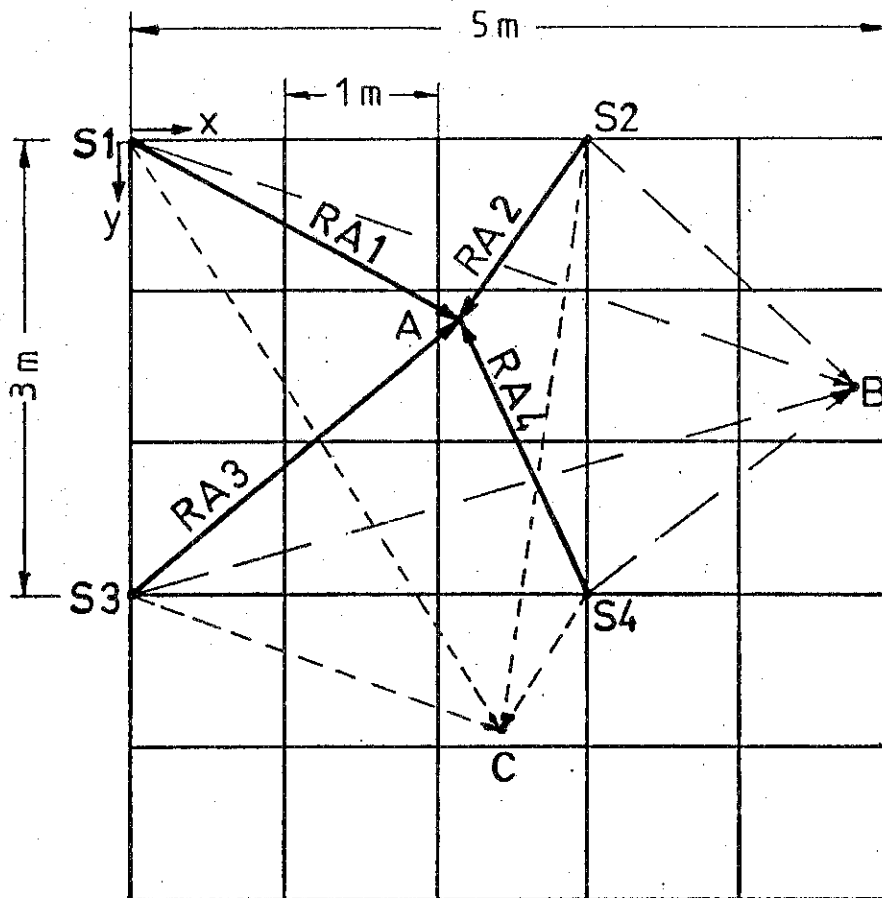


Bild 6. Variable Abmessungen der vorgegebenen Fläche und unterschiedliche Lage der Sprinkler mit Überlagerung von 4 Wasserstrahlen (RA1 bis RA4) zu den Orten A, B, C.