

# BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil 3: Entwicklung und Einsatz von Sprinklern

# 57

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

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

Forschungsbericht Nr.57

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen

Teil 3: Entwicklung und Einsatz von  
Sprinklern

Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Juli 1986

FA.Nr. 110 (4/85)

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER SPRINKLER	2
3. ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER SPRINKLER	5
4. BRÄNDE UND SPRINKLER	12
5. STATISTIK UND SPRINKLER	16
6. STAPPELLAGERUNG UND SPRINKLER	21
7. LÜFTUNG UND SPRINKLER	24
8. ANZAHL DER AUSGELÖSTEN SPRINKLER	26
9. BRANDVERSUCHE UND SPRINKLEREINSATZ	27
10. BESTIMMUNG VON EINFLUßFAKTOREN BEI SPRINKLERN	35
11. SPRINKLER IN KLEINEN WOHNEINHEITEN	38
12. ZUSAMMENFASSUNG	45
13. LITERATURVERZEICHNIS	46

## 1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Verwendung verschiedenartiger Materialien in der Produktion als und ihre Lagerung haben das Brandrisiko erhöht. Der Einsatz der Feuerwehr bei der Brandbekämpfung gestaltet sich schwieriger und die Schadenssummen im Brandfall sind enorm gestiegen.

Um bei der Entdeckung eines Brandes möglichst schnell den Löschvorgang einleiten zu können, ist es notwendig, ortsfeste Löschanlagen zu installieren, die automatisch ohne große Zeitverzögerung in Betrieb gesetzt werden. Auf diese Weise kann bereits die Zeitspanne bis zum Eintreffen der Feuerwehr für die Brandbekämpfung genutzt werden.

Trotz der in vielen Bereichen sinnvoll installierten Löschanlagen mit den Löschmitteln Kohlendioxid oder Halon sind diejenigen mit Wasser als Löschmittel am meisten verbreitet.

Bisherige Arbeiten /1,2/ befassen sich mit grundlegenden Ausführungen über Sprinkler und deren Installation in Anlagen, wobei verschiedene Vorschriften und Richtlinien zur Anwendung gelangen. Weiterhin werden grundlegende Veröffentlichungen über die Zerstäubung von Wasser und die Bildung von Tropfen erwähnt. In einer Literaturübersicht wird über mathematische Ansätze für die Zerstäubung und den Wärmeübergang am Wassertropfen berichtet und auf die löschwirksamen Tropfengrößen hingewiesen. Zusätzlich wurde der Tropfenabbau durch Verdampfen in einer realen Brandbedingungen entsprechenden Heißgasströmung rechnerisch simuliert.

In einer weiteren Arbeit erstellte Brein /3/ eine Literaturlauswertung zur Brandausbreitung an verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.

Als Weiterführung der bisherigen Arbeiten wird im vorliegenden Bericht das in- und ausländische Schrifttum über Sprinkler, ausgehend von der geschichtlichen Entwicklung, allgemeinen Angaben über

Brände, Statistiken, Stapellagerung, Lüftung, Brand- und Löschversuchen, zu beachtenden Einflußfaktoren bis hin zum Einsatz in kleineren Wohneinheiten (Residential, MobilHomes) ausgewertet.

## 2. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER SPRINKLER

Im folgenden Abschnitt wird über die geschichtliche Entwicklung der Sprinkler berichtet, die bereits im 17. Jahrhundert begann.

1673 wird das erste bekannte, aber nicht näher bezeichnete Sprinklersystem von John Green erwähnt /4/.

1723 wurde das erste automatische Feuerlöschsystem in England patentiert /5/.

1806 wurde von John Carey ein perforierter Sprinkler mit einem Mechanismus aus Seilzügen und einem Gewicht vorgestellt /6,7,8,9/.

1809 wurde von William Congreve ein System mit schmelzbaren Drähten patentiert /9/.

1812 wurden nach /7/ die Seile durch Schmelzloten mit einer Schmelztemperatur von 44 °C ersetzt.

1812 wurde von Benjamin Wyatt eines der ersten Systeme beschrieben, das in London im Theatre Royal installiert wurde. Das System wurde von William Congreve patentiert /10,11/.

1850 bis 1880 wurden in den USA in Spinnereien gelöcherte Rohre oder offene Systeme eingesetzt /6/.

- 1852 wurde von Francis in Massachusetts ein perforiertes Leitungssystem in Betrieb genommen /9,10/.
- 1864 wurde von Stuart Harrison in London der erste automatische Sprinkler entwickelt /5,8,10,12/.
- 1874/75 wurde von Henry S. Parmelee in Connecticut das erste automatische Sprinklersystem vorgestellt. Die perforierten Rohre wurden durch Sprinkler ersetzt /4,6,7,9,10,13,14/.
- 1878 wurde der von Parmelee entwickelte Sprinkler erstmals in New England installiert /10/.
- 1878 entwickelte Miller den ersten Ein/Aus-Sprinkler /15/.
- 1882 wurde von Frederick Grinnell der von Parmelee entwickelte Sprinkler in Serien hergestellt, weiter verbreitet und zunächst in Großbritannien eingesetzt /6,10/.
- 1883 setzte Grinnell die Entwicklung der Sprinkler fort /4,8/.
- 1884 wurde von Prentice das Ein/Aus-Sprinkler System wieder aufgegriffen /15/.
- 1884/85 wurden von John Wormald die ersten Richtlinien für die Installation von Sprinklern, die auf Studien von "Factory Mutual" (FM) basieren, in England herausgegeben /5,10,16/.
- 1886 wurden die ersten Sprinkler in Australien eingesetzt /10/.
- 1887 wurden die ersten Richtlinien in den Vereinigten Staaten herausgegeben /5/.
- 1888 wurden die Richtlinien von Wormald vom "Fire Offices Committee" (FOC) in London übernommen /10/.

- 1889 wurden die ersten Sprinkler in Neuseeland eingesetzt /10/.
- 1891 brachte Grinnell einen Sprinkler mit einem Glasfaß auf den Markt /10/.
- 1892 wurden die ersten Richtlinien vom FOC herausgegeben /10,11/.
- 1895 wurde die Entwicklung der Sprinkler und die Verbreitung der Richtlinien durch zahlreiche Institutionen fortgeführt /5/.
- 1896 entstand die Vereinigung "National Fire Protection Association" (NFPA) /5/.
- 1922/24 wurde der von Grinnell weiterentwickelte Glasfaßsprinkler eingesetzt /9,10/.
- 1950 wurde von FM ein verbesserter Glasfaßsprinkler herausgebracht /9/.
- 1960 ging die Entwicklung der Ein/Aus-Sprinkler bei Viking in Amerika weiter. Es wurde ein Wärmefühler benutzt /15/.
- 1970 setzte Grinnell ein Bimetall ein, das von FM weiterentwickelt wurde /15/.

Die Entwicklung der Sprinkler ging in den letzten Jahren bei verschiedenen Firmen, Versicherungen und anderen Institutionen weiter. Der Sprinklertyp, die Sprinklerart und die Sprinklerform wurden geändert. Als neueste Entwicklung der Sprinkler für die Brandbekämpfung sind die Großtropfensprinkler und die schnell ansprechenden Sprinkler zu nennen. Für letztere wird von Fleming /16/ eine ausführliche zeitliche Zuordnung aufgeführt.

### 3. ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER SPRINKLER

In /6/ werden Angaben über Sprinklertypen moderner Bauarten und Anwendungen genannt wie z.B. schnell ansprechende und selbst-schließende Sprinkler.

Young /15/ behandelt in seiner Arbeit Sprinklersysteme, die nach dem Öffnen wieder selbsttätig schließen.

In /8/ werden Einsatzgebiete für Sprinkler-trocken- und Sprinkler-naßanlagen erwähnt.

Nash und Young /10/ beschreiben die weiterentwickelten Sprinkler und stellen sie in zahlreichen Bildern dar. Außerdem werden automatische Sprinklersysteme beschrieben, die Gefahrenklassen für Stoffe aufgeführt, Auslösetemperaturen genannt sowie der Lösch-erfolg mit Sprinklern anhand von Statistiken aufgezeigt. Weirehin ist die Wasserverteilung angegeben. Es werden Brandversuche mit Holzkrippen und Sprinklern beschrieben und die Wasserbeaufschla-gung z.B. mit der Brandausbreitung oder der Lagerhöhe in Ver-bindung gebracht.

Boughen /12/ berichtet über Wassersprinklersysteme und weist darauf hin, daß heute meist nur die Form der Düse verändert wird und auf eine leichte Austauschbarkeit geachtet wird. Beim Einsatz von Sprinklern wird auf den direkten Zusammenhang zwischen dem Druck in der Leitung und der Flugweite der Tropfen hingewiesen.

Neuenschwander /13/ erwähnt, daß der Einsatz von Sprinkleranlagen bis in die 60er Jahre fast nur in Spinnereien erfolgte. Ein Brand ist bei ihm unter Kontrolle, wenn keine weitere Brandausbreitung zu befürchten ist.

In /17/ wird vom selben Autor als Beispiel für Fehlauflösungen von Sprinklern die mechanische Beschädigung erwähnt. Oft öffnen diese



unbemerkt und verursachen einen großen Wasserschaden. Im folgenden werden für Anlagenbesitzer, Sprinklerfirmen, Feuerwehr und Prüfstellen einige Maßnahmen zur Beachtung angegeben.

Schuster /14/ erwähnt die Verbesserung des Brandschutzes durch Sprinkleranlagen in Lagerbereichen mit dem "Early Suppression Fast Response" (ESFR) Sprinkler.

Hodnett /5/ befaßt sich in seinem Buch mit der Installation und der Instandhaltung von Sprinklern sowie den Systemen in Ein- und Zweifamilienhäusern. Zusätzlich werden alle gültigen Richtlinien erwähnt und mit Tabellen, Bildern und Kommentaren vervollständigt.

Bei Hems /11/ werden neben verschiedenen Einsatzbereichen in Gebäuden das Ansprechverhalten der Sprinkler und die Wasserbeaufschlagung erwähnt.

Averill /18/ erwähnt die schnell ansprechenden, die Großtropfensprinkler und die, die sowohl große als auch kleine Tropfen hervorbringen, um zum einen eine größere Durchschlagskraft und zum anderen eine größere Oberfläche, d.h. größere Kühlwirkung zu besitzen.

Cluzel /4/ berichtet, daß der Sprinklereinsatz in 98,5 % der Brandfälle zufriedenstellend verlief. Der industrielle Einsatz begann in Frankreich erst 1950. Im Jahre 1960 waren ca. 30000 Sprinkler installiert, 1978 waren es bereits 800000, aber 1983 nur noch 220000, ohne daß Gründe für diese enorme Abnahme zu erkennen waren.

Eine Sprinkleranlage ist nach Klingsohr /19/ eine Maßnahme gegen "die Ausbreitung von Feuer". Der Einbau einer Sprinkleranlage ist immer dort zu fordern, wo die Löscharbeiten der Feuerwehr von vornherein erkennbar nicht wirksam sein können. Eine Sprinkleranlage wird bei Hochhäusern mit mehr als 30 m Höhe, bei Garagen,

die unter dem obersten Keller liegen und bei Geschäftshäusern zwingend gefordert, wobei in allen Fällen Ausnahmen zugelassen werden, wenn feuerpolizeilich keine Bedenken bestehen.

In /20/ wird darauf hingewiesen, daß ohne Sprinkleranlagen die Verluste 9mal größer sind und daß die Installation einer Anlage preiswert sei, wenn man die Prämiennachlässe der Versicherungen in Betracht zieht. Sprinkleranlagen sind die weitestverbreiteten automatischen Löschanlagen und sie besitzen beim Löscheinsatz einige Vorteile. Sie sind direkt einsatzbereit, verhindern ein übermäßiges Ausbreiten des Feuers, schützen Personen und ermöglichen der Feuerwehr ein ungefährlicheres Löschen. Die Gebäude selbst werden eingestuft in leicht, normal und stärker gefährdet. Außerdem wird erwähnt, daß eine Nachrüstung mit Sprinkler 50 % bis 100 % teurer ist als eine Installation direkt beim Neubau, da die vorhandenen Verhältnisse mit berücksichtigt werden müssen.

Bei Rutstein /21/ wird kurz erwähnt, daß 50% der Sprinkler nicht ansprechen, aber Detektoren eine gute Überwachung bieten; jedoch beträgt hier das Verhältnis von Fehlalarmen zu Bränden 10:1. Die Installation erfolgt hauptsächlich wegen der Versicherungsrabatte.

Boulton und Ashfield /22/ machen Angaben über die Düsenanzahl und die Wasserdurchflußmenge von mit Hilfe eines Computers ausgelegter Sprinklersysteme in einer Halle mit Flachdach bei einer vorgegebenen Raumgröße. Die Wasserzufuhr erfolgt bei Endsystemen über nur eine Leitung bis zu den Sprinklern. Beim Ringsystem führen einzelne Leitungen zu den Sprinklern, die über ein Ringsystem miteinander verbunden sind. Beim Gittersystem besitzt jeder Sprinkler von beiden Seiten eine Wasserzuführung.

Ashfield /23/ gibt auf der Basis der Regeln des FOC eine hydraulische Berechnung für ein Sprinklersystem an und verdeutlicht den Rechengang durch einzeln durchgeführte Rechnungen, an einer schleifen- bzw. netzförmigen Anordnung.

Schuster /24/ erwähnt den Einsatz von Sprinkler auch bei Computeranlagen, wobei Trockensysteme den Vorteil bieten, daß bei einem Defekt eines Sprinklerkopfes kein Wasser austritt. Im Brandfalle setzt die Feuerwehr meistens zusätzlich Wasser als Löschmittel ein.

In /25/ wird der Welt größte Sprinkleranlage im World Trade Center mit mehr als 100 km Leitungen und dem Schutz jedes Büroraumes in den 110 Stockwerken genannt. Die Sprinkleranlagen dienen nicht nur dem Brandschutz sondern auch der Feueralarmierung.

Bei Ramachandran /26/ werden die Ergebnisse einer Studie über den ökonomischen Wert von Sprinklern sowie der allgemeine Brandschutz in Industriegebäuden erörtert.

Eine Wassersprühanlage wie sie bei Hems /27/ beschrieben wird, dient hauptsächlich zum Schutz von brennbaren Flüssigkeiten. Die Löschwirkung beruht im Brandfall auf der Verdünnung der Flüssigkeit mit Wasser, der Erzeugung einer Emulsion aus Wasser und der unlöslichen Flüssigkeit, auf dem Ersticken des Brandes und Kühlen der Flüssigkeit unter die Zündtemperatur.

Dean /28/ macht Angaben über Sprinklerinstallationen für Naß- und Trockenanlagen sowie über andere ortsfeste Löschsyste-me.

Kleier /29/ stellt die Normungsarbeiten hinsichtlich der Löschmittel, der Löscheräte und der Löschanlagen in Tabellenform zusammen

Ault /30/ vergleicht dünnwandige, leichte Rohrleitungen für automatische Sprinklersysteme mit bisher verwendeten aus Metall.

Hunt /31/ berichtet über geforderte Wassermengen bei Sprinklersystemen, die für bestimmte Gebäudeflächen vorhanden sein müssen.

In einem kurzen Artikel /32/ wird auf die Anwendung von Light Water in Sprühflutanlagen für die Bekämpfung von Bränden brennbarer Flüssigkeiten eingegangen.

Isenburg /33/ gibt einen Überblick über mobile Löschgeräte und ortsfeste Löschanlagen, wobei für bestimmte Anwendungsfälle Prämienrabatte gewährt werden und für andere wiederum Löschanlagen zwingend vorgeschrieben werden wie z.B. in Tiefgaragen oder in Warenhäusern.

Cote /34/ gibt anhand von Skizzen und Tabellen einen Überblick über die Installation von ortsfesten Löschanlagen in Wohnbereichen mit Angabe von Auslösetemperaturen, Raumgrößen und Wassermengen. So soll die Auslösezeit eines Sprinklers für den Wohnbereich z.B. 5mal so schnell wie die in Industriebereichen sein.

In /35/ weist Fanthorpe auf die Notwendigkeit der Installation von Sprinkleranlagen und auf die Weiterleitung eines Alarms an die Feuerwehr hin.

Ball und Pietrzak /36/ geben für den Löscheinsatz mit Sprinklern verschiedene Einflußfaktoren an, wie z.B. die Raumgröße, den Brandstoff, der Wasservolumenstrom, die Tropfengröße oder die Wasserbeaufschlagung. Unter anderem wird festgestellt, daß größere Tropfen effektiver sind und eine Wassermenge von 34 l/min das Minimum für das Beherrschen eines Brandes sind.

Reynolds /37/ macht auf wichtige Planungsfehler für Sprinkleranlagen aufmerksam wie Fehlen von Angaben über den Wasservorrat, Material, Berechnung u.a.

In /38/ wird über die Installation von Polybutylen-Leitungen anstatt Metallrohre für Sprinkler berichtet, die wesentliche Vorteile bei der Verlegung bieten.

In den NFPA-Richtlinien /39/ sind die verschiedenen Sprinklerarten, -systeme, Gefahrenklassen, Einrichtungen, Leitungen, Konstruktionen, Lagerhöhen, Wasserbeaufschlagungen beschrieben. Die Richtlinien sind zusätzlich mit zahlreichen Tabellen, Bildern und Beispielen versehen, die den Sprinklerschutz in Gebäuden bzw. Lagern veranschaulichen soll.

Mehrere Autoren /40/ erwähnen Untersuchungen über Löschanlagen und machen für das Jahr 1980 Angaben über Verluste und Gewinne bei verschiedenen Industriezweigen in bezug auf Sprinkler. Weiterhin wird kurz auf die Entwicklung von Grinnell-Sprinklern eingegangen und einige Schadensfälle in der Bundesrepublik Deutschland aufgeführt.

In /41/ werden neben den Gefahrenklassen für Lager auch die Höhen und die entsprechende Wasserbeaufschlagung angegeben. Sprinklertypen für und ihre Anordnung für unterschiedlich gestapelte Güter werden ebenfalls aufgeführt.

In /42/ wird kurz auf den Unterschied zwischen dem High Challenge und dem Fast Response High Challenge Sprinkler eingegangen, dessen Auslöseelement schneller anspricht. Zusätzlich wird auf die Anwendung im Lagerbereich hingewiesen.

Young /43/ belegt für Großbritannien anhand einiger Zahlenwerte, daß der Einbau einer Sprinkleranlage im Vergleich zur Schadensumme einen sehr geringen Betrag ausmacht und die Zuverlässigkeit ziemlich groß ist. 1983 waren in Europa 2,2 Mio Sprinkler installiert, während es in den USA bereits 14 Mio waren.

In einem Bericht von Reilly und Viniello /44/ wird über die Reduzierung von Brandschäden durch den Einbau von Sprinkleranlagen berichtet.

O'Hagen /45/ stellt einen Sprinkler vor, der selbständig wieder schließt, wenn der Brand unter Kontrolle ist. Dadurch sollen

geringere Kosten in Bezug auf das System und den Wasserverbrauch entstehen. Wegen ihres schnellen Auslöseverhaltens werden auch Einsatzmöglichkeiten als Wohnungssprinkler erwogen.

Becker /46/ weist in einem älteren Bericht auf die Verwendung von Sprinklern z.B. in Fabriken, Lägern, Garagen hin und gibt die Mindestwassermenge mit 60 l/min an, die "normale" Öffnungstemperatur mit 72 °C und die zu beaufschlagenden Flächen mit 6,5 m<sup>2</sup> und 9 m<sup>2</sup>.

Aufgrund hoher Schadenssummen wird in /47/ darauf hingewiesen, daß es sinnvoll ist, bei geringeren Risiken und in kleineren Unternehmen Sprinklerkleinanlagen zu installieren, um einen besseren Schutz zu gewährleisten.

In /48/ werden Rohrleitungen für Sprinkleranlagen hydraulisch berechnet, wobei anhand von Tabellen und Bildern Annahmen erläutern werden. Es wird versucht, immer möglichst einfache geometrische Formen zu finden. Die Auslegung der Pumpen und Rohrleitungen werden je nach Lagerart, Gefahrengruppe und Raumgröße auf eine Wasserbeaufschlagung von 7,5 mm/min bis 30 mm/min ausgelegt.

In einer kurzen Arbeit /49/ wird darauf hingewiesen, daß Sprinklerschutz nicht nur in den einzelnen Läden eines Einkaufszentrums, sondern auch in Ladenstraßen installiert sein sollten.

In /50/ wird die Investition einer Sprinkleranlage vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet und für Frankreich anhand einer Tabelle die Kosten einer Anlage deren Fläche und ihrem Versicherungswert gegenübergestellt.

Kipfer /51/ gibt einige Beispiele an, bei denen schnellansprechende Sprinkler eingesetzt werden dürfen, um z.B. größere bauliche Veränderungen zu vermeiden, Brandmelder oder Regalsprinkler zu ersetzen oder auch den Wasserbedarf bei Trockensystemen zu kompensieren, was jedoch nicht den Regelfall darstellt.

Büßem /52/ macht auf die große Bedeutung von Brandabschnitten in Lägern aufmerksam, da ein Brand bereits nach wenigen Minuten mehrere Lagerstapel erfassen kann. Bei wechselnder Gefahrenklasse des Lagergutes sollte das Rohrsystem immer für die höchstmögliche Wasserbeaufschlagung vorgesehen sein. Sprinklerschutz ist eine aktive Maßnahme, die eine hohe Zuverlässigkeit aufweist.

Groos /53/ erwähnt den zunehmenden Verbrauch an Plastikmaterialien für Verpackungen und gibt Geschwindigkeiten der Verbrennungsgase bei Bränden von 55 bis 65 km/h an. Daher ist es besonders wichtig, daß große Tropfen die zu schützende Fläche erreichen. Versuche dies- bezüglich werden von FM durchgeführt.

In einem kurzen Artikel /54/ wird erwähnt, daß wegen evtl. Feuerübergriffe eine Vollsprinklerung einer Teilsprinklerung vorzuziehen ist.

Wilke /55/ gibt kurz einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Sprinkler, sowie deren Aufbau, über die verschiedenen Sprinklertypen und deren Montage. Für die Installation werden Drücke, Rohrleitungen und weitere Kenngrößen anhand von Tabellen und Bildern angegeben sowie Probleme mit der Wasserversorgung angesprochen.

Nechutny /56/ beschreibt die Schäden, die durch einen Montagefehler an einer Sprinkleranlage entstanden sind und weist auf die richtige Installation hin.

#### 4. BRÄNDE UND SPRINKLER

In /57/ wird von einem Stromausfall und dem Dacheinsturz während eines Brandes in einem Warenhaus berichtet. Die gesamte Fläche des Warenhauses betrug  $63613 \text{ m}^2$  (900000 sqft) und wurde mit einer

Sprinkleranlage geschützt. Selbstschließende Türen waren nicht vorhanden. Als Brandursache wurden brennbare Flüssigkeiten festgestellt. Als die Sprinkler ansprachen, gelangte das Wasser bei den Regalen nicht an den Brandherd. Zusätzlich fielen kurze Zeit später die Sprinklerpumpen aus. Der Schadenverlauf mit verschiedenen Zeitangaben wird beschrieben.

In /58/ wird von einem Einkaufszentrum mit 70 Einzelgeschäften und einer Fläche von 20000 m<sup>2</sup> berichtet, das mit 2200 Sprinklern geschützt wurde. Mit einem Sprinkler wurde der in diesem Zentrum ausgebrochene Brand gelöscht. Die Ausbreitung eines Brandes in einer Textilfabrik von 5000 m<sup>2</sup> konnte mit Sprinklern bis zum Eintreffen der Feuerwehr verhindert werden. Ein Teil eines Möbellagers mit einer Fläche von 35000 m<sup>2</sup> wurde geschützt und ein anderer Teil mit einer Fläche von 3000 m<sup>2</sup> nicht. Im geschützten Teil genügte zur Löschung des Brandes ein Sprinkler, während der nicht geschützte Teil verwüstet wurde. Dort ließen heiße Rauchgase weitere 60 bis 80 Sprinkler ansprechen.

Das Fehlen einer Sprinkleranlage und das Nichteinteilen in Brandabschnitte wird für den teuersten in Großbritannien wütenden Brand mit einer geschätzten Schadenssumme von 165 Mio Pfund verantwortlich gemacht /59/.

Nett /60/ schlägt vor, daß es sinnvoll wäre z.B. U-Bahn Fahrzeuge mit einer Wasser-Sprinkleranlage mit 3 min Löschdauer auszurüsten. Meldeanlagen allein genügen nicht.

Linden /61/ berichtet über durch Brandeinwirkung ausgelöste ortsfeste Löschanlagen in den Jahren 1978 und 1979 und unterscheidet dabei Sprinkler-, Sprühwasser- und CO<sub>2</sub>-Anlagen. Zusätzlich werden detaillierte Angaben über die Brandursache, die Betriebsart, Art des Risikos, den Schadensbereich sowie die Schadenssumme gemacht. Weiterhin werden ab 1974 bis 1979 Mängel derartiger Anlagen sowie die Anzahl der ausgelösten Sprinkler angegeben.



In einem Bericht werden von FM /62/ für die Jahre 1971 bis 1980 Brände mit adäquatem Sprinklerschutz aufgelistet, die ca. 8mal weniger Schäden verursachten als Brände ohne ausreichenden Sprinklerschutz. Im einzelnen werden dabei in Tabellen und Bildern die Anzahl der Schäden, die Anzahl der ausgelösten Sprinkler, der Vergleich von Naß- und Trockenanlagen und zusätzlich einige Schadenbeispiele aufgeführt, wobei auch die Brandursache, das gelagerte Material und die Schadenhöhe genannt werden.

Bei der Untersuchung eines Brandunglücks /63/ in einem Kaufhaus in Manchester wurde festgestellt, daß für die Lagerung von Polyurethanschaumteilen die Wasserbeaufschlagung ungenügend war. Es wird festgestellt, daß bereits frühere Untersuchungen mit Sprinklertests und einem derartigem Kunststoff gezeigt haben, daß eine höhere Wasserbeaufschlagung erforderlich ist.

Besnard /64/ berichtet von einem Brand in einem Lager mit einer Fläche von 17000 m<sup>2</sup>, der einen Neubau zur Folge hatte, in den 4 Paletten übereinander gestapelt werden können. Die Sprinkleranlage wurde für eine Höhe von 7,70 m ausgelegt.

Raes /65/ gibt einige Brandursachen und Parameter für die Brandausbreitung an, die im Lagerbereich auftreten können. Er erwähnt weiterhin die Stapelmöglichkeiten für verschiedene Höhen bis zu 30 m und die Anbringung von Sprinklern zwischen den gestapelten Gütern, um dadurch einen besseren Schutz zu erreichen.

In /66/ werden Großbrände von Lägern wie bei SAVECO oder Ford zum Anlaß genommen, um die Wirksamkeit von Sprinkleranlagen in Zweifel zu ziehen, was jedoch durch die Feststellung von französischen Versicherungen, daß in den Jahren 1968 bis 1977 97,5 % der Brände gelöscht werden konnten, widerlegt wird. In den USA waren es 96 %. Zusätzlich wird durch Beispiele erläutert, daß nicht nur Sprinkler, sondern auch Rauchentlüftungsöffnungen, Brandwände und Schürzen mit verwendet werden sollten.

Tripet /67/ berichtet von aufsehenerregenden Bränden in einem Ersatzteillager (Köln), in einem Warenhaus (Wien), einem Verteilzentrum (Morrisville, USA) und einem Verkaufszentrum (Hofheim-Wallau). Untersuchungen ergaben, daß die Sprinkleranlagen nicht im eigentlichen Sinne versagt hatten, sondern daß Nutzungsänderungen vorgenommen oder die Sprinkleranlagen mangelhaft gewartet wurden. Dadurch wurden sehr hohe Schäden verursacht.

Ward /68/ gibt den Verlauf der Schadensentwicklung in Großbritannien wieder. Anhand mehrerer Tabellen und Bilder werden für Großbrände Daten zusammengestellt. Es werden die Kosten, die Lagergröße, die Lagergüter, die Lagerhöhen, die Brandursachen, die Branddauer, sowie, wenn vorhanden, die Anzahl der ausgelösten Sprinkler und deren Temperaturbereich angegeben. Zusätzlich werden 16 Schadenfälle mit und ohne Sprinklereinsatz genauer geschildert.

Morgan und Hansell /69/ berichten für die Jahre 1978/79 über Brände und den Einsatz von Sprinkleranlagen, wenn welche vorhanden waren und geben anhand von Tabellen die Brandflächen, die Brandquellen, die Tageszeiten und die Zahl der verunglückten Personen. Werden Sprinkler eingesetzt, so ist die Schadenfläche nur etwa halb so groß wie im ungesprinklerten Fall.

In /70/ wird ein Brand in einer Lagerhalle in Großbritannien beschrieben, dessen Sachschaden sich auf ca. 1 Mio DM belief, weil sowohl Brandabschnitte als auch eine Sprinkleranlage fehlte.

Anhand von zahlreichen Bränden wird in /71/ der Einsatz von Sprinkleranlagen aufgezeigt, die sowohl Sachwerte als auch Personen schützen. Zusätzlich wird anhand von 3 Brandfällen in Lagerhallen in Frankreich und Finnland der Brandablauf und die Leistung der Sprinkler aufgezeigt.

D'Hoop /72/ berichtet von einem Brand in den Markthallen von Paris, der mit wenigen Sprinklern zwar abgelöscht werden konnte,

aber bei dem bei Wiederaufflackern der Flammen kein Wasser mehr vorhanden war. Die inzwischen eingetroffene Feuerwehr konnte den Brand jedoch löschen.

## 5. STATISTIK UND SPRINKLER

Cote /73/ berichtet von einer von der NFPA erarbeiteten Statistik, nach der 1980 in den USA durch Brände 6505 Tote und 30200 Verletzte zu beklagen waren, davon allein 83,7% im Wohnbereich. Deshalb wurden in einem zweistöckigen Einfamilienwohnhaus 60 Tests durchgeführt, bei denen Rauchmelder (Ionisationsmelder, optischer Melder) und ein Sprinklertyp mit einer Auslösetemperatur von 140 °F installiert worden war. Es wird dabei von Messungen der Temperatur, der CO- und O<sub>2</sub>-Konzentration sowie der optischen Dichte berichtet.

Brückler /74/ berichtet über Brandmelde- und Löschanlagen, wobei Naßanlagen günstiger abschneiden als Trockenanlagen, da bei einem Brand weniger Sprinkler ansprechen und diese den Brand auch schneller unter Kontrolle halten. Dies geht aus Untersuchungen der NFPA aus 75000 Brandfällen in den Jahren 1925 bis 1964 hervor. Bei den Wärmemeldern wird der Differenzmelder als empfindlicher im Ansprechverhalten beschrieben als der Maximalmelder. Er wird z.B. in Küchen und Schweißereien eingesetzt. Flammenmelder werden in Hangars oder Dachstöcken verwendet. Weiterhin werden Rauchmelder (optische- und Ionisationsmelder) erwähnt.

In den Arbeiten von Briers /7/ und Richardson /75/ wurden in den Jahren 1925 bis 1970 von der NFPA in den USA 81425 Brände registriert. Diesbezüglich ist eine Tabelle von der NFPA, von New York City und von Australien aufgeführt. Von diesen Bränden werden von der NFPA 96,15 % als zufriedenstellend durch den Sprinklereinsatz gelöscht beurteilt. Von Australien werden von 5734 Bränden 99,75 %

in den Jahren 1886 bis 1968 und von 1968 bis 1973 99,36 % als zufriedenstellend beurteilt. Dabei lösten im Mittel 4 Sprinkler aus. Für den Bereich von New York City waren es für die Jahre 1969 bis 1978 bei 5709 Bränden 96,5 %. Daraus ist ersichtlich, daß die Zuverlässigkeit relativ gut ist. Zusätzlich werden in /7/ in Tabellen und Bildern die Schadenfälle, Sprinklereinsätze und Zeiten, in denen die meisten Brände entstanden sind, aufgezeigt. Ebenso werden Angaben über die Wasserverteilung, die Wasserversorgung, die Wasserbeaufschlagung und auch über die unterschiedlichen Lagerarten, die mit Sprinklern zu schützen sind, gemacht.

In einer Statistik werden nach Neuenschwander /13/ die von 1979 bis 1983 gemeldeten Fälle mit Sprinklereinsatz aufgeführt und die Zuverlässigkeit der Sprinkleranlagen mit etwa 98 % angegeben. In einem Bild werden die Ansprechzeiten von Sprinklern verdeutlicht.

Schubert /76/ erwähnt, daß in den letzten 10 Jahren in 98 % aller Fälle Brände durch eine Sprinkleranlage gelöscht oder kontrolliert werden konnten. Ursachen für ein Versagen liegen im baulichen und betriebstechnischen Bereich. Anhand eines Brandversuches wird das rechtzeitige Auslösen einer Sprinkleranlage erläutert. Zusätzlich werden in dieser Arbeit der Löschwasserbedarf sowie die Lagertypen aufgelistet.

In /77/ wird von einem 1982 in Finnland ausgebrochenen Brand berichtet, der dank der sofort in Funktion tretenden Sprinkleranlage und der Löschmannschaften beherrscht werden konnte. Zusätzlich wird erwähnt, daß 1981 in der Schweiz 536 Brände durch Brandstiftung verursacht wurden. Der Schaden betrug 25,2 Mio Franken. Die Brandstiftungen gingen 1983 auf 486 zurück, wobei noch ein Schaden von 22,2 Mio Franken verursacht wurde. Bei den 472 Bränden unbekannter Ursache sind wahrscheinlich auch einige auf Brandstiftung zurückzuführen.

Eine Statistik /78/ weist aus, daß bei 86 Bränden in den Jahren 1972 bis 1982 in den USA das Sprinklersystem verstopft oder das

Löschwasser eingefroren war. Dadurch entstand ein Schaden von ca. 120 Mio DM. In dieser Erhebung werden einige Beispiele mit den entsprechenden Angaben aufgeführt. Sprinkler-Trockenanlagen scheiden dabei am schlechtesten ab.

Marryatt /79/ beschreibt Brandursachen und ungewöhnliche Brände, Brandstiftungen, Brände mit brennbaren Flüssigkeiten, Sprinklereinsätze bei elektrischer Ausrüstung, Rauch- und Wärmeabzüge in Verbindung mit Sprinklern. Zusätzlich werden partieller Sprinklerschutz, Brände, bei denen sehr viele Sprinkler auslösten und bei denen der Sprinklereinsatz nicht zufriedenstellend war, erwähnt. Alle Bereiche sind durch ausführliche Statistiken belegt.

Smith geht in /80/ auf Statistiken über den Löscheinsatz und Löscherfolg bzw. die Anzahl von Sprinklern ein, die bei Bränden angesprochen haben, wobei jedoch die Auswertung verschiedener Institutionen aus mehreren Ländern nicht einheitlich erfolgte. In allen Statistiken ist erkennbar, daß der Löscherfolg umso größer war, je mehr Sprinkler auslösten, unabhängig vom Brandmaterial, vom System selbst oder auch von der Gebäudeart.

Marryatt /81/ berichtet von 8667 Bränden in Australien und Neuseeland, die in den Jahren 1886 bis 1984 11 Tote forderten. Er stellt fest, daß um das Jahr 1900 keinerlei Wert auf Brandschutzmaßnahmen gelegt wurde, wofür Beispiele genannt werden. Die größten Brände gab es bei nicht feuerbeständigen Konstruktionen. Die Gefahr besteht jedoch meistens in der Entwicklung von Brandgasen.

Maybee /82/ stellt die Zuverlässigkeit von Sprinkleranlagen der Energieversorgungsunternehmen in den USA für die Jahre 1952 bis 1980 dar. Der Verlust bei mit Sprinklern geschützten Gebäuden beträgt nur ein Zehntel derjenigen, die ungesprinklert sind. Personenschäden traten nicht ein. In 98 % der Brandfälle beherrschte oder löschte die Anlage den Brand, was in einem Drittel der Fälle

durch einen einzigen Sprinkler geschah. Der Ausfall an Sprinkleranlagen ist gering, wobei Einfrieren als häufigste Ursache genannt wird.

In /83/ wird für 1979 in den USA über eine Gesamtzahl von 721500 Bränden in kleinen Wohneinheiten mit 5765 Todesfällen und hohem Sachschaden berichtet. Dreiviertel aller Todesfälle waren in Ein- und Zweifamilienhäusern zu beklagen.

Auch Cote /34/ berichtet von einer Statistik für die Jahre 1977 bis 1981, bei der durch Brände 7115 Personen jährlich ums Leben kamen, die meisten davon in Wohnbereichen für ein bis zwei Familien.

In einer Studie /84/ werden für die Jahre 1970 bis 1978 Brände statistisch aufgeführt, wobei in Tabellenform die Häufigkeit, die Schadenhöhe, die Art der Zündung wie z.B. Zigaretten, elektrische Geräte usw. oder unbekannt und die Brandstoffe angegeben werden. Weiterhin werden Brände aufgeführt mit Angabe der Lagerung, der Raumgröße sowie der gesamten und der ausgelösten Sprinkleranzahl. In den meisten Fällen konnte der Brand mit 1 bis 2 Sprinklern beherrscht werden. Zusätzlich wird noch über die 40 größten Brände im Jahre 1978 mit jeweils einer Schadenhöhe von über 500000 Pfund berichtet.

Barris und Conte-Russian /85/ und in /86/ wird aufgrund von jährlich über 9000 Toten, über 100000 Verletzten und Schäden von über 3 Mrd Dollar durch Brände, berichtet. Es wurde überprüft, ob es sinnvoll erscheint, gewisse Erleichterungen beim Einbau von Sprinkleranlagen zu machen, was Empfehlungen bzw. Vorschriften betreffen und kam dabei zu dem Schluß, daß dieses nicht zu rechtfertigen ist. In einer Tabelle werden von verschiedenen Institutionen für die USA und Großbritannien für die Jahre 1964 bis 1978 unterschiedliche Werte für das zufriedenstellende Auslösen der Anlage bzw. Beherrschen der Brände angegeben. Außerdem wurde ohne nähere Angaben festgestellt, daß bei Bränden die Löschwirksamkeit

von Sprinkleranlagen abnahm. Es muß abgewogen werden, ob eine Brandschutzverminderung in Kauf genommen werden kann oder ob die Vorteile einer Sprinklerinstallation genutzt werden.

In /87/ werden anhand einer Grafik die durch Sprinkler verursachten Wasserschäden in den Jahren 1974 bis 1978 in den USA den Brandschäden gegenübergestellt, die eine Sprinkleranlage hätte vermeiden können. FM stellt in einer Studie über 5 Jahre fest, daß nur 14% der Schäden dem Wasser zuzuordnen sind. Beim Einsatz in Computerräumen wird z.B. empfohlen entweder Halon- oder Sprinkleranlagen einzusetzen, da zum Schutz derartiger Räume dafür noch kein besserer Ersatz vorhanden ist.

Eine Statistik in /88/ zeigt für die Jahre 1964 bis 1977 die Brandschadenfälle auf und gibt auch die Anzahl der ausgelösten Sprinkler an. Der jährlich entstandene Schaden wird auf über 10 Mrd DM geschätzt. Umso wichtiger ist es, die Vermögenswerte, aber auch vor allem die Gesundheit der Menschen zu schützen, was durch den Einbau von Sprinkleranlagen geschehen kann.

Karter /89/ gibt anhand von zahlreichen Tabellen und Bildern die bei Bränden in den USA entstandenen Schäden sowie die Zahl der Verletzten und Toten in den letzten Jahren an.

Maybee /90/ berichtet über eine Statistik von etwa 600 Brandfällen, bei denen die Sprinkler in 98,5% erfolgreich waren. Weiterhin wird festgestellt, daß Naßanlagen effektiver arbeiten, Spray-Sprinkler besser wirken als konventionelle Sprinkler und ein einzelner Sprinkler zum Löschen meistens schon ausreicht.

In /91/ werden die Anzahl der Brände in Frankreich bzw. Europa beim Comite Europeen des Assurances (CEA) verglichen und der Löscherfolg durch Sprinkler festgehalten. Bei diesen Bränden lag die Anzahl der ausgelösten Sprinkler zwischen einem und dreißig Sprinklern, wobei die Erfolgsquote in etwa gleich war.

## 6. STAPELLAGERUNG UND SPRINKLER

Beckingham /92/ weist auf die zunehmende Verwendung von Kunststoffmaterial, wie Polypropylen, für Kästen und Körbe hin, deren Brandrisiko zwar durch Zusätze gemindert, wodurch aber gleichzeitig die Festigkeit geschwächt wird. Zum Schutz bei der Lagerung von Plastikboxen wird eine Sprinkleranlage am geeignetsten angesehen. Bei einem Brand in einem Lager entsteht durch die Stapelung ein Kamineffekt. Dabei wird erwähnt, daß eine Verdoppelung der Stapelhöhe bei einem Brand einen Massenverlust des Brandstoffes um den Faktor 9 mit sich bringt.

Yao und Marsh /93/ berichten über die Entwicklung des ersten automatischen Sprinklers vor 110 Jahren von Parmelee und sprechen ein Konzept zur Sprinklerung großer Lagerhöhen und Kunststoffen an, wobei das schnelle Ansprechverhalten der Sprinkler und das Austreten von größeren Tropfen eine bedeutende Rolle spielen. Beim Einsatz von Großtropfensprinklern dringen Tropfen von 1 mm Durchmesser noch in eine Brandrauchsäule, die sich mit einer Geschwindigkeit von 6 m/s ausbreitet, Tropfen mit einem Durchmesser von 1,5 mm in eine mit 9 m/s und Tropfen mit einem Durchmesser von 2 mm in eine mit 12 m/s.

Watson /94/ beschreibt Untersuchungen an Gütern mit einer Stapelhöhe bis zu 7,7 m, wobei die Wirksamkeit von Normal- und Großtropfensprinklern miteinander verglichen werden. Je höher die Wasserbeaufschlagung ist und je größer die Tropfen sind, desto schneller wurde der Brand gelöscht. Bei den Versuchen wurde die beaufschlagte Fläche zwischen  $7,4 \text{ m}^2$  und  $11,2 \text{ m}^2$  und der Druck zwischen 1,8 bar und 10,5 bar variiert. Die Wasserbeaufschlagung erreichte Werte bis zu 24 mm/min.



Höynck /95/ beschreibt moderne Sprinkleranlagen für Hochregallager mit wasserführender Stahlkonstruktion. Bei diesem System können in Zwischenebenen Sprinkler so angeordnet werden, daß der Lagerbetrieb nicht beeinflußt wird, was bei einer normalen Konstruktion der Fall sein kann. Außerdem ist diese Konstruktion bereits ein Rohrsystem und daher gleichzeitig wassergekühlt.

In /96/ werden die Gefahren im Lagerbereich erläutert, angefangen mit dem Gebäude selbst, seinen Standort und seiner Bauweise. Weitere Einflußfaktoren sind z.B. die Raumhöhe, der Rauch- und Wärmeabzug, Brennbarkeit und Höhe der Lagergüter, die Brandbelastung sowie die Gangbreiten, um nur einige zu nennen. Automatische Brandmelde- und Löschanlagen werden als Sondermaßnahmen bezeichnet. Für Sprinkleranlagen wird gerade in Lagerhäusern eine sinnvolle Anwendung gesehen. Dabei werden Naßanlagen effektiver eingestuft als Trockenanlagen. Die Wasserbeaufschlagung wird je nach Brandgefährdung mit 2,5 mm/min bis zu 30 mm/min angegeben.

In einem weiteren Bericht /97/ wird auf die verschiedenen Stapelmöglichkeiten und -höhen hingewiesen, die in 4 Kategorien eingeteilt sind. Je nach Lagerung wird hier eine Wasserbeaufschlagung durch Sprinkler zwischen 7,5 mm/min und 30 mm/min genannt.

Friedman /98/ gibt für die Bekämpfung von Bränden zwei Möglichkeiten an, nämlich die Höhe des Lagergutes zu begrenzen oder Sprinkler in Zwischenebenen zu installieren. Ein weiteres Konzept wäre, schnell ansprechende Sprinkler zu verwenden. Dabei sind wesentliche Punkte für die Auswahl eines Sprinklers, das Ansprechverhalten, Brandcharakteristiken, geometrische Faktoren, die Wasserbeaufschlagung usw..

Domecq /99/ gibt für die Regallagerung Wasserbeaufschlagungen von 7,5 mm/min bis 30 mm/min an und weist auf die unterschiedlichen Sprinklertypen und Lagerhöhen hin.

Konventionelle Lagerhallen werden mit Gabelstaplern befahren, während bei größeren Höhen Hebevorrichtungen notwendig sind /100/. Dem im Brandfall entstehenden Schornsteineffekt sollte mit Sprinklern in verschiedenen Höhen entgegengewirkt werden.

In /101/ werden von FM und vom FOC Vorschriften miteinander verglichen. Die Lagergüter werden je nach Materialien in 4 Klassen eingeteilt. Beim FOC sind Kunststoffe eingeschlossen, während bei FM dafür 3 zusätzliche Klassen aufgeführt werden. Unterschiede ergeben sich vor allem durch die nicht immer im natürlichen Maßstab durchgeführten Versuche. Beide Organisationen unterscheiden Paletten- und Regallagerung. Zusätzlich werden noch einige Unterschiede im Hinblick auf die Lagerart und -höhe und deren Sprinklerung angegeben.

In /102/ werden auf der Grundlage von Untersuchungen des FOC und der NFPA Wasserbeaufschlagungen von 7,5 mm/min bis 30 mm/min für verschiedene Arten der Lagerung angegeben. Es wird z.B. beschrieben, daß es einfacher ist, aufeinander gestapelte Güter zu löschen als gefüllte Gitterboxen. Die gestapelten Güter fallen auseinander und Wasser kann überall eindringen. Außerdem werden für die Beurteilung unterschiedlicher Lagerhöhen unterschiedliche Gangbreiten und Flächen herangezogen. In bestimmten Fällen der Lagerung ist es günstiger Sprinkler nicht nur an der Decke, sondern auch innerhalb des Lagergutes anzuordnen.

Goring /103/ gibt 4 Lagerarten an, nämlich die Blocklagerung und die freistehende Lagerung, die entweder mit Pfosten-Paletten oder mit Lagergestellen aufgebaut ist. Eine Sprinkleranlage sollte der Lagerart angepaßt sein. Dabei müssen die Abstände, die Höhe, die Abschottung und anderes mehr beachtet werden. Ebenso wird auf den Wasserbedarf für die Sprinklerinstallation hingewiesen.

Reeves /104/ beschreibt allgemeine Kriterien, um die Sprinklersysteme in Lägern zu integrieren, wobei ein optimaler Schutz der Läger aber keine Beeinträchtigung der Funktion auftreten soll. Es

werden verschiedene Arten der Lagerhaltung aufgeführt und der Einbau von Sprinklern anhand von Bildern aufgezeigt.

In /105/ werden die unterschiedlichen Lagerarten, Lagerhöhen, Gangbreiten und Lagergüter angegeben, die mit automatischen Sprinkleranlagen geschützt werden. Oft werden jedoch die vorgegebenen Richtlinien nicht beachtet und z.B. höher gelagert.

In /106/ wird kurz über die Entwicklung eines schnell ansprechenden Sprinklersystems für Hochregalläger bis zu einer Höhe von 10,75 m berichtet. Normalerweise wird dabei ein Entstehungsbrand mit bis zu 3 Sprinklern in weniger als 3 min mit ca. 1600 l Wasser beherrscht.

## 7. LÜFTUNG UND SPRINKLER

Heselden /107/ beschreibt den Vorteil einer Sprinkleranlage in Verbindung mit einem Rauchabzugssystem damit, daß zwar bei effektivem Arbeiten der Sprinkler kein Rauchabzug erforderlich ist, daß aber bei unzureichender Wirkung ein Rauchabzugssystem z.B. den Einsatz der Feuerwehr begünstigt. Die Wechselwirkungen beider Systeme sind noch nicht vollständig vorhersehbar.

Waterman /108/ erwähnt, daß der Einfluß von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen auf Sprinkleranlagen bzw. umgekehrt trotz bei FM durchgeführter Untersuchungen nicht endgültig geklärt werden konnte. Es lagen z.B. nicht immer die gleichen Versuchsbedingungen zugrunde. Untersuchungen des Illinois Institute of Technology (IIT) und des Research Institute (RI) wurden in einem Gebäude von ca. 13 m x 7,5 m x 5 m durchgeführt. Dachentlüfter und 74 °C bzw. 111 °C Sprinkler waren im Einsatz. Als Brandquelle wurden Propanbrenner oder Holz-Paletten verwendet, wobei Messungen der O<sub>2</sub>-, CO-, CO<sub>2</sub>-Konzentrationen durchgeführt wurden. Als Ergebnis wurde

festgestellt, daß Rauch- und Wärmeabzugsanlagen nur geringen Einfluß auf die Wirksamkeit von Sprinkleranlagen besitzen und je nach Versuchsbedingung eine unterschiedliche Anzahl von Sprinklern öffnen.

Holt /109/ stellt in seinen Ausführungen fest, daß noch keine Sprinkleranlage versagte aufgrund einer übermäßigen Entlüftung. Es wird erwähnt, daß bei 70% der Brandfälle weniger als 4 und bei 90% weniger als 16 Sprinkler auslösten. Um den Schaden weiter einzugrenzen, sollten zusätzlich Entlüftungen eingebaut werden. Außerdem werden Untersuchungen anderer Autoren erwähnt, die ebenfalls für kombinierte Systeme von Sprinklern und Entlüftungen eintreten.

Northey /110/ gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile von Entlüftungen in Verbindung mit dem Einsatz einer Sprinkleranlage in einstöckigen Industriegebäuden. Je nachdem, ob die Lüftung vor oder nach dem Sprinklersystem anspricht, kann sie z.B. im Auslösen der Sprinkler verhindern oder den Brand besser erkennen lassen. Hier werden Untersuchungen erwähnt, wobei die Sprinklereigenschaften, der Wasserverbrauch, der Massenverlust und die Sichtbedingungen erfaßt wurden. Jedoch konnten keine eindeutigen Erkenntnisse gewonnen werden.

Heselden /111/ gibt grundsätzliche Betrachtungen über Sprinkler- und Lüftungssysteme in Industriegebäuden wieder und diskutiert mit Hilfe eines historischen Überblicks das Für und Wider derartiger Anlagen.

In /112/ wird über die Effektivität von Sprinklern bei Bränden berichtet, die über 90 % lag und Betrachtungen darüber angestellt, ob ein gleichzeitiger Rauchabzug sinnvoll ist.

## 8. ANZAHL DER AUSGELÖSTEN SPRINKLER

In /77/ wird anhand eines Brandes in einer Furnierfabrik in Finnland die gute Funktion der Sprinkleranlage, die kurz nach dem Brandausbruch ansprach, erwähnt. Insgesamt öffneten 17 Sprinkler. Außerdem wird das gute Zusammenwirken mit einem effektiven Rauch- und Wärmeabzug erwähnt.

Skingle /113/ gibt an, daß 70 % der Brände durch weniger als 4 und 90% der Brände durch weniger als 16 Sprinkler gelöscht oder beherrscht werden. Er berichtet über die Unwissenheit über das Funktionieren einer Sprinkleranlage, über das Bemalen von Sprinklern und deren dürftige Wartung. Ein Brand in Manchester kostete 10 Menschenleben, weil keine Sprinkleranlage installiert war.

Cresswell /114/ stellt fest, daß bei dreiviertel aller Brände weniger als 6 Sprinkler ansprechen und in 90 % der Fälle weniger als 18 Sprinkler. Als Mindestwasserbeaufschlagung werden 5 mm/min genannt. Weiterhin wird auf die Pumpeninstallation und Rohrleitungen für verschiedene Gefahrenklassen eingegangen.

Morgan und Chandler /115/ berichten über Untersuchungen von Bränden in Großbritannien aus den Jahren 1976 bis 1978. Daraus geht hervor, daß sowohl bei Einkaufszentren als auch bei Einzelgeschäften bei den meisten Brandfällen weniger als 5 Sprinkler auslösten. Zusätzlich wird bei den Bränden unterschieden, ob es sich um Brände in öffentlich zugänglichen Gebäuden handelte oder nicht und ob die Gebäude gesprinklert waren oder nicht.

Cluzel /116/ gibt für die Jahre 1971 bis 1981 in einer Tabelle die bei verschiedenen Brandrisiken ausgelöste Sprinkleranzahl an. In den meisten Fällen sprachen 1 bis 2 Sprinkler an.

Marryatt /79/ berichtet, daß bei kleineren Wohneinheiten, Ausbildungsstätten und Büros in 290 Fällen im Mittel 1,2 bis 2,1 Sprink-

ler ansprachen und nur einmal mehr als 10 Sprinkler auslösten, die den Brand entweder unter Kontrolle brachten oder löschten. Im Bereich Handel war der Sprinklereinsatz bei 888 Bränden in 99,72 % der Fälle erfolgreich, wobei im Mittel 2,3 Sprinkler öffneten. Im Bereich Industrie lösten im Mittel 6 Sprinkler aus. Innerhalb dieser Untersuchungen wurden zusätzlich zahlreiche Brände analysiert und anhand von Tabellen erläutert.

In /81/ erwähnt er 630 Brände vom 4. bis zum 50. Stockwerk, die im Mittel mit 1,19 Sprinklern gelöscht wurden. Es werden weitere Bereiche genannt, in denen Sprinkler gut funktionierten.

Rogers und Young /117/ führten zwei Experimente in einem Großraumbüro durch, um die Leistungsfähigkeit eines Sprinklersystems zu testen. Als Brandlast wurden Holzkrippen mit PU-Schaumaufgabe verwendet und als Wasserbeaufschlagung 2,25 mm/min pro Sprinkler eingesetzt. Im ersten Fall konnte der Brand mit 3 Sprinklern beherrscht werden, während im zweiten Fall der Brand außer Kontrolle geriet und mit mehr Wasser gelöscht werden mußte. In Tabellen und Bildern wird der Aufbau, die Meßstellen und weitere Ergebnisse aufgezeigt.

## 9. BRANDVERSUCHE UND SPRINKLEREINSATZ

In /118/ werden die Probleme des Löscheinsatzes in Lägern im Brandfall angesprochen, wobei je nach Lagergut und -höhe Sprinklertypen mit unterschiedlichem Ansprechverhalten und Wasserbeaufschlagung eingesetzt werden können. Entsprechende Untersuchungen wurden bei FM durchgeführt.

In /12/ wird von Versuchen berichtet, bei denen der Sprinkler 1,50 m über einer brennbaren Flüssigkeiten angebracht ist. Dabei erreichen bei einem Druck von 0,7 bar 65 % des Wassers den Brand-

herd, während es bei 1,75 bar nur noch 52 % sind. Bei einer Höhe von 8,79 m erreichen bei den beiden Drücken 38 % bzw. 32 % des Wassers die Brandstelle. Daraus kann gefolgert werden, daß ein höherer Druck zwar den Volumenstrom vergrößert, aber auch die Zerstäubung in kleinere Tropfen fördert und dadurch die Flugweite verringert. Düsen mit einem größeren Öffnungsdurchmesser erfordern bei einem höheren Volumenstrom einen kleineren Druck.

Nach Heselden /107/ hat ein Sprinkler die Aufgabe, den Brand zu löschen bzw. die Belegschaft, die Feuerwehr und das Material zu schützen. Er berichtet über Untersuchungen mit 2-lagigen Kartons im Lagerbereich, einer Brandzeit von 15 min und einer Versuchsdauer von 53 min. Dabei wurden die Temperatur, die Sauerstoffkonzentration, die optische Rauchdichte und der Brandstoffverbrauch bestimmt. Diese in einem einstöckigen Gebäude mit Entlüftungssystem und einer Wasserbeaufschlagung von 11 mm/min durchgeführten Versuche mit insgesamt 50 Sprinklern hatten zum Ergebnis, daß die Lüftung keinen Einfluß auf das Ansprechverhalten der Sprinkler und auf den Wasserverbrauch hatte. Die Erhöhung der Wasserbeaufschlagung auf 18 mm/min hatte eine Reduzierung der Anzahl der ausgelösten Sprinkler zur Folge und die Lüftungsanlage sprach nicht an.

Thompson /9/ beschreibt Testreihen mit den Brandstoffen Benzin und Holz. Die Ergebnisse wie z.B. die Zahl der geöffneten Sprinkler, der Wasserverbrauch sowie die Deckentemperatur werden neben dem Sprinklertyp aufgeführt. In weiteren Abschnitten wird auf die Arbeitsweise, auf die Ansprechzeiten, auf den Einfluß der Deckenhöhe, auf das Durchdringvermögen und auf den Wasserdruck beim Einsatz der Sprinkler eingegangen.

Johnson /119/ berichtet über Versuche mit gestapelten Gütern und dem Einsatz von Sprinklern. Beim Löschvorgang lag der Wasserausstoß zwischen ca. 15 mm/min und ca. 25 mm/min. Bei den Untersuchungen öffneten 2 bis 13 Sprinkler, je nach Anzahl und Höhe der gestapelten Karton oder Paletten mit ihrem unterschiedlichen

Inhalt. Als Ergebnis konnte ein sehr wirksames Löschen von Plastikartikeln mit automatischen Sprinklern festgestellt werden, wobei der Abstand vom Lagergut zum Sprinkler beachtet werden muß. Ein Zusammenstürzen von Stapeln trägt zur Förderung der Löschwirkung bei. Dies bedeutet auch, daß bei zu erwartenden Bränden größere Düsen eingesetzt werden sollen, da zu Beginn eines Brandes nicht an Wasser gespart werden sollte.

In einem Bericht /120/ wird darauf hingewiesen, daß sich allgemein bei der Lagerung die Stapelhöhen erhöht haben. Es treten vermehrt synthetische Produkte auf, wodurch sich die Sprinklereinsätze erhöht haben. Sprinkler haben die Aufgabe, die Ausbreitung und die Intensität eines Brandes möglichst zu verhindern und die Umgebung zu benetzen. Anhand einiger Tests mit Sprinklern kann geschlossen werden, daß kleine Öffnungen mit kleinen Tropfen und einer Ausstoßrate von ca. 25 mm/min nicht ausreichen, um einen Entstehungsbrand zu löschen, so daß insgesamt 45 Sprinkler öffneten und das Feuer unkontrolliert weiterbrannte. Größere Öffnungen mit großen Tropfen ermöglichten eine Reduzierung auf 18 geöffnete Sprinkler. Eine zusätzliche Erhöhung des Druckes von 2,0 auf 3,5 bar genügte, damit nur noch 4 Sprinkler öffneten.

Ohta und Kimura /121/ erwähnen, daß Gemische von Alkohol und Wasser (unter 59 Vol.-%) nicht als gefährliche Lagergüter eingestuft und in Fässern in Regallägern gestapelt werden. Daher wurden Untersuchungen durchgeführt, die den Einsatz von Sprinklern bei derartigen Gemischen festhalten, wie z.B. die Beaufschlagung, die Höhe der Sprinkler und die Löschzeit. Als Brandgut diente Äthanol und Methanol in einer Wanne mit einer Grundfläche von max. 8,8 m<sup>2</sup>. Je geringer der Abstand zwischen Brandherd und Sprinkler war, desto geringer war auch die Ansprechzeit. Je größer die Wasserbeaufschlagung war, desto kürzer war die Löschzeit.

Cooper /122/ beschreibt Versuche mit einer Brandlast von 1,5 kW bis 4 kW in einem mit Sprinklern geschützten Treppenhaus, wobei zwei Sprinklertypen eingesetzt wurden. Dabei wurde festgestellt,



daß kleine Tropfen zwar besser kühlen, aber von der heißen Strömung mitgerissen werden, so daß sich der bessere Kühleffekt auf den Brandherd nicht auswirken kann. Zusätzlich werden Abmessungen beim Einbau von Sprinklern in Treppenhäuser angegeben.

In /123/ werden Untersuchungen beschrieben, die das Ansprechverhalten von 5 verschiedenen Sprinklertypen auf Strahlungswärme bei unterschiedlichen Temperaturverhältnissen aufzeigen. Die Strahlungswärme betrug zwischen 2,4 und 17,2 kW/m<sup>2</sup>. Es wurde festgestellt, daß geschwärzte Glasfäßchen schneller auslösten als normale.

Bei Untersuchungen von FM /124/ mit Standard- und Großtropfensprinklern an 6 m hohen kunststoffbeladenen Paletten wurde festgestellt, daß mit einer Wasserbeaufschlagung von 24,5 mm/min und 4 auslösenden Standard-Sprinklern der Brand nicht unter Kontrolle gebracht werden konnte, so daß schließlich 45 Sprinkler ansprachen. Demgegenüber konnte der Brand mit 18 bzw. 4 Großtropfensprinklern bei 2 bar bzw. 3,5 bar rasch unter Kontrolle gebracht werden, da genügend Wasser nach unten gelangte, d.h. Sprinkler mit größeren Wassertropfen sind wirksamer.

Nicholls /125/ erwähnt Ergebnisse von Versuchen im Großmaßstab, bei denen die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit von der Fläche gemessen wurde. Als Brandstoff wurden Holzkrippen, frei stehende Kartons mit Holzwohle, 2-lagige Kartons auf Paletten und frei stehende Kartons mit Produkten aus Plastikmaterial als Inhalt aufgeführt und dabei festgestellt, daß mit Zunahme der gesprinklerten Fläche die Wasserbeaufschlagung bei den genannten Brandstoffen abnimmt.

Versuche von Young /15/ in einem Raum von 3 x 3 m<sup>2</sup> Fläche und 4,8 m Deckenhöhe und 16 unterhalb der Decke angebrachten Sprinkler zeigten, daß beim Einsatz von normalen Sprinklern der Wasserbedarf 70 % höher war als bei selbstschließenden Sprinklern, da diese Sprinkler beim Abkühlen wieder schließen.

Suchomel und Castino /126/ erwähnen 200 nicht näher beschriebene Testversuche im Großmaßstab. Sowohl Holzkrippen als auch ein Gasbrenner dienten als Brandquelle. Dabei wurden Auslösezeiten von Seitenwand- und Normalsprinklern verglichen und Unterschiede festgehalten, wenn einmal die Türen offen oder ein andermal geschlossen waren. Als Vorteil für seitlich angebrachte Sprinkler wird angesehen, daß sie besser für Einzelobjekte in großen Räumen eingesetzt werden können.

Brückler /74/ berichtet über in England durchgeführte Testbrände mit aufgeschichteten Holzstäben als Brandgut und Methylalkohol als Brandquelle. Im Ergebnis wird auf den enormen Einfluß der Raumhöhe auf das Ansprechverhalten von thermischen Systemen hingewiesen.

In der Arbeit /64/ werden 3 Tests beschrieben, bei denen das Brandgut in L-Form (14 m x 6 m) angeordnet war und die Wasserbeaufschlagung zwischen 2,3 mm/min und 10 mm/min lag. Während der Tests wurden die Temperatur und die CO-Konzentration gemessen und besonderes Augenmerk auf die Bewegung der Rauchsicht gelegt.

Dean /127/ beschreibt ebenfalls Untersuchungen von Plastikmaterialien, die in Kartons lagerförmig gestapelt waren. Der Einsatz von Sprinklern erfolgte nach ca. 6 min bis zu ca. 95 min. Es wurde festgestellt, daß bei Plastikmaterialien die Flammen lang anhalten und beim Unterbrechen des Löschvorganges erneut auftreten. Es konnte dabei keine Korrelation zwischen Klein- und Großversuchen ermittelt werden.

In /128/ wird der Großbrand im Lager von Ford erwähnt und als Gründe für den riesigen Schaden eine zu hohe Lagerung, blockierte Gänge und zu wenige Sprinkler genannt. FM hat 1979 in diesem Zusammenhang Versuche unternommen, durch Tests festzustellen, ob sich die Lagerhaltung seit 1969 geändert hat und mußte feststellen, daß trotz der Installation von 1000 Sprinklern der Brandversuch außer Kontrolle geriet, wenn die Lagerstapel hoch waren und

es in den Gängen brannte. Weitere Versuche mit verschiedenen Lagerstoffen waren erfolgreich, wie z.B. bei Bränden von Aerosolen auf Wasserbasis und Nicht-Aerosolen auf Alkoholbasis.

Delichatios /129/ führte bei FM Untersuchungen im Modell- und Großmaßstab durch, die sowohl das Abbrandverhalten von gestapelten Gütern als auch den Löscheinsatz mit Sprinklern beinhalten. Dabei wurde festgestellt, daß das Ansprechverhalten der Sprinkler nicht immer der Ausbreitung des Brandes entspricht. Bei sensibleren Sprinklern konnte der Brand schneller bekämpft werden, d.h. der Schutz ist besser. Besonders wichtig ist die Zeit bis zum Öffnen des ersten Sprinklers, da dann sofort eine weitere Flammenausbreitung verhindert wird.

Von Young und Nash /130/ wurden bei FM über 100 Großversuche durchgeführt, wobei gestapelte Güter mit verschiedenen Sprinklern abgelöscht wurden. Es wurde festgestellt, daß sich bei höherer Wasserbeaufschlagung die Anzahl der auslösenden Sprinkler und der auftretende Wasserschaden verringert. Parameter waren z.B. die Gangbreite zwischen den Stapeln, die Auslösetemperaturen und die Wasserbeaufschlagung. Zusätzlich werden ausführliche Angaben über die gestapelten Stoffe gemacht und der Vorteil des Zonensystems für Sprinkler bei größeren Lagerhöhen erwähnt. Die Wasserbeaufschlagung sollte zwischen 7,5 und 30 mm/min betragen.

In /131/ und bei Baumann /132/ wird ein Überblick über die im Auftrag des CEA in Cardington, England, durchgeführten Versuche mit Deckensprinklern an in lagermäßiger Anordnung gestapelten brennbaren Gütern bis zu einer Höhe von 5,20 m, gegeben, die zum Ziel hatten, die Leistungsanforderungen für den Schutz von Lagerhäusern samt Inhalt zu überprüfen. In zahlreichen Tabellen und Bildern werden die Versuchsparameter und die Ergebnisse festgehalten, wie z.B. der Sprinklertyp, die Auslösetemperatur, die Wasserbeaufschlagung, die Anzahl der Sprinkler, die ausgelöst hat, die Art der Lagergüter und weitere Temperaturen. Konventionelle Deckensprinkler mit Auslösetemperaturen von 68 °C und 141 °C sind z.B.

geeignet zur Löschung bestimmter Läger. Eine erhöhte Wasserbeaufschlagung hat zur Folge, daß weniger Sprinkler öffnen. Zusätzlich wird auf die unterschiedlichen Ergebnisse von konventionellen Sprinkler und Spraysprinklern hingewiesen. Es zeigte sich dabei, daß die bestehenden Sprinklervorschriften ihre Gültigkeit behalten können. Es wurde außerdem festgestellt, daß bei Blocklagerung der Brand weniger weitergeleitet werden kann als bei Gitterboxen oder Paletten mit Rahmen, bei denen viel Freiraum vorhanden sein kann.

In /133/ wird von Großversuchen berichtet, die in Großbritannien mit 8 verschiedenen in Kartons gelagerten Plastikmaterialien durchgeführt wurden. Bei 8 Tests lösten zwischen 2 und 13 Sprinkler aus. Es wurde festgestellt, daß Sprinkler für die Bekämpfung derartiger Brände geeignet sind, wenn gleichzeitig die Stapelhöhen niedrig gehalten werden und die Stapel in sich zusammenfallen können. Auch Büssem /52/ erwähnt diese Serienversuche.

In /134/ werden Untersuchungen mit automatischen Sprinklern beschrieben, die in verschiedenen Deckenabständen angebracht waren und durch unterschiedliche Holzbrände (Krippen) ausgelöst wurden, d.h. die Wärmebelastung wurde variiert. Eine höhere Wärmebelastung bedeutet eine höhere Temperatur und dies wiederum bei gleicher Sprinklerhöhe ein schnelleres Auslösen der Sprinkler. Anhand zahlreicher Bilder und Tabellen sind die Ergebnisse erläutert.

In /135,136/ werden ausgehend von einem Großbrand in einer Lagerhalle in England mit einem Schaden von ca. 600 Mio DM Untersuchungen mit gelagerten Stoffen vorgenommen, wobei Kartons gestapelt, angezündet und mit Sprinklern gelöscht wurden. Anhand von Tabellen und Bildern werden die Versuche beschrieben. Es werden die jeweilige Zündposition, Auslösezeit der Sprinkler, der Löscherfolg und der Wasserverbrauch angegeben, um nur die wichtigsten zu nennen. Ein Ergebnis war, daß mit einem schnell ansprechenden Sprinkler im Gegensatz zu einem konventionellen Sprinkler der Löscheinsatz unabhängig vom Brandverlauf zufriedenstellend verlief. Die Lagerhöhe betrug bei diesen Untersuchungen bis zu 10,75 m.

Nach Nash /137/ müßte ein Brand im Idealfall innerhalb von 2 min entdeckt und sofort gelöscht werden. Bei der Lagerung sollte ein Brand innerhalb eines Palettenfaches nach spätestens 8 min gelöscht sein. Bei Untersuchungen in Borehamwood an Hochregallagern sprach der erste Brandmelder bereits nach 1 min und 20 s an und der erste Sprinkler nach ca. 6 min. Zusätzlich werden Versuche an Regallagern in Cardington erwähnt. Die installierten Brandmeldesysteme sprachen zwischen 1 min und 7 min an, der erste Sprinkler zwischen 2,5 min und 6,5 min. Die eingesetzten Löschwassermengen lagen zwischen 3600 l und 10000 l. Die Wasserzufuhr wurde jeweils abgestellt, wenn der Brand unter Kontrolle war. Abschließend wird festgestellt, daß eine Sprinkleranlage für das Löschen bei Regallagerung geeignet ist.

Rogers und Young /138/ beschreiben Untersuchungen an Hochregallagern, wobei sie in Bezug auf den Sprinklereinsatz feststellten, daß bei einer Flammenhöhe von weniger als 3 m in vertikaler Richtung der Brand kontrolliert bzw. gelöscht werden konnte.

In einer umfangreichen Arbeit /139/ mit zahlreichen Tabellen und Bildern werden Angaben über Untersuchungen von gelagerten Autoreifen gemacht, wobei sowohl deren Brandverhalten bestimmt als auch der Löscheinsatz beurteilt wurde. Neben verschiedenen Sprinklerauslösetemperaturen von 68 °C bis 140 °C wurde auch die Wasserbeaufschlagung von 12,5 mm/min bis 27,5 mm/min variiert. Während der Versuche wurde die Chronologie der Ereignisse genau festgehalten.

Dean /140/ berichtet ausführlich mit Tabellen und Bildern über Testversuche an Lagerstapeln. Neben Temperaturmessungen und für die Brandausbreitung wichtigen Daten wurde jeweils der Sprinklertyp, die Auslösetemperatur, die Wasserbeaufschlagung und die Anzahl der geöffneten Sprinkler angegeben.

## 10. BESTIMMUNG VON EINFLUßFAKTOREN BEI SPRINKLERN

Nach Schuster /14/ hatten Untersuchungen bei FM zum Ziel, mit 4 Sprinklern oder weniger einen Brand zu löschen, was teilweise gelang. Zusätzlich wurden der RTI-Wert (Response Time Index), der RDD-Wert (Required Delivered Density, erforderliche Wasserbeaufschlagung) und der ADD-Wert (Actual Delivered Density, tatsächliche Wasserbeaufschlagung) durch zahlreiche Versuche ermittelt. Dadurch kann für bestimmte Lagerhöhen die Wasserbeaufschlagung angegeben werden. Unter den vorliegenden Prototypen wurde schließlich ein Sprinkler mit einem K-Faktor (Düsenkonstante) von 195 ausgewählt. In diesem Zusammenhang wird 1986 mit der Veröffentlichung von Richtlinien gerechnet.

Aufgrund der zunehmenden Lagerung von Materialien aus Plastik werden von FM /141/ Untersuchungen vorgenommen mit dem Ziel, ein schnelleres Ansprechen der Sprinkler zu testen, da bei 74 % Standard-Sprinklern die Umgebung z.B. bis auf 538 °C erwärmt werden muß, ehe der Sprinkler auslöst. Bei FM wurde der RTI-Wert entwickelt, der ein Maß für die Empfindlichkeit des Sprinklers darstellt. Auch Yao und Marsh /93/ berichten darüber. Je kleiner dieser Wert ist, desto empfindlicher ist der Sprinkler, wie es z.B. bei Sprinklern in Wohngebäuden sein sollte.

Watson /94/ beschreibt ebenfalls diese Versuche für die Bestimmung des RTI-Wertes, die mit Hilfe eines Heißluftstromes und einer Zeitmessung durchgeführt werden. Je kleiner dieser RTI-Wert ist, desto schneller spricht ein Sprinkler an.

Zusätzlich werden von FM zwei Faktoren eingeführt, nämlich die effektive Wasserbeaufschlagung (ADD-Wert) als eine Funktion zwischen der Geschwindigkeit der Rauchgassäule und der Tropfengröße und auch der erforderlichen Wasserbeaufschlagung (RDD-Wert), die von der Brandgröße und der Wassermenge abhängt. Dies bedeutet, je

schneller der Sprinkler anspricht (RTI-Wert ist klein), desto niedriger ist der RDD-Wert und desto höher ist der ADD-Wert. Auf diese Einflußfaktoren wird auch in /13/ eingegangen.

Watson beschreibt auch in /142/ die Tests, um den RTI-Wert zu bestimmen. Die Empfindlichkeit eines Sprinklers wird größer, wenn der RTI-Wert kleiner wird. Außerdem wird über die Notwendigkeit berichtet, bei Wohneinheiten einen kleinen RTI-Wert zu erhalten, damit ein Brand schnell gelöscht werden kann. FM hat dazu in den Jahren 1976 bis 1980 zahlreiche Versuche in Wohneinheiten durchgeführt. An Hochregallagern wurden Untersuchungen mit Großtropfensprinklern mit 2 Auslösetemperaturen durchgeführt, die zeigten, daß bei größerer Empfindlichkeit der Wasserverbrauch abnimmt.

Friedman /143/ stellt ebenso die Abhängigkeit der Ansprechzeiten eines Sprinklers von der Temperatur der Brandgase und der Auslösetemperatur in einer mathematischen Funktion dar. Dabei hängt der RTI-Wert von den physikalischen Eigenschaften des Sprinklerauslöseelements ab. Je größer der RTI-Wert ist, desto größer ist die Ansprechzeit. In diesem Zusammenhang wird von Untersuchungen bei FM berichtet. Es wird gefordert, daß der RTI-Wert bei industriellen Anlagen zwischen 110 und 380, bei Geschäftshäusern bei 27 und bei Labors bei einem Wert kleiner als 27 liegt. Hierzu wurden 4 Testreihen untersucht, bei denen Kartons mit Plastikmaterial auf Paletten gelagert und gesprinklert wurde. Beim ersten Test mit einem 140 °C-Sprinkler (RTI = 169) wurde der Brand mit 5300 l/min Wasser gelöscht. Bei diesen Versuchen war 24 % des Materials verbrannt. Beim zweiten Test (RTI = 27) mit 13 s schnellerer Auslösung wurde der Brand mit 4450 l/min gelöscht und nur 9 % des Gutes waren verbrannt. Beim dritten Test mit einem 73 °C-Sprinkler (RTI = 169) wurde der Brand mit 3880 l/min gelöscht und 7 % waren verbrannt. Beim vierten Test (RTI = 27) und 27 s schnellerer Auslösung als beim dritten Test wurden 950 l/min benötigt und nur 3 % waren verbrannt. Dies bedeutet, daß Sprinkler schnell auslösen müssen und der RTI-Wert klein sein muß, damit der Brand schnell gelöscht werden kann.

Evans /144/ berichtet über die Anwendung von Sprinklern mit verschiedenen RTI-Werten, d.h. Sprinkleransprechzeiten. Die Sprinklereinsätze erfolgten in Räumen mit einer Ausdehnung von  $23,8 \text{ m}^2$  bis  $24300 \text{ m}^2$ . Es wurde festgestellt, daß sich bei einem Brand immer zuerst eine Rauchsicht unterhalb der Decke bildete, bevor der Sprinkler auslöste. Bei den Untersuchungen wurden zusätzlich Temperaturen und Gasgeschwindigkeiten gemessen und miteinander korreliert.

In /145/ wird festgestellt, daß bei Großtropfensprinklern weniger Sprinkler auslösen, aber mehr Wasser den Brandherd erreicht als bei Standard-Sprinklern. Sprinkler werden oft in Tests statisch umströmt, was nicht den realen Brandbedingungen entspricht. Bei diesen Versuchen wird der RTI-Wert mit der Zeit und der Gasgeschwindigkeit am Sprinkler bestimmt.

In /146/ wurde eine Serie von Brandversuchen an einer bis zu  $7,6 \text{ m}$  hohen Lagerung durchgeführt. Der Abstand der Düse war  $0,3 \text{ m}$  über dem Lagergut. Ziel war es, die RDD-Werte für unterschiedliche Brandbelastungen zu bestimmen. Sie lagen zwischen  $14,3 \text{ mm/min}$  und  $26,5 \text{ mm/min}$ .

In /147/ wird eine Testapparatur vorgestellt, mit deren Hilfe der ADD-Wert gemessen werden kann. Das Wasser wird dabei in mehreren auf einer vorgegebenen Fläche angeordneten Wannen aufgefangen.

In /148/ werden Angaben zur Beurteilung von Sprinklern gemacht. Die zugehörigen Werte sind RTI, RDD, ADD. Zusätzlich werden Untersuchungen beschrieben, die 3 Sprinklerprototypen im Einsatz zeigen, wobei die Zündquelle örtlich variiert wurde und die Lagerstapel verschieden hoch waren.

Im einer Arbeit /120/ wird auf die Wichtigkeit der Ansprechtemperatur des Glasfäßchens bzw. der Metallverbindung bei Sprinklern



hingewiesen. Die Empfindlichkeit liegt derzeit bei RTI-Werten zwischen 225 und 700. Für kleine Wohneinheiten (Residential) wird ein RTI-Wert von 50 genannt. In diesem Zusammenhang werden noch zwei weitere Beurteilungsfaktoren, nämlich der RDD-Wert und der ADD-Wert, genannt. Diese 3 bilden Kontrollfaktoren, die die Zeitabhängigkeit einer frühen Brandbekämpfung definieren.

Auch Yao /149/ gibt die Meßverfahren zum Feststellen des RTI-, des RDD- und des ADD-Wertes an und stellt einen schnell ansprechenden Sprinklertyp vor. Zusätzlich werden die Wasserbeaufschlagung, Lager- und Deckenhöhe sowie die ausgelöste Sprinkleranzahl angegeben.

#### 11. SPRINKLER IN KLEINEN WOHNEINHEITEN

Hodnett gibt in einem Buch /5/ alle gültigen NFPA-Richtlinien über Sprinklersysteme in Ein- und Zweifamilienhäusern wieder.

Fleming /16/ beschreibt Versuche mit unterschiedlichen Brandursachen in Küchen, Wohn- und Schlafzimmern. Der Löscheinsatz wurde mit mehreren Sprinklertypen durchgeführt mit dem Ergebnis, daß der Brand jeweils kurze Zeit nach dem Auslösen eines Sprinklers gelöscht war.

King /150/ berichtet von einer Vorschrift in einem Ort in Texas, die für Gebäude mit mehr als 3 Stockwerken Sprinkleranlagen fordert. Dies zeigt, daß trotz zusätzlicher Kosten auch die Sicherheitsbelange nicht vernachlässigt werden.

Pietrzak und Patterson /151/ stellen Überlegungen zur Brandbekämpfung an und vergleichen für Brände in Wohnbereichen den Wasserverbrauch über der vorhandenen Fläche. Zusätzlich wird eine Grenzkurve angegeben, die die Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit des

Tropfendurchmessers angibt. Daraus ist ersichtlich, mit welchem Tropfendurchmesser eine Brandbekämpfung möglich ist oder nicht sinnvoll erscheint.

Cluzel /116/ gibt als Parameter für das Auslösen eines Sprinklers die Temperatur, die räumlichen Verhältnisse und die Flammeneigenschaften. Es wird erwähnt, daß schnell ansprechende Sprinkler für den Personenschutz ebenso geeignet sind wie für den Bereich von Wohnhäusern.

Nash und Young /10/ berichten u.a. über Testversuche und die Aufstellung von Richtlinien für Sprinkler, deren Installation und über die Wasservorräte, in kleineren Wohneinheiten. Es wird außerdem ein Ausblick über die Sprinkler der Zukunft vermittelt.

Bei Marryatt /79/ werden als sehr stark brandgefährdete Bereiche Kranken- und Hotelzimmer genannt. Es werden Ursachen aufgeführt, von denen ein Brand ausgehen kann, wie z.B. von Zigaretten, von Kerzenwachs, von elektrischen Geräten oder auch von den Personen selbst, die irgendwelche Dinge anzünden.

Boughen /12/ gibt für die in Wohnräumen installierten Sprinklersysteme eine 5mal so hohe notwendige Auslöseempfindlichkeit an wie die von Industriesprinklern. Beim Löscheinsatz besitzen diese Sprinkler auch niedrigere Drücke und Volumenströme.

In Wohngebäuden ist nach Geoghegan /152/ ein schnelles Ansprechen der Sprinklerköpfe notwendig, da in kleineren Räumen die Temperatur und die Kohlenmonoxidkonzentration schnell ansteigen. Es wird jedoch vor allem über einen Sprinkler berichtet, der von den Battelle Columbus Laboratories entwickelt wurde und dessen Auslöseelement aus einer speziellen Legierung besteht, die es ermöglicht, bei Erkalten des Sprinklers diesen wieder über ein Ventil zu verschließen bzw. den Wasseraustritt zu drosseln.

Evans /153/ berichtet über Versuche mit und ohne Sprinkleranlage in einem Fertighaus, um die Brandauswirkungen vergleichen zu können. Zusätzlich wurden die örtlichen Verhältnisse, Temperaturbereiche und Auslösezeiten festgestellt. Dabei wurde ein Sprinkler verwendet, der 5mal so schnell anspricht als herkömmliche und zusätzlich die Umgebung stärker besprüht. Bei den Untersuchungen wurden die NFPA Richtlinien zugrunde gelegt. Als Brandquelle diente ein mit Zeitungspapier gefüllter Plastikpapierkorb. Die Ansprechzeiten und die Löschzeiten im Wohn- bzw. im Schlafzimmerbereich waren sehr unterschiedlich und wurden mit 430 s und 120 s bzw. mit 39 s und 5 s angegeben.

Kung /154/ testete in einem Raum die Abkühlung der Verbrennungsprodukte und des Raumes durch einen Wasserschleier. Der Brand wurde dabei durch brennendes Hexan in einer ca.  $0,8 \text{ m}^2$  großen Wanne simuliert. Parameter sind die Wasseraustrittsmenge bzw. der Düsendurchmesser, der zwischen 4 und 11 mm lag. Während des Versuchs wurden der Leitungsdruck, die Temperaturen an 68 Meßstellen, die Strömungsgeschwindigkeit der Rauchgase durch das Fenster sowie die  $\text{CO}$ -,  $\text{CO}_2$ -,  $\text{O}_2$ -Konzentration und die Wärmestrahlung am Fenster gemessen. Der Sprinkler wurde nach einer vorgewählten Verzögerungszeit ausgelöst. Die Tropfengröße nahm mit abnehmendem Düsendurchmesser ab. Als wichtigste Größen für das Kühlen bzw. Löschen eines Brandes durch Sprühnebel werden der Wasserstrom, die mittlere Tropfengröße und die Energiefreisetzungsrates genannt.

Maier /155/ beschreibt Versuche, die in einem Zimmer mit einem aus brennbaren Materialien bestehenden Bett durchgeführt wurden. Der Brand wurde mit Zeitungen gezündet. Es wurde festgestellt, daß der Sprinkler mit der jeweils niedrigeren Auslösetemperatur um 2,5 min früher ansprach. In Schlafräumen sind Rauchdetektoren und schnell auslösende Sprinkler notwendig.

Basierend auf einer Schadenstatistik werden in /83/ Untersuchungen mit Sprinklern in Wohnungen durchgeführt und festgestellt, daß das

Auslösen eines Sprinklers nach 1 bis 2 Minuten erfolgte und dadurch auch die Temperatur und die CO-Konzentration, bei denen ein Überleben noch möglich ist, nicht überschritten wurde. Die erforderliche Wassermenge war geringer als die geforderte. Bei höherer Brandbelastung im Raum oder bei geöffneten Fenstern und Türen war die Brandentwicklung sehr viel stärker. Als Ziel wird gesehen, Wohnungsbrände mit einem oder zwei Sprinkler löschen zu können.

Moore /156/ beschreibt den letzten von 60 Tests mit den 5mal schneller ansprechenden Sprinklern für Wohnbereiche, hier in einem Zweifamilienwohnhaus. Während der Versuche wurden die Temperatur an 29 Meßstellen, die CO-Konzentration an 6, die Rauchdichte an 5, die Luftgeschwindigkeit an 3 und die O<sub>2</sub>-Konzentration an einer Stelle gemessen. Der Versuchsraum wurde als Wohnzimmer eingerichtet und in diesem Fall mit Papier im Papierkorb gezündet. In anderen Fällen wurden bereits Zigaretten, Körbe, Kerzen oder Elektrogeräte als Brandquelle benutzt. Die Ergebnisse liegen in diesem Bericht noch nicht vor.

In einer kurzen Arbeit /157/ wird über Versuche mit Sprinkleranlagen in Wohnungen berichtet, wobei die Temperatur, die CO-Konzentration, das Ansprechen der Sprinkler und der entstandene Schaden festgestellt und in Tabellenform aufgelistet wurde. Als Zündquelle dienten ein Papierkorb, Fett in der Pfanne, eine defekte Kaffeemaschine oder ein brennender Tannenbaum.

Maguire /158/ führt eine Statistik an, bei der 75 % aller Personen in Wohnungen zu Schaden kommen. Daher wurde in Los Angeles Sprinkleranlagen für den Wohnbereich getestet. Mit Hilfe eines Plastikpapierkorbes wurde eine Zimmereinrichtung in Brand gesetzt. Aufgrund der gemessenen Temperatur und CO-Konzentration muß ein Sprinkler für den Wohnbereich mindestens 5mal schneller auslösen, um Personen eine Überlebenschance zu geben. Weitere Tests mit einem neu entwickelten Sprinkler waren zufriedenstellend.

Jackson /159/ schildert die Anstrengungen, die die Versicherungen unternehmen, um auch in Wohnbereichen Sprinkleranlagen zu installieren. Als Beispiel wird ein Test in einer Küche beschrieben, bei dem durch eine Kaffeemaschine ein Brand ausbrach und in dem ungesprinklertem Fall ein 10fach höherer Schaden entstand.

Von FM /160/ wird für den Wohnbereich ein geeignetes Sprinklersystem entwickelt und dabei großer Wert auf Untersuchungen in praxisnahen Tests gelegt. Während der Untersuchungen wird z.B. die Temperatur, die CO-Konzentration und die Rauchdichte gemessen. Als Zündquelle dienten Zigaretten oder offene Flammen, wobei als Parameter zusätzlich geschlossene oder offene Türen und Fenster, d.h. Ventilation im Raum vorhanden war, mit dem Ergebnis, daß die Sprinkler schneller auslösen und mehr Wasser liefern sollten, um den Brand im Anfangsstadium zu löschen. Weiterhin werden in der Arbeit Untersuchungen im Maßstab 1:1 in Los Angeles erwähnt.

O'Neill und Hayes geben in /161,162/ eine ausführliche Beschreibung ihrer Untersuchungen von Bränden in Krankenzimmern, die vor allem zur Rettung von Personen unternommen wurden. Sie hatten zum Ziel, die schnellansprechenden Schmelzlotte an Sprinklern zu verbessern. Es werden anhand von zahlreichen Tabellen und Bildern die Versuchseinrichtung mit den Meßstellen sowie die Ergebnisse dargestellt. Als Brandlast wurde jeweils eine Matratze und Bettzubehör sowie Trennvorhänge und Wandverkleidungen installiert. Als Zündquelle diente ein Papierkorb. Die Einrichtung, die Meßstellenanordnung wie auch die Versuchsergebnisse werden anhand von Bildern erläutert. Bei den Messungen ergab sich, daß z.B. zwischen dem eingesetzten Sprinkler, dem Trennvorhang und zusätzlicher Öffnungen im Raum eine Wechselwirkung in bezug auf die Rauchentwicklung besteht und somit beim Einbau von Sprinklern berücksichtigt werden muß. Weiterhin wurden der Wärmestrom, der Gewichtsverlust, die Gasgeschwindigkeit, die Rauchdichte an der Tür und im Flur, die Temperaturen im Raum, die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und -dioxid und die Brandausbreitung gemessen bzw. beobachtet. Die

Konzentration und die Rauchdichte änderten sich beim Einsatz des Sprinklers erheblich. Die Ansprechzeit des Sprinklers wurde durch die verschiedenen Parameter nicht beeinflusst.

Coleman und Carmichael /163/ stellen fest, daß 90 % aller Brandverluste in Ein- und Mehrfamilienhäusern vorkommen. Die Brände haben ihren Ursprung meist in der Küche oder im Wohnzimmer. Es sind Untersuchungen vorgesehen, die zum Ziel haben, durch Sprinklersysteme 95 % der Wohnungsbrände auf den Brandraum beschränkt zu halten und ihn spätestens 15 min nach dem Alarm gelöscht zu haben.

Cote /73,164,165/ nimmt als Hintergrund für seine in Hotelzimmern durchgeführten Tests 4 Hotelbrände in den Jahren 1980 bis 1982, die 131 Menschenleben forderten. Er stellt fest, daß weniger als 30 % der Hotels in den USA mit Sprinkleranlagen ausgestattet sind. Bei den Untersuchungen wurden mit Papierkörben, mit Gepäck, mit Servierwagen Brände in Küchen, Wohn- und Schlafzimmern gelegt und dabei die Temperaturen sowie die CO-, die HCN- und die HCl-Konzentrationen im geschlossenen Raum gemessen. Brandmelder und schnellansprechende Sprinkler wurden in allen Räumen installiert. Die eingesetzten Brandmelder sprachen nach wenigen Sekunden an. Mit einer Löschwassermenge von 110 l/min konnte der Brand beherrscht werden. Ein Vergleich der Tests zeigte, daß mit einem Sprinklersystem im Raum Personen besser geschützt sind als ohne Sprinkler. Mit der Installation von einem bis zu drei Sprinklern konnten in zahlreichen Tests entsprechende Erfahrungen gesammelt werden.

In den NFPA-Richtlinien /39/ befinden sich Beispiele und weitere Angaben, wie Sprinklersysteme in kleineren Wohnheiten installiert werden sollen. In diesem Zusammenhang werden in einer Tabelle mögliche Zündquellen und Brände aufgeführt.

In /166/ werden lediglich Versuche in Wohneinheiten erwähnt, die zum Ziel hatten, einen neuen Sprinklertyp zu testen, nämlich den "Lebensretter" Sprinkler.

Budnik /167/ beruft sich auf statistische Werte, die aussagen, daß ca. 80 % der Todesfälle in Wohnungen auftreten, obwohl die Anzahl der Wohnungsbrände nur ca. 25 % der gesamten Brände ausmachen. Eine Studie hat gezeigt, daß bei 342 Bränden etwa 42 % der Todesfälle durch Brandmelder verhindert hätten werden können und daß viele Personen bereits das Auslösen des ersten Sprinklers nicht mehr überlebten. Zusätzlich werden qualitative Aussagen über das Ansprechverhalten von Sprinklern und Brandmeldern in bezug auf Fluchtzeiten gemacht.

Isner /168/ und in /169/ werden zwei Brände in Räumen näher beschrieben, bei denen im ersten Fall durch das Auslösen eines installierten Sprinklers der Brand bis zum Eintreffen der Feuerwehr bereits gelöscht war und dadurch ein Kind gerettet wurde, während im zweiten Fall ohne Sprinklerinstallation für ein Kind jede Hilfe zu spät kam. Die Frage nach der Befürwortung oder Ablehnung von Sprinklern in Wohnbereichen stellt sich erneut.

## 12. ZUSAMMENFASSUNG

Ortsfeste Löschanlagen mit dem Löschmittel Wasser sind trotz der in vielen Bereichen sinnvoll installierten Löschanlagen mit den Löschmitteln Pulver, Halon oder Kohlendioxid am meisten verbreitet. Um bei der Entdeckung eines Brandes möglichst schnell den Löschvorgang einleiten zu können, ist es notwendig, daß eine Löschanlage automatisch, d.h. ohne große Zeitverzögerung, in Betrieb gesetzt werden kann. Der Brand soll dadurch entweder sofort gelöscht oder zumindest bis zum Eintreffen der Feuerwehr unter Kontrolle gehalten werden.

Die bisherigen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik zur Thematik des Löscheinsatzes bei gelagerten Stoffen unter besonderer Berücksichtigung von Sprinkleranlagen durchgeführten Arbeiten umfassen grundlegende Ausführungen zur Anwendung von Sprinklern in der Praxis sowie theoretische Betrachtungen über die Zerstäubung von Wasser und damit die Tropfenbildung einerseits und physikalisch-mathematische Ansätze für den Wärmeübergang am Wassertropfen und dessen Verdampfung andererseits.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine Auswertung des in- und ausländischen Schrifttums über Sprinkler. Ausgehend von der geschichtlichen Entwicklung werden allgemeine Angaben über Brände in Zusammenhang mit Sprinklern, über Statistiken bei Sprinklereinsätzen, über gesprinklerte und nicht gesprinklerte Stapellagerung, über die Wirkungsweise von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen in Verbindung mit Sprinklern, über Brand- und Löschversuche sowie über die zu beachtenden Einflußfaktoren bis hin zum Sprinklereinsatz in kleineren Wohneinheiten gemacht.



## 13. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen  
Teil 1: Literaturlauswertung und  
Errichtung der Versuchsanlage  
Forschungsbericht Nr.53 der Arbeits-  
gemeinschaft der Innenministerien der  
Bundesländer, Arbeitskreis V - Unter-  
ausschuß "Feuerwehrrangelegenheiten",  
1985
- /2/ Schatz, H. Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen  
Kunkelmann, J.: Teil 2: Literaturübersicht und  
Berechnungsgrundlagen für die Wärme-  
übertragung bei Tropfen in einer Heiß-  
gasströmung  
Forschungsbericht Nr.54 der Arbeits-  
gemeinschaft der Innenministerien der  
Bundesländer, Arbeitskreis V - Unter-  
ausschuß "Feuerwehrrangelegenheiten",  
1985
- /3/ Brein, D.: Brandausbreitung bei verschiedenen  
Stoffen, die in lagerrnäßiger Anordnung  
gestapelt sind.  
Teil 1: Literaturlauswertung  
Forschungsbericht Nr.55 der Arbeits-  
gemeinschaft der Innenministerien der  
Bundesländer, Arbeitskreis V - Unter-  
ausschuß "Feuerwehrrangelegenheiten",  
1985
- /4/ Cluzel, D.: E.R.P. acclimater le sprinkler  
Face au Risque (1985) Nr.210, S.25-30

- /5/ Hodnett,R.M.: Automatic sprinkler systems - handbook  
NFPA 13-1985  
NFPA 13A-1981  
NFPA 13D-1984  
Quincy, Massachusetts, USA, 1985
- /6/ The development of sprinkler systems  
Fire Protection 45 (1982)  
Nr.545, S.10-11, 19
- /7/ Briers,E.: Sprinklers  
Dossier Technique DT 44,  
Revue Belge du Feu 1982  
Nr.61,62, 54 S.
- /8/ Les installations sprinkler  
R.T.F. Nr. 177, Mai 1978
- /9/ Thompson,N.J.: Fire behaviour and sprinklers  
NFPA, Library of Congress Card  
Number 64-18974 (1964) S.73-84,128
- /10/ Nash,P.  
Young,R.A.: Automatic sprinkler systems for  
fire protection  
London: Victor Green Publications  
Limited, 1976
- /11/ Hems,J.P.: New developments in life safety  
sprinkler systems  
Fire Surveyor 14 (1985) Nr.1, S.7-13
- /12/ Boughen,D.: Automatic sprinkler systems designed  
to 'buy time' before brigade arrives  
Fire 75 (1982) Nr.930

- /13/ Neuenschwander, H.: Sprinkleranlagen heute und morgen  
BVD / SPI Bulletin (1985) Nr.3
- /14/ Schuster, H.H.: ESFR - Revolution in der Sprinkler-  
technologie  
VB, Vorbeugender Brandschutz 3 (1985)  
S.33-39
- /15/ Young, R.: Automatic on/off sprinkler systems  
Fire Surveyor 10 (1981) Nr.4
- /16/ Fleming, R.P.: Quick response sprinklers:  
A technical analysis  
ISBN: 0-87765-330-5, 1985
- /17/ Neuenschwander, H.: Fehlauslösungen in Sprinkleranlagen  
BVD/SPI Bulletin (1980) Nr.2
- /18/ Averill, C.F.: Sprinkler system design:  
past, present, future  
Society of Fire Protection Engineers  
Technology Report 79-3
- /19/ Klingsohr, K.: Einbau von Sprinkleranlagen aus behörd-  
licher Sicht  
Brandschutz, Deutsche Feuerwehr-Zeitung  
12 (1983)
- /20/ Retrofitting with sprinklers for added  
protection  
Record 59 (1982) Nr.3, S.13-19
- /21/ Rutstein, R.: True value of sprinklers and automatic  
detectors  
IFE/FPA/CACFOA conferences

- /22/ Boulton,B.  
Ashfield,A.: The design of sprinkler systems -  
calculations and the computer  
Fire 71 (1979) Nr.4, S.571-575
- /23/ Ashfield,A.: Calculation and presentation of  
sprinkler hydraulic calculations,  
Part 1 und 2  
Fire Surveyor (1979)  
April S.32-37, Juni S.20-31
- /24/ Schuster,H.H.: Computer personal need not fear water  
sprinklers over equipment  
Fire 75 (1982) Nr.930
- /25/ Protection for the high-rise building  
Factory Mutual  
Record 60 (1983) Nr.2, S.3-21
- /26/ Ramachandran,G.: Investigation into trade-offs between  
sprinklers and fire resistance  
Fire 75 (1982) Nr.928, S.211-212
- /27/ Hems,P.: Water spray systems  
Fire Surveyor 12 (1982) Nr.4, S.11-18
- /28/ Dean,T.W.: A review of fire extinguishing systems  
Fire Protection 46 (1983)  
Nr.557, S.11-12
- /29/ Kleier,H.: Normungsarbeit: Löschmittel, Lösch-  
geräte und Löschanlagen  
Stand November 1980

- /30/ Ault,W.E.: The use of light-wall and special light-weightpipe in automatic sprinkler systems  
Fire Journal 73 (1979) Nr.6, S.62-64,91
- /31/ Hunt,J.W.: Sprinkler systems are required in limited water supply areas  
Fire Engineering 132 (1979) Nr.4, S.27-28
- /32/ Light Water Sprühflutanlagen mit automatischer Auslösung als Feuerlöschanlage für die Bekämpfung von Bränden brennbarer Flüssigkeiten  
Gefährliche Ladung 25 (1980) Nr.5, S.195
- /33/ Isenburg,W.: Mobile Löschgeräte und ortsfeste Löschanlagen  
TÜ 21 (1980) Nr.6, S.267-270
- /34/ Cote,A.E.: Update on residential sprinkler protection  
Fire Journal 77 (1983) Nr.6, S.69-71
- /35/ Fanthorpe,M.: Sprinkler system alarm and supervisory service  
Fire Surveyor 8 (1979) Nr.6, S.21-25
- /36/ Ball,J.H.  
Pietrzak,L.M.: Investigation to improve the effectiveness of water in the suppression of compartment fires  
Fire Research 1 (1977/78), S.291-300

- /37/ Reynolds, K.P.: Tips on sprinkler plans review  
Fire service today, Nov. 1982
- /38/ Polybutylane pipe for fire sprinkler  
installations  
Shell Chemical Company, SC:809-85
- /39/ National Fire Codes  
NFPA 2 (1982)  
Quincy, MA, USA 02269
- /40/ Riou, J.G.  
Ramachandran, G.  
Skingle, K.  
Boughen, D.  
Schuster, H.: Recherche et études sur les réseaux  
d'extinction automatique relation entre  
les grinnells et la résistance au feu  
reconnaissance des grinnells  
évolution actuelle des grinnells  
des grinnells pour les ordinateurs?  
R.G.S. 22 (1983)
- /41/ Automatic sprinklers: design and  
installation fire safety data  
Fire Protection Equipment and Systems  
PE 11  
Fire Protection Association  
140 Aldersgate Street, London EC1A4HX  
(1985)
- /42/ High challenge sprinklers  
The Viking Corporation  
Hastings, USA: Form Nr. 2126 10 M 8-84
- /43/ Young, R.: Why europeans should invest more  
sprinkler systems  
Fire 77 (1985) Nr. 955, S. 17

- /44/ Reilly,E.J.  
Viniello,J.A.:  
Sprinklers cut Fresno's fire  
losses and budget  
Fire Journal 73 (1979) Nr.6, S.58-59
- /45/ O`Hagen,J.T.:  
Sprinkler head closes automatically  
after putting fire under control  
Fire Engineering 131 (1978)  
Nr.12, S.27-28
- /46/ Becker,R.:  
Sprinkleranlagen und ihre Verwendung  
als Kleinanlage  
Brandwacht, 7.Jahrgang (1952)  
Heft 5, S.86
- /47/  
Mini sprinkler installations - a new  
concept?  
Fire Protection 8 (1981)  
Nr. 3, S.22-23
- /48/ Bray,G.:  
Sprinkler system design with  
particular reference to the use of  
hydraulic calculations  
Fire Prevention Science and Technology  
(1980) Nr.23, S.8-14
- /49/  
Sprinkleranlagen auch für Ladenstraßen  
gefordert  
Brandschutz TÜ 24 (1983) Nr.7/8
- /50/  
Les sprinklers dans l'industrie  
Face au Risque (1978) Nr.48, S.26-27

- /51/ Kipfer,U.: Schnellansprechende Sprinkler -  
erste Anwendungsbeispiele in der  
Schweiz  
BVD/SPI Bulletin (1985) Nr.3
- /52/ Büsser,R.E.: Brandschutz in Lagern  
TÜ 25 (1984) Nr.2
- /53/ Groos,A.T.: Le sprinkler a grosses gouttes  
Face au Risque (1983)  
Nr.197, S.31-33
- /54/ Sprinkleranlagen in Deutschland:  
Fallstudien aus letzter Zeit  
Fire International 7 (1982)  
Nr.74, S.31-32
- /55/ Wilke,W.: Handbuch für Sprinkler- und Sprüh-  
wasserlöschanlagen  
Bad Honnef, Menzenbergerstraße 106  
(1977)
- /56/ Nechutny,F.: Montagefehler an Sprinkleranlagen -  
Grazer Möbelhaus stand unter Wasser  
Blaulicht 32 (1983) Nr.9, S.9-10
- /57/ Power cut and roof collapse prevent  
sprinklers from doing their job  
Fire 75 (1982) Nr.930
- /58/ German case histories help to show  
importance of sprinkler installations  
Fire 75 (1982) Nr.930



- /59/ Lack of compartmentation leads to  
UK's most expensive fire  
Fire Prevention (1984) Nr.166, S.38-39
- /60/ Nett,H.: Sprinkleranlage löscht U-Bahnbrand  
VDI-Nachrichten 38 (1984) Nr.34
- /61/ Linden,G.: Praktische Erfahrungen mit ortsfesten  
Feuerlöschanlagen  
Beitrag aus dem Jahresbericht  
1979/80 des V d S Köln
- /62/ Untersuchung über Sprinkler  
FM Insurance Company (1982) Nr.1, 8 S.
- /63/ Woolworth's: would sprinklers have  
prevented ten death?  
another delayed call  
Fire 73 (1980) Nr.901, S.73-76
- /64/ Besnard,E.: Les leçons d'un sinistre: un entrepôt  
bien protégé  
Face au Risque (1979) Nr.156
- /65/ Raes,H.: La protection contre l'incendie des  
entrepôts  
Association nationale pour la  
protection contre l'incendie (ANPI)  
BP 1A (1980)
- /66/ Le sprinkler en question?  
Face au Risque (1979) Nr.157, S.33-40

- /67/ Tripet, J.M.: Brandfälle in gesprinklerten Objekten,  
Frostschutz in Sprinkleranlagen,  
Löschversuche mit Sprinkleranlagen  
im natürlichen Maßstab  
BVD/SPI Bulletin (1985) Nr.3
- /68/ Ward, R.B.: Survey of large fires in sprinklered  
and non - sprinklered warehouses and  
storage areas  
Fire Prevention (1985) Nr.177, S.19-27
- /69/ Morgan, H.P.  
Hansell, G.O.: Fire sizes and sprinkler effectiveness  
in offices - implications for smoke  
control design  
Fire Safety Journal 8 (1984/85)  
S.187-198
- /70/ Delayed call and the absence of  
sprinklers aided fire  
Fire 75 (1982) Nr.929, S.281
- /71/ A propos de sprinkler  
Face au Risque (1981)  
Nr.176, S.25-27, 29-32
- /72/ D'Hoop, Y.M.: Des sprinklers et des hommes  
Face au Risque (1982) Nr.187, S.35

- /73/ Cote,A.E.: Field test and evaluation of residential sprinkler systems  
Part I  
Fire Technology 19 (1983) Nr.4,  
S.221-232  
Part II  
Fire Technology 20 (1984) Nr.1,  
S.48-58  
Part III  
Fire Technology 20 (1984) Nr.2,  
S.41-46
- /74/ Brückler,G.: Brandmelde- und Löschanlagen  
Die Österreichische Feuerwehr 35  
(1981) Nr.1, S.9-11
- /75/ Richardson,J.K.: An assessment of the performance of automatic sprinkler systems  
Fire Technology 19 (1983)  
Nr.4, S.275-279
- /76/ Schubert,J.: Feuerlöscheinrichtungen im Lagerbereich  
Der Maschinenschaden 58 (1985)  
Nr.5, S.201-207
- /77/ Beispielhafte Zusammenarbeit von Personal, Feuerwehr und Sprinkleranlage verhinderte Großschaden  
Bulletin BVD/SPI (1983) Nr.1
- /78/ Brände, bei denen die Sprinkleranlage blockiert war  
FM Insurance Company  
Bericht Nr.1 (1983) 8 S.

- /79/ Marryatt, H.W.: Fire-automatic sprinkler performance in Australia and New Zealand  
1886 - 1968  
Melbourne: McCarron Bird Pty.Limited  
(1971)
- /80/ Smith, F.: How successful are sprinklers  
SFPE Bulletin (1983) Nr.2, S.1,4-11
- /81/ Marryatt, H.W.: Fire safety in buildings - experience with automatic sprinkler system in Australia - 1886 to 1984  
Fire Journal 10 (1985) Nr.4, S.22-25
- /82/ Maybee, W.W.: Sprinkler system performance and reliability  
SFPE Bulletin (1984) Nr.1, S.1-4
- /83/ Research into sprinklers for fire protection in the home  
Fire 74 (1982) Nr.923, S.655-656
- /84/ Survey of large fires and sprinklered fires in warehouses and storages  
Fire Protection Association (1978)
- /85/ Barris, J.P. Sprinkler trade - offs: are they  
Conte-Russian, D.L.: justified?  
Fire Journal 74 (1980)  
Nr.3, S.63-65, 68-69
- /86/ Les sprinklers:  
une "monnaie d'échange" en matière de protection incendie  
Revue Belge du Feu (1983)  
Nr.64, S.35-37

- /87/ The automatic sprinkler in  
controversial settings  
Record 57 (1980) Nr.6, S.13-17
- /88/ Sprinkleranlagen bekämpfen Entstehungs-  
brände  
112 Magazin für den Feuerwehrmann  
(1979)
- /89/ Karter, M.J.: Fire loss in the United States during  
1984  
Fire Journal 9 (1985) S.14-30, 83-86
- /90/ Maybee, W.: American survey shows high success  
rate for sprinklers  
Fire Prevention (1984) Nr.170, S.30-33  
und  
Fire Journal 10 (1985) Nr.1, S.19-23
- /91/ Sprinklers: quelques enseignements  
A.P.S.A.I.R.D.  
Face au Risque (1985) Nr.209, S.49,51
- /92/ Beckingham, N.: New look needed at the hazard of  
polypropylene crates  
Fire Protection 5 (1980) S.19-20
- /93/ Yao, CH. Early suppression - fast response:  
Marsh, W.S.: A revolution in sprinkler technology  
Fire Journal 78 (1984)  
Nr.1, S.42-44,46
- /94/ Watson, B.: Sprinklers - early suppression and  
fast response?  
Fire Prevention (1984) Nr.174, S.17-22

- /95/ Höynck, H.: Walther-Sprinkleranlage für Hochregal-  
lager mit wasserführender Stahl-  
konstruktion  
Tech.Mitt.Krupp, Werksberichte  
Band 41 (1983) Nr.2
- /96/ Das Warenlager als Totalschadenrisiko  
BVD/SPI Bulletin (1976) Nr.3
- /97/ Automatic sprinkler systems - storage  
protection  
FPA Bulletin Nr.36
- /98/ Friedman, R.: Fire Research at Factory Mutual  
Research Corporation  
Fire Technology 21 (1985) Nr.1
- /99/ Sprinklers: nouvelles regles R 1  
A.P.S.A.I.R.D.  
Face au Risque (1984) Nr.207, S.41-42
- /100/ Baldovinetti, G.B.: Warehouse fire protection and the  
special problem of high shelving  
Fire International 81 (1981), S.38-39
- /101/ Sprinklers in storage areas:  
a comparison of standards  
Fire 76 (1983) Nr.937, S.41-42
- /102/ Sprinklers: High piled and rackstorage  
Fire surveyor 9 (1980) Nr.1, S.21-26
- /103/ Goring, G.: Sprinkler protection of storage risks  
Fire Protection 8 (1981)  
Nr.2, S.20-25

- /104/ Reeves,W.: "In Rack" sprinkler systems-design considerations  
Fire Prevention (1979)  
Nr.129, S.15-17
- /105/ Automatic sprinkler systems - storage protection  
FPA Bulletin 36
- /106/ Rapid-acting sprinkler system for high-racked storage  
BRE news of construction research  
ISSN 0265 9611, Dec. 1985  
und  
BRE News of fire research  
ISSN 0265 962X, Jan. 1986
- /107/ Heselden,A.J.M.: The interaction of sprinklers and fire venting  
Fire Surveyor 11 (1982) Nr.5, S.13-28
- /108/ Waterman,T.E.: Fire venting of sprinklered buildings  
Fire Journal 78 (1984)  
Nr.2, S.30-39, 86
- /109/ Holt,J.E.: Sprinklers and fire venting  
Fire Surveyor 11 (1982) Nr.6, S.13-18
- /110/ Northey,J.W.: Fire venting and sprinklers: In single storey buildings  
Fire Surveyor 10 (1981) Nr.2, S.32-37

- /111/ 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.
- /112/ Les sprinklers et la sécurité des personnes  
Face au Risque (1981) Nr.171, S.39-41
- /113/ Skingle,K.: The man in the street has a mental blackout about sprinkler systems  
Fire 75 (1982), Nr.930, S.325
- /114/ Cresswell,F.L.: Background to sprinkler design and the use of pumps  
Fire Surveyor 9 (1980) Nr.6, S.39-45
- /115/ Morgan,H.P.  
Chandler,S.E.: Fire sizes and sprinkler effectiveness in shopping complexes and retail premises  
Fire Surveyor 10 (1981) Nr.5, S.23-28
- /116/ Cluzel,D.: Sprinkler les E.R.P. un moyen, une fine precise  
Face au Risque (1985) Nr.211, S.27-33
- /117/ Rogers,S.P.  
Young,R.A.: The performance of an extra light hazard sprinkler installation  
Fire Research Note No. 1065 (1977)
- /118/ Warehouse storage  
Factory Mutual System (1983) 8 S.  
USA: P 8234



- /119/ Johnson,R.S.: Controlling plastic materials fires  
in warehouses  
Fire Journal 71 (1977) Nr.3
- /120/ Early suppression - fast response:  
a revolution in sprinkler technology  
The Magazine of Property Conservation:  
Record 61 (1984) Nr.1
- /121/ Ohta,M. Sprinkler protection for barrel  
Kimura,S.: storage  
Fire Science and Technology 2 (1982)  
Nr.1, S.67-79
- /122/ Cooper,L.Y.: The design of effective water spray  
cooling in Stairwell-Sprinkler systems  
Bericht des National Bureau of  
Standards (1980) S.89-103
- /123/ Grubits,S.J. Operation of sprinkler loads by  
Moulin,A.W.: radiant heat  
EBS Technical Record (1983)  
Nr.491, 20 S.
- /124/ Early suppression fast response  
sprinklers  
Fire International 8 (1984)  
Nr.87, S.44-46
- /125/ Nicolls,G.W.: Basis and development of sprinkler  
systems  
Fire Surveyor 10 (1981) Nr.3

- /126/ SuchomeI,M.R. ; Sprinkler performance tests -  
the extended coverage panacea  
Fire Technology 16 (1980)  
Nr.2, S.85-93
- /127/ Dean,R.K.: A final report on fire tests involving  
stored plastics  
Fire Technology 12 (1976) Nr.1, S.55-65
- /128/ The findings of a major research  
program to reevaluate FM's guidelines  
for protecting warehouses and their  
contents  
A report on new research from  
Factory Mutual  
Record (1980) Sept./Okt., 8 S.
- /129/ Delichatsios,M.A.: FM-Tests  
A scientific analysis of stored plastic  
fire tests  
Fire Science and Technology 3 (1983)  
Nr.2, S.73-103
- /130/ Young,R.A.  
Nash,P.: The fire protection of modern high  
bay storages  
Fire Prevention Science and  
Technology (1977) Nr.18, S.4-13
- /131/ The protection of high-piled storage  
with sprinklers  
FIRTO TE 2187  
Technical Evaluation, Sept. 1984
- /132/ Baumann,R.: Löschversuche mit Sprinkleranlagen in  
natürlichem Maßstab  
BVD/SPI Bulletin (1985) Nr.3

- /133/ Legal requirements for sprinklers  
in Europe  
Fire Prevention 151 (1982)
- /134/ O'Dogherty, M.J. A study of the performance of automatic  
Nash, P. sprinkler systems  
Young, R.A.: Fire Research Technical Paper No.17  
London: Her Majesty's Stationary  
Office (1967)
- /135/ Effective sprinkler protection for high  
racked storage  
Fire Surveyor 14 (1985), S.9-25
- /136/ Fire  
Annual Report  
Building Research Establishment  
1984/85
- /137/ Nash, P.: Experimentelle Untersuchungen über  
Brandmeldung und -kontrolle in Hoch-  
regalanlagen  
Fire International (1971) Nr.31,  
S.18-29
- /138/ Rogers, S.P. The protection of high-racked storages  
Young, R.A.: by commercial zoned sprinkler systems  
Department of the Environment Fire  
Research of the Building Research  
Establishment  
Fire Research Note 1068 (1977)

- /139/ Extinction des feux de pneumatiques  
Versuchsbericht Nov. 1971  
Syndicat National du Caoutchouc,  
des Plastiques et des Industries qui  
s'y rattachent  
9, Avenue Hoche, Paris (8e)
- /140/ Dean, R.K.: Large-scale fire tests of expanded  
polystyrene packaging material  
FMRC Report Nr.22543, Dez. 1976  
Nicht veröffentlichter Bericht für  
"The Society of the Plastics Industry"
- /141/ Early suppression - fast response:  
a revolution in sprinkler technology  
ESFR Update 1 (1985) Nr.1
- /142/ Watson, B.: Fast response sprinkler heads  
Fire Surveyor 13 (1984) Nr.4, S.25-29
- /143/ Friedman, R.: Sprinkler technology: research on  
sensitivity  
Record 60 (1983) Nr.3, S.19-21
- /144/ Evans, D.D.: Thermal actuation of extinguishing  
systems  
NBSIR 83-2807, März 1984  
und  
Combustion Science and Technology 40  
(1984), S.79-92  
und  
Calculating sprinkler actuation time  
in compartment  
Fire Safety Journal 9 (1985) S.147-155

- /145/ Response time index: the key to fast response  
ESFR Update 1 (1985) Nr.2
- /146/ RDD: a new measure of water supply  
und  
ESFR prototype sprinkler being  
evaluated  
ESFR Update 1 (1985) Nr.3
- /147/ ADD and the problem of early fire  
suppression  
und  
The role of ignition location in the  
development of the ESFR sprinkler  
ESFR Update 2 (1985) Nr.1
- /148/ Intermediate-scale fire testing of  
ESFR Update 2 (1985) Nr.2
- /149/ Yao,C.: The ESFR sprinkler system: a new  
approach to high-challenge storage  
protection  
Fire Journal 79 (1985) Nr.2, S.30-33,  
S.70-72
- /150/ King,K.B.: Small Texas City demands sprinklers in  
high-rises  
Fire Engineering 134 (1981) Nr.3, S.20
- /151/ Pietrzak,L.M.  
Patterson,W.J.: Effect of nozzles on fire studied  
in terms of flow rate, droplet size  
Fire Engineering 132 (1979)  
Nr.12, S.26-28, 33

- /152/ Geoghegan,R.J.: A fast-response residential sprinkler head  
Fire Engineering 136 (1983) Nr.1,  
S.42-46
- /153/ Evans,D.D.: Sprinklers come home at last  
Fire Service Today 49 (1982) Nr.10,  
S.14-16
- /154/ Kung,H.C.: Cooling of room fire by sprinkler  
spray  
Factory Mutual Research Corporation  
Norwood, Massachusetts 02062, USA  
(1977) 34 S.
- /155/ Maier,A.R.: Sprinkler tests answer heat rating  
questions  
Fire Engineering 132 (1979) Nr.4,  
S.39-41
- /156/ Moore,D.A.: Field test and evaluation of  
residential sprinkler systems  
Fire Journal 74 (1980) Nr.6, S.44-47
- /157/ Home sprinklers: american test results  
Fire Surveyor 11 (1982) Nr.4, S.48-49
- /158/ Maguire,H.M.: Full-scale burns to test low-cost  
home sprinklers  
Fire Engineering 132 (1979) Nr.8, S.104
- /159/ Jackson,R.J.: Insurance incentives for residential  
sprinklers  
The International Fire Chief 47 (1981)  
Nr.7, S.10-13

- /160/ Factory Mutual is developing a practical residential sprinkler. Record 58 (1981) Nr.4, S.5-10
- /161/ O'Neill, J.G.: Fast response sprinklers in patient room fires  
Fire Technology 17 (1981) Nr.4, S.254-274
- /162/ O'Neill, J.G.:  
Hayes, W.D.: Full-scale fire tests with automatic sprinklers in a patient room  
USA: NBS IR 79 - (1979), 51 S.
- /163/ Coleman, R.J.  
Carmichael, G.L.: Sprinklers required in new buildings  
Fire Engineering 132 (1979) Nr.9, S.58, 60
- /164/ Cote, A.E.: Highlights of a field test of a retrofit sprinkler system  
Fire Journal 77 (1983) Nr.3, S.93-97, 100-103
- /165/ Cote, A.E.: Essais de réseaux d'extinction automatique a eau  
RGS (1984) Nr.34, S.25-28
- /166/ Building Research News  
National Research Council Canada,  
ISSN 0007-361x  
Division of Building Research No.81,  
(1984)

- /167/ Budnik, E.K.: Estimating effectiveness of State-of-the-Art detectors and automatic sprinklers on life safety in residential occupancies  
Fire Technology 20 (1984) Nr.3, S.39-63
- /168/ Isner, M.S.: Successful residential sprinkler activation  
Fire Command 53 (1986) Nr.1
- /169/ A residential sprinkler success story  
Fire Command 52 (1985) Nr.12