



Taktische Brandbekämpfung

**Flashover &
Strahlrohrtechniken**

Paul Grimwood

aus dem Englischen von Adrian Ridder

Anmerkungen des Übersetzers:

Alle Anmerkungen im Text sind mit [eckigen Klammern] gekennzeichnet. An Stellen, an denen es keine genaue Entsprechung der englischen Begriffe im Deutschen gibt, wird zum besseren Verständnis der Originaltext in „Anführungszeichen“ angegeben.

Umrechnungen von angloamerikanischen in metrische Einheiten wurden im Ergebnis gerundet.

Einige Fachbegriffe wurden zum besseren Verständnis durch Anmerkungen näher erläutert.

Diese Übersetzung wurde nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt durchgeführt, jedoch übernimmt der Übersetzer für die Richtigkeit derselben und für eventuelle, versehentlich auftretende Fehler keine Verantwortung. Über eine Information bezüglich solcher Fehler (vorzugsweise mit Verbesserungsvorschlag) würde sich der Übersetzer freuen; bitte senden sie derartige Anmerkungen direkt an den Übersetzer (adrian.ridder@freenet.de).

Der Übersetzer möchte sich an dieser Stelle bei Florian Pernpeintner für die Co-Korrektur bedanken.

Titel der Originalausgabe: Flashover & Nozzle Techniques

Dieser Text ist ein echter Paul Grimwood-Text.

Andere verfügbare Dokumente (auf Niederländisch):

- 3D Fog Technieken (CEMAC TGG-001)
- Compressed Air Foam Systems (CAFS) en Klasse A schuim voor gebouwbrandbestrijding (CEMAC TGG-002)
- Algemene interventiestrategie (CEMAC TGG-003)

Herausgeber:

Crisis & Emergency Management Centre
Kerkstraat 13
B-9070 Destelbergen

Redaktion:

Paul GRIMWOOD
„Fire Tactics“

Koen DESMET
Crisis & Emergency Management Centre

Grafiken und Illustrationen:
CEMAC

D/2002/9233/004

SISO 614.8 UDC 614.8 NUGI 862,693 NBC 79.23

Schlüsselbegriffe: Brandbekämpfung, Brandbekämpfungstaktiken,
Flashover, Backdraft, 3D-Nebel, Strahlrohr, CEMAC

Crisis & Emergency Management Centre

www.crisis.be – www.cemac.org – info@cemac.org

© 2002, Paul GRIMWOOD & CEMAC (Crisis & Emergency Management Centre)

Alle Rechte vorbehalten, einschließlich des Rechts der Vervielfältigung jedes Teils dieses Textes in jeder Form.

Flashover & Nozzle Techniques – P. Grimwood, K. Desmet, CEMAC,
www.cemac.org

Weder der Autor noch der Herausgeber können für Schäden jedweder Art verantwortlich gemacht werden, die aus der Benutzung der in diesem Dokument beschriebenen Techniken oder aus versehentlich in diesem Dokument auftretenden Fehlern resultieren.

I. ORGANISATORISCHE INFORMATIONEN

Version	1.0
Datum der Erstveröffentlichung	30.11.2002
Sicherheitseinstufung	nicht klassifiziert
Auflagen für die Verteilung	keine
Herausgegeben von	CEMAC Autor: Paul GRIMWOOD
Genehmigt von	L. E. T. Rombout

CEMAC-Code

CEMAC-DC/TGG-004

Geplante Überarbeitung

keine Angaben

II. Liste der Veränderungen

--- Keine Eintragungen ---

III. INHALTSVERZEICHNIS

I. Organisatorische Informationen	3
II. Liste der Veränderungen	4
III. Inhaltsverzeichnis	4
IV. In diesem Text verwendete Abkürzungen	5
V. Flashover, Backdraft & Brandgasdurchzündungen	6
VI. Flashover	6
VII. Backdraft (Backdraught)	6
VIII. Brandgasdurchzündungen	7
IX. Schlagartige Zustandsänderungen	10
X. Gasphasenkühlung	12
XI. Kühlfähigkeit des Wasser	13
XII. Sprühstrahl	16
XIII. Was ist Gasphasenkühlung?	17
XIV. Einsatzbereiche von dreidimensionalem Wassernebel	21
XV. Pre-Flashover-Situation	22
XVI. Post-Flashover-Brand	22
XVII. Praktische Aspekte der Anwendung von 3D-Wassernebel	24
XVIII. Strategie & Taktiken für die Anwendung von 3D-Wassernebel	30
XIX. Türöffnungs- & Eindringverfahren	31
XX. Das Brandverhalten beobachten	34
XXI. Brandgasverbrennung & Explosionsunterdrückung	35
XXII. Brandgaskühlung & 3D-Wassernebel bei Hochhausbränden	36
XXIII. Wasser-Additive & Druckluftschäum (DLS/CAFS)	39
XXIV. Training in schwedischen "Feuertunnel" - Containersystemen	39
XXV. Schlussfolgerung	42
XXVI. Über den Autor	42
XXVII. Warnung	43
XXVIII. Literatur-/Quellenverzeichnis	44

IV. IN DIESEM TEXT VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

3D	dreidimensional
CAFS	Compressed Air Foam System [Druckluftschaum-Sys.]
CEMAC	Crisis & Emergency Management Centre
[DLS	Druckluftschaum]
FD	Fire Department
HRR	Heat Release Rate [Wärmefreisetzungsrate, d.h. die Geschwindigkeit, mit der Hitzeenergie durch Verbrennung erzeugt wird.]
LAFD	Los Angeles (County) Fire Department
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
PPV	Positive Pressure Ventilation [Überdruckbelüftung]
[PSA	Persönliche Schutzausrüstung]
USFA	United States Fire Administration
WMFSS	Water Mist Fire Suppression System [Wasserdampf-Brandbekämpfungssystem]

[Der Übersetzer übernimmt den Begriff „Overhead“ aus dem Englischen: Dieser Begriff bezeichnet die unter der Decke angesammelten, überhitzten oder brennenden Gasschichten.]

Eine komplette Liste von Abkürzungen kann (auf Nachfrage) in diesem Dokument gefunden werden: CEMAC-TFT-CH-0001.

V. FLASHOVER, BACKDRAFT & BRANDGASDURCHZÜNDUNGEN

1. Flashover und Backdraft sind zwei völlig unterschiedliche Ereignisse, die in verschiedenen Formen in Erscheinung treten. Während sich die Wissenschaft schon lange und ausführlich mit dem Ereignis „Flashover“ befasst, waren Forschungen, die sich mit dem Backdraft befassten, bis vor kurzem relativ selten. Und obwohl eine Vielzahl von Definitionen aus der wissenschaftlichen Analyse dieser Phänomene hervorgegangen ist, stimmen sie alle in ihrer Kernaussage überein.

VI. FLASHOVER

1. *„Ein Zimmerbrand kann sich bis zu einem Stadium entwickeln, in dem die gesamte Wärmestrahlung, die vom Brandrauch, von heißen Gasen und von Raumwänden ausgeht, die Entzündung aller brennbarer Oberflächen im gesamten Raum, die der Wärmestrahlung ausgesetzt sind, verursacht. Dieser plötzliche und anhaltende Übergang eines Entstehungsbrandes in einen Vollbrand ist Flashover.“*

(Fire Research Station - UK 1993)

„Der schnelle Übergang eines Feuers aus brennbarem Material in ein Stadium, in dem alle Oberflächen in einem Raum vom Brand betroffen sind [, ist ein Flashover].“

(International Standards Organisation – ISO 1990)

[Anmerkung: Dies ist nicht der offizielle deutsche ISO-Text.]

VII. BACKDRAFT (BACKDRAUGHT)

2. *„Durch unzureichende Luftzufuhr können bei einem Zimmerbrand Brandgase entstehen, die einen signifikanten Anteil an unvollständig verbrannten Bestandteilen des brennbaren Stoffes und an unverbrannten Pyrolyseprodukten haben. Wenn sich diese ansammeln kann die Zugabe von Luft, hervorgerufen durch das Schaffen einer Öffnung zu diesem Zimmer, zu einer plötzlichen Deflagration [sehr starken Verpuffung] führen. Diese Deflagration, die sich durch das Zimmer - und zu der geschaffenen Öffnung hinaus - bewegt, ist ein Backdraft.“*

(Fire Research Station – UK 1993).

„Das explosionsartige oder sehr schnelle Verbrennen von erhitzten Gasen, welches auftritt, wenn Sauerstoff in ein Gebäude gelangt, das während des Brandes nicht ausreichend belüftet wurde und in dem während des Brandes eine Unterversorgung an Sauerstoff herrschte [, ist ein Backdraft].“

(National Fire Protection Association – USA)

3. Fleischmann, Pagni und Williamson schlagen vor, dass in der NFPA-Definition der Begriff „erhitzte Gase“ durch *unverbrannte Pyrolyseprodukte* ersetzt werden sollte.

VIII. BRANDGASDURCHZÜNDUNGEN

5. Nachdem nun geklärt ist, dass Flashover und Backdraft zwei verschiedene Phänomene sind, ist es nun an der Zeit, weitere Situationen zu betrachten, in denen die Entzündung von Brandgasen in einem Raum auftreten kann. Diese anderen „Ereignisse“ fallen vielleicht nicht unbedingt unter die oben genannten Definitionen, haben jedoch hinsichtlich der schnellen Brandausbreitung ähnliche Auswirkungen. Es ist für jeden Feuerwehrmann wichtig, grundlegende Kenntnisse über alle Ereignisse zu haben, die unter variierenden Bedingungen zu solchen Durchzündungen in einem brennenden Gebäude führen können.
6. **A.** In einem brennenden Gebäude kann es zur Bildung von unterschiedlich großen, entzündlichen "**Brandgasballons**" kommen. Diese können im brennenden Raum selbst oder in angrenzenden Zimmern, Fluren und Korridoren vorkommen. Sie können sich auch vom Brandherd wegbewegen und in baulich bedingte Lücken oder Dachstühle wandern; dabei können sie beträchtliche Entfernungen zurücklegen. Für die Entzündung dieser Gasballons ist keine Zugabe von Luft erforderlich, da sie sich schon in einem idealen Mischungsverhältnis befinden und daher nur noch eine Zündquelle benötigen. Die resultierende Deflagration wird der eines Backdrafts ähnlich sein; tatsächlich wäre jedoch wohl Rauchdurchzündung oder Brandgasdurchzündung eine bessere Beschreibung.
7. Bei einem Brand in einem Stockholmer Kaufhaus hatte sich in einem Raum unter einer hohen Decke eine Schicht aus Brandgasen angesammelt. Einige Zeit nachdem das eigentliche Feuer gelöscht

worden war und die Aufräumarbeiten schon liefen, zündete diese Schicht mit explosionsähnlicher Kraft durch.

Dies geschah, weil ein brennendes Stück Holz in die Gasschichten der Konvektionsströmung ragte.

Ein anderer Zwischenfall ereignete sich in einem Wandschrank unter einer Treppe. Er endete damit, dass ein Feuerwehrmann in den Hausflur geschleudert wurde, weil er ein Trümmerstück anhob und so einen Schwelbrand in einem Haufen aus Lumpen und Plastik aufdeckte.

Die im Schrank angesammelten Brandgase wurden so der Zündquelle zugeführt, die bis dahin bedeckt geblieben war!

Keines dieser Ereignisse benötigte für die Zündung der Deflagration eine Zugabe von Luft. Dies zeigt deutlich, dass die Freilegung einer bisher unentdeckten Zündquelle zur Entzündung von Brandgasen ausreicht.

8. **B.** Eine weitere **Durchzündung überhitzter Brandgase** kann dort auftreten, wo diese Gase aus **dem betroffenen Zimmer strömen** und sich mit Luft vermischen, was zum Beispiel an einem Fenster oder einer Tür geschehen kann. Das daraufhin entstehende Feuer kann durch die Gasschichten in das betroffene Zimmer zurückschlagen, ähnlich einem Flammenrückschlag in einem Bunsen-Brenner.

9. Der Autor erlebte eine derartige Situation als er im Begriff war, ein Kellerappartement zu betreten, in dem es brannte. Die Gase zündeten außerhalb des Gebäudes, gerade als er das Appartement betrat. Dieses Ereignis hielt die Feuerwehrmänner für einige Sekunden am unteren Ende der Treppe, die in das Appartement führte, gefangen, weil die Flammen über ihre Köpfe hinwegrollten und dabei den einzigen Fluchtweg - die Treppe hinauf in Richtung Straßenniveau - abschnitten.

10. **C.** Ein Ereignis, das eine schnelle Brandausbreitung verursacht und von Feuerwehrmännern vor Ort oft als „Flashover“ bezeichnet wird, kann dann auftreten, wenn ein Feuer plötzlich von **einer starken Luftbewegung** in Richtung des löschenden Trupps bewegt wird.
Das kann dann geschehen, wenn ein Trupp vorgeht und gleichzeitig ihm entgegengesetzt ein Rohr vorgenommen wird oder wenn Überdruckbelüftung unsachgemäß angewendet wird. Auch wenn ein Fenster auf der anderen Seite des Feuers zerspringt und Windböen das Feuer in Richtung des Trupps drücken, kommt es zu einer derartigen Situation.
Die Flammen scheinen sich auszubreiten und brennende Hitze schlägt den vorgehenden Feuerwehrmännern entgegen. Dieser Effekt ist auch von hohen Gebäuden bekannt, in denen auf Grund des Kamineffekts hinter dem vorgehenden Trupp, d.h. im

Treppenhaus, ein Unterdruck herrschen kann. Diese natürliche Gegebenheit führt manchmal dazu, dass Fenster zerspringen, da im Treppenhaus eine Sogwirkung entsteht.

11. Feuerwehrmänner in London erlebten ein solches Ereignis bei einem Hochhausbrand während sie im Begriff waren, den brennenden Raum zu betreten. Als die Wohnungstür im 12. OG geöffnet wurde, schoss das Feuer hinaus in den Eingangsbereich, weil die Fenster in der Wohnung nach innen geborsten waren. Die Hitze zwang die Feuerwehrmänner dazu, sich zwei Stockwerke tiefer zurückzuziehen, bevor sie das Feuer erneut angreifen konnten, diesmal jedoch unter ungleich schwierigeren Bedingungen. Der Kamineffekt hatte Flashover-ähnliche Bedingungen hervorgerufen, obwohl dieses Ereignis weder ein Flashover noch ein Backdraft war. Ähnliche Ereignisse sind bei mehreren Hochhausbränden aufgetreten; besonders zu erwähnen sind hier der Westvaco Brand (New York City, 1980), der Empire State Building Brand (NYC, 1990) und der Brand des Hotels Winecoff (Atlanta, 1946).

12. **D.** Um die Angelegenheit noch weiter zu verkomplizieren, gibt es auch eine Situation, in der ein Flashover durch verstärkte Belüftung hervorgerufen werden kann. Chitty demonstriert dieses Ereignis, bei dem anfänglich, während der Entstehung des Flashovers, kleine Öffnungen im Zimmer es dem Feuer erlauben, einen Punkt zu erreichen, an dem eine Zuluftgesteuerte Stabilität herrscht. Falls weitere Belüftung durchgeführt wird (d.h. eine Tür oder ein Fenster geöffnet wird), werden die Hitzeverluste aus dem Zimmer zunehmen, da durch Konvektion¹ mehr Hitze aus dieser neu geschaffenen Öffnung verloren geht. Vor der Veränderung der Belüftung hat das Feuer mehr Material pyrolysiert², als verbrannt werden konnte. In diesem Stadium ist nun das Ausmaß der Belüftung Ausschlag gebend – tatsächlich werden die Temperaturverluste nur dann hoch genug sein um einen Flashover zu verhindern, wenn die Belüftung ausreichend ist. Wenn die Belüftung jedoch unzureichend ist und die Temperatur unverändert bleibt, wird die bei der Verbrennung der überschüssigen Pyrolyseprodukte freigesetzte Energie Flashover-ähnliche Bedingungen schaffen – **einen belüftungsbedingten Flashover!** In einigen Fällen kann dies wie ein Backdraft aussehen.

¹ d.h. durch Wärmeübergang in der Luft durch Zirkulation; = Wärmeströmung

² d.h. das Material wurde in einen oder mehrere Stoffe durch die alleinige Einwirkung von Hitze umgewandelt

IX. SCHLAGARTIGE ZUSTANDSÄNDERUNGEN

13. Bei einem Feuer gibt es mehrere grundlegende Mechanismen, zu denen u.U. auch plötzliche Änderungen in seiner Entwicklung gehören. Diese Änderungen können in Stufenereignisse (in denen die Intensität der Verbrennung dauerhaft ist) und kurzlebige Ereignisse (kurze, möglicherweise heftige, nicht anhaltende Freisetzung von Energie seitens des Feuers) unterteilt werden. Chitty erkannte sieben verschiedene Arten der schlagartigen Zustandsänderung. Ein **Flashover** ist als **Stufenereignis**, ein **Backdraft** als **kurzlebiges Ereignis** definiert. Es ist möglich, dass kurzlebige Ereignisse und Stufenereignisse nacheinander oder gleichzeitig auftreten. So kann beispielsweise das Öffnen einer Tür zu einem Raum, in dem ein Zuluft-gesteuertes Feuer schon seit einiger Zeit flüchtige Gase produziert hat, einen Backdraft verursachen, bei dem die überschüssigen Pyrolyseprodukte verbrannt werden. Daraufhin kann dann das möglicherweise ziemlich schnelle Übergreifen des ursprünglichen Feuers auf alle brennbaren Oberflächen folgen (= Flashover), bis es von der neuen Belüftungsöffnung an seiner weiteren Ausbreitung gehindert wird.
14. In der Realität kann es schwierig sein, herauszufinden, welches spezifische Ereignis eine schlagartige Erhöhung der Verbrennungsgeschwindigkeit verursacht hat. Für Feuerwehrmänner ist es jedoch ohnehin viel wichtiger zu verstehen, mit welcher einer großen Bandbreite an Handlungen sie solche Brandgasdurchzündungen verursachen können.
15. Für einen Feuerwehrmann ist es von größter Bedeutung Warnsignale wahrzunehmen und sich über die Auswirkungen seiner Tätigkeiten im Klaren zu sein. Die Beziehung zwischen den Handlungen des Feuerwehrmanns und den Warnsignalen wird in den folgenden Punkten dargestellt:
- a) Das plötzliche Öffnen einer Zimmertür kann einen Flashover, einen Backdraft oder einen Unterdruck im Treppenhaus verursachen, welcher wiederum die Fenster im betroffenen Raum nach innen zerplatzen lässt und so zu einer schnellen Ausbreitung des Feuers führt. Wenden Sie entsprechende Türöffnungstechniken und 3D-Wassernebel an, um diese Risiken zu minimieren. Falls möglich, schließen Sie alle Treppenhauszugänge auf dem betreffenden Stockwerk, bevor die Tür zum brennenden Zimmer geöffnet wird.

- b) Brände in schwer zugänglichen Bereichen, in Dachstühlen oder in gut isolierten Räumen mit geringer Belüftung bergen ein besonderes Backdrafrisiko, wenn sich dort über längere Zeit hinweg Brandgase angesammelt haben. Außerdem ist Brandrauch, der an der Traufe oder unter der Dachrinne austritt, ein Warnsignal dafür, dass im Inneren ein Überdruck herrscht. Taktische Belüftung und die Anwendung von 3D-Wassernebel sind die effektivsten Maßnahmen, um mit solchen Situationen umzugehen.
- c) Ölige Rückstände auf Fensterscheiben, heiße Türen, heiße Türklinken und pulsierender Rauch in der Umgebung dieser Bereiche sind sichere Anzeichen dafür, dass beim Öffnen dieser Türen bzw. Fenster Potential für einen Backdraft vorhanden ist. Auch hier ist wieder eine taktische Belüftung in Verbindung mit 3D-Wassernebel erforderlich.
- d) Beobachten Sie beim Betreten des Raumes und beim Vorgehen im dichten Rauch den Rauch am Türrahmen. Ziehen Sie sich sofort zurück, falls im Rauch ein pulsierender Kreislauf erkennbar ist, d.h. wenn der Rauch vor und zurück pulst, oder wenn der Rauch schwarz ist und immer wieder in sich selbst zurückrollt. Geben Sie dabei kurze Sprühstrahlimpulse mit 3D-Wassernebel in den Overhead ab. Solche Vorzeichen sind sehr deutliche Hinweise auf ein vorhandenes Backdraft-Potential.
- e) Pfeifende oder „rauschende“ Geräusche sind klassische Anzeichen für einen Backdraft – Zeit zu verschwinden ... und zwar schnell!!! Nutzen Sie auch hier kurze Sprühstrahlimpulse in den Overhead, um die Brandgase zu inertisieren³ oder zu löschen.
- f) Ein weiteres Anzeichen für einen Backdraft kann das Vorhandensein von blau gefärbten Flammen im betroffenen Raum sein. Diese können als Warnsignal für eine „vorgemischte“ Verbrennung dienen, bei der Luft mit großer Geschwindigkeit an den Brandherd gelangt - „Impuls“ und Rückzug!
- g) Jeder plötzliche Hitzeanstieg in einem brennenden Zimmer, besonders dann, wenn er die Feuerwehrmänner dazu zwingt, sehr flach am Boden zu kriechen, ist ein Warnsignal für einen bevorstehenden Flashover. Geben Sie kurze Wasser-Impulse in den Overhead ab und verwenden Sie dabei 3D-Wassernebel, um eine Kühlung der Gasphase zu erreichen.

³ d.h. die Sauerstoffkonzentration zu verringern, um die Verbrennung zu unterbinden

- h) Flammeneerscheinungen in den Gasschichten über Ihrem Kopf sind Vorzeichen für einen Flashover – „Impuls“, „Impuls“, „Impuls“!!!
- i) Falls sich die Rauchsicht sehr schnell auf den Boden absenkt und es so scheint, als ob das Feuer die Decke „entlangrennt“, ziehen Sie sich aus dem Raum zurück und geben Sie dabei kurze Sprühstrahlimpulse in den Overhead ab, bevor ein Flashover auftritt.
- j) Beim Schaffen von Öffnungen an Wänden, Hohlräumen oder ähnlichem muss mit großer Vorsicht vorgegangen werden. Halten Sie eine Leitung mit Wasser am Rohr bereit, um alle Gase, die sich eventuell nach außen ausbreiten oder nach innen zurückbewegen könnten, mit Impulsen angreifen und kühlen zu können.
- k) Denken Sie niemals die Gefahr sei vorüber, sobald das Feuer unter Kontrolle ist und die Nachlösch- oder Aufräumarbeiten laufen. Achten Sie auf Gase, die sich unter der Decke, in Schränken, Dachstühlen, Hohlräumen und in angrenzenden Räumen angesammelt haben könnten. Stellen Sie sicher, dass alle Bereiche unter dem Schutz von Sprühstrahlimpulsen ausreichend belüftet werden. Unter solchen Umständen ist Vorsicht vor der Verwendung von Überdruckbelüftung geboten, da noch brennende oder glimmende Holzstückchen in den Overhead befördert werden könnten!

X. GASPHASENKÜHLUNG

16. Dem Menschen ist Wasser als Löschmittel schon bekannt, seit er das Feuer entdeckt hat. Mit Ausnahme von Helium und Wasserstoff besitzt Wasser die größte spezifische Wärmekapazität aller natürlich vorkommenden Substanzen und hat von allen Flüssigkeiten die höchste Verdampfungswärme. Theoretisch kann ein einziges Gramm flüssiges Wasser eine Flamme von 50 Litern Rauminhalt löschen, indem es deren Temperatur unter einen kritischen Wert senkt – das entspricht einer Applikationsrate („Dosis“) von $0,02 \text{ l/m}^3$. Ferner nimmt man an, dass eine Wassermenge in der Größenordnung von 38-68 Litern pro 28 m^3 brennenden Raumes benötigt wird, um einen Brand in einem Gebäude unter Kontrolle zu bringen.

17. Darüber hinaus wird geschätzt, dass im Vereinigten Königreich die Mehrzahl von **„typischen“ Zimmerbränden** mit einer Löschwassermenge von **60 – 361 l** gelöscht wird - das ist weniger, als ein Fahrzeug mit sich führt!
Es wurden bereits mehrere Formeln für Feuerwehrleute veröffentlicht, die zur Abschätzung der benötigten Löschwassermenge für einen Brand in einem Gebäude dienen. Die Ergebnisse dieser Formeln variieren von 38 l/min pro 28 m³ ⁴ (nach Royer/Nelson), bis hin zu 114 l/min ⁵ für dasselbe Volumen, wobei letzteres der im Allgemeinen wohl wahrscheinlicheren Schätzung der National Fire Academy (USA) für einen Brand derselben Größe entspricht.

XI. KÜHLFÄHIGKEIT DES WASSERS

18. Wasser hat als Löschmittel eine theoretische Kühlfähigkeit von 2,6 Megawatt pro Liter pro Sekunde, wobei in der Praxis diese Kühlfähigkeit bei einem richtigen „direkten“ Angriff sehr wahrscheinlich bei ca. 0,84 MW/Liter/Sekunde liegen dürfte. Indem der Feuerwehrmann diese Zahlen ins Verhältnis setzt, ist es ihm möglich, das tatsächliche Löschvermögen von Schlauchleitungen in jeder einzelnen Situation abzuschätzen. So bewegt sich beispielsweise die geschätzte Wärmefreisetzungsrates⁶ eines ausgeschäumten Stuhls im Bereich von 4-500 kW, wohingegen eine kleine Anrichte etwa 1.8 MW an Wärme produziert.
Größere Brände, wie z. B. solche, bei denen moderne hölzerne Büro-Schreibtische, inklusive Büroartikel und einem PC, betroffen sind, können eine größere Herausforderung darstellen. HRR's von 1,7 MW in fünf Minuten (für einen zweiteiligen Schreibtisch) und 6,7 MW in neun Minuten (bei einem dreiteiligen) wurden für diese Gegenstände alleine (!) gemessen; 3-sitzige Sofas setzen ca. 3,5 MW frei; ein Stockbett aus Kiefernholz erreicht eine HRR von 4,5 MW.
Flashoversimulatoren nach schwedischer Bauart erreichen normalerweise das 3 MW-Level. Zum Vergleich: man schätzt, dass beim Interstate Bank-Hochhausfeuer in Los Angeles im Jahre 1988 innerhalb von zwei bis drei Minuten nach Ausbruch des Brandes ein 10 MW-Feuer entstand! Große Mengen an Löschwasser wären nötig, um mit solchen Hitzefreisetzungsfertig zu werden.

⁴ 10 gallons per minute per 1000 cubic feet

⁵ 30 gpm

⁶ „Heat Release Rate (HRR)“

Für die Feuerwehrleute bedeutet dies, dass ein Strahlrohr eine „maximale praktische“ Kühlfähigkeit besitzt und dass verlässliche Schätzwerte festgestellt werden können (Tabelle 1).

19. Man kann erkennen, dass mit 0,84 MW pro Liter pro Sekunde die tatsächliche Kühlfähigkeit des Wassers nur etwa ein Drittel seiner theoretischen Kühlfähigkeit beträgt! Das bedeutet, dass ca. 2/3 der auf das Feuer abgegebenen Wassermenge normalerweise wenig oder gar keinen Effekt haben – viel Wasser fließt ungenutzt ab!

50 l/min	-	0,69 MW
100 l/min	-	1,39 MW
150 l/min	-	2,10 MW
200 l/min	-	2,79 MW
300 l/min	-	4,20 MW
550 l/min	-	7,69 MW
800 l/min	-	11,19 MW
1000 l/min	-	13,99 MW

Tabelle 1: Tatsächliche Kühlfähigkeit des Wassers bei „direkter“ Anwendung

20. Wasser ist ein potentiell sehr schlagkräftiges Löschmittel, obwohl die Wärme erst vom Feuer und seiner Umgebung effizient an das aufgebrachte Wasser übertragen werden muss, um dieses Potential vollständig auszuschöpfen. Viele Wissenschaftler haben die Dynamik der Brandunterdrückung und die Brandbekämpfung im Allgemeinen genauestens erforscht; dabei wurde festgestellt, dass die am weitesten verbreitete Methode der Brandbekämpfung in Gebäuden im Allgemeinen die Kühlung des Brennstoffes ist. Darüber hinaus wurde beobachtet, dass auch die indirekte Kühlung und die Inertisierung der Brandraumatmosfera eine Rolle spielen. Davon abgesehen haben nur Wenige den Nutzen und das Potential der Gasphasenkühlung im Hinblick auf das Überleben und die Sicherheit der Feuerwehrmänner erkannt. Es ist die Absicht dieses Dokuments, die Techniken zur Anwendung von dreidimensionalem Wassernebel, so wie sie bei den Feuerwehren in den Innenstädten der Hauptstädte Europas in den letzten 20 Jahren zunehmend populär wurden, vorzustellen.

21. An dieser Stelle muss klargestellt werden, dass die in diesem Buch behandelte Anwendung von Wasserdampf in **keinster Weise** mit dem „**indirekten**“ **Löschangriff** vergleichbar ist, der während den 1950er und 60er Jahren populär wurde. Diese Art der Brandbekämpfung, die auch heute noch ihre Anhänger hat, ist insofern unbrauchbar, da sie zusätzliche Gefahren hervorruft; so basierte diese Technik beispielsweise darauf, unverhältnismäßig große Mengen an überhitztem Wasserdampf in einem mehr oder weniger unbelüfteten Raum zu erzeugen. Das wurde dadurch erreicht, indem man per Sprühstrahl Wasser auf die heißen Oberflächen, Wände und Decken in einem brennenden Zimmer gab. Das wiederum zwang die Feuerwehrmänner oft dazu, unter extremen Bedingungen zu arbeiten, und viele erlitten dabei Verbrühungen und hatten unter Hitzeerschöpfung zu leiden. Auch die „Kolbenwirkung“ [„ ‘piston’ effect“] des sich ausbreitenden Wasserdampfes, der Rauch, Hitze und manchmal auch Feuer in bisher relativ unbetroffene Teile des Gebäudes „drückte“ - weswegen manchmal Personen aus Fenstern höherer Stockwerke sprangen - verursachte Probleme. Bei der Anwendung dieser Technik wurden Feuerwehrleute oft durch ihre eigenen Aktionen eingeschlossen, da die Wärmebilanz im betroffenen Raum zu einem „Briefumschlag-Effekt“ [„ ‘envelope’ effect“] neigte, d.h. die indirekte Anwendung von Wasser drückte Feuer und Hitze an die gegenüberliegende Wand, anschließend weiter die Wand hinauf, die Decke entlang zurück und dann wieder hinunter in die Umgebung der vorgehenden Feuerwehrmänner.
22. Im Gegensatz dazu besteht der Hauptzweck des dreidimensionalen Wasserdampfes nicht darin, die Art der Brandbekämpfung zu bestimmen, sondern eher darin, den taktischen Ansatz zu vervollständigen, **eine angenehme und sichere Umgebung zu schaffen, in der die Feuerwehrmänner während der gesamten Brandbekämpfung und während Rettungseinsätzen effektiv arbeiten können.** Idealerweise zielt diese Anwendung von Wasserdampf darauf ab, die Entzündung von Brandgasen zu verhindern; falls dies jedoch nicht möglich ist, ist es Ziel dieser Technik, Flashover und Backdrafts zu löschen und die Gefahren, die damit verbunden sind, zu entschärfen und unter Kontrolle zu halten. Diese Techniken sind jedoch präzise und beruhen in großem Maße auf geeigneter Ausrüstung, effektiven Vorgehensweisen und regelmäßigem, richtigem Training.

XII. SPRÜHSTRAHL

23. Wann wird ein Vollstrahl zum Sprühstrahl? Und wann wird ein Sprühstrahl zum Nebel? Das sind berechnete Fragen und in der Literatur wurde schon des Öfteren versucht, darauf eine Antwort zu geben.

Diese Antworten sind für die Hersteller von Wassernebel-Brandbekämpfungs-Systemen ⁷ (WMFSS) von besonderer Bedeutung, da diese sich mit der Herstellung solcher ortsfester Löscheinrichtungen als Ersatz für ortsfeste Löschanlagen auf Halon-Basis beschäftigen. Herterich erkannte die Notwendigkeit einer einheitlichen Terminologie für die Diskussion über die verschiedenen Arten von Sprühstrahl, die von der Feuerwehr zur Brandbekämpfung genutzt werden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die charakteristische Tröpfchengröße gelegt.

24. Grant & Drysdale erarbeiteten eine „Skala von Tröpfchendurchmessern“, um zu zeigen, wie stark die Tröpfchengröße variieren kann.

Tröpfchen mit einem Durchmesser zwischen 100 – 1000 Mikrometern (0,1 mm – 1,0 mm) - was der Tröpfchengröße von leichtem Regen oder Nieselregen entspricht - waren für die Brandbekämpfung von größtem Interesse.

Die Unterscheidung zwischen „Sprühstrahl“ und „Nebel“ bleibt dessen ungeachtet weiterhin ziemlich willkürlich. So hat beispielsweise die US National Fire Protection Association (NFPA) als praktische Definition eines Wassernebels folgendes vorgeschlagen: Ein „Wassernebel“ ist ein Sprühstrahl, in dem 99 % des Wasservolumens in Tröpfchen mit einem Durchmesser von weniger als 1000 Mikrometern (1,0 mm) enthalten sind. Zum Vergleich: bei einer konventionellen Sprinkleranlage können 99% des Wassers in Tröpfchen der Größenordnung von 5000 Mikrometern (5,0 mm) enthalten sein.

25. Diese NFPA-Definition von „Nebel“ wird von einigen als zu „ungenau“ in Bezug auf WMFSS angesehen. Deshalb wurde eine alternative Definition formuliert, die vorschlägt, dass ein „Nebel“ aus Tröpfchen mit Durchmessern kleiner gleich 500 Mikrometern (0,5 mm) bestehen sollte. Dabei ist erwähnenswert, dass einerseits die meisten WMFSS Tröpfchen in der Größenordnung von 50-200 Mikrometern produzieren und dass es andererseits allgemein anerkannt ist, dass Tröpfchengrößen kleiner 20 Mikrometern notwendig sind, um einem Sprühstrahl echte „gasähnliche“ Eigenschaften zu verleihen.

⁷ Water Mist Fire Suppression Systems

XIII. WAS IST GASPHASENKÜHLUNG?

26. 1990 schloss die Fire Experimental Unit im Vereinigten Königreich ihre Forschungen ab, die sich mit der Verwendung von Sprühstrahl bei Zimmerbränden befasst hatten. Es wurde eindeutig festgestellt, dass Feuerwehrmänner beim Bekämpfen eines Post-Flashover-Brandes einer natürlichen 3 Phasen-Vorgehensweise folgten:

Phase Eins: Vor Betreten des Raumes Kühlen mittels Sprühstrahl, wobei eine schnelle Absenkung der Lufttemperatur stattfindet (800 °C – 400 °C).

Phase Zwei: Nach der 60 Sekunden dauernden Phase Eins gehen die Feuerwehrmänner in den Raum vor, um einen direkten Angriff auf das Feuer zu starten (400 °C - 190 °C).

Phase Drei: Endgültiges Ablöschen vereinzelter heißer Stellen (190 °C und darunter).

27. Es ist weithin anerkannt, dass Sprühstöße in den Overhead bei einem Zimmerbrand im Allgemeinen eine sicherere und angenehmere Umgebung schaffen, in der die Feuerwehrmänner dann vorgehen können. Ein solches Vorgehen könnte unter Phase Eins als Gasphasenkühlung eingeordnet werden. Falls der Strahlrohrführer jedoch nicht in der dreidimensionalen Anwendung eines Sprühstrahls geschult ist, kann Wasser auf heiße Oberflächen im Raum treffen, was zu einer plötzlichen Umwandlung des Wassers in überhitzten Wasserdampf führt. Dies ist zu vermeiden, da es der alten „indirekten“ Vorgehensweise mit all ihren Gefahren sehr nahe kommt. Grundlegende Kenntnisse darin, wie 3D-Wasserdampf tatsächlich wirkt, sind ebenso elementar wie die Durchführung der Gasphasenkühlung mit großer Kontrolle und Präzision.
28. Es hat schon viele Untersuchungen über die Auswirkungen der „Gasphasenkühlung“ gegeben; der größere Anteil daran beschäftigte sich allerdings mit WMFSS oder Sprinkleranlagen - auf die Auswirkungen der Gasphasenkühlung bei der Brandbekämpfung wurde weniger Wert gelegt. Dessen ungeachtet ist ein beträchtlicher Anteil dieser Arbeit, bei der Computermodelle und Labortests verwendet wurden, von direkter Bedeutung für 3D-Anwendungen, insbesondere, was die ideale Tröpfchengröße angeht. Die ideale Tröpfchengröße ergibt sich aus der Wechselwirkung zwischen den Wassertröpfchen, den

Rauchwolken, den Flugbahnen der Tröpfchen und der Flug- bzw. Verweildauer der Tröpfchen im Overhead.

Des Weiteren wurde während des Versprühens des Wassers auch eine „Luftmitführung“ beobachtet, die eine intensivere Verbrennung des Brennstoffes während dem Anfangsstadium der Anwendung unterstützte. Hinsichtlich der Brandbekämpfung mit Sprühstrahl wurde beobachtet, dass eine ununterbrochene Löschwasserabgabe in einen brennenden Raum dessen Temperatur, insbesondere am Zugangspunkt zu diesem Raum, für einen Zeitraum von 2-5 s um ungefähr 14 % erhöht, bevor die Brandgaskühlung stattfindet.

Diese Beobachtung wurde bei der Verwendung eines konstanten (nicht pulsierenden) Wasserdurchflusses von 2 Litern pro Sekunde unter Verwendung eines auf 26° eingestellten Sprühstrahls gemacht. Dieser Effekt kann für die Feuerwehrmänner am Strahlrohr extrem irritierend sein! Bei der Verwendung der richtigen Impuls-Technik wird die Luftmitführung jedoch vernachlässigbar klein und der sofortige Kühleffekt offensichtlich sein.

29. Moderne Strahlrohre erzeugen den Sprühstrahl durch eine Feinstzerteilung des Wassers per Druck, dessen Ergebnis mehrfach-zerstreuter Sprühstrahl genannt wird – das bedeutet, er besteht aus einer großen Bandbreite von Tröpfchengrößen, die ein Spektrum von grob bis sehr fein abdecken.
- Es gibt mehrere Methoden zur Messung der Tröpfchengröße in einem Sprühstrahl, wobei sich die Ergebnisse aber widersprechen können, da sie sehr von der verwendeten Methode abhängig sind. Man vermutet, dass es eine Tröpfchengröße gibt, die für die Brandbekämpfung optimal geeignet ist; diese wurde allerdings noch nie erreicht, da zu viele Variablen dabei berücksichtigt werden müssen. In der Theorie ist es ziemlich einfach, die optimale Größe herauszufinden; in der Realität jedoch hat ein Sprühstrahl bei der Brandbekämpfung mit vielen Störfaktoren zu kämpfen, wenn er in eine Wolke aus überhitzten Brandgasen abgegeben wird.
- Je kleiner ein Tröpfchen ist, desto besser ist seine Kühlfähigkeit. Falls die Tröpfchen jedoch zu klein sind, ist es wahrscheinlich, dass der Kontakt mit den Flammen die Tröpfchen davon abhält, an den Brandherd zu gelangen, da sie schon vorher verdunsten. Dieser Verlust von Wasser an die Umgebung ist nur dann von besonderem Interesse, wenn das endgültige Ablöschen des Brandherdes mittels Sprühstrahl das Ziel ist.

Bezüglich der Gasphasenkühlung ist dieser Effekt nicht übermäßig wichtig und die Größe der Tröpfchen im Sprühstrahl kann daher reduziert werden.

Das ideale Strahlrohr liefert einen Sprühstrahl mit Tröpfchen, die klein genug sind, dass sie für mindestens vier Sekunden in der Luft schweben können, was die Anwendung von 3D-Wassernebel zur Brandgaskühlung optimiert.

Dieses ideale Strahlrohr wird aber auch vielseitig genug sein, um leicht von Sprühstrahl auf Vollstrahl und zurück umgestellt werden zu können, um direkte Treffer auf den Brandherd zu ermöglichen. Unter Berücksichtigung all dieser Fakten ist man zu dem Schluss gekommen, dass ein Sprühstrahl mit einer durchschnittlichen Tröpfchengröße von ca. 300 Mikrometern (0,3 mm) für die Gasphasenkühlung mittels 3D-Methode ideal ist.

30. Es gab einige Kritik hinsichtlich des Auftretens von „Temperaturumkehrung“⁸, wenn Sprühstrahl genutzt wird, der aus 300 Mikrometer-Tröpfchen besteht. Dieser Effekt tritt auf, wenn die Kühlung des Overheads so plötzlich und vollkommen geschieht, dass die Temperatur in Bodennähe die Temperatur im Overhead manchmal für einige Sekunden übertrifft! Man nimmt an, dass eine solche Inversion der Temperatur dann normal ist, wenn es einfach unmöglich ist, die Bodentemperatur genauso schnell zu senken wie die der entzündlichen Brandgase, da die Kühlung dort durch die vollständige Verdunstung der feinen Wassertröpfchen im Overhead geschieht. Das bedeutet nicht, dass die Temperatur in Bodennähe während der Brandbekämpfung ansteigt, sondern dass die Kühlung des Overheads so vollständig ist, dass einfach zu wenig Wasser übrig bleibt, um den Boden zu kühlen!
31. Des Weiteren war die für die Gasphasenkühlung optimale Tröpfchengröße das Thema eines Berichts, der gemeinsam vom finnischen und vom schwedischen Fire Research Board finanziert wurde. In diesem Bericht wurde dargelegt, dass sowohl Tröpfchen mit einer Größe von weniger als 200 Mikrometer als auch Tröpfchen mit einer Größe von mehr als 600 Mikrometer während den Tests unverhältnismäßig große Mengen an unerwünschtem Wasserdampf verursachten. Tröpfchen mit einer Größe von rund 400 Mikrometern (0,4 mm) hingegen optimierten den Effekt der Gasphasenkühlung.

⁸ d.h. die Umkehrung von heiß zu kalt und andersherum

Die Ursache dieses Phänomens ist, dass die kleineren Tröpfchen mit der Rauchwolke interagieren, weshalb bei der Anwendung von zu kleinen Tröpfchen mehr Wasser benötigt wird, um eine effektive Kühlungsrate zu erreichen. Bei den zu großen Tröpfchen resultiert die Wasserdampferzeugung daraus, dass eine größere Menge Wasser heiße Oberflächen erreicht und deshalb verdampft (große Tröpfchen sind schwerer und verbleiben kürzere Zeit in der Gasschicht).

Diese Tatsache wurde auch bei einer Reihe von Tests in den USA beobachtet, bei denen die Wandtemperaturen eines vom Brand betroffenen Raumes proportional zum zunehmenden Tröpfchendurchmesser stark gesenkt wurden. Dies führte wiederum zu einer verstärkten Verdampfung und Kühlung außerhalb der Brandgase. Dabei wurde festgestellt, dass während den ersten zwei Minuten der Brandbekämpfung außerhalb der Brandgase

- ein Sprühstrahl mit einem Tröpfchendurchmesser von 330 Mikrometern die Wandtemperatur um 57 °C senkte.
- ein Sprühstrahl mit einem Tröpfchendurchmesser von 667 Mikrometern die Wandtemperatur um 124 °C senkte.
- ein Sprühstrahl mit einem Tröpfchendurchmesser von 779 Mikrometern die Wandtemperatur um 195 °C senkte.

32. Diese Messwerte veranschaulichen, dass ein Sprühstrahl mit größeren Tröpfchen eine größere Oberfläche (insbesondere Wände und Decken) erreichen kann, was wiederum eine übermäßig große Menge Dampf und eine weniger starke Kontraktion der Gase nach sich zieht.
Gasphasenkühlung ist nur dann erfolgreich, wenn die Tröpfchen in den Brandgasen verdampfen und der Kontakt mit heißen Oberflächen so weit wie möglich vermieden wird.

XIV. EINSATZBEREICHE VON DREIDIMENSIONALEM WASSERNEBEL

33. Nach einem Flashover, bei dem zwei schwedische Feuerwehrmänner getötet wurden, begann die Feuerwehr Stockholm in den frühen 1980er Jahren Techniken einzuüben, die von Gisselson & Rosander entwickelt worden waren. Diese Techniken hatten den Schutz der Feuerwehrmänner vor den Gefahren von Flashover und Backdraft zum Ziel. Die verwendeten Techniken beinhalteten die Verwendung eines Sprühstrahl-Strahlrohrs (T&A Fogfighter), mit dem man durch eine Reihe von kurzen „Spritzern“ einen feinen "Wassernebel" in den Overhead einbringen kann, indem man die „Impuls“-Technik anwendet. Das Ziel war es, den Kontakt mit heißen Oberflächen, Mauern und Decken zu vermeiden und eine kleine Menge Wassertröpfchen direkt in die Brandgase einzubringen, wo der Kühleffekt maximiert wird. Diese Anwendung vermied die massive Ausbreitung von Wasserdampf und andere Probleme, die mit der „indirekten“ Wassernebel-Technik einhergehen, und schuf für die Feuerwehrmänner eine sichere und angenehme Umgebung, in der sie solange vorgehen können, bis sie in der Lage sind, den eigentlichen Brandherd anzugreifen.
34. Dieses schwedische Konzept (auch „Offensive Brandbekämpfung“ genannt) basiert auf Erkenntnissen über die Entwicklung eines Brandes. Viel Wert wurde auf die Beobachtung von spezifischen Warnsignalen gelegt, die einer Entzündung der Brandgase (das heißt einem Flashover und Backdraft) vorausgehen könnten. Der Nutzen der 3D-Wassernebel-Technik lässt sich sowohl bei Pre-Flashover-Situationen als auch bei Post-Flashoverbränden erkennen.

XV. PRE-FLASHOVER-SITUATION

35. Der Wasserdampf wird während des gesamten Anmarsches zum Feuer und sogar schon außerhalb des brennenden Raumes angewendet, um die überhitzten oder auch nur warmen Brandgase zu inertisieren.
Das Ziel ist es, einen „Nebel“ von feinen Wassertröpfchen in den Overhead einzubringen, um eine Entzündung der Gase zu verhindern bzw. das Potential für eine Brandgasverbrennung zu verkleinern.
Allein diese Technik hat vermutlich schon vielen Feuerwehrmännern das Leben gerettet, die unter den gefährlichen Bedingungen eines Brandes in einem Gebäude gearbeitet haben. Eine andere Variante dieser Vorgehensweise macht sich den Unterdruck hinter der Rauchgrenze zu Nutzen, wo Luft in Richtung Feuer gesogen wird. Wassertröpfchen, die in diesen Luftzug hinein abgegeben werden, maximieren den Effekt der dreidimensionalen Anwendung von Wasserdampf.
Beide Anwendungen sind präzise und setzen eine effektive „Impuls“-Tätigkeit am Strahlrohr voraus, wobei große Aufmerksamkeit auf die Kegelwinkel ⁹ (den Durchmesser des Sprühbilds) und den Anwendungswinkel (im Verhältnis zur Horizontalen) gerichtet wird.

XVI. POST-FLASHOVER-BRAND

36. In Situationen, in denen sich ein Brand bis zum Stadium des Flashovers und auch schon darüber hinaus entwickelt hat, kann die Anwendung von 3D-Wasserdampf dazu genutzt werden, jede Art von Brandgasverbrennung mit einem schnellen, gezielten Schlag sicher zu löschen.
Diese Fähigkeit bedarf intensiven Trainings, in dem der Feuerwehrmann reale Flashover in einem Brandsimulator (Container) erlebt. Dort kann die Entstehung und Entwicklung des Feuers in den einzelnen Stadien beobachtet und die Impulstechnik am Strahlrohr geübt werden, um so die sich verschlechternden Bedingungen sehr schnell und sicher kontrollieren zu können. Ein Feuerwehrmann muss mehrere Trainingseinheiten mit steigendem Schwierigkeitsgrad absolvieren, um das Selbstvertrauen zu erlangen, das nötig ist, um mit einem Flashover, also einer Situation, in der alles sehr schnell geschieht und in der es um Leben oder Tod geht, umgehen zu können.

⁹ „cone-angles“

37. Um effektive Ergebnisse zu erzielen, sind der Winkel des Sprühkegels und der Anwendungswinkel genauso wichtig wie der praktische Gesichtspunkt, nämlich das „Pulsieren“ am Strahlrohr. So enthält zum Beispiel ein kegelförmiger Wassernebel, der mit 60°-Kegelwinkel und 45° Anwendungswinkel in einen durchschnittlichen Raum (etwa 50 m³) abgegeben wird, ungefähr 16 m³ an Wassertröpfchen.
- Ein Impuls, der eine Sekunde lang dauert und aus einer Leitung mit einem Durchfluss von 100 l/min abgegeben wird, gibt etwa 1,6 l Wasser in den Sprühkegel ab. Lassen Sie uns für diese Erklärung annehmen, dass eine einzelne „Einheit“ Luft bei 538 °C 0,45 kg wiegt und ein Volumen von 1 m³ beansprucht. Diese einzelne „Einheit“ Luft kann 0,1 kg (0,1 l) Wasser verdampfen, welches als Dampf (bei dieser Temperatur von 538 °C, die für einen Zimmerbrand, der an einen Flashover grenzt, typisch ist) 0,37 m³ einnimmt. Daraus folgt, dass ein Nebel mit 60°-Kegelwinkel den Platz von 16 „Einheiten“ 538 °C heißer Luft einnimmt.
- Das bedeutet, dass 1,6 kg (16 x 0,1 kg) oder 1,6 l Wasser verdampft werden können, was exakt die Menge Wasser ist, die während einem 1 s andauernden Impuls abgegeben wird. Dieses Wasser wird in der Gasschicht verdampft, bevor es die Wände und die Decke erreicht, was wiederum den Kühleffekt im Overhead maximiert.
- Es ist offensichtlich, dass überschüssiges Wasser die Gase durchdringt und zu unerwünschtem Wasserdampf wird, wenn es auf heiße Oberflächen im Raum trifft.
38. Nun können wir unter Verwendung der Berechnungen von Charles Law untersuchen, wie effektiv die Gase letztendlich gekühlt wurden, was deren Kontraktion zur Folge hatte. Jede „Einheit“ Luft im Konus des Sprühstrahls wurde auf ca. 100 °C abgekühlt und beansprucht nun ein Volumen von nur noch 0,45 m³. Dies verursacht eine Reduzierung des gesamten Luftvolumens (im Kegel des Sprühstrahls) von 16 m³ auf 7,2 m³. Dazu müssen jedoch noch die 5,92 m³ (16 x 0,37) Wasserdampf gerechnet werden, die bei einer Temperatur von 538 °C in der Gasschicht produziert wurden.
- Diese dramatische Volumenreduzierung im betroffenen Raum von 50 m³ auf 47,1 m³ hat einen Unterdruck im Raum verursacht - und das alles mit nur einem einzigen Sprühstrahl-Impuls! Jede Luftzuführung durch den Schlauch und das Strahlrohr, die eventuell stattgefunden haben könnte, ist minimal (ungefähr 0,9 m³) und der Unterdruck bleibt erhalten.

39. Natürlich ist in der Realität der gesamte Raum eine einzige „tobende Hitzemasse“, in der die „Lufttemperatur“ und der „Raumdruck“ sofort wieder ansteigen, wenn die Anwendung der 3D-Technik nicht effektiv fortgeführt wird.
Mit einiger Übung werden die einzelnen Impulse nur noch 0,1 – 0,5 s dauern, was die Benutzung von Leitungen mit größeren Durchflussmengen bei gleich bleibendem Nutzen erlaubt.
Das sind meine Berechnungen, die auf der 3D-Wassernebeltheorie beruhen, und die meines Wissens nirgendwo sonst veröffentlicht wurden. Obwohl eine weitaus sorgfältigere Rechnung notwendig wäre, um jeder kleinlichen wissenschaftlichen Erbsenzählerei standzuhalten, wurde mir von Wissenschaftlern der UK Fire Research Station mitgeteilt, dass, unter Berücksichtigung der mit der Tröpfchengröße verbundenen Variablen, das Endergebnis dem meinigen ähnlich wäre.

XVII. PRAKTISCHE ASPEKTE DER ANWENDUNG VON 3D-WASSERNEBEL

40. Die Anwendung von 3D-Wassernebel bei „realen“ Bränden erfordert Strahlrohrführer, die sich über die Ziele und Möglichkeiten solcher Techniken im Klaren sind.
Diese Feuerwehrmänner müssen außerdem in überaus großem Maße in Strahlrohrhandhabung und Impulstechnik geübt sein. Solche Fähigkeiten können nur durch regelmäßiges Training in dafür geeigneten Brandsimulatoren oder umgebauten Schiffscontainern erworben werden.
Des Weiteren sollte besonderes Augenmerk auf die Beschaffung und Wartung von geeigneter Ausrüstung und von geeigneten Strahlrohren gelegt werden. Außerdem sollte eine effektive Brandbekämpfungsstrategie ausgearbeitet werden, um die oben genannten Techniken zu ergänzen.
41. Bei realen Bränden ist die „perfekte“ Anwendung von 3D-Wassernebel nur schwer zu verwirklichen und es ist möglich, dass eine kleine Menge Wasser auf heiße Oberflächen trifft. Trotzdem sollte der Strahlrohrführer ein Kühlungsverhältnis von 2 zu 1 zugunsten der heißen Gasen gegenüber heißen Oberflächen anstreben, um zu verhindern, dass die Anwendung der 3D-Technik zu einem „indirekten“ Angriff wird.

Solche Anwendungen erfordern einen Kegelwinkel zwischen 40° und 60° und sollten in einem annähernden 45° - Winkel zum Boden angewendet werden. In der Dunkelheit eines verrauchten Raumes kann eine solche Präzision nur schwer zu erreichen sein, weshalb moderne „flashover control“- Strahlrohre derzeit schon oft mit Wählringen ausgestattet sind, an denen der Strahlrohrführer erkennen kann, wann das ideale Strahlbild erreicht ist, auch noch in solchen Situationen, in denen er „blind“ ist.

42. Es gibt die Lehrmeinung, dass versucht werden sollte, ein Strahlbild zu erreichen, mit dem man auf Oberflächen einen Durchmesser von einem Quadratmeter überstreichen kann. Das ist falsch! Zuerst einmal besteht das gesamte Konzept der 3D-Wassernebeltechnik darin, den Kontakt mit Oberflächen zu vermeiden – und zweitens würde man für das oben genannte Ziel in einem durchschnittlichen Zimmer einen 20° -Kegelwinkel benötigen.
Bei einem Sprühbild mit diesem Winkel würde jedoch ein dreidimensionaler Raum von nur knapp über 1 m^3 abgedeckt werden, gegenüber 7 m^3 bei einem 40° - und 16 m^3 bei einem 60° -Kegelwinkel!
Die Bezeichnung „dreidimensional“ lässt schon vermuten, dass diese Technik nach Raumeinheiten bewertet wird. Daher ist klar, dass Kegelwinkel bzw. Strahldurchmesser unter 40° bei der Gasphasenkühlung keine optimalen Ergebnisse liefern können. Hinzu kommt noch, dass umso mehr Luft zum Strahlrohr gesogen wird, je kleiner der Kegelwinkel ist!
43. Hinsichtlich des Anwendungswinkels – in einem durchschnittlichen Raum von ungefähr 50 m^3 - sollte der Strahlrohrführer **versuchen, mit dem Zentrum des Sprühstrahls auf die gegenüberliegende Ecke des Raumes zu zielen, wo sich Decke und Wand treffen.**
Dadurch werden die Wassertröpfchen, die sich im Innern des Sprühstrahls befinden, in einem ungefähren 45° -Winkel zum Boden auf die Gase treffen. Dieser Winkel wird die Menge des Wassers reduzieren, das auf Wände und Decke trifft, und optimiert den Effekt der Anwendung, indem der Großteil der Wassertröpfchen direkt in die Gase gelangt.
44. Der „Impuls“ am Strahlrohr wird durch sehr schnelle „an-aus“ Bewegungen am Durchflusskontrollhebel bzw. -drehschalter erzeugt. Dies gelingt mit einiger Übung und manche Strahlrohre sind dafür besser geeignet als andere. Idealerweise dauert jeder Impuls zwischen $0,1$ und $0,5 \text{ s}$ und bringt für einige wenige Sekunden feine Wassertröpfchen in den Overhead.

45. Da die Sprühstrahlimpulse verdampfen, wird der Raum mit „trockenem“ Wasserdampf „vernebelt“, was aber unter der sorgfältigen Kontrolle des Strahlrohrführers geschieht, der mit der Zeit und mit wachsender Erfahrung lernen wird, die Impulse mit maximaler Wirksamkeit anzuwenden. Jede „wedelnde“ Bewegung des Strahlrohrs wird höchstwahrscheinlich die Wärmebilanz im Raum durcheinander bringen und die Hitze hinunter in den Bereich des Raumes drücken, wo der Angriffstrupp arbeitet. Ununterbrochene Sprühstöße von mehr als einer Sekunde können eine „Kolbenwirkung“ verursachen und das Feuer in bisher unbetreffene Räume, Dachstühle, usw. drücken. Die Technik der 3D-Wassernebelanwendung wurde oft auch **„hole-punching“ [„Löcher schlagen“]** genannt. Dabei versucht der Strahlrohrführer das "Brandgaskissen", das im Overhead „hängt“, mit kurzen Injektionen von Wassertröpfchen zu „durchlöchern“. Dies bewirkt, dass die Gase gekühlt werden und kontrahieren. Außerdem ruft es einen inertisierenden Effekt im Kissen selbst hervor.
46. Eine Studie des Fairfax County Fire Department aus dem Jahr 1985 vergleicht die Kühlfähigkeit von Rundstrahlrohren ¹⁰ gegenüber Mehrzweckstrahlrohren ¹¹. Bei Versuchen mit geschützten Thermoelementen fand man heraus, dass der Sprühstrahl des Mehrzweckstrahlrohrs beim Kühlen des Overheads drei Mal effektiver ist als ein Rundstrahlrohr. Vielleicht etwas überraschend ist, dass auch der Vollstrahl des Mehrzweckstrahlrohrs beim Kühlen des brennenden Overheads zweimal effektiver war als der des Rundstrahlrohrs. Die am Test beteiligten Feuerwehrmänner waren überzeugt, dass sie für jede Art von Brandbekämpfung in Gebäuden lieber von Anfang an die Flexibilität eines Mehrzweckstrahlrohrs hätten.

¹⁰ „smooth-bore nozzles“: Strahlrohre, die im Wesentlichen aus einem konischen Rohr ohne Störkörper bestehen

¹¹ „combination nozzle“, d.h. ein Strahlrohr, dass sowohl Voll- als auch Sprühstrahl ermöglicht; ist jedoch nicht völlig deckungsgleich mit den deutschen Mehrzweckstrahlrohren

47. 1994 initiierte das US Navy's Naval Research Laboratory (NRL) eine Studie an Bord des Brandtestschiffs der Navy, das im Maßstab 1:1 einem „echten“ Schiff entspricht, um die Vor- und Nachteile der Anwendung der 3D-Technik im Vergleich zum eher traditionellen Vollstrahl-Angriff beim Löschen eines Entstehungsbrandes der Brandklasse A in einem 73 m³ großen Raum zu untersuchen.
- Die Brandlast bestand aus Holzkrippen [d.h. aus aufeinander geschichteten Holzscheiten] und Pressspanplatten. Diese wurden durch brennendes Heptan entzündet, das sich unterhalb der Brandlast in Wannen befand. Um den Versuch realistischer zu machen, wurden Hindernisse zwischen dem Brandherd und dem Eingang zum Brandraum platziert. Dies zwang die Angriffstrupps dazu, ein gutes Stück in den Brandraum vorzudringen, bevor sie den Brandherd direkt treffen konnten.
- Sowohl für die Angriffe mit Wassernebel als auch für die Angriffe mit Vollstrahl wurde eine Angriffsleitung mit 38 mm Durchmesser und einem Durchfluss von 360 l/min genutzt.
- Bei der Verwendung des Sprühstrahls wurde das Wasser mittels kurzer Impulse mit einem 60° - Kegelwinkel und unter einem 45°-Anwendungswinkel in den brennenden Overhead abgegeben. Nachdem die Brandgasverbrennung gelöscht war, gingen die Feuerwehrmänner weiter vor, um den Brandherd mittels Vollstrahl vollständig abzulöschen.
- Thermoelemente, die auf verschiedenen Höhen angebrachte waren, registrierten die Temperaturen während des gesamten Tests und der Gesamtwasserverbrauch wurde festgehalten.
48. Es stellte sich heraus, dass die dreidimensionale Anwendung von Wassernebel zur Steuerung der Umgebungsbedingungen weitaus effektiver war – die Wärmebilanz blieb ungestört und die Wasserdampfentwicklung war minimal.
- Im Vergleich dazu zogen die Vollstrahlangriffe exzessive Dampfentwicklung nach sich, störten die Wärmebilanz und verursachten Verbrennungen der Strahlrohrführer, manchmal zwangen sie diese sogar zum Rückzug.
- Auch die Senkung der Temperaturen im Raum ging bei Verwendung der Impulstechnik schneller vonstatten.
- Der Bericht schlussfolgerte, dass „die dreidimensionale Nebelangriffstaktik die beste Methode ist, eine sichere und effektive Annäherung an einen vom Feuer betroffenen Raum zu gewährleisten, wenn ein direkter Zugang zum Brandherd nicht sofort möglich ist.“

49. Der folgende Bericht wurde vom Autor **1998 einer Versammlung von irischen Fire Chiefs** vorgestellt. Er beschreibt eine typische Simulation eines Brandes in einem Gebäude unter Bedingungen, die an einen Flashover grenzen, und zeigt, wie 3D-Wassernebel genutzt werden kann, um die taktische Belüftung oder Überdruckbelüftung zu ergänzen.
50. *„Das Getöse des Feuers war ein bisschen beunruhigend, als wir auf allen vieren in den Raum krochen. Der dichte Rauch sammelte sich unter der Decke, die Rauchsicht reichte bis ungefähr 1,20 m¹² über den Boden und ich fühlte die Hitze, die von der Rauchsicht abgestrahlt wurde, deutlich durch meine Schutzkleidung hindurch. Ich schaute direkt über mich in die Dunkelheit des Rauches und bemerkte einige gelbe Flammenzungen, die sich vom eigentlichen Feuer, das in der gegenüberliegenden Ecke des Zimmers loderte, lösten und die Decke entlang liefen. Wir waren etwa 1,20 m weit in den Raum vorgedrungen, als ich das Strahlrohr der Hochdruck-Schnellangriffsleitung nahm und sehr kurze Wassernebel-Impulse in die Rauchsicht über unseren Köpfen abgab. Es kamen keine Wassertröpfchen wieder zurück und eine Reihe von „knallenden“ Geräuschen ließ vermuten, dass der Wassernebel in den überhitzten Gasschichten seine Arbeit tat. Die Flammenzungen verschwanden für einige wenige Sekunden, nahmen dann jedoch ihren Furcht einflößenden, schlangenähnlichen Tanz in Richtung der offenen Tür hinter uns wieder auf. „Wasser halt!“, rief Miguel mir durch das Funkgerät zu. Als wir uns weiter in den Raum vortasteten, wurde mir klar, dass ich diesem Mann voll und ganz vertraute.*
51. *Der Rauch legte sich weiterhin rund um uns auf alles was ich sah und ich beobachtete beeindruckt, wie einige Ballon-ähnliche Brandgasblasen durchzündeten, jede einzelne eine kurze Sekunde lang, und zwar direkt vor meinen Augen, etwa 90 cm¹³ vom Boden entfernt. Ich konnte spüren, dass der Zeitpunkt für einen Flashover schnell näher kam und ich langte instinktiv wieder nach dem Strahlrohr. „Warte!“, rief Miguel – er lachte, als er zurückging und die Tür fast bis ins Schloss trat. Ich fühlte mich extrem verwundbar, aber dann, als ob es einfach abgestellt wurde, verlor das Feuer sein „Brüllen“ und die rollenden Flammen im Rauch über uns verschwanden völlig. Alles wurde dunkel, als das Feuer in sich „zusammenfiel“ und der Rauch schlagartig auf den Boden sank. In diesem Zustand der Blindheit herrschte eine beängstigende Stille, die dem Feuerwehrmann in mir allzu vertraut schien.*

¹² 4 ft

¹³ 3 ft

Miguel nahm mir das Strahlrohr aus den Händen und gab einige kurze Wassernebel-Stöße weit gestreut in den oberen Teil des Raumes ab. Es kamen wiederum keine Tröpfchen mehr zurück und man konnte die Minute, in der sich die Wassertröpfchen in den überhitzten, brennbaren Gasen zersetzten, förmlich spüren. Der „Überdruck“ des Dampfes und die Feuchtigkeit waren fast nicht spürbar und auch Luftbewegungen nahm ich keine wahr. Wichtiger noch war, dass die Wärmestrahlung von oben beträchtlich nachgelassen hatte, was die Wahrscheinlichkeit eines Flashovers verringerte. Dann hörte ich Miguels Stimme über das Funkgerät, als er einen Belüftungseinsatz von außen anforderte, und fast gleichzeitig hob sich die Rauchsicht, da die Feuerwehrmänner draußen auf der Straße durch ein Fenster belüfteten, das in den Raum führte. Das Feuer in der Ecke des Raumes wurde wieder zusehends aktiver und nahm an Intensität zu, wobei sich dieses Mal jedoch die Flammenzungen unter der Decke in Richtung des offenen Fensters bewegten, und damit weg von unserer Position.“

52. Miguel Basset war der Chef der Feuerwehr Valencia (Bezirk) in Spanien. Er war ein erfahrener Mann, der viel über das Feuer und sein Verhalten unter verschiedenen Bedingungen gelernt hat. Er hatte schon einige Jahre mit dem Feuer „gespielt“ und zusammen mit seinem Team aus zuverlässigen Feuerwehrmännern viel experimentiert. Darüber hinaus hat er bei dem Versuch, den Einfluss von taktischer Belüftung auf die Brandausbreitung festzustellen, deren Grenzen ausgelotet. Bei diesem Training in einem Abbruchhaus lehrte Miguel mich eine Menge darüber, wie man die Kontrolle über das Feuer erlangt. Er demonstrierte schon ziemlich früh, wie Feuerwehrmänner taktische Belüftung nutzen können um die Ausbreitung eines Brandes zu bekämpfen, und dass man schon allein durch das Schließen der Eingangstür oder das Öffnen eines Fensters einen Backdraft oder einen Flashover verhindern oder verzögern kann. Er legte außerdem dar, dass Feuerwehrmänner die Wärmestrahlung von oben dadurch reduzieren können, indem sie die Richtung, in die die Rauchfahne abzieht, so verändern, dass der Rauch vom Zugangspunkt weg zieht, wie es oben beschrieben wurde.

XVIII. STRATEGIE & TAKTIKEN FÜR DIE ANWENDUNG VON 3D-WASSERNEBEL

53. Offensichtlich kann die Anwendung von Gasphasenkühlungstechniken eine taktische Ventilation oder Überdruckbelüftung effektiv und sicher ergänzen. Es ist jedoch unabhängig davon, nach welcher Strategie vorgegangen wird, unbedingt notwendig, sicherzustellen, dass die Kommunikationsstruktur am Einsatzort allen bekannt ist und eingehalten wird. **Die Trupps im Gebäude sind diejenigen, die in der Position sind zu entscheiden, ob und wann Belüftungsaktionen gestartet werden sollten** und die Anforderungen von solchen Aktionen sollten an den Einsatzleiter weitergeleitet werden, der die alleinige Verantwortung für das Befehlen solcher Aktionen trägt.
54. Die Anwendung von 3D-Wassernebel wirkt sich taktisch gesehen schon aus, bevor noch das brennende Gebäude betreten wird. Idealerweise sollte eine zweite Unterstützungs- oder Sicherungsleitung gelegt werden, um hinter der Erstangriffsleitung zu operieren, falls die vor Ort vorhandenen Kräfte [i. S. v. Manpower] dies zulassen. In der Praxis haben europäische Feuerwehren schon häufig den Einsatz von 3D-Wassernebel-Technik mittels Schnellangriffs/Hochdruck-Leitungen mit extrem geringen Durchflussmengen demonstriert und dabei nur 100 l/min abgegeben. Trotzdem wird, wo immer dies möglich ist, im Hinblick auf die Sicherheit der eingesetzten Kräfte eine Mindestdurchflussmenge von 450 l/min für die Erstangriffsleitung in einem Gebäude empfohlen.

XIX. TÜRÖFFNUNGS- & EINDRINGVERFAHREN

55. Feuerwehrleute sollten eine Sekunde, bevor sie eine Tür öffnen, einen Sprühstrahl-Impuls in den Overhead im Eingangsbereich abgeben. Falls in einem angrenzenden Raum oder Korridor ein Feuer vorhanden sein sollte, kann das per Impuls abgegebene Wasser die Entzündung der überhitzten Brandgase verhindern, da diese Gase ja an die frische Luft entweichen und in diesem Stadium immer die Gefahr besteht, dass sie sich entzünden und dann in den betroffenen Raum rückzünden könnten und einen „Flashback“-Effekt [Flammenrückschlag] hervorrufen könnten.
56. Seite: 31
[0]Die Anwendung von Wassernebel mit einem 60°-Kegelwinkel beginnt mit dem o.g. Impuls in den Overhead oberhalb des Zutrittsbereichs. Damit wird die Wahrscheinlichkeit eines „Flashback“ ganz oder größtenteils eliminiert. Es schließt sich eine kurze Serie von Impulsen in den Luftstrom an, der in den Brandraum unterhalb der Rauchgrenze eindringt. Damit werden bereits Wassertröpfchen zum Brandherd befördert, die dort eine sofortige Kühlung und Erstickung bewirken können.
57. Zu diesem Zeitpunkt sollten die Feuerwehrmänner mit der Angriffsleitung ungefähr 1,20 m¹⁴ in die Wohnung vorgehen und anschließend einige Impuls-Serien in den Overhead abgeben. Die erste dieser Serien sollte direkt über die eigenen Köpfe abgegeben werden, um die Gegebenheiten in der Umgebung zu testen. Dabei beobachten die Feuerwehrmänner, ob Tröpfchen wieder zurückkommen und achten auch auf knallende Geräusche, die beim Verdampfen der Tröpfchen entstehen. Danach werden umgehend weitere Impulse in den Overhead abgegeben, wobei das 45°-Anwendungsprinzip beachtet wird, das heißt man zielt auf die gegenüberliegende obere Ecke des Raumes, wo sich die Wand und die Decke treffen. Das Strahlrohr wird so bewegt, dass der Strahlrohrführer mit den Impulsen einen möglichst großen Bereich der Gasschicht abdecken kann; dabei ist eine „wedelnde“ Bewegung jedoch zu vermeiden.

¹⁴ 4 ft

58. Der Strahlrohrführer muss den Mittelweg finden zwischen dem Einbringen einer ausreichend Wassermenge in den Overhead und der Vermeidung von Wasserschäden– er muss die Situation „lesen“, d.h. erkennen, wie sie sich entwickelt. Der Angriffstrupp kann dann weiter in den Raum vordringen und auf seinem Weg weitere Impulse abgeben.
59. Falls unterhalb der Rauchgrenze, in Bodennähe, eine Schicht existiert, in der gute Sichtverhältnisse herrschen, sollte diese durch Abgabe von Impulsen in die Gase und durch Vermeiden von Kontakt des Wasserstrahls mit heißen Oberflächen erhalten werden. Diese Schicht kann dann dazu verwendet werden, sowohl den Brandherd als auch etwaige, möglicherweise auf dem Boden liegende Opfer zu lokalisieren. Indem man die Wärmebilanz auf diese Art aufrechterhält und die Gasschichten im Overhead eindämmt wird der Raum merklich kühler und die Wahrscheinlichkeit jeglicher Gasdurchzündungen nimmt merklich ab.
60. Einige europäische Feuerwehren, insbesondere die schwedischen, bevorzugen es, die Eingangstür hinter sich teilweise zu schließen, nachdem sie den Raum betreten haben – sie nennen es „Anti-Ventilation“.
Der Grund für dieses Verhalten ist, die „Kontrolle über die Luft“ beizubehalten, das heißt, man reguliert die Menge an Luft, die den Brand nährt.
Eine derartige Strategie wird aber von Vielen nicht akzeptiert, besonders von denjenigen, die keine Vorrichtungen verwenden, mit denen man festlegen kann, wie weit eine Tür geschlossen werden kann.
Ein solcher Gegenstand würde zumindest das Zuschlagen der Tür verhindern und die Gefahr beseitigen, dass die Leitungen unter der Tür stecken bleiben, falls ein Backdraft auftreten sollte.
61. Der Trupp im Gebäude wird die Bedingungen im betroffenen Raum fortwährend beurteilen und jede Auswirkung, die die Größe der Öffnung auf die Entwicklung des Feuers hat, in seine Entscheidungen mit einfließen lassen. Diese Öffnung kann zu jedem Zeitpunkt der Brandbekämpfung vergrößert oder verkleinert werden, um beispielsweise folgende Bedingungen zu beeinflussen:
1. Die Höhe der Rauchsicht
 2. Die Menge der von der Decke abstrahlenden Hitze
 3. Die Intensität des Feuers
 4. Die Zugrichtung der Rauchwolke in Höhe der Decke
 5. Die Raumtemperatur

62. Indem man die Eingangstür schließt, nehmen jedoch auch die Entstehung und Ansammlung von Brandgasen zu. Daher werden Impuls-Stöße mit dem Strahlrohr extrem wichtig, um die Atmosphäre im Raum zu inertisieren. Die Vorteile, die sich aus der Beibehaltung der „Kontrolle über die Luft“ ergeben, lassen sich an folgenden Temperaturen erkennen, die während einer typischen Trainingssituation in einem Container gemessen wurden (während diesem Experiment fand keine Brandbekämpfung statt).

Schließen der Eingangstür – die Temperatur fällt

800 °C – 600 °C an der Decke in 20 s
800 °C – 400 °C 1,5 m¹⁵ über dem Boden in 20 s
600 °C – 300 °C 0,9 m¹⁶ über dem Boden in 20 s

Öffnen der Eingangstür – die Temperatur steigt

400 °C – 800 °C 1,5 m über dem Boden in 20 s

Erneutes Schließen der Tür – die Temperatur fällt

800 °C - 450 °C 1,5 m über dem Boden in 20 s

Der Strahlungswärmeübergang¹⁷ sinkt jedes Mal, wenn die Tür geschlossen wird, wiederholt unter einen kritischen Wert (20 kW/m²), und überschreitet diesen jedes Mal, wenn die Tür geöffnet wird, wieder innerhalb von 20 s – und beeinflusst so die Wahrscheinlichkeit eines Flashovers unmittelbar.

¹⁵ 5 ft

¹⁶ 3 ft

¹⁷ „Radiant Heat Flux“, d.h. das Maß der Wärmeübertragung auf eine Oberfläche

63. David Birk beschreibt in seinem Buch die computergestützte Modellierung eines „realen“ Brandes in einem Hotelzimmer und untersucht die verschiedenen Auswirkungen, die unterschiedlich weit geöffnete Zugangstüren auf die Brandausbreitung und – entwicklung haben. Anhand dieses Brandes, der anfangs auf einen brennenden Stuhl beschränkt war, stellt Birk fest, dass die Zeit bis zum Flashover sehr stark von der Größe dieser Öffnung abhängt:

Tür 91 cm	¹⁸	weit geöffnet - Flashover nach 2,38 min
Tür 30 cm	¹⁹	weit geöffnet - Flashover nach 2,82 min
Tür 15 cm	²⁰	weit geöffnet - Flashover nach 4,28 min
Tür 8 cm	²¹	weit geöffnet - Flashover nach 6,97 min
Tür		geschlossen - kein Flashover

Außerdem wurde festgestellt, dass die heiße Rauchschiicht, die bei geschlossener Tür ca. 1 m ²² vom Boden entfernt war, bei 91 cm weit geöffneter Tür auf ca. 1,70 m ²³ angehoben wurde.

XX. DAS BRANDVERHALTEN BEOBACHTEN

64. Der Strahlrohrführer muss die Gegebenheiten aus der Nähe beurteilen und die Wahrscheinlichkeit jeder Art von Brandgasdurchzündung abschätzen.

Seite: 34

[0]Der Overhead sollte auf Anzeichen für Flammen in den Brandgasschichten beobachten werden, da diese sichere Hinweise für einen bevorstehenden Flashover sind.

Das Vorhandensein von „Feuerballons“ (Brandgasblasen), die nach kurzer Zeit in etwa 0,6 - 0,9 m ²⁴ Höhe über dem Fußboden durchzündet, ist ein weiteres Zeichen für einen herannahenden Flashover.

Anzeichen von schnellen Luftbewegungen unterhalb der Rauchschiicht sind ein sicheres Warnsignal, das einen dazu veranlassen sollte, sich hinter einem pulsierenden Sprühstrahl zurückzuziehen, da ein Backdraft u.U. nur noch Sekunden entfernt ist.

¹⁸ 36 in.

¹⁹ 12 in.

²⁰ 6 in.

²¹ 3 in.

²² 3.3 ft

²³ 5.6 ft

²⁴ 2-3 feet

65. Der Feuerwehrmann sollte außerdem auch auf „rollenden“, vor allem schwarzen Rauch achten, der manchmal beim Betreten eines Raumes beobachtet werden kann, da auch dieser ein Warnsignal für einen Backdraft ist.
Ein weiteres Beispiel für gefährliche Umgebungsbedingungen ist das Vorhandensein von „blau“ gefärbten Flammen. Diese „blauen“ Flammen können als ein weiteres Anzeichen für einen Backdraft dienen, speziell dort, wo eine Gasschicht mit einem idealen Mischungsverhältnis vorhanden sein könnte.
Wenn die Sicht durch dichten Rauch sehr stark eingeschränkt ist, muss sich der Feuerwehrmann auf seine Sinne verlassen – eine plötzliche Erhöhung der Raumtemperatur, die den Feuerwehrmann dazu zwingt, extrem niedrig zu kriechen, ist ein sicheres Anzeichen für einen bevorstehenden Flashover

XXI. BRANDGASVERBRENNUNG & EXPLOSIONSUNTERDRÜCKUNG

66. Die Auffassung, dass die dreidimensionale Anwendung von Wassernebel dazu genutzt werden kann, entzündliche Atmosphären zu unterdrücken oder zu löschen, ist durchaus ausreichend begründet.
Die wissenschaftliche Forschung hat sich bis dato jedoch leider auf WMFSS konzentriert und ist so zu dem Schluss gekommen, dass ein extrem feiner Sprühstrahl benötigt wird, um eine Flamme, die sich in einer Mischung aus Luft und Gas ausbreitet, zu löschen oder an einer weiteren Ausbreitung zu hindern.
Verschiedene Versuche und Tests wurden dazu durchgeführt, unter anderem auch solche bezüglich der Explosionsunterdrückung bei allen Typen von brennbaren Gasen und Dämpfen. Bei diesen Versuchen haben extrem feine Nebel die sich ausbreitende Flamme erfolgreich gestoppt und die Atmosphäre bis zu einem Grad inertisiert/verdünnt, an dem keine Entzündung mehr möglich war.
Ein Bericht der Fire Research and Development Group (FRDG), der sich auf mehrere dieser Studien bezieht, besagt, dass eine Tröpfchengröße von weniger als 100 Mikron (0,1 mm) mit großem Erfolg dazu genutzt wurde, das Feuer zu unterdrücken. Im Hinblick auf einen auch von der Feuerwehr anwendbaren Sprühstrahl ist zu sagen, dass solch feine Tröpfchen bei der üblichen Anwendung normalerweise nicht überall im Sprühstrahl existieren. Man vermutet aber, dass auch Strahlrohre, die ungefähr 0,3 mm große Tröpfchen produzieren, noch mit gutem Erfolg bei der Bekämpfung von entzündlichen Gasschichten eingesetzt werden können.
Darüber hinaus nimmt man an, dass bei einer Durchzündung der Gasschichten eine Zerstreung des Strahls, mit dem man gerade

arbeitet, in einen „Mikro-Nebel“ die Folgen der Explosion lindern wird.

67. Obwohl auf diesem Gebiet hinsichtlich der Effektivität der verschiedenen Arten von Sprühstrahl, die zur Brandbekämpfung eingesetzt werden können, noch weiter reichende Forschungsarbeit nötig ist, ist allgemein anerkannt, dass eine konstante, „pulsierende“ Abgabe der Wassertröpfchen in den Overhead eines überhitzten, brennenden Raumes die Wahrscheinlichkeit einer Brandgasverbrennung senkt und die Überlebenschancen der dort arbeitenden Feuerwehrmänner stark erhöht.

XXII. BRANDGASKÜHLUNG & 3D-WASSERNEBEL BEI HOCHHAUSBRÄNDEN

68. In Hochhäusern findet man häufig moderne Großraumbüros, die sich über eine gesamte Etage erstrecken. Sie konfrontieren die Feuerwehrmänner mit gewissen Schwierigkeiten. Die weite, offene Fläche bietet jedem Feuer einen Überfluss an Luft und moderne Büromöbel stellen eine Brennstoffquelle mit extrem hohen Wärmefreisetzungsraten dar. In Verbindung mit dem zeit verzögerten Eintreffen der Feuerwehr auf dem betroffenen Stockwerk sorgen diese Gegebenheiten dafür, dass die Feuerwehrleute mit einer heißen und verrauchten Lage konfrontiert werden, besonders dann, wenn keine Sprinkler installiert sind.
69. Der Brand kann dann schon kurz vor dem Flashover stehen und die herumstehenden Schreibtische sorgen unter Umständen dafür, dass die Feuerwehrleute zwar die hochschlagenden Flammen sehen können, den Brandherd selbst aber erst dann direkt treffen können, wenn sie schon nahe an ihm dran sind. Diese Lage begünstigt die Ansammlung einer hochentzündlichen Brandgasschicht unter der Decke des betroffenen Raumes oder sogar auf dem gesamten betroffenen Stockwerk. Bei Stockwerken, die eine Ausdehnung von 5 500 m³ erreichen können, ist das Ausmaß dieses Problems klar ersichtlich. Ein Faktor, der den Beginn eines erfolgreichen Löschangriffs unter solchen Umständen verzögert, ist die mangelnde Wasserversorgung in den oberen Stockwerken eines Hochhauses.

70. Es ist offensichtlich, dass die nach der Durchflussrichtlinie der NFPA geforderte Durchflussmenge von 125 l/min pro 28 m³ ²⁵ bei Hochhausbrandeinsätzen selten bis nie erreicht werden kann. Tatsächlich mussten die Feuerwehrmänner früher bei solchen Großbränden üblicherweise auch mit Durchflüssen von nur noch 10 % der „normmäßigen“ Durchflussmenge zurechtkommen und haben den Brand trotzdem gelöscht!

71. Ein ziemlich aktuelles Beispiel eines solchen Brandes war der Brand des 7. Stockwerks eines 70 m (12 Stockwerke) hohen Bürohochhauses in Los Angeles. Der Brand brach in einem Schreibtisch aus und breitete sich auf den Großteil des 11 200 m³ umfassenden 7.OG's aus. Die Feuerwehrmänner bemerkten bei ihrer Ankunft, kurz nach 10.05 Uhr, „Schneidbrenner ähnliche“ [„blowtorching“] Flammen, die aus zwei Fenstern im 7. Stock schlugen. Das Gebäude lag nur wenige Blocks vom Interstate Bank Tower entfernt – dem Schauplatz eines weiteren Großbrandes im Jahr 1988.

Der Captain von Engine 3, Don Austin, berichtete, dass seine Männer auf der brennenden Etage mit dichtem Rauch zu kämpfen hatten, der sich bei mäßigen Temperaturbedingungen bis auf den Boden ausbreitete.

Die Feuerwehrmänner des LAFD gingen, mit einer 50 mm – Angriffsleitung und einem automatischen Strahlrohr ausgerüstet, etwa sieben Meter in das betroffene Stockwerk vor, bis sie einen orangenen Schein vor sich sahen.

Obwohl sie versuchten das Feuer zu treffen, schien die 50 mm – Leitung keinerlei Auswirkungen auf die Flammen zu haben. Innerhalb der 60 s, in denen sie das Feuer bekämpften, lief das Feuer die Decke entlang und die Mannschaft war zwischen den Flammen hinter und über ihr gefangen.

Austin und sein Crew schafften es, auf ihren Bäuchen liegend zurück in die „Sicherheit“ der Lobby zu kriechen, wobei ihre Helme begannen, in der Hitze zu schmelzen. Etwa zu diesem Zeitpunkt leuchtete die komplette nördliche Seite des Gebäudes auf, da aus allen 20 Fenstern auf der 7. Etage auf dieser Seite des Gebäudes Flammen schlugen.

Das Feuer wurde schließlich von 263 Feuerwehrleuten innerhalb von 1 Stunde und 19 Minuten nach Ausbruch des Feuers unter Kontrolle gebracht.

²⁵ 33 (US) gpm per 1000 Cu.ft

72. Ein kürzlich veröffentlichter Bericht der United States Fire Administration überprüft die Brandbekämpfungstaktik in Hochhäusern kritisch und spricht einige Probleme an, mit denen die Feuerwehr konfrontiert wird, insbesondere Wasserdruck und Wasserversorgung in höheren Stockwerken.
Die Richtlinien der NFPA von vor 1993 gingen davon aus, dass Rundstrahlrohre in Verbindung mit 68 mm- Angriffsleitungen für solche Einsätze genützt würden und forderten daher 4,5 bar als Ausgangsdruckminimum an den Standrohren.
Die NFPA überarbeitete diese Richtlinie 1993 und erhöhte den minimalen Ausgangsdruck auf 7 bar; die USFA jedoch wies die Feuerwehren immer noch an, sich auf Einsätze vorzubereiten, bei denen sie die Brandbekämpfung in Hochhäusern bei „niedrigem Druck“ durchführen müssen.
Dies kann sowohl Gebäuden der Fall sein, die vor 1993 errichtet wurden, als auch in solchen Gebäuden, in denen Steigleitungen und Druckminderungsventile nicht richtig funktionieren.
In ihren Empfehlungen fordert die USFA, dass Angriffsleitungen einen minimalen Durchmesser von 50 mm haben sollten und mit Rundstrahlrohren mit abnehmbaren Mundstücken verschiedener Durchmesser [„smooth bore tips“] oder mit Wechselstrahlrohren²⁶ ausgestattet sein sollten, die die Vorteile von Nebel- und Rundstrahlrohren in sich vereinigen.
Solche Wechselstrahlrohre sind so konstruiert, dass sie die eingestellte Durchflussmenge bei 5 bar (Nebel) und 3,5 bar (Vollstrahl) liefern.
73. Der Begriff „Hochhaus“ umfasst nach [britischer] Definition jedes Gebäude, das über 10 Stockwerke hoch ist, wobei sich der Großteil der „Hochhäuser“ im unteren Grenzbereich dieser Definition bewegt²⁷.
Es gibt einen Schlüssel zur Wahl des richtigen Strahlrohres: Gehen Sie in diese Gebäude und testen Sie ihr Equipment auf allen Stockwerken!
Nur so kann man über die Wahl des Strahlrohres und des Schlauchdurchmessers entscheiden, da jeder Einsatz anders sein kann. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass das Equipment immer auf den denkbar schlechtesten Fall (worst case) ausgelegt sein muss – und in den oberen Stockwerken eines Hochhauses bedeutet das eben niedrigen Druck und mangelhafte Wasserversorgung.

²⁶ „'break-apart' nozzles“, d.h. Strahlrohre mit austauschbaren Düsen

²⁷ Seite: 38

[0]Anm. d. Übersetzers: Die deutsche Definition weicht, je nach Bauordnung des Bundeslandes, davon ab.

XXIII. WASSER-ADDITIVE UND DRUCKLUFTSCHAUM (DLS/CAFS)

74. Weiterentwicklungen in der Anwendung von Wasserzusätzen (Additiven) und von Compressed Air Foam System (CAFS) haben gezeigt, dass der Effizienz von Wasser als Löschmittel durch den Einsatz von solchen Lösungen verbessert werden kann. Die Ausbringung von Class A-Schaum-Gemischen als 3D-Nebel resultiert in kleineren Tröpfchen (wegen der geringeren Oberflächenspannung des Wassers) und somit in verbesserter Kühlfähigkeit.
75. Einer der Hauptvorteile von CAFS ist, dass es dem Anwender erlaubt, den Brand von außerhalb des Gebäudes zu bekämpfen. Die Ausbringung von CAFS als Nebel mittels eines Mehrzweckstrahlrohrs entzieht dem Schaum jedoch die Luft, sodass ein Sprühstrahl entsteht, der mit Class A-Wassernebel vergleichbar ist. Die Hauptvorteile von CAFS resultieren daraus, dass es mit einem Rundstrahlrohr ausgebracht wird. Dadurch erhält man eine höhere Reichweite und demzufolge ist es möglich, einen Post-Flashover-Brand aus sicherer Distanz zu bekämpfen, wodurch die Gefahren bei der Brandbekämpfung reduziert werden. CAFS kühlt jedoch NICHT die Gasschicht (man kann Rauch nicht mit Schaum bedecken) und folglich schützt es die Feuerwehrmänner nicht, wenn sie einen Innenangriff vortragen.

XXIV. TRAINING IN SCHWEDISCHEN „FEUERTUNNEL“-CONTAINER-SYSTEMEN

76. Der schwedische Flashover-Simulator ist eine Trainingsstätte, die 1986 vom Swedish National Survival Board entwickelt wurde. Sie knüpft an einige frühere Versuche von Stockholmer Feuerwehrmännern an. Heute gibt es mehrere Versionen dieses Systems, die meisten basieren jedoch auf dem Original und bestehen aus mehreren miteinander verbundenen, stählernen Schiffscontainern, die sowohl die Brand- als auch die Beobachtungsmodule bilden. Das Brandmodul ist mit 1,27 cm [„1/2 inch“] starken Pressspanplatten ausgekleidet. Ein kleines Krippenfeuer wird entzündet, um die Pressspanplatten zu erhitzen, wodurch sich dann beträchtliche Mengen an entzündlichen Brandgasen ansammeln, welche dann in wiederholten Simulationen durchzündeten.

Das ermöglicht es Feuerwehrleuten, die Brandausbreitung und die verschiedenen Stadien der Brandentwicklung zu beobachten: die Bildung von entzündlichen Gasschichten, „Feuerschlangen“ im Overhead und die Entzündung der Gase selbst.

Die Eindrücke sind ziemlich drastisch – bei einer Wärmefreisetzungsrate von annähernd 3 MW sehr verständlich–; strenge Sicherheitskontrollen stellen jedoch sicher, dass die Gefahr für die Feuerwehrmänner minimiert wird.

77. Es ist effektiv, Feuerwehrleute solchen Bedingungen mit einer „Kontroll“- Komponente auszusetzen: sie lernen dadurch, ein Feuer zu „lesen“ und erleben dabei die Auswirkungen von Brandgasdurchzündungen.

Obwohl diese „Flashover“ keine richtigen Flashover im weitesten Sinne sind, stellen sie höchstwahrscheinlich die z. Z. härtesten Trainingsbedingungen dar, denn in diesen Simulatoren werden sowohl die Feuerwehrmänner als auch die PSA bis an ihre Grenzen belastet!

Im Container wird den Feuerwehrmännern nicht nur beigebracht, wie sie die Gefahren von Brandgasdurchzündungen erkennen können, sondern auch, wie sie sowohl mit „Prä“- als auch mit „Post“- Flashoverbränden fertig werden können.

Die Vorgehensweisen, die mit der Gasphasenkühlung und 3D-Wassernebel-Anwendung verbunden sind, werden immer wieder geübt, bis die Strahlrohrführer den Einsatz von wirkungsvollen Strahlmustern, Anwendungswinkeln und der Impulstechnik sicher beherrschen.

Es ist jedoch wichtig, eine strenge Sicherheitsrichtlinie einzuhalten, wobei besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte gerichtet wird:

- a) Zusätzlich zu der/den Leitung(en) im Container sollte eine weitere Leitung, die aus einer anderen Wasserentnahmestelle gespeist wird, außerhalb des Containers bereitgehalten und mit Personal bemannt werden.

- b) Die thermischen Schutzeigenschaften moderner Einsatzkleidung haben eine Situation geschaffen, in der Feuerwehrmänner sich manchmal der Temperatur eines Raumes, in dem sie sich befinden, nicht bewusst sind. Auf diesem Gebiet wurde schon viel getan und die Hersteller haben verschiedene Ideen zur Lösung dieses Problems; unter anderem Displays, die in die Atemanschlüsse hinein projiziert werden, und akustische Alarme, die in Notsignalgeber und in Einsatzkleidung eingebaut werden, die die Feuerwehrmänner vor plötzlichen Änderungen der Temperatur und anderer Bedingungen warnen.

Der Smartcoat [etwa: „intelligente Kleidung“] ist ein Beispiel für solche Einsatzkleidung, bei der Sensoren die Temperaturen im Inneren der Kleidung überwachen und den Feuerwehrmann warnen, wenn eine Temperatur von 65 °C in der PSA erreicht wird.

Dieser Wert rührt daher, da die menschliche Haut Verbrennungen ersten Grades erleidet, wenn 48 °C erreicht werden, Verbrennungen zweiten Grades bei 55 °C und Verbrennungen dritten Grades bei einer Temperatur auf der Haut von 65 °C. In der Realität muss die Haut 71 °C für 60 s bzw. 82 °C für 30 s oder 100 °C für 15 s ausgesetzt sein, um Verbrennungen 2. Grades zu erleiden. Wenn in den Containern der Alarm anschlägt, hat man ungefähr 30 s Zeit, bevor man normalerweise Verbrennungen erleidet!

Jedes Training der Feuerwehrleute in diesem System sollte während den Simulationen und für mindestens 15 min nach Verlassen des Containers genau überwacht werden, um Anzeichen von Hitzeerschöpfung zu erkennen.

- c) Alle Feuerwehrleute sollten ausreichend mit Flüssigkeit versorgt werden, sowohl vor als auch nach Beendigung der Simulationen.

XXV. SCHLUSSFOLGERUNG

78. Die Abgabe von kleinen Mengen an Wassertröpfchen direkt in die angesammelten Brandgase im Overhead ist das Effektivste, was ein Feuerwehrmann während seiner Annäherung an den Brandherd tun kann.
Um effektiv zu sein, erfordert diese Anwendung große Präzision und kontrollierten Einsatz des Strahlrohrs. Um optimale Ergebnisse erzielen zu können, sind außerdem regelmäßiges Training und die Beschaffung von geeignetem Equipment erforderlich.
79. Der Feuerwehrmann des neuen Jahrtausends wird schon bald feststellen, dass es nur einen Weg gibt, mit den Gefahren, die von Flashovern, Backdrafts und Brandgasdurchzündungen ausgehen, sicher umzugehen – und der ist, diese von vornherein zu vermeiden!

XXVI. ÜBER DEN AUTOR

80. Paul Grimwood arbeitete 26 Jahre lang als Berufsfeuerwehrmann. Die meiste Zeit war er in der Innenstadt von Londons West-End tätig. Außerdem arbeitet er auch in den Feuerwehren der West Midlands und Merseyside und war außerdem sehr lange bei den Feuerwehren von New York City, Boston, Chicago, Los Angeles, San Francisco, Las Vegas, Phoenix, Miami, Dallas, Metro Dade Florida, Seattle, Paris, Valencia, Stockholm und Amsterdam tätig. Mitte der 1970er Jahre war er freiwilliger Feuerwehrmann in Long Island/New York State, USA.
81. Seit 1975 hat er die verschiedenen Phänomene erforscht, die mit „Flashover“, „Backdraft“, „Rauchdurchzündung“ und anderen Formen von „schneller Brandausbreitung“ zusammenhängen. Als aktiver Feuerwehrmann hat er mehrere Arten von „Flashovern“ im weiteren Sinne erlebt und versucht, die gesamte bisher gängige Forschung für Feuerwehrleute zusammenzufassen, sodass diese ihre Schlüsse daraus ziehen können.
Die gesamten 80er-Jahre hindurch war er bemüht, CFBT [Compartment Fire Behavior Training = Training für das Verhalten im Innenangriff] beim UK Fire Service einzuführen. Er veröffentlichte mehrere innovative technische Arbeiten in internationalen Zeitschriften, um den Einsatz der Impulstechnik „der neuen Art“, der „indirekten“ Wassernebelanwendung, der taktischen Ventilation sowie von Strategien zur Isolierung von einzelnen abgeschlossenen Räumen voranzutreiben, um die Gefahren der „schnellen Brandausbreitung“ zu bekämpfen.



82. Paul Grimwood hat seit 1984 sehr viel dazu beigetragen, die Techniken, die mit der Gasphasenkühlung zusammenhängen, zu verbessern.
Seine Bücher FOG ATTACK [Nebel-Angriff] und FLASHOVER & NOZZLE TECHNIQUES [Flashover und Strahlrohrtechniken] dienen dazu, die Feuerwehrmänner mit den praktischen Aspekten dieser Technik vertraut zu machen, sie auf einer internationalen Basis einzuführen und die zu dieser Zeit aus Schweden kommenden Theorien weiterzuentwickeln.
Seine Artikel in FIRE CHIEF (1993) und FIRE ENGINEERING (2000) sowie sein Beitrag zur 19. Auflage des NFPA - Handbuchs haben für eine umfassende Berichterstattung über diese lebensrettenden Techniken gesorgt, in der Hoffnung, dass andere Feuerwehrleute vielleicht auf diese neuen Ansätze und Vorgehensweisen aufmerksam werden. www.firetactics.com

XXVII. WARNUNG

83. **Warnung** – Alle Feuerwehrleute sollten sich darüber im Klaren sein, dass alle hier präsentierten Techniken und Methoden zur Anwendung von Wasser bei Zimmerbränden umfassendes Training unter Anleitung von qualifizierten Flashover-Ausbildern erfordern und dass jeder Versuch, diese Art von Brandbekämpfung ohne solches Training nachzuahmen, wirkungslos und möglicherweise gefährlich sein kann.

XXVII. LITERATUR-/QUELLENVERZEICHNIS

- Fleischmann, Pagni und Williamson – Exploratory Backdraft Experiments – Fire Technology V29 No4 S.298-316 (1993)
- Chitty - Survey of Backdraft – FRDG UK Home Office – ref 5/94 S.19
- Chitty - Survey of Backdraft – FRDG UK Home Office – ref 5/94 S.26
- Grant & Drysdale – Suppression & Extinction of Class A Fires Using Water Sprays – FRDG UK Home Office – ref 1/97
- Ramsden – Water mist – a status update – Fire Prevention 287 – März 1996 S.16-20
- Rimen – The use of High-pressure & Low-pressure pumps with Hose Reel Systems – UK Home Office (FEU) report 136 (1990)
- Tuomisaari – Suppression of Compartment Fires with a Small Amount of Water – VTT Building Technology (Fire Technology) 1994
- Bruce – Innovative Fog Nozzles – Fairfax County Fire & Rescue Dept (Research & Planning) 1985
- Giselsson & Rosander – Making the Best Use of Water for Fire Extinguishing Purposes – Fire Magazine (UK) Oktober 1984
- Birk – An Introduction to Mathematical Fire Modelling
- Grimwood – Fog Attack – 1992 – DMG Business Media Ltd (UK) Redhill, Surrey UK
- USFA – Operational Considerations for High-Rise Firefighting – 1996
- Naval Research Laboratory – US Navy – NRL Ltr Rpt 6180/0798.2, 17.11.1994 – Farley JP; Scheffey JL, Siegmann CW; Toomey TA, Williams FW
- Fairfax County Fire & Rescue Dept (USA) – Dezember 1985