

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen,

Teil 11: Literaturlauswertung -
Sprinklereinsatz bei
Palettenlager

87

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

Forschungsbericht Nr.87

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 11: Literaturlauswertung -
Sprinklereinsatz bei Palettenlager

von

Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Juli 1994

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURAUSWERTUNG SPRINKLER	2
2.1 Allgemeine Angaben über Sprinkler	2
2.2 Brände und Sprinkler	14
2.3 Stapellagerung und Sprinkler	23
2.4 Lüftung und Sprinkler	27
2.5 Anzahl der ausgelösten Sprinkler	30
2.6 Brandversuche und Sprinkler	37
2.7 Einflußgrößen von Sprinklern	46
2.8 Sprinkler in kleinen Wohneinheiten	47
2.9 Tropfen und Sprinkler	48
3. VERSUCHSANLAGE FÜR BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE	50
4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	52
4.1 Auslösezeiten der Brandmelder und Sprinkler	52
4.2 Temperaturen	53
4.3 Brand- und Löschversuche	56
5. ZUSAMMENFASSUNG	59
6. LITERATURVERZEICHNIS	61
7. TABELLEN UND BILDER	76

1. EINLEITUNG

Der Wandel in der Industrie hat auch das Verbraucherverhalten unserer Gesellschaft verändert. Aufgrund der zahlreich hergestellten Produkte ist es keine Überraschung, daß die Lagerhäuser und deshalb auch die Risiken immer größer werden. Um den Bedarf auf dem Markt zu befriedigen, erfolgt die Lagerhaltung in sehr komplexen Aufbauten, d. h. auf großen Flächen und auf hohen Regalen.

Die Materialien sind nicht mehr nur aus Metall, Glas, Holz, Papier und Leder, sondern vermehrt aus Kunststoffen, die überall anzutreffen sind wie z. B. im Bau, bei Fahrzeugen oder als Behälter. Durch diese Zunahme der Kunststoffmaterialien ist das Brandpotential stark angestiegen und die Gefahr eines Schadenfeuers gewachsen.

Im Brandfall steht in den meisten Fällen Wasser als Löschmittel zur Verfügung, das sowohl von der Feuerwehr im mobilen Einsatz als auch bei ortsfesten Löschanlagen Verwendung findet. Gegenüber der Feuerwehr besitzen diese Anlagen den Vorteil, daß sie bereits nach dem Auslösen mit dem Löscheinsatz beginnen.

In der vorliegenden Arbeit befindet sich im Abschnitt 2 eine Weiterführung der Literaturlauswertung des in- und ausländischen Schrifttums in Verbindung mit Sprinklern, das der Fachwelt zur Verfügung gestellt wird. Die verwendete Originalliteratur ist in der Dokumentation der Forschungsstelle für Brandschutztechnik vorhanden und der Öffentlichkeit zugänglich.

In den folgenden Abschnitten wird über Untersuchungen bei Brand- und Löschversuchen an auf Paletten gestapelten Stoffen berichtet, die sowohl mit unterschiedlichen Brandlasten als auch verschiedenen handelsüblichen Sprinklern durchgeführt wurden.

2. LITERATURAUSWERTUNG SPRINKLER

2.1 Allgemeine Angaben über Sprinkler

Nach Merrick /1/ haben auch beim Brandschutz Computer Einzug gehalten, die die Funktionsbereitschaft von Sprinklern in Verbindung mit Meldeanlagen gewährleisten. In einem Schadenfall können z.B. im Bereich des Brandgutes Melder ansprechen, aber Sprinkler in größerer Höhe nicht, so daß diese ausgelöst werden müssen.

Thomas /2/ erwähnt, daß Eigentümern von Geschäftshäusern geraten wird, die bei den halbjährigen Prüfungen an Sprinkleranlagen festgestellten Mängel beseitigen zu lassen, da Strafen von Geldbußen bis hin zur Schließung des Geschäftes verhängt werden können.

Cartwright /3/ berichtet über die Installation von Sprinkleranlagen, Brandmeldesystemen und Rauchabzügen in der neuen britischen Bibliothek in London mit 25 Mio Büchern. Statt Naßanlagen wurden dort Trockenanlagen gefordert, bei denen zwar an undichten Stellen kein Wasser austritt, die aber dafür eine etwas längere Zeit bis zum Löscheinsatz benötigen. Optische - und Ionisationsmelder werden zum Auslösen dieser Anlagen benutzt.

Bystrov, Litvinov u.a. /4/ vergleichen bisherige Auslöseelemente mit Bimetallen. Wichtige Elemente sind dabei die Korrosionsbeständigkeit und die Deformationsbeständigkeit.

Siu und Apostolakis /5/ geben eine mathematische Analyse der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Versagensquote von Löschesystemen, wie z. B. durch Sprinkler, an. Praktische Erfahrungen und experimentelle Daten aus Versuchen in nicht nuklearen Bereichen werden für die nuklearen Bereiche herangezogen.

Brenner /6/ berichtet über das internationale Konferenzzentrum

in Berlin mit einer Fläche von 74000 m². Alle Ausstellungshallen sind mit Sprinkler- oder Spray-Systemen ausgerüstet, die den Richtlinien der Versicherer entsprechen. Zusätzlich wurden Brandmelder und andere Brandschutzmaßnahmen installiert.

Mitchel /7/ beschreibt den hohen Standard an Brandschutzmaßnahmen in einem wiederaufgebauten Militärlager in Donnington. Der zuvor durch einen Brand verursachte Schaden betrug 150 Mio Pfund. Bei der Neuerrichtung wurden neben Decken- und Zwischenebenensprinklern auch Melder und Rauchabzüge installiert. Von den insgesamt 43000 Sprinklern können 300 Sprinkler über einen Zeitraum von 3,5 Stunden betrieben werden.

Kirsch /8/ gibt an, daß bei 26 von 130 Ereignissen in den Jahren 1982 bis 1986 die Sprinkler ungenügend arbeiteten, was sich in einem Schadensbetrag von 4 Mio der insgesamt 6,8 Mio Dollar widerspiegelt. Besonders bei Krankenhäusern und Pflegeheimen ist in vielen Fällen das Fehlen oder Versagen der Sprinkleranlagen für die hohen Sachschäden verantwortlich.

In /9/ wird über die U-Bahn Station King's Cross in London berichtet, bei der nach einem Brand zum Schutz eine Sprinkleranlage mit 166 Seitenwandsprinklern installiert wurde.

Stevens /10/ berichtet über die NFPA-Richtlinien (National Fire Protection Association) und deren Vorläufer aus dem Jahre 1896. Sprinkler sollten in allen Bereichen eines Gebäudes installiert werden. Dieses Regelwerk beinhaltet außerdem die Installation von Rohrleitungen, den Einbau und die Festlegung der Anzahl von Sprinklern, den Wasservorrat und den notwendigen Wasserdruck.

Schirmer /11/ sieht den Ursprung der QR-Sprinkler (Quick Response) in den 60er Jahren und die Entwicklung für Wohneinheiten (residential) als deren Durchbruch. Der Einsatz von ESFR-Sprinklern (Early Suppression Fast Response) ist bereits Wirklichkeit. Beide Arten werden nur in Naßsystemen verwendet.

Nach Mulhaupt /12/ wurden die schnell ansprechenden Sprinkler nicht nur für Wohneinheiten entwickelt. In einem Projekt soll diesbezüglich eine Abschätzung des Brandrisikos für Produkte in Gebäuden durchgeführt werden.

Thomas /13/ erwähnt die nach dem Brand bei MGM aufgestellte Forderung, alle Hotels und Motels in den USA mit Sprinklern auszurüsten, was bisher nur bei 15% der Fall war. Im neuen Bally Hotel wurden nicht nur 30000 Sprinkler, sondern auch Lautsprecher installiert. Als Ergänzung gehören Brandmelder und entsprechendes Training der Angestellten sowie die Information der Gäste dazu.

Lilja /14/ stellt Brandschutzmaßnahmen in einem Hotel vor. Im gesamten Gebäude ist eine Sprinkleranlage installiert und in den einzelnen Zimmern sind zusätzlich Brandmelder angebracht.

Todd /15/ beschreibt Forschungsarbeiten mit Sprinklern und Brandmeldeanlagen in Pflegeheimen. Die Fire Research Station (FRS) ist in diesem Zusammenhang sehr an einer computergesteuerten Installation mit direkter Verbindung zur Feuerwehr interessiert.

Kirkham /16/ stellt Lösch- (Gas, Pulver, Wasser) und Detektiersysteme (optisch, thermisch) vor, deren Verlegung meist in Kanälen erfolgt. Sprinkler sind dabei von großem Interesse, weil sie automatisch löschen.

Razzivin /17/ stellt ein neu entwickeltes System vor, das Fehler beim Alarmieren oder beim Auslösen von Sprinklern vermeiden soll.

In /18/ wird über den Brandschutz in Flugzeughangars berichtet. Der Londoner Flughafen Heathrow besitzt eine Flutungsanlage für ein Wasser-Schaum-Gemisch mit an der Decke angebrachten luftansaugenden Sprinklern, die eine Bodenfläche von 1400 m² erfassen.

In /19/ wird darauf hingewiesen, daß durch konstruktive Maßnahmen die Unterteilung von Räumen so ausgeführt werden sollte, daß im Brandfall nicht zu viele Sprinkler auslösen, um Engpässe in der Wasserversorgung zu vermeiden.

In /20/ werden automatische Sprinkler als der erste und beste Schutz gegen Brandverluste betrachtet. Ohne Sprinklereinsatz werden die Verluste 4mal höher beziffert als mit Sprinklereinsatz. Alle Gebäude und Ausrüstungen mit brennbaren Materialien benötigen Sprinkler wie z.B. Attiken, Kriechräume, Kanäle, Schächte, Dächer, Ladeplattformen und Computerräume. Auch auf regelmäßige Kontrollen sollte dabei Wert gelegt werden.

Abrams und Daly /21/ betrachten die Installation von Löschsystemen wie Sprinkleranlagen als Wertsteigerung, deren Kosten in einem Geschäftsjahr unterzubringen sind.

Für Ramachandran /22/ liegt die Schadenswahrscheinlichkeit bei einer Fläche von 100 m² ohne Sprinkler bei 0,18 und mit Sprinkler bei 0,08. Dies gilt ebenso für den finanziellen Schaden. Textilindustriegebäude wurden untersucht und dabei festgestellt, daß auf eine Gebäudefläche von 10000 m² bezogen im gesprinklerten Fall 1200 m² und im nicht gesprinklerten Fall 2300 m² betroffen waren. Der Feuerübersprung ist bei gesprinklerten Flächen weniger gegeben, was für die Versicherungen von Bedeutung ist. Die Auslösezeiten von Sprinklern werden mit 3 min angenommen und gesprinkelte Räume bis zu einer Fläche von 3000 m² zugelassen.

Ashfield /23/ berichtet über Einzelheiten bei der Auslegung von gitterförmigen Sprinklersystemen wie z.B. über den Druck, die Leitungen, den Volumenstrom, die Ventile und die Wassermenge. Trockensysteme dieser Art sind in Amerika und in großen Teilen Europas nicht erlaubt.

Walters /24/ befaßt sich mit der Installation von ausgedehnten

Druckereibetrieben, bei denen oft einzelne Druckmaschinen z.B. mit Seitenwandsprinklern geschützt werden.

Litvinov und Bystrov /25/ stellen 3 Methoden zur Ermittlung der Intensität der Wasserberieselung bei Sprinkleranlagen vor. Bei der ersten wird das Wasser an mindestens 3 Stellen gewogen, bei der zweiten die gesamte Menge gewogen und bei der dritten die Menge über den Druck berechnet.

Kench /26/ erläutert neben anderen Maßnahmen zum vorbeugenden Brandschutz in Kernkraftwerken auch die Vorteile einer Sprinkleranlage. Bei Bränden an festen Stoffen sollten Wasserbeaufschlagungen von 5 mm/min und bei Öllachenbränden bis zu 12 mm/min verwendet werden.

Sullivan /27/ beschreibt Einrichtungen des Forschungszentrums bei Factory Mutual (FM) wie das Naßlabor mit der Sprinklerausrüstung, das Trockenlabor mit Testeinrichtungen für Sprinkler und den Kontrollraum.

In /28/ wird großer Wert auf die Kontrolle und Wartung von Sprinkleranlagen gelegt, da z.B. Ventile geschlossen sein könnten. Fehlauflösungen gelten als seltenes Ereignis.

Kirsch /29/ erwähnt, daß kulturelle Werte oft durch Brände zerstört werden. Der größere Wasserschaden beim Löscheinsatz entsteht jedoch meistens durch Strahlrohre und nicht durch Sprinkler. Als Beispiel wird eine Spinkler trockenanlage auf einem alten Schiff im Bostoner Hafen genannt. Außerdem wird der Sprinklerschutz in Bibliotheken und historischen Häusern beschrieben.

Männikkö /30/ beschreibt die Brandschutzmaßnahmen in einem Konzert- und Kongreßzentrum in Tampere, angefangen von der Konstruktion bis zum Brandschutzanstrich. Bei der Sprinkleranlage wurden insgesamt 3500 Sprinkler installiert.

In /31/ werden Sprinkleranlagen als eine aktive Schutzmöglichkeit für Computerräume erwähnt, da die betroffenen Bauteile gereinigt und wieder verwendet werden können. Als Beispiele werden zwei Brände angegeben. Eine Tabelle weist auf die größeren Schäden bei nicht gesprinklerten Bränden hin.

In /32/ werden als wichtige Parameter für die Auslegung von Sprinkleranlagen die Wasserbeaufschlagung und die Schutzfläche genannt. Zusätzlich ist z.B. auf das Rohrleitungssystem, die Sprinkler, die Wasserreserven, die Art der Lagerung und die Kontrolle der Anlage zu achten.

Ashfield /33/ berichtet über Möglichkeiten, verschiedenartige Sprinklersysteme, die z.B. gitter- oder schleifenförmig sowohl in mehrstöckigen Gebäuden als auch in Hochregallägern verlegt werden, mit unterschiedlichen Parametern in vorgegebenen Programmen zu berechnen. Die Berechnungen sind jedoch so komplex, daß sie nicht mehr von Hand vorgenommen werden können.

Lundsgard /34/ beschreibt brandschutztechnische Maßnahmen in einem Kernkraftwerk. Dazu gehören die Bildung von Brandabschnitten und die Installation von Melde- und Sprinkleranlagen.

Walker /35/ berichtet über die Containerbauweise von Teilbereichen für Sprinkleranlagen. Dabei werden z.B. die Löschpumpen, die Steuerungen und das Sprinklerhauptventil in einem Container untergebracht.

Nach Craig /36/ können Sprinkler im häuslichen Bereich zu 98 % einen Brand im Anfangsstadium bekämpfen und Personen die Flucht ermöglichen. Die Sprinkler sollten jeweils 12 m² schützen, einzeln je 60 l/min (bei 2 Stück je 42 l/min) Wasser abgeben und 10 min lang in Betrieb sein können. Die auftretenden Wasserschäden sind oft zu reparieren, die Brandschäden dagegen nicht.

Crook /37/ erwähnt, daß ein Brand auf einem Schiff der Anlaß war, auf allen US Schiffen u.a. Sprinkleranlagen, Brandmeldesysteme, Brandabschnitte und entsprechendes Training für die Mannschaft zu fordern.

Stephens /38/ weist auf die ersten Sprinklerrichtlinien aus dem Jahre 1888 und die weitere Entwicklung auf diesem Gebiet hin, welches die Bereiche Sprinkler, Konstruktion, Kontrolle bis zu mehrgeschossigen Gebäuden und Hochregalläger umfaßt.

Lambrecht /39/ weist auf die nichtautomatischen Löschanlagen hin und gibt für die Installation in Block- und Regallägern Daten für die Auslegung an. Diese Anlagen stellen für Läger mit einer Fläche von 200 m² bis 1600 m² eine vertretbare Alternative zu Sprinkleranlagen dar.

Lambrecht und Fiedler /40/ beschreiben die nichtautomatische Löschanlage, auch halbstationäre oder teilbewegliche Löschanlage genannt. Dabei wird Wasser oder Schaum in einem festverlegten Rohrleitungssystem über offene Düsen abgegeben. Für den Betrieb sind verschiedene Voraussetzungen zu beachten wie die Brandfrüherkennung, die einzelnen Löschabschnitte, die Lagerhöhen bei der Block- bzw. Regallagerung von 4 m bzw. 12 m sowie die Wasserbeaufschlagung bis zu 6 mm/min.

Stronach /41/ gibt einen Brand in einem 16-stöckigen Hochhaus mit einem Schaden von 36 Mio Pfund als Anlaß dafür an, daß seit 1975 Gebäude mit einer Höhe über 22,8 m gesprinklert sein müssen, was bisher bei 141 Gebäuden in Montreal der Fall ist. Zusätzlich werden Überlegungen für den Einsatz von Sprinklern in anderen Gebäuden angestellt.

Wetterich /42/ beschreibt verschiedene ortsfeste Löschanlagen. Für Sprinkleranlagen wird z.B. erwähnt, daß die Auslösetemperaturen etwa 30 °C über der Umgebungstemperatur liegen soll und außerdem eine Anzahl von bis zu 1000 Sprinklern in einer Gruppe

installiert werden kann. Ebenso wird die Funktionsweise von Schmelzlot- und Glasfaßsprinklern dargelegt.

Stampfli /43/ berichtet über den Brandschutz in Altbauten. Anhand eines schweizer Hotels werden Maßnahmen erläutert, bei denen 428 schnell ansprechende Sprinkler in einer Anlage mit Naß- und Trockenbereichen installiert und gleichzeitig der Denkmalschutz gewährleistet wurde.

Mowrer /44/ ermittelt die Zeiträume für die Brandentwicklung, -meldung und -löschung. Während bei einer Naßanlage die Wasserbeaufschlagung sofort erfolgt, kann bei einer Trockenanlage vom Auslösen bis zum Löscheinsatz bis zu einer Minute Zeit vergehen. Anhand von Beispielen wird die zu erwartende Auslösezeit für unterschiedliche Wärmefreisetzungen aufgezeigt.

Harker /45/ berichtet über ein Flutungssystem mit offenen Düsen und geschlossenen Sprinklern, die beide effizient mit AFFF (Aquaous Film Forming Foam) arbeiten können. Zusätzlich wird über dessen Wirkung auf Brände der Klassen A und B berichtet.

In /46/ wird ebenfalls über den Sprinklereinsatz mit dem Zusatz AFFF berichtet, das als Inhibitor bei entflammaren Flüssigkeiten wie Benzin, Benzol u.a. sowie festen Stoffen wie Baumwolle, Papier u.a. wirksam ist. Die Löschwasserlösung beinhaltet zwischen 3 % und 6 % AFFF.

Chow und Fong /47/ führen Berechnungen für die Wechselwirkungen zwischen einem Sprinklerspray und einer Rauchgasschicht durch, da der Löschmechanismus diesbezüglich noch nicht vollständig geklärt ist. Anhand von Simulationsmodellen werden Gleichungen mit verschiedenen Parametern wie Temperatur, Ausflußrate, Tropfendurchmesser u.a. beschrieben. Da aber z. B. die Verdampfungswärme nicht berücksichtigt wurde und auch sehr lange Rechenzeiten auftreten, sind weitere Berechnungen und auch Großversuche nötig, um die Ergebnisse vergleichen zu können.

Donoghue /48/ berichtet, daß in den letzten Jahren dazu übergegangen wurde, auch in Büroräumen und Wohnungen, bei Aufzügen und Rolltreppen Sprinkler in Verbindung mit Meldesystemen unter Beachtung der entsprechenden Richtlinien zu installieren.

Bei Gittleman /49/ wird ebenfalls über den Einbau von Sprinklern bei Aufzügen diskutiert.

Zicherman /50/ beschreibt u.a. die Feuerwiderstandsfähigkeit von Kunststoffrohren für die Sprinklerinstallation, wie sie in den NFPA-Richtlinien zum Schutz kleinerer Räume mit verschiedenen Sprinklern aufgelistet sind.

Smith /51/ macht Angaben über das Konzipieren von Sprinklersystemen mit dem Computer. Das sogenannte CAD-System (Computer Aided Design) vereinfacht für den Designer in Verbindung mit der hydraulischen Kalkulation die Sprinklersystemauslegung.

Schirmer /52/ weist auf die Vorteile der schnell ansprechenden Sprinkler hin, die für den Schutz von kleinen Wohneinheiten und Hochhäusern eingesetzt werden können. Diesbezüglich wird ein Projekt mit mehreren Beteiligten erwähnt. Ergebnisse aus ca. 800 Tests fließen dabei in die NFPA-Richtlinien ein.

Casaccio /53/ verweist auf die bei Großbränden in Hochhäusern in den USA in den Jahren 1980 bis 1990 entstandenen Personen- und Sachschäden, die evtl. durch Sprinkleranlagen hätten vermieden werden können. Der deshalb geforderte Einbau von Sprinklern wurde teilweise bereits durchgeführt.

Stanley /54/ erwähnt, daß aufgrund der großen Brände, wie z.B. bei MGM, für alle Wohnungen in Mehrfamilienhäusern seit 1990 Sprinkler gefordert werden. Davon ausgenommen sind Hotels mit weniger als 3 Stockwerken.

Proctor /55/ gibt einen kurzen Überblick über die Entwicklung der Sprinkler. Weiterhin werden Fragen bezüglich der Installation diskutiert. Dabei wird z. B. in einem Schadenfall ein Wasserschaden eher in Kauf genommen, um das gesamte Gebäude zu retten. Für den Erfolg von Sprinklern wird ein Brand in einem Kaufhaus angesprochen, das 2 Stunden danach wieder betriebsbereit war.

In /56/ wird darauf hingewiesen, daß es 19 verschiedene Sprinkler mit 8 unterschiedlichen Auslösetemperaturen sowie mehrere Herstellerfirmen gibt. Der Einbau von Sprinklern sowie der Austausch bei z.B. mit Farbe überstrichenen Sprinklern sollte schnell durchgeführt werden. Ebenso wird der Wartung einer Anlage viel Bedeutung beigemessen.

Grayson /57/ vergleicht die amerikanischen Spraysprinkler mit den europäischen konventionellen Sprinklern, bei denen 40 % bis 60% des Wassers nach oben abgegeben wird. Für hohe Anforderungen wird der Spraysprinkler als besser bezeichnet. Bei Hochregallagern beeinflußt der Zündort sehr stark den Löscherfolg des jeweiligen Sprinklers.

Nash /58/ erwähnt die ersten Richtlinien aus dem Jahre 1892 sowie die neuesten Normen von 1990 einschließlich deren Inhalt.

Schatz /59/ gibt einen Überblick über die in- und ausländische Sprinklerliteratur, wobei in verschiedene Abschnitte untergliedert wird wie z.B. über Sprinkler in Verbindung mit Bränden, mit Lüftungen, mit Lagern, mit Versuchen u.a. mehr.

Fleming /60/ verweist auf die ersten automatischen Sprinkler von Harrison (1864) und Parmelee (1874) und auf die weitere Entwicklung bis zur Änderung der Auslöseelemente in den 80er Jahren bei den Standard-, Spezial- und schnellauslösenden Sprinklern. Weiterhin wird darauf hingewiesen, daß bei der Brandbekämpfung zum Kontrollieren eines Brandes die Wärmefrei-

setzung nicht mehr steigen darf und für den Löschvorgang sogar sinken muß. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern wird für diesen Fall von einem zehnminütigen Wasservorrat ausgegangen. Im einzelnen wird auf Wohnraumsprinkler, schnellansprechende Sprinkler, Großtropfensprinkler, ESFR-Sprinkler und QR-Sprinkler eingegangen sowie deren Anwendungsmöglichkeiten genannt.

Campbell /61/ erwähnt, daß nach den großen Bränden bei MGM, Stouffer's und Hilton zahlreiche Hotelketten mit Sprinklern ausgerüstet wurden. Bereits 98 % der Hotelzimmer sind mit Brandmeldern versehen.

Craig /62/ hält eine Brandmeldung für bestimmte Personengruppen wie ältere, jüngere oder behinderte Leute als nicht ausreichend. Für Wohnbereiche sollten schnellansprechende Sprinkler verwendet werden, wobei, wie bereits in /36/ erwähnt, ein Sprinkler mit 60 l/min eine Fläche von max. 12 m² abdeckt. Bei zwei geöffneten Sprinklern werden je 42 l/min abgegeben. Deshalb sollten Sprinkler installiert werden, da viele Opfer bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr zu beklagen sind.

Steinhaus /63/ gibt die Erkenntnisse über die in den letzten 20 Jahren gemachten Erfahrungen mit Sprinkleranlagen in der Industrie weiter. Verschiedene Bereiche und wirtschaftliche Aspekte werden aufgezeigt und insgesamt die Sprinkleranlage als die wirtschaftlichste und effektivste Lösung zur Absicherung von Risiken genannt.

Young /64/ erwähnt den seit über 100 Jahren bestehenden Schutz mit Sprinklern und gibt die neueren Einsatzgebiete an wie z.B. Telefonzentralen, Atrien, Schiffsmaschinenräume oder Hochregallager. Weiterhin werden Untersuchungen mit Kabeln, Bränden unterschiedlicher Brandausbreitung und das Versprühen von kleinen Tropfen mit mehr als 55 bar Druck genannt. Der Einsatz für schnellansprechende Sprinkler sind Wohneinheiten, Krankenhäuser oder Gefängnisse. Für den künftigen Einsatz wird auch an Züge

und Flugzeuge gedacht.

In /65/ wird von einem Symposium über Sprinkler berichtet, auf dem europäische Ziele, belgische Vorschriften, Installationsgesichtspunkte und ESFR-Sprinkler sowie als weitere wichtige Punkte die Wasserbeaufschlagung, die Schutzflächen, die Anzahl und die Auslösezeit der Sprinkler behandelt werden.

Büssem /66/ erwähnt Untersuchungen in U-Bahn Wagen in Hamburg und die damit verbundene Entwicklung von anderen Sprinklern, mit denen die ersten 30 Züge ausgerüstet wurden.

Stephens /67/ berichtet in kurzer Form über die Verlegung von Rohrleitungen und Deckensprinklern mit mindestens 30 cm langen Abstandsstücken auf dem Rohr sowie über die Sprinklerung im Zwischendeckenbereich.

Hattan /68/ weist auf die erste voll gesprinklerte Schule in Großbritannien hin, wobei speziell gegen Vandalismus geschützte Sprinkler entwickelt wurden. Die Auslösetemperaturen sind in einzelnen Bereichen unterschiedlich. Bei 3 geöffneten Sprinklern wird von einer Beaufschlagung mit 225 l/min Wasser ausgegangen.

Teague /69/ gibt an, daß bei bestimmten Gefahren Rückströmsicherungen bei Sprinklern wegen evtl. verschmutzten zurückfließenden Wassers notwendig sind.

Rees /70/ beginnt mit dem Sprinkler von Congreve (1812) und dem automatischen System von Parmelee (1874) und berichtet anschließend von einer Statistik mit 6400 Bränden, bei denen 560 Sprinkleranlagen installiert waren. Bei gesprinklerten Gebäuden betrug der mittlere Schaden 3800 Dollar, während es bei ungesprinklerten Gebäuden 17000 Dollar waren. Die Notwendigkeit von Sprinklern wird daraus ersichtlich. Die ESFR-Sprinkler werden als der größte Fortschritt bezeichnet. Sie können auch ohne

Zwischenebenen-sprinkler in Regalen eingesetzt werden.

In /71/ wird ein Taschenbuch erwähnt, das die grundlegenden Eigenschaften über automatische Sprinklersysteme beinhaltet, angefangen von den Typen, über die Auslösetemperaturen bis hin zu den Ventilen.

Offenhäuser, Barth u.a. /72/ berichten über die Simulation von Löschvorgängen mit Sprinklern. In einem Modell (CFIRE-X) werden dabei in einem Brandraum 2 Gasschichten angenommen sowie das Auslösen eines Sprinklers und der Austritt von Wassertropfen simuliert. Die Annahme der Löschzeit und der Brandtemperatur bilden besondere Schwierigkeiten. Aus 14 Versuchen wurden Daten gewonnen und diese der Modellrechnung gegenübergestellt. Das Ziel dabei ist es, ein Löschkriterium aufzustellen.

Oberste-Schemmann /73/ weist darauf hin, daß in Betrieben mit Sprinkleranlagen 98 % der Brände bekämpft werden konnten. Sie sucht eine Alternative für einen VdS-konformen (Verband der Sachversicherer) und preiswerteren Sprinklerschutz für Klein- und Mittelbetriebe, da bei 87 % aller Brände mit weniger als 10 Sprinklern gelöscht werden konnte. So könnte durch die Installation von ca. 30 Sprinklern und Brandabschnittstrennungen sowie durch entsprechende Einstufung bei den Versicherern etwas erreicht werden.

2.2 Brände und Sprinkler

In /74/ wird von einem durch die Feuerwehr schwer zugänglichen Brand in einem Areal von 17 verschiedenen Nutzungseinheiten berichtet. Mit der installierten Sprinkleranlage konnte nicht gelöscht werden, da sie von der Versicherung nicht für nötig gehalten und deshalb außer Betrieb gesetzt wurde.

Isner /75/ berichtet von einem Brand im 10ten Stock eines Hochhauses, bei dem 4 Personen getötet und 22 verletzt wurden. Zwar besaß jedes Appartement einen Rauchmelder, aber die Sprinkleranlage war nur im Erdgeschoß installiert.

In /76/ wird in einem umfangreichen Bericht auf mehrere Brände wie den im Sherwood-William Warenverteilzentrum eingegangen, der durch Funken eines Gabelstaplers verursacht wurde. Der Schutz der 16740 m² großen Fläche sollte mit einem Sprinklersystem mit 9,5 m³/min Wasser gewährleistet werden. Heruntergefallene Behälter entzündeten sich und das Feuer breitete sich sehr schnell aus. Der entstandene Schaden betrug 49 Mio Dollar. Im "Supermarkt General" mit einer Fläche von 27000 m² wurde die Sprinkleranlage durch einen Brand überlaufen. Der Schaden betrug 50 Mio Dollar. Bei "Ford" mit einer Fläche von 93000 m² war die Sprinkleranlage überfordert und wurde zusätzlich durch herabstürzende Teile zerstört. Das "Montgomery Zentrallager" mit einer Fläche von 18000 m² brannte trotz Sprinkleranlage völlig ab. Der Schaden betrug 30 Mio Dollar. Das "K Mart Distribution Center" mit 111600 m² war gesprinklert. Bei dem durch einen Stapler verursachten Brand an brennbaren Flüssigkeiten entstand dennoch ein Schaden von 100 Mio Dollar. Brennbare Flüssigkeiten waren auch beim Brand des "MGM" Lagers mit 50000 m² beteiligt. Die Sprinkleranlage konnte den Verlust nicht verhindern. Der Schaden betrug 150 Mio Dollar. Die Sprinkleranlage im "Service Merchandise" mit 186000 m² konnte einen Brand bis zum Eintreffen der Feuerwehr nicht unter Kontrolle halten. Der Schaden betrug 30 Mio Dollar. Auch in einem Teppichlager mit 7200 m² konnte ein Brand mit starker Rauchentwicklung durch das Auslösen von 246 der 253 Sprinkler nicht gelöscht werden. Der Schaden betrug 1,25 Mio Dollar.

Ljamaev und Salkov /77/ berichten über einen fahrlässig verursachten Brand in einem Busdepot. Da die Wasserversorgung nicht ausreichte, versagte die Sprinkleranlage und die Fahrzeuge sowie die Halle brannten ab.

Courtney /78/ berichtet über einen durch einen behinderten Patienten selbstverschuldeten Brand, der dabei ums Leben kam, weil die Sprinkleranlage nicht auslöste. Bei weiteren Bränden wie den in einem voll gesprinklerten Gebäude mit 5400 m² entstand ein Schaden von 250000 Dollar. In einem einstöckigen Restaurant entstand beträchtlicher Schaden, weil die Sprinkler nicht auslösten und in einem anderen Fall führte eine Fehlinstallation zu einem Schaden von 100000 Dollar.

Courtney /79/ führt einen Brand in einem Krankenhaus an, bei dem ein Schaden von 425000 Dollar entstand, weil Sprinkler nur auf den Fluren und nicht in den Zimmern installiert waren. In einem 70 Jahre alten Gebäude entstand durch einen Brand ein Schaden von 350000 Dollar, weil das Sprinklersystem abgeschaltet war.

Taylor /80/ bemerkt, daß Brände in Computerräumen meistens zu klein sind, um eine Sprinkleranlage auszulösen. An einem Beispiel wird gezeigt, daß ein Brand bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr gelöscht wurde. Der Schaden betrug 100000 Dollar.

Courtney /81/ berichtet über einen durch eine defekte Rohrleitung mit Heptan ausgebrochenen Brand in einem metallverarbeitenden Betrieb. Die Sprinkleranlage und die Feuerwehr konnten den Schaden auf 35000 Dollar begrenzen.

Courtney /82/ erwähnt einen durch die Überhitzung von Lampen entstandenen Brand in einem 13-stöckigen Gebäude. Da nur im ersten Stock eine Sprinkleranlage installiert war, mußte die Feuerwehr den Brand im 10ten Stock löschen. Der Schaden betrug 100000 Dollar.

Redding und Pauley /83/ geben für 363 Brände im Jahr 1985 einen Schaden von 1,2 Mrd Dollar an. So wird z.B. ein Brand im dritten Stock eines 45-stöckigen Gebäudes beschrieben, das trotz Ausrüstung mit Brandmeldern und einer Sprinkleranlage

einen Schaden von 2,5 Mio Dollar zu verzeichnen hatte. In einem anderen Fall setzte die Explosion in einer Farbenfabrik die Sprinkleranlage außer Betrieb. Eine Person wurde getötet, 8 Personen verletzt. Der Schaden wurde mit 4,2 Mio Dollar beziffert. Ein Blitz setzte Teile eines 100 Jahre alten Mühlenkomplexes mit 14000 m² in Brand. Die vorhandene Sprinkleranlage wurde dabei ebenfalls zerstört. Der Schaden belief sich auf 1,2 Mio Dollar.

In /84/ wird beschrieben, wie dekorativ aufgestellte Bauteile den Einsatz der Sprinkler bei einem durch einen elektrischen Defekt entstandenen Brand behinderten, so daß ein Schaden von 4,2 Mio Dollar entstand. Weiterhin wird anhand von mehreren Bränden erläutert, daß Sprinkleranlagen in der Lage gewesen wären, diese zu löschen.

Floitgraf /85/ beschreibt einen Hochhausbrand in Los Angeles. Die Sprinkleranlage war zu 90% installiert, aber die Pumpen waren abgeschaltet, so daß sich der Brand auf 3 Stockwerke ausbreitete. Eine Person wurde dabei getötet und mehrere verletzt. Man stellte fest, daß im Anfangsstadium der Brand mit einem Sprinkler hätte gelöscht werden können.

Dosne /86/ erwähnt den durch einen elektrischen Defekt an der Sprinkleranlage ausgebrochenen Brand, der auch durch diese wieder gelöscht wurde. Es entstand dennoch durch Feuer und Wasser ein Millionenschaden.

Stoddard /87/ zeigt anhand einer Tabelle, daß in Computeranlagen Sprinkler zwar Wasserschäden verursachen, aber Millionenschäden durch den Brand verhindern werden können.

Taylor und Tremblay /88/ listen 55 im Jahre 1985 in den USA ausgebrochene Großbrände über 5 Mio Dollar auf, bei denen in 13 Fällen eine Sprinkleranlage vorhanden war. Es wird in diesem Zusammenhang ausführlich über die Gebäudearten, die Brand-

ursachen und die Schutzsysteme berichtet.

Taylor /89/ erfaßt ebenfalls Brände in den USA aus den Jahren 1981 bis 1985, um Aussagen über die in 41 % der Fälle vorhandenen Brandbekämpfungseinrichtungen machen zu können. Der Schaden war in diesen Bereichen um 25 % niedriger. Als Beispiel wird ein im Batterieraum eines Computerzentrums entstandener Brand erwähnt, der mit dem vorhandenen Sprinklersystem gelöscht wurde.

Courtney /90/ erwähnt einen in einem Lagerhaus durch einen Defekt an einem Gabelstapler entstandenen Brand, der trotz einer vorhandenen Sprinkleranlage einen Schaden von 300000 Dollar verursachte.

Morris /91/ berichtet über einen Brand in einem 62-stöckigen Hochhaus der "First Interstate Bank" in Los Angeles, bei dem eine Person getötet wurde. Die Sprinkleranlage war zu 90 % fertiggestellt. Durch das Abschalten mehrerer Alarmmeldungen konnte sich der Brand über 4 Stockwerke ausbreiten, wobei Sachschaden von 235 Mio Dollar entstand. Dies wurde zum Anlaß genommen, daß innerhalb von 3 Jahren alle Hochhäuser in Los Angeles automatische Sprinkleranlagen installieren mußten.

Vreese /92/ behandelt ebenso den Brand in der "First Interstate Bank", der wahrscheinlich durch Kabel verursacht wurde. Die Stockwerke 11 bis 14 wurden aufgrund der Fehleinschätzungen von Alarmmeldungen zerstört. Zusätzlich war die Sprinkleranlage noch nicht vollständig installiert, Pumpen abgeschaltet und Wassermangel vorhanden. Von etwa 3500 Personen waren nur ca. 40 im Haus. Eine Person wurde getötet und 23 verletzt. Die Brandentwicklung sowie der Löscheinsatz werden näher behandelt.

Courtney /93/ berichtet von einem Brand in einem 2-stöckigen Gebäude mit 8900 m², in dem Blumen aus Kunststoff hergestellt wurden. Die Sprinkler-trockenanlage konnte den Brand nicht unter

Kontrolle bringen. Beim Löscheinsatz wurden 3 Feuerwehrleute verletzt, der Schaden betrug 1 Mio Dollar.

Walters /94/ erwähnt das Einfrieren von Sprinkleranlagen und entsprechende Gegenmaßnahmen. Als Beispiel wird das Einfrieren der Rohrleitungen in einer Sägemühle beschrieben, in der noch vor der Reparatur ein Brand ausbrach und einen Schaden von 22,6 Mio Dollar verursachte.

Coates und Loader /95/ verweisen auf einen durch einen elektrischen Defekt entstandenen Brand in einem 75 m mal 60 m großen Lagergebäude mit Kunststoffverpackungen. Lediglich in einem Bereich mit 40 Sprinklern konnte der Brand kontrolliert werden. Insgesamt wurden 48000 Behälter mit Kunststoffherzeugnissen zerstört.

Courtney /96/ erwähnt den Brand an einem Ölbrenner, wobei die Sprinkleranlage auslöste. Der Schaden betrug 25000 Dollar. Ein Brand in einem Lagehaus konnte ebenfalls durch die vorhandene Sprinkleranlage gelöscht werden.

Courtney /97/ berichtet von einem kleinen Brand in einem Schulgebäude, der nicht ausreichte, die Sprinkler auszulösen. Es entstand nur geringer Schaden. In einem weiteren Schulgebäude konnte ein Brand nur durch die Feuerwehr gelöscht werden, da die Sprinkler zwar auslösten, aber die Rohrleitungen gefroren waren. Ein weiterer Brand mit einem Schadensanteil von 175000 Dollar entstand durch die Explosion eines Druckbehälters. Der anschließende Brand wurde nicht durch die Sprinkler, sondern die Feuerwehr gelöscht.

Courtney /98/ berichtet vom Auslösen zahlreicher Sprinkler bei der Explosion von verdampfendem Öl. Der Schaden war gering, aber es wurde eine Person getötet und eine weitere schwer verletzt. Durch einen propanbetriebenen Gabelstapler gerieten 50 Ballen in einem Papierabfallager in Brand. Mehrere Sprinkler

konnten den Schaden auf 2500 Dollar begrenzen. Ein weiterer durch einen gasbetriebenen Stapler verursachter Brand in einem Lager mit Ballen aus Wollflocken und Stoffetzen löste die Sprinkleranlage aus. Ein Übergreifen auf das Dach konnte jedoch nicht verhindert werden. Der Schaden betrug 160000 Dollar.

Courtney /99/ führt einen Brand in einem nicht geschützten Generatorenraum an, der mit den Sprinklern einer außerhalb installierten Anlage kontrolliert wurde. Der Schaden betrug 150000 Dollar. Bei einem Brand in einer Uhrenfabrik löste die Sprinkleranlage aus. Dennoch entstand ein Sachschaden von 475000 Dollar.

Kirsch /100/ berichtet von einem Brand in einer Stickerei, den die Sprinkleranlage kontrollieren konnte. In einem teilweise gesprinklerten Lager war der Unterschied mit und ohne Sprinkler deutlich zu erkennen. Als sehr wichtig werden die Instandhaltung des Systems und Begehungen durch die Feuerwehr angesehen.

Klem /101/ erwähnt einen Brand in einem Pflegeheim, bei dem 4 Personen umkamen und mehrere verletzt wurden, weil die Sprinkleranlage nicht richtig funktionierte.

Courtney /102/ erwähnt einen durch einen Heizlüfter in einem einstöckigen Gebäude entstandenen Brand, der durch die vorhandene Sprinkleranlage gelöscht wurde. Der Schaden betrug 25000 Dollar.

Wronn und Schnidt /103/ berichten von einem durch Brandstiftung auf einer Rampe einer vollständig gesprinklerten Lagerhalle entstandenen Brand. Zunächst lösten die Sprinkler auf der Rampe und nach Fortschreiten des Brandes auch weitere Sprinklergruppen im Innern der Halle aus. Auch das zusätzliche Eingreifen der Feuerwehr konnte den Verlust der Halle nicht verhindern.

Courtney /104/ erwähnt einen Brand in einem zweistöckigen

Anstaltsgebäude, der durch die installierte Sprinkleranlage gelöscht werden konnte, so daß nur ein Schaden von 1500 Dollar entstand.

Courtney /105/ beschreibt einen bei der Renovierung eines 8-stöckigen Krankenhauses entstandenen Brand. Da die Sprinkleranlage zu diesem Zeitpunkt nur teilweise funktionierte, mußte die Feuerwehr eingreifen. Der Schaden betrug 20000 Dollar. Ein durch 2 Jugendliche verursachter Brand in einem Einkaufszentrum konnte durch eine Sprinkleranlage in Grenzen gehalten werden. Ein Verbindungsgang sowie Kleidung und Teppiche wurden zerstört. Ein Defekt an einem Kaffeeautomaten setzte frühmorgens einen Supermarkt in Brand, in dem nur die Dachattika mit Sprinklern geschützt war. Die Feuerwehr mußte sich deshalb auf den Schutz der Umgebung beschränken. Der Schaden betrug 1,7 Mio Dollar. In einer Fabrik konnte die Sprinkleranlage einen durch Funken entstandenen Brand löschen, wobei nur Sachschaden von 9000 Dollar entstand.

Courtney /106/ berichtet von einem Brand in einer Garage eines Einfamilienhauses, der durch entzündete ölgetränkte Lappen entstand. Die vorhandene Sprinkleranlage wurde unterlaufen und es entstand ein Schaden von 274000 Dollar.

Courtney /107/ schildert den Brand in einem mit 5 Sprinklern ausgestatteten Nutzungsraum. Durch einen Funken geriet aus einer undichten Leitung ausströmendes Propan in Brand. Der Schaden betrug 97000 Dollar. Ein Brand im Untergeschoß eines Hochhauses wurde ohne das Auslösen der vorhandenen Sprinkleranlage gelöscht. Der Schaden belief sich auf 150000 Dollar.

Courtney /108/ berichtet über einen Brand in einer Holzfabrik, der durch einen Heizlüfter entstanden war. Die Sprinkleranlage wurde überlaufen, da ein hängender Sprinkler über dem Brandherd stehend montiert worden war. Der Schaden betrug 20000 Dollar. In einem Wohnkomplex von 700000 Dollar wurde auf einem Flur ein

Brand gelegt, der wegen der darüber befindlichen Sprinkler nur einen Schaden von 2000 Dollar verursachte.

Courtney /109/ erwähnt, daß eine Sprinkleranlage in einem älteren Bürogebäude den vorhandenen Brand nicht löschen konnte, so daß ein Schaden von 70000 Dollar entstand.

Courtney /110/ führt weitere Brände an, z. B. in einem Hotel, bei dem die Sprinkler den Schaden auf nur 4500 Dollar begrenzen konnten. Der Brand in einem Motel verursachte einen Schaden von 300000 Dollar. Die Sprinkler in dem daneben liegenden Hotel konnten den hierher übertragenen Brand auf 8000 Dollar begrenzen. Bei einem weiteren Brand in einem Bürogebäude entstand trotz des Einsatzes von Sprinklern ein Schaden von 350000 Dollar, während in einer 5-stöckigen asphaltverarbeitenden Fabrik Sprinkler den Schaden in Grenzen hielten.

Courtney /111/ erwähnt einen Brand an einem Gabelstapler, der von der vorhandenen Sprinkleranlage gelöscht wurde. Eine heruntergefallene brennende Zigarette verursachte in einem Apartment einen Brand, bei dem die Sprinkleranlage nicht auslöste, so daß ein Rollstuhlfahrer ums Leben kam.

Taylor und Tremblay /112/ berichten über die größten Brände im Jahre 1989 in den USA. In einem umfangreichen Bericht werden die Brandursachen, das Brandgeschehen, die Gebäudetypen, die Personen- und Sachschäden, die Melde- und Sprinkleranlagen und andere Einflüsse beschrieben und anhand von Tabellen und Bildern erläutert. Bei 7 von insgesamt 20 Bränden in industriell genutzten Konstruktionen war eine Sprinkleranlage vorhanden, ebenso bei einem von 11 Bränden in anders genutzten Gebäuden, bei 2 von 8 Bränden in Lagern und bei einem von 5 Bränden in Büroräumen. Die Schadenshöhen lagen zwischen 5 Mio und 750 Mio Dollar.

2.3 Stapellagerung und Sprinkler

In /56/ werden Zwischenebenensprinkler bei Lägern als sehr wichtig angesehen, weil einerseits Deckensprinkler das Löschwasser nicht in die einzelnen Regale bringen können und andererseits die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Brandes bis zu 13 m/s betragen kann und somit das Wasser weggetragen würde.

In /113/ wird zwischen dem aktiven Schutz aus Sprinklern, Löschern und Schläuchen sowie dem passiven Schutz der Konstruktion mit Brandwänden und Türen unterschieden. Die verschiedenen Stoffe im Lager werden klassifiziert und anhand von Beispielen beschrieben. Das Sprinklersystem wird je nach Art der Lagerung ausgelegt. Wichtige Parameter bilden dabei der Sprinkleröffnungsdurchmesser und der Sprinklertyp, wobei Deckensprinkler und Zwischenebenensprinkler für bestimmte Höhen und schnell ansprechende Sprinkler bis zu einer Lagerhöhe von 7,6 m eingesetzt werden können. Seit dem Jahre 1950 wurde mit dem ESFR-Sprinkler der beste Sprinkler mit einem bis zu 3mal höheren Wasserausstoß entwickelt. Außerdem wird auf die Löschwirksamkeit eingegangen, die von vielen Faktoren abhängt wie z.B. vom Lagergebäude selbst, dem Lageraufbau, der Brandlast, den Auftriebskräften, der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Brandes, der Temperatur, sowie dem Auslösen des ersten Sprinklers, der Wasser- und Tropfenverteilung, dem Impuls und den RTI- (Response Time Index), ADD- (Actual Delivered Density) und RDD- (Required Delivered Density) Werten, um einige zu nennen.

Rost /114/ beschreibt neben der Brandausbreitung, die Brandmeldung und den Einsatz verschiedener Löschanlagen in Hochregallägern. Der Erfolg von Sprinkleranlagen hängt dabei von der Anordnung, dem entstehenden Wasserdampf, dem Auslösen, der Kühlung u.a. ab. Auch Sprühwasseranlagen mit offenen Düsen können zum Einsatz kommen.

In /115/ werden Sprinkleranlagen als der effektivste Schutz

gegen Brände in Lägern angesehen. Von entscheidender Bedeutung sind dabei die Höhe der Regale und die darauf gelagerten Materialien wie z.B. brennbare Flüssigkeiten in Kunststoffbehältern, Stoffe aus Baumwolle und Synthetik sowie Kunststoffverpackungen und -behälter selbst. Im Normalfall sind Sprinkler mit Öffnungsdurchmessern von 12,7 mm bis 13,5 mm installiert. Großtropfensprinkler mit 16 mm und ESFR-Sprinkler mit 17,8 mm stehen für spezielle Anwendungen zur Verfügung. Weit verbreitet sind Deckensprinkler bis zu Höhen von 30,4 m und Zwischenebenensprinkler ab einer Höhe von 4,6 m. Der ESFR-Sprinkler kann mit seinem bis zu 3mal größeren Volumenstrom bis zu einer Höhe von 7,6 m und bei fast allen Materialien eingesetzt werden. Zusätzlich werden die RTI-, ADD- und RDD-Werte sowie als zusätzliches Einsatzgebiet kleinere Wohneinheiten genannt.

Sotis /116/ verweist auf die wegen unterschiedlicher Lagerung in verschiedene Klassen eingeteilten Stoffe, die in einer Tabelle wiedergegeben sind. Ebenso wird auf die Art der Lagerung, die Gangbreiten, die Lagerhöhen sowie auf Naß- und Trockensysteme hingewiesen. Außer den Standardsprinklern mit Zwischenebenenschutz bei hohen Regalen können auch Großtropfen- sowie ESFR-Sprinkler bis zu einer Stapelhöhe von 7,6 m und einer Deckenhöhe von 9,1 m eingesetzt werden. Die Auslegung sollte stets für eine höhere Brandgefahr geplant werden.

Nach Sotis /117/ würde der Einsatz von ESFR-Sprinklern die Schäden durch Brand, Rauch, Wärme und Wasser reduzieren. Zwischenebenensprinkler können im Regallager wegfallen, bei Kunststoffen jedoch nur bis zu einer Höhe von 4,6 m. Auch Aerosole und Papierrollen können mit ESFR-Sprinklern beherrscht werden. Die Lagerhöhen richten sich nach den unterschiedlichen Gefahrenklassen der Materialien. Der Anwendungsbereich soll durch Untersuchungen noch erweitert werden.

In /118/ werden die in den letzten Jahren durch höhere und großflächigere Lagerung angestiegenen Brandgefahren erwähnt.

Die Nutzungsänderung in einem Lager ist für den Einsatz von Sprinklern von großer Bedeutung, wie einige Beispiele zeigen. Naßsysteme oder Trockensysteme in frostgefährdeten Bereichen sowie ESFR-Sprinkler für Lagerhöhen bis 7,6 m in 9,1 m hohen Lagern finden Verwendung. Für den weiteren Schutz werden bauliche Maßnahmen und Handfeuerlöcher erwähnt.

Casaccio /119/ bezeichnet den ESFR-Sprinkler ebenfalls als die größte Entwicklung seit den 50er Jahren für den Schutz von Regallägern, wobei in Stahlgestellen bis zu einer Höhe von 4,6 m und in Hochregalen bis 7,6 m bei einer Deckenhöhe von 9,1 m gestapelt werden darf. Der austretende Wasserstrom ist 2 bis 3mal größer und Zwischenebenensprinkler sind nicht mehr notwendig. FMRC prüft, ob weitere Anwendungen möglich sind. Ebenso werden schnelle Sprinkler für kleine Wohneinheiten entwickelt. Zusätzlich werden die RTI-, ADD- und RDD-Werte genannt und auf Brandgrößen wie die Wärmefreisetzung und den Auftrieb oder Sprinklercharakteristiken wie die Wasserverteilung und die Tropfengrößen eingegangen.

Sotis /120/ gibt die unterschiedlichen Lagergüter, die in 4 Produktklassen eingeteilt sind, anhand einer Tabelle wieder. Dabei ist zu beachten, daß z.B. durch das Einwickeln mit Folien das Löschwasser nicht auf das Lagergut gelangen kann. Die hohen Wassermengen, die Gangbreiten im Lager, die für das Sprinklerwasser schwer zugänglichen Palettenlager, die Zwischenebenensprinkler bei mehr als 4,6 m Höhe des Lagergutes und der Deckenschutz sowie die Naßsysteme, die den Trockensystemen bevorzugt werden und der bei neuen Anlagen wegen der Flexibilität etwas höher geplante Schutz werden erwähnt.

In /121/ wird auf die Notwendigkeit der Zwischenebenensprinkler bei Regalen hingewiesen, wobei sich die Lagerhöhe nach dem Lagergut richtet. Diese Sprinkler können bei Verwendung von ESFR-Sprinklern entfallen. Der Auftrieb eines Brandes kann entgegen den Wassertropfen eine Geschwindigkeit von 13 m/s erreichen.

Außerdem wird die Brandgefahr durch Gabelstapler erwähnt.

In /122/ wird die Meinung vertreten, daß in einem Hochregallager z.B. eine Sprinkleranlage nahezu die einzige Gewähr bietet, einen Entstehungsbrand noch rechtzeitig zu löschen. So konnte ein durch Brandstiftung an Paletten entstandener Brand trotz Windeinflusses durch die im Fassadenbereich ausgelöste Sprinkleranlage und den Einsatz der Feuerwehr gelöscht werden.

In /123/ werden Empfehlungen bezüglich des Einbaus von Sprinklern gegeben sowie ausführlich auf bestimmte Stoffe, Lagerarten, Stapelhöhen, Abstände zur Decke, Schutzflächen, Wasserbeaufschlagungen, Sprinklerauslösetemperaturen und Düsendurchmesser anhand von Tabellen und Bildern eingegangen.

In /124/ wird berichtet, daß bei 98 % der Brände Sprinkler erfolgreich sind, wobei in 70 % der Fälle mit 1 bis 4 Sprinklern gelöscht werden konnte. Ein Versagen der Sprinkleranlage wurde z. B. verursacht durch eine Unterdimensionierung der Anlage, eine Änderung bei der Lagerung, durch Brandstiftung oder eine Explosion, um nur einige zu nennen. Die Sprinkler öffnen meistens bei ca. 40 K über der Umgebungstemperatur. Weiterhin wird über die verschiedenen Lagerarten, (Regal- und Hochregallagerung), Brandgefahren, Materialien, Sprinkleranlagen, Wasserversorgung, Mindestbeaufschlagung, Deckenabstand und andere Kenngrößen berichtet.

Casaccio /125/ gibt an, daß chemisch hergestellte, nicht gewobene Fasern, die in Rollen gelagert werden, die größte brandtechnische Herausforderung darstellen. Für die Lagerung auf Gestellen in mehreren Reihen oder in Doppelreihen sowie auf dem Boden wird ausführlich anhand von Tabellen für bestimmte Lagerhöhen die jeweilige Sprinkleranordnung und die dafür benötigten Wasserbeaufschlagungen aufgelistet. Zusätzlich wird auf die Richtlinien für derartige Lagerung hingewiesen.

Nach Wall /126/ sollen Sprinkler einen Brand auf einer akzeptablen Fläche von 180 m² bis 260 m² kontrollieren können. Standardsprinkler mit kleinen Tropfen haben Mühe in einem bis zu 6 m hohen Lager mit Kunststoffmaterialien einen Brand zu bekämpfen, da diese Tropfen gegen die hohen Flammengeschwindigkeiten von bis zu 50 km/h (13,9 m/s) kaum ankommen können. Die Tropfen der ESFR-Sprinkler können dagegen bis zum Brandherd vordringen. Die schnelle Auslösung und die hohe Beaufschlagung verringern außerdem den verursachten Schaden. In vielen Fällen genügt der Einsatz von 4 Sprinklern. Öffnen mehr als 12 Sprinkler ist das System überfordert.

2.4 Lüftung und Sprinkler

Courtney /106/ berichtet von einem Brand in einem Hochregallager, in dem teilweise höher als die Sprinkleranlage gestapelt war. Durch den Brand lösten sowohl die Rauchmelder als auch die Sprinkler und die Lüftungsklappen aus. Trotz zusätzlichem Einsatz der Feuerwehr entstand ein Schaden von 1 Mio Dollar.

Miller /127/ erwähnt in kurzer Form die Ventilationsbedingungen bei einem Brand und die Auswirkungen der Sprinkler auf den Rauch und die Rauchabzüge.

Butcher /128/ behandelt das Zusammenwirken von den Sprinklern und der Entlüftung in einem Einkaufszentrum sowie Probleme, die dadurch entstehen können.

Benet /129/ geht auf die Brandschutzmaßnahmen in einem IBM-Gebäude mit einer Fläche von 15000 m² ein. Das 20 m hohe Gebäude besitzt 11 Sprinklerschutz zonen mit Schutzflächen von 9 m² bis 12 m², Sprinklerauslösetemperaturen von 60 °C und 141 °C und Wasserbeaufschlagungen von 10 l/(min m²). Insgesamt sind 8500

Sprinkler und 2000 Brandmelder sowie eine Entrauchungsanlage mit einer Leistung von $50 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ installiert.

Wodrich und Krüger /130/ erwähnt den durch Schweißarbeiten entstandenen Brand auf dem Dach eines Hochregellagers mit Textilien, bei dem abtropfendes Material die Sprinkleranlage auslöste. Der Brand konnte durch die Feuerwehr gelöscht werden. Im Verlaufe des Brandes öffneten nur 3 der 5 vorhandenen Wärmeabzugskuppeln, weil über den beiden anderen Kuppeln Kanäle installiert worden waren.

Cole /131/ stellt Computermodelle vor, die das Zusammenwirken von Sprinklern und der Rauchdichte sowie der erzwungenen und natürlichen Ventilation beschreiben. Die Modelle ermöglichen jedoch nur grobe Schätzungen.

Sommer /132/ beschreibt neben den baulichen Maßnahmen die Installation von Brandmeldern und einer Sprinkleranlage in einer 13 m hohen Rohstoffrückgewinnungsanlage. Für verschiedene Bereiche wurden anfängliche Bedenken ausgeräumt und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen für den Anlieferungs- und Lagerbereich als geeignet betrachtet.

Gustafson /133/ behandelt in seinem ausführlichen Bericht gesprinklerte Gebäude wie Fabriken, Läger, Einkaufs- und Ausstellungszentren, Atrien, Arkaden. Zusätzliche Abzüge wirken sich teilweise nachteilig aus, da z.B. Sprinkler gekühlt werden können und somit erst später auslösen. Andererseits wird der Brand angefacht und kalter Rauch gelangt nach unten. Kontroverse Diskussionen wurden geführt und z.B. vorgeschlagen, daß zuerst die Sprinkler und dann die Rauchabzüge eingeschaltet werden. Es muß jedoch gewährleistet sein, daß eine genügend große Temperaturdifferenz vorhanden ist. Es könnten dabei Sprinkler mit einer Auslösetemperatur von $74 \text{ }^\circ\text{C}$ mit Elementen der Lüftung mit $100 \text{ }^\circ\text{C}$ kombiniert werden. Bereits eine Verzögerung von 15 s bis 30 s bei der Auslösung der Sprinkler können bei einem sich schnell

entwickelnden Brand schwere Folgen haben. In den USA, Schweden und Großbritannien wurden diesbezüglich Tests durchgeführt und unterschiedlich interpretiert. Zusätzlich wurden Computermodelle erstellt. Für ein Zonenmodell werden verschiedene Mechanismen erklärt mit dem Ergebnis, daß die Lüftung keinen bedeutenden Einfluß auf die Sprinkler hat. Weitere Betrachtungen über das Zusammenwirken werden an einem Beispiel erklärt.

Cooper und Davis /134/ geben eine ausführliche Beschreibung einer Modellrechnung mit Annahmen für das Raumvolumen, die Deckenhöhe, die Deckenabzugsflächen, die Sprinklerabstände, die Abmessungen der Brandlast mit gestapelten Kartons auf Holzpaletten, die Energiefreisetzung und die Rauchschrzen. Die Ergebnisse werden in mehreren Bildern erläutert.

Davis und Cooper /135/ beschreiben ein Computerprogramm, das das Auslösen von Sprinklern bei Raumbränden erfaßt und die Deckenbelüftung in Verbindung mit Rauchschrzen aktiviert. Die in Bildern dargestellten Ergebnisse entsprechen den in /132/ genannten.

Cooper /136/ betrachtet ein mathematisches Modell für einen Brand und den Sprinklereinsatz sowie die Lüftung mit den Rauchschrzen. Das Modell wird anhand von Gleichungen beschrieben und ausführlich auf verschiedene Parameter wie die Strömung, den Auftrieb, die Rauchschrzen, die Temperatur, die Geschwindigkeit und die Auslöseelemente eingegangen.

Cooper /137/ beschreibt ausführlich die verschiedenen Schritte eines Modells zur Wechselwirkung von Raumbränden, Rauchschrzen und Sprinklern, wobei einzelne Parameter verändert werden wie z.B. die Ausflußrate, der Düsendurchmesser, die Tropfengröße oder auch die Kontur des Sprays. Im einzelnen werden verschiedene Einflüsse des nach unten wirkenden Sprinklersprays, der eintretenden Luft und der Rauchgasschrzen dargelegt.

Johnston /138/ berichtet über die Installation von 3 Sprinkleranlagen in einem Lagergebäude nach den Richtlinien der NFPA mit Sprinklern an der Decke, im Zwischenebenenbereich und zwischen dem Lager- und Produktionsbereich mit einer Wasserbeaufschlagung von $18,3 \text{ l}/(\text{min m}^2)$. Zusätzlich werden Rauchmelder und Wärmeventilationsöffnungen vorgesehen und der Frage nachgegangen, ob Lüftung den Einsatz von Sprinklern verzögert.

Dwyer /139/ gibt einen kurzen Überblick über den aktiven und passiven Brandschutz und erwähnt, daß Versicherungen in Großbritannien das Ansprechen der Ventilationsanlage nach dem Auslösen der Sprinkler fordern.

Heiner /140/ berichtet von den bei einem Brand entstehenden großen Rauchgasmengen, die eine Brandbekämpfung oft schwer möglich machen. Da Sprinkleranlagen einen derartigen Brand nicht immer sofort löschen können, ist der Einsatz einer Lüftungsanlage als sinnvoll anzusehen. Anhand von Experimenten wurde nachgewiesen, daß beide Systeme ohne gegenseitige nachteilige Beeinflussung ihre Aufgabe erfüllen können. An einem Beispiel wird dies beschrieben.

Hölemann /141/ informiert über die Wechselwirkungen zwischen Sprinkleranlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. Das Auslöseverhalten von Sprinklern hängt von mehreren Einflußfaktoren ab. Evtl. können bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage mehr Sprinkler auslösen als ohne diese. Die Dynamik eines Brandes wiederum wird stark durch die Sprinklerung und die Entlüftung beeinflusst. Der gleichzeitige Einbau wird hier nur in Ausnahmefällen empfohlen.

2.5 Anzahl der ausgelösten Sprinkler

In /65/ wird darauf hingewiesen, daß etwa 75 % der Brände mit weniger als 5 Sprinklern und etwa 95 % der Brände mit weniger

als 25 Sprinklern gelöscht werden.

Rees /70/ gibt an, daß in 28 % der Brandfälle mit weniger als einem Sprinkler, in 69 % der Brandfälle mit weniger als fünf Sprinklern und in 89 % der Brandfälle mit weniger als 15 Sprinklern gelöscht werden konnte.

Courtney /78/ berichtet von einem Hotelbrand, den 2 Sprinkler kontrollieren konnten, so daß alle Gäste evakuiert werden konnten. Der Schaden betrug 100000 Dollar. In einem als Bürogebäude genutzten Holzhaus konnte ein Sprinkler einen Brand löschen. Da es 5 Tage später erneut brannte, konnte der Schaden im einzelnen nicht festgestellt werden.

Courtney /82/ erwähnt einen durch einen Gabelstapler verursachten Brand in einer Papierfabrik, wobei 2 Sprinkler öffneten. Das vollständige Löschen erfolgte durch die Feuerwehr. Der Schaden betrug 475000 Dollar.

In /84/ wird von einem Brand berichtet, der zu einem großen Unglück geführt hätte, wenn ihn nicht ein einzelner Sprinkler und ein Angestellter gelöscht hätte. Der Schaden betrug nur 13000 Dollar.

Courtney /90/ berichtet von einem durch eine offene Lampe entstandenen Brand in einem Schlafgebäude einer Universität, das durch einen Sprinkler gelöscht wurde. Der Brandschaden war mit 3500 Dollar gering, aber der Wasserschaden betrug 158500 Dollar. In einer Reparaturwerkstatt brach durch Unachtsamkeit beim Rauchen ein Schwelbrand auf, der jedoch mit 2 Sprinklern einer Naßanlage gelöscht wurde. Der Schaden betrug lediglich 450 Dollar. Ein im Generatorraum eines Supermarktes entstandener Brand konnte mit einem Sprinkler einer Naßanlage gelöscht werden, so daß Werte von über 1,75 Mio Dollar gerettet wurden. Das Auslösen von 10 Sprinklern einer Naßanlage bei einem Brand in einer Möbelfabrik konnte den Schaden auf 65000 Dollar begrenzen.

Courtney /93/ berichtet von einem durch eine Fensterscheibe einer Videothek geworfenen Molotov Cocktail. Der entstandene Brand wurde mit zwei Sprinklern gelöscht. Der Schaden betrug nur 6000 Dollar. Ein Brand einer mit Papierrollen beladenen Palette auf einer Laderampe eines Supermarktes konnte mit einem Sprinkler gelöscht werden. Der Schaden blieb mit 650 Dollar gering.

Courtney /96/ erwähnt, daß ein Sprinkler in einer Wohnung einen brennenden Karton löschen konnte, bevor größerer Schaden entstand. In einem Hotelzimmer setzte eine brennende Zigarette das Bett in Brand. Ein Sprinkler konnte den Brand löschen. Der Schaden blieb mit 3800 Dollar gering.

Courtney /98/ berichtet über einen Mißerfolg beim Löschen eines Stofflagers mit Handfeuerlöschern. Das Auslösen von 6 Sprinklern konnten einen Schaden von 70000 Dollar nicht mehr verhindern. Einen von ölgetränkten Lappen ausgehender Brand wurde mit einem Sprinkler bei geringem Schaden von 1600 Dollar gelöscht.

Courtney /99/ erwähnt einen Brand im Büro eines mehrstöckigen Hotels, der mit 2 Sprinklern gelöscht wurde. Ein Brand in einer metallverarbeitenden Fabrik wurde durch das Auslösen von vier Sprinklern bis zum Eintreffen der Feuerwehr kontrolliert werden. Der Schaden wird mit 48000 Dollar angegeben.

Kirsch /100/ führt einen Brand auf einer 483 m² großen Fläche an, der mit 40 Sprinklern niedergehalten werden konnte.

Courtney /102/ berichtet von der erfolgreichen Brandbekämpfung mit 2 Sprinklern in einem Supermarkt, wobei ein Schaden von 40000 Dollar entstand. Ein einzelner Sprinkler löschte in einem Einkaufszentrum einen Brand an Papiertüchern, so daß kein Schaden entstand. In einem Spielwarenlager wurden zwei Brände innerhalb von 2 Monaten durch jeweils 5 Sprinkler und die Feuer-

wehr gelöscht, wobei ein Schaden von je 1 Mio Dollar entstand. Durch 7 Sprinkler wurde das Übergreifen eines Brandes von einer Kirche auf Nebengebäude verhindert. Der Schaden betrug dennoch 3,5 Mio Dollar.

Courtney /104/ berichtet von einem durch ein Waffeleisen entstandenen Brand in einer Wohnung eines Wohn- und Bürokomplexes, den ein Sprinkler löschen konnte. Der Schaden betrug lediglich 50 Dollar. Durch einen Kurzschluß entstand in einer Kunststofffabrik ein Brand, der durch 5 Sprinkler kontrolliert und von der Feuerwehr gelöscht wurde. Der Schaden betrug 95000 Dollar. Brennbare Gase in einem Lager mit ca. 5000 Batterien gerieten in Brand. Das Auslösen von 18 Sprinklern konnte das Übergreifen auf andere Gebäudeteile verhindern.

Courtney /105/ erwähnt den Brand an einem gasbetriebenen Gabelstapler, der 2 Sprinkler auslöste. Mit einem zusätzlichen Feuerlöscher konnte der Brand gelöscht werden, so daß nur ein Schaden von 500 Dollar entstand.

Courtney /107/ berichtet von einem Brand im 17ten Stockwerk eines 18-stöckigen Hochhauses, der von 2 Sprinklern bis zum Eintreffen der Feuerwehr gehalten werden konnte. Der Schaden betrug 15000 Dollar. Ein Brand in einem Einkaufszentrum konnte mit einem Sprinkler gelöscht und der Schaden auf 1300 Dollar begrenzt werden. Bei einer Explosion in einer Fabrik wurden 2 Personen getötet und mehrere verletzt. Der anschließende Brand wurde mit 24 Sprinklern einer Naßanlage kontrolliert.

Courtney /108/ beschreibt einen durch eine brennende Zigarette in einem Bett entstandenen Brand in einem Pflegeheim mit insgesamt 98 Betten. Ein einzelner Sprinkler konnte den Schaden auf 1000 Dollar begrenzen. Ein Küchenbrand wurde ebenfalls mit einem Sprinkler gelöscht, wobei ein Schaden von 2000 Dollar entstand. Ein ähnlicher Brand ohne Sprinklereinsatz verursachte einen 10mal höheren Schaden. Der Brandschaden in einem Wohnheim

konnte auf 66000 Dollar begrenzt werden, weil 5 Sprinkler den Brand auf ein Zimmer begrenzten.

Courtney /109/ verweist auf einen durch ein brennende Zigarette entstandenen Papierkorbbrand, der mit einem Sprinkler gelöscht wurde, wobei geringer Sachschaden entstand. In einem Einkaufszentrum wurde ein Brand mit 2 Sprinklern gelöscht. Der Schaden war ebenfalls gering.

Courtney /110/ erwähnt einen Brand im Schlafzimmer eines zweistöckigen Hauses, der mit einem Sprinkler gelöscht wurde. Ebenfalls mit einem Sprinkler konnte der durch eine Zigarette entstandene Brand in einem Apartmenthaus gelöscht werden. In beiden Fällen war der Schaden gering.

Sotis /116/ berichtet von einem durch einen Elektromotor entstandenen Brand in einem Lager mit Polystyrolballen und mit Formteilen, die bis zu einer Höhe von 4,6 m bzw. 5,5 m gelagert waren. 4 Großtropfensprinkler konnten den Brand löschen. In einem anderen Lager gerieten 8,2 m hoch gelagerte Aerosolprodukte in Brand. Zwei Zwischenebenensprinkler und ein Deckensprinkler konnten das Feuer kontrollieren.

In /123/ wird ein Brand in einem Lager mit Kunststoffmaterialien beschrieben, bei dem die Zwischenebenensprinkler fehlten. Deshalb lösten an der Decke 26 Sprinkler aus, mit denen der Brand aber nicht mehr gelöscht werden konnte, so daß ein Schaden von 450000 Dollar entstand. Ein durch Installationsfehler entstandener Lagerbrand löste 105 Sprinkler aus. Der Schaden betrug 400000 Dollar. Durch einen Brand in einem Lager lösten 175 Sprinkler aus, die jedoch den Einsturz des Daches nicht verhindern konnten. Der Schaden betrug 300000 Dollar.

Courtney /142/ verweist auf einen Brand in einem Krankenzimmer, der mit einem Sprinkler gelöscht wurde. Der Brand in einem 13000 m² großen Lagergebäude konnte mit einem Sprinkler kon-

trolliert werden. Der Lagerschaden betrug 100000 Dollar, der Gebäudeschaden nur 5000 Dollar. In einem Lager mit einer Fläche von 60 m mal 30 m konnten 12 ausgelöste Sprinkler die in Brand geratenen Kartons löschen. Demgegenüber konnte ein Brand in einem Papierlager mit zwei Sprinklern nicht gelöscht werden, weil sie mit Schlamm verstopft waren. Der Schaden betrug 250000 Dollar.

Courtney /143/ berichtet von einem durch Brandstiftung ausgelösten Brand in einem 3-stöckigen Gebäude, der mit einem Sprinkler kontrolliert wurde. In einem Krankenzimmer konnte ein vorsätzlich gelegter Brand mit einem Sprinkler gelöscht werden. In einem Regallager konnten 13 Sprinkler einen durch Calciumhypochlorid entstandenen Brand eingedämmt werden. Der Schaden betrug dennoch 300000 Dollar.

Courtney /144/ erwähnt einen Brand in einem 13300 m² großen Einkaufszentrum, bei dem 30 Sprinkler einer Naßanlage auslösten und trotzdem ein Schaden von 1,7 Mio Dollar entstand. Ein Brand in einem 3-stöckigen Gebäude konnte von 2 Sprinklern kontrolliert werden. Der Schaden betrug 20000 Dollar. Durch ölverschmutzte Kleidung gerieten Maschinen in Brand. 6 Sprinkler einer Trockenanlage lösten aus und die Feuerwehr kam zum Einsatz. Der Schaden belief sich auf 750000 Dollar. Im Lagerraum einer chemischen Fabrik hatten 2 von 4 installierten Sprinklern vor dem Eintreffen der Feuerwehr einen Brand bereits gelöscht.

Scoones /145/ gibt in einer ausführlichen Tabelle 30 Brände wieder. Dabei werden die Art des Brandes, die Sprinklerinstallation, die Anzahl der jeweils ausgelösten Sprinkler, die Feuerwehreinsätze sowie Zusatzbemerkungen erfaßt und anhand von Einzelbeispielen dargestellt.

Persson /146/ führt eine Statistik der NFPA für die Jahre 1970 bis 1974 an, bei der 40 % der Brände mit weniger als einem Sprinkler und 70 % der Brände mit weniger als vier Sprinklern gelöscht wurden. Bei nur 5 % der Brände lösten eine Anzahl von

20 bis 40 Sprinklern aus.

Courtney /147/ berichtet von einem durch elektrische Funken entstandenen Brand an einem Vordach eines Einkaufszentrums. Dichter Nebel verhinderte ein Erkennen, so daß der Brand ins Innere gelangte, wobei 14 Sprinkler auslösten. Es entstand ein Schaden von 500000 Dollar. Der Brand in einem Kopierraum eines einstöckigen Gebäudes wurde durch das Auslösen von 3 Sprinklern gelöscht. Der Schaden wurde auf 45000 Dollar begrenzt.

Courtney /148/ beschreibt einen durch eine Batterie eines Gabelstaplers ausgehenden Brand in einer Fabrik, bei dem Schaumstoff entzündet wurde. Dabei lösten 18 Sprinkler mit einer Wasserbeaufschlagung von $120 \text{ l/m}^2/\text{min}$ aus. In einer Garage konnte ein Sprinkler mit einer Wasserbeaufschlagung von $80 \text{ l/m}^2/\text{min}$ einen Brand auf ein Auto begrenzen. Der Schaden betrug dennoch 50000 Dollar. Beim Beladen eines Güterwagens fuhr ein Gabelstapler über ein Aerosolbehälter und entzündete ihn. Die Sprinkler am Anlegeplatz und 2 Sprinkler im Innern hielten den Brand unter Kontrolle. Der Schaden betrug 200000 Dollar.

Courtney /149/ berichtet über die Entzündung von Dämpfen bei Schweißarbeiten. Die 13 ausgelösten Sprinkler konnten den Brand nicht richtig bekämpfen, da Farbe und Schmutz an den Sprinklern dies verhinderten. Der Schaden war mit 2 Mio Dollar entsprechend hoch. Dagegen konnten 6 Sprinkler einen Brand in einer Elektrofabrik bis zum Eintreffen der Feuerwehr kontrollieren. Dennoch entstand ein Schaden von 334000 Dollar.

Vincent und Stavrianidis /169/ stellen die Ergebnisse aus 2 Testreihen mit Brand- und Löschversuchen an Regal- und Blocklagern in Tabellen gegenüber. Dabei wird u.a. die jeweilige Anzahl der ausgelösten Sprinkler angegeben.

2.6 Brandversuche und Sprinkler

In /65/ werden Untersuchungen mit ESFR-Sprinklern erwähnt. Die unter einem Dach installierten ESFR-Sprinkler besitzen einen RTI-Wert von 29 und eine Auslösetemperatur von 74 °C. Die 7,5 m hohe als Lager aufgebaute Brandlast bestand aus Kartons mit darin befindlichen Kunststoffteilchen. Es wurde festgestellt, daß die meisten gelagerten Stoffe unter Beachtung einiger Parameter mit ESFR-Sprinklern mit 460 l/min Wasser zu beherrschen sind. In ausführlicher Weise werden die Abstände und die Lagerhöhen für die Brandausbreitung, aber auch die Sprinklerinstallation und die Tropfengröße angesprochen. Spezielle Lagerungen und verschiedene Gefahrenklassen werden ausführlich in Tabellenform aufgeführt.

In /123/ sind Untersuchungen unterschiedlicher Stoffe in Stapelanordnungen aufgeführt. Dabei wurden die Stapelhöhe und die Sprinklerdichte variiert. Insgesamt wurden 27 Versuche mit Paletten, 16 Versuche mit Gestellen und ca. 50 Kleinversuche mit Kunststoffmaterialien durchgeführt. Die Brandausbreitung ist stark von der Art des Materials, den Zwischenräumen und Abständen abhängig. Es wurde u.a. festgestellt, daß Großtropfensprinkler den jeweiligen Brand in der halben Zeit kontrollierten wie Standardsprinkler und somit den Schaden verminderten.

Persson /146/ gibt in einem umfangreichen Bericht zahlreiche Untersuchungen von verschiedenen Forschungseinrichtungen wie FMRC, CEA, SCEA und SP wieder. Sowohl die RDD-Meßtechnik als auch die Reproduzierbarkeit sowie das Löschen bei Großversuchen werden eingehend untersucht. Der RDD-Wert hängt von der Brandgröße zur Zeit der Wasserbeaufschlagung ab. Der ADD-Wert ist ein Maß für die Verteilung und Eindringfähigkeit des Wassers in die Flamme. Der RTI-Wert bezieht sich auf das Auslösen des Sprinklers, wenn der Brand eine gewisse Intensität erreicht hat. Die jeweiligen Testserien beinhalten Lageraufbauten in

2, 3 oder 4 Reihen. Die max. Lagerhöhen betragen 7,6 m bei einer Deckenhöhe von 9,1 m. Als Brandlast wurden z.B. Möbel, Autoersatzteile und PS-Chips in Kartons auf Paletten oder Gestellen verwendet. Die Stoffe und die Lagerhöhen beeinflussen die Tests beträchtlich. Die Brandentwicklung, der Löscheinsatz mit verschiedenen Wassermengen werden untersucht. Die eingestellten Wasserbeaufschlagungen reichen von 14 mm/min bis zu 60 mm/min. Die Wärmefreisetzung, der Rauch und die Gase werden als wichtige Größen für die Erstellung von Computermodellen angesehen. Die Versuchseinrichtungen einschließlich der Abzugshaube mit einem Durchmesser von 6 m werden ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse wurden anhand der gewonnenen Versuchsdaten miteinander verglichen und dabei festgestellt, daß bei einem Teil davon gute Übereinstimmungen vorhanden waren, während bei anderen Untersuchungen bereits die vorgegebenen Parameter stark voneinander abwiechen. Weitere Untersuchungen sollten dann durchgeführt werden, wenn die Ergebnisse für eine Beurteilung nicht ausreichen. Anhand zahlreicher Tabellen und Bilder werden die Ergebnisse verdeutlicht.

Bill /150/ berichtet von 12 Versuchen in einem Hotelzimmer, wobei Brandmelder, hängende Sprinkler und Seitenwandsprinkler verwendet wurden. Die Zündung erfolgte jeweils an einem Stuhl oder Bett. Neben der Temperatur wurden die Verqualmung und die CO-Konzentration gemessen. Der Branddetektor löste im Mittel 3 min vor dem Sprinkler aus. Beide Einrichtungen sind in Hotelzimmern sinnvolle Einrichtungen, da durch die frühe Meldung immer eine Personenrettung möglich war.

Auch Peissard /151/ gibt 12 Versuche in Zimmern mit Korridor wieder, die anlässlich der zahlreichen Hotelbrände durchgeführt wurden. Optische - und Ionisationsmelder sowie Seitenwandsprinkler waren installiert. Bei verschiedenen Ventilationsbedingungen wurde der Brand 8mal mittels eines Papierkorbes und 4mal mit einem Tauchsieder gelegt. Die Brandmelder lösten bei allen Versuchen rechtzeitig vor den Sprinkler aus, um Rettungs-

maßnahmen einleiten zu können.

Bill, Kung u.a. /152/ ermittelten bei Brandversuchen die Wärmefreisetzung über einen Abgastrichter und außerdem die Strahlungswärme, um die erforderliche Wasserbeaufschlagung für schnell ansprechende Sprinkler zu bestimmen. Durch die unterschiedliche Brandausbreitung lagen die RDD-Werte beim brennenden Sessel zwischen 3,7 mm/min und 6,6 mm/min. Eine Brandunterdrückung kann ausgeschlossen werden, wenn der ADD-Wert größer ist als der RDD-Wert. Diese Sprinkler wurden in den USA für den Einsatz in kleinen Wohneinheiten entwickelt. Ebenso wurden bei der Regallagerung für verschiedene Stapelhöhen ADD- und RDD-Werte bestimmt. ESFR-Sprinkler wurden für den Einsatz bei höheren Anforderungen getestet. Im einzelnen wird auf Meßstellen zur Gasabsaugung und Temperaturermittlung eingegangen, die zur Ermittlung der Wärmefreisetzungsgeschwindigkeit benötigt werden. Anhand von Tabellen und Bildern werden die Ergebnisse dargestellt. Die Deckenhöhen reichten von 2,44 m bis 4,57 m und die Wärmeleistungen zur Bestimmung der RDD-Werte von 100 kW bis 450 kW. Die Wasserbeaufschlagungen lagen bei diesen Versuchen zwischen 2,3 mm/min und 8,6 mm/min. Bei den Untersuchungen für kleine Wohneinheiten wurden einzelne oder mehrere Sprinkler über einer Fläche von 3,6 m mal 3,6 m installiert, um auch hier den RDD-Wert vorausbestimmen zu können. Desweiteren erfolgt eine ausführliche Beschreibung des ADD-Testapparates und der Testbedingungen. Die Volumenströme der eingesetzten Sprinkler reichen von 49 l/min für 2 bis 4 Sprinkler und 95 l/min für einen Sprinkler. Tabellen und Bilder verdeutlichen die Ergebnisse der ausgeführten Versuche. Ein Löscherfolg besteht dann, wenn der ADD-Wert kleiner ist als der RDD-Wert.

Custer /153/ erwähnt Brandversuche in einem Haus, die für Filmaufnahmen durchgeführt wurden. Der entstandene Brand konnte immer mit Sprinklern gelöscht werden. Dabei gab es nur geringen Sachschaden.

Olsson und Ryderman /154/ berichten vom hohen Risiko der Brände in Maschinenräumen auf Schiffen, die meist durch versprühte brennbare Flüssigkeiten verursacht werden. Diesbezüglich wurden 46 Versuche durchgeführt und dabei Brandmelder eingesetzt. Bei den installierten Wasserdüsen wurden Wasserbeaufschlagungen zwischen 15 und 60 l/m²/min eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabellenform aufgelistet.

Steinmetz /155/ verweist auf die unterschiedlichen Behältertypen und der damit verbundenen Versuche in der Automobilindustrie und beim VdS. So wurden u.a. Kleinladungsträger (KLT) auf Holz- und Stahlpaletten als Blocklager mit n-Heptan gezündet und der Brand mit einer Wasserbeaufschlagung von 17,5 mm/min gelöscht. Ebenso wurden Untersuchungen an Hochregallageranordnungen durchgeführt. Bei ESFR-Sprinklern wurde eine Wasserbeaufschlagung von 50 mm/min eingesetzt. Die durch die Versuche erreichten Ergebnisse werden anhand von Tabellen und Bildern gegenübergestellt.

Sullivan /156/ gibt an, daß sowohl FMRC als auch SP den "Fire Product Collector" (FPC) zur Bestimmung des RDD-Wertes benutzen. Für die Versuche wurden auf Paletten befindliche Kartons mit Plastikbechern oder PS-Chips verwendet. Die Wasserbeaufschlagung wird mit bis zu 30 mm/min angegeben. Die Ergebnisse zeigen eine Abhängigkeit von der Brandintensität.

Mortensen /157/ beschreibt 4 mit Bildern belegte Versuche mit schnellansprechenden Sprinklern, bei denen jeweils mehrere Sprinkler mit bis zu 3000 l/min Wasser auslösten. Die Auslösetemperaturen lagen zwischen 50 °C und 250 °C. Die Sprinkler werden besonders geeignet für den Einsatz in Hochregallägern angesehen.

Everest /158/ schlägt vor, im Schadensfall Wasserspray in Flugzeugkabinen für eine Zeitdauer von 3 min mit einem Volumenstrom von 68 l/min zur Kühlung einzusetzen. Großversuche in Boreham-

wood in England zeigten, daß Tropfen mit einem Durchmesser von 0,1 mm den größten Erfolg versprechen.

Cockram /159/ beschreibt die Installation einer Sprinkleranlage und eines Meldesystems an einer Rolltreppe. Bei diesen Versuchen wurde Spiritus als Brandstoff und Seitenwandsprinkler zum Löschen eingesetzt.

Schatz /160/ führt Kalt- und Warmversuche mit dem Einsatz von unterschiedlichen Sprinklern an, bei denen an verschiedenen Stellen die Temperaturen sowie die Auslösezeitpunkte von Brandmeldern und Sprinklern gemessen wurden.

Woodward /161/ stellt nach der Auswertung von Versuchsergebnissen fest, daß ein typischer Krankenbettbrand mit einem schnell ansprechenden Sprinkler kontrolliert werden kann. Ein Alarmsystem mit Meldern könnte eine Ergänzung dazu darstellen. In einem 6-Bettzimmer wurden diesbezüglich Untersuchungen durchgeführt und zusätzlich Temperaturen sowie Rauchgase gemessen.

In /162/ werden Versuche in Hotelzimmern erwähnt, die von FM durchgeführt wurden, um das Ansprechen von Meldern und Sprinklern zu testen.

In /163/ werden Sprinkler als aktiver Brandschutz für überdachte Parkflächen angesehen. Bei 9 Brandversuchen mit 20 PKWs wurden Temperaturen, die optische Rauchdichte, der Druck sowie Konzentrationen von CO, HCl und HCN gemessen. Die Wasserbeaufschlagung betrug zwischen 9,4 mm/min und 11,6 mm/min. Weitere Einzelheiten können aus der Beschreibung jedes einzelnen Versuches entnommen werden.

In /164/ wird in einem kurzen Bericht auf 4 Brandversuche mit Löscheinsatz eingegangen und auf die Unterschiede bei Regal- und Palettenlagerung hingewiesen.

Budnick und Fleming /165/ verweisen auf die NFPA-Richtlinien und die aus Brandversuchen gewonnenen Daten. Dabei wurden bei Brand- und Löschversuchen an gestapelten Kunststoffen und Polstermöbeln z.B. die Wärmefreisetzung und die Wasserbeaufschlagung gemessen. Die Polstermöbelbrände bis 1 MW wurden mit 32,5 mm/min und die Kunststoffbrände bis 0,5 MW mit 183 mm/min gelöscht. Die Ergebnisse dieses umfassenden Berichtes werden in zahlreichen Bildern dargestellt.

Prößdorf /166/ berichtet von Brandversuchen in Doppelböden, wobei die Löschmittel CO₂, Halon und Wasser verwendet wurden. Mit 30% CO₂ bzw. 5% Halon wurden die Brände schnell gelöscht, während die normalen Sprinkler nicht auslösten und damit die Brandausbreitung nicht verhindern konnten.

In /167/ werden 2 Versuche an Hochregallägern in einer Halle in Cardington mit den Abmessungen 245 m mal 80 m mal 55 m beschrieben, wobei im einen Fall Sprinkler, die innerhalb einer Minute auslösten, den Brand löschen konnten und im zweiten Fall ohne Sprinklereinsatz die Flammen nach 3 min bereits 15 m hoch waren. Außerdem wurden Brandversuche an einem 3,7 m hohen und 11,2 m langen Lageraufbau mit 1,3 m breiten Gängen durchgeführt.

In /168/ wird in allgemeiner Art über Versuche in Cardington berichtet. An Lageraufbauten verschiedener Konstruktion wurden Brände gelegt und der Löscheinsatz mit Sprinklern durchgeführt.

Vincent, Stavrianidis u.a. /169/ beschreiben in ausführlicher Form 2 Testreihen an Regal- und Blocklagern, wobei Kunststoffartikel in Kartons verpackt in einer 9,1 m hohen Halle gezündet wurden. Insgesamt waren 94 Sprinkler 0,2 m unterhalb der Decke installiert. Die Abstände zu den Sprinklern betragen 5,8 m bzw. 3,7 m. Unterschiedliche Sprinkler lieferten Wassermengen von 170 l/min und 116 l/min. Die jeweiligen Anordnungen werden in Bildern verdeutlicht. Die Auslösezeiten des ersten Sprinklers

lagen zwischen 35 s und 1 min 35 s. In Tabellen werden weitere Angaben über die einzelnen Auslösezeiten, die Wärmeleistung, die Temperatur, die Wärmestromdichte und die Anzahl der ausgelösten Sprinkler aufgelistet. Schnell ansprechende Sprinkler zeigen dabei deutlich verbesserte Auslösezeiten.

Kohler /170/ erwähnt in kurzer Form 25 Brandtests. In einem Brandabschnitt von ca. 600 m² können Regalaufbauten mit Decken- und Regalsprinklern geprüft werden, wobei auch Zusätze zum Löschwasser möglich sind.

In /171/ werden in einem ausführlichen Bericht des Brandverhütungsdienstes (BVD) 25 Versuche beschrieben, bei denen Flüssigkeiten in verschiedenen Verpackungsarten in Lagerform angeordnet waren. Der Brandabschnitt mit dem Block- oder Regallager befindet sich in einer Lagerhalle von ca. 560 m². Als Brandlast wurden mit Heptan und mit Wasser gefüllte 200 l Fässer und zur Zündung kleine mit Heptan gefüllte Beutel benutzt. Neben der Angabe von Stapelhöhen, Lagerflächen oder der Wasserleistung wird auch der Zusatz von AFFF zum Löschmittel erwähnt. Automatische Löschanlagen sollten grundsätzlich überall dort eingesetzt werden, wo ein Brand den Fluchtweg von Personen abschneiden kann. Weitere Angaben über die Temperatur, die Wassermenge und die Sprinkler geben Auskunft über die mit Sprinklern zu beherrschenden Brände.

Viera /172/ stellt fest, daß bei Versuchen ein Blocklager mit Reifen durch Sprinkler kontrolliert wurde, während bei einem Hochregallager eine Kontrolle nicht möglich war. Als weitere Beispiele werden Untersuchungen mit brennbaren Flüssigkeiten in Kartons und als Lachen oder auch Versuche mit Kleidungsstücken erwähnt. In 25 Jahren wurden insgesamt ca. 13000 Großversuche durchgeführt.

Almand, Thomas u.a. /173/ beschreiben Brandversuche in einem eingerichteten Büroraum mit einer Fläche von 4 m mal 4 m. Der

Brand ging entweder von getränkten Lappen oder vom Papierkorb aus. Bei den Ergebnissen wurde die Brandentwicklung, die Temperatur, die Luftzufuhr nach dem Zerbersten der Scheiben und der Einfluß des von Hand ausgelösten Sprinklers festgehalten. Es zeigte sich, daß ein Sprinkler in der Raummitte bereits zur Kontrolle des Brandes ausreichte. Tabellen und Bilder verdeutlichen in diesem ausführlichen Bericht die ermittelten Ergebnisse.

Bennetts, Thomas u.a. /174/ zeigen anhand von Messungen bei 14 Brand- und Löschversuchen Unterschiede von geschlossenen zu offenen Garagen. Der Brand eines Autos konnte z.B. durch den direkt darüber liegenden Sprinkler gelöscht werden, während es daneben weiterbrannte. Bei den Versuchen wurden u.a. die Brandausbreitung, die Temperatur, die Rauchdichte, die Wärmefreisetzung, die Strahlung und die Konzentrationen von CO, HCN und HCl gemessen. Die Ergebnisse sowie der gesamte Aufbau der Versuche werden in ausführlicher Form in Tabellen und Bildern dargestellt.

In /175/ werden 2 Versuche mit übereinandergestapelten Holzpaletten aufgeführt, wobei die Wärmefreisetzung gemessen und zum Löschen Sprinkler eingesetzt wurden. So wurden z.B. die Unterseiten der Paletten durch das Sprinklerwasser nicht erfaßt, so daß große Wassermengen nötig sind. Bei der Lagerung sollten daher über den Sprinklerschutz hinaus gewisse Bedingungen wie große Abstände oder auch die Lagerung im Freien berücksichtigt werden.

Anderson /176/ berichtet, daß Großbrände in Hotels mit zahlreichen Opfern nicht dieses Ausmaß angenommen hätten, wenn Sprinkler vorhanden gewesen wären. Dies war auch der Anlaß für FMRC, die Sprinklerforschung durch Versuche weiter voranzutreiben. Die Sprinkler müssen empfindlicher reagieren und das Wasser effektiver verteilt werden. Die Versuche zeigten, daß die Kontrolle eines Brandes durch die eingesetzten QR-Sprinkler mög-

lich ist und sich Personen aus dem Raum retten konnten.

Przybyla und Gandhi /177/ beschreiben Untersuchungen mit gelagerten brennbaren Flüssigkeiten. Bei 24 Brandversuchen wurde festgestellt, daß die in unterschiedlichen Kunststoffbehältern auf Paletten gelagerten Flüssigkeiten eine hohe Wärmefreisetzung aufwiesen, so daß der Brand durch Sprinkler nicht immer beherrscht werden konnte. Die Wasserbeaufschlagung betrug ca. 122 mm/min. Tabellen verdeutlichen die Ergebnisse.

Sullivan /178/ stellt fest, daß zu Beginn der 50er Jahre sowohl in den USA als auch in Europa die Sprinkler nach oben gerichtet waren. Die größeren Gebäude und die Art der Nutzung veranlaßten zum Umdenken. In den USA wurden Spray-Sprinkler und in Europa weiterhin konventionelle Sprinkler verwendet. FMRC führte 12 Versuche durch, um einen Vergleich der Sprinkler zu ermöglichen. Als Parameter wurden die Brandlast, der Abstand der Sprinkler zum Lagergut, die Sprinkler selbst und die Volumenströme variiert. Je nach Versuchsaufbau wichen die Ergebnisse voneinander ab. In Tabellen sind u.a. die Auslösezeiten der Sprinkler aufgelistet.

Schäfer und Wendorf /179/ berichten über Brand- und Löschversuche an KLT. Die Versuchsanordnung bestand aus zwei Fächern eines Regals mit den Abmessungen von je 3,7 m mal 1,3 m mal 1,11 m (LxBxH), das nach vorne offen war und 2 an der Decke befindlichen Sprinklern. Die Brandlast bestand aus 50 % KLT sowie Kartonagen auf Paletten und einer gefüllten Metallgitterbox. Die Auslösung des ersten Sprinklers erfolgte nach einer Versuchszeit von 6 min 48 s und die des zweiten 3 s später. Das Polypropylen der KLT tropfte brennend ab und wurde nach weiteren 4 min mit einem Strahlrohr und filmbildendem Löschmittel abgelöscht. Der genaue Versuchsaufbau kann dem Bericht entnommen werden.

2.7 Einflußgrößen von Sprinklern

Schirmer /11/ erwähnt, daß Sprinkler mit einem RTI-Wert von 30 eine um 30 s schnellere Ansprechzeit besitzen als die mit einem RTI-Wert von 300. Ein Brand mit einer Wärmeleistung von 1,3 MW kann von einem Sprinkler mit einem RTI-Wert von 50 beherrscht werden. Sprinkler mit einem RTI-Wert von 300 lösen später aus, so daß dadurch bereits ein größerer Brand bekämpft werden muß.

In /65/ wird für den ESFR-Sprinkler ein RTI-Wert von 29 und eine Auslösetemperatur von 74 °C genannt. Der RTI-Wert für einen Industriesprinkler beträgt 180, wobei die Strahlungswärme 4,2 MW und die Luftgeschwindigkeit 12 m/s betragen. Dagegen sind es beim ESFR-Sprinkler 1,2 MW und 7 m/s.

Casaccio /119/ berichtet von der Ermittlung der ADD-, der RDD- und der RTI-Werte für schnell ansprechende Sprinkler in Wohneinheiten. Zusammen mit weiteren Parametern wird Aufschluß über eine schnellere Brandlöschung erwartet.

Persson /146/ gibt den RDD-Wert an als die minimale Wasserdichte bzw. die erforderliche Wasserbeaufschlagung zum Löschen eines Brandes, d.h. der RDD-Wert hängt von der Brandgröße zur Zeit der Wasseraufgabe ab. In einer umfangreichen Beschreibung werden die Testeinrichtungen und die Testergebnisse zur Bestimmung dieses Wertes behandelt und z.B. festgestellt, daß die RDD-Tests gut mit den durchgeführten Großversuchen übereinstimmen. Der ADD-Wert ist ein Maß für die Wasserverteilung durch den Sprinkler und die Eindringfähigkeit des Wassers in die Flamme. Der ADD-Wert nimmt mit zunehmender Höhe des Sprinklers über dem Brandgut ab. Der RTI-Wert ist ein Maß für das Auslösen eines Sprinklers, wenn der Brand eine gewisse Intensität erreicht hat. ESFR-Sprinkler besitzen z.B. ein RTI-Wert von 30.

Bill, Kung, u.a. /152/ führten Messungen durch, um die erforderliche Wasserbeaufschlagung, den RDD-Wert, zu bestimmen. Da es sich hier um zahlreiche Versuche handelt, wurde bereits in Abschnitt 2.5 näher darauf eingegangen und für Einzelheiten auf den ausführlichen Bericht verwiesen.

Budnik und Fleming /165/ erwähnen die bei UL durchgeführten Brandtests zur Bestimmung der RDD-Werte bei der Löschung von gestapelten Kunststoffen und Polstermöbeln, was bereits in Abschnitt 2.5 erwähnt wurde.

2.8 Sprinkler in kleinen Wohneinheiten

In /180/ wird der große Anteil von FMRC bei der Entwicklung von Sprinklern für kleine Wohneinheiten sowohl für den Personen- als auch für den Sachschutz hervorgehoben. Die Sprinkler müssen schneller auslösen und eine bessere Verteilung des Wassers bewirken als die herkömmlichen Sprinkler, so daß der Brand an der Ausbruchsstelle kontrolliert bzw. gelöscht wird, was bei Versuchen in einem Hotelzimmer deutlich wurde. Das Brandgeschehen ist abhängig von der Brandlast, von der Geometrie des Raumes sowie von den Öffnungen und der Ventilation. Durch zusätzlichen Gebrauch von Meldern wird die Sicherheit erhöht. Auswirkungen dieser Studie fließen in die NFPA-Richtlinien ein.

Halstead /181/ erwähnt einen Brand in einer kleinen Wohneinheit, der 2 Opfer forderte. Aus diesem Anlaß wurden über 2000 Wohneinheiten mit Sprinklern ausgerüstet, weil sie als der wirkungsvollste Schutz angesehen werden.

2.9 Tropfen und Sprinkler

Alpert /182/ geht auf die Wechselwirkung des Sprühstrahles eines Sprinklers mit einem Brand vorgegebener Intensität ein. In diesem Modell wurden Wärmeleistungen von 0,5 MW bis 4 MW und andere Parameter wie z.B. die Eintrittsgeschwindigkeit der Tropfen und der Volumenstrom variiert. Es wurde u.a. festgestellt, daß Tropfen mit einem Durchmesser von 0,6 mm wieder nach oben und von 1,4 mm nach unten gelangen konnten. Gleichungen, Tabellen und Bilder verdeutlichen die Ergebnisse.

Beyler /183/ beschreibt in einem ausführlichen Bericht ebenfalls das Modell von Alpert. Die eingesetzten Wärmeleistungen werden mit 0,5 MW bis 4 MW und die Sprinklerhöhen mit 1 m bis 15 m angegeben. Im einzelnen wird anhand von Gleichungen und Bildern auf den Abstand der Sprinkler zum Lagergut, die Auslösezeit, die Abbrandgeschwindigkeit, die Größe, die Geschwindigkeit, die Verdampfung und die Form der Tropfen sowie auf die Wasserbeaufschlagung und die Wasserverteilung eingegangen. Es ist ebenso wichtig, die Sprinklerposition zum Brandort und die Tropfenablenkung durch die Brandentwicklung zu betrachten. Zu diesem Zeitpunkt wurde das Modell noch nicht experimentell bestätigt.

Heskestad, Kung u.a. /184/ berichten ausführlich anhand von Gleichungen und Bildern über den Lufteintritt in einen vertikal gerichteten Wasserspraystrahl. Für dieses Modell wurden verschiedene Annahmen getroffen. Der experimentelle Teil beinhaltet Untersuchungen in einem 10 m hohen Raum mit einer Düse in 6,7 m Höhe. Durch Messung der Luftgeschwindigkeit bei Variation des Wasseraustritts wurde der Lufteintritt in den Düsenstrahl bestimmt. Durch Gefrieren in flüssigem Stickstoff wurden Tropfengrößen von ca. 0,85 mm gemessen.

Alpert /185/ geht auf die Wechselwirkung eines Brandes mit einem Sprinkler ein, wobei zahlreiche Annahmen und Randbedingun-

gen erfüllt werden müssen, wie z.B. die Ausströmrates, die Tropfengröße, der Sprühwinkel u.a. mehr. Das klassische Problem ist dabei die Voraussage der Sprinklerauslösung für eine bestimmte Geometrie und Brandintensität. Das Wasser wird dabei unterhalb der Decke in eine auftriebsbehaftete Rauchgasströmung eingesprüht, was im Modell durch eine Kopplung von Gleichungen erreicht wird.

Cow und Fong /186/ berechnen die Wechselwirkung zwischen einem Brand und einem Sprinkler. Dazu wurden unter Berücksichtigung von Anfangs- und Randbedingungen eine unterschiedliche Anzahl von Tropfen versprüht, die sowohl in der Größe als auch in der Geschwindigkeit variieren konnten. Anhand von Gleichungen wurden Impulsbilanzen, Wärmemengen und verschiedene Flugbahnen von Tropfen errechnet.

Chow /187/ beschreibt ein Modell, das die Wechselwirkungen zwischen den aus einem Sprinkler austretenden Wassertropfen und der von einem Brand aufsteigenden Rauchgasschicht behandelt. Mit in Gleichungen eingesetzten geometrischen und physikalischen Parametern werden Impuls- und Energiebilanzen aufgestellt, um die Verdampfung von Tropfen abzuschätzen.

You /188/ berichtet von zwei zur Messung von Tropfen aus Sprinklern bewährten Methoden, das Einfrieren in flüssigem Stickstoff und das Fotografieren. Mittels eines Lasersystems ist es möglich, Tropfen von 0,1 mm bis 6 mm Durchmesser zu messen. Die Untersuchungen wurden mit 3 stehenden Sprinklern aus Höhen von 3,05 m und 6,1 m und Ausflußraten zwischen 38,2 l/min und 97,5 l/min durchgeführt. Es wurde z.B. festgestellt, daß größere Düsenöffnungen größere Tropfen produzieren und die Tropfengröße mit größerem Abstand zunimmt.

Ravigururajan und Beltran /189/ geben mit Hilfe eines Modells die optimale Tropfengröße von 0,2 um Durchmesser zur Abschwächung von Wärmestrahlung an. Diese Größe ist jedoch nur mit

großem technischen Aufwand zu erzielen. Größere Tropfen könnten den gleichen Effekt nur mit großen Wassermengen erreichen.

Kunkelmann /190/ gibt eine ausführliche Auswertung der in- und ausländischen Literatur in Bezug auf die Berechnungen von Wechselwirkungen von aus einem Sprinkler austretenden Wassertropfen und der entgegengesetzten auftriebsbehafteten Strömung eines Brandes. Zusätzlich werden diesbezüglich eigene Berechnungen angeführt.

Kunkelmann /191/ führt Berechnungen mit aus Sprinklern austretenden Wassertropfen durch, die als Polyschwarm betrachtet werden und vergleicht ohne Brandeinwirkung die berechneten Wasserbeaufschlagungen mit den aus Versuchen mit verschiedenen Sprinklern gewonnenen Ergebnissen.

Schatz /192/ beschreibt Untersuchungen über die Wasserbeaufschlagung auf eine vorgegebene Fläche mit unterschiedlichen Sprinklertypen und gibt Flüssigkeitsverteilungen sowie Tropfen-Größen für die selben Sprinklertypen an.

3. VERSUCHSANLAGE FÜR BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE

Der schematische Aufbau der gesamten Versuchsanlage ist in Bild 1 dargestellt. Sie befindet sich in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) und besteht im wesentlichen aus der Wasserversorgungseinrichtung für die Sprinkler und der Versuchseinrichtung mit der Waagekonstruktion, der darauf befindlichen Brandlast und dem darüber liegenden Dach mit Rauchschürzen sowie den zugehörigen Meßeinrichtungen.

Die Brandlast bestand aus einer Anordnung von beladenen Paletten, die zu je 4 Stück in der Fläche im Abstand von 0,2 m und je 2 Stück in der Höhe angeordnet wurden (Bild 1, Brandlast I bis IV). Auf den Paletten mit den Abmessungen 1200 mm x 800 mm befanden sich jeweils 12 Wellpappkartons mit den Abmessungen 580 cm x 370 cm x 340 cm (LxBxH), die mit nichtbrennbaren Stahlblechkanistern mit einem Volumen von 30 l als Lagergut und Holzwolle (HW) bzw. Polystyrolteilchen (PS) als Stoßschutzmaterial gefüllt waren.

Die Zündquelle bestand aus einem Faserstreifen mit den Abmessungen 15 cm x 3 cm x 1,8 cm, der mit 50 ml Brennspritus getränkt und an der rechten unteren Ecke des vorderen linken Stapels gezündet wurde.

Die Brandlast befand sich auf einer Abbrandwaage mit den Abmessungen 5 m x 5 m. Das Löschwasser wurde unterhalb des Waagebodens auf einer Fläche von 4 m x 4 m in Wannen mit 0,8 m Kantenlänge aufgefangen (Bild 2).

Für den Löscheinsatz wurden jeweils ein Sprinkler (S0) bzw. vier Sprinkler (S1 bis S4) mit einer Auslösetemperatur von 68 °C installiert (Bild 3). Der Abstand von der Oberkante Brandgut zur Sprinklerebene betrug 0,5 m. In einem Abstand von max. 2 cm wurden neben den Sprinklern Temperaturmeßstellen angebracht, um den zeitlichen Temperaturverlauf beurteilen zu können.

In Sprinklerhöhe wurden neben dem zentralen Sprinkler ein Ionisations- und ein optischer Brandmelder angeordnet, die nach dem Auslösen entfernt wurden, damit sie durch den Brand nicht zerstört werden konnten.

4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

4.1 Auslösezeiten der Brandmelder und Sprinkler

In der Tabelle 1 sind neben der Art und Anzahl der Sprinkler sowie der Brandlast die bei den Untersuchungen ermittelten Auslösezeiten der beiden Brandmelder und der jeweils eingesetzten Sprinkler aufgelistet. Die Ansprechzeiten lagen unabhängig von der Brandlast für den Ionisationsmelder zwischen 40 s und 96 s und für den optischen Melder zwischen 80 s und 157 s. Das etwas schnellere Auslösen des Ionisationsmelders an gleicher Stelle, das bereits bei früheren Untersuchungen mit Gitterboxen und eingelagerten Kartons als Brandlast festgestellt wurde, wird durch diese Versuche bestätigt.

Beim Einsatz des zentralen Sprinklers S0 lagen bei 3 Versuchen die Auslösezeiten bei etwa 3 min bis 4 min, während sie bei früheren Untersuchungen /193/ zwischen 6 min und 7 min lagen. Bei den Versuchen wurde sowohl der Sprinklertyp beibehalten als auch ein anderer Sprinklertyp verwendet, so daß die Unterschiede bei den Auslösezeiten auf den Lageraufbau zurückzuführen sind, der im Gegensatz zum obigen Palettenaufbau früher aus Gitterboxen mit eingelagerten Kartons bestand.

Beim Einsatz der 4 im Quadrat angeordneten Sprinkler S1 bis S4 im Abstand von 3 m löste bei 6 von 7 Versuchen der Sprinkler an der Stelle S4 zuerst aus und in einem Fall der Sprinkler an der Stelle S3. Der Sprinkler an der Stelle S4 löste bei allen 7 Versuchen aus, während der Sprinkler an der Stelle S3 nur bei 5 Versuchen auslöste. Der Sprinkler an der Stelle S2 löste bei 2 Versuchen und der Sprinkler an der Stelle S1 bei keinem Versuch aus. Die Unterschiede im Auslöseverhalten sind auf die Strömungsverhältnisse der aufsteigenden heißen Brandgase und deren Ausbreitung unter der Decke zurückzuführen, wobei sich bei diesen Versuchen offensichtlich eine Vorzugsrichtung bezüglich des

Sprinklers an der Stelle S4 bemerkbar machte. Bei früheren Untersuchungen /193/ lag diese an der Stelle S3. Da die Auslösezeitpunkte der Sprinkler an den Stellen S3 und S4 jedoch nur einige Sekunden auseinander liegen, ist es mehr zufällig, welcher der beiden Sprinkler zuerst auslöst.

Die Sprinkler an den Stellen S1 und S2 sind vom Brandursprung weiter entfernt und lösten entweder garnicht aus oder erst zu einem Zeitpunkt, wenn die dem Brand näher gelegenen Sprinkler nicht zum Löschen bzw. Kontrollieren des Brandes ausreichten und weiterhin Flammen bzw. heiße Brandgase gebildet wurden.

Wenn bei einem Versuch insgesamt nur einer oder zwei der 4 Sprinkler ausgelöst, bestand auch die Möglichkeit, daß dadurch die Umgebung bereits so stark abgekühlt wurde, daß kein weiterer Sprinkler auslösen konnte. Es kann aber daraus nicht notwendigerweise geschlossen werden, daß auch der Brand gelöscht wurde.

Diese Unterschiede beim Auslöseverhalten können trotz gleichen Versuchsaufbaus entweder mit der nicht immer 100 %ig gleichen Brandausbreitung oder mit dem Einsatz eines anderen Sprinkler-typs erklärt werden. Wie bereits bei vorangegangenen Untersuchungen erwähnt wurde, sind Sprinkler sehr unterschiedlich in ihrer Form und besitzen darüber hinaus z. B. auch unterschiedliche Wasserbeaufschlagungen, Sprühkegel und Tropfengrößen /59,192,193/, was sich bei Versuchen stark bemerkbar macht.

4.2 Temperaturen

Die Tabelle 2 zeigt neben der Art und Anzahl der Sprinkler sowie der Brandlast die einzelnen Temperaturwerte, die mit Thermoelementen an den Stellen S0 bis S4 direkt neben den Sprinklern gemessen wurden. Die angegebenen Temperaturen betreffen

jeweils den Auslösezeitpunkt eines Sprinklers und können zu einem anderen Zeitpunkt durch die Brandeinwirkung auch höher oder durch die bereits eingesetzte Kühlwirkung niedriger gelegen haben. Die in Klammern stehenden Temperaturen in der gleichen Zeile wurden jeweils zum Zeitpunkt des Auslösens eines Sprinklers neben den nichtausgelösten Sprinklern erfaßt.

In der Tabelle ist weiterhin zu erkennen, daß die Temperaturen an den Stellen der ausgelösten Sprinkler nur bei einem Versuch über 200 °C lagen. Wie bereits bei vorangegangenen Untersuchungen /193/, machte sich auch hier der Einfluß des besseren Wärmestaus unterhalb des Daches bemerkbar, so daß die Sprinkler, wie bereits erwähnt wurde, früher auslösten. Die Temperaturen zentral über der Brandlast an der Stelle S0 lagen meistens deutlich höher, so daß ein dort installierter Sprinkler sicherlich ausgelöst hätte. Um die Temperaturdifferenzen in geringer Entfernung an einem auslösenden Sprinkler zu erkennen, wurden neben dem Sprinkler an der Stelle S3 die Thermoelemente a und b angebracht. Die Bilder 4 bis 11 bzw. 12 und 13 zeigen den Temperaturverlauf an den Meßstellen S1 bis S4 bzw. S0 für die Versuche PAL3 bis PAL10. Bei Versuch PAL1 wurden keine und bei Versuch PAL2 nur die Auslösetemperatur an der Stelle S0 gemessen (siehe Tabelle 2).

Bild 4 zeigt den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Versuchszeit für den Versuch PAL3 an den Meßstellen S1 bis S3. Nach dem Zünden stieg die Temperatur an den Meßstellen unter dem Dach zunächst langsam und nach wenigen Minuten steil an. Nach dem Auslösen des Sprinklers, der an der Stelle S0 an das Wasserrohrnetz angeschlossen war, fiel die Temperatur zwar ab, aber der Stapel brannte weiter. Als kein sichtbarer Löscherfolg eintrat, wurde nach einer Löschzeit von etwa 3 min mit dem Strahlrohr abgelöscht.

Bild 5 zeigt den Temperaturverlauf für den Versuch PAL4. Nach dem Erreichen einer Temperatur von ca. 200 °C löste der Sprink-

ler an der Stelle S4 aus und die Temperatur fiel ab. Ein Teil der Brandlast im hinteren Bereich brannte weiter, so daß nach weiteren 2 min der Sprinkler an der Stelle S2 auslöste. Anschließend fiel die Temperatur auf Umgebungsniveau ab, d.h. der Brand war vollständig gelöscht.

In Bild 6 ist der Temperaturverlauf für den Versuch PAL5 aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß nach dem beinahe gleichzeitigen Auslösen von 2 Sprinklern die Temperatur steil abfiel und der Brand gelöscht war.

Bild 7 gibt den Temperaturverlauf des Versuches PAL6 wieder. Das Erreichen einer Temperatur von knapp 150 °C reichte für das Auslösen von 2 Sprinklern kurz hintereinander aus, die jedoch den Brand nicht kontrollieren bzw. löschen konnten. Auch durch das Auslösen eines dritten Sprinklers an der Stelle S2 konnte der Brand nicht abgelöscht werden.

In Bild 8 ist der Temperaturverlauf des Versuches PAL7 dargestellt. Auch hier lösten 2 Sprinkler nach einer Versuchszeit von knapp 4 min aus. Der steile Abfall der Temperatur weist auf den Löscherfolg mit diesem Sprinkler hin.

Bild 9 zeigt den Temperaturverlauf für den Versuch PAL8. Hier genügte das Auslösen eines Sprinklers, um den Brand zu löschen, wobei die Temperatur an der Stelle S4 sofort und an den anderen Stellen innerhalb von 2 min auf Umgebungsniveau abfiel.

Der Temperaturverlauf in Bild 10 für den Versuch PAL9 zeigt, daß das Auslösen von 2 Sprinklern nach einer Versuchszeit von mehr als 4,75 min und nahezu 200 °C direkt neben dem Sprinkler dennoch ausreichte, den Brand zu kontrollieren bzw. anschließend zu löschen, was am steilen Abfall der Temperaturen an den Stellen S3 und S4 und am langsameren Absinken an den Stellen S1 und S2 zu erkennen ist.

Auf Bild 11 ist am Temperaturverlauf des Versuches PAL10 zu erkennen, daß 2 Sprinkler erst bei höheren Temperaturen als bei den vorherigen Versuchen auslösten. Dadurch fiel zwar die Temperatur an den Stellen S3 und S4 steil ab, war aber an anderen

Bereichen des Stapels noch so hoch, daß der Brand erneut aufblammen konnte. Wegen des hohen Löschwasserverbrauches kann von einem Löscherfolg nicht gesprochen werden.

Die Bilder 12 und 13 zeigen jeweils den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Versuchszeit an der Meßstelle S0, wobei nur bei Versuch PAL3 ein Sprinkler an das Wasserrohrnetz angeschlossen war.

4.3 Brand- und Löschversuche

Der Löscheinsatz erfolgte durch das Auslösen der jeweils installierten Sprinkler. Die Dauer des Löscheinsatzes wurde nach optischen Gesichtspunkten beurteilt, was durch die starke Rauchentwicklung und Wasserdampfbildung sehr schwierig war. Der Brand war gelöscht bzw. unter Kontrolle, wenn keine Flammen mehr vorhanden bzw. nur noch kleinere Brandnester zu erkennen waren, die jedoch keinen weiteren Schaden anrichten konnten.

Die Tabelle 3 zeigt neben dem Sprinklertyp und der Anzahl der vorhandenen Sprinkler über der Brandlast die Zusammensetzung der Brandlast, die ausgelösten Sprinkler, den mittleren Volumenstrom sowie die eingesetzte Löschwassermenge und den auf der vorgegebenen Fläche aufgefangenen Prozentanteil des Löschwassers.

Der erste (PAL1) von insgesamt 10 Versuchen wurde mit einer geringeren Brandlast und ohne Löscheinsatz durchgeführt, um das Brandverhalten und das Zusammenstürzen des Stapels beurteilen

zu können. Die beiden gestapelten Paletten brannten dabei vollständig ab.

Der zweite Versuch (PAL2) wurde mit dem bereits bei früheren Untersuchungen /193/ eingesetzten ESFR-Sprinkler an der Meßstelle S0 durchgeführt. Der aus dem Sprinkler austretende Volumenstrom reichte aus, um den Brand nach einer Löschzeit von ca. 1 min zu kontrollieren und nach weiteren 2 min vollständig zu löschen. Auf der vorgegebenen Fläche wurde dabei mehr als die Hälfte des Löschwassers ausgefangen. Rechnet man näherungsweise den Anteil des übergelaufenen Wassers aus den Wannen mit den Nummern 8,12,13,14 und 18 hinzu (Bild 2), sind mehr als 75 % des eingesetzten Löschwassers auf dieser Fläche aufgetroffen. An der Frontseite brannten 10 Kartons vollständig und 21 Kartons teilweise ab, während alle anderen lediglich durchnäßt wurden.

Beim dritten Versuch (PAL3) mit dem Sprinkler Typ G an der Stelle S0 und dem gleichen Versuchsaufbau wie zuvor wurde festgestellt, daß das Auslösen des Sprinklers keinen erkennbaren Löscherfolg zeigte und deshalb nach einer Löschzeit von etwa 3 min mit einem Strahlrohr abgelöscht wurde. Der Aufbau wurde völlig zerstört.

Beim vierten Versuch (PAL4) wurde wiederum der gleiche Versuchsaufbau verwendet, jedoch vier Sprinkler vom Typ G installiert. Der Brand löste die Sprinkler an den Stellen S4 und S2 aus. Von den mehr als $2,2 \text{ m}^3$ ausströmenden Wassers, die für den Löscheinsatz benötigt wurden, trafen mehr als 33 % des Löschwassers auf der vorgegebenen Fläche auf, wobei 2 Wannen überliefen. Insgesamt wurden durch den Brand 57 Kartons völlig und 13 Kartons teilweise zerstört. 26 Kartons, die meisten auf der Außenseite der Stapel unter den beiden ausgelösten Sprinkler, wurden lediglich durchnäßt.

Der fünfte Versuch (PAL5) mit Holzwohle als Stoßschutzmaterial

und sonst gleichem Aufbau ergab bezüglich des Löscheinsatzes eine Erhöhung bei der Löschwassermenge auf über $2,6 \text{ m}^3$, von der mehr als 29 % auf der Meßfläche auftrafen. Eine Auffangwanne lief über. Die verbrannte Anzahl der Kartons belief sich auf 41, weitere 8 waren teilweise verbrannt und 47 Kartons verbrannten nicht. Dies bedeutet, daß sich Glutnester aus Holzwolle länger behaupten können, was eine Zunahme des Löschwassers mit sich bringt. Demgegenüber breitet sich ein Brand mit Chips schneller aus, was an der größeren Anzahl an verbrannten Kartons zu erkennen ist.

Beim sechsten Versuch (PAL6) wurden die Kartons wieder mit Chips als Stoßschutzmaterial gefüllt und der Sprinkler Typ K verwendet. Hier wurde deutlich, daß trotz der 3 ausgelösten Sprinkler eine noch höhere Wassermenge zum Löschen benötigt wurde als bei den vorherigen Versuchen. Dabei trafen wegen der 3 geöffneten Sprinkler mehr als 36 % des Löschwassers zuzüglich der übergelaufenen Menge bei 9 Wannen auf der Meßfläche auf. Durch das Zusammenfallen der Stapel und die große Wassermenge wurden praktisch alle Kartons zerstört. Auf die Brandlast mit Holzwolle wurde wegen des schlechten Löschverhaltens verzichtet.

Der siebte Versuch (PAL7) wurde mit dem Sprinkler Typ J durchgeführt und die Brandlast beibehalten. Dabei wurde festgestellt, daß mit 2 ausgelösten Sprinklern etwa 32 % des Löschwassers auf der Meßfläche auftrafen und insgesamt deutlich weniger Wasser verbraucht wurde. Die beiden hinteren Stapel waren nach dem Brand mit Löschwasser durchnäßt, aber als Stapel erhalten, während die Kartons der vorderen Stapel vollständig oder teilweise verbrannten.

Der achte Versuch (PAL8) zeigte für den gleichen Sprinkler und Holzwolle einen noch besseren Löscherfolg. Obwohl nur ein Sprinkler auslöste, konnte der Brand mit weniger Löschwasser bekämpft werden. Dabei trafen 27 % des Wassers auf der vor-

gegebenen Fläche auf. Dennoch verbrannten zahlreiche Kartons der beiden vorderen Stapel.

Beim neunten Versuch (PAL9) wurde die Brandlast beibehalten und mit dem Sprinkler Typ I gelöscht. Durch das Auslösen von 2 Sprinklern gelangten 33 % des Löschwassers in die Auffangwannen. Der gute Löscherfolg machte einen weiteren Versuch mit Chips als Brandlast überflüssig, da nur in den beiden vorderen Stapeln einige Kartons verbrannten.

Der zehnte Versuch (PAL10) macht deutlich, daß mit dem Sprinkler Typ H und Chips als Stoßschutzmaterial eine sehr hohe Wassermenge nötig war, um den Brand vollständig zu löschen. Dabei trafen mehr als 26 % des Löschwassers auf der Meßfläche auf. Dazu kommt die Teilmenge des bei zehn Wannen übergelaufenen Wassers. Ein Kontrollieren des Brandes war bereits etwas früher gegeben, jedoch machte die stärkere Flammenbildung im Palettenbereich einen längeren Löscheinsatz notwendig.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In ortsfesten Löschanlagen wird als häufigstes Löschmittel Wasser verwendet, das fast überall unbegrenzt zur Verfügung steht. Im Falle eines Schadenfeuers kann eine Sprinkleranlage sofort mit der Brandbekämpfung beginnen, wobei je nach der Lagerart unterschiedliche Sprinkleranordnungen und Wasserbeaufschlagungen eingesetzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Auswertung der in- und ausländischen Literatur auf dem Gebiet des Brandschutzes mit Sprinklern weitergeführt, um somit einen möglichst umfassenden Überblick zu erhalten. Die Arbeiten sind in der Dokumentation der Forschungsstelle für Brandschutztechnik vorhandenen und

jedermann zugänglich. Einzelne Abschnitte befassen sich u.a. mit allgemeinen Angaben über Sprinkler, mit Bränden, bei denen Sprinkler auslösten oder versagten, mit der Stapellagerung und Sprinklern, mit Sprinklern in Verbindung mit Lüftungsanlagen, mit Brandversuchen mit Sprinklereinsatz, mit Einflußgrößen von Sprinklern und mit der Anwendung in kleinen Wohneinheiten sowie mit den aus Sprinklern austretenden Wassertropfen.

Weiterhin werden Untersuchungen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik beschrieben, die an Lageraufbauten mit Paletten, auf denen Wellpappkartons gelagert waren, durchgeführt wurden. Für den Löscheinsatz wurden handelsübliche hängende Sprinkler verschiedener Typen, die sich sowohl in der Geometrie als auch im Sprühbild unterscheiden, in Einzel- und in Viereranordnung, eingesetzt, was auf die Löschwirkung einen großen Einfluß ausübt. Die Lagerhöhe der Stapel beträgt etwa 3 m. Die Sprinklerebene befindet sich 0,5 m über der Brandlast. Die Auslösezeiten der Sprinkler lagen zwischen 3 min und 7 min. Es wird deutlich, daß nicht alle verwendeten Sprinklertypen bei diesem Versuchsaufbau in der Lage waren, den Brand zu löschen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- /001/ Merrick, D. : Advanced fire protection systems ideas for industry
SFPE Bulletin (1987) Nr.4, S.1,8-9
- /002/ Thomas, K.W. : Mängelbeseitigung an Sprinkleranlagen in Geschäftshäusern
Brandhilfe 35 (1988) Nr.12, S.376-378
- /003/ Cartwright, N.K. : Fire protection at the new British Library
Fire Prevention (1987) Nr.203, S.20-24
- /004/ Bystrov, J. (Titel russisch) Bimetallische Auslöser
Litvinov, V. für Sprinklerköpfe
Stepanov, O. : Pozarnoe delo (1988) Nr.5, S.33-34
- /005/ Siu, N. Uncertain data and expert opinions in the
Apostolakis, G.: assessment of the unavailability of suppression systems
Fire Technology 24 (1988) Nr.2, S.138-162
- /006/ Brenner, H.W. : How Berlin's exhibition and conference center is protected from fire risks
Fire 81 (1988) Nr.996, S.21-23
- /007/ Mitchell, G. : The new Donnington warehouse complex designed with maximum fire protection
Fire 80 (1988) Nr.991, S.17,19-20
- /008/ Kirsch, A. : Hospitals and nursing homes
Record 65 (1988) Nr.5, S.17-20
- /009/ King's Cross sprinkler contract completed
Fire 82 (1989) Nr.1009, S.22
- /010/ Stevens, P.E. : The first sprinkler standard
Fire Journal 80 (1986) Nr.3, S.108, 110-111
- /011/ Schirmer, C.W. : Sprinklers: a challenge for the future
Fire Journal 80 (1986), Nr.3, S.116
- /012/ Mulhaupt, R. : The national fire protection research foundation:
newest member of the NFPA family
Fire Journal 80 (1986) Nr.3, S.113-114,176

- /013/ Thomas, J. : Dupont Plaza ... MGM Grand. Could they happen again?
Fire Journal 82 (1988) Nr.3, S.40-44
- /014/ Lilja, J. : (Titel finnisch) Brandschutz im Hotel Strand Inter-Continental
Palontor juntatekniikka 19 (1989) Nr.1, S.4,6-10
- /015/ Todd, C. : Fire safety in health care premises
Fire Surveyor 18 (1989) Nr.1, S.33-40
- /016/ Kirkham, D. : Protection contre l'incendie des cables en tunnel
R.G.S. (1989) Nr.83, S.35-36,43
- /017/ Razzivin, F. (Titel russisch) Neue Alarmventile und
Stepanov, O. : Auslöseelemente für Sprinkleranlagen
Pozarnoe delo (1989) Nr.6, S.28
- /018/ Protecting an airline's most valuable asset
Fire International 13 (1989) Nr.114, S.17-18,20,22-23
- /019/ Konstruktion
Record 64 (1987) Nr.2, S.4-10
- /020/ Protection
Record 64 (1987) Nr.2, S.11-16
- /021/ Abrams, J.O. A cooperative firesafety effort:
Daly, T.G. : California's proposition 31
Fire Journal 80 (1986) Nr.4, S.56-57,80
- /022/ Ramachandran,G.: Trade-offs between fire safety measures:
Probabilistic evaluation
Fire Surveyor 19 (1990) Nr.2, S.4-13
- /023/ Ashfield, A. : Gridded sprinkler systems
Fire Surveyor 19 (1990) Nr.3, S.20-27
- /024/ Walters, L.K. : Making loss control headlines to meet deadlines
Record 66 (1989) Nr.6, S.9-13
- /025/ Litvinov, V. (Titel russisch) Drei Methoden zur
Bystrov, J. Beurteilung der Wirksamkeit einer
Zavraznov, V. : Sprinkleranlage
Pozarnoe delo (1990) Nr.1, S.30-31
- /026/ Kench, R.L. : Fire safety in nuclear power stations.
Part 3
Loss Prevention News 11 (1989) Nr.4, S.10-13

- /027/ Sullivan, P. : New hydraulics laboratory enhances approval services
Record 69 (1992) Nr.2, S.3-5
- /028/ Insured want to know about ...
sprinkler control valves
Record 67 (1990) Nr.1, S.16-19
- /029/ Kirsch, A. : Preserving today's treasures for tomorrow
Record 67 (1990) Nr.1, S.3-9
- /030/ Männikkö, S. : (Titel finnisch) Brandschutz und Personenschutz in dem Konzert- und Kongreßzentrum Tampere Hall
Palontor juntatekniikka 20 (1990) Nr.2, S.4,6-10
- /031/ Protecting high-value computer systems
Fire Prevention (1990) Nr.228, S.17-20,55
- /032/ Inadequation d'une installation de sprinkleurs liee a l'activite protegee.
Quelques solutions
R.G.S. (1991) Nr.101, S.29-31
- /033/ Ashfield, A. : Computer calculations for determining design of sprinkler installations
Fire 83 (1990) Nr.1023, S.26,28-29
- /034/ Lundsgard, H. : (Titel dänisch) Brand im Kraftwerk Studstrup
Brandvaern 16 (1990) Nr.4, S.10-15
- /035/ Walker, N. : Containerizing fire pumphouses
Fire Prevention (1990) Nr.229, S.33
- /036/ Craig, J. : Smoke alarms are not enough
Fire Prevention (1990) Nr.233, S.22-23
- /037/ Crook, J. : A wave of concern
Fire Prevention (1990) Nr.234, S.15-17
- /038/ Stephens, J. : Following the sprinkler rules
Fire Prevention (1990) Nr.231, S.12
- /039/ Lambrecht, V. : Innenangriff mit Schaumspise
Gefährliche Ladung 37 (1992) Nr.2, S.74-78
- /040/ Lambrecht, V. Löschanlagen in Lägern
Fiedler, S. : Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung 45
(1991) Nr.3, S.170-174

- /041/ Stronach, I. : City brings in retroactive high-rise sprinkler law
Fire International 14 (1990) Nr.121, S.23-25
- /042/ Wetterich, W. : Stationre Lschanlgen
Protector 17 (1989) Nr.2, S.51,53-54, 57,59,61
- /043/ Stampfli, M. : Lschanlage bei Altbausanierung
Protector 17 (1989) Nr.4, S.39,41,43,45
- /044/ Mowrer, F.W. : Lag times associated with fire detection and suppression
Fire Technology 26 (1990) Nr.3,S.244-265
- /045/ Harker, M. : Foam in sprinkler systems
Fire Surveyor 19 (1990) Nr.4, S.4-6
- /046/ Les AFFF dans les sprinkleurs
Face au Risque juin/juillet (1991) Nr.274, S.61,63
- /047/ Chow, W.K. : Numerical simulation on cooling of the
Fong, N.K. : fire-induced air flow by sprinkler water sprays
Fire Safety Journal 17 (1991) S.263-290
- /048/ Donoghue, E.A. : Elevators and sprinklers:
The controversy continues
Fire Journal 84 (1990) Nr.2, S.15,17
- /049/ Gittleman, E.L.: Elevators and sprinklers: have we made
the solution too complex ?
Fire Journal 84 (1990) Nr.5, S.13-15
- /050/ Zicherman, J.B.: Is PVC piping firesave
Fire Journal 84 (1990) Nr.6, S.36-39,41-42
- /051/ Smith, W.W. : Integrating hydraulic sprinkler
calculations and CAD
Fire Journal 84 (1990) Nr.2,S.56-57,59,62
- /052/ Schirmer, C. : Helping develop the codes and standards
Fire Journal 84 (1990) Nr.3, S.44-45
- /053/ Casaccio, E.K. : High rise fire protection: a tall order
Record 68 (1991) Nr.4, S.3-11
- /054/ Stanley, F. : Sprinklers, a challenge that is being met
in the USA
Fire International 15 (1991) Nr.126, S.27-28,31

- /055/ Proctor, V. : Sprinkler justification
Fire Engineers Journal 50 (1990) Nr.159,
S.30-31
- /056/ Types of sprinklers wot a lot of
sprinklers
Sprinkler Bulletin 2 (1991) Nr.2
(Beilage zu 18 (1991) Nr.1)
- /057/ Grayson, S.J. : US and european sprinklers compared
Fire and Flammability Bulletin,
July (1991) ISSN:0952-2727
- /058/ Nash, P. : Sprinkler systems
Fire Surveyor 19 (1990) Nr.6, S.14-17
- /059/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.
Teil 8: Literaturlauswertung Sprinkler
Forschungsbericht Nr.78 der
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien
der Bundesländer. Arbeitskreis V -
Unterausschuß "Feuerwehrrangelegenheiten"
Karlsruhe: Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (1991) 60 S.
- /060/ Fleming, R.P. : Technological advances in fire sprinkler
protection
Fire Surveyor 20 (1991) Nr.2, S.5-10
- /061/ Campbell, C. : Hotels are facing up to fire safety
problems
Fire International 15 (1991) Nr. 127,
S.13-14,16-17
- /062/ Craig, J.M. : Domestic sprinkler systems offer valuable
evacuation time
Fire Engineers Journal 51 (1991) Nr.160
S.15-16
- /063/ Steinhaus, F.R.: Sprinkleranlagen, eine Langfristanalyse
VFDB-Zeitschrift Forschung und Technik im
Brandschutz 40 (1991) Nr.3, S.125-127
- /064/ Young, R. : Looking to the future
Fire Prevention (1992) Nr. 247, S.28-30
- /065/ Sprinklers
Ergänzung zu ANPI Magazine (1992) Nr.109
Dossier Technique (1992) Nr.90
ISSN 0772-7267
- /066/ Büssel, R. : Going underground
Fire Prevention (1991) Nr.247, S.35-36

- /067/ Stephens, J. : Sprinkler rules Q & A
Fire Prevention (1991) Nr.247, S.42
- /068/ Hattan, G. : Learning about sprinklers
Fire Prevention (1991) Nr.247, S.43-46
- /069/ Teague, P.E. : Sprinkler backflow preventers
NFPA Journal 85 (1991) Nr.1, S.34-40
- /070/ Rees, G.S. : Automatic sprinklers their value and
latest developments
Fire Surveyor 20 (1991) Nr.5, S.9-13
- /071/ Conservation workshop:
a pocket guide to automatic sprinklers
Record 67 (1990) Nr.4, S.21
- /072/ Offenhäuser, F. CFIRE-X. Simulation von Löschvorgängen
Barth, U. bei Bränden in Räumen
Schnatz, G. u.a.: VFDB-Zeitschrift 40 (1991) Nr.1, S.32-35
- /073/ Oberste- Anerkannte Sicherheit zahlt sich aus:
Schemmann, E. : Kleinsprinkleranlage
Der Maschinenschaden 65 (1992) Nr.1,
S.31-34
- /074/ Factory "units" hindered access
Fire 81 (1989) Nr.1007, S.18
- /075/ Isner, M.S. : High-rise apartment fire
Fire Command 55 (1988) Nr.3, S.66
- /076/ Before the fire
Fire Command 55 (1988) Nr.7, S.26-43
- /077/ Ljamaev, E. (Titel russisch) Großbrand im
Salkov, A. : Volgodonsker Busdepot
Pozarnoe delo (1988) Nr.3, S.31-33
- /078/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 81 (1987) Nr.2, S.14,16-17,
19-20,68
- /079/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 80 (1986) Nr.1,S.11-12,14,15
- /080/ Tayler, K.T. : Updating the record on computer center
fires
Fire Journal 83 (1989) Nr.2, S.31-35
- /081/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 80 (1986) Nr.4,S.13-14,16,17
- /082/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 80 (1986) Nr.6, S.12-15

- /083/ Redding, D. : Large-loss fires in the United States
Pauley, R. : during 1985
Fire Journal 80 (1986) Nr.6, S.34-39, 67, 75
- /084/ : Fire protection. A shopping center's best
buy
Record 67 (1990) Nr.3, S.16-19
- /085/ Floitgraf, W. : Hochhaus stellte hohe Anforderungen an
Feuerwehr
112 Magazin der Feuerwehr 14 (1989)
Nr.12, S.650-655
- /086/ Dosne, R. : Carcassonne. La goutte d'eau incendiaire
Face au Risque (1989) Nr.257, S.79, 81-82
- /087/ Stoddard, E. : Protection for high-value computer
systems
Record 66 (1989) Nr.6, S.3-8
- /088/ Taylor, K.T. : Large-loss fires in the United States
Tremblay, K.J. : during 1988
Fire Journal 83 (1989) Nr.6, S.58-63,
65-70, 72, 74-78, 80-81
- /089/ Taylor, K.T. : Updating the record on computer center
fires
Fire Journal 83 (1989) Nr.2, S.31-35
- /090/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.6, S.15-18
- /091/ Morris, J. : The first interstate bank fire, what
went wrong?
Fire Prevention (1990) Nr.226, S.20-26, 55
- /092/ Vreese, L. de : "First Interstate Bank" a Los Angeles
Revue Belge du Feu (1989) Nr.95, S.7-12
- /093/ Courtney, N. : Fire record
Fire Journal 82 (1988) Nr.1, S.17-22, 75
- /094/ Walters, L.K. : Weathering winter. Assess your facility's
ability to weather winter's worst.
"Eurowinter"
Record 67 (1990) Nr.5, S.3-15
- /095/ Coates, M. : FPA casebook of fires: warehouse
Loader, K. : Fire Prevention (1990) Nr.234, S.28-29
- /096/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 82 (1988) Nr.6, S.14, 16, 18, 19
- /097/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.1, S.15, 17-19

- /098/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.2,
S.17,19,21,23-24
- /099/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 82 (1988) Nr.5, S.17-18,
20-21,87-88
- /100/ Kirsch, A. : Successful fire fighting with sprinklers
Record 68 (1991) Nr.4, S.16-19
- /101/ Klem, T.J. : Board and care fire claims four
Fire Command 57 (1990) Nr.12, S.13-15
- /102/ Courtney, N. : Fire Watch
NFPA Journal 85 (1991) Nr.1, S.27-31
- /103/ Wronn, H. : Großbrand vernichtet Industriehalle
Schmidt, J. : Der Feuerwehrmann 41 (1991) Nr.10,
S.15-17
- /104/ Courtney, N. : Fire Watch
NFPA Journal 85 (1991) Nr.2,
S.25-27,29,31
- /105/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.4, S.15,17-19
- /106/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.5, S.17-19,21,23
- /107/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.2, S.19-22
- /108/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.6, S.17,19-21
- /109/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.4, S.19-20,22,23
- /110/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.5, S.17-21
- /111/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.6, S.15-18
- /112/ Taylor, K.T. : Large-loss fires in the US during 1989
Tremblay, K.J. : Fire Journal 84 (1990) Nr.6,
S.44-49,51-56,58-61,63-67
- /113/ Warehouse protection from fire hazards
Fire and Security Protection 51 (1989)
Nr.612, S.7-10

- /114/ Rost, M. : Automatische Brandschutztechnik im Hochregallager
VFDB-Zeitschrift 39 (1990) Nr.3,
S.133-138
- /115/ Warehouse protection from fire hazards
Fire and Security Protection 51 (1989)
Nr.612, S.7-10
- /116/ Sotis, L.P. : Which sprinkler will best protect your
warehouse?
Record 68 (1991) Nr.2, S.3-10
- /117/ Sotis, L.P. : ESFR: expanding applications and benefits
Record 69 (1992) Nr.1, S.6-10
- /118/ Protection
Record 66 (1989) Nr.3, S.4-8
- /119/ Casaccio, E.K. : Research - into the nineties
"Sprinkler Technology"
Record 66 (1989) Nr.3, S.9-12
- /120/ Sotis, L.P. : Commodities and storage arrangements
Record 66 (1989) Nr.3, S.13-18
- /121/ Insured want to know about ...
in-rack sprinklers
Record 67 (1990) Nr.2, S.18-19
- /122/ Schadenbild Nr.78. Sprinkleranlage rettet
Hochregallager
Schadenbilder Aktuell (1990) Nr.1,
S.33-38
- /123/ Storage of plastics and elastomers
including polyurethane, expanded rubber
and crude natural and crude synthetic
rubber
Loss Prevention Data 8-9, Factory Mutual
System, Feb. 1981, 8 S.
- /124/ Brandschutz durch Sprinkleranlagen
Vorbeugender Brandschutz VB 11 (1992)
Nr.1/2, S.2-6,8-10,12-14,16-18,20
- /125/ Casaccio, E.K. : A new hazard uncovered-rolled nonwoven
fabrics
Record 68 (1991) Nr.6, S.3-8
- /126/ Wall, Ph.D. : ESFR - the way forward?
Fire Prevention (1991) Nr.247, S.31-33

- /127/ Miller, R. : An assessment of the new draft BSI code for covered shopping complexes
Fire 81 (1988) Nr.997, S.29,32
- /128/ Butcher, G. : Smoke control: has it kept pace with design trends
Fire 81 (1989) Nr.997, S.27,32
- /129/ Benet, Y. : Salles blanches. IBM fait les choses en grand
Face au Risque (1987) Nr.23, S.71-72,74,77
- /130/ Wodrich, E. Brand auf dem Dach eines Hochregallagers
Kriger, D. : Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung 42 (1988) Nr.10, S.593-595
- /131/ Cole, J. : Smoke movement in single storey buildings
Fire Surveyor 18 (1989) Nr.1, S.25-33
- /132/ Sommer, R. : Vorbeugender Brandschutz in einer Rohstoffrückgewinnungsanlage (RRA)
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung 42 (1988) Nr.9, S.544-547
- /133/ Gustafson, N.E.: Sprinklers vs smoke vents, are they compatible?
Fire Protection 16 (1989) Nr.4, S.5-10
- /134/ Davis, W.D. A computer model for estimating the
Cooper, L.Y. : response of sprinkler links to compartment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents
Fire Technology 27 (1991) Nr.2, S.113-127
- /135/ Davis, W.D. Estimating the environment and the
Cooper, L.Y. : response of sprinkler links in compartment fires with draft curtains and fusible-link-actuated ceiling vents - Part II: user guide for the computer code
Gaithersburg: U.S. Department of Commerce National Institute of Standards and Technology, NISTIR 89-4122 (1989)
- /136/ Cooper, L.Y. : Estimating the environment and the response of sprinkler links in compartment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents - theory:
Fire Safety Journal 16 (1990) S.137-163

- /137/ Cooper, L.Y. : Interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment
Forschungsbericht des "National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg: NISTIR--4587 (1991) 47 S.
- /138/ Johnston, D. : High-rise fire protection at Monsanto's warehouse
Fire Prevention (1990) Nr.229, S.28-30
- /139/ Dwyer, T. : Smoke control
Loss Prevention News 12 (1990) Nr.3, S.10-11
- /140/ Heiner, V. : Automatische Brandlüftung reduziert Brandrisiko
VB, Vorbeugender Brandschutz 9 (1990) Nr.4, S.22-24
- /141/ Hölemann, H. : Nutzt die Kombination?
Produktion (1991) Nr.24, S.9
- /142/ Courtney, N. : Fire record
Fire Journal 82 (1988) Nr.2, S.17-22,94
- /143/ Courtney, N. : Fire record
Fire Journal 82 (1988) Nr.3, S.27-31,129
- /144/ Courtney, N. : Fire record
Fire Journal 82 (1988) Nr.4, S.13-14, 16-18,84
- /145/ Scoones, K. : Sprinkler in action
Fire Prevention (1991) Nr.247, S.38-41
- /146/ Persson, H. : Evaluation of the RDD-measuring technique
Swedish National Testing and Research Institute
Boras: SP Report 1991:04 (1991)
- /147/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 80 (1986) Nr.5, S.19-22
- /148/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 83 (1989) Nr.3, S.17,19,21,23
- /149/ Courtney, N. : Fire Record
Fire Journal 84 (1990) Nr.3, S.21-26
- /150/ Bill, R.G. : Smoke detectors and sprinklers in hotels
Fire Journal 84 (1990) Nr.3, S.28-31,34-35,37

- /151/ Peissard, W.G. : Neueste Versuche über Brände in Hotels
Protector 17 (1989) Nr.1, S.19,21,23,25
- /152/ Bill, R.G. Predicting the suppression capability of
Kung, H.C. quick response sprinklers in a light
Brown, W.R.u.a.: hazard scenario
Part 1: Fire growth and required
delivered density (RDD) measurements
Journal of Fire Protection Engineering 3
(1991) Nr.3, S.81-93
und
Part 2: Actial delivered density (ADD)
measurements and full-scale fire tests
S.95-107
- /153/ Custer, R. : Fire power: making the movie
Fire Journal 80 (1986) Nr.6, S.23-26,
31-33,64
- /154/ Olsson, S. Extinguishment of oil spray fires with
Ryderman, A. : water. Experimental procedures and test
data
Forschungsbericht der Statens Provnings
anstalt, SP-Rapport-1990:32, 64 S.
- /155/ Steinmetz, J. : Brandversuche mit Lagerhilfen aus
Polypropylen
Vorbeugender Brandschutz VB (1992)
Nr.1/2, S.22-24,26-30,32-34,36
- /156/ Sullivan, P. : A collaboration of commodity
classification techniques
FMRC Update 5 (1991), Nr.2, 4 S.
- /157/ Mortensen, E. : Ny filosofi for sprinkleranlaeg i
hojlagre
Brandvaern 18 (1992) Nr.1, S.17-20
- /158/ Everest, J. : Water sprays take shape
Fire Prevention (1991) Nr.239, S.11-13
- /159/ Cockram, I. : Analysis of fire protection and detection
for escalators
Fire 83 (1990) Nr.1024, S.24,27,32,34
- /160/ Schatz, H. : Untersuchungen über den Löscheinsatz von
Sprinklern
VFDB-Zeitschrift 38 (1989) Nr.2, S.73-77
- /161/ Woodward, C.D. : Toward higher standards of fire safety
in hospitals
Fire Prevention (1988) Nr.207, S.14,16
- /162/ Neueste Versuche. Brände in Hotels
Cerberus Alarm (1988) Nr.105, S.4-6

- /163/ Fire and unprotected steel in closed
carparks
Forsch.-Bericht der BHP Steel
International (1988) 33 S.
- /164/ Warehouse fire protection
BRE News of Fire Research, May (1990)
- /165/ Budnick, E.K. How quick response sprinklers perform and
Fleming, R.P. : what it means for their application.
Part 1
Fire Journal 83 (1989) Nr.5, S.48-52,54,
56,94
- /166/ Prößdorf, T. : Brand- und Löschversuche a EDV-Anlagen
BVD/SPI Bulletin (1989) Nr.1, S.20-21,28
- /167/ Cardington shows how
BRE News of Fire Research, Jan. (1990)
- /168/ Water sprays in passenger aircraft fires
BRE News of Fire Research, July (1989)
- /169/ Vincent, B.G. Use of quick response sprinklers for
Stavrianides,P. industrial fire protection applications
Kung, H.C. : Journal of Fire Protection Engineering 2
(1990) Nr.4, 99-100
- /170/ Kohler, H. : Brandversuche in Chemielagern mit
stationären Löschanlagen
BVD/SPI Bulletin (1990) Nr.3, S.31
- /171/ Brandversuche in Chemielagern mit
stationären Löschanlagen
Teilprogramm BVD/SANDOZ: Sprinkleranlagen
für Lager mit leichtentzündlichen
Flüssigkeiten. April/Mai 1990, 23 S.
- /172/ Viera, D. : Factory Mutual Research Center: a quarter
century of putting fire to the test
Record 69 (1992) Nr.1, S.11-14
- /173/ Almand, K.H. Fire in offices
Thomas, I.R. Forschungsbericht der Melbourne Research
Bennetts, I.D. : Laboratories (1989) MRL/PS69/89/005
- /174/ Bennetts, I.D. Fire safety in carparks
Thomas, I.R. Forschungsbericht der BHP Steel,
Proe, D.J. u.a.: Melbourne: MRL/PS69/89/006 (1989), 33 S.
- /175/ Stockage des palettes vides
Face au Risque (1990) Nr.259, S.29-30,33
- /176/ Anderson, D. : Protecting the service industry
Record 67 (1990) Nr.3, S.14-15

- /177/ Przybyla, L. The results are in on flammable liquids
Gandhi, P. : in plastic containers
Fire Journal 84 (1990) Nr.3, S.38-39,41,43
- /178/ Sullivan, P. : FMRC spans global issues
FMRC Update 5 (1991) Nr.1, 4 S.
- /179/ Schäfer, H.-J. Brand- und Löschversuche an KLT
Wendorf, R. : VB, Vorbeugender Brandschutz
(1992) Nr.4, S.42-44,46-47
- /180/ Protecting the service industry
Record 67 (1990) Nr.3, S.14-15
- /181/ Halstead, D. : Wiring ignites fatal fire
Fire Command 56 (1989) Nr.9, S.26-27,40
- /182/ Alpert, R.L. : Calculated spray water-droplet flows in a
fire environment
Norwood: Technical Report
FMRC J.I. OJ0J1.BU, RC86-BT-6 (1986)
- /183/ Beyler, C.L. : The interaction of fire and sprinklers
College Park: Center for Fire Research
National Bureau of Standards
MD 20742, NBS-GCR-78-121 (1977)
- /184/ Heskestad, G. Air entrainment into water sprays
Kung, H.C. Norwood: Factory Mutual Research
Todtenkopf, N.F.: Corporation 02062 (1981)
Ressue of RC//-TP-7 (1977)
- /185/ Alpert, R.L. : Calculated interaction of sprays with
large-scale cross flows and buoyant
opposed flows
Norwood: Technical Report
FMRC J.I. OE0J4.BU, RC82-BT-3 (1982)
- /186/ Chow, W.K. Numerical studies on the sprinkler fire
Fong, N.K. : interaction using field modelling
technique
Kent: Interflam '90 (1990) S.30-34
- /187/ Chow, W.K. : On the evaporation effect of a sprinkler
water spray
Fire Technology 25 (1989) Nr.4,
S.364-373

- /188/ You, H.Z. : Investigation of spray patterns of selected sprinklers with the FMRC drop size measuring system
Norwood: FMRC RC85-TP-1, Oct. 1985, 10 S.
und
Fire Safety Science-Proceedings of the First International Symposium
Norwood: FMRC 02062, 12 S.
- /189/ Ravigururajan, T. A model for attenuation of fire radiation
Beltran, M.R. : through water droplets
Fire Safety Journal 15 (1989) Nr.2,
S.171-181
- /190/ Kunkelmann, J. : Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind. Teil 8. Simulation der Wechselwirkungen eines Tropfenschwarmes mit einer Heißgasströmung.
Brandschutzforschung der Bundesländer (1991) Nr.80, 109 S.
- /191/ Kunkelmann, J. : Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind. Teil 9. Simulation der Wasserbeaufschlagung eines Sprinklers.
Brandschutzforschung der Bundesländer (1992) Nr.83, 62 S.
- /192/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen. Teil 9. Messung und Simulation der Wasserbeaufschlagung, Flüssigkeitsverteilungen, Bestimmung von Tropfengrößen.
Brandschutzforschung der Bundesländer (1992) Nr.82, 53 S.
- /193/ Schatz, H. : Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen. Teil 10. Literaturlauswertung - Tropfenverteilungen - Löscheversuche
Brandschutzforschung der Bundesländer (1993) Nr. 85, 74 S.

7. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. Ansprechzeiten der Brandmelder und Sprinkler.

Vers. Nr.	Sprink- ler Typ	Anzahl	Brand- last Anzahl Paletten HW/PS	Auslösezeit Brandmelder		Auslösezeit Sprinkler				
				Ion.	opt.	S0	S1	S2	S3	S4
				min:s		min:s				
PAL1	G	1	2 PS	0:40	1:20	3:15	=	=	=	=
PAL2	E	1	8 PS	1:58	2:08	2:58	=	=	=	=
PAL3	G *	1(5)	8 PS	1:09	1:51	4:06	-	5:30	4:10	-
PAL4	G	4	8 PS	1:06	1:38	=	-	6:40	-	4:38
PAL5	G	4	8 HW	1:36	2:37	=	-	-	5:29	5:32
PAL6	K	4	8 PS	1:32	1:31	=	-	5:44	4:01	3:50
PAL7	J	4	8 PS	1:20	1:30	=	-	-	3:54	3:44
PAL8	J	4	8 HW	1:23	2:10	=	-	-	-	3:02
PAL9	I	4	8 HW	1:05	1:55	=	-	-	5:01	4:45
PAL10	H	4	8 PS	1:51	1:32	=	-	-	4:47	4:46

* Sprinkler S1, S2, S3, S4 an Trockenleitung
 = Sprinkler nicht vorhanden
 - Sprinkler nicht ausgelöst

Tabelle 2. Temperaturen beim Auslösen der Sprinkler.

Vers. Nr.	Sprink- ler Typ	Brand- last	Anzahl Paletten HW/PS	Temperaturen in °C					
				T S0	T S1	T S2	T S3a	T S3b	T S4

PAL1	G	1	2 PS	=	=	=	=	=	=
PAL2	E	1	8 PS	84	=	=	=	=	=
PAL3	G *	1(5)	8 PS	257	(147)	(195)	(192)	=	(173)
PAL4	G	4	8 PS	(629) (201)	(155) (140)	(199) 141	(170) (56)	(178) (56)	192 (/)
PAL5	G	4	8 HW	(574) (465)	(126) (113)	(128) (130)	191 (/)	196 (/)	(179) 186
PAL6	K	4	8 PS	(102) (125) (305)	(76) (96) (74)	(80) (98) 112	(118) 143 (/)	(121) 148 (/)	144 (/) (/)
PAL7	J	4	8 PS	(30) (130)	(27) (71)	(34) (84)	(133) 130	(145) 134	150 (/)
PAL8	J	4	8 HW	(115)	(75)	(76)	(129)	(139)	129
PAL9	I	4	8 HW	(270) (344)	(113) (134)	(130) (137)	(182) 182	(188) 196	190 (/)
PAL10	H	4	8 PS	(453) (468)	(153) (156)	(166) (168)	(246) 247	(290) 291	205 (/)

(/) Sprinkler hatte bereits ausgelöst

* Sprinkler S1, S2, S3, S4 an Trockenleitung

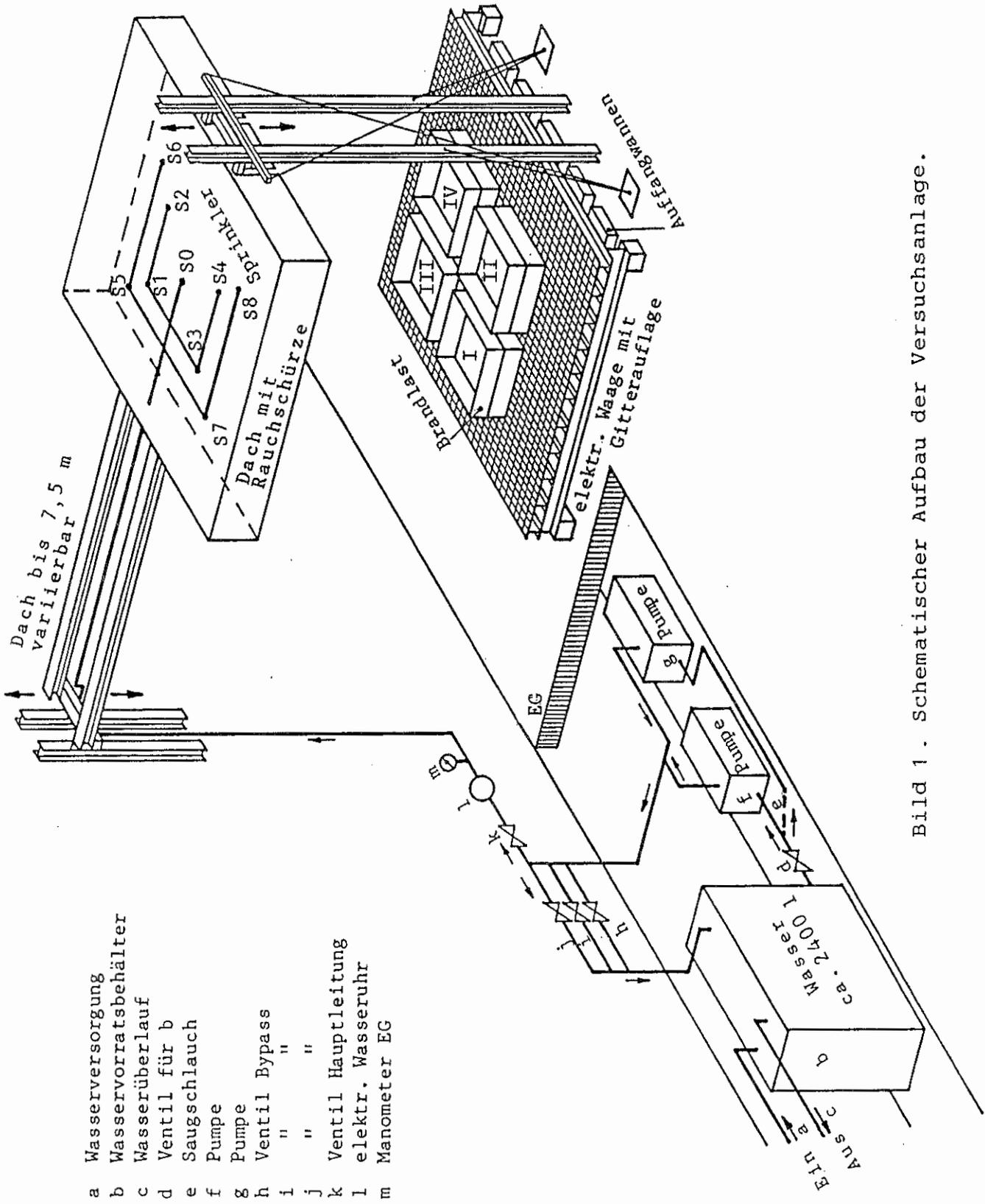
= Meßstelle nicht vorhanden

Tabelle 3. Wassermengen in Abhängigkeit von der Brandlast und vom Sprinklertyp.

Vers. Nr.	Sprinkler Typ	Brandlast		Sprinkler ausgelöst Anzahl	Volumenstrom Mittelwert l/min	Wasser gesamt l	Wasser in den Wannen %
		Anzahl	Anzahl Paletten HW/PS				
PAL1	G	1	2 PS	1 (S0)	ohne Wasser	=	=
PAL2	E	1	8 PS	1 (S0)	472	1470	> 52
PAL3	G *	1(5)	8 PS	1 (S0)	143	715	und Strahlrohr
PAL4	G	4	8 PS	2 (S4, S2)	368	2221	> 33
PAL5	G	4	8 HW	2 (S3, S4)	445	2670	> 29
PAL6	K	4	8 PS	3 (S4, S3, S2)	450	2928	> 36
PAL7	J	4	8 PS	2 (S4, S3)	374	1905	32
PAL8	J	4	8 HW	1 (S4)	225	1380	27
PAL9	I	4	8 HW	2 (S4, S3)	185	1520	33
PAL10	H	4	8 PS	2 (S4, S3)	232	4292	> 26

> bedeutet, es sind Wannen übergelaufen

* Sprinkler S1, S2, S3, S4 an Trockenleitung



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

Bild 1. Schematischer Aufbau der Versuchsanlage.

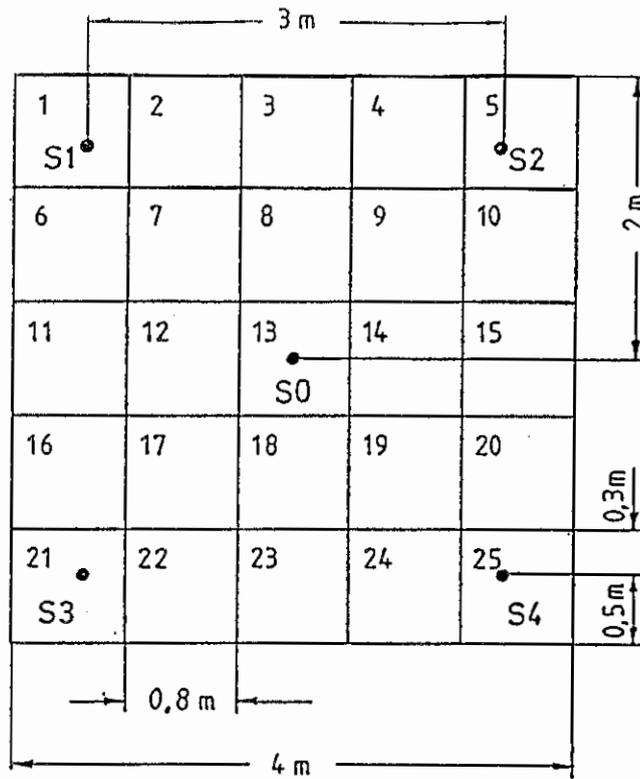


Bild 2. Meßfläche der 25 Auffangwannen und Anordnung der Sprinkler S1 bis S4.

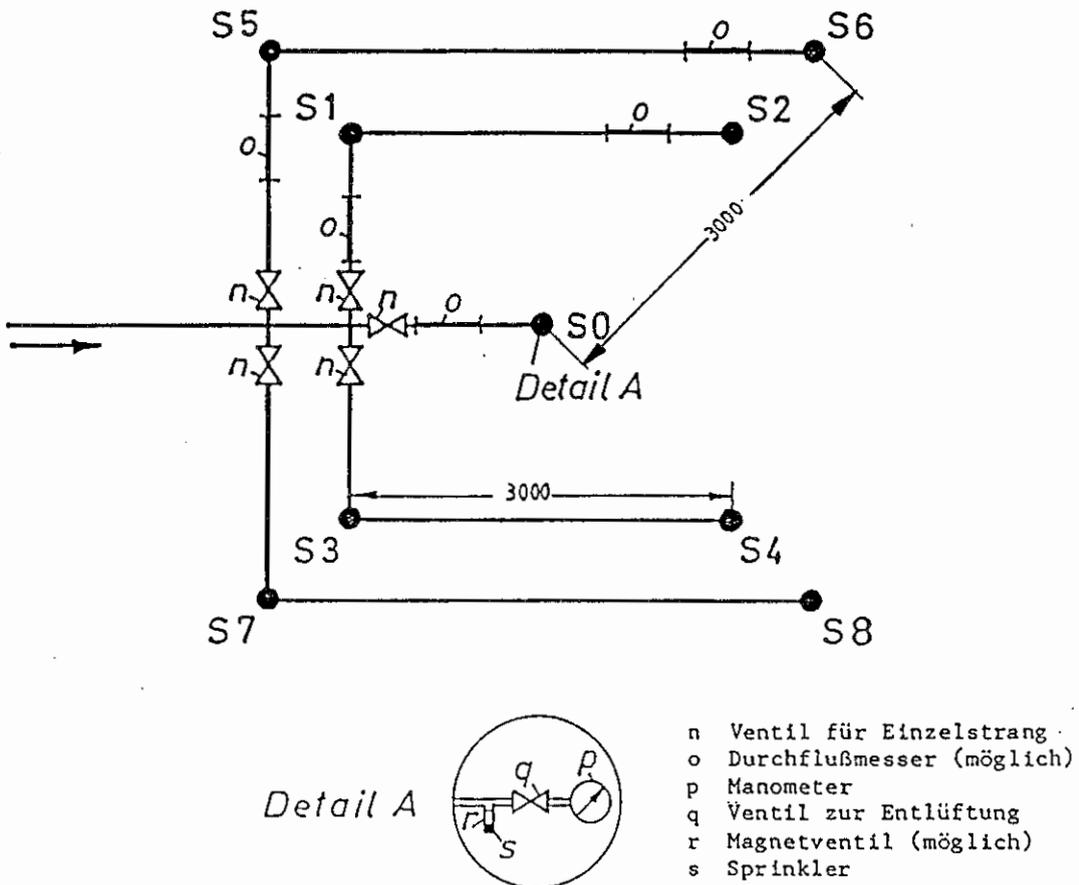


Bild 3. Mögliche Anordnung der Sprinkler S0 bis S8.

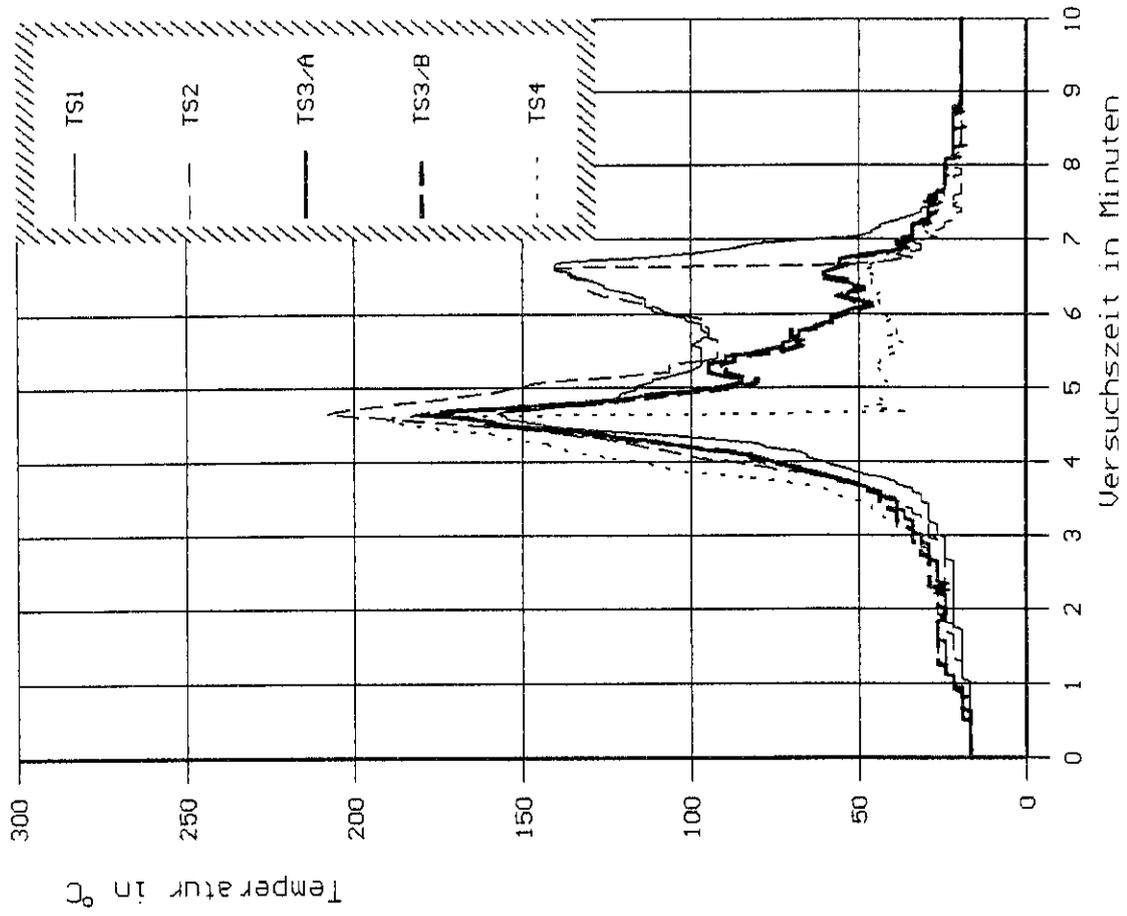


Bild 5. Versuch PAL4
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

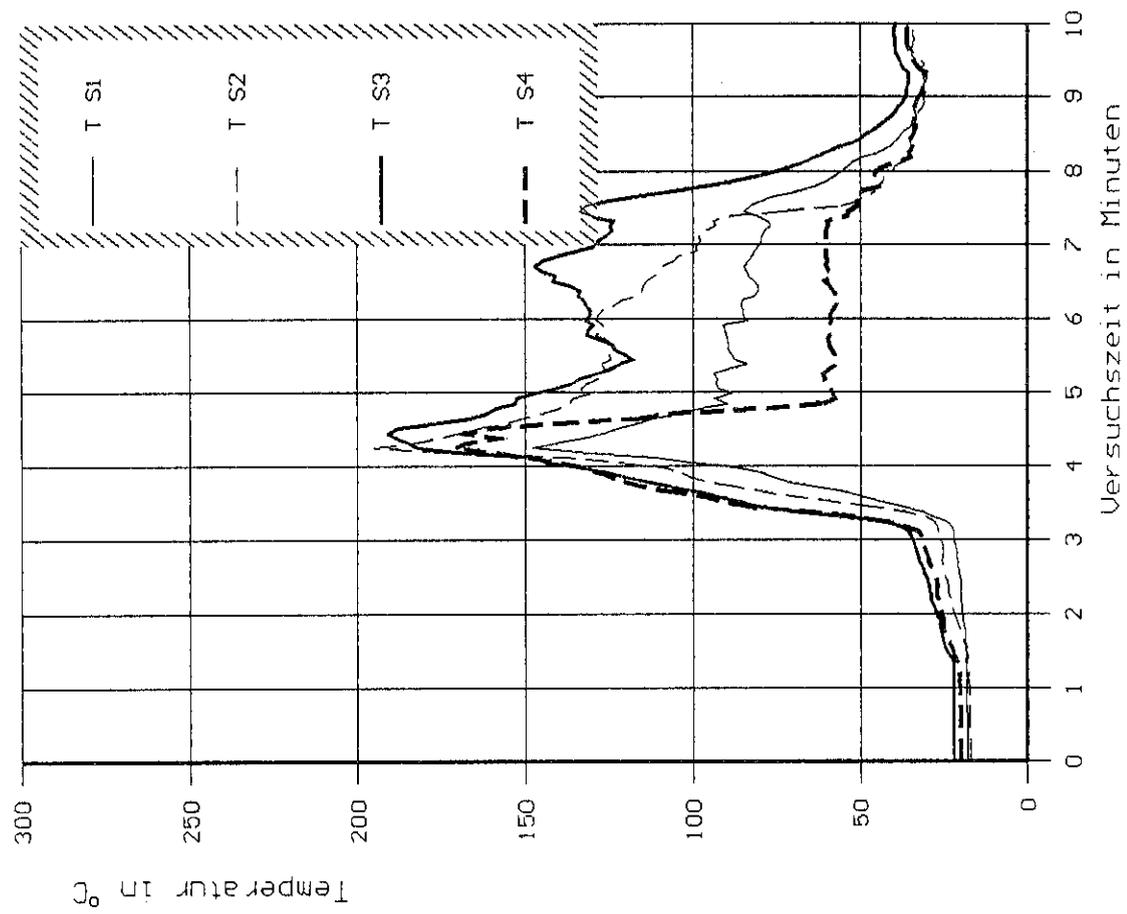


Bild 4. Versuch PAL3
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

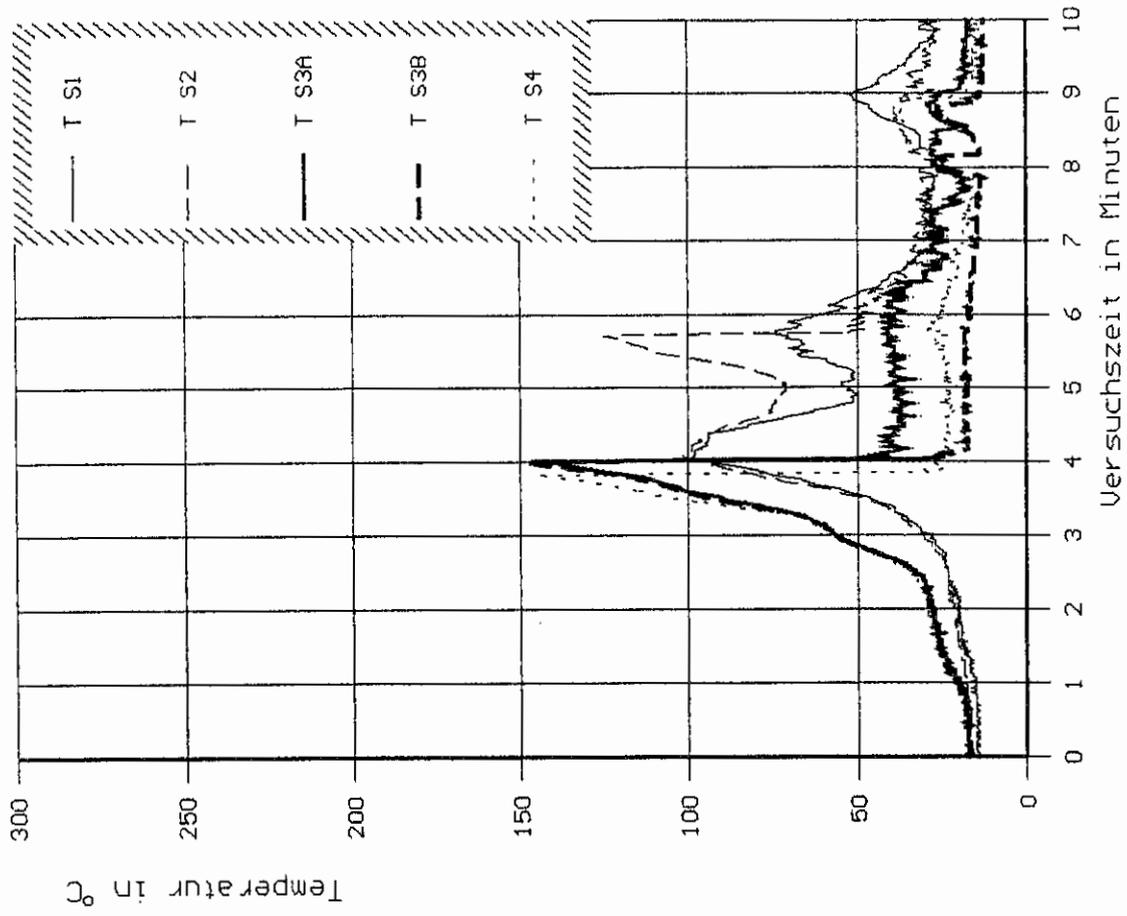


Bild 7. Versuch PAL6
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

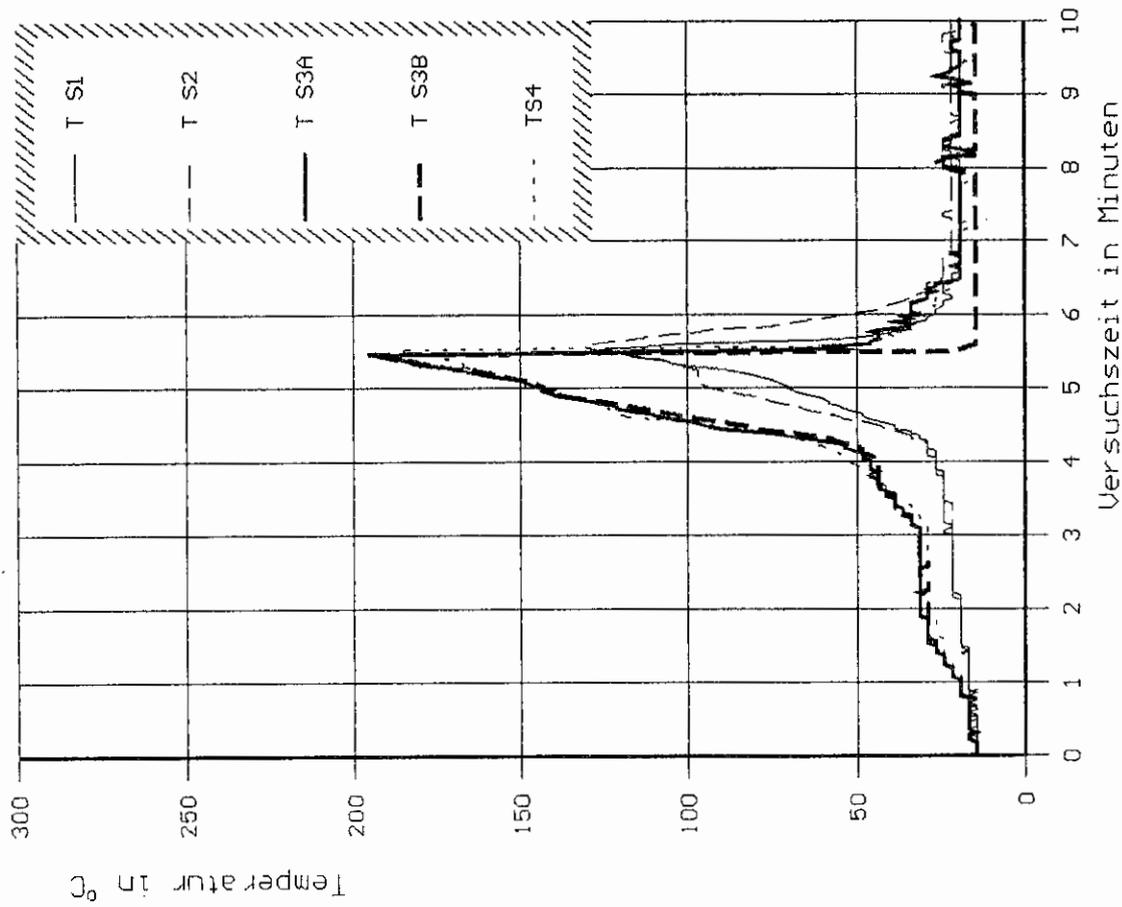


Bild 6. Versuch PAL5
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

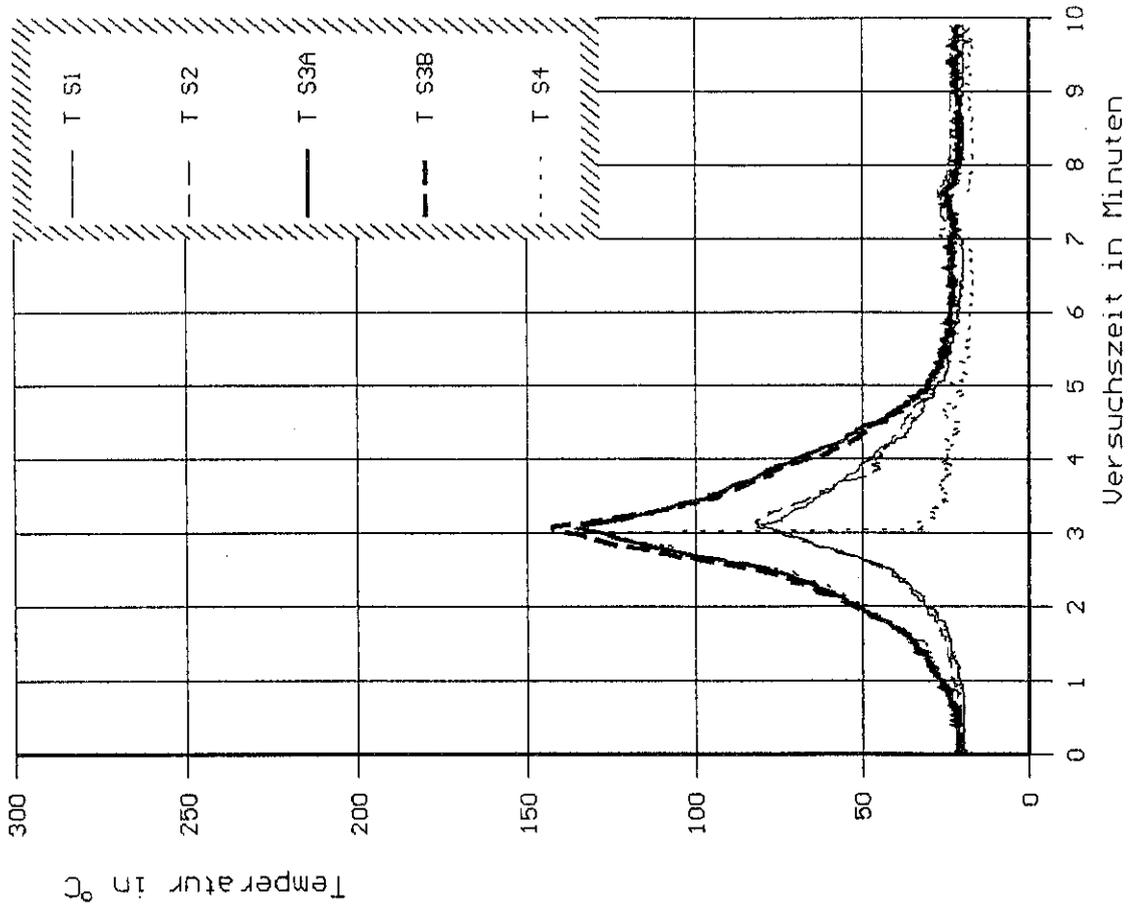


Bild 9. Versuch PAL8
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

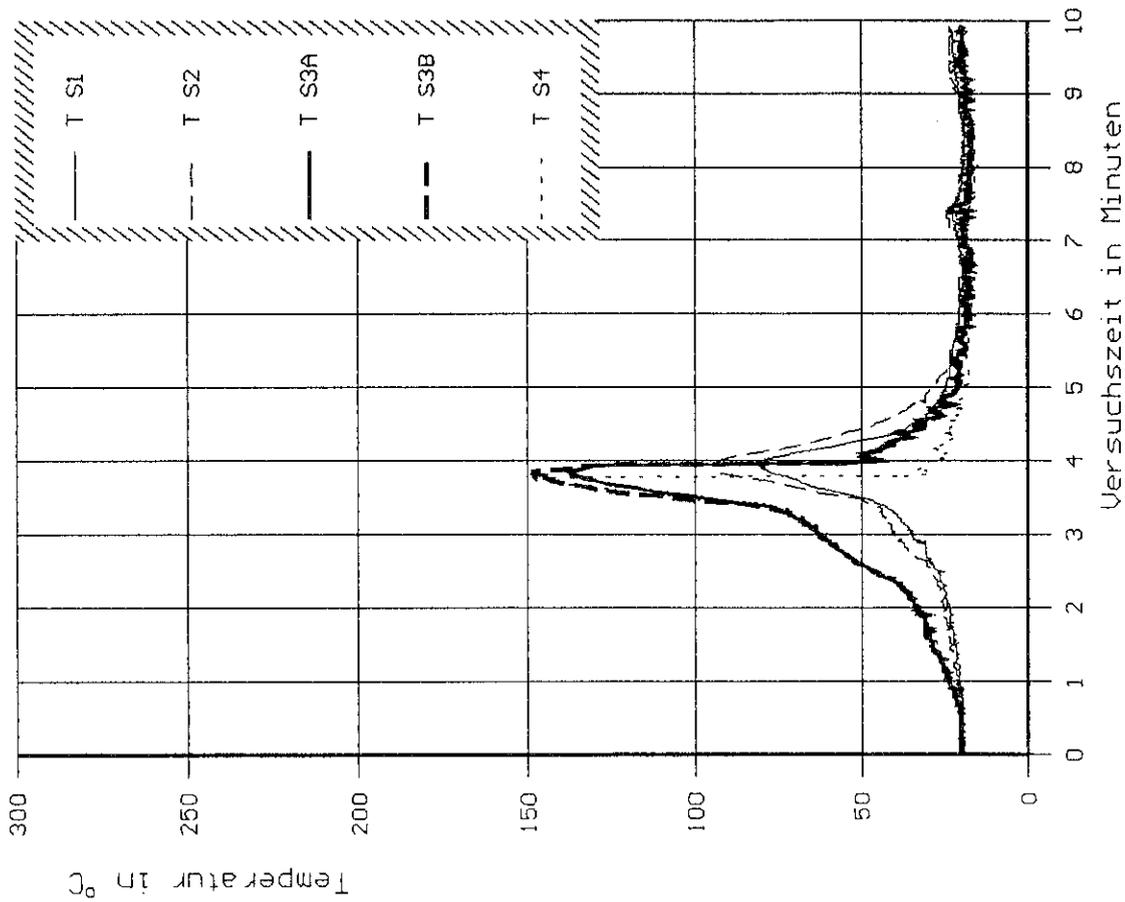


Bild 8. Versuch PAL7
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

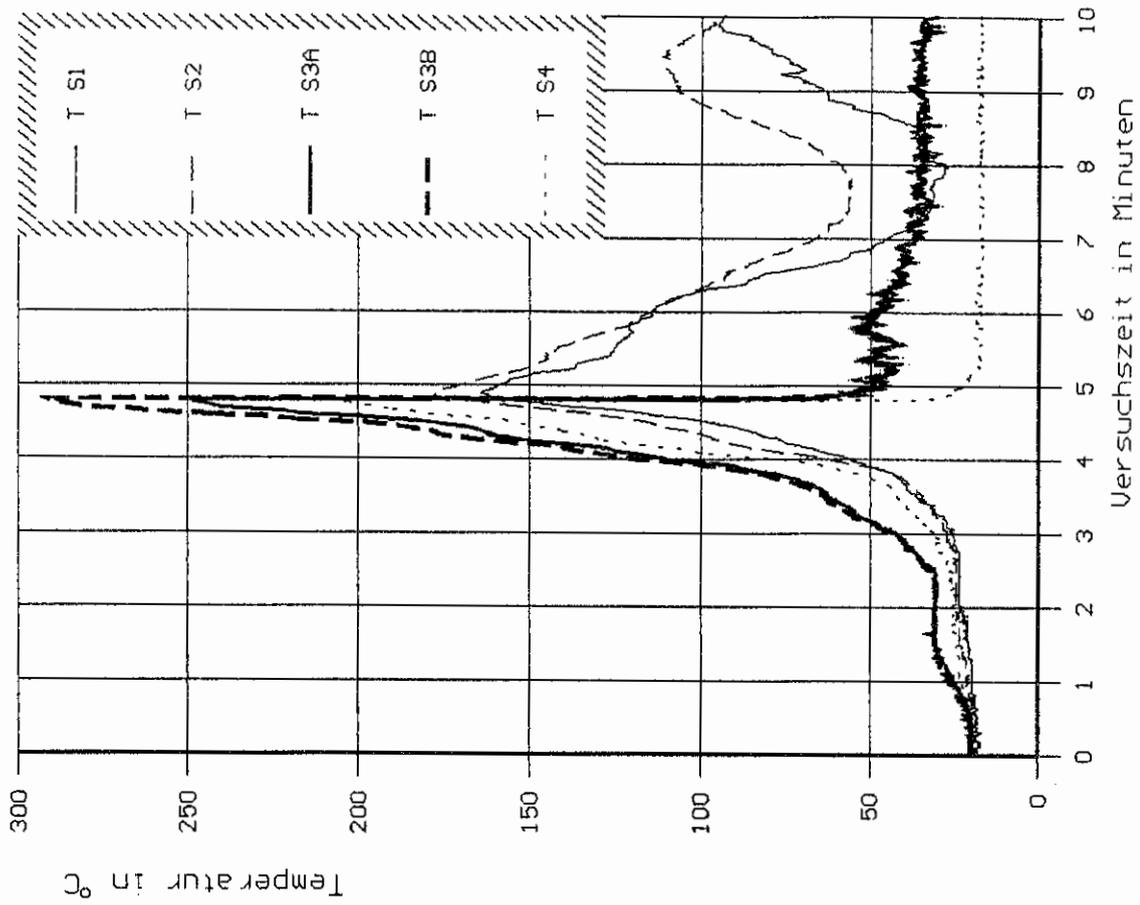


Bild 11. Versuch PAL10
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

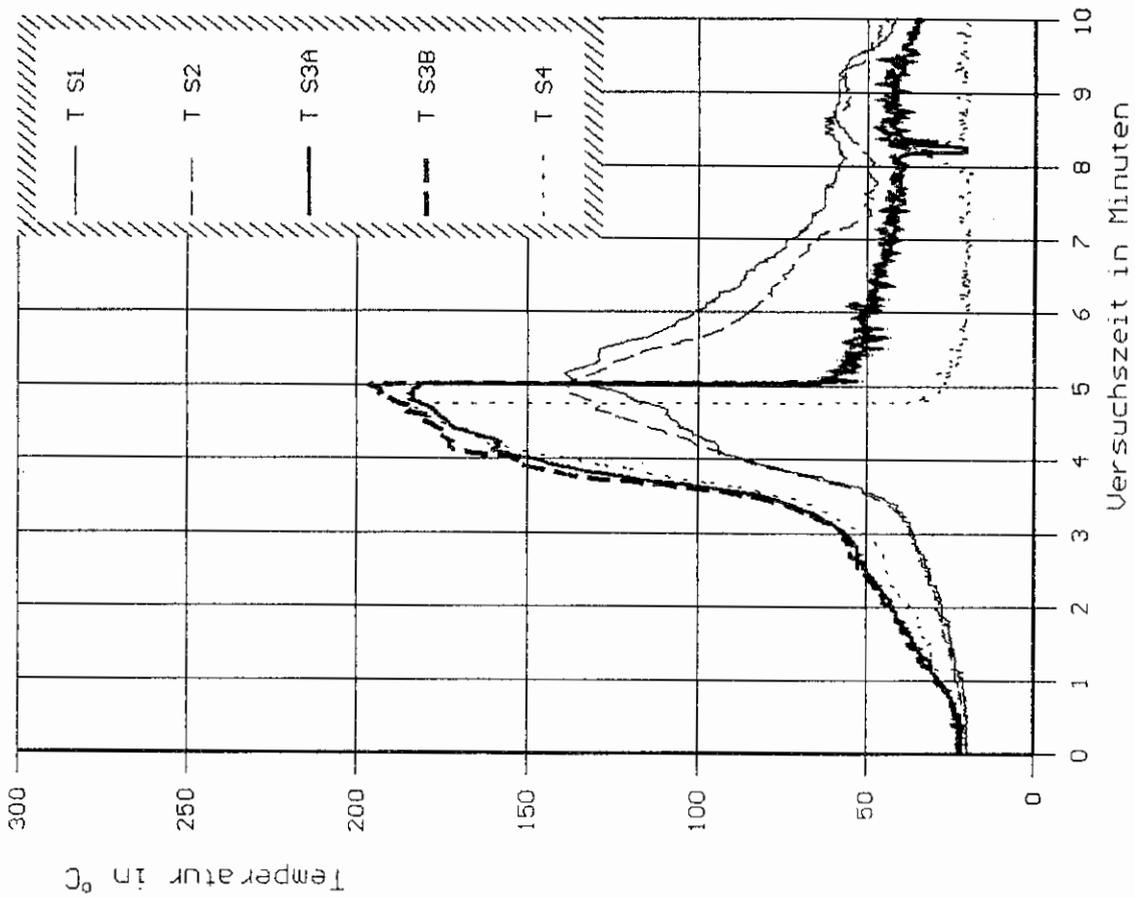


Bild 10. Versuch PAL9
Temperaturverlauf in Abhängigkeit von
der Versuchszeit an den Meßstellen
S1 bis S4.

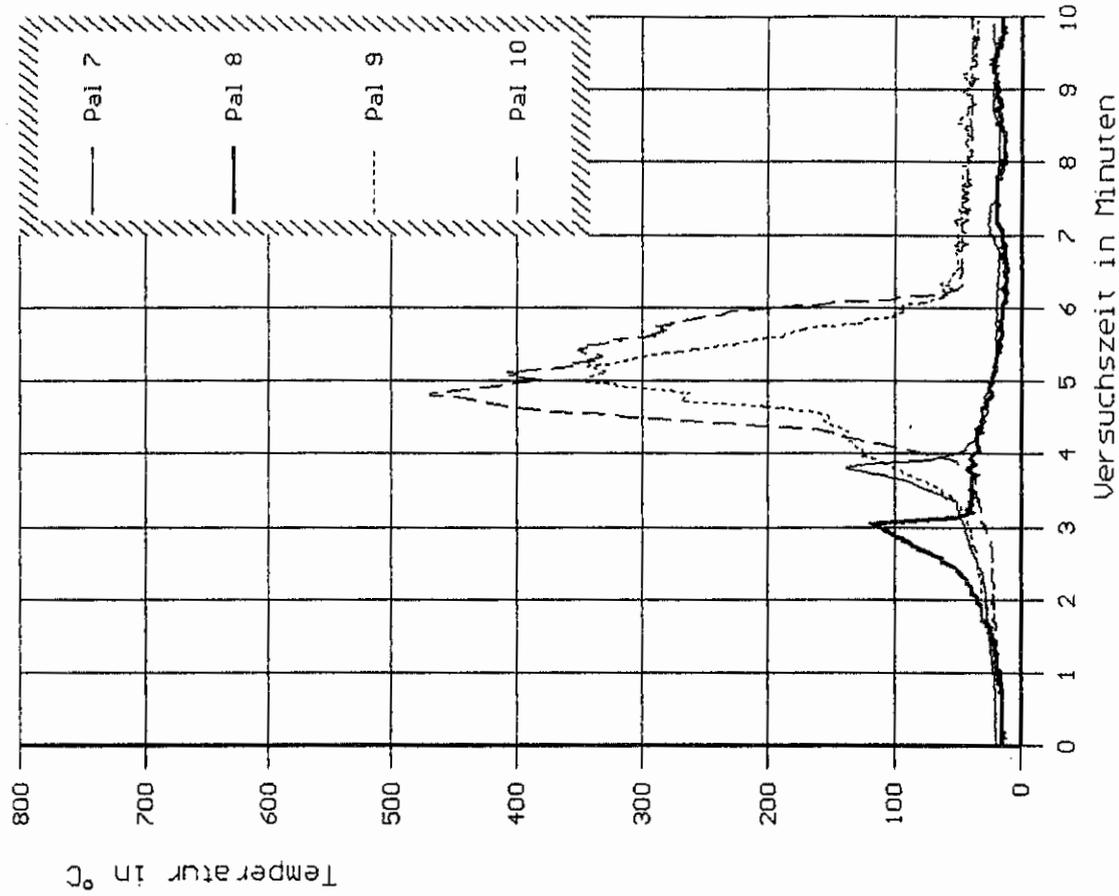


Bild 13. Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Versuchszeit an der Meßstelle S0 bei den Versuchen PAL7 bis PAL10.

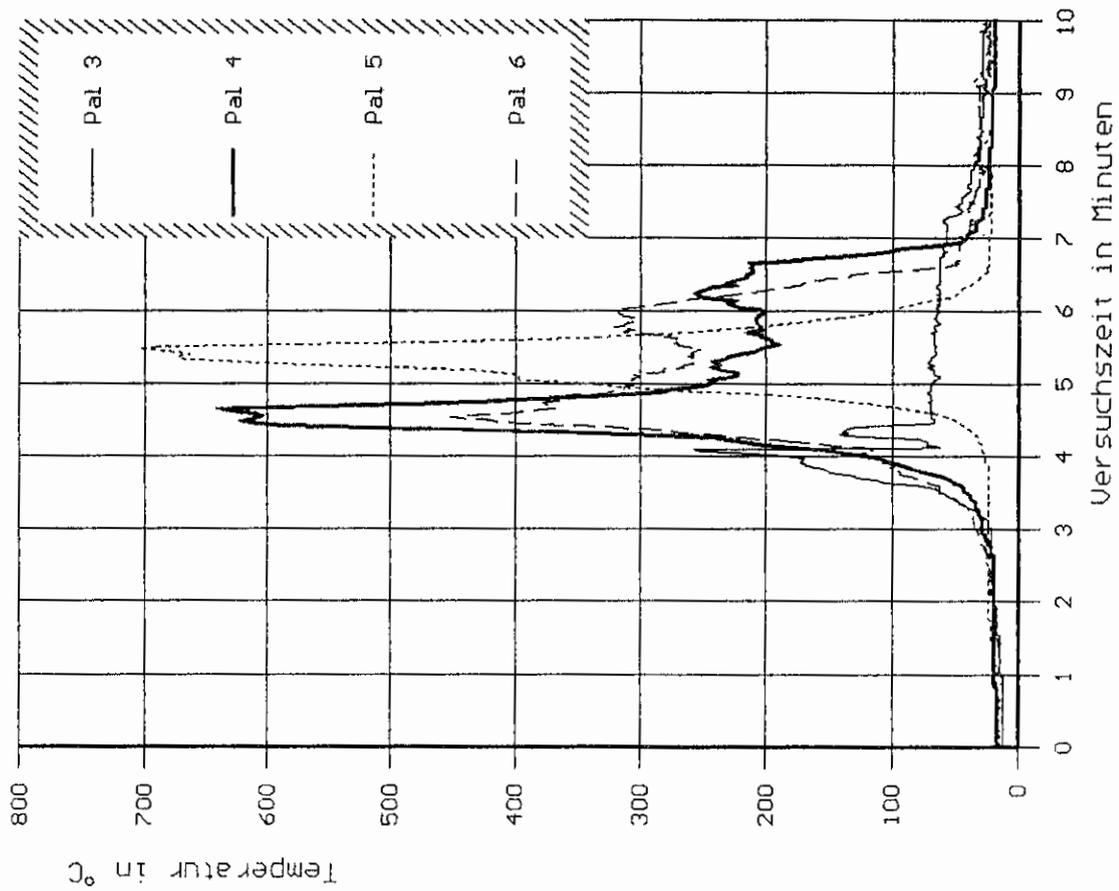


Bild 12. Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Versuchszeit an der Meßstelle S0 bei den Versuchen PAL3 bis PAL6.