



Taktische Brandbekämpfung

**Ein umfassendes Handbuch zur
Innenangriffs- und Realbrandausbildung**

P. Grimwood

K. Desmet

Version 1.1

aus dem Englischen von Adrian Ridder

Anmerkungen des Übersetzers:

Umrechnungen von angloamerikanischen in metrische Einheiten wurden im Ergebnis gerundet. Einige Fachbegriffe wurden zum besseren Verständnis durch Anmerkungen näher erläutert; außerdem empfiehlt es sich, das Glossar vor dem eigentlichen Text zu lesen, um Unklarheiten von vornherein auszuschließen.

Die Beschreibung von Einsatzabläufen etc. sowie die Bezeichnungen der einzelnen Einheiten, Geräte u.ä. wurden weitestgehend der deutschen Nomenklatur angeglichen.

Anmerkungen des Übersetzers im fließenden Text wurden durch [und] kenntlich gemacht (nicht zu verwechseln mit Auslassungen in Zitaten und Literaturangaben mittels [und]).

Diese Übersetzung wurde nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt durchgeführt. Der Übersetzer übernimmt für die Richtigkeit derselben und für eventuelle, versehentlich auftretende Fehler jedoch keinerlei 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@atemschutzunfaelle.de).

An dieser Stelle möchte sich der Übersetzer bei **Florian Pernpeintner** und **Ralf Weippert** für die Co-Korrektur herzlich bedanken.

Titel der Originalausgabe: TACTICAL FIREFIGHTING - A COMPREHENSIVE GUIDE TO COMPARTMENT FIREFIGHTING & LIVE FIRE TRAINING (CFBT)

Schlüsselwörter:

Feuerwehrschtzkleidung, Verbrennungen, CFBT [= Compartment Fire Behavior Training = Training für das Verhalten im Innenangriff (TVIA)], 3D-Nebel, Taktische Brandbekämpfung, Taktische Belüftung, Re-Brandausbildung

Foto auf der Titelseite:

Ian Roberts – Flughafen Manchester, UK, 2003



Firetactics

www.firetactics.com – firetactics@aol.com

Crisis & Emergency Management Centre

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

© 2003, Firetactics, Cemac

Alle Rechte vorbehalten, einschließlich des Rechts der teilweisen oder ganzheitlichen Vervielfältigung des Textes in jeder Form. Kein Teil dieser Publikation darf in kommerziellem Zusammenhang genutzt werden. Die Vervielfältigung dieses Dokumentes oder jedes Teils davon ist für interne Verteilung oder für die Ausbildung gestattet, solange als Quellenangabe das ursprüngliche Dokument genannt wird.

Trotz der Sorgfalt, die bei der Entstehung dieses Dokuments angewandt wurde, können weder der Autor noch der Herausgeber für Schäden verantwortlich gemacht werden, die direkt oder indirekt durch Ratschläge oder Informationen verursacht wurden, die in diesem Dokument enthalten sind.

Paul Grimwood arbeitete 26 Jahre lang als Berufsfeuerwehrmann, die meiste Zeit davon in der geschäftigen Innenstadt von Londons West-End. Darüber hinaus arbeitete er in den Feuerwehren der West Midlands und Merseyside und war 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 war er freiwilliger Feuerwehrmann in Long Island/New York State, USA. Seine Forschungen über *internationale Brandbekämpfungsstrategie & -taktik* erstrecken sich über einen Zeitraum von drei Jahrzehnten und hatten die Veröffentlichung von über 80 wissenschaftlichen Forschungsarbeiten und einem Buch – Fog Attack (1992) – zur Folge. 1989 definierte Paul Grimwood das Konzept der *taktischen Brandbekämpfung* und führte es als Oberbegriff für das breite Spektrum der taktischen Möglichkeiten im Feuerwehreinsatz ein. Außerdem definierte er einige schon bewährte Techniken und Vorgehensweisen neu und trieb gleichermaßen die Erforschung und Entwicklung neuer Techniken, einschließlich 3D-Wasserdampf, Überdruckbelüftung und CAFS, voran. 1992 wurde zum ersten Mal sein Vorschlag einer grundlegenden Schnelleinsatzregel (SER) für zuerst eintreffende Einheiten veröffentlicht. Er gab darin für verschiedene Einsatzlagen die Prioritäten der taktischen Einsatzziele an. Diese SER wurde unter Berücksichtigung von drei Dingen formuliert:

1. Grundlage war eine Untersuchung der Ursachen für vorangegangenen Todesfälle von Feuerwehrleuten im Einsatz
2. Es muss sichergestellt sein, dass die verschiedenen Mittel aus dem breiten Spektrum der taktischen Möglichkeiten konfliktfrei miteinander eingesetzt werden können
3. Betonung des „safe-person concept“¹, einhergehend mit einer Risiko-basierten Gefahreneinschätzung

Koen Desmet ist aktiver freiwilliger Feuerwehrtaucher in Belgien. Er besitzt einen akademischen Grad in Chemie und hat den Titel eines Sicherheitsberaters inne. Kürzlich absolvierte er den Lehrgang zum Führungsdienstgrad und ist nun seit Januar 2005 bei der BF Antwerpen tätig.

Vorher war er an der Universität von Gent in Belgien beschäftigt. Seine Forschungen dort befassten sich mit der chemischen Analyse von Gasen, die bei einer Verbrennung entstehen; dazu wurden Verbrennungsversuche im Labor durchgeführt.

Darüber hinaus ist er Mitglied des Cemac (Crisis & Emergency Management Center), einer nicht-kommerziellen Organisation, die Hilfsdienste und andere Regierungsorganisationen berät und unterstützt.

¹ „**Safe Person Concept**“: Konzept, das die Priorität der Maßnahmen zum Schutz des Arbeitnehmers vom traditionellen Ansatz des sicheren Arbeitsplatzes und von sicheren Arbeitsvorgängen weg zum des Schutzes des Feuerwehrmanns im Einsatz hin verschiebt, da die beiden erstgenannten Faktoren im Feuerwehrdienst selten bis nie in optimalem Maße zu erreichen sind. Schlüsselkomponenten dieses Konzepts sind Training, Ausrüstung, Information, PSA, Auswahl der Bewerber und deren Fortbildung.

DAS BESTREBEN

Der Stv. Kommandant schaute mir in die Augen: „Glauben Sie wirklich, dass sich Feuerwehrmänner die Zeit nehmen, das Zeug zu lesen, das Sie schreiben?“ Wegen dieser Bemerkung zog ich eine Augenbraue hoch, machte eine kurze Pause und überlegte, bevor ich antwortete.

„Ja, ich glaube wirklich, dass es einige gibt, die das starke Verlangen haben, ihr Wissen zu vergrößern, um sich zu besseren Feuerwehrmännern zu machen.“ Er lachte: „Ich wünschte, ich könnte ihren Enthusiasmus teilen, Paul, aber ehrlich gesagt glaube ich nicht, dass ihre Vorstellung der Realität entspricht...“

London 1993

„Die Lehren anderer sind dazu da, um aus ihnen zu lernen.“ Dies sagte ich bereits 1992 [4] und ich sage es heute erneut. Wenn doch nur einige von denen, die seitdem gestorben sind, diese Worte gelesen hätten, nach diesen Ratschlägen gehandelt und gelernt hätten, gefährliche Umgebungen und Umstände zu erkennen... Ich widme dieses Buch all diesen mutigen Seelen und kann nur hoffen, dass es irgendjemandem irgendwo in Zukunft nützen wird.



London, 2003
Paul Grimwood

I. VORGENOMMENE ÜBERARBEITUNGEN

Datum	Bearbeitung	Von:
23.01.03	Korrektur des Layouts	Koen Desmet
14.02.03	„Hochdruck-Backdraft“ hinzugefügt (S. 63)	Paul Grimwood

II. INHALT

I. VORGENOMMENE ÜBERARBEITUNGEN	5
II. INHALT	6
III. ABKÜRZUNGEN	8
IV. EINLEITUNG	10
V. DIE GRUNDLAGEN DER BRANDBEKÄMPFUNG	12
Feuer erklärt	12
Explosionen	17
Brandausbreitung	22
Brandklassen	25
VI. PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG FÜR DEN BRANDEINSATZ	28
Schutzkleidung für den Innenangriff	28
Brandbekämpfungshandschuhe	38
Vergleich von EN- und NFPA-Normen für Brandbekämpfungsschutzkleidung	40
VII. TRAINING FÜR DAS VERHALTEN IM INNENANGRIFF	46
Sicherheit in TVIA-Simulatoren	49
Jüngste CFD-Forschungen über Brandsimulatoren sind fehlerhaft	52
Übertragung des TVIA auf die reale Brandbekämpfung in Gebäuden	54
VIII. SCHNELLE BRANDAUSBREITUNG	57
Flashover	59
Fälle von Flashover in der Vergangenheit	61
Backdraft	61
Fälle von Backdraft in der Vergangenheit	63
Brandgasdurchzündungen	65
Fälle von Brandgasdurchzündungen in der Vergangenheit	70
Homepage-Umfrage	73
Kurzzeitige Ereignisse & Stufenereignisse	75
Tätigkeiten der Feuerwehrleute & Warnsignale	76
Der unzureichend belüftete Brand	79
Flashover-Phänomene: Fragen & Antworten – Verbesserungshinweise	84
IX. „NEUARTIGER“ 3D-WASSERNEBEL IN DER	90
Flashover	92
Anwendung von 3D-Wassernebel	92
Falsche Aussagen	94
Offensiver 3D-Nebelangriff (Gaskühlung)	95
Indirekter (defensiver) kombinierter Wassernebelangriff	98
Direkter Angriff	102
Wechselwirkung zwischen Sprühstrahl und Flammen & Gasen	102
Forschungen aus Skandinavien	105
Vorteile der Anwendung von 3D-Wassernebel	107
Durchflussmengen	107
X. Taktische Ventilation	109
Natürliche Ventilation	110
Überdruckbelüftung	112

Isolierung/Eingrenzung des Brandes (Anti-Ventilation) _____	113
Ventilation in der Praxis _____	113
XI. GLOSSAR _____	115
XII. LITERATUR-/ QUELLENVERZEICHNIS _____	120

III. ABKÜRZUNGEN

B

BFRL	Building and Fire Research Laboratory [Homepage BFRL]
BGD	Brandgasdurchzündung
BMA	Brandmeldeanlage

C

CAFS	Compressed Air Foam System [Druckluftschaumsystem]
CEN	Comitè Européen de Normalisation = Europäisches Komitee für Normung
CFBT	Compartment Fire Behaviour Training [Training für das Verhalten im Innenangriff (=TVIA)]
CFD	Computational Fluid Dynamics [Computersimulationen zur Berechnung von Strömungsvorgängen]

D

3D	dreidimensional
----	-----------------

F

FDNY	New York City Fire Department [BF New York City, Homepage FDNY]
------	--

H

HRR	Heat Release Rate [Wärmefreisetzungsrate]
-----	---

N

NFPA	National Fire Protection Association (USA) [Homepage NFPA]
NIST	National Institute of Standards and Technology (NIST) [Homepage NIST]
NYC	New York City

O

OEG	Obere Explosionsgrenze
OSHA	Occupational Safety & Health Administration [US-Arbeitsschutz-Organisation]

P

PSA	Persönliche Schutzausrüstung
-----	------------------------------

S

SB	Schnelle Brandausbreitung
SER	Standard-Einsatz-Regel: nach dem Vorbild der amerik./brit. SOP's (Standard Operating Procedures) von den einzelnen Feuerwehren erstellte Vorschriften zur einheitlichen Vorgehensweise bei bestimmten Einsatzlagen (z.B. SER VU-Pkw, SER WV, SER MANV, etc.)
SRDB	Scientific Research & Development Group [= Brandschutzforschungseinrichtung der britischen Regierung]

T

TVIA	Training für das Verhalten im Innenangriff
THL	Total Heat Loss = Gesamtwärmeverlust: Durch eine Kennziffer wird angegeben, wie viel Energie die Schutzkleidung von innen nach außen durchdringen kann (Abgabe von überschüssiger Körperwärme)
TPP	Thermal Protection Performance = Thermische Schutzleistung: Durch eine standardisierte Testmethode ermittelter Zahlenwert, an dem sich die Qualität von PSA im Hinblick auf Wärmedurchdringung von außen nach innen ablesen lässt.

U

UEG Untere Explosionsgrenze

ÜDB Überdruckbelüftung

W

WBK Wärmebildkamera

IV. EINLEITUNG

IV.1 Im Februar 1996 führten zwei tragische Brände, bei denen innerhalb von drei Tagen drei Feuerwehrmänner durch Backdrafts ihr Leben verloren, zu einem Wendepunkt in der Brandbekämpfungsstrategie im Vereinigten Königreich. In den frühen Morgenstunden des 1. Februar 1996 stand in Blaina, Wales, eine Küche im Erdgeschoss auf der Rückseite eines zweigeschossigen Hauses in Brand. Die zuerst eintreffende Einheit von 6 Feuerwehrmännern wurde mit der schwierigen Lage konfrontiert, dass Kinder vermisst wurden und vermutlich im ersten Obergeschoss eingeschlossen waren. Das Gebäude war stark verraucht und bei der Ankunft konnte man beobachten, dass Rauch in der Nähe der Dachrinne aus dem Gebäude austrat. Die Feuerwehrmänner entschieden sich dazu, als erstes die Rettung durchzuführen und bis auf weiteres keinen **Innenangriff** oder **Versuch, den Brand einzudämmen**, zu unternehmen. Zwei Schlauchleitungen (19 mm-Schnellangriffsleitungen) wurden zum Gebäude gelegt; keine der beiden wurde jedoch vor dem Backdraft, der fünf Minuten nach Ankunft auftrat, eingesetzt. Es waren Flammen zu beobachten, die aus dem rückwärtigen Küchenfenster schlugen; der Zimmerbrand hatte das Post-Flashover-Stadium erreicht. Dennoch war eine deutliche **Schwerkraftströmung** [20] vorhanden, begleitet von großen Mengen von dichtem schwarzem Rauch, die aus dem Eingang an der Vorderseite entwichen. Ein Backdraft kostete zwei Feuerwehrmänner das Leben, da sich das Feuer über mehrere Minuten hinweg unkontrolliert entwickeln konnte.

IV.2 Nur drei Tage später wurde eine weibliche Feuerwehrangehörige durch einen Backdraft getötet, der sich in einem großen Supermarkt in Bristol ereignete. Als vier Feuerwehrdienstleistende (unter ihnen das Opfer) das Gebäude zur Brandbekämpfung durch den Haupteingang betraten, wurde beobachtet, dass die dichte schwarze Rauchsicht in Bewegung war, d.h. sich kontinuierlich hob und senkte. Nur fünf Minuten, nachdem die Feuerwehrleute das Gebäude betreten hatten, wurde ein starker, „heulender“ Luftzug beobachtet, der in den Haupteingang wehte und so die Flammen nach innen drückte. Die resultierende Entzündung der Brandgase breitete sich über die gesamte Fläche des Geschäftes, die sehr groß war, sowohl innerhalb als auch unterhalb der abgehängten Decke aus Faserplatten mit einer geschätzten Geschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde (Gasverbrennung mit hoher Geschwindigkeit) aus. Die mit der Explosion einhergehende Druckwelle riss einen Feuerwehrmann buchstäblich von den Füßen.

Hätten die Feuerwehrmänner das Gebäude unter solchen Bedingungen überhaupt betreten sollen? Das kontinuierliche Heben und Senken der Rauchsicht ist mit großer Wahrscheinlichkeit das Ergebnis des *zyklischen Pulsierens*, welches wiederum von kurzen Durchzündungen (periodische Verbrennung) in den Schichten aus einem überfetten Gas-/Luftgemisch hervorgerufen wird. Es könnte auch mit dem Phänomen der „Aufblähung“ zusammenhängen, das von SUTHERLAND beobachtet wurde [15]. Da diese Entzündungen regelmäßig auftreten, Seite: 10

verursacht die wiederholte Erwärmung eine Ausdehnung der Brandgase, und in der Folge das Heben und Senken der Rauchsicht. Ein solcher Vorgang muss als klassisches Warnsignal für einen Backdraft angesehen werden.

IV.3 Tragischerweise habe ich nur vier Jahre vor diesen Unfällen folgende Warnung ausgesprochen: **„Ein Feuerwehrmann sollte versuchen herauszufinden, in welchen Gebäuden seiner Umgebung Faserbauplatten in größerem Ausmaß verbaut wurden und sich sehr gut einprägen, dass dort im Falle eines Brandes ein hohes Backdraftpotential vorhanden ist. (...)“** [4]

IV.4 Wie man sich leicht vorstellen kann, sorgten diese beiden Zwischenfälle dafür, dass es zu einer Änderung in der Art und Weise kam, wie Feuerwehrleute im Vereinigten Königreich zukünftig an Zimmerbrände herangehen sollten. Es wurden umgehend Überlegungen angestellt, wie die nationalen Ausbildungsprogramme dahingehend angepasst werden könnten, um die Feuerwehrmänner in den wichtigen Aspekten des Verhaltens im Innenangriff und der mit Flashover verbundenen Phänomene zu schulen. In Verbindung mit der Philosophie von safe-person-Konzepten und Gefährdungsanalysen bei Brandeinsätzen wurde ein neuer Ansatz formuliert, der auf dem ursprünglichen schwedischen Trainingsmodell (CFBT) basierte, welches ich 1991 im Vereinigten Königreich bekannt gemacht hatte [4]. Unter ähnlichen Umständen hatte auch die Feuerwehr in Schweden ihr nationales CFBT- Projekt im Laufe der 1980er gestartet. Auch mehrere andere Länder haben inzwischen aufgrund ähnlicher tödlicher Dienstunfälle den Nutzen dieser neuen Art der Ausbildung erkannt.

V. DIE GRUNDLAGEN DER BRANDBEKÄMPFUNG

V.1 Bevor wir die taktischen Aspekte der Brandbekämpfung betrachten, müssen wir sicherstellen, dass zuerst einmal alle Grundlagen verstanden wurden. Dieser Abschnitt wird deshalb für die einen nur eine Auffrischung, für andere eine kurze Einführung in die Brandbekämpfung sein. Darüber hinaus ist es wichtig, ein gewisses Hintergrundwissen in Verbrennungslehre zu besitzen, bevor man die anderen Aspekte der taktischen Brandbekämpfung angeht [1].

Feuer erklärt

V.2 Damit eine Verbrennung stattfinden kann, müssen mehrere Bedingungen erfüllt sein. Die beiden ersten Voraussetzungen sind brennbarer Stoff und Sauerstoff. Der Begriff **brennbarer Stoff** kann von ganzen Wäldern bis hin zu Möbeln oder von Rohöl bis hin zu Benzin alle Arten brennbarer Materialien bezeichnen. Ein brennbarer Stoff kann in jedem Aggregatzustand vorkommen, d.h. Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe können brennen.

V.3 Der benötigte **Sauerstoff** stammt normalerweise aus der Umgebungsluft. Die Sauerstoffkonzentration in normaler Luft beträgt ungefähr 21 %. Wird die Sauerstoffkonzentration gesenkt, wird auch die Verbrennung gehemmt und eventuell gestoppt. Wird die Sauerstoffkonzentration jedoch erhöht, läuft die Verbrennung heftiger ab. Ein Gegenstand kann mit Sauerstoff durchtränkt werden und sich dann plötzlich entzünden, wenn eine Zündquelle zugeführt wird. Eine solche Situation kann z.B. in Krankenhäusern oder anderen Umgebungen auftreten, in denen Sauerstoff verwendet wird. Sauerstoff ist aber auch in Molekülen enthalten. In organischen oder anorganischen Peroxiden kann der im Molekül vorhandene Sauerstoff die Verbrennung aufrechterhalten. Dieser Effekt wird bei Schießpulver und Feuerwerken ausgenutzt.

V.4 Wissenschaftlich ausgedrückt kann man Feuer als eine **exotherme Reaktion zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff** bezeichnen. Das bedeutet, dass die Reaktion Energie, d.h. Wärme, freisetzt. Neben Wärme produziert ein Feuer im Allgemeinen Licht, Brandgase und Ruß.

V.5 Um ein Feuer zu entzünden, wird eine bestimmte Menge **Energie** benötigt. Man kann diesen Sachverhalt veranschaulichen, indem man einen einfachen Test mit Benzin und Dieseldieselkraftstoff durchführt: ein Streichholz besitzt genug Energie, um das Benzin zu entzünden; im Diesel jedoch erlischt das Streichholz. In der Chemie wird die Energie, die benötigt wird, um eine Reaktion zu starten, **Aktivierungsenergie** genannt. Chemische Reaktionen müssen diese Aktivierungsenergie erst überwinden, bevor die eigentliche Reaktion stattfinden kann (Enthalpie, Wärmelehre). Bei einem Feuer können die Energiequellen, die das Feuer entzünden, sehr unterschiedlich sein, z.B. ein Streichholz, eine offene Flamme, Elektrizität, Sonnenlicht, usw. Sobald die Reaktion jedoch begonnen hat, produziert sie mehr als genug Energie, um sich selbst am Laufen zu halten: es kommt zu einer **Kettenreaktion**. Die überschüssige Energie tritt in Form von Licht und Wärme auf, die beide vom Feuer abgegeben werden.

V.6 Die beim Verbrennungsprozess freigesetzte Energie verursacht die **Pyrolyse** und das Verdampfen des brennbaren Stoffs. Im Pyrolyseprozess wird die chemische Zusammensetzung des brennbaren Stoffs in kleinere Moleküle zerlegt. Diese Moleküle verdampfen und reagieren mit dem Luftsauerstoff. Stöchiometrische oder vollständige Verbrennung bedeutet, dass gerade so viele Sauerstoffmoleküle vorhanden sind, um alle Moleküle des brennbaren Stoffs zu oxidieren. Wenn Kohlenwasserstoffe vollständig verbrennen würden, bliebe nur Wasser und Kohlenstoffdioxid zurück. Derartige Idealbedingungen liegen jedoch nur selten vor, weshalb wir anmerken müssen, dass auch noch andere **Verbrennungsprodukte** gebildet werden. Bei den Kohlenwasserstoffen nimmt die Bildung von Kohlenstoffmonoxid und Rußpartikeln mit zunehmendem Sauerstoffmangel zu. Werden andere brennbare Stoffe verbrannt, werden entsprechend andere giftige Produkte gebildet, je nachdem, wie die chemische Zusammensetzung des brennbaren Stoffs ist. Derartige giftige Stoffe können z.B. Chlorwasserstoff, Blausäure, Bromwasserstoff, Schwefeldioxid, Isocyanat usw. sein. Eine nicht vollständige Liste dieser Produkte und ihres möglichen Ursprungs ist in Tabelle V.1 angegeben.

Giftstoff	Ursprung	Toxikologische Auswirkung
Kohlendioxid	Übliches Verbrennungsprodukt	Ungiftig, kann vorhandenen Sauerstoff verdrängen, Wirkung auf Blut, Nerven und Zellen (BNZ)
Kohlenmonoxid	Übliches Verbrennungsprodukt	Wirkung auf Blut, Nerven, Zellen (BNZ)
Stickoxide	Übliches Verbrennungsprodukt, Zellulose, Zelluloid, Textilien	Reiz- & Ätzwirkung
Blausäure	Wolle, Seide, Polyacrylnitril [=Nylon], Nylon (Polyamid), Polyurethane	BNZ
Schwefelwasserstoff	Gummi, Rohöl, schwefelhaltige Verbindungen	BNZ, fauliger Geruch
Chlorwasserstoff	Polyvinylchlorid (PVC), einige feuerhemmende Materialien	Reiz- & Ätzwirkung
Bromwasserstoff	Einige feuerhemmende Materialien	Reiz- & Ätzwirkung
Fluorwasserstoff	Fluorpolymere	BNZ, Reiz- & Ätzwirkung
Schwefeldioxid	Schwefelhaltige Materialien	starke Reiz- & Ätzwirkung
Isocyanat	Polyurethane Polymere	Reiz- & Ätzwirkung
Acrolein und andere Aldehyde	Polyolefin, usw., übliches Verbrennungsprodukt	Reiz- & Ätzwirkung
Ammoniak	Wolle, Seide, Nylon, Melamin, normalerweise nur in geringen Konzentrationen bei Zimmerbränden	Reiz- & Ätzwirkung
Phosgen	Chlorierte Salze, einige chlorierte Kohlenwasserstoffe	BNZ, Reiz- & Ätzwirkung, verursacht Hautverbrennungen
Polyaromatische Kohlenwasserstoffe	Übliches Verbrennungsprodukt, z.B. in Ruß	Langzeitauswirkungen
Dioxin	Verbrennung von PCB (polychloriertes Biphenyl)-haltigen Stoffen	Langzeitauswirkungen
Bromiertes Dioxin	Einige bromierte feuerhemmende Materialien	Langzeitauswirkungen

Tabelle V.1.: Übliche Verbrennungsprodukte

V.7 Wenn man alle bisher genannten Faktoren miteinander kombiniert, kann man das Verbrennungsdreieck bilden, das alle Faktoren symbolisiert, die für eine Verbrennung nötig sind. Neben brennbarem Stoff, Sauerstoff und Energie sollte man jedoch auch das **Mischungsverhältnis** zwischen Sauerstoff und brennbarem Stoff erwähnen. Ein Holzklotz wird sich nicht mit einem Streichholz entzünden lassen, etwas Holzwolle jedoch sehr wohl. Denn in diesem Fall liegt ein besseres Mischungsverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff vor, was die Verbrennung begünstigt. Eine viel größere Oberfläche des brennbaren Stoffs hat Kontakt zur Luft, sodass eine größere **Reaktionsoberfläche** vorhanden ist.

V.8 Noch ein weiterer Faktor des Verbrennungsprozesses soll nicht unerwähnt bleiben: der **Hemmstoff oder Inhibitor**. Bei einer Verbrennung tritt eine chemische Kettenreaktion auf; Radikale des brennbaren Stoffs reagieren mit Radikalen des Sauerstoffs und sowohl Wärme als auch Verbrennungsprodukte werden freigesetzt bzw. gebildet. Indem man ein chemisches Molekül (den Hemmstoff) hinzu gibt, der mit diesen Radikalen reagiert, ohne die Verbrennung aufrecht zu erhalten, kann man das Feuer löschen. Dieses Prinzip wird in Pulver-Feuerlöschern angewandt, die z.B. Kalium- oder Natriumbicarbonat enthalten. Das gleiche Prinzip wurde in den heute verbotenen Halon-Feuerlöschern genutzt. Ein Katalysator hat den genau entgegengesetzten Effekt eines Hemmstoffs. Ein Katalysator ist eine Substanz, die die Reaktion beschleunigt, ohne während der Reaktion verändert oder verbraucht zu werden. So unterstützt z.B. die Zugabe von Metallspänen die Verbrennung von ölgetränkten Lappen. Alle fünf Faktoren, die beim Verbrennungsprozess eingebunden sind, werden in der Abbildung V.1 dargestellt.

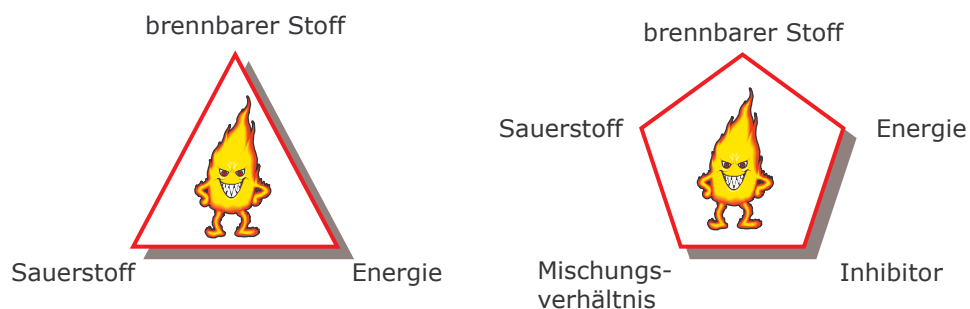


Abb. V.1: Verbrennungsdreieck und Verbrennungsfünfeck

V.9 Die **Zündtemperatur** einer Substanz (egal ob fest, flüssig oder gasförmig) ist die niedrigste Temperatur, auf die die Substanz erhitzt werden muss - während sie der Luft ausgesetzt ist - um eine Verbrennung zu ermöglichen. Die niedrigste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit ausreichend Dämpfe entwickelt, die in der Nähe der Oberfläche der Flüssigkeit oder im verwendeten Gefäß bei Vermischung mit Luft brennbar sind und von einem Zündfunken oder einer Energiequelle entzündet werden können, wird **Flammpunkt** genannt. Einige Feststoffe wie z.B. Campher oder Naphthalin gehen schon bei Zimmertemperatur vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand über. Der Flammpunkt dieser Feststoffe kann schon erreicht werden, wenn sie noch fest sind. Die niedrigste Temperatur, bei der die Verbrennung einer Substanz fortschreitet, liegt üblicherweise einige Grad über deren Flammpunkt und wird **Mindestverbrennungstemperatur** genannt. Es ist schwierig, eine spezifische Zündtemperatur von Feststoffen festzulegen, da diese von mehreren Faktoren abhängig ist, wie z.B. der Feuchtigkeit (z.B. feuchtes oder trockenes Holz), der Beschaffenheit (z.B. behandeltes oder unbehandeltes Holz) und der physikalischen Form des brennbaren Stoffes (z.B. Holzstaub oder Holzspäne im Vergleich zu einem Holzsplit). Übliche Zündquellen und die von diesen erzeugten Temperaturen sind in Tabelle V.2 vermerkt.

Zündquelle	Temperatur in °C
Streichholz	800
Streichholz bei der Entzündung	1500
Zigarette	300 – 400
Brennendes Holz	1000 – 1400
Kerze	700 – 1400
15 cm von einer Kerze entfernt	200
Gasflamme	1000 – 1500
Lichtbogen	4000
Glühlampe	170 – 200
Alkoholflamme	1200 - 1700
Schneidbrenner	2000 - 3000

Tabelle V.2: Ungefähre Temperaturen von Zündquellen

V.10 Die **Selbstentzündungstemperatur** eines Stoffes ist die niedrigste Temperatur, bei der sich ein Feststoff, eine Flüssigkeit oder ein Gas ohne Vorhandensein einer Zündquelle entzünden. Derartige Bedingungen können aufgrund äußerer Erwärmung auftreten – so bringt z.B. eine Bratpfanne, die zu heiß wird, Öl zur Selbstentzündung; ein anderes Beispiel ist der Auspuff eines Autos, das über trockenes Gras oder Stroh fährt, und so dessen Selbstentzündung verursachen kann – oder sie können aufgrund chemischer oder biologischer Prozesse vorhanden sein; so können z.B. biologische Prozesse in feuchtem organischem Material Silo-Brände verursachen. Die Selbstentzündungstemperatur einer Substanz liegt über ihrem Flammpunkt. Die Selbstentzündungstemperaturen üblicher Feststoffe sind in Tabelle V.3 angegeben.

Feststoff	Selbstentzündungstemperatur in °C
Polyvinylchlorid (PVC)	470
Nylon	450
Polyethylen (PE)	350
Polystyrol (PS)	490
Polyurethan (PUR)	420
Polycarbonat (PC)	570
Teflon	600
Holz	250 – 350
Papier	200 – 350
Heu	230
Stroh	240
Wolle	570
Streichhölzer	160 – 180
Kohle	+/- 350
Holzkohle	140 – 300
Baumwolle	300 - 400

Tabelle V.3: Ungefähre Selbstentzündungstemperaturen von Feststoffen

V.11 Die Flammpunkte, Selbstentzündungstemperaturen, Explosionsgrenzen und Dampfdichten einiger üblicher Flüssigkeiten sind in Tabelle V.4 angegeben.

Stoff	Selbstentzündungs- temperatur °C	Flammpunkt °C	Explosions- grenzen Vol. %	Dampfdichte (im Bezug auf Luft)
Aceton	600	- 20	2 - 13	2
Benzol	500	- 14	1,4 - 7	2,7
Diesel	250 - 400	40 - 100	0,5 - 7	6 - 8
Ether	190	- 41	1,7 - 48	2,6
Ethanol	460	10	3,3 - 19	1,6
Bratfett	350	+/- 250 - 380	-	-
Benzin	260	- 45 bis - 18	1 - 7	3,5
Hexan	225	- 22	1,2 - 7,4	3
Methanol	480	- 6	6 - 36	1,1
Xylol	480	20 - 25	1 - 6	3,7

Tabelle V.4: Eigenschaften von flüssigen brennbaren Stoffen

V.12 Wenn man Explosionen oder Brände von Flüssigkeiten bzw. Dämpfen untersucht, ist es wichtig, auf die **Dampf- oder Gasdichte** dieser Stoffe im Verhältnis zur Luft zu achten. Bei dieser Betrachtungsweise hat Luft den Faktor 1; folglich ist eine Substanz mit einer relativen Dampfdichte von 1,5 eineinhalb Mal „schwerer“ als Luft und eine Flüssigkeit mit einer relativen Dampfdichte von 0,5 nur halb so „schwer“ wie Luft. Dämpfe oder Gase, die schwerer als Luft sind, bleiben in Bodennähe oder breiten sich in tiefer gelegene Bauwerke, wie z.B. Abwasserkanäle oder Keller, aus. Durch diese abwärts gerichtete Ausbreitung kann ein örtlich begrenzter Zwischenfall auch noch in größerer Entfernung Auswirkungen haben. Um diesen Effekt der Dampfdichte zu veranschaulichen, kann man einen Versuch mit einem benzingetränkten Kleidungsstück, einer Kerze und einer Rinne durchführen. Wenn man die Kerze am niedriger gelegenen Ende der schräg gestellten Rinne platziert und das Kleidungsstück am oberen Ende der Rinne ablegt, fließen die Benzindämpfe durch die Rinne abwärts, entzünden sich am unteren Ende der Rinne und die Flammen schlagen über die Rinne zum oberen Ende zurück.

V.13 Wenn man die in Tabelle V.4 angegebenen Dampfdichten betrachtet, fällt auf, dass sie alle schwerer als Luft sind. Nur die Dampfdichte von Methanol erreicht annähernd die von Luft. Wenn man sich Tabelle V.6 anschaut, wird man merken, dass nur wenige Gase eine kleinere Dampfdichte als Luft besitzen. Gase, die leichter als Luft sind, haben den Vorteil, dass sie sich verflüchtigen, wenn sie im Freien austreten. Natürlich sollte man auch dann immer Vorsicht walten lassen.

V.14 Beim Betrachten von Flüssigkeiten ist neben der Dampfdichte auch deren **Flüchtigkeit** wichtig. Die Flüchtigkeit beschreibt, wie leicht eine Flüssigkeit verdampft. Die Flüchtigkeit eines Produktes ist eng mit seinem Siedepunkt verknüpft. Je höher der **Siedepunkt einer Flüssigkeit** liegt, desto schwerer verdampft die Flüssigkeit. Der Austritt einer bestimmten Menge leichtflüchtiger Flüssigkeit ist Besorgnis erregender als der Austritt der gleichen Menge schwerflüchtiger Flüssigkeit. Zum einen deshalb, weil es für die leicht flüchtigen Flüssigkeiten ein Leichtes ist, an eine Zündquelle zu gelangen, zum anderen wegen der Giftigkeit dieser Dämpfe. Eine wissenschaftlichere Bezeichnung für Flüchtigkeit ist der gesättigte **Dampfdruck** einer Flüssigkeit bei einer bestimmten Temperatur, d.h. der Druck, der bei dieser Temperatur von der Flüssigkeit ausgeübt wird. Je größer der Dampfdruck einer Flüssigkeit ist, desto mehr Dampf wird erzeugt. Der Dampfdruck hat Auswirkungen auf die Ausdehnung und die Fläche der Gas/Luft-Freisetzung. Der Dampfdruck einer Flüssigkeit wächst mit steigender Temperatur. Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist als die Temperatur definiert, bei welcher der Dampfdruck 1 Atmosphäre erreicht. Je niedriger der Siedepunkt liegt, desto größer ist der Dampfdruck bei normalen Umgebungstemperaturen und damit auch das Brandrisiko. Dampfdrücke bei 20 °C und 1 Atmosphäre sind in Tabelle V.5 angegeben.

Substanz	Dampfdruck
Wasser	25 mm Hg
Ethanol	40 mm Hg
Benzin	180 mm Hg
Aceton	180 mm Hg
Ethylether	440 mm Hg

Tabelle V.5: Dampfdrücke von Flüssigkeiten

Explosionen

V.15 Die Explosion eines Gas-Luft- bzw. eines Dampfgemisches kann nur unter gewissen Bedingungen stattfinden. So wird z.B. ein unterirdischer Tank, der halb oder fast voll mit Benzin gefüllt ist, nicht auf Grund eines Feuers an der Oberfläche explodieren. Durch die große Menge an Dämpfen (deren Dichte größer als Luft ist) entsteht ein überfettes Gemisch, das sich nicht entzünden kann. Falls der Tank jedoch fast leer ist, befindet sich nun auch Luft im Tank, da der Tank andernfalls durch das entstehende Vakuum beschädigt würde (Impllosion). Die verbliebene Flüssigkeit verdampft und verteilt sich fein im Tank. Nun wird sie jedoch keine Atmosphäre schaffen, die zu fett für eine Entzündung wäre, d.h. ein Funke oder eine Flamme, die zu diesem Zeitpunkt in das Innere des Tanks gelangt, könnte eine Explosion verursachen. Moderne unterirdische Benzintanks sind mit einem Flammenschutzgitter ausgerüstet, welches das Eindringen einer Zündquelle verhindert. Den Bereich, in dem sich ein Gas oder Dampfgemisch entzünden oder explodieren kann, nennt man **Zündbereich** (Abb. V.2). Die Grenzen dieses Bereichs werden **untere Explosionsgrenze (UEG)** und **obere Explosionsgrenze (OEG)** genannt. Ein Gas-Luft-Gemisch eines brennbaren Gases unterhalb der UEG wird sich nicht entzünden, wenn es in Kontakt mit einer Zündquelle gerät; man sagt, es ist zu mager, um sich zu entzünden. Ein Gas-Luft-Gemisch oberhalb der OEG wird ebenfalls nicht zünden; die Mischung ist dann zu fett (oder auch „überfett“).

Nur sehr wenige Stoffe, z.B. Ethylenoxid, sind dazu fähig, sich zu zerlegen und zu verbrennen, wenn kein Sauerstoff vorhanden ist.

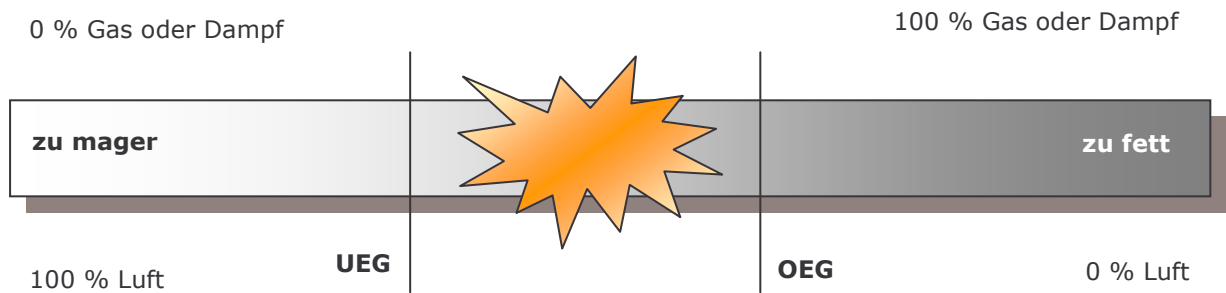


Abb. V.2: Der Zündbereich

V.16 Ein Gas-Luft-Gemisch bzw. Dampf-Luft-Gemisch, das sich innerhalb des Zündbereichs befindet, wird sich entzünden, sobald die vorhandene Energiequelle genug Energie freisetzt. Die **Mindestentzündungsenergie** eines Stoffes, d.h. die minimale Energiemenge, die benötigt wird, um eine Explosion in Gang zu bringen, kann man in der einschlägigen Literatur nachschlagen. Die Mindestentzündungsenergie eines Gas/Dampf-Luft-Gemisches variiert zwischen 0,01 und 0,30 Millijoule. Gase wie Kohlenmonoxid, Schwefelkohlenstoff, Acetylen, Ethylenoxid, Wasserstoff usw. haben eine Mindestentzündungsenergie von unter 0,1 mJ. Die Energie, die von einem Blitzlicht, einem Handy, einer Türklingel o.ä. freigesetzt wird, kann schon ausreichend sein, um eine Explosion zu verursachen. Indem man die Temperatur oder die Energiefreisetzung eines Gerätes begrenzt, kann man explosionsgeschützte Ausrüstung herstellen. Das gleiche Ziel kann man auch dadurch erreichen, indem man die Geräte so konstruiert, dass sie gegen die Gase und Dämpfe isoliert sind. Man sollte jedoch beachten, dass die europäischen und amerikanischen Vorstellungen von „explosionsgeschützt“ unterschiedlich sind. Je nachdem welche Sicherheitsrichtlinien für ein Gerät gelten, kann man es unter gewissen Bedingungen – d.h. bei Gegenwart von bestimmten Gasen - einsetzen, unter anderen Umständen jedoch nicht. Explosionsgeschützte Ausrüstung wird in verschiedene Klassen eingeteilt. Vor einer Beschaffung entsprechender Geräte sollte man sich darüber genau informieren.

Gas	UEG (%)	OEG (%)	Relative Dichte
Erdgas	4	15	0,55
Acetylen	1,5	82	0,91
Butan	1,5	8,5	2,01
Propan	2,1	9,5	1,56
Wasserstoff	4	75,6	0,07
Ammoniak	16	25	0,58
Ethylenoxid	2,6	100	-

Tabelle V.6: Zündbereich von Gasen

V.17. Ein Anstieg der Umgebungstemperatur führt zu einer Vergrößerung des Zündbereiches, d.h. der Konzentrationsbereich, in dem eine Explosion auftreten kann, wird erweitert (wie in Abb. V.3 abgebildet). Neben einer Temperaturerhöhung kann auch die Zunahme der Sauerstoffkonzentration den Zündbereich eines Stoffes vergrößern.

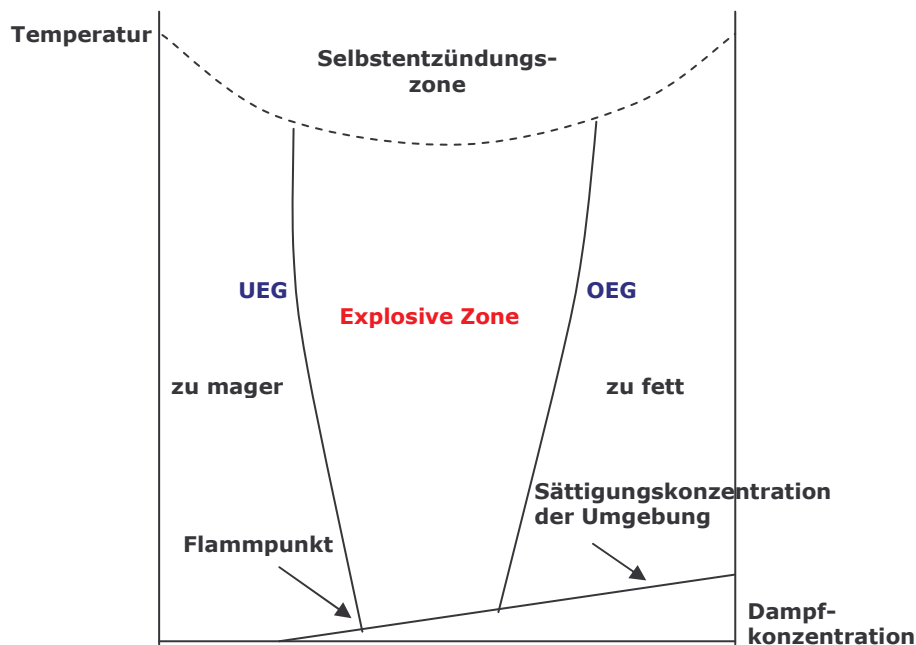


Abb. V.3: Auswirkung der Temperatur auf den Zündbereich

V.18 Wie heftig eine Explosion verläuft, hängt von der Geschwindigkeit der sich ausbreitenden Flammenwand ab. Bleibt die Geschwindigkeit der Flammen unter 340 m/s spricht man von einer Deflagration [d.h. einer sehr starken Verpuffung]. Ist die Geschwindigkeit größer als 340 m/s – und sie kann sogar bis zu 1800 – 2000 m/s erreichen – spricht man von einer **Detonation** [Hier zeigt sich ein Unterschied zu entsprechenden deutschen Definitionen, in denen die Geschwindigkeit einer Verpuffung im Bereich cm/s, einer Explosion im Bereich m/s und eine Detonation im Bereich km/s liegt]. Für den Laien besteht der Unterschied dieser beiden Ereignisse darin, dass die Geschwindigkeit höher oder niedriger als die Schallgeschwindigkeit, also **supersonisch** bzw. **subsonisch**, ist. Nach der Entzündung breitet sich die Flammenwand aufwärts durch das entzündliche Gas-Luft-Gemisch aus, wobei es durch die Volumenvergrößerung auf Grund der exothermen Verbrennungsreaktion vorangetrieben wird. Diese Volumenvergrößerung verursacht einen Druckstoß, der das entzündliche Gemisch vor der Flammenwand verdichtet. Wegen der hohen Temperatur der Flammenwand verursachen die Wärmestrahlung und die Kompression der Gase die Selbstentzündung dieser entzündlichen Mischung. Bei einer Detonation fallen die Druckwelle und die Flammenwand zeitlich zusammen, sodass Überschallgeschwindigkeiten erreicht werden. In Gaswolken kommt eine echte Detonation - außer bei explosiven Stoffen wie Wasserstoff oder Ethylenoxid - selten vor. Hindernisse, die einer Deflagration im Weg stehen, können diese jedoch zu einer Detonation - oder zumindest annähernd so schnell - beschleunigen.

V.19 Entzündliche Stäube, die aus Metallen (z.B. Aluminium) oder organischen Verbindungen wie z.B. Zucker, Milchpulver, Getreide, Kunststoffen, Pestiziden, pharmazeutischen Erzeugnissen, Holzstaub etc. bestehen, können explodieren. Eine Staubexplosion ist die explosive Verbrennung einer Mischung aus entzündlichem Staub und Luft. Anders ausgedrückt ist es eine Verbrennungsreaktion in einer Mischung aus fein verteiltem Staub und Luft, die von einem örtlich begrenztem Temperaturanstieg in Gang gesetzt wird und sich dann durch das gesamte Gemisch hindurch ausbreitet. Eine Staubexplosion wird im Allgemeinen zu den Deflagrationen gezählt. Der Zündbereich einer Staubexplosion ist sehr viel theoretischer als der einer Gasexplosion; er ist in der Realität nur schwer zu bestimmen. Neben der **Staubkonzentration in der Luft** hängt der Zündbereich noch von weiteren Faktoren ab:

Partikelgröße

Ein Staub ist umso explosiver, je feiner verteilt er ist und je unregelmäßiger die Form der einzelnen Partikel ist (größere Reaktionsoberfläche). In der Realität besteht eine Staubwolke aus Partikeln unterschiedlicher Größe.

Feuchtigkeitsgehalt

Je größer der Feuchtigkeitsgehalt im Staub ist, desto geringer ist die Gefahr einer Staubexplosion. Der Staub wird umso explosiver, je trockener und feiner verteilt er ist.

„Verunreinigte“ Stäube

Das Vorhandensein entzündlicher, flüchtiger Anteile im Staub, wie z.B. bei Körnchen aus Polystyrol (besser bekannt als Styropor®), extrahierten Sojabohnen (oder anderen Saatgutabfallstoffen) oder auch Holzstaub, der Farbe oder Lack enthält, kann eine Explosion beschleunigen. Sind derartige Anteile vorhanden, ist die benötigte Zündenergie geringer.

Verweilzeit

Die Zeit, die der Staub in der Luft verbleibt – und in der er somit explosiv ist – hängt von seiner Dichte ab.

Sauerstoffkonzentration

Je größer die Sauerstoffkonzentration ist, desto leichter kommt es zu einer Verbrennungsreaktion.

Verwirbelung

Verwirbelungen können die Flammenwand beschleunigen, aber auch verlangsamen.

Temperatur

Je höher die Umgebungstemperatur ist, desto leichter kommt es zur Entzündung des Staubes.

Träge Partikel

Das Vorhandensein von trägen Partikeln wie Wasserdampf oder inertem Staub verlangsamt die Reaktion.

V.20 Als **Faustregel** kann hier gelten: Wenn Sie ihre Hand bei vollständig ausgestrecktem Arm wegen des Staubes nicht mehr sehen können, ist die Situation als explosiv zu betrachten.

V.21 „Eine Staubexplosion kann Folgeexplosionen verursachen.“ Die Tatsache, dass eine ursprünglich begrenzte Staubexplosion weitere Explosionen verursachen kann, macht Staubexplosionen so tückisch. Eine kleine Explosion kann dazu führen, dass Staub, der sich auf Oberflächen abgelagert hat, aufgewirbelt wird, wodurch er von der ersten Explosion entzündet werden kann. Auf diese Art und Weise kann es zu einer Kettenreaktion kommen, die sich in der gesamten Anlage bzw. im gesamten Zimmer fortsetzt, solange Staub in ausreichender Menge vorhanden ist.

V.22 Die Entzündung eines Staub-Luft-Gemisches benötigt eine viel höhere Entzündungsenergie als die eines Gas-Luft-Gemisches (ca. 10 mJ, verunreinigte Mischungen etwas weniger). Jeder der oben genannten Faktoren hat Einfluss darauf, wie viel Energie zur Entzündung des Gemisches nötig ist. Im Allgemeinen sind folgende Zündquellen bekannt:

- Offenes Feuer: z.B. Schweißarbeiten, Rauchen, ein früherer Brand(!)
- Mechanische Funken oder Erwärmung durch Reibung: z.B. eine verklemmte Führungsschiene einer Maschine
- Heiße Oberflächen: z.B. Glühlampen
- Spontane Selbstentzündung: auf Grund von biologischen oder chemischen Prozessen
- Elektrische Funken

V.23 Die Zündtemperatur der häufigsten Staub-Luft-Gemische liegt zwischen 330 °C und 400 °C. Diese Temperatur wird von heißen Oberflächen im Industriebereich leicht erreicht. Eine Staubschicht, die auf einer heißen Oberfläche liegt, kann zu schwelen beginnen, da die oberen Schichten die unteren abdecken und somit isolieren, was einen Temperaturanstieg nach sich zieht. Je dicker die Staubschicht ist, desto niedriger ist die Temperatur, die benötigt wird, um die Schicht zum Schwelen zu bringen. Eine 5 mm-dicke Mehl-Schicht benötigt z.B. nur eine Temperatur von 250 °C, um in weniger als zwei Stunden zu schwelen zu beginnen. Eine solche Temperatur wird schon von der Oberfläche einer Glühbirne leicht erreicht. Regelmäßige Reinigung einer Einrichtung ist deshalb ein Muss (bis zu 1mm Staub kann toleriert werden).

V.24 Wenn man zu einem Brand in einer Einrichtung ausrückt, in der entzündlicher Staub vorhanden ist, sollte man sich der Möglichkeit einer Staubexplosion bewusst sein und Informationen bezüglich dieser Gefahr einholen. Überprüfen Sie, ob die einzelnen Räume staubfrei sind (d.h. weniger als 1 mm Staub auf Oberflächen liegt). Wenden Sie die Faustregel an (1m Sichtweite?!?). Falls das Risiko einer Staubexplosion vorhanden ist, sollten Sie so verfahren, wie Sie auch bei einer eventuellen Gasexplosion handeln würden. Betreten Sie keine Räume, setzen Sie nur soviel Personal ein, wie unbedingt notwendig ist, bekämpfen Sie den Brand aus der Deckung, verwenden Sie niemals Vollstrahl, da dieser den Staub durcheinander wirbeln kann, bereiten Sie falls möglich einen Wasserwerfer vor und erkunden Sie Fluchtwege. Hier noch ein Hinweis zur Bekämpfung der Gefahren einer Staubexplosion: Befeuchten Sie den Staub, um zu verhindern, dass er aufgewirbelt wird. Verwenden Sie dabei vorzugsweise Class A-Sprühstrahl. Ziehen Sie eventuell die präventive Befeuchtung von Filtern und Transportanlagen in Betracht. Silo-Brände können manchmal gelöscht werden, indem man Trockeneis, das man an einem Seil mit einem Spezialknoten befestigt hat, hinablässt. Achten Sie auf Explosionsklappen, d.h. Öffnungen, durch die bei einer Explosion der Druck entweichen kann. Für den Fall, dass Sie erst nach erfolgter Staubexplosion eintreffen: Löschen

Sie schwelenden Staub mit Sprühstrahl, holen Sie Informationen ein, achten Sie besonders auf Installationen, die trotz der Explosion geschlossen geblieben sind – wie z.B. Transportsysteme oder Filter – und befeuchten Sie diese wenn möglich mit Sprühstrahl.

Brandausbreitung

V.25 Nun aber zurück zu „normalen“ Bränden. Die Energie, die während der Verbrennung freigesetzt wird, kann auf den brennbaren Stoff zurückstrahlen und dort die Pyrolyse und Verdampfung dieses Stoffes verursachen. Sie kann außerdem die weitere Pyrolyse der Verbrennungsprodukte in der Gasphase unterstützen. Die vom Brand freigesetzte Energie erwärmt auch die umliegenden Materialien. Die **Wärmeübertragung** findet – üblicherweise gleichzeitig - auf drei verschiedene Arten statt: Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Wärmeströmung (Konvektion).

V.26 Wärmeleitung ist die direkte Übertragung von thermischer Energie aufgrund von Berührung. Auf molekularer Ebene entspricht Wärme einer Zunahme der kinetischen Energie der Moleküle, d.h. das Schwingen der Moleküle nimmt zu. Diese Energie wird dann von einem Molekül zum nächsten weitergegeben. Verschiedene Stoffe leiten Wärme unterschiedlich gut. Metalle z.B. sind sehr gute Leiter, wohingegen Beton und Kunststoff sehr schlechte Leiter sind (was sie wiederum zu guten Isolatoren macht). Trotzdem wird ein Brand an der Betonwand eines Raumes die Übertragung der Wärme auf die andere Seite der Wand aufgrund von Wärmeleitung zur Folge haben. Falls ein Metallträger durch diese Wand führt, wird die Wärmeübertragung noch zunehmen. Bei Bränden auf Schiffen, wo die meisten Wände aus Metall bestehen, ist es notwendig, Material von einer nahe am brennenden Raum gelegenen Wand zu entfernen, um die Brandausbreitung einzudämmen.

V.27 Wärmestrahlung ist die Übertragung von Wärme auf einen Gegenstand durch elektromagnetische Wellen. Die Wellen breiten sich - ausgehend vom Brandherd - in alle Richtungen aus und können von Oberflächen reflektiert oder absorbiert werden. Absorbierte Wärme erhöht die Temperatur des Materials. Dies führt entweder zur Pyrolyse oder die Temperatur des Materials erhöht sich so stark, dass sie die Zündtemperatur des Stoffes übertrifft und sich folglich der Stoff entzündet.

Die von der Rauchwolke ausgehende Wärmestrahlung ist einer der wichtigsten Punkte bei der Eindämmung eines Brandes in einem Öltank-Lager. Sowohl der brennende als auch die umliegenden Tanks müssen gekühlt werden, um Zeit für die Vorbereitung eines effektiven Schaumangriffs zu gewinnen.

V.28 Wärmeströmung (Wärmemitführung) ist die Übertragung von Wärme durch ein flüssiges oder gasförmiges Medium. Dieser Übergang wird durch einen Dichteunterschied zwischen den heißen und kalten Molekülen verursacht. Heiße Gase und Luft breiten sich aus und steigen auf. Die Wärmeströmung bestimmt normalerweise die allgemeine Ausbreitungsrichtung eines Brandes. Wärmemitführung führt dazu, dass sich Brände in die Höhe ausbreiten, da sich auch Wärme nach oben ausbreitet.

V.29 Die übliche **Brandausbreitung** setzt sich aus Wärmestrahlung, -strömung, und -leitung sowie Flammenkontakt zusammen. Vom Wind weggetragene glühende Asche, herabfallende Trümmer, zerbrechende Behältnisse, die entzündliche Flüssigkeiten oder Gase enthalten, oder das Schmelzen von Leitungsrohren oder Kunststoff können zur Ausbreitung des Brandes in eine unvorhergesehene Richtung führen.

V.30 Sobald ein Brand sich über den ursprünglichen Brandraum hinaus ausgebreitet hat, vollzieht sich die weitere Ausbreitung nach dem **Würfel-Modell** (Abb. V.4). Wenn alle Zimmerwände von der gleichen Bauart sind, wird zuerst die Decke durchbrochen, da diese der aufsteigenden Wärme ausgesetzt ist. Weniger wahrscheinlich ist die Brandausbreitung in horizontaler Richtung. Noch unwahrscheinlicher ist die Ausbreitung nach unten, d.h. durch den Boden des Brandraumes. Diese Voraussagen hängen natürlich davon ab, aus welchem Material die einzelnen Wände bestehen.

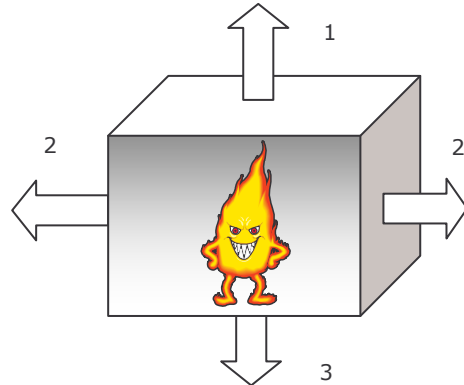


Abb. V.4: Das Würfel-Modell der Brandausbreitung

V.31 Der Zeit/Temperatur-Verlauf eines normalen Zimmerbrandes ist in Abbildung V.5 dargestellt. Man unterscheidet drei verschiedene Brandphasen: Die Ausbreitungs-Phase, die stabile und die Abkling-Phase. Das anfängliche Stadium eines Brandes, in dem brennbarer Stoff und Sauerstoff so gut wie unbegrenzt zur Verfügung stehen, ist die **Ausbreitungs-Phase**. Diese Phase wird von einer exponentiell zunehmenden Wärmefreisetzungsrate charakterisiert. Das mittlere Stadium eines Brandes ist die **stabile (oder Vollbrand-) Phase**. Diese Phase ist von einer relativ gleich bleibenden Wärmefreisetzungsrate gekennzeichnet. Der Übergang von der Ausbreitungs- zur stabilen Phase tritt dann ein, wenn entweder der brennbare Stoff oder der Sauerstoff nur noch begrenzt vorhanden ist. Das endgültige Stadium eines Brandes ist die **abklingende Phase**, die von einer kontinuierlichen Verlangsamung der Wärmefreisetzungsrate charakterisiert ist, was zum Erlöschen des Brandes auf Grund mangelndem brennbarem Stoff oder Sauerstoff führt.

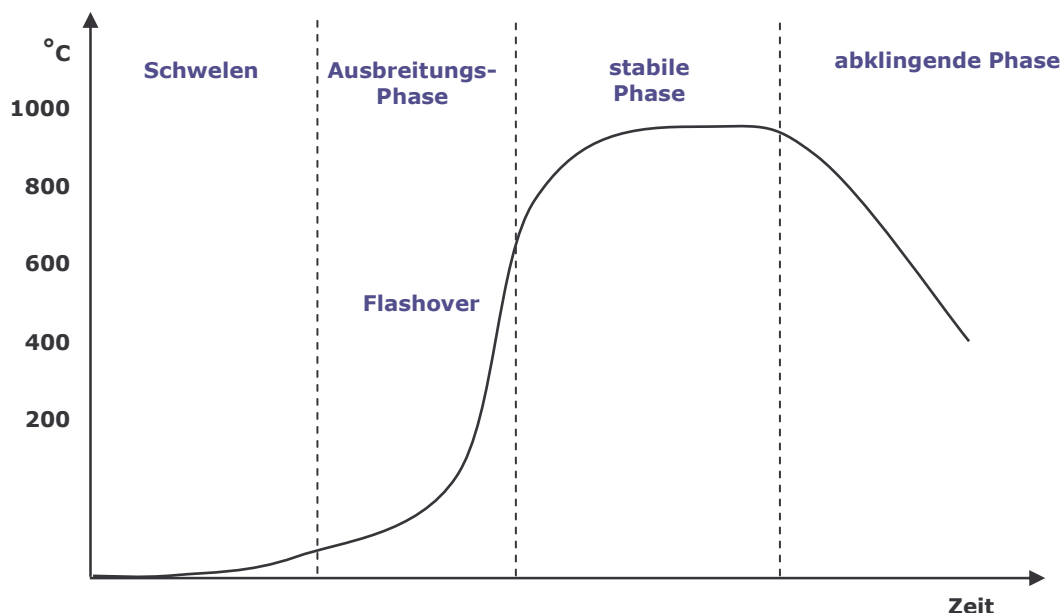


Abbildung V.5: Brandtemperatur über der Zeit

V.32 Flashover ist üblicherweise der Höhepunkt der Ausbreitungs-Phase. Er tritt ein, wenn an der Decke Temperaturen von 500-600 °C erreicht werden. Die Höhe dieser Temperatur hängt davon ab, welche Materialien im Zimmer vorhanden und wie diese räumlich angeordnet sind. Nach dem Flashover steigt die Temperatur im Raum rasch und erreicht bis zu 1000 °C.

V.33 Dieselbe Verlaufskurve lässt sich nun weiter schematisieren, um die Brandausbreitung in Abhängigkeit der Zeit darzustellen (Abb. V.6). In der ersten Phase des Brandes, kurz nach Entzündung des Feuers, ist die Brandausbreitung auf den brennenden Gegenstand und seine unmittelbare Umgebung begrenzt; das Feuer heizt den Raum langsam auf. Sobald das Feuer sich jedoch auf die Umgebung ausgebreitet hat, steigt die Ausbreitungsgeschwindigkeit stark an. Alle Gegenstände, die sich im Raum befinden, sind der großen Wärme ausgesetzt, die zum einen vom Brand selbst und zum anderen – in größerem Ausmaß – von den erzeugten Verbrennungsgasen und vom Rauch abgestrahlt wird. Dies setzt die Pyrolyse oder Verdampfung der Gegenstände im Raum in Gang oder heizt die Gegenstände bis über ihre Zündtemperatur auf. An einem bestimmten Punkt verursacht dieser Effekt einen **Flashover**, bei dem der gesamte Raum von Flammen erfasst wird. Als Folge daraus breitet sich der Brand schnell aus, bis er schließlich einen **Zuluft-gesteuerten Zustand** erreicht. Zu diesem Zeitpunkt verlangsamt sich die Brandausbreitung, da sie vom Sauerstoffmangel begrenzt wird. Durchbricht der Brand jedoch die Zimmerwände, wird er sich auf Grund des nun neu zur Verfügung stehendem brennbaren Stoff und Sauerstoff wiederum schnell ausbreiten.

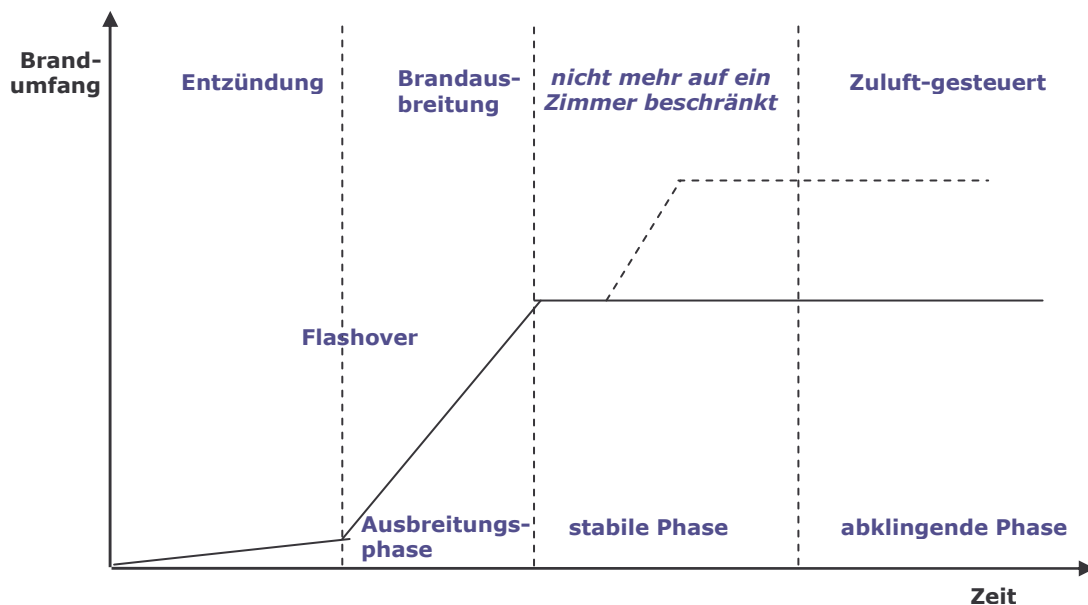


Abb. V.6: Brandausbreitung über der Zeit

V.34 Von diesen Erkenntnissen, die zur Entwicklung von **Konzepten zur Brandprävention** gewonnen wurden, kann man leicht Schutzmaßnahmen ableiten, die bei verschiedenen Stadien der Brandausbreitung zu ergreifen sind. So kann man die Entzündung von Stoffen verhindern, indem man Energie- oder Zündquellen beseitigt (z.B. durch ein Rauchverbot), oder indem man alle leicht entflammaren Materialien beseitigt/entsprechend nachbehandelt (z.B. entflammare Materialien in Polstermöbeln). Die Brandausbreitung während der Ausbreitungs-Phase kann auf verschiedene Art und Weise verlangsamt werden: Man kann automatische Löschanlagen installieren und/oder eine automatische Brandmeldeanlage einrichten, die ein installiertes Sprinklersystem auslöst; man kann brandhemmende Materialien verwenden, automatische Rauch- und Wärmeabzugsanlagen installieren oder entzündliche Flüssigkeiten in feuersicheren

Schränken aufbewahren und ähnliches mehr. Das Übergreifen des Brandes auf andere Räume kann durch die Verwendung von speziellen feuerbeständigen Türen oder Materialien mit einer hohen Feuerwiderstandsdauer verhindert werden. Normalerweise kann das Übergreifen eines Brandes auch von den erst-eintreffenden Feuerwehrkräften unterbunden werden, die zu diesem Zeitpunkt an der Einsatzstelle ankommen sollten.

V.35 Je nach Sauerstoffzustrom bzw. je nach dem, wie viel Sauerstoff im Raum vorhanden ist, kann sich ein Entstehungsbrand wie oben beschreiben zu einem Flashover entwickeln oder aber auf Grund des Sauerstoffmangels langsam wieder verlöschen. Dieser Sauerstoffmangel entsteht meist aufgrund von modernen, energiesparenden Konstruktionen wie z.B. Doppel- oder sogar Dreifachverglasungen, die auch während eines Brandes häufig nicht zerbersten. Außerdem erlauben heutige energiesparende Türen und Fenster keinerlei Luftaustausch mehr, weshalb ein Brand in **modernen Gebäuden** aufgrund des Sauerstoffmangels zum Schwelbrand werden kann, der große Mengen von Kohlenmonoxid und Pyrolysegasen freisetzt. Aufgrund der guten thermischen Isolierung moderner Gebäude kann es - sogar bei kleinen Bränden - zu starker Wärmeentwicklung kommen. Durch das plötzliche Öffnen einer Tür oder eines Fensters kann die nun einströmende sauerstoffreiche Luft die entzündlichen Gase zur Explosion bringen; eine derartige Explosion nennt man **Backdraft**. Ein Backdraft ist nicht nur für vorgehende Trupps gefährlich; für die ahnungslosen Bewohner des Gebäudes ist diese Situation noch viel gefährlicher. In Tabelle V.7 haben wir die Warnzeichen für Flashover und Backdraft zusammengestellt:

Flashover	Backdraft
<ul style="list-style-type: none"> • Flammen im Overhead, Rollover • Sehr hohe Temperaturen, die einen zwingen, auf dem Boden zu kriechen • Rauchschiicht senkt sich ab 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenige oder nicht sichtbare Flammen • Hohe Raumtemperaturen • Rußbeschlagene Fenster mit öligen Rückständen • Pulsierender Rauch an der Dachkante • Beim Schaffen einer Öffnung strömt sofort Luft ein • Blaue Flammen im Overhead • Ständiges Heben und Senken der Rauchschiicht

Tabelle V.7: Anzeichen für Flashover und Backdraft

Brandklassen

V.36 Je nach Art des brennenden Stoffes werden Brände in verschiedene Brandklassen eingeteilt; üblich sind die Brandklassen A, B, C, D und F. **Brände der Brandklasse A** sind Brände von gewöhnlichen, festen brennbaren Materialien wie z.B. Bettzeug, Matratzen, Papier, Holz, usw. Brände der Klasse A bekämpft man, indem man sie solange kühlt, bis die Zündtemperatur unterschritten wird. Die meisten Brände der Klasse A lassen Glut zurück, die sich bei Kontakt mit Luft wieder entzündet. Daher sollte man nicht annehmen, dass ein Brand der Klasse A gelöscht ist, bevor nicht der gesamte brennbare Stoff

gründlich gekühlt wurde. Das Abdecken eines Brandes der Brandklasse A kann ihn nicht völlig löschen, da so die Glut unter der Oberfläche nicht gekühlt werden kann.



Abb. V.8: Die Symbole der drei häufigsten Brandklassen

V.37 Bei **Bränden der Brandklasse B** sind entzündliche Flüssigkeiten wie Benzin, Kerosin, Öle, Farben, Teer und andere, nicht glutbildende, Stoffe involviert. Brände der Klasse B können am Besten gelöscht werden, indem man die brennende Substanz vom Sauerstoff trennt. Dazu verwendet man im Allgemeinen chemischen oder mechanischen Schaum. Je nachdem, ob die brennende Substanz unpolar (wie z.B. Kohlenwasserstoff) oder polar, wasserlöslich (wie z.B. Alkohol) oder wasserunlöslich ist, sollte man entsprechende Schaumkonzentrate verwenden. Es ist auch möglich, einen kleinen Flüssigkeitsbrand mit einem Wassernebel zu löschen. Dadurch wird die Flüssigkeit unter ihre Mindestverbrennungstemperatur oder sogar ihren Flammpunkt gekühlt und die Flammen werden gelöscht; falls die Wärmequelle jedoch nicht entfernt wird, kann sich das Feuer wiederentzünden.

V.38 **Brände der Brandklasse C** sind Brände von Gasen wie z.B. Erdgas, Propan- oder Butangas u.ä. Einen solchen Brand löscht man, indem man den Austritt des Gases beendet. Denn wenn man die Flammen löscht, jedoch nicht dazu in der Lage ist, das Absperrventil zu schließen, kann sich eine zündfähige Atmosphäre bilden, in der ein Zündfunke eine Explosion verursachen kann.

V.39 **Brände der Brandklasse D** (Brände von Metallen) kommen seltener vor. Brennende Metalle können z.B. Natrium, Kalium, Lithium, Zirkonium, Magnesium, Aluminium usw. und einige ihrer Legierungen sein. In Fahrzeugen, die in Leichtbauweise konstruiert wurden, ist ein Großteil dieser Legierungen enthalten. Die größte Gefahr besteht dann, wenn die Metalle geschmolzen oder in Form von Spänen vorhanden sind. Bekämpft man solche Brände mit Wasser, kann es zu einer chemischen Reaktion oder zur Bildung von explosivem, gasförmigem Wasserstoff kommen. Zur Bekämpfung solcher Brände stehen spezielle Pulver auf Natriumchlorid-Basis oder aus anderen Salzen zur Verfügung. Eine andere Möglichkeit ist, den Brand mit trockenem Sand abzudecken.

V.40 **Brände der Brandklasse E** sind Brände in elektrischen Anlagen und werden eigentlich nicht als eigenständige Brandklasse bezeichnet. Elektrizität selbst brennt nicht; ein Kurzschluss beispielsweise kann jedoch den Brand des Isoliermaterials, das elektrische Leitungen umschließt, verursachen, wodurch sich das Feuer ausbreiten kann. Brände in elektrischen Anlagen löscht man am Besten mit Kohlendioxid oder mit einem Pulverlöscher. Vom Gebrauch von Wasser wird abgeraten, vor allem nicht in der Form von Vollstrahl auf unter Spannung stehende Geräte. Sprühstrahl kann mit **großer Vorsicht** eingesetzt werden, da aufgrund der Luft zwischen den einzelnen Wassertröpfchen ein sehr viel größerer Widerstand

vorhanden ist als bei Vollstrahl. Falls möglich, sollte der Strom abgeschaltet werden, bevor Wasser in irgendeiner Form eingesetzt wird.

V.41 [Mit der Überarbeitung der DIN EN 2 (nun aktuelle Ausgabe: 2005-01) wurde eine neue **Brandklasse F** eingeführt; die Brandklasse F betrifft Brände von Speiseölen/-fetten (pflanzliche oder tierische Öle und Fette). Ein offizielles Piktogramm für die Brandklasse F gibt es auf CEN-Ebene noch nicht. Es ist jedoch ein Änderungsentwurf A1 zu EN 3-7 (in dieser Norm sind die Piktogramme für die Brandklassen behandelt) in Arbeit, der auch das unten abgebildete Brandklassenpiktogramm F enthält. Es entspricht dem weltweit genormten Brandklassenpiktogramm F in ISO 7195:1999/Amd 1:2004.



Symbolentwurf für die Brandklasse F]

Brände der Klasse F (F wie Fett) sind besonders dann gefährlich, wenn man versucht, sie mit Wasser zu löschen. Geschmolzenes Fett ist leichter als Wasser; daher sinkt das Wasser ab, erhitzt sich, verdampft und dehnt sich dabei extrem aus. Wegen dieser Ausdehnung wird das geschmolzene Fett in winzigen Tropfen aus dem Behälter geschleudert. Dies ermöglicht sehr guten Kontakt zwischen Fett und Sauerstoff, weshalb es zu einem Feuerball kommt, der mehrere Meter hoch sein kann.

VI. PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG FÜR DEN BRANDEINSATZ

- VI.1** Die heutige Feuerwehrsutckleidung ist das Ergebnis stetiger Weiterentwicklung: Von der Lederjacke bis zu den heutigen synthetischen Materialien war es ein weiter Weg. Dieses Kapitel hat nicht die Absicht, einen vollständigen Überblick über alle verfügbaren Materialien und die neuesten Technologien zu geben, sondern es soll dazu dienen, auf einige häufig auftretende Gefahren aufmerksam zu machen, die auch heute noch manchmal übersehen werden. Dieses Kapitel wurde unter Verwendung von Daten verfasst, die von Feuerwehren und Anbietern (Morning Pride, Lion Apparel) zur Verfügung gestellt wurden [2]. Weitergehende Informationen finden Sie auf den Websites der genannten Institutionen.
- VI.2** Der Verfasser hofft, dass zum jetzigen Zeitpunkt jeder Feuerwehrmann mit einer vollständigen persönlichen Schutzausrüstung ausgestattet ist, die zumindest den örtlichen Normen entspricht. Dazu gehört mehrlagige Kleidung, Handschuhe, Stiefel, eine Flammschutzhaube, der Helm und schließlich das Atemschutzgerät. Ohne diese grundlegenden Ausrüstungsgegenstände sollte kein Feuerwehrmann ein brennendes Gebäude betreten oder an einer entsprechenden Ausbildung teilnehmen.

Schutzkleidung für den Innenangriff

- VI.3** Das Betreten eines brennenden Gebäudes ohne Schutzkleidung kann zu ernsthaften Verbrennungen führen, wie auf dem Bild VI.1 dargestellt. Kein Feuerwehrmann sollte – unter welchen Umständen auch immer - versuchen, ein brennendes Gebäude ohne seine vollständige Schutzkleidung zu betreten.



Foto VI.1: Ein Feuerwehrmann, der flashover-ähnlichen Bedingungen ohne die entsprechende Schutzkleidung ausgesetzt war. Am Rücken sind starke Verbrennungen zu erkennen.
Quelle: Domke, Jürgen. Universelle Feuerschutzkleidung für die öffentlichen Feuerwehren. Hintergründe, Entwicklungen, Leistungsmerkmale im Überblick, BrandSchutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung 2/1998, S. 133 – 159. (www.atemschutzunfaelle.de)

- VI.4 Verbrennungen sind das Ergebnis einer Funktion aus Zeit und Temperatur.** Je höher die Temperatur der Wärmequelle ist und je länger die Wärmeeinwirkung dauert, desto schwerer sind die Verbrennungen. Verbrennungen 1. Grades treten auf, wenn die Hauttemperatur 48 °C erreicht, Verbrennungen 2. Grades treten ab 55 °C Hauttemperatur auf und ab 55 °C kann es zu Verbrennungen 3. Grades kommen. Eine unmittelbare Zerstörung der Haut tritt ab einer Hauttemperatur von 72 °C auf. Ein einfacher Papierkorbbrand in einem Zimmer kann Temperaturen entwickeln, die ernsthafte Hautverbrennungen verursachen können.

VI.5 Schutzkleidung für den Innenangriff wird bei hohen Temperaturen durch TPP-Tests geprüft. Die meisten Verbrennungsverletzungen treten jedoch bei Temperaturen auf, die weitaus niedriger sind als die bei TPP-Tests; darüber hinaus ist oft noch nicht einmal direkte Flammeneinwirkung nötig. Wärme kann sich unter der Schutzkleidung schon bei relativ ungefährlichen Umgebungsbedingungen aufstauen. Dieses Phänomen, auch als „**gespeicherte Energie**“ bekannt, kann zu ernsthaften Verbrennungsverletzungen führen, und das oftmals ohne jede Warnung. Dieses Phänomen wird noch durch die Tatsache verstärkt, dass Wasser, das ja ein sehr guter Wärmeleiter ist, vorhanden ist. Diese Gegebenheit lässt sich leicht veranschaulichen: Es ist machbar, eine Pfanne mit einem trockenen Topflappen vom Herd zu nehmen. Verwendet man jedoch einen feuchten Topflappen, wird dies deutlich schwieriger.

VI.6 Wasser kann schon bei Temperaturen, die bei trockener Kleidung weniger gefährlich wären, Brandwunden verursachen, weshalb Schutzkleidung für den Innenangriff wasserabweisend sein muss. Neben der Wassereinwirkung von außen muss man bei der Herstellung von Feuerwehrsutzkleidung auch die Wassermenge beachten, die vom Feuerwehrmann ausgeschwitzt wird. Ein Feuerwehrmann kann eine beachtliche Menge Feuchtigkeit freisetzen (bis zu 1,8 kg/h). Die Wahrscheinlichkeit von feuchtigkeitsbedingten Verletzungen steigt stark an, sobald der Feuerwehrmann erst einmal zu schwitzen begonnen hat.

VI.7 Neben Feuchtigkeit senkt auch das Zusammendrücken der Kleidung deren Isoliereigenschaften. Derartige Kompression erhöht das Potential für Wärmeleitung, indem sie die isolierend wirkende Luft zwischen den einzelnen Schichten der Kleidung verdrängt. Verbrennungen auf Grund von Kompression können durch einen dicht anliegenden Pressluftatmer oder durch das Knien auf heißen Oberflächen bzw. durch das Berühren derselben entstehen. Aber auch sich strecken, hinknien und viele andere Bewegungen können die Kleidung zusammenstauchen; folglich ist ein Kontakt mit heißen Oberflächen nicht immer nötig, um sich derartige Verbrennungen zuzuziehen. Um die Auswirkungen der Zusammenstauchung der Isoliereigenschaften auf die Schutzkleidung zu begrenzen, arbeiten einige Hersteller spezielle Polster in die Schutzkleidung - z.B. an den Knien - ein. Die Kombination aus gestauchter und feuchter Kleidung ist natürlich der Sicherheit des Feuerwehrmanns alles andere als zuträglich. Das Kriechen durch Wasser oder andere Flüssigkeiten kann thermische Verletzungen verursachen. Diese Art von Verletzung nennt man feuchtigkeitsbedingte Kompressionsverbrennungen.

VI.8 Wasser, das sich auf den äußeren Schichten der Kleidung befindet, kann beim Betreten eines trockenen, heißen Raumes eine falsche Sicherheit vortäuschen. Durch seine Verdampfung entzieht das Wasser Wärme aus der Schutzkleidung und der Feuerwehrmann nimmt nur eine niedrige Temperatur wahr. Falls die vorhandene Wärme dazu ausreicht, das gesamte Wasser zu verdampfen, gibt es keinen Kühleffekt mehr. Der Feuerwehrmann wird zu diesem Zeitpunkt jedoch schon tiefer in die Gefahrenzone vorgeedrungen sein, was ihn noch verwundbarer macht. Wenn die Schutzkleidung getrocknet ist, kann es zu einem sehr schnellen Temperaturanstieg kommen, bei dem innerhalb der Schutzkleidung Temperaturen entstehen, die ernsthafte Verbrennungen verursachen können. J. R. LAWSON nannte diese Verbrennungen in der Ausgabe 8/98 von Fire Engineering trockenungsbedingte Verbrennungen.

VI.9 Verbrennungen durch Wasserdampf können entstehen, wenn ein Wasserstrahl direkt auf heiße Oberflächen gerichtet wird. Der entstehende Wasserdampf umgibt die Feuerwehrmänner und verbrennt freiliegende Haut sofort. Da Wasserstoff ein Gas ist, kann er auch die Membran-Schichten der PSA durchschlagen und so weitere Verletzungen hervorrufen.

VI.10 Verbrühungen treten auf, wenn Feuerwehrmänner mit heißen Flüssigkeiten in Kontakt kommen. Dies kann auf verschiedene Arten geschehen: Die Flüssigkeit kann von der Decke tropfen bzw. fließen (z.B. verflüssigter Teer, synthetische Dachziegel oder heißes Wasser) oder in Form einer Flüssigkeitslache vorliegen. Außerdem kann eine Flüssigkeit auch auf dem Boden fließen oder aus einer zerbrochenen Leitung in einer industriellen Anlage oder aus einem Boiler austreten. Die Flüssigkeit verbrennt freiliegende Haut und kann die Schutzkleidung durchdringen. Die Kompression der Kleidung begünstigt - wie bereits oben erwähnt - auch hier das Auftreten von Verbrennungen.

VI.11 Die Umgebung eines Brandes kann nach dem Wärmestress, dem der Feuerwehrmann bzw. seine PSA ausgesetzt ist, in drei Gebiete geteilt werden. Die Abbildung unten (Abb. VI.1) zeigt das Verhältnis zwischen zunehmender Wärmestrahlung und dem resultierenden Temperaturanstieg. Die drei Gebiete werden mit „Routine“, „Durchschnitt“ und „Notfall“ bezeichnet.

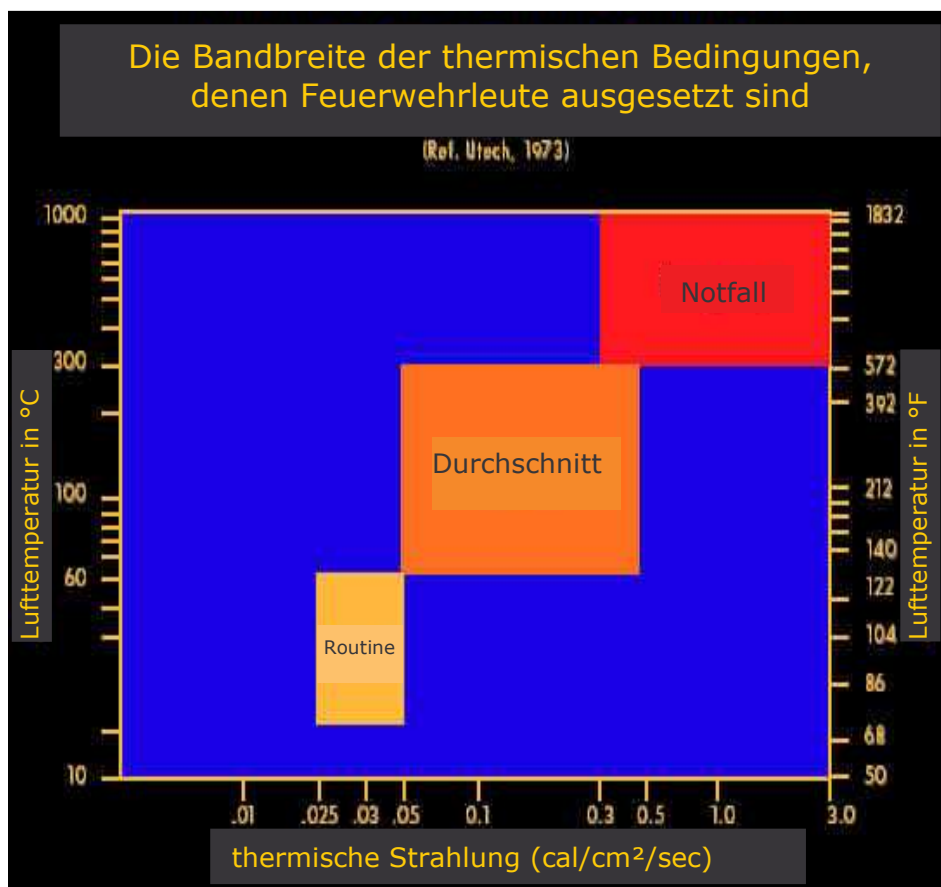


Abb. VI.1: Bandbreite der thermischen Bedingungen (www.lionapparel.com)

VI.12 Die Bezeichnung „**Routine**“ könnte eine Situation beschreiben, in der in einem Zimmer ein oder zwei Gegenstände (z. B. ein Stuhl oder eine Matratze) sich gerade entzündet haben. Sowohl die Wärmestrahlung als auch die resultierende Lufttemperatur im Zimmer werden nicht viel höher sein als an einem heißen Sommertag. Die PSA ist mehr als ausreichend, um diese Wärmebeaufschlagung zu ertragen.

VI.13 Die Bezeichnung „**Durchschnitt**“ beschreibt einen Temperaturbereich, der beim Bekämpfen eines größeren Brandes erreicht wird. Denkbar sind auch Arbeiten direkt neben einem Zimmer, in dem ein Flashover stattgefunden hat und das belüftet wurde. Die übliche Einsatzkleidung wird unter diesen Bedingungen über lange Zeit hinweg Schutz gewähren. Am oberen Ende dieses Temperaturbereichs ist es extrem heiß und es ist unwahrscheinlich, dass ein Feuerwehrmann solchen Bedingungen für längere Zeit ausgesetzt würde.

VI.14 Der Begriff „**Notfall**“ bezeichnet den Bereich härtester Bedingungen, mit denen ein Feuerwehrmann konfrontiert werden kann, wenn er sich in einem Raum befindet, der nicht mehr weit von Flashover-Temperaturen entfernt ist oder diese sogar schon überschritten hat. Unter solchen „Notfall“-Bedingungen kann die Wärmebeaufschlagung über den 2,0 cal/cm² liegen, die in TPP-Tests verwendet werden und die Lufttemperatur kann die Belastungsgrenzen der einzelnen Textilien in der PSA des Feuerwehrmanns übertreffen.

Man sollte darauf achten, dass beim TVIA nur selten „Notfall“-Bedingungen erreicht werden (d.h. beim Kriechen werden in Schulterhöhe Temperaturen von über 300 °C erreicht). Es sollte nie gestattet werden, dass in diesem Temperaturbereich das Training für länger als einige Sekunden fortgesetzt wird. Die vorbereitete Brandlast sollte mit großer Vorsicht zusammengestellt werden. Eine Linie auf dem Boden sollte die Zone markieren, in der sicher gearbeitet werden kann. Nach einer erfolgten Durchzündung sollte es niemandem mehr gestattet werden, diese Linie zu überqueren.

VI.15 Sobald ein Feuerwehrmann **Schmerzen** verspürt – was bedeutet, dass die Zerstörung der Haut begonnen hat - muss er unter Berücksichtigung der Art der Verbrennung, die er sich gerade zuzieht, eine Entscheidung treffen. Zu diesem Zeitpunkt kann es schon ausreichend sein, wenn der Feuerwehrmann einfach ein Luftpolster zwischen Haut und Kleidung schafft und so eine Kompressionsverbrennung vermeidet. Sobald er Schmerzen verspürt, hat ein Feuerwehrmann ein Zeitfenster von einer Sekunde, in dem sein Handeln – in Verbindung mit den herrschenden thermischen Bedingungen – eine Linderung der Schmerzen oder ernsthafte Verbrennungen bedeuten kann. Eine genaue Vorwarnzeit kann nicht angegeben werden, da diese stark von der jeweiligen Situation abhängt. Dennoch gelten einige **Faustregeln** (J.R. LAWSON, Fire Engineering, 08/98):

- Sobald Schmerz verspürt wird, muss man davon ausgehen, dass man sich zumindest Verbrennungen 1. Grades zugezogen hat.
- Sobald man Schmerzen verspürt, ist die Zeit der kritische Faktor bei der Begrenzung der Schwere der Verbrennungen.
- Der weitere Verbleib in einer Umgebung mit hohen Temperaturen erhöht die Schwere der Verbrennung und vergrößert deren Fläche.
- Falls der Feuerwehrmann diese Umgebung verlassen kann, ist es dennoch wahrscheinlich, dass die in der Schutzkleidung enthaltene Wärme die Schwere der Verbrennung noch solange erhöht, bis die Kleidung abgelegt werden kann. Die Schwere einer Verbrennung wird solange zunehmen, bis die Hauttemperatur unter 44 °C sinkt.

- Wenn man einen Wasserstrahl verwendet, um die brennende Kleidung eines Feuerwehrmannes zu löschen oder um Brandwunden zu kühlen, besteht das Risiko, dass Verbrühungen entstehen. Es ist daher wichtig, abzuwägen, ob derartige Maßnahmen unbedingt nötig sind, um den Feuerwehrmann aus der Gefahrenzone zu schaffen und ob folglich große Wassermengen zur Kühlung der Schutzkleidung und des Hautgewebes notwendig sind.
- Feuerwehrleute haben berichtet, dass sie - während sie arbeiteten - die Schwere ihrer Verbrennungen solange unterschätzten, bis sie ihre Schutzkleidung ablegten. Dies kann damit erklärt werden, dass das menschliche Gewebe ab einer Temperatur von 62 °C taub wird. Deshalb ist es notwendig, umgehend auf die ersten Anzeichen von Schmerzen zu reagieren!
- Wie die oben genannten Punkte schon vermuten lassen, ist es für Taktiken zur Vermeidung von Verletzungen schon zu spät, wenn ein Feuerwehrmann Schmerzen auf Grund von thermischen Einwirkungen verspürt. Dann ist sofortiges Handeln notwendig, um die Gefahr einer noch größeren Verletzung zu verringern.

VI.16 In die Schutzkleidung der Feuerwehren Düsseldorf und Berlin [u.v.m.] wurde ein „Panik-Reißverschluss“ eingearbeitet (siehe Fotos VI. 2-3), um die Schutzkleidung schnell ablegen und somit eine weitere Verschlimmerung der Verbrennungen verhindern zu können. Eine entsprechende Ausbildung ist jedoch von Nöten, da die Feuerwehrmänner diese **Panik-Reißverschlüsse** schon beim Anziehen ihrer Schutzkleidung öffnen können. Das ungewollte Öffnen einer Jacke in einem brennenden Raum kann verheerende Folgen haben.



Fotos VI. 2-3: Panik-Reißverschluss
(www.feuerwehr-duesseldorf.de; <http://www.duesseldorf.de/feuerwehr/>)

VI.17 Bei der Auswahl von Schutzkleidung, die für den Innenangriff geeignet ist, sollte man neben den Verbrennungen auch den Hitzestress, der mit dem Tragen der PSA verbunden ist, beachten. Im Jahr 1996 waren 44 von 45 Herzinfarkten bei Einsätzen in den USA auf Stress, große Anstrengung oder Überanstrengung zurückzuführen. Neben der Belastung durch die feuchte, heiße und gefährliche Umgebung tragen Feuerwehrmänner zusätzlich noch eine schwere Ausrüstung und müssen harte Arbeit verrichten. Daher kann es zur Dehydration kommen, welche die häufigste Ursache für Herzerkrankungen ist. Das Zusammenspiel von Hitzestress oder Wärmestau (d.h. die Körpertemperatur liegt weit über dem Normalwert) und Dehydration kann eine vorzeitige Erschöpfung verursachen. Tatsächlich wird schon bei einem Einsatz von weniger als einer Stunde unter heißen und feuchten Wetterbedingungen die Muskeldauer reduziert. Auch die Aufmerksamkeit und Auffassungsgabe werden beeinträchtigt. Einige Feuer-

wehreute werden ihre Präzision beeinträchtigt sehen, bei anderen wird die Informationsaufnahme und –weiterleitung nicht mehr optimal funktionieren. Nach zwei Stunden setzen die Auswirkungen von Wärmestress – Krämpfe, Ermüdung, Nachlassen der Körperkraft, beeinträchtigte Koordination – ein. Im weiteren Verlauf kann es zu Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindelanfällen und erheblicher Ermüdung kommen. Im Extremfall kann ein Wärmestau zu Zusammenbruch, Bewusstlosigkeit und sogar zum Tod führen.

VI.18 In einer heißen Umgebung kann ein Feuerwehrmann bei großer Anstrengung bis zu 1,8 l Wasser pro Stunde verlieren. Zusätzlich erschweren verschwitzte Haut und Kleidung die normalerweise übliche Wärmeabgabe des Körpers. Das Ersetzen der ausgeschwitzten Körperflüssigkeit ist deshalb als Einzelmaßnahme die effektivste Art und Weise, Hitzestress zu kontrollieren und den Feuerwehrmann fit, aufmerksam und sicher zu halten. In den meisten Feuerwehren ist auf jedem Löschfahrzeug eine Kühlbox vorhanden, in der Getränke als Sofortmaßnahme gegen Hitzestress vorgehalten werden. Flüssigkeitsaufnahme minimiert das Risiko von Herzkrankheiten, reduziert die Belastung des Herz-Kreislauf-Systems und verhindert einen Leistungsabfall des Feuerwehrmanns.



Foto VI.4: Rehydratation (Flüssigkeitsersatz) nach TVIA
www.atemschutzunfaelle.de

VI.19 Hier einige Tipps zur Rehydratation (Flüssigkeitsersatz):

- Trinken Sie vor, während und nach körperlicher Arbeit.
- Bedenken Sie, dass erschwerende Bedingungen wie z.B. hohe Feuchtigkeit, hohe Temperaturen, schwierige Arbeiten usw. den Wasserbedarf erhöhen.
- Sie sind schon dehydriert, wenn Sie Durst verspüren.
- Trinken Sie kühles Wasser, da dieses vom Körper besser aufgenommen werden kann als warme oder sehr kalte Flüssigkeit.
- Nehmen Sie keinen Kaffee, Tee oder Alkohol zu sich, da diese Getränke harntreibend wirken und dem Körper noch mehr Flüssigkeit entziehen.
- Bei TVIA sollte für jede Person mindestens ein Liter Wasser bereitgehalten werden (sowohl vor dem TVIA als auch danach).

VI.20 Moderne Schutzkleidung für den Innenangriff besteht aus 4 Lagen: einer Außenhaut, einer Nässeperre, einer Thermobarriere und einem Innenfutter. Jede dieser Lagen erfüllt eine bestimmte Funktion im Gesamtkonzept der PSA. Man sollte sich jedoch darüber im Klaren sein, dass auch die unter der PSA getragene Kleidung zu diesem Gesamtkonzept gehört; es wird empfohlen, Dienstkleidung oder zumindest ein Baumwoll-T-Shirt zu tragen. Synthetische Materialien wie Nylon oder Polyester sollten als Unterkleidung natürlich nicht getragen werden.

VI.21 Kriterien für das Obermaterial: An die Außenhaut werden – unter allen verwendeten Textilien – wohl die größten Anforderungen gestellt. Sie hat zwei wichtige Funktionen: Sie darf sich auch bei direkter Flammbeaufschlagung nicht entzünden und muss die inneren Lagen vor Rissen, Schnitten, Abnutzungerscheinungen usw. schützen. Manche Obermaterialien schneiden in TPP-Tests besser ab, andere wiederum sind besser in der Wasserundurchlässigkeit; die tatsächliche Herausforderung für eine Außenhaut ist es jedoch, ihre Schutzwirkung bei hoher thermischer Belastung beizubehalten und den harten und widrigen Bedingungen an der Einsatzstelle gewachsen zu sein.

Folgende Informationen stammen von den Websites der Firmen Southern Mills, Morning Pride, DuPont und Lion Apparel.

Nomex ist eine Aramid-Faser, die von DuPont hergestellt wird. Seine einzigartige Molekülstruktur macht es schwer entflammbar.

Nomex III besteht zu 95 % aus Nomex und zu 5 % aus Kevlar.

Nomex IIIa besteht zu 93 % aus Nomex, zu 5 % aus Kevlar und zu 2 % aus anti-statischer Karbonfaser. Nomex IIIa besitzt eine niedrige Entflammbarkeit und eine hohe Festigkeit. Aus Nomex IIIa hergestellte Kleidung erleidet auch durch hohe Temperaturen keine Schäden. Bei Temperaturen unter 360-400°C schmilzt, tropft und verkohlt Nomex nicht. Nomex IIIa ist die wirtschaftlichste Option der verschiedenen Obermaterialien.

Nomex Omega ist ein anderes Material für Einsatzkleidung. Es wurde von DuPont entwickelt, um hohen thermischen Schutz zu gewährleisten und gleichzeitig nur geringen Hitzestress zu verursachen. Es besteht aus drei Komponenten: dem Obermaterial aus der neuen Z-200 Aramidfaser, einer Nässesperre und einer Thermobarriere, bei der Nomex als Trägermaterial verwendet wird. Gefärbte Z-200-Fasern können sich zwar bei 260 °C entfärben, die Faser selbst wird jedoch bis zu einer Temperatur von 425 °C nicht zerstört. Die Z-200-Fasern haben eine schlechtere mechanische Widerstandskraft als Kevlar und sollten deshalb in Bereichen, die stark abgenutzt werden (z.B. an den Knien), verstärkt werden. Man vermutet, dass sich die Z-200-Faser ausdehnt, wenn sie extremer Wärme ausgesetzt wird, wodurch sie dem Träger eine zusätzliche Isolierung gegen die Wärme verschafft.

Am Markt angebotene **Basofil**-Produkte für den Feuerwehrbereich sind eigentlich eine Mischung Basofil (40 %) und Kevlar (60 %). Dieses Obermaterial bietet außergewöhnlich gute Wärmeschutzeigenschaften bei vielen unterschiedlichen Wärmeflüssen, weshalb man bei diesen Produkten oft dünnere und somit leichtere Innenfutter verwenden kann. Basofil scheint außerdem auch außergewöhnlich langlebig und komfortabel zu sein. Dennoch bietet Basofil nicht alle Vorteile der Premium-Obermaterialien (PBI und PBO). Dazu kommt noch, dass einige konkurrierende Faseranbieter die Behauptung aufgestellt haben, dass aus Kleidung, welche aus Basofil hergestellt wurde, Formaldehyd ausgast. Die uns bekannten Tests und Forschungen von unabhängigen Stellen lassen darauf schließen, dass diese Behauptung NICHT stichhaltig ist. Basofil liegt preislich im Mittelfeld der angebotenen Fasern.

Kevlar 60 % / Nomex 40 %: Diese Mischung aus Kevlar und Nomex ist wahrscheinlich das strapazierfähigste Obermaterial und bietet eine Verbesserung hinsichtlich der Abbrandstrecke von 300 % gegenüber Nomex IIIa. Kevlar/Nomex bleibt flexibel, biegsam und auch nach relativ starker Wärmeeinwirkung noch intakt. Zwar ist Kevlar/Nomex ein höherwertiges Produkt als Nomex; die Käufer sollten sich jedoch bewusst sein, dass die Premium-Obermaterialien (PBI und PBO) im Vergleich zu Kevlar/Nomex große Vorteile besitzen. Kevlar/Nomex sollte eher als Aufwertung von Nomex denn als Äquivalent zu PBI/PBO gesehen werden. Preislich liegt Kevlar/Nomex zwischen Nomex und den Premium-Obermaterialien.

Wir sind der Meinung, dass Kevlar/Nomex sehr guten Tragekomfort und ebensolche Langlebigkeit bietet und eines der besten neuen Produkte ist, die zwischen den Premium-Obermaterialien und Nomex angesiedelt sind.

Am Markt angebotene **PBI**-Produkte sind eine Mischung aus 40% PBI (Polybenzimidazole) und 60 % Kevlar. PBI hat sich schon bei einigen städtischen Feuerwehren, die sehr viele Einsätze bedienen müssen, bewährt. Dieses Gewebe wurde anfänglich als Teil des FIRE-Projektes entwickelt, um einen Schutz durch nicht verkohlende Fasern auch in Temperaturbereichen zu erreichen, die über den Fähigkeiten von Nomex liegen (d.h. über ca. 415 °C²). Obwohl Nomex auch im verkohlten Zustand ein effektiver Wärmeisolator bleibt, kann es bei Bewegungen aufbrechen und bei einer kontinuierlichen oder wiederholten Wärmeeinwirkung zu einer potentiell schwerwiegenden Lücke in der Gesamtschutzkleidung kommen. PBI hingegen widersteht Verkohlungen bis in Temperaturbereiche, die die biologischen Fähigkeiten des Menschen übersteigen. Nur PBO bietet noch bessere Leistungen in der Resistenz gegen eine Verkohlungen als PBI. Das Schwärzen und Färben des – natürlicherweise bronzefarbenen - Stoffes scheint Probleme mit der Anfälligkeit des Gewebes gegen UV-Strahlung dramatisch zu reduzieren und seine Haltbarkeit zu erhöhen. Dieses (gefärbte) Produkt ist als PBI (schwarz) Gold bekannt.

PBO-Produkte, die den Feuerwehren zurzeit angeboten werden, sind eine Mischung aus 40 % Zylon (Polyphenylenebenzobisoxazole) und 60 % Technora. PBO ist das neueste unter den Obermaterialien; es kam erst Anfang 2000 auf den Markt. PBO hat im Großen und Ganzen die gleichen Eigenschaften wie PBI, bietet jedoch im Vergleich dazu höhere Resultate im Abnutzungstest nach Taber³ (was eine längere Haltbarkeit bedeutet), eine geringere Neigung zur Wasseraufnahme, eine höhere Reißfestigkeit und bessere Leistungen hinsichtlich der Verkohlungen (wobei PBI schon eine derart hohe Widerstandsfähigkeit gegen Verkohlungen bietet, dass dieser letzte Punkt wohl von geringer Bedeutung ist.)

Tatsächlich bietet PBO in vergleichenden Tests mit allen anderen frei verkäuflichen Obermaterial-Geweben die besten Leistungen im Abnutzungstest nach Taber.

Laut Lion Apparel ist diese Faser besonders empfindlich gegen UV-Strahlung, wodurch es zu einer Schwächung des Gewebes kommen kann.

² 750° F

³ Internationaler Standard beim Testen der Strapazierfähigkeit von Textilien (u.a.): Die Probe wird unter zwei Rädern plaziert, die mit einem spezifischen Druck auf die Probe rotieren.

VI.22 Kriterien für die Nässesperre: Die Hauptaufgabe der Nässesperre besteht darin, die thermischen Schutzeigenschaften des Systems zu gewährleisten. Dies wird erreicht, indem das Eindringen von Wasser von außen in die Luftschichten der Schutzkleidung verhindert wird. Trockene Kleidung ist sicherer, zuverlässiger und sehr viel leichter als nasse. Zwar halten alle Nässesperren externes Wasser ab; es gibt jedoch signifikante Unterschiede in ihrer Strapazierfähigkeit, in ihrer Beständigkeit gegenüber Wärme und ihrer Zuverlässigkeit über einen längeren Zeitraum hinweg. Ein anderer wichtiger Aspekt beim Schutz durch die Nässesperre ist deren Fähigkeit, zu „atmen“. Eine Sperre, die atmungsaktiv ist, reduziert das Ausmaß der Feuchtigkeit und Körperwärme, die innerhalb der Schutzkleidung aufgestaut wird. Nässesperren, die sehr gut atmungsaktiv sind, wurden so ausgelegt, dass sie Wasser vom Eindringen in das Thermofutter abhalten und gleichzeitig den durch Körperschweiß erzeugten Wasserdampf nach außen entweichen lassen. Darüber hinaus ist es erwähnenswert, dass Nässesperren, die sehr gut wärmebeständig sind bzw. von anderen Schichten der Kleidung gut geschützt werden, unter Flashover-Bedingungen länger funktionsfähig bleiben.

VI.23 Luftschichten und Thermobarrieren: Wie gut ein Stoffgemisch gegen Wärme schützt, hängt von der Luft ab, die sich zwischen dem Feuerwehrmann und der Wärmequelle befindet. Die Luft selbst ist der größte Faktor, der zu den Isolierungseigenschaften der Schutzkleidung beiträgt. Luft wiegt nichts und ist umsonst! Der zweckmäßigste Weg, um den besten Schutz zu erreichen, ist ein mehrlagiger Aufbau, bei dem jede Schicht einen Teil des Schutzes erzeugt. Eine hocheffiziente Isolation gegen Wärme kann man durch sehr dünne Luftschichten zwischen den einzelnen Lagen erreichen, welche die Luft ergänzen, die in den einzelnen Lagen selbst schon vorhanden ist. Dabei ist es wichtig, dass keiner dieser Luftzwischenräume breiter als 1,8 cm ist, da bei einer dickeren Luftschicht Konvektionsströmungen auftreten, die Wärme schnell übertragen können. Darüber hinaus sind diese Zwischenräume schwer einschätzbar und gefährlich, wenn die darin enthaltene Luft durch Wasser ersetzt wurde. Denn im Gegensatz zu Luft ist Wasser ein exzellenter Wärmeleiter.

VI.24 Thermobarrieren-Systeme, die aus mehreren Luftschichten bestehen oder unanfällig für Absorption sind (d.h. Wasser wird nicht aufgenommen und kann so die isolierende Luft nicht ersetzen), bieten den zuverlässigsten Schutz.

VI.25 Ein anderer wichtiger Aspekt bei Thermobarrieren sind Komfort und Tragbarkeit. Bei Thermobarrieren, bei denen die „**Stoffoberseite**“ (d.h. die Seite, die zum Träger hinweist) aus angenehm zutragendem, „glattem“ Gewebe besteht, besteht für den Träger ein viel höherer Tragekomfort, da er durch das Futter in seiner Beweglichkeit nicht eingeengt wird. Die superfesten Fasergarne, die diese Schlüpfrigkeit ermöglichen, haben darüber hinaus auch eine exzellente Docht Wirkung für den Körperschweiß und führen ihn daher sehr gut vom Körper ab.



Fotos VI. 5-6

Oben: Berliner Feuerwehrmänner testen ihre neue Schutzkleidung.

Rechts: Die Auswirkungen der Wärme auf Nomex bei einer Temperatur > 250 °C: Die Farbe verändert sich, die Schutzwirkung bleibt jedoch erhalten. Bei Temperaturen > 500 °C tritt Verkohlung auf, weshalb die Schutzwirkung nachlässt.

www.berliner-feuerwehr.de

VI.26 Neben der richtigen Auswahl dieser verschiedenen Schichten der Schutzkleidung sind auch regelmäßige Kontrolle und Pflege derselben notwendig. Während eines Einsatzes kann die Kleidung einer großen Bandbreite von chemischen wie auch biologischen Stoffen wie z.B. Kohlenwasserstoffen, polynuklearen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Cadmium, Chrom, Chlor, Säuren, Alkali, Ruß, Körperflüssigkeiten usw. ausgesetzt sein. Diese gefährlichen Verbindungen können in den Fasern der Schutzkleidung eingeschlossen werden. Säubern Sie ihre Kleidung deshalb so früh wie möglich; spritzen Sie sie kurz ab, bevor Sie wieder einrücken. Waschen Sie ihre Einsatzkleidung keinesfalls zu Hause oder in öffentlichen Waschsalons, da dies gegen die Bestimmungen der OSHA verstößt und ihre Familie den in der Kleidung enthaltenen gefährlichen Verbindungen aussetzt. In einigen Fällen ist es notwendig, dass die Kleidung nach der Reinigung imprägniert wird, sodass die wasserabweisenden Eigenschaften des Obermaterials erhalten bleiben.

VI.27 Neben der Pflege der Einsatzkleidung ist auch eine regelmäßige Kontrolle der Thermobarriere und der Nässesperre notwendig. Die Thermobarriere ist für den Großteil des thermischen Schutzes Ihrer Schutzkleidung verantwortlich, wohingegen die Nässesperre die Thermobarriere trocken und voll funktionsfähig hält. Diese beiden Lagen spielen bei Ihrer Sicherheit eine sehr wichtige Rolle. Achten Sie während Übungen oder Einsätzen darauf, ob diese beiden Schichten korrekt funktionieren. Falls Sie sich stärker als normal üblich aufheizen oder schwitzen sollten, kontrollieren Sie, ob die Thermobarriere ihrer Kleidung dünne Stellen aufweist und ob in der Nässesperre Undichtigkeiten vorhanden sind.

VI.28 Fast jedes in ihrer PSA verwendete Material wird von Sonneneinstrahlung geschädigt. Bewahren Sie ihre Einsatzkleidung, Dienstkleidung oder ihre PA-Begurtung nicht in direktem oder indirektem Sonnenlicht (d.h. in Bereichen, in denen durch Fenster Sonnenlicht einfällt) auf. Bewahren Sie ihre Kleidung niemals in ihrem Pkw oder in der Kabine eines Einsatzfahrzeugs auf, wenn sie dabei Sonnenlicht ausgesetzt wird. Bewahren Sie ihre Schutzkleidung in einem Spind oder Kleidersack auf oder bedecken Sie sie mit dickem schwarzem Stoff. Die meisten Obermaterialien und Thermobarrieren verändern ihre Farbe, wenn sie einer bestimmten Menge UV-Strahlung ausgesetzt wurden. Eine auffällige Farbveränderung weist darauf hin, dass ihre Kleidung nicht fachgemäß aufbewahrt wurde und die Schutzwirkung beein-

trächtig worden sein könnte. Eine unabhängige Laborstudie einer Universität hat gezeigt, dass auch Näs-sesperren gegen UV-Strahlen nicht immun sind. Andere Studien machen deutlich, dass eine Abschirmung der Näs-sesperre durch das Obermaterial auf der einen und die Thermobarriere auf der anderen Seite kei-nen erhöhten Schutz gegen UV-Strahlung bietet.

VI.29 Die NFPA hat „Anforderungen an die Auswahl, Behandlung und Pflege von Schutzkleidung für den Innenangriff“, die NFPA 1851, Ausgabe 2001, herausgeben, die sowohl Anforderungen an die richtige Pflege von Einsatzkleidung (und anderer PSA), als auch Anforderungen an die Auswahl und Wartung der-selben beinhaltet.

Darüber hinaus kann man von www.lionapparel.com das Dokument „Gebrauchsanleitung und Trainings- und Sicherheitsleitfaden“ herunterladen. Beachten Sie, unabhängig vom Alter, der Art oder der Herstel-lungsmethode ihrer Schutzkleidung, immer die oben genannten Richtlinien und nutzen Sie ihren gesun-den Menschenverstand.

Brandbekämpfungshandschuhe

VI.30 Brandbekämpfungshandschuhe sind ein unverzichtbarer Teil der PSA. Diese Handschuhe müssen strenge Kriterien erfüllen: So sollten sie z.B. eine gute Wärmeisolierung bieten und die Schutzwirkung muss auch bei direktem Flammenkontakt noch vorhanden sein. Daneben muss eine gute Feinfühligkeit ebenso gegeben sein wie Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung und gegen scharfe Kanten. Außerdem sollten sie wasserdicht sein. Da eine Kombination all dieser Eigenschaften in einem Modell nur schwer zu finden ist - und da mancherorts nur begrenzte Finanzmittel vorhanden sind -, verwenden Feuerwehren oft **einfache Lederhandschuhe**. Diese Handschuhe sind jedoch **keinesfalls für die Brandbekämp-fung** geeignet. Unter Wärmeeinwirkung schrumpfen diese Handschuhe und werden deformiert, weshalb die Hände dann so gut wie ungeschützt sind. Bei Kontakt mit Wasser nehmen derartige Handschuhe Was-ser sehr schnell auf. Die Auswirkungen von Lederhandschuhen bei normalen Brandbekämpfungseinsätzen werden auf den Fotos VI.7-8 gezeigt.



Fotos VI.7-8: Die Ergebnisse der Verwendung von Lederhandschuhen im Brandeinsatz
Quelle: Domke, Jürgen. Universelle Schutzkleidung für die öffentlichen Feuerwehren. Hintergründe, Ent-wicklungen, Leistungsmerkmale im Überblick, Brandschutz/Deutsche Feuerwehrzeitung 2/1998, S. 133-159

(www.atemschutzunfaelle.de)

VI.31 Um eine geeignete Alternative zu diesen Lederhandschuhen zu finden, hat die Feuerwehr Düsseldorf eine Vielzahl von Tests durchgeführt. Die Anforderungen an die getesteten Handschuhe waren gute Feinfühligkeit, gute Wärmeisolation und Schutz auch bei direktem Flammkontakt; außerdem waren auch der Preis und eine einfache Pflege (bei 60 °C waschbar) Auswahlkriterien. Getestet wurden Brandbekämpfungshandschuhe unterschiedlicher Typen - wie z.B. Seiz (Firefighter II), Eska (Jupiter), Crosstech (Fire-Dex), Oy B Hutha Ab (Finnland) -, die alle die DIN EN 659 erfüllen.

VI.32 Um reale Bedingungen zu simulieren, wurden die Tests bei Trainingsfeuern durchgeführt. An diese Tests schloss sich ein Test mit einem Gasbrenner an. Bei den Gasbrennertests wurden die Handschuhe an der Hand getragen, da nur lokale Erhitzung stattfand. Von außerhalb des Handschuhs wurde mittels einer Messsonde eine Innentemperaturüberwachung vorgenommen. Eine Beflammung der gesamtes Handshuhoberfläche fand erst statt, nachdem erste Test ein „gutes Wärmefeeling“ vermittelt hatten. Als Flammenquelle wurde ein Propanbrenner verwendet, der üblicher Weise zum Verschweißen von Teerpappe eingesetzt wird. Die Beflammung fand mit einer Temperatur von ca. 850° – 1050° Celsius direkt auf dem Handschuhmaterial statt. Die Tests wurden mit trockenen und schweißigen Händen durchgeführt. Einige Lederhandschuhe zeigten nur teilweise Schrumpfung, andere hingegen schrumpften erheblich. Handschuhe, welche aus anderem Material als Leder, also z.B. aus Nomex oder Kermel gefertigten wurden, schrumpften zwar nicht, litten aber sehr stark unter der direkten Beflammung, da hier Verkohlung und Verschleißerscheinungen auftraten (Foto VI.9 A).

VI.33 Als bester Handschuh im Test schnitten die Elchlederhandschuhe mit Nomex oder Kermel als Innenmaterial und Luftpolstern an den Fingergelenken, kombiniert mit einer Gore-Tex- oder Cross-Tech-Membran, ab. Diese Handschuhe bieten gute Feinfühligkeit, extrem gute Widerstandsfähigkeit gegen Wärme, extrem niedrige Wasseraufnahme (erst nach einigen Stunden), keine Schrumpfung, u.v.m. Die Handschuhe können in der Maschine gewaschen werden, ohne dass die o.g. Eigenschaften beeinträchtigt werden. Die empfohlene Waschtemperatur von 40 °C ist jedoch niedriger als ursprünglich von der Feuerwehr Düsseldorf spezifiziert.



**Abbildung VI.9: Von der Feuerwehr Düsseldorf durchgeführte Gasbrennertests;
A: strukturelle Zerstörungen nach direktem Flammkontakt, B: Elchlederhandschuhe**
(www.feuerwehr-duesseldorf.de, <http://www.duesseldorf.de/feuerwehr/>)

VI.34 Zur Brandbekämpfung sollten Feuerwehrleute mit dieser Art von Handschuhen ausgestattet werden. Die „guten“ Brandschutzhandschuhe sollten ausschließlich für den Brandeinsatz vorgehalten werden. Es ist unwirtschaftlich, sie zum Straßenreinigen, bei Verkehrsunfällen oder bei Fluteinsätzen o.ä. zu verwenden. Die guten und teuren Handschuhe sollten nur bei Brandeinsätzen oder zu entsprechenden Trainingseinheiten getragen werden. Bei einem Brandeinsatz sollten sie darauf achten, die Handschuhe so trocken wie möglich zu halten. Bei anderen Einsätzen sollten billigere Lederhandschuhe, vorzugsweise mit Kevlareinlage, verwendet werden. Die Auswahl der PSA sollte immer auf einer Gefährdungsanalyse basieren.

Vergleich von EN- und NFPA-Normen für Brandbekämpfungsschutzkleidung

VI.35 In diesem Abschnitt wollen wir unseren Lesern eine kurze Übersicht über die unterschiedlichen Normen in den USA und Europa bieten. Die hier erwähnten Informationen basieren auf einem Text im Morning Pride Katalog 2002. (www.morningpride.com)

VI.36 Das **CEN** (Comitè Européen de Normalisation = Europäisches Komitee für Normung) hat Normen für die wichtigsten Teile der PSA herausgegeben. Dazu gehören:

- 1. Schutzkleidung für Feuerwehrangehörige (EN 469)**
- 2. Helme für Feuerwehrangehörige (EN 443)**
- 3. Handschuhe für Feuerwehrangehörige (EN 659)**
- 4. Schuhwerk für Feuerwehrangehörige (EN 345, Teil 2)**
- 5. Flamschutzhauben für Feuerwehrangehörige (prEN 13911)**

VI.37 Das CEN hat auch eine Norm für hitzereflektierende Schutzkleidung für Brandbekämpfung unter besonderen Umständen (Brandbekämpfung unter Wärmeschutzkleidung) erarbeitet, die auch Wärmeschutzhauben und Handschuhe beinhaltet. Außerdem werden zurzeit in Verbindung mit der ISO (International Organization for Standardization = Internationale Organisation für Normung) Anstrengungen unternommen, eine neue Norm für Schutzkleidung für den Waldbrandeinsatz zu erarbeiten.

VI.38 Im Gegensatz zur NFPA wurden diese vier CEN-Normen von unterschiedlichen Ausschüssen oder Arbeitsgruppen entwickelt. Folglich stimmen die Anforderungen und Level (Stufen) der Schutzwirkung zwischen den einzelnen Teilen der PSA nicht überein. Obwohl viele Teile der PSA die selben Testarten durchlaufen, ist es fast unmöglich, Testergebnisse aus NFPA-Tests mit solchen aus CEN-Tests zu vergleichen, da wesentliche Unterschiede in der Art und Weise bestehen, in denen diese Tests durchgeführt werden.

VI.39 Anforderungen an die Kleidung in EN 469. Bei der Schutzkleidung, die bei Bränden innerhalb von Gebäuden verwendet werden kann, gibt es signifikante Unterschiede zwischen der EN 469: 1955 und der NFPA-Norm Nr. 1971 (Ausgabe 2000):

- Es wird keine Nässesperre gefordert
- Es gibt keine Anforderungen an Reflexstreifen, solange diese nicht mit der Funktion der Kleidung in Konflikt stehen
- Es wird ein wesentlich niedrigeres Level der Wärmeisolierung gefordert. Auf Wärmeisolierung wird die Kleidung in zwei Tests geprüft, nämlich einem, der die Flammenübertragung untersucht und einem, der das gleiche mit der Strahlungswärmeübertragung tut. Die Schutzwirkung der Kleidung wird nach dem Temperaturanstieg bewertet, ohne jedoch Beziehung zu vorhersehbaren Verbrennungsverletzungen zu berücksichtigen.

- Für den unteren Teil des Körpers ist eine niedrigere Wärmeisolierung zulässig als für den oberen Bereich des Körpers.
- Das Gewebe wird durch die Untersuchung des Nachbrennens und Nachglühens, nicht jedoch durch eine Messung der Abbrandstrecke auf Flammenresistenz geprüft.
- Der Test auf Widerstandsfähigkeit gegen Wärme wird in einem Ofen bei 180 °C (355 °F) durchgeführt, anstatt bei 260 °C (500 °F), wie in der NFPA-Norm Nr. 1971 gefordert. Dadurch wird die Verwendung von schmelzenden Materialien, wie z.B. Nylon, möglich.
- Die Anforderung an das Schrumpfen bei Wärmeeinwirkung sind in der EN 469 strenger (< 5%) als in der NFPA-Norm (<10%), wenngleich der Test bei einer niedrigeren Temperatur durchgeführt wird.
- Die Schrumpfung bei der Reinigung ist in der EN 469 auf 3 % beschränkt, wohingegen die NFPA-Norm Nr. 1971 5% erlaubt.
- Ein Abperl-Test für Flüssigkeiten wird durchgeführt, um – unter Verwendung einer Auswahl von Chemikalien - die chemische Durchdringung des Stoffes zu beurteilen.
- Test auf Wasserdichtigkeit und Feuchtigkeitstransport (Atmungsaktivität) sind optional.
- Anforderungen an Ärmelbündchen sind nicht spezifiziert.

VI.40 1998 wurde eine Überarbeitung der EN 469 als Vorschlag angenommen [Dieser Entwurf wurde nicht weiterverfolgt; aktueller Stand ist der Normentwurf prEN 469:2003 (Quelle: Beuth Verlag, Stand: Februar 2005)]. Obwohl die endgültig überarbeitete Norm noch nicht verabschiedet wurde, erlaubt CEN die „Zertifizierung“ von Kleidung nach dem überarbeiteten Normvorschlag. Diese Überarbeitung der Norm (**prEN 469: 1998**) erlaubt nun zwei Klassen von Wärmeisolierung sowohl für Flammwärme- als auch Strahlungswärmeübertragungstests, wobei das neue, zweite Schutzniveau weniger Schutz bietet als die ursprünglichen Anforderungen. Darüber hinaus wird nun eine Nässesperre gefordert; diese muss nun auch Tests auf Wasserdurchdringung und Feuchtigkeitstransport bestehen. Darüber hinaus wurden auch umfangreiche Anforderungen an Reflexstreifen eingefügt.

VI.41 Anforderungen an Helme nach EN 443. In der EN 443 gibt es weniger Anforderungen an Helme als in der NFPA Nr. 1971. So müssen EN 443-konforme Helme nicht unbedingt einen Kinnriemen, Nackenschutz oder ein Visier besitzen. Der Großteil der Anforderungen sind denen in der NFPA-Norm Nr. 1971 ähnlich, werden jedoch nach unterschiedlichen Testmethoden geprüft:

- Aufschlags- und Durchdringungstests werden mit unterschiedlichen schweren Prüfkörpern und nach unterschiedlicher Vorbehandlung der Helme durchgeführt.
- Es werden unterschiedliche Tests für die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit verwendet.
- In der EN 443 werden nur die Ausdehnung und Reißfestigkeit der Riemen gemessen, wohingegen in der NFPA-Norm Nr. 1971 das gesamte Rückhaltesystem geprüft wird.

Da bei Helmen im Allgemeinen weniger prüfrelevante Bauteile vorhanden sind, werden insgesamt auch weniger Tests benötigt.

VI.42 Anforderungen an Handschuhe nach EN 659. In der EN 659 basiert die minimale Größe der Handschuhe auf dem Handumfang und der Handlänge in üblichen Größenbezeichnungen. Die Handschuhe und das Handschuhmaterial werden getestet auf:

- Abnutzung, Schneid-, Reiß- und Durchstechungswiderstandsfähigkeit in Übereinstimmung mit der EN 420 (Mechanische Eigenschaften von Handschuhen),
- Brandverhalten und Widerstandsfähigkeit gegen Flammeneinwirkung auf die Oberfläche werden in Übereinstimmung mit der EN 407 (Thermische Eigenschaften von Handschuhen) getestet;
- die Widerstandsfähigkeit gegen Wärme bei 180 °C (355 °F);
- den maximalen Chromgehalt und pH-Wert des Handschuhleders.

Im Vergleich mit der NFPA-Norm Nr. 1971 erlaubt die EN 659 dünnere, weniger isolierende Handschuhe ohne Nässesperren.

VI.43 Anforderungen an Schuhwerk nach EN 345-2. Die Anforderungen an Schuhwerk sind größtenteils in der EN 345 Teil 2 enthalten; jedoch wird auch in den allgemeinen Normen für Schuhwerk (EN 344 und EN 345) auf sie hingewiesen. Wie in anderen europäischen Normen auch, werden zwar Tests spezifiziert, die der NFPA-Norm Nr. 1971 ähneln; es gibt jedoch signifikante Unterschiede beim Testablauf und bei Anforderungen an die Konstruktion. Diese Unterschiede erschweren es, zwei Produkte zu vergleichen. Es sei noch erwähnt, dass die Anforderungen an die thermische Isolierung und die Thermobarriere für EN 345-2 konformes Schuhwerk im Vergleich zu den Anforderungen der NFPA-Norm Nr. 1971 relativ niedrig sind.

VI.44 Anforderungen an Flammschutzhauben nach prEN 13911. Mit Ausnahme einiger Unterschiede in den Testmethoden sind die vorgeschlagenen Anforderungen an Flammschutzhauben in der prEN 13911 denen in der NFPA-Norm Nr. 1971 ähnlich. Die Annahme der prEN 13911 wird für Ende 2002 erwartet [Dieser Normentwurf ist heute Stand der Technik: „DIN EN 13911:2004 - Schutzkleidung für die Feuerwehr - Anforderungen an Prüfverfahren für Feuerschutzhauben für die Feuerwehren“ (Quelle: Beuth Verlag, Stand: August 2004).]

VI.45 Nachstehend sind alle NFPA-Normen aufgeführt, die für Feuerweherschutzbekleidung von Bedeutung sind:

NFPA 1971, Ausgabe 2000: Norm für Feuerweherschutzbekleidung im Innenangriff: In ihr sind Kriterien für die Leistungsfähigkeit, das Design und die Zertifizierung von Schutzausrüstungsteilen und Materialien, die bei der Brandbekämpfung im Innenangriff eingesetzt werden, aufgeführt; dazu gehören Schutzhosen und -jacken, Overalls, Helme, Handschuhe, Schuhwerk und Verschlüsse.

NFPA 1976, Ausgabe 2000: Norm für Wärmeschutzbekleidung: Sie gibt die Leistungsfähigkeit, das Design und die Art der Zertifizierung von Wärmeschutzbekleidung vor. Dies bezieht auch Schutzhosen und -jacken, Overalls, Helme, Handschuhe, Schuhwerk und Verschlüsse mit ein.

NFPA 1977, Ausgabe 1998: Norm für Schutzbekleidung und Ausrüstung für die Waldbrandbekämpfung: Sie gibt die Leistungsfähigkeit, das Design und die Art der Zertifizierung für Schutzbekleidung und Materialien vor, die bei der Waldbrandbekämpfung verwendet werden. Dies bezieht auch Schutzhemden, Schutzhosen, Overalls, Helme, Handschuhe und Schuhwerk mit ein.

NFPA 1975, Ausgabe 1999: Norm für Dienst-/ Arbeitsuniformen für Feuerwehren und Rettungsdienste: In ihr werden die Testverfahren, die Leistungsfähigkeit und die Kriterien für die Zertifizierung für Kleidung, die als Dienst-/Arbeitsuniform getragen wird, beschrieben. Diese Norm gilt nicht für Kleidungsstücke, die als Primärschutz getragen wird.

NFPA 1851, Ausgabe 2001: Norm für die Auswahl, Behandlung und Pflege von Schutzbekleidung für den Innenangriff: In ihr sind die Verfahrensweisen für eine geeignete Reinigung, Pflege und Wartung für NFPA 1971-konforme Schutzbekleidung zusammengefasst.

(Quelle: Website der Firma Southern Mills)

Was ist TPP?

TPP steht für Thermal Protection Performance (Thermische Schutzleistung). Die TPP-Wertung eines Gewebes oder Gewebegemisches bezieht sich auf seine thermischen Isolierungseigenschaften beim Schutz des Trägers vor dem Feuer. Bei der Messung der TPP wird als Wärmequelle eine Kombination aus Wärmestrahlung und Flammwärme mit einem Wärmefluss von 8,374 Joule pro cm² pro sec verwendet. Die Geweboberfläche wird auf einer Fläche von 9,8 cm x 9,8 cm⁴ mit einer Flamme beaufschlagt. Es wird gemessen, wie lange es dauert, bis am Kalorimeter auf der anderen Seite der Probe das Äquivalent einer Verbrennung 2. Grades erreicht wird. Diese Zeit (in Sekunden) multipliziert mit dem verwendeten Wärmefluss ergibt die TPP-Wertung.

Was ist der Gesamtwärmeverlust (Total Heat Loss)?

Der Körper gibt überschüssige Wärme ab, um das Stoffwechselgleichgewicht aufrecht zu erhalten. Ein Teil dieser Wärmeenergie wird als trockene Wärme, der Großteil jedoch in Form von Schweiß abgegeben. Die Verdunstung von Schweiß ist der effektivste natürliche Kühlmechanismus des Körpers. Die Gesamtwärmeverlust-Kennziffer eines Gewebes oder einer Gewebekombination ist die Energiemenge, die durch den Stoff – von innen nach außen – übertragen werden kann. Je höher dieser THL-Wert ist, desto besser ist das Gewebe dazu geeignet, überschüssige Körperwärme abzugeben.

Der THL gilt für das verwendete Textilgewebe

Die Anforderungen der NFPA beziehen sich auf das Gewebe der Einsatzkleidung, nicht jedoch auf die Einsatzkleidung selbst. Der Test wird mit der Kombination des Obermaterials, der Nässesperre und der Thermobarriere durchgeführt. Was dabei jedoch nicht berücksichtigt wird, sind Überlappungen von Hose und Jacke und die Oberflächen, die von Reflexstreifen, Taschen oder zusätzlichen Verstärkungen bedeckt werden. Dies ist insofern problematisch, da diese nicht genauso atmungsaktiv sind wie das eigentliche Gewebe. Die Körperwärme kann normalerweise jedoch um diese relativ kleinen Hindernisse herum entweichen (genauso wie die Körperwärme auch durch Halsöffnungen, Hosenbeine und Ärmelöffnungen usw. entweichen kann).

⁴ four-inch by four-inch

Bedeutet ein hoher THL eine niedrige TPP?

Kleidung mit einer außergewöhnlich hohen Bewertung der thermischen Isolierung (TPP) ist üblicherweise dicker als der Durchschnitt und erschwert so die Abgabe von Körperwärme. Es gibt mehrere Gewebemischungen, die eine exzellente thermische Isolierung und eine außergewöhnlich gute THL-Leistung bieten. Zwar beeinflusst jeder Bestandteil einer Einsatzkleidung den THL-Wert des Gesamtsystems; der wichtigste Faktor zur Bestimmung der Gesamtwärmeverlust-Eigenschaften eines Gewebes ist jedoch die Nässesperre. Die Wahl der richtigen Nässesperre kann in der THL-Bewertung einen Unterschied von über 100 Punkten ausmachen und hat dabei keine merklichen Auswirkungen auf die TPP. Die Wahl der Thermobarriere wiederum hat die größten Auswirkungen auf die TPP. Sie macht auch einen signifikanten Unterschied in der THL-Wertung aus. Die Art und das Gewicht des Obermaterials hingegen haben nur minimale Auswirkungen auf den THL und die TPP des Gewebes.

Wie sieht die beste Balance zwischen THL und TPP aus?

Zurzeit sind eine Menge außergewöhnlich gute Gewebevarianten erhältlich. Die gewählte Strategie in Sachen THL/TPP hängt von den gestellten Anforderungen und den von den einzelnen Feuerwehren gewählten Ansätzen ab. Die Anforderung der NFPA, die eine TPP-Wertung von mindestens 35 fordert, hat sich gut bewährt. In der Vergangenheit haben einige Feuerwehren ihre Thermobarrieren auf Basis von relativen TPP-Werten ausgewählt, da keine Bewertung der Stress-produzierenden Auswirkungen von Materialien für Einsatzkleidung zur Verfügung stand. Nun, da es zum Ausgleich den THL-Test gibt, der die Stress reduzierenden Eigenschaften eines Gewebes angibt, stehen Informationen zur Verfügung, die bei diesen Entscheidungen helfen können, welche auf Risikoanalysen, Unfallmeldungen, Einsatztaktiken, dem Prozentsatz von Nicht-Brandeinsätzen, demografischen Entwicklungen in den Feuerwehren usw. basieren. In vielen Fällen bietet das beste System einen hohen THL-Wert (welcher dazu beiträgt, das Stoffwechselgleichgewicht aufrecht zu erhalten) von ungefähr 260-300 W/m² und einem TPP-Wert von ungefähr 38-42. Die taktische Verwendung von Knie- und Schulterpolstern, die dazu beitragen, Verbrennungen aufgrund von Kompression der Schutzkleidung an bestimmten Stellen und auch Verbrühungen zu verhindern, können die leichte, atmungsaktive und vielseitige Schutzkleidung vervollständigen.

(Quelle: Website der Firmen DuPont/Lion Apparel)

VII. TRAINING FÜR DAS VERHALTEN IM INNENANGRIFF

safe-person-Konzepte in der Realbrandausbildung

VII.1 Training für eine offensive (im Innenangriff vorgetragene) Brandbekämpfung ist heute vielleicht wichtiger denn je. Der moderne Feuerwehrmann benötigt sowohl theoretische als auch praktische Kenntnisse darin, wie sich ein Brand entwickelt und unter einer Vielzahl von unterschiedlichen Belüftungssituationen verhalten wird, und das und das sowohl bei Zimmer-, als auch bei Wohnungs- und Gebäudebränden. Bei einem solchen Training sollte großer Wert darauf gelegt werden zu erklären, wie sich Brandgase bilden und höchstwahrscheinlich im Gebäude bewegen werden. Außerdem muss der Begriff „**Risikoanalyse**“ im Hinblick auf die Gefahren, die durch Flashover und Backdraft und anderen Formen von schneller Brandausbreitung hervorgerufen werden, genau definiert werden. Darüber hinaus sollten die unterschiedlichen Arten der Brandbekämpfung – dazu gehören der **Direkte Angriff** (sowohl mit Wasser als auch mit CAFS), der **Indirekte Angriff** und die **3D-Wassernebelanwendung** – genau erklärt und unter einer ganzen Bandbreite von unterschiedlichen Bedingungen auch eingeübt werden. Dieses Training kann sich zwar als kostenintensiv erweisen; es ist jedoch unerlässlich, wenn die Sicherheit der Feuerwehrleute erhöht werden soll. In Ländern wie Schweden, dem Vereinigten Königreich und Australien haben klar gegliederte Trainingsprogramme für das Verhalten im Innenangriff (TVIA – Programme) die Anzahl der Todesfälle und schwerwiegenden Brandverletzungen, die Feuerwehrleute durch verschiedene Formen von schneller Brandausbreitung und daraus resultierenden Gebäudeeinstürzen erlitten, effektiv reduziert.



Foto VII.1 (von Wayne Atkins, Australien)

VII.2 Die Vergangenheit hat gezeigt, dass Übungsfeuer in leerstehenden oder verfallenen Häusern oft den schmalen Grat zwischen „Realismus“ und „Sicherheit“ überschreiten. Dies kann sogar dann geschehen, wenn nationale Richtlinien und Sicherheitsvorschriften genau eingehalten werden. Bei solchen Übungsfeuern kommt es außerdem zu stark unterschiedlichen Situationen und Bedingungen, die oft unvorhersehbar sind und die nur schwer zu wiederholen oder zu kontrollieren sind, was jedoch wünschenswert wäre, um ein einheitliches Grundlagen-TVIA anbieten zu können. In Europa hat man schon vor einiger Zeit erkannt, dass Gebäude, die extra für diesen Zweck gebaut wurden und mit einer für die räumliche Beschaffenheit des Brandraums optimierten Brandlast betrieben werden, die sicherste Umgebung

sind, um Feuerwehrleuten zu lehren, wie sich Zimmerbrände entwickeln und um gleichzeitig eine ganze Bandbreite von Brandbekämpfungsmethoden demonstrieren zu können. Solche Gebäude sind darüber hinaus die wirtschaftlichste Methode, Feuerwehrmänner zu trainieren. Außerdem bieten sie **realistische, aber kontrollierte** Bedingungen.

VII.3 Stählerne Schiffscontainer bieten Vielseitigkeit, Anpassungsfähigkeit und sind durch ihre Konstruktion wie geschaffen für einen modularen Aufbau von billigen, aber effektiven Brandhäusern und Flashoversimulatoren. Einzelne Container, in denen das Feuer beobachtet und bekämpft werden konnte, werden in Europa schon seit über 20 Jahren verwendet, um Brandausbreitung, Rollover, Flashover und Backdraft zu demonstrieren. Dabei werden die Feuerwehrleute in die Lage versetzt, die Entstehung, den Transport und die Entzündung der Brandgase aus allernächster Nähe mitzerleben, wobei ihre Sicherheit jedoch immer oberste Priorität besitzt. Auf Grund dieser Nähe zum Feuer sind die Feuerwehrmänner dazu fähig, die verschiedenen Arten der Brandbekämpfung auszuprobieren und zu bewerten. Hierbei erlangen sie einen unvergleichlichen Erfahrungsschatz und Selbstvertrauen für die Brandbekämpfung im Innenangriff. Die Simulatoren werden auch dazu verwendet, Türöffnungsprozeduren zu lehren, wobei die Feuerwehrmänner lernen sollen, schon von außen eine Vielzahl der Bedingungen im Innern des Brandraumes zu erkennen, einschließlich **einen unter Sauerstoffmangel leidenden Brand**.



Foto VII.2 – Feuerwehr Staffordshire

VII.4 Es ist jedoch wichtig, sich bewusst zu machen, dass diese modularen Trainingsstätten nur die Simulation der Realität sind und dass man mit einem Übungsfeuer aus Sicherheitsgründen einen „richtigen“ Brand niemals wirklichkeitsgetreu imitieren kann. In den Trainingseinheiten werden keine großen Brandlasten verwendet und in der Realität werden die Ereignisse, die man im Simulator erlebt, höchstwahrscheinlich sehr viel schneller ablaufen; und dass in einer Umgebung, die in der Realität den Feuerwehrmännern unbekannt sein wird. Trotzdem besitzen die modularen Simulatoren einen so hohen Realitätsgrad, wie man ihn sich nur wünschen kann. Es ist möglich, Feuerwehrleute in eine Trainingssituation zu versetzen, in der beim Kriechen in Schulterhöhe Temperaturen von 300 °C über mehrere Sekunden hinweg keine Seltenheit sind [20].

VII.5 Darüber hinaus ist es wichtig, die TVIA-Konzepte von einzelnen Beobachtungs- und Brandbekämpfungseinheiten hin zu mehrstöckigen Anlagen mit mehreren Räumen weiterzuentwickeln. Um das Design dieser mehrmoduligen Simulatoren zu erleichtern, muss die Verwendung von CFD-Simulationen und die empirische Forschungsarbeit mittels schon vorhandener Daten gefördert werden, wenn diese Übungsstätten **sicher und effektiv** bleiben sollen. Ohne Training in mehreren Räumen unter Verwendung von bewährten Anordnungen der Container wird es dem Feuerwehrmann nicht gelingen, ein umfassendes Verständnis davon zu erlangen, welche Auswirkungen der Einsatz von taktischer Ventilation auf die umliegenden und (an das Feuer) angrenzenden Räume aller Wahrscheinlichkeit nach haben wird. Die ganze Komplexität eines Brandbekämpfungseinsatzes im Innenangriff und jedes Verständnis für die realistischen **Dynamik der Brandgase** und für die Rolle, die die Brandgase bei einem solchen Brand spielen, würden verloren gehen, wenn man sich auf nur einen Raum beschränkt. Die Grundsätze von TVIA werden nun an **existierende Trainingsstrukturen** angepasst. Außerdem sollen nun **Rauchwaschanlagen** eingesetzt werden, um die Belastung der (örtlichen) Umwelt zu lindern.



Foto VII.3: Tim Watkins (Australien)

Anmerkung:

Zimmerbrand: Nur ein Raum ist vom Brand betroffen.

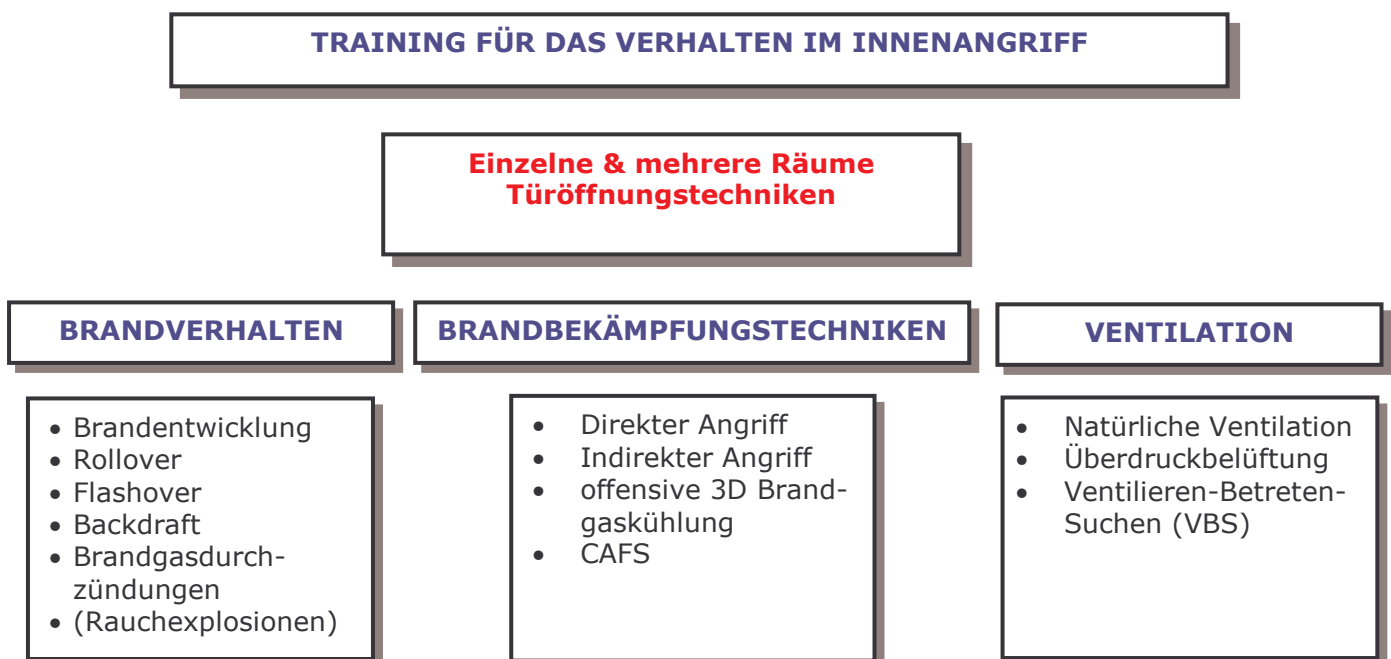
Wohnungsbrand: Mehrere Räume - möglicherweise auf verschiedenen Etagen - sind vom Brand betroffen.

Gebäudebrand: betrifft mehrere Räume, wobei tragende Strukturen beschädigt oder betroffen sind, weshalb die Stabilität des Gebäudes bedroht wird.

VII.6 WARNUNG

Simulatoren, die nur aus einem „Zimmer“ bestehen, sind der Einschränkung unterworfen, dass sie Feuerwehreute nur auf Zimmerbrände vorbereiten können. Vorteilhaft an ihnen ist jedoch, dass man daran sehr gut Türöffnungsprozeduren üben kann. Um einen umfassenden Übungsansatz bieten und die operativen Auswirkungen verstehen zu können, die sowohl mit der Brandgasbildung, dem Transport derselben und ihrer Durchzündung, als auch mit taktischen Belüftungseinsätzen und dem Vorgehen der Trupps zusammenhängen, müssen die TVIA-Anlagen zu mehrräumigen, mehrgeschossigen Übungsstätten weiterentwickelt werden.

VII.7 Die Verwendung von Propangas-befeuerten Anlagen ist zwar NICHT zweckmäßig, um das Verhalten im Innenangriff zu lehren, bietet aber eine Trainingsstätte, in der Strahlrohrtechniken geübt werden können.



Schema VII.1: Ausbildungsziele des TVIA in der Realbrandausbildung

Sicherheit in TVIA-Simulatoren

VII.8 Das Konzept, ausgemusterte Stahlschiffscontainer zu benutzen, um Feuerwehreute beizubringen, wie sich ein Zimmerbrand unter veränderlichen Belüftungssituationen entwickelt und verhält, wurde von den schwedischen Führungsdienstgraden Mats ROSANDER und Anders LAUREN Anfang der 1980er entwickelt [9]. Die Container wurden so gestaltet, dass man die Entstehung und den Transport von Brandgasen in einem Raum so realistisch wie möglich simulieren kann, wozu man eine Vielzahl von Phänomenen die mit Flashover, Backdraft und anderen Formen von Schneller Brandausbreitung zusammenhängen, demonstriert. Diese spezifischen Gefahren an der Einsatzstelle waren zur damaligen Zeit zunehmend für Todesfälle von Feuerwehrmännern verantwortlich. Diese Todesfälle waren darauf zurückzuführen, dass die Feuerwehreute keine Möglichkeit hatten, die Grundprinzipien der Brandentwicklung und des Verhaltens eines Brandes in einem geschlossenen Raum zu verstehen. Die neuen Simulatoren boten darüber hinaus eine

Gelegenheit, um Maßnahmen zu üben, mit denen man gegen Brandgase, die sich im Overhead ansammeln und durchzünden, vorgehen konnte. Die Einführung von 3D-Wassernebelanwendung und Taktischer Ventilation waren zentraler Bestandteil des „safe-person“-Konzeptes und der Methoden der betrieblichen Gefährdungsanalyse, wie sie im Vereinigten Königreich und Schweden entwickelt wurden.



Foto VII.4 – Feuerwehr Essex

VII.9 Die Methoden und Taktiken, die in den Simulatoren verwendet wurden, erhöhten die Sicherheit von Feuerwehrmännern bei Brandeinsätzen im Laufe der folgenden Jahre erheblich. Die Ersten, die diese Ansätze „der neuen Art“ übernahmen und bei Einsätzen anwendeten, bei denen unter Sauerstoffmangel leidende Brände sowie Brandgasansammlungen in Hohlräume in Treppenträumen und Zimmern Probleme bereiteten, waren verschiedene Brandschutzbehörden in Schweden, Finnland, dem Vereinigten Königreich, Deutschland, Australien, Spanien und den USA. Zwar bieten gasbefeuerte Trainingsanlagen eine umweltfreundliche Alternative zu den mit Spanplatten ausgekleideten Simulatoren und „richtigen“ Bränden; die Simulationen in ihnen sind jedoch nicht wirklich realistisch und können nicht dazu genutzt werden, Feuerwehrmännern zu erklären, wie sich ein Zimmerbrand unter einer Vielzahl von Belüftungssituationen verhält.

VII.10 Parallel zu dem Trainingsprogramm entwickelten sich auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse auch die Sicherheitsmaßnahmen und die beim TVIA eingesetzten Simulator-Konstruktionen weiter. Das Ziel war, Simulatoren herzustellen, die zwar sicher, aber dennoch effektiv sind, wobei „effektiv“ in diesem Zusammenhang heißt, dass sie realistische Bedingungen bieten. Da die grundlegende räumliche Konzeption der Stahlcontainer ideal war, um die Entwicklungen von Rauchgasdurchzündungen mehrmals zu wiederholen, wurde ein umfassendes Konzept, welches die Konstruktion und Verwendung dieser Trainingsstätten mit einbezieht, entwickelt, das zum Ziel hatte, diese verschiedenen Aspekte des Brandverhaltens zu lehren. So gibt es beispielsweise Simulatoren, in denen man Flashover **beobachten** kann, Anlagen mit **Öffnungen**, in denen man Backdrafts demonstrieren kann und Anlagen für **taktische Angriffe**, in denen Türöffnungsprozeduren und Vorgehensweisen geübt werden können. Die Konstruktion und der Verwendungszweck dieser verschiedenen Simulator-Typen sind unterschiedlich und wurden manchmal auch örtlichen Anpassungen unterzogen. Dennoch stimmen sie im Allgemeinen mit dem schwedischen Original überein.

VII.11 Für die Verwendung von solchen Anlagen gibt es strenge Sicherheitsauflagen [4], die u.a. folgende Punkte beinhalten:

1. Alle Feuerwehrmänner sollten vor dem Betreten des Simulators vollständig hydriert sein und am Ende des Trainings rehydriert werden (Flüssigkeitsaufnahme!).
2. Sowohl das Obermaterial als auch das Innenleben der Schutzkleidung sollte einem hohen Standard entsprechen. Zur PSA müssen auch Flammenschutzhauben gehören; so wird sichergestellt, dass alle Hautpartien jederzeit bedeckt sind.
3. Wenigstens zwei Schlauchleitungen sollten während des Trainings zu Verfügung stehen; sie sollten – wo möglich – von jeweils eigenen Pumpen und Wasserversorgungen gespeist werden. Die Leitung innerhalb des Simulators wird von höchstens 4 - 6 Auszubildenden bedient, die Leitung außerhalb des Simulators wird von einem Führungsdienstgrad, der für die Sicherheit verantwortlich ist, sowie einem Ausbilder bemannt.
4. Es wird Personal abgestellt, dessen Aufgabe einzig und allein die Bedienung der Ventilationsluken ist.
5. Den Feuerwehrmännern im Simulator sollten wenigstens zwei Fluchtwege zur Verfügung stehen.
6. Bei Trainingsanlagen, in denen nur beobachtet wird, sollte die hintere Tür immer geöffnet sein, wenn sich Personen im Simulator aufhalten.
7. In Simulatoren, in denen Backdrafts demonstriert werden, sollten sich zu keinem Zeitpunkt der Vorführung Personen aufhalten.

VII.12 Im Jahr 1991 hat das Brandtechnologie-Labor des Finnischen Technischen Forschungszentrums (VTT) Forschungen über den **Betrieb und die sichere Verwendung** von Zimmerbrandsimulatoren nach Container-Bauart durchgeführt [5]. Im Zuge dieser Forschungsarbeit wurden die Wärmeflüsse untersucht und die Temperaturen in verschiedenen Bereichen im Container (einschließlich der Bereiche, in denen sich die Feuerwehrmänner aufhalten) gemessen. Die Forscher kamen zu dem Schluss, dass eine Ventilationsluke am Dach von 500 mm x 500mm ausreichend ist und dass die Simulatorkonstruktion auf Basis des ursprünglichen schwedischen Modells für den Gebrauch durch Feuerwehrmänner und für den Aufenthalt derselben im Simulator als Maßnahme zum Lehren von Brandverhalten und Brandgaskühlungstechniken geeignet und sicher ist. **Es wurde betont, dass das Ziel sein muss, es nicht zum vollständigen Flashover kommen zu lassen, solange sich Personen im Simulator befinden und dass es für die Sicherheit entscheidend ist, dass durch eine Kühlung der Gase im Overhead die Kontrolle über die Umweltbedingungen erhalten bleibt.** Die Forscher beobachteten Höchsttemperaturen von 200 °C in Schulterhöhe; bei knienden Auszubildenden wurden bei wiederholten Gasdurchzündungen bis zu 400 °C in Höhe der Helmoberkante für einige wenige (2-3) Sekunden festgestellt.

VII.13 Eine andere Studie, die von der Universität Central Lancashire (Vereinigtes Königreich) durchgeführt wurde [6], spricht von Höchsttemperaturen von 150 °C in Schulterhöhe von kriechenden Feuerwehrmännern innerhalb des Beobachtungssimulators.

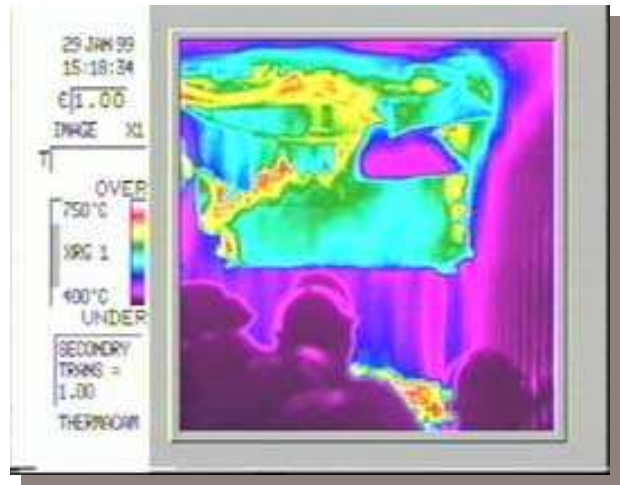


Foto VII.3, freundlicherweise von der Universität Central Lancashire zur Verfügung gestellt.

Jüngste CFD-Forschungen über Brandsimulatoren sind fehlerhaft

VII.14 Vor kurzem gab es zwei Forschungsprojekte, die mit Hilfe Numerischer Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics) bestimmte Situationen berechneten, die beim TVIA auftreten können. Zuvor hatte es war Berichte gegeben, dass bei einigen TVIA „gefährliche Bedingungen“ aufgrund zu hoher Temperaturen im Inneren der Simulatoren herrschten. Dies sollte in den Forschungsprojekten geklärt werden. Diese Forschungsprojekte sind jedoch stark fehlerhaft, da CFD (zurzeit) nicht dazu in der Lage ist, Brandbekämpfungsaktionen, bei denen Wasser zur Kühlung verwendet wird, effektiv zu simulieren. Die Auftraggeber für diese Studien waren zwei Brandschutzbehörden, die, wie sich im Nachhinein herausstellte, offensichtlich die ursprünglichen schwedischen Richtlinien für den sicheren Übungsbetrieb in den Simulatoren nicht befolgt hatten.

VII.15 Der erste Forschungsbericht [7] erschien im Jahr 2002 in der Mai-Ausgabe des „Fire Prevention & Fire Engineers Journal“ (Vereinigtes Königreich). In ihm berichtete Nick POPE von „übermäßig hohen Temperaturen“ in einem Flashover-Trainingssimulator, der von der Feuerwehr London (an der Feuerweherschule Moreton) verwendet wird. Dies würde den Simulator für die Ausbildung von angehenden Feuerwehrmännern „gefährlich“ machen. Im weiteren Verlauf stellt er dar, wie CFD verwendet wurde, um die Bedingungen im Simulator nachzustellen und kommt zu dem Schluss, dass die „übermäßig hohen Temperaturen“ vermieden werden könnten, wenn die Anzahl der Ventilationsluken von eins auf drei erhöht würde. In dieser Forschungsarbeit wurde jedoch nicht berücksichtigt, dass Wasser (**Impuls-Sprühstrahl**) eingesetzt wird (**werden sollte**), um die Umgebungsbedingungen im Simulator zu kontrollieren. Dadurch wird sichergestellt, dass die Temperaturen in Bereichen, in denen sich Feuerwehrleute aufhalten, nicht übermäßig hoch werden. Im Bericht wird von Temperaturen von über 600 °C im Eingangsbereich zum Container gesprochen; diese herrschten jedoch in Höhe der Decke.

Ferner wurde noch berichtet, dass die Feuerwehrmänner sich in einer „Beobachtungsanlage“ befanden. Wenn dies der Fall war, würden sie den Container nicht erst betreten, NACHDEM sich das Feuer einige Zeit entwickelt hat (wie berichtet wurde), sondern hätten sich schon vor der Entzündung der Brandlast im Container befunden und hätten die Entwicklung des Brandes vom Anfangsstadium bis zum Flashover beobachtet und hätten dabei mit einem Impuls-Sprühstrahl das Temperaturniveau kontrolliert. Falls die Anlage ein „Angriffsmodul“ gewesen wäre, hätten die Feuerwehrmänner die Anlage einige Zeit, nachdem der Brand ausgebrochen war, betreten, dabei Türöffnungstechniken angewandt und einen kühlenden Sprühstrahl in die oberen Gasschichten abgegeben, kurz bevor sie den Simulator betreten hätten.

VII.16 Der zweite der oben genannten Forschungsberichte [8] erschien 2002 in der November-Ausgabe des „FIRE Journal“ (Australien). Die Autoren dieses Berichts gaben unumwunden zu, dass der ursprüngliche „POPE-Bericht“ aus dem Vereinigten Königreich der Anlass für ihre Forschungen war. Die Brandschutzbehörde des Australian Capital Territory (ACT) gab diesen Bericht von BRAMMER & WISE in Auftrag und reagierte damit auf ähnliche Berichte von „gefährlichen Bedingungen“ in TVIA-Containersimulatoren. Auch bei diesen Forschungen wurde wieder auf CFD-Simulationen zurückgegriffen, um Lösungen für die Beseitigung der übermäßig hohen Temperaturen in den Teilen des Simulators zu finden, in denen sich die Feuerwehrmänner aufhalten. Wiederum wurde die Anordnung der Belüftungsluken verändert, um die Bedingungen zu „verbessern“. Jedoch werden auch in diesem Bericht keine Anwendungen von Wasser oder Maßnahmen zur Kontrolle der Umgebungsbedingungen erwähnt. Im Gegenteil, es scheint so, als ob den Feuerwehrmännern aus dem ACT im Simulator nicht einmal Wasser zur Verfügung stand, während sie beobachteten, wie sich ein Brand zum Stadium des Flashovers und **darüber hinaus** entwickelte!

VII.17 Die beiden Berichte schließen mit Empfehlungen zur Verbesserung der Bedingungen in den Simulatoren, vergessen jedoch auf frühere Forschungen auf diesem Gebiet hinzuweisen, die sich mit diesen Aspekten schon beschäftigt hatten. Ebenso wurden in den Berichten keinerlei Kühleffekte des Wassers auf die Gasphase berücksichtigt. Des Weiteren wurde nicht erwähnt, welche Auswirkungen die Verwendung von Wasser darauf haben kann, sicherzustellen, dass die Temperaturen kontrolliert und auf einem ungefährlichen Niveau gehalten werden. Die beteiligten Behörden scheinen die Simulatoren außerhalb der allgemein anerkannten Sicherheitsvorschriften betrieben zu haben, in völliger Unkenntnis der Konstruktionsmerkmale und Trainingsziele der verwendeten Simulatoren.

VII.18 Derartige Forschungen können völlig irreführend sein, wenn man zulässt, dass sie unkommentiert und unwidersprochen bleiben. Diese Berichte könnten die Basis für die zukünftigen Konstruktionsanforderungen für TVIA-Simulatoren bilden und gleichzeitig den jetzigen Nutzern von Containersimulatoren suggerieren, ihre Anlagen seien gefährlich. Wo man jedoch nach der schwedischen Konstruktion und dem schwedischen Nutzungsmodell verfährt, entspricht dies nicht im Geringsten der Wahrheit. Neue Konstruktionsanforderungen sind außerdem unnötig und ineffektiv. Die verantwortlichen Stellen, die solche Simulatoren zukünftig betreiben wollen, wären gut darin beraten, die langjährigen Erfahrungen und Forschungen anzuerkennen, die heute schon bestätigen, dass das schwedische Modell für TVIA-Simulationen – sofern man es befolgt – weiterhin die sicherste und effektivste Alternative bleibt. Sie sollten außerdem sicherstellen, dass die Ausbilder nach dem ursprünglichen schwedischen Modell sowohl trainiert als auch qualifiziert werden und dass örtliche Veränderungen an der Konstruktion, der Ausbildung oder der Verwendung der Anlagen im Hinblick auf die Sicherheit sorgfältig überprüft werden. Diese Prüfung sollte immer unter Berücksichtigung der ursprünglichen Spezifikationen und Trainingsziele erfolgen.

Übertragung des TVIA auf die reale Brandbekämpfung in Gebäuden

VII.19 „Kein Brand ist wie der andere.“ Diese alte Feuerwehr-Weisheit ist tatsächlich zutreffend. Es ist allgemein bekannt, dass sich bei jedem Einsatz die Konstruktionsweise, der Grundriss, die Nutzungsart, die strukturelle Intaktheit und die Brandlast eines Gebäudes ebenso stark unterscheiden wie die Wetterbedingungen, die Wasserversorgung, der Ort des Brandes, die geografische Lage der Einsatzstelle und die Belüftungsparameter usw.; und auch unsere taktischen Ansätze und Ziele sind nicht immer die gleichen. Zwar können einige Feuerwehrmänner ihre Erfahrungen sozusagen durch „learning by doing“ sammeln, einfach aufgrund der Tatsache, dass sie viele derartige Brände erleben und dabei mit erfahreneren Kollegen zusammenarbeiten können. Der Großteil von uns muss sich jedoch auf die Ausbildung verlassen, die wir bei Realbrandausbildungen oder in Brandübungsanlagen erhalten.

VII.20 Die Grundsätze des Trainings für das Verhalten im Innenangriff (TVIA) – bei dem ausgemusterte Stahl-Schiffscontainer verwendet werden – wurden Anfang der 1980er von schwedischen Feuerwehrleuten entwickelt. Das ursprüngliche schwedische Modell basiert auf dem Grundsatz eines gesteigerten Bewusstseins darüber, wie wichtig die Bedeutung der Bildung, der Dynamik und der Entzündung von Brandgasen ist. Das Ziel dieses Trainings war es, deutlich zu machen, wie sich Brände bei unterschiedlichen Belüftungsparametern verhalten und so den Feuerwehrmännern beizubringen, wie man die verschiedenen Arten der schnellen Brandausbreitung bekämpfen kann. Außerdem sollten den Feuerwehrmännern die Auswirkungen ihrer Handlungen bzw. „Nicht-Handlungen“ auf einen einfachen Zimmerbrand vor Augen geführt werden. Die modulare Bauweise der TVIA-Trainingsanlagen ließ eine naturgemäß auftretende Weiterentwicklung dieses Konzeptes von einfachen „Ein-Raum-Simulatoren“ hin zu Anlagen mit mehreren Räumen zu, wobei zusätzliche Container in unterschiedlichen Anordnungen an das Ursprungsmodul angebaut werden, vor allem in „L“- und „H“- Anordnungen. Auch mehrstöckige Häuser können auf diese Art simuliert werden. Diese Entwicklung hat TVIA auf das nächste Level auf seinem Weg hin zu möglichst großer Realität gebracht und bietet den Feuerwehren ein sicheres, billiges und effektives Mittel zur Ausbildung der Feuerwehrleute in verschiedenen taktischen Ansätzen.

VII.21 Es ist jedoch leider Fakt, dass das ursprüngliche schwedische Ausbildungsmodell sowohl hinsichtlich der Konstruktion der Container als auch in der Art der Anwendung in einigen Teilen der Welt verfälscht wurde. Die Vorstellung, dass Feuerwehrmänner einen Brand in einem Container einfach nur „beobachten“, und zwar ohne den Schutz bzw. die Verwendung von Wasser, um die Umgebungsbedingungen zu kontrollieren, ist gefährlich und steht im Gegensatz zu den Grundsätzen sicheren Arbeitens. Verwendet man Vollstrahl anstatt „Impuls“-Sprühstrahl, kann den Feuerwehrmännern nicht demonstriert werden, wie man die Kontrolle über die Umgebungsbedingungen in einem Raum erlangen kann, in dem **das Feuer nicht sichtbar ist**. Abschließend sei noch angemerkt, dass die Verwendung von gasbefeuerten Übungsanlagen in Containerbauweise nicht zielführend ist, wenn es darum geht, Feuerwehrmännern zu lehren, wie sich ein Brand entwickelt. Daher können solche Anlagen keinesfalls das Verhalten von Brandgasen realistisch darstellen.

VII.22 Ein Rückblick auf Einsätze, bei denen in der Vergangenheit Feuerwehrleute zu Tode kamen, zeigt häufig auftretende Fehler auf, die im Allgemeinen das Ergebnis von Unerfahrenheit oder von bloßem Reagieren auf Situationen sind. Die Grundsätze des TVIA **sollten** den Feuerwehrmännern lehren, in stärkerem Maße als bisher die Initiative zu ergreifen (also zu agieren) und sie „Ereignisse“ schon im Vorhinein erkennen und wahrnehmen lassen. Die Feuerwehrmänner **sollten** sich außerdem der Tatsache bewusster werden, dass bei einem taktischen Vorgehen immer auch ein Zeitrahmen existiert, der, wenn er nicht eingehalten wird, das Ergebnis des taktischen Vorgehens beeinträchtigt. Ein derartiger üblicher Fehler ist z.B. die Vernachlässigung der Erstangriffsleitung – bzw. ihrer ständigen Bemannung durch einen Feuerwehrangehörigen – zu Gunsten anderer Aktionen, wie z.B. der Ersten Suche. Wenn man TVIA als Mittel zur Verbesserung der Sicherheit der Feuerwehrmänner betrachtet, hat es sich bis dato als die sicherste und effektivste Methode zur Erreichung dieses Ziels erwiesen. Es ist jedoch noch weit davon entfernt, perfekt zu sein!

VII.23 Wie oft habe ich schon von Teilnehmern an einem solchen Training – von erfahrenen Führungsdienstgraden und von Feuerwehrmännern mit über 20 Jahren Einsatzerfahrung – Sätze gehört wie z.B. „Wow, dieser Trainingsdurchgang war der realistischste und aufregendste, den ich je erlebt hab!“. Wenn Sie nun denselben Führungsdienstgrad drei Wochen später fragen, ob und wie das Training ihn veranlasst hat, sein eigenes taktisches Vorgehen und das seiner Mannschaft zu überarbeiten und anzupassen, wird er Ihnen antworten: „Häh?“.

VII.24 Eine Brandschutzbehörde im Vereinigten Königreich investierte kürzlich £ 500 000 [ca. 740 000 €] - verteilt über 2 Jahre - in ein TVIA-Programm für ihre 1 100 Feuerwehrleute. Einige Zeit später waren zwei der TVIA-Ausbilder im ersten Angriffstrup bei einem „Standard“-Zimmerbrand. Dabei übersahen sie das Potential für eine Rauchgasexplosion in einem mit Rauch gefüllten Raum, der über dem eigentlichen Brandraum gelegen war. Als das Feuer sich durch einen leeren Schrank hindurch in diesen Raum ausbreitete, drückte die erfolgende Explosion die Wände und Fenster des Zimmers nach außen! Eine frühere Ventilation des oberen Stockwerks hätte dieses Problem mildern können. Die betroffene Behörde befasste sich mit diesem Vorfall und warf die Frage auf, ob die Grundsätze des TVIA wirklich effektiv darin wären, ihre Feuerwehrleute auf Brände in der „realen Welt“ vorzubereiten. Was die Behörde jedoch außer Acht ließ, ist die Tatsache, dass sie stets nur Ausbilder für Brände ausgebildet hat, die sich auf nur einen Raum beschränken. Es war kein elementarer Bestandteil des Trainings, das Ausbreitungsverhalten von Brandgasen in angrenzende Räume zu lehren, wobei eine Belüftung notwendig ist, um diese Gase aus dem Gebäude zu entfernen.

VII.25 Andere Brandschutzbehörden haben lediglich die „Basics“ des TVIA abgedeckt, indem sie Ein-Raum-Simulatoren angeschafft haben. Die Übertragung der trainierten Techniken auf die Realität wurde dann aber vernachlässigt. Man kann sich denken, dass die Feuerwehrleute dieser Behörden nur sehr wenig darüber gelernt haben, wie sich Brandgase ausbreiten und entzünden; die innere Einstellung, mit der an Zimmerbrände herangegangen wird, hat sich nicht verändert. Dies ist eine Verschwendung von Ressourcen in großem Ausmaß und zeigt, dass diejenigen, die für diese Ausbildung verantwortlich sind, den Sinn von TVIA nicht verstanden haben. Im Vereinigten Königreich beispielsweise ist die Ansicht weit verbreitet, dass mit der Aufgabe „TVIA“ effektiv umgegangen wurde und die Angelegenheit nun „erledigt“ sei. Diese Sichtweise ist jedoch gefährlich. Im Vereinigten Königreich wurden die Grundsätze des TVIA – genauso wie in Schweden und Frankreich – als Reaktion auf mehrere tragische Todesfälle von Feuerwehrleuten eingeführt. Diese ereigneten sich in Situationen, die alle auf irgendeine

Art und Weise mit den verschiedenen Formen der Schnellen Brandausbreitung in Zusammenhang stehen.

VII.26 Es ist wichtig, dass Brandschutzbehörden erkennen, dass der dynamische Prozess des TVIA **nicht**

- mit Trainingsanlagen, die auf einen Raum beschränkt sind, und
- ohne die aktive Übertragung der neu erlernten Taktiken auf die Realität, welche in SER's für die einzelnen Feuerwehren festgelegt werden muss,

endet.

VII.27 Die Auswertungen des Trainings sowie einheitliche Ausbildungsstandards sowohl für Ausbilder als auch Auszubildende müssen ernster genommen werden, falls die Grundsätze des TVIA Teil der Denkweise von Feuerwehrmännern werden und man sich bei jedem Brand nach ihnen richten soll. Im gesamten Prozess der Ausbildung sollten Dinge angesprochen werden wie z.B. Ankunft an der Einsatzstelle, Fragen der Wasserversorgung, taktische Platzierung der Angriffsleitungen, Ausbildungsstand der Mannschaft, geschätzte und berechnete Gefährdungsanalysen, Türöffnungsprozeduren, taktische Ventilation, das Bewusstsein, dass zu den Erstmaßnahmen sowohl die Vornahme eines ersten Rohres als auch die Erste Suche, die Vornahme eines zweiten Rohres zur Absicherung und die Zweite Suche usw. gehören. Die Grundsätze des TVIA bestehen nicht nur darin, in einem Container zu sitzen und zu beobachten, wie sich ein Brand zum Flashover entwickelt! Es ist wichtig, die o.g. Aspekte schon vom Anfang der Ausbildung an zu behandeln, da andernfalls ohne eine größere Betonung der Übertragung des Ganzen auf reale Einsätze wertvolle Ressourcen und Ausbildungszeit verschwendet werden.

VII.28 Vom Brand betroffene Hohlräume im Dachstuhl von oben lüften, bevor man sich von unten gewaltsam Zutritt verschafft; die Vornahme eines Rohres vor der Ersten Suche; darauf Wert legen, dass Trupps zusammen hineingehen, zusammenbleiben und wieder zusammen herauskommen; die Umgebungsbedingungen innerhalb des Gebäudes durch Taktische Ventilation und Techniken zur Brandeindämmung kontrollieren; ordnungsgemäße Türöffnungsprozeduren durchführen usw.: Alle diese Techniken sollten während dem TVIA aufeinander abgestimmt werden, um diese Erfahrungen vom Container-Simulator auf die reale Welt zu übertragen.

VIII. SCHNELLE BRANDAUSBREITUNG

VIII.1 Das Phänomen „Flashover“ ist in seinem weitesten Sinne eine der häufigsten Todesursachen von Feuerwehrmännern. In den USA verzeichnen Statistiken der NFPA für den Zeitraum von 1985 bis 1994 insgesamt 47 US-Feuerwehrlaute, die durch einen „Flashover“ ihr Leben verloren. Bei den 87 Feuerwehrmännern, die laut Unfallberichten seit 1990 an einer **Rauchvergiftung** starben, während sie innerhalb des Gebäudes im Einsatz waren, wurde diese Vergiftung durch folgende Ereignisse ausgelöst: **Verirrte sich im Gebäude und ihm ging die Luft aus** (29 Tote); **wurde von der Ausbreitung des Feuers, von Backdraft oder Flashover erfasst** (23 Tote); **teilweiser oder völliger Einsturz des Gebäudes** (18 Tote, 10 davon aufgrund von einstürzendem Fußboden). Alle außer einem dieser 70 Opfer trugen umluftunabhängigen Atemschutz (die eine Ausnahme war ein Feuerwehrmann, der Familienmitglieder bei einem Brand in seinem eigenen Haus rettete). Von den 31 US-Feuerwehrmännern, die seit 1990 laut Unfallberichten auf Grund von **Verbrennungen** starben, die sie sich innerhalb eines Gebäudes zugezogen hatten, wurden 14 von der Ausbreitung des Brandes, von einem **Backdraft oder Flashover** erfasst oder eingeschlossen und 12 weitere wurden aufgrund eines Einsturzes getötet (Quelle: NFPA). Drei Feuerwehrmänner wurden getötet, als 2002 das Dach einer Karosserie-Werkstatt einstürzte. Zeugen berichteten, dass sie nur Sekunden vor dem Dacheinsturz eine „Explosion“ gehört hätten – war es ein Backdraft oder eine Rauchexplosion, die den Einsturz verursachte? Der Einsatzleiter vor Ort sagte aus, dass bei dem Versuch, eine Öffnung in die Dachhaut zu schneiden, Gasen, die sich im Innern des Gebäudes angesammelt und aufgeheizt hatten, Sauerstoff zugeführt wurde. Dadurch entflammten die Gase und infolgedessen wurden die Decke, die Wände und der Boden sofort entzündet, wodurch die tragenden Teile des Daches beschädigt wurden und das Dach einstürzte.

VIII.2 „Flashover“ (Schnelle Brandausbreitung) hatte schon des Öfteren mehrere Todesfälle zur Folge. 1981 verursachte ein „Flashover“ in der Diskothek „Stardust“ in Dublin/Irland den Tod von 48 jungen Menschen. 1982 wurden zwei schwedische Feuerwehrlaute bei einer Rauchexplosion getötet. Auf Grund dieses Vorfalls entwickelte die schwedische Feuerwehr Programme zum Training für das Verhalten im Innenangriff (TVIA), um die Sicherheit der Feuerwehrmänner zu erhöhen. Im gleichen Jahr (1982) gab es bei einem Flashover in den „Dorothy-Mae“-Appartments in Los Angeles 24 Tote. Im Jahre 1987 verloren 31 Menschen, darunter ein Feuerwehrmann, ihr Leben, als sich im Herzen des Londoner U-Bahnnetzes Brandgase entzündeten. 1991 starben acht russische Feuerwehrlaute bei einem Flashover in einem Korridor, der sich während einem größeren Hotelbrand in St. Petersburg ereignete. Im Jahre 1994 starben drei Feuerwehrmänner in New York City in einem Treppenhaus, als sich ein Backdraft ereignete, während die Feuerwehrmänner versuchten, sich gewaltsam Zutritt zu einer brennenden Wohnung zu verschaffen. 1996 gab es durch einen Flashover beim Brand des Düsseldorfer Flughafen-Terminals 17 Tote. 1997 wurden drei Feuerwehrlaute im Vereinigten Königreich bei Zwischenfällen getötet, die allesamt mit Flashover in Verbindung standen. Die Feuerwehren im Vereinigten Königreich reagierten darauf mit einer Überarbeitung der Ausbildung und der Schaffung von TVIA-Programmen. Im neuen Jahrtausend haben schon mehrere Feuerwehrmänner auf Grund von „Flashover“ ihr Leben verloren, vor allem in Dänemark und in den USA. Darüber hinaus starben 2002 fünf Pariser Feuerwehrlaute, weil sie von zwei „Flashovern“ eingeschlossen wurden.

Aufgrund dieser Fakten hat man wahrlich Grund zu fragen: Wie viele Menschen müssen denn noch unnötig sterben? Davon abgesehen: Ist die Verwendung des allgemeinen Begriffs **Flashover** überhaupt angebracht und sollten Feuerwehrlaute andere Phänomene, die mit „Flashover“ in Zusammenhang stehen, besser verstehen lernen?

VIII.3 Der Ausdruck „Flashover“ wurde erstmals in den 1960ern vom britischen Wissenschaftler P. H. THOMAS [3] verwendet. Er wurde dazu gebraucht, den Prozess zu bezeichnen, in dem sich ein Brand so weit ausbreitet, bis er sich **vollständig entwickelt** hat. Üblicherweise nahm man an, dass diese Phase der Ausbreitung im „Flashover“ gipfelte, obwohl THOMAS zugab, dass seine ursprüngliche Definition ungenau war und man in einem unterschiedlichen Kontext verschiedene Sachverhalte damit bezeichnen konnte. THOMAS fuhr fort, die Öffentlichkeit in der „UK Fire Research Note 663“ (vom Dezember 1967) darüber zu informieren, dass es **mehr als eine Art von Flashover geben** kann und beschrieb „Flashover“, die sich sowohl bei **Zuluft-** als auch bei **von der Menge des brennbaren Stoffs kontrollierten** Bränden ereignen können.

VIII.4 Außerdem erkannte Thomas auch die Einschränkungen jeder Definition von „Flashover“, die die **vollständige Einbeziehung der Oberfläche des brennbaren Stoffs** in einem Raum beinhaltet, da es, vor allem in großen Räumen, physikalisch unmöglich sein kann, dass der gesamte brennbare Stoff zur gleichen Zeit vom Feuer erfasst wird.

VIII.5 Im gesamten Zeitraum zwischen den Jahren 1970 und 2002 wurde der Begriff „Flashover“ in sehr unterschiedlicher Art und Weise verwendet, weshalb verschiedene Versuche unternommen wurden, um die Terminologie, die sich mit solchen Phänomenen befasst, neu zu festzulegen. Es war außerdem offensichtlich, dass die Feuerwehreute keine klare Vorstellung von den verschiedenen Ereignissen hatten, die bei einem Brand auftreten können. Die NFPA entschied sich dafür, solche Vorkommnisse einfach unter dem Begriff **Schnelle Brandausbreitung** zusammenzufassen. Eine Umfrage [20] auf der Website www.firetactics.com im Jahr 2002 stellt ein gutes Beispiel für diese Verwirrung dar. In einem Zeitraum von zehn Wochen stimmten über 300 Besucher der Website darüber ab, welches Ereignis sich ihrer Meinung nach auf dem Bild unten (Foto VIII.1) zutrug. War dies ein Flashover? Ein Backdraft? Oder vielleicht doch ein anderes damit zusammenhängendes Ereignis?



Foto VIII.1: Glenn Ellman

VIII.6 Diese kleine Aufgabe zeigte, wie schwer es für Feuerwehrmänner ist, zwischen den verschiedenen Phänomenen zu unterscheiden.

Flashover? Backdraft? Rauchgasdurchzündung?		Abgegebene Stimmen
Flashover	29 %	91
Backdraft	35 %	108
Rauchgasdurchzündung	34 %	105
<i>Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ.</i>		Gesamt: 304

Tabelle VIII.1: Umfrage auf der Website

VIII.7 Es gibt viele verschiedene Begriffe, die von noch mehr unterschiedlichen Behörden verwendet werden, um die Phänomene zu beschreiben, die mit „Flashover“ zusammenhängen. Einige haben wissenschaftliche Ursprünge und sind allgemein anerkannt, andere wurden von Autoren eingeführt, um Geschehnisse zu beschreiben, die sie persönlich bei Bränden erlebten. Es ist nicht ungewöhnlich, dass unterschiedliche Begriffe manchmal dasselbe meinen. Darüber hinaus ist es eine Tatsache, dass englische Begriffe oftmals nicht in andere Sprachen übersetzt werden können, ohne dass sich ihre Bedeutung wenigstens ein bisschen verändert; die Begriffe wurden daraufhin wieder geändert, um dieser Gegebenheit Rechnung zu tragen. Es kann jedoch zu noch größerer Verwirrung führen, wenn diese Begriffe auf verschiedene Arten wieder zurück in die englische Sprache eingeführt werden! Dies kann z.B. dann der Fall sein, wenn wissenschaftliche Dokumente oder Ausbildungsvorschriften zurück ins Englische übersetzt werden, woraufhin dann auf einmal neue Terminologien auftauchen.

VIII.8 Es ist wahrscheinlich am zweckmäßigsten, die angesprochenen Phänomene unter drei spezifischen Überschriften aufzuführen und sie mit allgemein anerkannten Definitionen zu versehen, die Geschichte der einzelnen Begriffe genau zu schildern und die Gegenmaßnahmen sowie vorbeugenden Maßnahmen, die von Feuerwehrmännern ergriffen werden können, wie folgt zu beschreiben:

SCHNELLE BRANDAUSBREITUNG
1. FLASHOVER
2. BACKDRAFT
3. BRANDGASDURCHZÜNDUNGEN

Flashover

VIII.9 „Ein Zimmerbrand kann sich bis zu einem Stadium entwickeln, in dem die gesamte Wärmestrahlung, die vom Brandrauch, von heißen Gasen und von den Raumwänden ausgeht, die Freisetzung von entzündlichen Pyrolyseprodukten aus allen brennbaren Oberflächen im gesamten Raum verursacht. Falls eine Zündquelle vorhanden ist, wird dies den plötzlichen und **anhaltenden** Übergang des Entstehungsbrandes in einen Vollbrand zur Folge haben [...]. Dieses Ereignis nennt man „Flashover“ [...]“.

VIII.10 Ein typisches Merkmal eines „Flashovers“ ist die Tatsache, dass der o.g. Übergang in ein Stadium, in dem alle brennbaren Oberflächen erfasst werden, **anhaltend** ist. Darüber hinaus hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass ein „reinrassiger Flashover“ vollständig von den wechselnden thermischen Einflüssen abhängig ist, bei denen wiederum die **Energiefreisetzungsraten der Strahlungs- und Konvektionswärme** die Hauptrolle spielen. Aber auch die Belüftungsbedingungen, die Größe und die Geometrie des Raumes, die Lage des Brandherds und die chemische Zusammensetzung der heißen Gas-schichten beeinflussen die Fähigkeit eines Zimmerbrandes, sich bis zum Flashover zu entwickeln. Im Allgemeinen ist ein solches Ereignis physikalisch dadurch gekennzeichnet, dass Flammen aus Fenstern oder Türöffnungen schlagen, die Temperatur der Gase in Höhe der Zimmerdecke 600 °C beträgt und dass die Energiefreisetzungsraten in Bodennähe 20 kW/m² erreicht. Es ist bemerkenswert, dass auch für den „**Roll-over**“, der sich einige Sekunden vor dem Flashover ereignet, die gleichen Bedingungen zutreffen.

Als Wissenschaftler erkannte Thomas die Einschränkungen jeder Definition von „Flashover“, welche die **vollständige Einbeziehung der Oberfläche des brennbaren Stoffs** in einem Raum beinhaltet; denn es kann vor allem in großen Räumen physikalisch unmöglich sein, dass der gesamte brennbare Stoff zur gleichen Zeit vom Feuer erfasst wird. In einem solchen Fall hängt die Ausbreitung des Brandes immer mit Phänomenen wie **Verpuffungen oder Flameover** zusammen.

VIII.11 In seinem allgemeinen Sinn wird der Begriff „Flashover“ immer noch von vielen Feuerwehrmännern genutzt, um eine ganze Bandbreite von Ereignissen zu beschreiben, die entweder eine schnelle Eskalation des Brandes – Schnelle Brandausbreitung – oder sogar eine Explosion zur Folge haben, deren zugehörige Druckwelle Fenster zerstören oder Wände einreißen kann. Diese allgemeine Verwendung des Begriffes sollte unterbleiben.

VIII.12 In der Tat ist ein Flashover im Allgemeinen **eine durch Wärme hervorgerufene Weiterentwicklung** eines Zimmerbrandes. Flammen, die „faul“ – obwohl manchmal mit großer Geschwindigkeit – die Decke entlang rollen, ist normalerweise eine Begleiterscheinung dieser Weiterentwicklung. Bei einem solchen Geschehnis kann es kaum zu einer Explosion kommen, obwohl eine Druckwelle entsteht, die Fenster zerstören kann. Man sollte anmerken, dass ein Flashover auch durch eine verstärkte Ventilation des Raumes hervorgerufen werden kann. Dies geschieht, wenn der **Wärmeverlust zunimmt**, da durch Konvektion verstärkt Wärme durch geschaffene Öffnungen abgeführt wird. Wenn das neu geschaffene Gleichgewicht zwischen abgegebener und aufgenommener Wärme gestört wird, führt verstärkte Belüftung dazu, dass mehr Wärme an den Raum abgegeben wird, als durch Öffnung im Raum freigesetzt werden kann. Dieser Umstand, genannt thermische Instabilität, kann zu einem „Flashover“ führen [12].

Fälle von Flashover in der Vergangenheit

VIII.13 1. Beispiel: In der Dezember-Ausgabe 2002 des Firehouse Magazine (USA) beschreibt ein Gruppenführer, wie seine Mannschaft bei einem Zimmerbrand vorging, der durch ein rückwärtiges Fenster mit Sauerstoff versorgt wurde. Heftige Flammen schlugen aus diesem Fenster – der Brand war also schon über das Stadium des Flashovers hinaus. Als sich die Feuerwehrleute an der Vorderseite des Hauses Zutritt verschafften, schlugen sie auf jeder Seite der Eingangstür je ein Fenster ein. Auf ihrem weiteren Weg zum Brandherd hatten sie es mit gemäßigter Wärme zu tun, weshalb sie ein weiteres Fenster einschlugen. Und an genau diesem Zeitpunkt fand sie das Feuer! Zur gleichen Zeit befahl der Fahrzeugführer, der sich außerhalb des Gebäudes befand, per Funk eine sofortige Evakuierung des Gebäudes, da die Situation eskalierte. Die Bedingungen im Gebäude waren dermaßen schlimm, dass sich die Feuerwehrmänner durch das Fenster retten mussten, dass sie gerade erst eingeschlagen hatten!

VIII.14 Man muss sich vergegenwärtigen, dass sich ein Brand oft in die Richtung ausbreitet, aus der er mit Sauerstoff versorgt wird – falls das die Richtung ist, aus der Sie sich dem Brand nähern, haben Sie ein Problem! Je mehr Fenster Sie hinter sich öffnen, desto wahrscheinlicher ist dieser Fall. Denken Sie außerdem daran, dass möglicherweise die Bedingungen für einen Flashover erst durch das Öffnen von Fenstern geschaffen bzw. sogar verschlimmert werden, weil dadurch eine **thermische Instabilität** erzeugt wird. Falls man zur Belüftung ein Fenster verwenden will, sollte sich dieses **vor** dem vorgenommenen Rohr befinden, falls die äußeren Windbedingungen es zulassen!

VIII.15 2. Beispiel: Eine Gruppe von fünf Feuerwehrmännern wurde zu einem Gebäudebrand gerufen. Die Feuerwehrleute entschieden sich dafür, die Erste Suche vor einem ersten Löschangriff durchzuführen. Da sich der Brand über mehrere Minuten hinweg unkontrolliert und ohne jede Form von Isolierungs- oder Eindämmungsstrategie ausbreiten konnte, entwickelte er sich über den Flashover hinaus und schloss zwei Feuerwehrmänner im ersten Stock ein. Beide überlebten zwar, leider jedoch nur mit schweren Verbrennungen.

Backdraft

VIII.16 „Durch unzureichende Luftzufuhr können bei einem Zimmerbrand Brandgase entstehen, die einen signifikanten Anteil an unvollständig verbrannten Bestandteilen des brennbaren Stoffes und an unverbrennten Pyrolyseprodukten besitzen (**sauerstoffkontrollierter Brand**). Wenn sich diese ansammeln, kann die Zugabe von Luft, hervorgerufen durch das Schaffen einer Öffnung zu diesem Zimmer, zu einer plötzlichen Deflagration [zu einer sehr starken Verpuffung] führen. Diese Deflagration, die sich durch das Zimmer - und zu der geschaffenen Öffnung hinaus - bewegt, ist ein Backdraft (Backdraught). [...]“

VIII.17 Der Gebrauch des Wortes Backdraft (oder Backdraught) ist nicht neu – STEWARD beschrieb dieses Phänomen schon 1914 in einer Veröffentlichung der NFPA [41]:

VIII.18 „Diese „Rauchexplosionen“ treten häufig in brennenden Gebäuden auf und werden im Allgemeinen „Back Drafts“ oder „Explosionen heißer Luft“ genannt. Ein Brand in den unteren Bereichen eines Gebäudes wird meist das gesamte Bauwerk zuerst mit dichtem Rauch füllen, bevor dieser aus Spalten an den Fenstern nach außen tritt und entdeckt wird. Bei der Ankunft der Feuerwehr werden Öffnungen geschaffen, durch die frische Luft in das Gebäude gelangen kann. Das Gemisch aus überhitzten Brandgasen und Luft wird blitzartig auf allen Stockwerken des Hauses entzündet, manchmal sogar mit genügend Kraft, um alle Fenster und Türen von geschlossenen Räumen, in die sich der Rauch ausgebreitet hat, sowie Decken unter dem Dachstuhl u.ä. mehr herauszudrücken.“

VIII.19 Im Jahre 1931 schrieb GAMBLE, stv. Kommandant der Feuerwehr London: „Backdraught ist die plötzliche Entzündung von brennbarem Staub in der Luft, welcher durch die Aufheizung organischer Stoffe durch den Brand entstanden ist. Infolge eines Mangels an Sauerstoff kann keine Entzündung erfolgen, bis eine Fensterscheibe zerbricht oder eine Tür geöffnet wird. Wenn die sauerstoffhaltige, kalte Luft von außen in den Raum gelangt, verursacht diese die sofortige Entzündung der aufgeheizten Luft und dadurch eine Stichflamme mit der Kraft einer Explosion. [...] Üblicherweise kann man dichten schwarzen Rauch beobachten, der einige Momente vor einem solchen Ereignis aus dem Gebäude austritt.“ [42]

VIII.20 1936 beschrieb Major C. MORRIS den Großbrand des Crystal Palace in London wie folgt: „Da der Wind auf West drehte, begann der Brand, sich auf das nördliche Querschiff auszubreiten. In diesem befanden sich zwei Trupps mit jeweils einem Rohr, die versuchten, den Brand an dieser Stelle einzudämmen. Es bestand das große Risiko eines Einsturzes und/oder eines Back-Draughts [...] Schlagartig bewegte sich eine Feuerwand unter dem Dach entlang über die Köpfe der eingesetzten Mannschaften hinweg [...]“ [43]. Daraufhin wurde der sofortige Rückzug aller eingesetzten Kräfte veranlasst.

VIII.21 1992 berichtete C. FLEISCHMANN von dem Phänomen Backdraft [11]. Der Zweck eines seiner Projekte war es, ein grundlegendes physikalisches Verständnis des Phänomens „Flashover“ zu entwickeln. Seine Forschungsarbeit war in drei Phasen aufgeteilt: Die Untersuchung von Simulationen, das Nachstellen von Schwerkraftströmungen und quantitative Experimente, die sich mit Backdraft befassen. Der Begriff „Schwerkraftströmung“ wird in der Wissenschaft dazu verwendet, zwei Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte zu beschreiben, die so interagieren, dass eine vertikale Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten existiert. Die daraus resultierende Bewegung rührt daher, dass die schwerere Flüssigkeit horizontal unter die leichtere fließt. Eine derartige Strömung wird Schwerkraftströmung genannt. In der Natur sind Schwerkraftströmungen weit verbreitet; ihre allgemeinen Eigenschaften kann man an Lawinen, bei der Freisetzung von schweren Gasen, an den Verwirbellungen von Trübungen in Wasser, am Frisch- und Salzwasseraustausch und an Meeresbrisen beobachten. Die Rolle, die diese Strömung bei Backdrafts spielt, hängt mit dem Einströmen von Luft in einen Raum, in dem sich ein sauerstoffkontrollierter Brand befindet, zusammen; dieses „Einströmen“ wird von Feuerwehrleuten oft als Luftzug bezeichnet. Oft kann man die o.g. Zweiteilung klar erkennen: Rauch zieht aus einer Öffnung ab und unterhalb einer klaren Grenzschicht strömt frische Luft nach. Die Schnelligkeit des Luftzuges oder die Geschwindigkeit, mit der der Rauch abzieht, sind oft verlässliche Anzeichen dafür, in welchem Maße der Brand sauerstoffkontrolliert ist. Eine Schwerkraftströmung ist jedoch nicht immer auch dort vorhanden, wo starker Rauch in Bodennähe vorkommt. Manchmal kann man im Rauch auch einen Wirbelwind an dem Punkt erkennen, an dem die frische Luft einströmt. Dort scheint dann ein wirbelndes Gebilde von ungefähr der Größe eines Fußballs auf seinem Weg durch den Rauch Luft anzusaugen.

VIII.22 Ein Backdraft ist also im Prinzip eine durch Belüftung hervorgerufene Entzündung von Gasen oder Verbrennungsprodukten. Das Ereignis kann zu einem lauten „Wuuummss“ oder „Bäng“ führen und stark explosiv und für Bauteile eines Gebäudes schädigend sein. Im Allgemeinen hat ein Backdraft einen großen Feuerball aus dem Gebäude hinaus zur Folge, da es den Brandgasen - Dank des nun im Überfluss vorhandenen Sauerstoffs - möglich ist, zu verbrennen.

VIII.23 In der Januarausgabe 2000 des „Fire Engineering Magazine“ legte Brian WHITE, seines Zeichens Zugführer beim FDNY, seine eigene Theorie zu einem Phänomen dar, dass er als **Hochdruck-Backdraft** bezeichnet. WHITE ist der Meinung, dass die Einflüsse von Wind auf ein Gebäude manchmal dazu führen, dass sich im Inneren des Gebäudes ein übermäßig hoher Druck aufbaut, da Luft durch viele verschiedene Öffnungen auf der windzugewandten Seite des Gebäudes hinein gelangen kann. Darüber hinaus meint er, dass durch das Schaffen einer Öffnung an einer anderen Stelle des Gebäudes die plötzliche Freisetzung des aufgebauten Drucks die Auswirkungen jeder Art von schneller Brandausbreitung verschlimmert, da dadurch eine sehr starke Luftbewegung mit sehr hoher Geschwindigkeit, die sich durch das gesamte Gebäude hindurch erstreckt, ausgelöst wird. WHITE beschreibt des Weiteren mehrere Szenarien, bei denen durch die Zerstörung von Fenstern eine schnelle Dekomprimierung der aufgestauten Luft auftrat. Die darauffolgende Erhöhung der Verbrennungsgeschwindigkeit war stärker, als es bei den üblichen „Lüfter“-Effekten durch Windbewegungen alleine der Fall gewesen wäre. Diese Phänomene wurden auch von GRIMWOOD in seinem Buch *Fog Attack* (1992) und einem Artikel von ihm, *Impuls- und Trägheitstheorie*, behandelt (nachzulesen auf www.firetactics.com).

Fälle von Backdraft in der Vergangenheit

VIII.24 1. Beispiel: Am 26. Februar 1994 rückte die Feuerwehr London um 17:39 Uhr zu einem Brand in einem privaten Kino in der Innenstadt aus. Bei der Ankunft wurde festgestellt, dass vier Personen hinter einem Fenster im dritten Stock eingeschlossen waren und ein Mann bereits aus diesem Fenster gesprungen war. Während eine Leiter zur Rettung dieser Personen in Stellung gebracht wurde, sprangen drei weitere Männer aus dem Fenster. Weitere drei Männer konnten schließlich über die Leiter gerettet werden. Da berichtet wurde, dass noch weitere Menschen im Inneren des Gebäudes eingeschlossen wären, nahmen die Feuerwehrmänner unter PA eine Schlauchleitung zum innen gelegenen Treppenhaus vor. Als sie an der Treppe angelangten, breitete sich ein „Feuer, das sehr intensiv war und von lautem „Brüllen“ begleitet wurde“, in das Treppenhaus aus und trieb die Feuerwehrleute zurück. Ergebnis dieses Einsatzes: Insgesamt drei Personen sprangen aus dem dritten Stockwerk, über tragbare Leitern und eine Drehleiter wurden weitere 17 Personen gerettet. Weitere sechs Personen starben im dritten Stockwerk des Kino-Komplexes. Die klassischen „brüllenden“ Geräusche, die von den Feuerwehrmännern wahrgenommen wurden, die versuchten, über das Treppenhaus die oberen Stockwerke zu erreichen, weisen auf eine Backdraft-Situation hin, in der Brandgase im Treppenhaus abbrannten, da durch die Eingangstür im Erdgeschoss frische Luft in das Gebäude gelangte.

VIII.25 2. Beispiel: In den frühen Morgenstunden des 1. Februar 1996 stand in Blaina, Wales, eine Küche im Erdgeschoss auf der Rückseite eines zweigeschossigen Hauses in Brand. Die zuerst eintreffende Einheit von 6 Feuerwehrmännern wurde mit der schwierigen Lage konfrontiert, dass Kinder vermisst wurden und vermutlich im ersten Obergeschoss eingeschlossen waren. Das Gebäude war stark verraucht und bei der Ankunft konnte man beobachten, dass Rauch in der Nähe der Dachrinne aus dem Gebäude austrat. Die Feuerwehrmänner entschieden sich dazu, als erstes die Rettung durchzuführen und bis auf weiteres keinen **Innenangriff** oder **Versuch, den Brand einzudämmen**, zu unternehmen. Zwei Schlauchleitungen (19 mm-Schnellangriffsleitungen) wurden zum Gebäude gelegt; jedoch wurde keine der beiden vor dem Backdraft, der fünf Minuten nach Ankunft auftrat, eingesetzt. Es waren Flammen zu beobachten, die aus dem rückwärtigen Küchenfenster schlugen; der Zimmerbrand hatte das Post-Flashover-Stadium erreicht. Dennoch war eine deutliche **Schwerkraftströmung** [20] vorhanden, begleitet von großen Mengen von dichtem schwarzem Rauch, die aus dem Eingang an der Vorderseite entwichen. Ein Backdraft kostete zwei Feuerwehrmänner das Leben, da sich das Feuer über mehrere Minuten hinweg unkontrolliert entwickeln konnte.

VIII.26 3. Beispiel: Nur drei Tage später wurde eine weibliche Feuerwehrangehörige durch einen Backdraft getötet, der sich in einem großen Supermarkt in Bristol ereignete. Als vier Feuerwehrdienstleistende (unter ihnen das Opfer) das Gebäude durch den Haupteingang zur Brandbekämpfung betraten, wurde beobachtet, dass die dichte schwarze Rauchsicht in Bewegung war, d.h. sich kontinuierlich hob und senkte. Nur fünf Minuten, nachdem die Feuerwehrleute das Gebäude betreten hatten, wurde ein starker, „heulender“ Luftzug beobachtet, der in den Haupteingang wehte und so die Flammen nach innen drückte. Die resultierende Entzündung der Brandgase breitete sich über die gesamte Fläche des Geschäftes, die sehr groß war, sowohl innerhalb als auch unterhalb der abgehängten Decke aus Faserplatten mit einer geschätzten Geschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde (Gasverbrennung mit hoher Geschwindigkeit) aus. Die mit der Explosion einhergehende Druckwelle riss einen Feuerwehrmann buchstäblich von den Füßen.

Hätten die Feuerwehrmänner das Gebäude unter solchen Bedingungen überhaupt betreten sollen? Das kontinuierliche Heben und Senken der Rauchsicht ist mit großer Wahrscheinlichkeit das Ergebnis des *zyklischen Pulsierens*, welches wiederum von kurzen Durchzündungen (periodische Verbrennung) in den Schichten aus einem überfetten Gas-/Luftgemisch hervorgerufen wird. Es könnte auch mit dem Phänomen der „Aufblähung“ zusammenhängen, das von SUTHERLAND beobachtet wurde [15]. Da diese Entzündungen regelmäßig auftreten, Seite: 64

verursacht die wiederholte Erwärmung eine Ausdehnung der Brandgase, und in der Folge das Heben und Senken der Rauchsicht. Ein solcher Vorgang muss als klassisches Warnsignal für einen Backdraft angesehen werden.

VIII.27 4. Beispiel: Am 28. März 1994 fuhr die Feuerwehr der Stadt New York (New York City Fire Department, FDNY) einen Einsatz, da gemeldet worden war, dass aus einem Schornstein eines dreigeschossigen Apartmenthauses Rauch und Funken austraten. Der Einsatzleiter schickte 3-Mann-Trupps mit je einer Schlauchleitung zu den Wohnungen im ersten und zweiten Obergeschoss. Die Truck Company belüftete das Treppenhaus vom Dach aus. Als die Tür zur Wohnung im ersten Obergeschoss aufgebrochen wurde, schlug eine große Flamme heraus und breitete sich die Treppe hinauf aus, wobei sie die Feuerwehrmänner erfasste, die sich auf dem Treppenabsatz des zweiten Obergeschosses aufhielten. Die Flamme dauerte mindestens 6,5 Minuten an, was den Tod dieser drei Feuerwehrleute zur Folge hatte. Das FDNY bat das National Institute of Standards and Technology (NIST) um Unterstützung. Es sollte den Un-

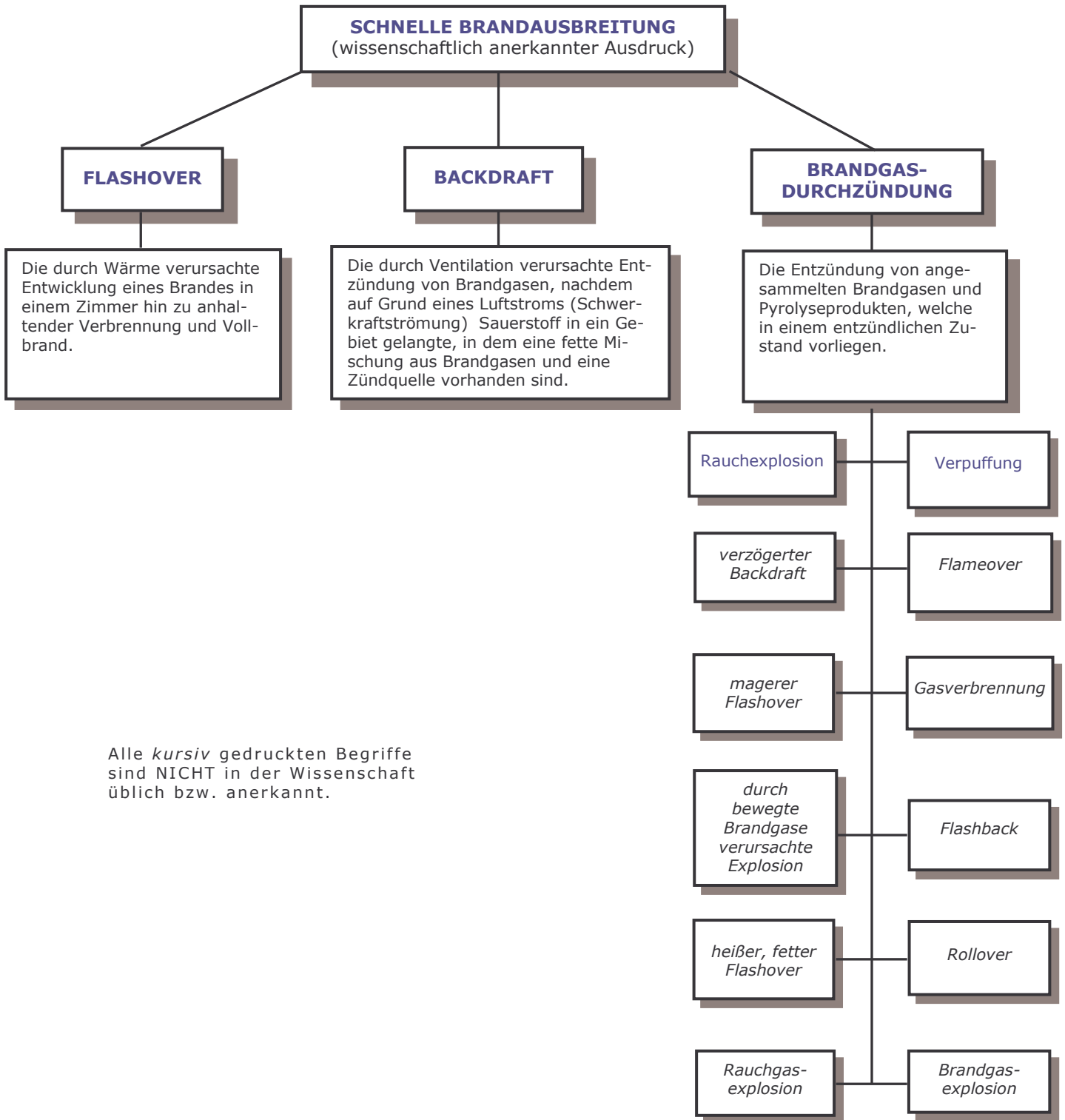
fall nachbilden, in der Hoffnung herauszufinden, welche Faktoren zu einem Backdraft von solcher Dauer führen. Die Computeranalyse unter Verwendung des CFAST-Modells war dazu in der Lage, die Bedingungen so darzustellen, wie sie beobachtet worden waren. Es bestätigte die Theorie, dass sich beträchtliche Mengen von unverbranntem brennbarem Stoff von einem unter Sauerstoffmangel leidendem Brand in einer Wohnung angesammelt hatten, die zur besseren Wärmeisolierung und Energieausnutzung isoliert worden war. Diese Gegebenheit zeigt, dass ein Backdraft nicht immer, wie üblicherweise angenommen, ein kurzlebiges Ereignis ist, das kurze, möglicherweise heftige, Energiefreisetzen vom Feuer zur Folge hat, die **normalerweise** nicht anhaltend sind.

VIII.28 5. Beispiel: Eine Feuerwehr setzte Überdruckbelüftung ein, um dem Angriffstrupp die Suche nach dem Brandherd zu erleichtern. Die verwendete Abluftöffnung (ein Fenster) war zu klein und ein Backdraft ereignete sich, da sich die Brandgase an der Grenze zwischen dem fetten und dem mageren Gemisch der Gase entzündeten.

Brandgasdurchzündungen

VIII.29 Es gibt eine große Bandbreite von Ereignissen, die man am sinnvollsten unter dem Begriff Brandgasdurchzündungen (BGD's) zusammenfassen kann. Solche Phänomene kann man im Allgemeinen definieren als „**eine Entzündung von angesammelten Brandgasen und Verbrennungsprodukten, welche sich in einem entzündlichem Zustand befinden.**“ Jede derartige Durchzündung wird üblicherweise dadurch ausgelöst, dass einer vorgemischten Ansammlung von entzündlichen Gasen eine Zündquelle zugeführt wird; auch der umgekehrte Fall ist möglich, d.h. der Zündquelle werden die Gase zugeführt. Auch der Transport eines überfetten Gas-/Luftgemisches in einen Bereich, in dem eine Zündquelle und Sauerstoff vorhanden sind, kann eine BGD auslösen. BGDen werden nicht notwendigerweise davon begleitet, dass Luft/Sauerstoff in Richtung Zündquelle gesogen wird; diese Begleiterscheinung ist ein klares Anzeichen für einen Backdraft.

VIII.30 Ein Blick auf die Grafik unten (Schema VIII.1) zeigt, wie man die verschiedenen Phänomene zweckmäßig zusammenfasst:



Schema VIII.1: Schnelle Brandausbreitung

VIII.31 Mit dem Phänomen der **Rauchexplosion** haben sich im Laufe der Jahre schon diverse Studien beschäftigt. Die jüngste Arbeit dieser Art wurde von B. J. SUTHERLAND von der Universität Canterbury (Christchurch, Neuseeland) im Jahr 1999 verfasst [15]. In dieser Studie wird eine Explosion als die schnelle Ausbreitung einer Flammenfront definiert, die von einer gleichzeitigen Druckwelle begleitet wird (CROFT, 1980). CROFT gibt an, dass bei einer Rauchexplosion ein Druck von bis zu 5-10 kPa entstehen kann. Ein derart hoher Druck ist stark genug, um Fensterscheiben zu zerstören. Das Ausmaß einer Druckwelle wird von der Geschwindigkeit der Flammenfront bestimmt. Falls keine oder eine nur verschwindend geringe Druckwelle auftritt, spricht man im Gegensatz zur Explosion von einer **Verpuffung** (WIEKEMA, 1984) [23]. Dieser ausgezeichnete Bericht beschreibt, wie Rauch- bzw. Gasschichten sich auf Zündquellen absenken können, wie Zündquellen hinauf in die Gase gelangen können und wie ein „Aufblähen“ genannter Vorgang einer Rauchexplosion vorausgehen kann. Dieser Effekt scheint der gleiche wie beim pulsierenden Rauch zu sein – ein Warnzeichen für einen Backdraft! Als ein weiterer Vorbote einer Rauchexplosion wurden vom Autor auch schon Flammen festgestellt, die sich vom Brandherd lösten und sich kurzzeitig im Overhead ausbreiteten.

VIII.32 In seinem Bericht stellt SUTHERLAND fest, dass es drei Grundvoraussetzungen gibt, welche erfüllt sein müssen, damit es zu einer Rauchexplosion kommen kann. Diese Voraussetzungen sind:

1. Eine Rauchsicht, die aus einer ausreichenden Menge an unverbrannten Pyrolyseprodukten besteht, wodurch die Mischung innerhalb ihres Zündbereichs bleibt. So erstreckt sich beispielsweise der Zündbereich von Kohlenmonoxid von 12,5 – 74 %, der von Methan von fünf bis 15 % (SFPE, 1995, S. 3-16).
2. Zur Entzündung dieser brennbaren Mischung wird eine Zündquelle benötigt. Eine gewisse Mindestenergie ist notwendig, um die Gasschicht zu entzünden.
3. Die letzte Voraussetzung ist, dass Sauerstoff in ausreichender Menge vorhanden ist, um die Verbrennung zu ermöglichen.

VIII.33 Es wird vermutet, dass die Ereignisse, die beim Brand des Indianapolis Athletic Club [17] im Jahre 1992 zu Todesfällen und Verletzungen unter den Feuerwehrmännern und Zivilisten führten, nicht der allgemein anerkannten Definition von „Flashover“ entsprachen und stattdessen eine Art von **Verpuffung** oder **Flameover** für die schnelle Brandausbreitung verantwortlich war. Bei diesem Brand wurde außerdem deutlich, dass sich Flammen in Richtung neuer Lufteinlässe ausbreiten, z.B. an Fenstern oder an Öffnungen, die entweder schon vorhanden waren oder erst von der Feuerwehr geschaffen wurden. Der Begriff **Flameover** beschreibt den Effekt, dass sich Flammen mit sehr großer Geschwindigkeit über erhitzte Oberflächen hinweg ausbreiten, welche entzündliche Gase ausgasen. Dieses Phänomen ist in seinen Auswirkungen einer Verpuffung nicht unähnlich und wird manchmal auch mit einem Rollover verwechselt. Rollover hingegen beschreibt Flammen, die sich im Overhead sporadisch vom Brandherd lösen und oft kurz vor einem Flashover beobachtet werden.

VIII.34 Floyd NELSON (USA) führte eine weitere Definition für ein Ereignis ein, dass er als **durch bewegte Brandgase verursachte Explosion** bezeichnet [18]. Dieser Begriff bezeichnet die Entzündung von Brandgasblasen, die durch ein Zimmer/Gebäude transportiert werden. Dieses Ereignis unterscheidet sich von Backdraft, da bei einem Backdraft Frischluft (Sauerstoff) die treibende Kraft ist, bei einer durch **bewegte Brandgase verursachte Explosion** hingegen sind die Gase selbst diese treibende Kraft, da sie sich auf eine Frischluftquelle zu bewegen. Dies kann innerhalb eines brennenden Gebäudes auf viele verschiedene Arten geschehen, beispielsweise dann, wenn durch den Einsturz einer Decke Brandgase dort, wo die Decke herunterfällt, aus dem Gebäude gedrückt werden. Durch die Vermischung mit Luft können diese Gase soweit aufbereitet werden, dass sie in den Zündbereich gelangen und sich mit unterschiedlicher Stärke explosiv entzünden.

VIII.35 NELSON untersuchte auch die Auswirkungen von **Hochgeschwindigkeitsgasen**, die in großen Räumen, Korridoren oder Schächten innerhalb eines Gebäudes auftreten können. Wo der Transport und die Entzündung überhitzter Brandgase durch enge Öffnungen oder Korridore beschleunigt oder in der Richtung verändert (abgelenkt) werden, können die Folgen dramatisch sein. Die hohe Intensität der Verbrennung verursacht ungewöhnliche Brandmuster, ganz so, als ob ein Brandbeschleuniger benutzt worden wäre, um die Brandintensität zu erhöhen. Wenn Hochgeschwindigkeitsgase ohne abgelenkt worden zu sein aus dem Gebäude gelangen, ist ihre Strömungsgeschwindigkeit so groß, dass sie eine gesamte Straßenbreite überqueren können. Dabei entsteht aus Fenster und Türöffnung heraus eine Art Flammenwerfer-Effekt.

VIII.36 Der schwedische Einfluss auf TVIA und Übersetzungen in mehrere Sprachen haben Begriffe wie z.B. Verbrennung von Gasen, heißer, fetter Flashover, magerer Flashover, Rauch- oder Brandgasexplosion oder verzögerter Flashover geschaffen. Derartige Begriffe sind oftmals verwirrend, wenn sie allgemein angewandt werden, da sie anderswo schon eine andere Bedeutung haben können.

Heißer, fetter Flashover

Brandgase, die stark erhitzt sind und sich in einem fetten Mischungsverhältnis befinden, zünden bei Kontakt mit Luft unverzüglich durch, oftmals außerhalb eines Gebäudes, gelegentlich aber auch außerhalb eines einzelnen Raumes innerhalb des Gebäudes. Dieser Effekt wurde von Wissenschaftlern früher als **Selbstentzündung** bezeichnet.

Magerer Flashover

Dieser Begriff bezieht sich auf periodische Flammenerscheinungen in den Gasschichten unter der Decke. Dieser Effekt wird auch als „**Rollover**“ bezeichnet.

Verbrennung von Gasen

Bezieht sich auf alle Situationen, in denen sich Rauch oder Brandgase entzünden (wie unter **Brandgasentzündung** definiert).

Rauchgas- oder Brandgasexplosion

In der Wissenschaft bekannt und definiert als **Rauchexplosion**.

Verzögerter Flashover/Backdraft

Dieser Begriff wird verwendet, um eine Entzündung zu beschreiben, die durch das Abdecken der Zündquelle verzögert wird. Es gibt viele verschiedene Szenarien, die diese Verzögerung verursachen können. Eine brennende Matratze könnte beispielsweise einen Brand bedecken. Wenn das Feuer zum Schwelbrand wird – wobei es unter Sauerstoffmangel leidet – kann das plötzliche Anheben der Matratze die Zündquelle den angesammelten Verbrennungsprodukten zuführen, was dann eine **Rauchexplosion** zur Folge haben kann. In einer anderen Situation könnte es zu einem Aufstauen von brennbaren Gasen und Verbrennungsprodukten in einem Raum kommen, der an das eigentlich brennende Zimmer angrenzt oder sogar etwas entfernt ist. Wenn eine Zündquelle in diesen Raum eingebracht wird, kann es zu einer **Rauchexplosion** kommen, welche extrem heftig sein kann. Dieses Ereignis kann vor allem in Gebäuden auftreten, in denen viele Hohlräume vorhanden sind. So ist z.B. ein Szenario denkbar, in dem der Brand eine Decke durchbricht und dabei Gase, die sich im darüber liegenden Stockwerk angesammelt haben, entzündet. Dies ist jedoch noch immer eine **Rauchexplosion** und sollte nicht als Flashover oder Backdraft angesehen werden, da dies unterschiedliche Ereignisse sind. Darüber hinaus ist es außerdem gefährlich, anzunehmen, dass nur diese Arten von Entzündung verzögert werden können, da alle Ereignisse der Schnellen Brandausbreitung aus verschiedenen Gründen verzögert werden können. Manchmal werden dadurch Feuerwehrmänner, nachdem sie das Gebäude betreten haben und ein Stück weit vorgerückt sind, vom Brand eingeschlossen.

Andere Begriffe, die von Autoren oder Wissenschaftlern verwendet werden, sind **Flashback** (man vergleicht hierbei den Effekt der Selbstentzündung von Brandgasen an einer Zugangsöffnung (z.B. Fenster), wodurch eine Rückzündung ins Innere des Gebäudes stattfindet, mit dem Effekt des Flammrückschlags beim Bunsen-Brenner) oder die Bildung von **Schneidbrenner ähnlichen Flammen [„blowtorching“]** (hierbei wird die Brandintensität durch Wind, der die Flammen anfacht, verstärkt). Letzteres wird von Feuerwehrleuten oft mit einem Flashover verwechselt.

Fälle von Brandgasdurchzündungen in der Vergangenheit

VIII.37 1. Beispiel: Nach einem Brand in einem Wandschrank, von dem einige Kunststoff- und Kartonboxen betroffen waren, räumten Feuerwehrleute den Brandschutt auf. Als sie dabei einen Haufen von Brandschutt anhoben, wurde eine Zündquelle freigelegt, die eine Gasansammlung entzündete. Die darauffolgende Explosion schleuderte einen Feuerwehrmann in den Flur hinaus!

VIII.38 2. Beispiel: Nach einem Zimmerbrand wurde ein Überdrucklüfter eingesetzt, um den Rauch aus dem Gebäude zu entfernen. Nachdem der Großteil des Brandes unter Kontrolle war, verursachte der konstante Luftstrom vom Lüfter einen Schwelbrand, der sich schnell im Brandschutt und den Wandverkleidungen ausbreitete. Dadurch kam es innerhalb des Gebäudes zur Ansammlung eines überfetten Gas-/Luftgemisches und von unvollständig verbrannten Verbrennungsprodukten. Durch Asche oder durch einen Funken, der in diese Gasschichten hineintransportiert wurde, kam es zu einer Explosion.

VIII.39 3. Beispiel: Nach einem Brand in einem Stockholmer Kaufhaus im Jahr 1986 war das Feuer zwar gelöscht; im Overhead, der in diesem Gebäude von enormem Ausmaß war, hatte sich jedoch eine dichte Rauchsicht angesammelt, die von den Feuerwehrleuten nicht bemerkt wurde. Als ein Haufen Brandschutt umgedreht wurde, flog ein Funke in diese Rauchsicht, woraufhin es zu einer massiven Rauchexplosion kam, durch die mehreren Feuerwehrleuten schwere Verbrennungen zugefügt wurden.

VIII.40 4. Beispiel: Bei einem Brand in einem Kaufhaus kam es zu gleich zwei Rauchexplosionen. Die erste Explosion ereignete sich, als die unbelüftete Rauchsicht sich schnell in Richtung Boden absenkte und dabei mit der Zündquelle des eigentlichen Brandes in Kontakt kam. Dadurch wurde die Rauchsicht, die inzwischen zu einem entzündlichen Gemisch geworden war, entzündet. Die zweite Explosion erfolgte, als eine Decke einstürzte, wodurch ein überfettes Gas-/Luftgemisch in andere Bereiche des Kaufhauses gedrückt wurde, in denen eine sehr gute Versorgung mit Luft bzw. Sauerstoff vorhanden war. Als das überfette Gas-/Luftgemisch durch diese Luft verdünnt wurde, kam sie in Kontakt mit dem Brand und es kam zu einer weiteren Explosion.

VIII.41 5. Beispiel: 1973 versuchten Londoner Feuerwehrleute, sich Zutritt zu einem Kellerbereich zu verschaffen, durch den man mehrere Wohnungen in einem sechsgeschossigen Gebäude erreichen konnte. Das Feuer im Keller litt unter Sauerstoffmangel; alle Fenster waren jedoch noch intakt. Als die Tür geöffnet wurde, kam es auf Grund der Frischluft zu einer **Selbstentzündung** der Gase. Das Feuer brannte für einige Sekunden über den Köpfen der Feuerwehrleute, wodurch diese auf der im Freien gelegenen Kellertreppe eingeschlossen wurden. Sie befanden sich nicht in unmittelbarer Gefahr und waren in der Lage, zu beobachten, wie die Gase außerhalb des betroffenen Zimmers im Freien abbrannten, ohne dass irgendwelche Anzeichen von Verbrennung im innerhalb des Gebäudes gelegenen Korridor auftraten. Dieser Effekt scheint dem beim Watts Street-Brand in New York City (s. oben) ähnlich zu sein: Falls überhitzte Gase an Austrittsöffnungen von Gebäuden auf frische Luft treffen und daraufhin entzündet werden, kann man nicht von einem Backdraft sprechen. Falls die Entzündung jedoch zuerst im Inneren des Gebäudes stattgefunden hat, da Luft in den Raum gelangte, und die Gase dann in einem Feuerball außerhalb des Raumes abbrennen (Watts Street), liegt ein Backdraft vor – eine Entzündung, verursacht durch Ventilation. Diese beiden Ereignisse können in ihrer äußeren Erscheinungsform jedoch ziemlich ähnlich sein.

VIII.42 6. Beispiel: 1997 fuhren Mitglieder der Feuerwehr South Yorkshire (UK) einen Einsatz zu einem KFZ-Ersatzteilbetrieb. Das Gebäude war durch Stahltüren und Fenster, die mit Holzplatten und Blechen vernagelt waren, dicht verschlossen. Als sich die Feuerwehrleute an der Vorderseite des Gebäudes Zutritt verschafften, zeigte sich, dass nur geringe Wärmebelastung herrschte und auch die Rauchentwicklung nur gering war. Vor dem Betreten des Gebäudes wurde ein Sprühstrahl in den Overhead gerichtet. Dennoch wurde in diesem Moment der Eingangsbereich in „orangenes Licht“ getaucht und ein Feuerball schlug aus dem Gebäude ins Freie. Die Explosion riss die gesamte Gebäudefront ein und begrub mehrere Feuerwehrleute vor dem Gebäude unter sich. Acht Feuerwehrleute wurden ins Krankenhaus gebracht – drei davon mit schweren Verletzungen. Wahrscheinlich hatte das Feuer schon einige Zeit im Inneren des abgedichteten Raumes gebrannt und die Brandgase und Verbrennungsprodukte hatten ein explosives Gemisch gebildet. Als sich die Feuerwehrleute Zutritt verschafften, gelangte wohl ein glühender Aschepartikel in die Gase im Overhead, was die spätere heftige Explosion verursachte. Das Gebäude war nur sehr schwierig zu belüften, da sich an der Rückseite verstärkte Stahltüren und verrammelte Fenster befanden. Das erste Obergeschoss wurde von mehreren Personen als Wohnung genutzt. In diesem besonderen Fall gelang es nicht, durch das Einbringen von Wassertröpfchen in den Overhead die Rauchexplosion zu verhindern. Man kann aus diesem Einsatz die Lehre ziehen, dass die Vorderfront eines solchen Gebäudes als „Lauf einer Schrotflinte“ betrachtet werden muss! Dieser Aspekt wurde auch in „Fog Attack“ im Jahr 1992 behandelt: Wenn man sich zu einem „abgedichteten“ Gebäude Zugang verschafft, ist es ratsam, in der Gefahrenzone nur mit so wenig Feuerwehrleuten wie möglich zu arbeiten und – wenn möglich – aus der Deckung heraus zu agieren. Als sich die obige Explosion ereignete, befanden sich alle acht Feuerwehrleute direkt vor dem Gebäude, nur wenige Meter vom Eingang entfernt.

VIII.43 7. Beispiel: Deputy Chief Thomas DUNNE (FDNY) hat der Öffentlichkeit einen überaus interessanten Bericht über ein Ereignis präsentiert, welches er „**Verzögerten Backdraft**“ nennt. Er beschreibt, wie Feuerwehrmänner bei einem Brand in einem 15 m x 30 m⁵ großen, zweigeschossigen Gebäude mit Keller in der Bronx vorgingen, das in einer Holzbalkenverstärkten Ziegelkonstruktion errichtet wurde. Die zuerst eintreffenden Kräfte stellten fest, dass Rauch (jedoch kein Feuer) aus dem Erdgeschoß aus einer Reifenreparaturwerkstatt austrat, welche die letzte von drei Nutzungseinheiten im Gebäude war. Die ersten Maßnahmen waren die Vornahme von 2 1/2“-Leitungen und die Durchsuchung aller drei Nutzungseinheiten. Dabei wurde festgestellt, dass der Brand auf die Reparaturwerkstatt begrenzt war. Das Feuer wurde lokalisiert und im Keller dieses Bereiches des Gebäudes beinahe unter Kontrolle gebracht. Der Keller dieses Bereiches und die angrenzenden Räume blieben weiterhin rauchfrei und wurden von den Flammen nicht in Mitleidenschaft gezogen. Tatsächlich befand sich eine solide Brandwand zwischen der brennenden Nutzungseinheit und einem angrenzenden Matratzengeschäft. Der Rauch, der aus der Reifenwerkstatt aufstieg, nahm urplötzlich stark zu und breitete sich auch auf das angrenzende Matratzengeschäft aus, weshalb der Umfang der Brandbekämpfungsmaßnahmen im Inneren des Gebäudes reduziert wurde. Zu diesem Zeitpunkt brannte im Keller der Reparaturwerkstatt eine große Anzahl von Gummireifen. Ungefähr 45 Minuten nachdem von den zuerst eingetroffenen Kräften „Wasser Marsch!“ gegeben worden war, ereignete sich eine Explosion (welche als Backdraft oder Rauchexplosion klassifiziert wurde). Unmittelbar nach dieser Explosion kam es zu einer starken Brandentwicklung im Erdgeschoss des Gebäudes. Da sich das Feuer im weiteren Verlauf des Einsatzes auf das gesamte Gebäude ausbreitete, wurde ein Außenangriff vorgetragen, welcher die gesamte Nacht hindurch andauerte.

⁵ 50' (Fuß) x 100'

VIII.44 In seinem Bericht legt DUNNE des Weiteren dar, dass die Feuerwehrmänner zwar darin ausgebildet werden, die „klassischen“ Warnsignale für einen Backdraft bei der Ankunft am Einsatzort zu erkennen, gleichzeitig aber eventuell zu wenig Wert darauf gelegt wird, den Feuerwehrleuten zu vermitteln, dass sich derartige Ereignisse auch einige Zeit nach Beginn der Brandbekämpfung ereignen können, im ungünstigsten Fall gerade dann, wenn sich Feuerwehrleute im Gebäude aufhalten. DUNNE berichtet weiter, dass sich in seiner Einheit erst kürzlich zwei Ereignisse dieser Art ereignet hätten. Er schließt mit dem guten Rat, dass Feuerwehrleute bei jedem geschlossenen Raum, aus dem dichter Rauch austritt und der nur unzureichend belüftet wird, größte Vorsicht walten lassen sollten.

VIII.45 Der Begriff „**verzögerter Flashover**“ wurde erstmals in den frühen 1980ern in schwedischen Ausbildungstexten verwendet und bezeichnet Situationen, in denen jede denkbare Zündquelle von den sich ansammelnden entzündlichen Gasschichten getrennt ist. Dies kann dann auftreten, wenn in einem Raum ein Schwelbrand vorhanden ist und sich die Brandgase im selben Zimmer (oder in angrenzenden Räumen und auch in einiger Entfernung vom eigentlichen Brand) ansammeln. Wenn es schließlich zum Kontakt zwischen der Zündquelle und der Gasansammlung kommt, ereignet sich eine Explosion, welche als verzögerter Flashover bezeichnet wurde. Später, in der Mitte der 1990er, wurde das gleiche Ereignis in britischen Ausbildungstexten als „**verzögerter Backdraft**“ neu definiert. Davon abgesehen sind die Definitionen jedoch in beiden Fällen insofern fehlerhaft, als dass diese Ereignisse korrekter Weise als **Brandgasentzündung** oder **Rauchexplosion** bezeichnet werden müssten. Die Erfahrung hat uns jedoch gezeigt, dass es klüger wäre, die Tatsache stärker zu betonen, dass sich ALLE mit Schneller Brandausbreitung in Verbindung stehenden Ereignisse, sei es Flashover, Backdraft oder Brandgasentzündung, auch noch einige Zeit nachdem die ersten Maßnahmen zur Brandbekämpfung eingeleitet wurden, ereignen können. Daher lässt sich die Bezeichnung „**verzögerte/r**“ auf alle Ereignisse der Schnellen Brandausbreitung anwenden, genauso wie bei allen Ereignissen Potential für eine Verzögerung besteht. Dennoch ist der Ansammlung von Brandgasen und Rauch in benachbarten oder nahe gelegenen Räumen, Hohlräumen oder Dachstühlen usw. noch größere Aufmerksamkeit zu widmen als bisher (**Rauchexplosion**).

Bei dieser Art von Explosion kommt es nur selten zum Auftreten von Warnsignalen jedweder Art. Sie ist daher vermutlich die größte Gefahr für Feuerwehrleute. Derartige Explosionen treten oftmals dann auf, wenn Ansammlungen von Brandgasen ihren stöchiometrischen Punkt erreichen. Der Begriff „stöchiometrische Mischung“ eines Gas-Luft-Gemisches ist gleichbedeutend mit dem „idealen“ Mischungsverhältnis, welches für eine vollständige Verbrennung des Gemisches sorgt. Daraus folgt, dass der stöchiometrische Punkt zwischen der OEG und der UEG liegt. Die Entzündung eines Gemisches, welches in einem stöchiometrischen Mischungsverhältnis vorliegt, kann im Vergleich mit einer Deflagration eines Gemisches in der Nähe der OEG oder der UEG zu einer sehr viel stärkeren Deflagration führen.

VIII.46 Eine besondere Art der Rauchexplosion tritt verstärkt bei Bränden in Saunen auf. Dies geschieht häufig mit einiger **Verzögerung**, da Saunen dazu konstruiert werden, Wärme zu speichern! Wenn in einer Sauna ein Brand ausbricht, hat man den Fall eines **Zimmers im Zimmer**, falls die Sauna innerhalb eines Gebäudes untergebracht ist. Derartige Brände entwickeln sich unter Sauerstoffmangel extrem langsam und produzieren dabei große Mengen an Brandrauch. Der Verbrennungsprozess des Schwelbrands schwächt die Holzkonstruktion der Sauna; wenn nun Feuerwehrleute einen kräftigen Wasserstrahl auf die Sauna richten, wird die Konstruktion zerstört und der umgebenden Atmosphäre, welche höchstwahrscheinlich hochentzündlich ist, eine Zündquelle zugeführt. Die resultierende Explosion oder Entzündung der angesammelten Brandgase ereignet sich ohne Vorwarnung und findet häufig so stark **verzögert**

statt, dass sich zum Zeitpunkt der Entzündung Feuerwehrleute im Raum aufhalten. Bei diesem Szenario ist eine taktische Ventilation notwendig, noch bevor jede Art von Brandbekämpfung durchgeführt werden kann.

Homepage-Umfrage

VIII.47 In der Realität sind die Phänomene Backdraft, Flashover und Brandgasentzündung eng miteinander verknüpft und es kann durchaus vorkommen, dass ein Feuerwehrmann, der Zeuge einer Schnellen Brandausbreitung wird, die verschiedenen Phänomene nicht unterscheiden kann. Bei anderen Gelegenheiten wiederum kann es völlig offensichtlich sein, was für ein Ereignis gerade stattgefunden hat. Eine Umfrage auf der Website www.firetactics.com verdeutlicht diese Tatsache sehr gut:

Flashover? Backdraft? Rauchgasdurchzündung?		Abgegebene Stimmen
Flashover	29 %	91
Backdraft	35 %	108
Rauchgasdurchzündung	34 %	105
<i>Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ.</i>		Gesamt: 304

Tabelle VIII.1: Homepage-Umfrage

VIII.48 Flashover? Die 29 Prozent der Personen, die diese Möglichkeit gewählt haben, sollten sich noch einmal ins Gedächtnis rufen, dass ein Flashover eine durch Wärme hervorgerufene Fortentwicklung des Brandes ist, welche anhaltend ist. Und obwohl nur ein Bild aus der sieben Fotos umfassenden Bildreihe von Glen Ellman zur Beurteilung der Situation zur Verfügung stand, ist es offensichtlich, dass es hier zu einer Verbrennung von Brandgasen in größerem Ausmaß kam; wenn es jedoch zu einem solchen Abbrand der Gase kommt, wird das Feuer sehr schnell an Intensität verlieren.



Foto VIII.1 von Glen Ellman

VIII.49 Backdraft? Die Entzündung der Brandgase ereignet sich an einer Zugangsöffnung, was darauf schließen lässt, dass eine Luftbewegung in das Gebäude stattgefunden haben könnte (Schwerkraftströmung). Die Feuerwehrleute vor Ort berichteten, dass bei ihrer Ankunft die Rückseite eines einstöckigen Hauses in Holzrahmenbauweise in Vollbrand stand und das Feuer schon die Dachhaut durchbrochen hatte. Bei diesem Brand gab es keine Anzeichen dafür, dass Backdraftbedingungen zu befürchten wären; darüber hinaus litt der Brand auch nicht unter Sauerstoffmangel. Dennoch „fühlte“ der Feuerwehrmann Danny Morgan aus Fort Worth, als er seine 1 ¾ Zoll-Leitung ⁶ vorbereitete, dass „das Feuer durchzündend“ würde. Er berichtet folgendes: „Dichter schwarzer Rauch quoll unterhalb der Decke (des Eingangsbereichs) heraus und kühle Luft wurde vor mir in das Haus gesogen [...] Wenn wir nur einen einzigen Teil unserer PSA nicht angelegt hätten, hätten wir Verbrennungen erlitten [...]“ Eine eingehende Betrachtung der gesamten Bildfolge von sieben Fotos zeigt, dass die Entzündung stattfand, als die Tür geöffnet wurde, um das Gebäude zu betreten. Obwohl der Brand im rückwärtigen Teil des Hauses ausreichen belüftet war, staute sich ein überfettes Gas-/Luftgemisch im Eingangsflur an der Vorderseite des Gebäudes. Als Danny Morgan und seine Kollegen die Tür öffneten, setzte eine klassische „**Schwerkraftströmung**“ ein. Der resultierende Backdraft ereignete sich in nur ein bis zwei Sekunden! Eine kontrolliertere Annäherung an die Tür und eine korrekt durchgeführte Türöffnungsprozedur hätten die Entzündung der Brandgase **eventuell** verhindern können (siehe dazu auch die Anmerkungen am Ende dieses Kapitels).

VIII.50 Brandgasdurchzündung? Wenn nur das obige Foto als Grundlage für die Entscheidung zur Verfügung steht, kann man durchaus vermuten, dass die Entzündung der Gase die Folge einer **Rauchexplosion** war, die durch einen glühenden Aschepartikel ausgelöst wurde, der beim Betreten des Hauses in die Rauchsicht gelangt war. Diejenigen, welche diese Antwort wählten, lagen nicht falsch, wenn man von den zur Verfügung stehenden Materialien ausgeht.

VIII.51 Ist eine Unterscheidung für Feuerwehrleute relevant? Ist es wirklich wichtig, was eine Entzündung verursacht hat? Nun ja, die Ursachen, taktischen Gegenmaßnahmen und vorbeugende Schutzmaßnahmen für jedes spezifische Ereignis sind ebenso unterschiedlich wie die zugehörigen Warnsignale. Es ist wichtig, dass die Feuerwehrmänner die Unterschiede verstehen und wissen, unter welchen Bedingungen die einzelnen Ereignisse auftreten können. Es ist offensichtlich, dass ein Backdraft in einer großen Bandbreite von Situationen auftreten kann; ein begrenzter Schmelbrand ist nicht die einzige Situation, bei der eine mangelnde Luftversorgung besteht. Warnsignale können, müssen aber nicht sichtbar sein; wichtiger aber ist, dass Feuerwehrleute vorausahnen können, welche Szenarien sich schlimmstenfalls aus einer bestimmten Situation entwickeln können. Die Tätigkeiten von Feuerwehrleuten sind es, die „Ereignisse“ hervorrufen: dazu zählen z.B. das Öffnen von Fenstern und Türen, das Aufdecken von versteckten Zündquellen oder auch das Einbringen einer Zündquelle in die Gasschichten durch die vorgehenden Feuerwehrmänner.

⁶ ca. 44mm Durchmesser, also in etwa vergleichbar mit einer C-Leitung

Die wichtigsten Punkte:

- a) Erkennen von offensichtlichen Warnsignalen; Trupps nicht in Bereiche mit gefährlichen Bedingungen schicken (außer evtl. zur Menschenrettung)
- b) immer korrekte Türöffnungsprozeduren anwenden
- c) Sicherstellen, dass Schlauchleitungen taktisch richtig in Stellung gebracht werden, um Fluchtwege zu schützen und das Feuer einzugrenzen, falls mit der Brandbekämpfung nicht sofort begonnen werden kann

Kurzzeitige Ereignisse & Stufenereignisse

VIII.52 Es gibt mehrere grundlegende Mechanismen, die bei einem Brand in einem geschlossenen Raum eine plötzliche Veränderung der Wärmefreisetzungsrate zur Folge haben können. Derartige Veränderungen teilt man ein in **Stufenereignisse** – also Ereignisse, bei denen die Wärmefreisetzungsrate eines Brandes dauerhaft ansteigt – und **kurzzeitige Ereignisse** – also Geschehnisse, bei denen die Wärmefreisetzungsrate wieder auf den ungefähren Ausgangswert absinkt. Es gibt sieben verschiedene Arten, wie es zu einer plötzlichen Veränderung kommen kann [12]. Vier davon sind Stufenereignisse, die den Übergang vom Stadium des vom brennbaren Stoff kontrollierten Brandes hin zum sauerstoffkontrollierten Stadium zur Folge haben. Die übrigen drei sind kurzzeitige Ereignisse, welche jeweils mit einer Komponente des Verbrennungsdreiecks (brennbarer Stoff, Sauerstoff, Wärme) in Bezug stehen. Flashover ist üblicherweise ein Stufenereignis, wohingegen ein Backdraft als kurzzeitiges Ereignis betrachtet wird, da es dabei zu kurzen, eventuell heftigen Energiefreisetzungen seitens des Brandes kommt, die **normalerweise** nicht anhaltend sind. Es ist möglich, dass Stufenereignisse und kurzzeitige Ereignisse gleichzeitig stattfinden.

SCHNELLE BRANDAUSBREITUNG

KURZZEITIGE EREIGNISSE nicht anhaltender Brand

ZUGABE VON BRENNBAREM STOFF

- z.B. Brand in Garage
- ⇒ Zerbersten von Gefäßen, die der Wärme ausgesetzt sind
- ⇒ Brennbarer Stoff verursacht Intensivierung des Brandes

ZUNAHME DER HITZE

- z.B. Kellerbrand
- ⇒ Wärme sammelt sich nahe des höchsten Punktes = Ausgang
- ⇒ Selbstentzündung der Gase
- ⇒ **Brandgasdurchzündung**

ZUGABE VON SAUERSTOFF

- z.B. Schwelbrand
- ⇒ Öffnung wird geschaffen
- ⇒ Luft kommt hinzu
- ⇒ verursacht **Backdraft**

STUFENEREIGNISSE anhaltender Brand

VON BRENNSTOFFKONTROLLIERT HIN ZU BRENNSTOFFKONTROLLIERT

- z.B. Zimmerbrand (keine Öffnungen)
- ⇒ Post-Flashover Brand durchbricht Wände
- ⇒ Brand entwickelt sich in angrenzenden Räumen weiter

VON BRENNSTOFFKONTROLLIERT HIN ZU SAUERSTOFFKONTROLLIERT

- z. B. Zimmerbrand (keine Öffnungen)
- ⇒ Brand wächst, bis gesamter Brennbarer Stoff einbezogen ist
- ⇒ **Flashover**
- ⇒ Wachstum durch Luftversorgung begrenzt

SAUERSTOFF- ZU SAUERSTOFFKONTROLLIERT

- z.B. Zimmerbrand mit Öffnung
- ⇒ Einsturz, Luftzufluss eingeschränkt
- ⇒ Brandausbreitung begrenzt

SAUERSTOFF- ZU BRENNSTOFFKONTROLLIERT

- z.B. Zimmerbrand mit Öffnung
- ⇒ Brand nahe am Verlöschen
- ⇒ Fast gesamter brennbarer Stoff verbraucht
- ⇒ „Überleben“ des Brandes durch Menge des brennbaren Stoffs begrenzt

Schema VIII.2: Schnelle Brandausbreitung, aufgeteilt in kurzzeitige und Stufenereignisse

Tätigkeiten der Feuerwehrlaute & Warnsignale

VIII.53 Das plötzliche Öffnen einer Zugangstür zu einem Brandraum kann einen Flashover, einen Backdraft oder eventuell auch einen Unterdruck hervorrufen, durch den die Fenster im Brandraum nach Innen zerspringen, was wiederum zu einer schnellen Brandausbreitung führen kann. Wenden Sie korrekte Türöffnungsprozeduren und 3D-Wassernebel an, um diese Risiken für solche Ereignisse zu minimieren. Falls möglich, schließen Sie alle Zugänge zum Treppenhaus auf der Etage, in der es brennt, bevor Sie die Tür zum Brandraum öffnen.

VIII.54 Brände an verborgenen Stellen, in Dachstühlen oder stark isolierten Räumen, in welchen nur minimale natürliche Ventilation stattfindet, sind anfällig für Backdrafts, da sich dort die Brandgase mit der Zeit ansammeln. Darüber hinaus ist auch Rauch, der an der Dachrinne eines Gebäudes unter Druck austritt, ein Warnzeichen dafür, dass sich im Innern des Gebäudes ein Druck aufgebaut hat. Taktische Ventilation, 3D-Wassernebel oder **defensive Maßnahmen** wie z.B. indirekte Wassernebelanwendungen im Außenangriff sind die effektivste Art, mit derartigen Situationen fertig zu werden.

VIII.55 Ölige Rückstände auf Fenstern, heiße Türblätter und -griffe und pulsierender Rauch in diesen Bereichen sind sichere Anzeichen dafür, dass ein Potential für einen Backdraft vorhanden ist, wenn man eine Öffnung zum betroffenen Raum schafft. Auch hier ist wieder taktische Ventilation in Kombination mit 3D-Wassernebel notwendig.

VIII.56 Betrachten Sie beim Betreten eines Raumes oder beim Vorgehen in stark verqualmten Räumen den Rauch an der Tür. Falls ein ständiges Pulsieren des Rauchs erkennbar ist, d.h. der Rauch quillt vor und zieht sich wieder zurück, oder wenn der Rauch tiefschwarz ist und sich in sich selbst zurückrollt, ziehen Sie sich sofort hinter einem pulsierendem 3D-Wassernebel in den Overhead aus dem betroffenen Gebiet zurück. Eine Rauchsicht, die sich **andauernd hebt und senkt**, so als ob sie Teil eines pulsierenden Kreislaufes ist, ist ein Warnsignal vor einem drohenden Backdraft – räumen Sie sofort das Gebäude!

VIII.57 Pfeifende oder „krachende“ Geräusche sind klassische Warnsignale vor einem Backdraft – Zeit, sich hier rauszubewegen ... schnell!!! Wenden Sie auch hier einen pulsierenden Sprühstrahl in den Overhead an, um die Gase zu inertisieren oder zu löschen. Halten Sie wenn möglich **Abstand zu Innenwänden**, da Hochgeschwindigkeitsgase im Allgemeinen von diesen mit hohen Geschwindigkeiten „abprallen“.

VIII.58 Ein weiteres Anzeichen für einen Backdraft [4] kann das Vorhandensein von blauen Flammen in einem Raum sein. Dies kann als Warnung dafür dienen, dass es zu einer Verbrennung von „vorgemischten“ Gasen kommt, wenn Luft mit großer Geschwindigkeit in Richtung Brandherd gesogen wird ...“Impuls“ und Rückzug!

VIII.59 Jeder plötzliche Temperaturanstieg bei einem Zimmerbrand, vor allem wenn er so groß ist, dass die Feuerwehrleute gezwungen werden, extrem flach auf dem Boden zu kriechen, ist ein Warnsignal für einen unmittelbar **bevorstehenden Flashover**. Geben Sie per Impuls Wasser in den Overhead und führen Sie diese 3D-Wassernebelanwendung fort, um Abkühlen der Gasphase zu erreichen.

VIII.60 Das Gebiet unmittelbar vor der Front eines Gebäudes wie z.B. eines Geschäfts oder eines Fabrikgebäudes sollte als ein Bereich betrachtet werden, in dem ein **hohes Risiko** besteht. So können beispielsweise das plötzliche Einströmen von Luft, was beim Schaffen einer Zugangsöffnung auftreten kann, oder die Mitführung eines glühenden Aschepartikels in der Luft in die entzündlichen Gasschichten zu einer heftigen Explosion führen! Die entstehende Druckwelle und der damit verbundene Feuerball können jeden, der sich in dieser gefährlichen Zone aufhält, ernsthaft verletzen. **Seien Sie sich dieses Risikos bewusst, wenn Sie Löschfahrzeuge aufstellen oder Trupps zum Arbeiten in dieses Gebiet schicken!**

VIII.61 Wenn sich die Rauchsicht schnell auf den Boden absenkt und das Feuer die Decke „entlang rennt“, ziehen Sie sich hinter einem Impuls-Sprühstrahl in den Overhead aus dem Raum zurück, bevor es zum Flashover kommt.

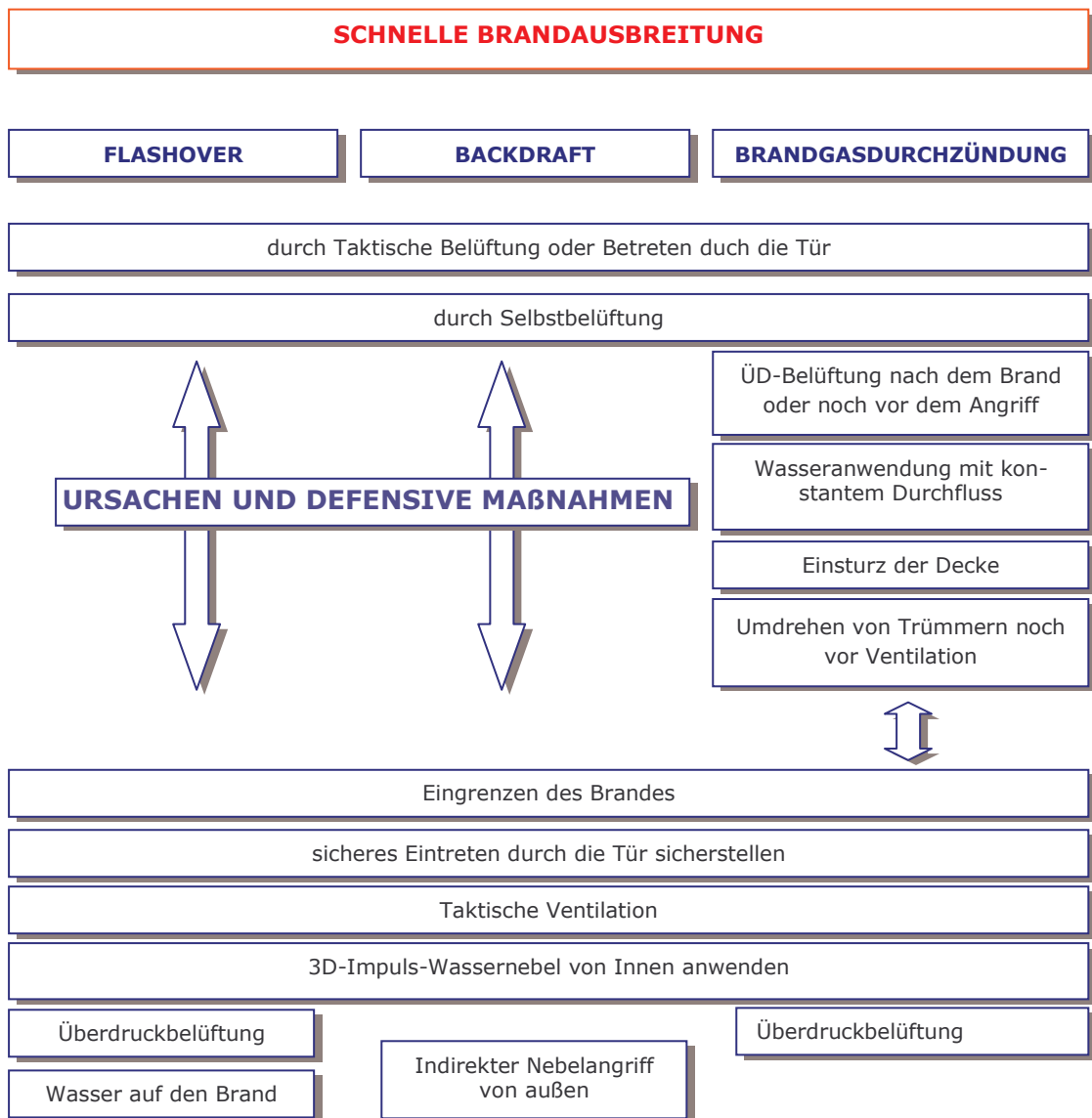
VIII.62 Beim Schaffen von Öffnungen an Wänden, Hohlräumen o.ä. muss mit großer Vorsicht vorgegangen werden. Halten Sie eine einsatzbereite Schlauchleitung bereit, um jede Art von Gasen kühlen und mit Impulsen angreifen zu können, die sich eventuell von innen nach außen oder anders herum ausbreiten könnten.

VIII.63 Nehmen Sie niemals an, dass die Gefahr vorüber ist, sobald der Brand unter Kontrolle ist und nur noch Nachlöscharbeiten durchgeführt werden. Achten Sie auf Gase, die sich im **Overhead, in Schränken, Dachstühlen, Hohlräumen und angrenzenden Räumen** angesammelt haben können. Stellen Sie sicher, dass alle Gebiete effektiv und unter dem Schutz von Sprühstrahl-Impulsen belüftet werden (wenn möglich, bevor von Innen Ablüftöffnungen geschaffen werden). Wenden sie keine Überdruckbelüftung an, wenn glühende Aschepartikel in den Overhead transportiert werden könnten!

VIII.64 Anzeichen von Verbrennung in der Gasschicht über Ihrem Kopf ist ein **Warnsignal für Flashover** – „Impuls, Impuls, Impuls!!!“

VIII.65 Wenn Sie sich von einem Treppenhaus aus gewaltsam Zugang zu einem brennenden Zimmer verschaffen wollen, stellen Sie sicher, dass sich oberhalb der Etage, auf der es brennt, im Treppenhaus keine Personen aufhalten. Denn wenn der Brand an Sauerstoffmangel leidet, kann es sein, dass das Treppenhaus als **Kamin** für die Brandgase dient, die in einem Feuerball den brennenden Raum verlassen!

VIII.66 Bei der Suche nach dem Brandherd kann das Anheben von Dachziegeln, die einen darunter liegenden Hohlraum verdecken, einen Backdraft oder eine Rauchexplosion verursachen. Ziehen Sie, **wenn es praktikabel erscheint**, immer vertikale Ventilation in Betracht, bevor Sie den Hohlraum von unten öffnen.



Schema VIII.3: Ursachen und taktische Gegenmaßnahmen für verschiedene Formen der Schnellen Brandausbreitung

Der unzureichend belüftete Brand

VIII.67 Im Gegensatz zu einem Zuluft-kontrollierten Brand tritt ein unzureichend belüfteter (unter Sauerstoffmangel leidender) Brand nicht als „brennendes System“ in Erscheinung, sondern vielmehr als eine Situation, in der sich ein überfettes Gas-/Luftgemisch in einem geschlossenen Raum angesammelt hat. Dafür ist nicht unbedingt ein vollständig entwickelter Brand in der stabilen (oder Vollbrand-) Phase erforderlich; meist stellt sich die Situation als ein Schwelbrand dar. Der Brand selbst kann durch eine geschlossene Tür auf einen Raum begrenzt sein oder sich auch auf Flure, Treppenträume und angrenzende Räume ausbreiten. Dabei können, müssen aber nicht die typischen Bedingungen vorhanden sein, welche die üblichen Warnsignale für einen Backdraft hervorrufen. Derartige Vorkommnisse sind Feuerwehrleuten sehr vertraut und stellen dennoch die gefährlichste Situation dar, mit der sie konfrontiert werden können. Es gibt wichtige Aspekte des taktischen Vorgehens, mit denen die Feuerwehrleute vertraut sein sollten und die Ausbildung für diese „Routine“-Art von Brand war noch nie so wichtig wie heute.

1. Die Erkundung
2. Der Anmarsch
3. Die Türöffnungsprozedur
4. Taktische Ventilation
5. Isolieren/Eingrenzen des Brandes
6. Kühlen & Inertisieren der Gasphase
7. Platzieren der Schlauchleitungen
8. Arbeiten oberhalb des Brandes
9. Angrenzende Räume

VIII.68 1. Die Erkundung

Beim Betreten jedes Gebäudes sollte sich jeder Feuerwehrmann die Umgebung gut einprägen. Rennen Sie nicht „blind“ ins Gebäude sondern NEHMEN SIE SICH EIN ODER ZWEI SEKUNDEN ZEIT, um **das Gebäude zu studieren** – dabei kann man viel erfahren: Wie viele Stockwerke hat es? Wie viele Fenster? Tritt Rauch aus? Wenn ja, von wo? Von der Dachkante? Steht der Rauch unter Druck? Sind Fenster noch intakt? Gibt es offen stehende Fenster, aus denen kein Rauch austritt (durch sie könnte der Brand mit Luft versorgt werden)? Diese Informationen müssen mit einem Blick erfasst werden. **Üben Sie diese Einschätzung deshalb bei JEDEM BRANDEINSATZ**, auch bei BMA-Alarmen! Wenn Sie in das Gebäude gehen, schauen sie **auf beiden Seiten nach unten** – Sind dort Lichtschächte oder Stellen, an denen Rauch austritt, vorhanden, welche auf einen Keller hindeuten könnten? Achten Sie auf ihrem Weg ins Innere des Gebäudes auf den Gesichtsausdruck der Personen, die das Gebäude verlassen, und schätzen Sie anhand des Ausdrucks in deren Augen ab, wie eilig diese Personen es haben, das Gebäude zu verlassen! Falls sie irgendetwas Schlimmes gehört, gesehen oder wahrgenommen haben, wird man ihnen dies an ihren Blicken ansehen. Indem Sie all das in sich aufnehmen, erhalten Sie eventuell wichtige Informationen und Ihre Sinne werden geschärft, da ihr Adrenalin Spiegel ansteigt, so dass Sie die vor Ihnen liegenden Aufgaben erfüllen können.

VIII.69 2. Der Anmarsch

Die Anmarschrouten zum Brand wird als „gefährliche Zone“ definiert; sie kann z.B. ein Flur oder ein Treppenhaus sein, welcher/s zum betroffenen Raum bzw. Wohnung führt. In dieser Zone sollte man große Vorsicht walten lassen und eine Gefährdungsanalyse anstellen, um die Situation richtig zu bewerten. Ist auf der Anmarschrouten Rauch oder Hitze vorhanden? Ist allgemein viel bzw. dichter Rauch vorhanden? Besteht eine starke Schwerkraftströmung? Dies ist ein wichtiger Indikator, denn **das Vorhandensein einer Schwerkraftströmung lässt darauf schließen, dass der Brand nicht begrenzt ist**, obgleich er sich in einem unzureichend belüfteten Zustand befinden kann. Schon das Öffnen der Wohnungstür kann eine Schwerkraftströmung hervorrufen, wodurch der Rauch im oberen Bereich der Tür unter hohem Druck entweicht während im unteren Bereich Luft angesogen wird. Dabei entsteht manchmal dort, wo sich Rauch und Luft treffen, eine klare Grenzschicht. Wichtig daran ist folgendes: Falls auf der Anmarschrouten Rauch vorhanden ist, ist eine entsprechende Reaktion darauf von Nöten – falls eine deutliche Schwerkraftströmung besteht, kann jede weitere Ventilation von außerhalb die Bedingungen verschlechtern. In einer derartigen Situation gibt es alternative Möglichkeiten: „Isolierung“ des Brandes und Belüften der Anmarschrouten oder beim Vorgehen einen Impuls-3D-Wassernebelsprühstrahl zur Anwendung bringen, mit dem Rauch und Brandgase gekühlt und inertisiert werden. Es kann vorkommen, dass es entweder nicht möglich oder nicht praktikabel ist, den Brand zu „isolieren“, indem man die Tür zum Brandraum schließt; dennoch sollte diese Option bei jedem Brand in Betracht gezogen werden. Falls die

Schwerkraftströmung gefährlich erscheint oder falls Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft vorhanden sind, können die Isolierung des Brandes und eine Ventilation des Anmarschweges brauchbare und nutzbringende Optionen sein. Anzeichen für Backdraft sind z.B. auch Haarrisse und starker Rußniederschlag auf intakt gebliebenen Fenstern, hinter welchen ein unzureichend belüfteter Brand vorhanden ist. Aber auch starke Rauchentwicklung und Rauch, der an der Dachkante eines Gebäudes entweicht, sind Warnzeichen für einen Backdraft und weisen auf die Möglichkeit hin, dass sich im Inneren des Gebäudes ein hoher Druck aufgebaut hat. Weitere Warnsignale sind zum einen Rauch, der an Austrittsöffnungen „pulsiert“, d.h. sich schnell vor- und zurückbewegt, zum anderen auch plötzliches Einströmen von Luft (Schwerkraftströmung), durch welches eine klare Grenzschicht zwischen Rauch und Luft an Tür oder Fenster erkennbar wird. Ein weiteres Warnsignal ist ein „**Wirbelwind**“ im Rauch, d.h. wenn es so scheint, als ob ein **wirbelndes Gebilde von der Größe eines Fußballs** auf seinem Weg durch den Rauch Luft ansaugt. Ebenso sind auch blaue oder „tänzelnde“ Flammen, die etwas abgesetzt vom eigentlichen Feuer auftreten, sowie „pfeifende“ oder „brausende“ Geräusche, welche entstehen, wenn die Luft in die Eingangsöffnungen gesogen wird, genauso wie auch dichter Rauch, der sich in sich zurückzurollen scheint und dabei „Pilz“-artige Formen annimmt, wenn der erhitzte Rauch durch Fenster oder Türen den Raum verlässt, Hinweise darauf, dass ein Backdraft bevorstehen kann. Die Isolierungsstrategie kann ausgeweitet werden, indem jede Tür zum Anmarschweg geschlossen wird – dies kann die **defensive** Strategie unterstützen, den Brand zu isolieren und zuerst den Anmarschweg zu belüften, bevor der Brandraum betreten wird. Wenn jedoch noch Personen im Gebäude vermutet werden, muss eine **offensive** Taktik angewandt werden. Diese beinhaltet das Betreten des Brandraumes, die Isolierung (hinter dem vorgehenden Trupp), die Anwendung von 3D-Wassernebel und die Suche nach Personen in Verbindung mit Ventilation von außen, sobald diese von innen angefordert wird.

VIII.70 3. Die Türöffnungsprozedur

Bevor irgendeine Tür geöffnet wird, hinter der Rauch oder Flammen vorhanden sein können, ist es unerlässlich, eine effektive Türöffnungsprozedur durchzuführen. Diese beinhaltet die korrekte Positionierung des Trupps (aus der Deckung heraus öffnen), die Öffnung der Tür bis zu 2/3, eine kurze Serie von Impulsstößen des Sprühstrahls in den Overhead, das Schließen der Tür, damit die Wassertröpfchen ihre Wirkung entfalten können, und schließlich die eventuelle Wiederholung dieses Vorgangs, bevor die Tür endgültig geöffnet wird. In dieser Phase ist es wichtig, dass ausreichend gute Sicht- bzw. Lichtverhältnisse existieren, damit beim Öffnen der Tür der Rauch beobachtet werden kann. Dabei hält man nach Anzeichen für ein „Ansaugen“ bzw. „Ausströmen unter Druck“ der Luft oder, wiederum, nach einer Schwerkraftströmung Ausschau. Danach kann die Tür langsam geöffnet werden; das weitere Vorgehen findet unter dem Schutz von weiteren kurzen Impuls-artigen Sprühstößen statt.

VIII.71 4. Die Taktische Ventilation

Wenn ein Angriffstrupp strategisch günstig positioniert ist, sollte er auf jeden Fall die Anforderung eines Ventilationseinsatzes von außen in Betracht ziehen. Bei mehrstöckigen Gebäuden ist es eventuell möglich, Räume von oben oder von den Seiten her zu belüften, indem man Einreißhaken oder Äxte an Feuerwehreinen befestigt, außen am Gebäude ablässt und dann durch „Pendelbewegungen“ die Scheiben der Fenster von außen einschlägt. Es ist möglich, dass bei der Gefährdungsanalyse, welche vor Betreten des Brandraumes von den Feuerwehrmännern vorgenommen wurde, aufgrund von vorhandenen Warnsignalen festgestellt wird, dass ein Ventilationseinsatz eine **unentbehrliche Erstmaßnahme** ist, die noch vor Betreten des Raumes durchzuführen ist. Dennoch hat der Trupp es vielleicht vorgezogen, hinter einer Impuls-Anwendung von 3D-Wassernebel in den Raum einzudringen, da der Raum „betretbar“ schien.

Dann wird der Trupp wenige Sekunden, nachdem er die Brandgase im Raum inertisiert und gekühlt hat, eine Ventilation von außen anfordern. Jede Öffnung, die zu diesem Zweck geschaffen wird, kann die Bedingungen im Raum verbessern, jedoch im gleichen Ausmaß auch verschlechtern! Es ist möglich, dass ein Flashover auftritt, da es zu einer thermischen Instabilität kommt; dieser Risiken sollten sich die Feuerwehrleute bewusst sein. Es ist möglich, dass sich die Umstände verschlechtern, wenn das falsche Fenster geöffnet wird; „falsch“ bedeutet hier, dass dieses Fenster einen angrenzenden Raum belüftet, von welchem wiederum Luft in den eigentlichen Brandraum gelangt. Jeder Ventilationseinsatz sollte zwischen dem Einsatzleiter, dem Angriffstrupp, der Mannschaft, welche die Belüftung vornimmt, und anderen Feuerwehrleuten, die sich in gefährlichen Zonen aufhalten, sorgfältig koordiniert und abgestimmt sein.

VIII.72 5. Isolieren/Eingrenzen des Brandes

Immer wieder stürmen Feuerwehrmännern blindlings in Richtung Feuer, ohne sich Gedanken über „Isolations“-Taktiken zu machen. Schon allein das Schließen einer Tür kann jedoch Leben retten! Schützen Sie immer Fluchtwege und wo keine Schlauchleitungen vorgenommen werden, kann das Schließen von Türen die Bildung von gefährlichen Schwerkraftströmungen verhindern und etwas kostbare Zeit erkaufen. Denken Sie immer daran: **Die gefährlichste Öffnung, die ein Feuerwehrmann schaffen kann, ist seine Zugangsöffnung!** Falls es die Umstände zulassen, verrauchte Gebäudeteile nach Eindämmung des Brandes zu belüften, kann dies sehr nützlich sein. Man hört öfters auch kritische Stimmen, wie z.B. „indem wir einen Brand isolieren und eingrenzen, schaffen wir u.U. ideale Bedingungen für einen Backdraft“. Ich würde sagen, dass dies möglich ist. Aber besser das und dafür die Bedingungen in angrenzenden Räumen kontrollieren, in denen sich vielleicht noch Personen aufhalten, als zulassen, dass sich eine Schwerkraftströmung unkontrolliert entwickelt. Wenn ein Angriffstrupp mit Wasser am Rohr zur Brandbekämpfung vorgeht, werden „Brandeindämmungstaktiken“ zwar zweitrangig, bleiben jedoch immer ein Alternative.

VIII.73 6. Kühlen & Inertisieren der Gasphase

Es wurde wissenschaftlich bewiesen, dass die Anwendung von 3D-Wassernebel-Impulsen in kurzen Serien die effektivste Art und Weise ist, gefährliche Gase im Overhead zu kühlen bzw. zu inertisieren und falls nötig jegliche Durchzündungen zu löschen.

VIII.74 7. Platzieren der Schlauchleitungen

Die goldene Regel bei der Platzierung von Schlauchleitungen ist, **die erste Leitung zwischen den Brand und den/das vom Feuer am stärksten Bedrohte zu legen**, z.B. ein Treppenhaus, das als Fluchtweg dient. Eine weitere goldene Regel ist, die **Situation zu stabilisieren und als Erstmaßnahme die Brandbekämpfung vor** - oder gleichzeitig mit - **der Personensuche zu beginnen**. Diese Regel wird viel zu oft von Feuerwehrleuten missachtet; es ist jedoch wichtig, dass **erst der Brand, dann die Suche** in Angriff genommen wird. Wo zu wenig Personal zur Verfügung steht, ist dies eine Entscheidung, die leider sehr oft getroffen werden muss. Wenn Sie bei Ihren Entscheidungen eine dieser Regeln verletzen, können Sie und/oder Mitglieder ihrer Mannschaft ihr Leben verlieren.

VIII.75 8. Arbeiten oberhalb des Brandes

Bevor Sie irgendeine Tür öffnen, die zu einem Treppenhaus führt und hinter der Sie einen Brand vermuten, müssen Sie sicherstellen, dass auf der Treppe oberhalb dieser Tür keine anderen Feuerwehrleute arbeiten. Setzen Sie sich mit diesen in Verbindung und teilen Sie ihnen mit, dass sie sich von dort entfernen sollen – so leicht ist das. Warum das ganze? Lesen Sie den Bericht über den Einsatz in der Watts Street in New York City, dann wissen Sie warum! [Vgl. dazu: **VIII.27**]

VIII.76 9. Angrenzende Räume

In Räumen (Zimmern, Treppenträumen, Schächten, Wandschränken etc.), die an den Brandraum angrenzen, besteht, egal ob sie auf dem gleichen Stockwerk liegen oder nicht, ein großes Risiko für eine Rauchexplosion, wenn sie durch irgendwelche Hohlräume mit dem Brandraum in Verbindung stehen oder wenn aufgrund der großen Wärme auch schon oberhalb des Brandraums das Ausgasen der Pyrolysegase eingesetzt hat. Falls eine Zündquelle in diese Bereiche eingebracht wird, kann diese eine Rauchexplosion verursachen, wenn nicht vorsichtig vorgegangen und belüftet wird. Dies kann auch geschehen, wenn offenbar nur „leichte bis mäßige“ Rauchentwicklung zu beobachten ist!

VIII.77 10. Computergestützte Modelle von unzureichend belüfteten Bränden

Daniel GOJKOVIC & Lasse BENGSSON [22] versuchten bei ihren interessanten Forschungen, bei der Ankunft an Einsatzstellen, an denen unzureichend belüftete Brände vorhanden waren, theoretische CFD-Berechnungen in praktische, in Schweden angewandte Brandbekämpfungstaktiken zu integrieren. Es hat sich gezeigt, dass CFD sehr hilfreich dabei ist, ein besseres Verständnis von Brandbekämpfungstaktiken zu erhalten. Wenn schon über einen längeren Zeitraum eine Verbrennung unter mangelhafter Sauerstoffversorgung stattgefunden hat, werden sich wahrscheinlich schon übermäßig große Mengen von Pyrolyseprodukten im Brandraum angesammelt haben. Wenn nun in diesen Raum plötzlich Luft zugeführt wird, kann es zum Backdraft kommen. Bei den Forschungen wurden verschiedenen Taktiken untersucht: Natürliche Ventilation, offensive Anwendung von 3D-Wassernebel mit Anti-Ventilation und Überdruckbelüftung (ÜDB).

VIII.78 Schlussfolgerung:

Bisher wurden verschiedene Alternativen für Teilaspekte der Brandbekämpfung diskutiert: Türöffnungsprozeduren, Strategien für das Vorgehen, Ventilation von außen, ÜDB, Taktiken zur Brandeindämmung und 3D-Wassernebelanwendung. Die Faktoren, welche die Auswahl dieser verschiedenen Alternativen beeinflussen werden, sind a) Gefährdungsanalysen, b) das Vorhandensein einer starken Schwerkraftströmung, c) Warnsignale für einen Backdraft und d) bestätigte vermisste Personen im Gebäude. Letzteres wird ein offensives Vorgehen notwendig machen, wobei eine Ventilation von außen erst nach dem Betreten des Brandraumes eingesetzt wird und eine Isolierung des Brandes sowie die Anwendung von 3D-Wassernebel die Suche nach den Vermissten unterstützen.

TAKTISCHE MÖGLICHKEITEN BEI ZIMMERBRAND-BEKÄMPFUNG



Schema VIII.4 Zimmerbrandbekämpfung – Taktische Möglichkeiten

Flashover-Phänomene: Fragen & Antworten – Verbesserungshinweise

VIII.79 Was ist ein Flashover?

Der Begriff „Flashover“ wurde in den 1960ern vom britischen Wissenschaftler P. H. THOMAS eingeführt und bezeichnet die Theorie, wie ein Feuer wächst, bis es zum **Vollbrand** wird. Üblicherweise wurde dies so verstanden, dass diese Ausbreitungs-Phase im „Flashover“ gipfelt, obwohl Thomas zugab, dass seine ursprüngliche Definition unpräzise war. Er akzeptierte, dass dieser Begriff je nach Kontext verschiedene Gegebenheiten bezeichnen kann. Später informierte Thomas die Öffentlichkeit in der „UK Fire Research Note 663“ (Dezember 1967) darüber, dass es **mehr als eine Art von Flashover** geben kann und dass ein Flashover sowohl bei Bränden, die von der **Menge des brennbaren Stoffs kontrolliert werden, als auch bei Bränden, die Zuluft-kontrolliert sind**, auftreten kann. Die Bezeichnung „Flashover“ wurde seither von Feuerwehrleuten auch dazu genutzt, ganze allgemein verschiedene Formen der **Schnellen Brandausbreitung (SB)** zu bezeichnen.

VIII.80 Mit welchen anderen Formen der Schnellen Brandausbreitung (SB) können Feuerwehrleute bei Innenangriffen konfrontiert werden?

Kurz gesagt: Mehrere. **Flashover** wird im Allgemeinen als eine **durch Wärme hervorgerufene** Form der SB betrachtet. Die Wahrscheinlichkeit für einen Flashover steigt proportional mit zunehmender Wärmefreisetzung vom Feuer. „**Backdraft**“ ist ein Ereignis, welches im Allgemeinen **durch Belüftung hervorgerufen** wird. Dabei wird einem unzureichend belüfteten Brand, der meist nur noch ein Schwelbrand ist, plötzlich Luft bzw. Sauerstoff zugeführt. **Rauchexplosionen** (oder **Brandgasdurchzündung – BGD**) werden häufig mit Backdraft verwechselt; diese beiden Formen der SB unterscheiden sich jedoch erheblich. Bei einer BGD

kommt eine „vorgemischte“ „Blase“ oder „Schicht“ von Brandgasen (im Rauch), welche sich schon in ihrem Zündbereich befinden, in Kontakt mit einer Zündquelle bzw. entzünden sich. Dazu kann es kommen, wenn ein glühender Aschepartikel in die entzündliche Rauchsicht gelangt oder wenn diese bei fortschreitender Entwicklung des Brandes durch die natürliche Ausbreitung und Absenkung der Rauchsicht mit einer Zündquelle in den unteren Bereichen des betroffenen Raumes in Kontakt kommt. Weiterhin kann eine BGD auftreten, wenn z.B. eine Decke einstürzt und der Rauch dadurch nach außen „gedrückt“ wird. Dabei werden die Brandgase endgültig in ihr ideales Mischungsverhältnis gebracht bzw. treffen dann auf Zündquellen. Eine Endzündung von Brandgasen kann verschiedene Formen annehmen: Sie kann explosiv verlaufen oder es kann zu mehreren kleinen Durchzündungen kommen, die dann eine Kette von ähnlichen, zusätzlichen Ereignissen in Gang setzen. Die Brandgase können auch dann durchzünden, wenn sie durch eine Öffnung in einen Bereich gelangen, in dem ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht, beispielsweise in der Nähe von Treppenhäusern oder wenn sie durch ein Fenster oder eine Tür ins Freie gelangen. Diese Durchzündungen können spontan in der Luft stattfinden, ohne dass eine Zündquelle vorhanden ist, wenn die Gase übermäßig erhitzt sind und so ihre Selbstentzündungstemperatur erreicht haben. Außerdem treten in einem solchen Fall Flammerscheinungen abgesetzt vom eigentlichen Brand auf. Derartige Durchzündungen können sogar in den Raum, aus dem sie kamen, **zurückschlagen**. Sie können aber auch an der nun zur Verfügung stehenden Sauerstoffquelle abbrennen, wenn die Bedingungen im Inneren des Raumes zu „fett“ sind, als dass dort die Verbrennung der Gase stattfinden könnte. Einige Rauchexplosionen der Vergangenheit haben besonders durch ihre explosiven Auswirkungen Schaden angerichtet; einige fanden auch ein gutes Stück vom eigentlichen Brandraum entfernt statt. Bei anderen Zwischenfällen befanden sich Feuerwehrleute in kleinen Räumen und setzen Rauchexplosionen dadurch in Gang, indem sie die Zündquelle in einem unbelüfteten Bereich aufdeckten (z.B. indem sie eine Matratze anhoben, unter der sich noch ein kleines Feuer befand).

VIII.81 Verwechseln Sie eine durch Windeinwirkung zunehmende Intensität des Brandes nicht mit einer verstärkten Intensität aufgrund von Flashover oder Backdraft; zwischen diesen Ereignissen besteht kein Zusammenhang. Dieser „Wind-Effekt“, bei dem **„Stichflammen“** auftreten können, ist üblich und tritt plötzlich und ohne vorherige Warnung auf. Die beiden Ereignisse ähneln sich zwar in ihren Erscheinungsformen; die Ursache für den „Wind-Effekt“ ist jedoch viel leichter zu ermitteln: Ermitteln Sie (am Besten noch vor Betreten der gefährlichen Zone) einfach die Windrichtung.

VIII.82 Kann ein Flashover durch verstärkte Belüftung hervorgerufen werden?

Ja! Es gibt Situationen, in denen der Wärmeverlust aus dem Raum zunimmt, je mehr Hitze durch eine Öffnung (z.B. ein Fenster) freigesetzt wird. Es gibt jedoch einen Punkt, ab dem weitere Belüftung dazu führen kann, dass im Inneren des Raumes mehr Hitze freigesetzt wird, als durch Öffnungen abgegeben werden kann. Dieser Umstand der thermischen Instabilität kann zu einem Flashover führen. In diesem Zusammenhang sollte man anmerken, dass bei einem Brand auch mehrere Formen der SB auftreten können, die eng miteinander verknüpft sind. Dadurch ist es nur schwer möglich, das für die Entzündung ursächliche Ereignis festzustellen.

VIII.83 Halten Flammerscheinungen eines Backdrafts länger an oder kommt es normalerweise nur zu einer kurzen Freisetzung von Energie?

Wissenschaftler nehmen an, dass es grundlegende Mechanismen gibt, die eine plötzliche Veränderung der Wärmefreisetzungsrates eines Brandes in einem geschlossenen Raum nach sich ziehen können. Derartige Veränderungen werden in **Stufenereignisse**, bei denen die Wärmefreisetzungsrates auf ein höheres Niveau gehoben wird und dort auch bleibt, und **kurzzeitige Ereignisse** unterteilt, bei denen die Wärmefreisetzungsrates wieder auf ihren (ungefähren) Ausgangswert absinkt. Es gibt sieben Arten einer solchen plötzlichen Veränderung. Vier davon sind Stufenereignisse, bei denen der Übergang vom Stadium des Brennstoffkontrollierten Brandes hin zum Stadium des Zuluftkontrollierten Brandes erfolgt. Die drei anderen sind kurzzeitige Ereignisse, die mit einer der drei Komponenten des Verbrennungsdreiecks (brennbarer Stoff, Wärme, Sauerstoff) zusammenhängen. Ein Flashover ist üblicherweise ein Stufenereignis; ein Backdraft hingegen wird als kurzzeitiges Ereignis bezeichnet. Bei letzterem kommt es zu kurzen, möglicherweise heftigen Energiefreisetzung, die normalerweise nicht anhaltend sind. Es gibt jedoch auch dokumentierte Fälle, in denen Backdrafts auftraten, die mehrere Minuten andauerten. Ein solches Ereignis war der Watts Street-Brand in NYC, bei dem es zu einem Backdraft kam, in dessen Verlauf es zur Flammenfreisetzung im Treppenhaus kam, die ca. 7 Minuten andauerte. Es ist möglich, dass kurzzeitige Ereignisse und Stufenereignisse gleichzeitig auftreten.

VIII.84 Sind die verschiedenen Formen der SB normalerweise „explosiv“?

Alle Formen der SB können Druckwellen unterschiedlicher Stärke - bis hin zur Explosion - zur Folge haben. In manchen Situationen werden die Durchzündungen langsam erfolgen und man kann beobachten, wie sie „faul“ die Decke entlang rollen. Bei anderen Gelegenheiten hingegen können die Durchzündungen heftig und mit großer Geschwindigkeit erfolgen.

VIII.85 Mit welcher der drei Hauptformen der SB haben Feuerwehrleute am häufigsten zu tun?

Dies ist eine sehr häufig gestellte Frage. Doch leider gibt es darauf keine richtige Antwort, da keine verlässlichen Statistiken zur Verfügung stehen. Aus meiner Erfahrung als Feuerwehrmann und beim Untersuchen von Bränden würde ich sagen, dass ein durch Wärme hervorgerufener Flashover das am häufigsten auftretende Ereignis ist; ein solcher Flashover ereignet sich jedoch häufig schon, bevor noch die Feuerwehr eintrifft. Daher ist vermutlich der Backdraft das Ereignis, mit dem Feuerwehrleute am häufigsten zu tun haben. Denn sie schaffen nach ihrer Ankunft unverzüglich Belüftungsöffnungen (Zugangspunkt!), die sehr wahrscheinlich Auswirkungen auf die Ausbreitung des Brandes haben. Aber auch die Rauchexplosion kommt in Betracht, da die Feuerwehrleute beim Vorgehen die Wärmebilanz aus dem Gleichgewicht bringen und Brandgasformationen verwirbeln, weil sie konstant abgegebenen Sprühstrahl verwenden. Dabei können unbemerkt entzündliche „Blasen“ aus Brandgasen direkt in Richtung einer Zündquelle getrieben werden.

VIII.86 Nach welchen Warnsignalen sollten Feuerwehrleute Ausschau halten?

Für jede Art von Ereignis gibt es spezifische Warnsignale. Die Entstehung eines Flashovers wird durch folgende Geschehnisse angezeigt: Flammen, die sich im Overhead entlang der Decke bewegen (Rollover); plötzlicher Wärmeanstieg, durch den die Feuerwehrleute gezwungen werden, auf dem Boden zu kriechen; die plötzliche Absenkung der Rauchsicht. Anzeichen für einen Backdraft sind unter anderem Haarrisse in und starker Rauchniederschlag an intakt gebliebenen Fenstern, hinter welchen ein unzureichend belüfteter Brand vorhanden ist. Aber auch starke Rauchentwicklung und Rauch, der an der Dachkante eines Gebäudes entweicht, sind Warnzeichen für einen Backdraft und weisen auf die Möglichkeit hin, dass sich im Inneren des Gebäudes ein hoher Druck aufgebaut hat. Weitere Warnsignale sind zum einen Rauch, der an Austrittsöff-

nungen „**pulsiert**“, d.h. sich schnell vor- und zurückbewegt, zum anderen auch das plötzliche Einströmen von Luft (Schwerkraftströmung), wodurch eine klare Grenzschicht zwischen Rauch und Luft an der Tür oder an Fenster erkennbar wird. Außerdem ist auch ein „**Wirbelwind**“ im Rauch ein Warnsignal, d.h. wenn es so scheint, als ob ein **wirbelndes Gebilde von der Größe eines Fußballs** auf seinem Weg durch den Rauch Luft ansaugt. Ebenso sind auch blaue oder „**tänzelnde**“ Flammen, die etwas abgesetzt vom eigentlichen Feuer auftreten, sowie „**pfeifende**“ oder „**brausende**“ Geräusche, welche entstehen, wenn die Luft in die Eingangsöffnungen gesogen wird, genauso wie auch dichter Rauch, der sich in sich zurückzurollen scheint und dabei „**Pilz**“-artige Formen annimmt, wenn der erhitzte Rauch durch Fenster oder Türen den Raum verlässt, Hinweise darauf, dass ein Backdraft bevorstehen kann. Mit bloßem Auge kann nicht festgestellt werden, ob **eine entzündliche Gasschicht** vorhanden ist. Daher muss der Feuerwehrmann **IMMER** davon ausgehen, dass diese Schicht im Overhead gegenwärtig ist – zwar untätig, aber sie ist da, und zwar sowohl **WÄHREND** der Brandbekämpfung als auch **NACHDEM** der Brand gelöscht wurde!

VIII.87 Was bezeichnet der Ausdruck „Hochgeschwindigkeitsgase“?

Dieses Phänomen tritt oft in weitläufigen, offenen Räumen oder an Engstellen innerhalb eines Raumes, z.B. an Fluren oder Treppenhäusern, auf. Bei dieser Art von Ereignis entzünden sich Brandgase in einem gewissen Bereich des Raumes bei steigender Verbrennungsgeschwindigkeit, bevor sie dann plötzlich durch eine Wand oder eine Engstelle gestoppt werden. Dort scheint die Intensität der Verbrennung weiter zuzunehmen. Derartige Phänomene können sehr starke Brandmuster an den oberen und unteren Bereichen von Wänden und an Engstellen hinterlassen. Diese Brandmuster haben den wissenschaftlichen Namen „**örtliche Vertiefungen**“.

VIII.88 Kann taktische Ventilation SB verhindern?

Zu diesem Punkt gibt es viele Forschungen, Diskussionen und Einsatzerfahrungen. Es ist ganz einfach so, dass das Schaffen einer Öffnung dazu dienen **KANN**, die Faktoren, die SB hervorrufen, **positiv** zu beeinflussen; es **KANN** aber auch dazu führen, dass SB überhaupt erst auftritt! Die Ereignisse und Bedingungen, die nötig sind um eine SB hervorzurufen, sind in der Praxis unberechenbar und jede derartige Tätigkeit eines Feuerwehrmannes basiert auf kalkuliertem Risiko – es ist ein Glücksspiel! Auch der Einsatz von ÜDB kann in der einen Situationen eine SB verhindern, in einer anderen jedoch auslösen.

VIII.89 Bei der Anwendung von Taktischer Ventilation gibt es eine Faustregel: **BELÜFTE FÜR DAS LEBEN – BELÜFTE FÜR DAS FEUER – BELÜFTE FÜR DICH!** Das bedeutet im Einzelnen: „**Belüfte für das Leben**“: Feuerwehrleute, die in dieser Technik ausgebildet und mit den örtlichen Konstruktionsmerkmalen und Zugangspunkten vertraut sind, führen derartige Ventilationen durch. Der Ausdruck **VBS (Ventilieren-Betreten-Suchen)** ist in den USA und Teilen Europas allgemein bekannt. Diese Form der taktischen Ventilation besteht darin, sich zu Personen, von denen sicher bekannt ist, dass sie sich im Gebäude befinden, Zutritt zu verschaffen und ihnen das Leben zu retten, indem man in dem Bereich, in dem sich das Opfer befindet, die Bedingungen verbessert. Dabei ist klar, dass diese Verbesserung der Bedingungen nur für einige lebenswichtigen Minuten bzw. sogar nur Sekunden anhält. „**Belüfte für das Feuer**“ bedeutet, dass man die Bedingungen für die Trupps, die im Innenangriff zur Menschenrettung und Brandbekämpfung vorgehen, verbessert. Dabei versucht man, die Brandausbreitung von horizontaler in vertikale Richtung (oder umgekehrt) umzulenken, um Rauch, Wärme und Flammen auf dem kürzesten Weg aus dem Gebäude abzuführen. Eine derartige Taktik **KANN**, gelegentlich, die Situation verschlimmern; bei korrekter Anwendung wird sie jedoch im Allgemeinen positive Auswirkungen haben.

VIII.90 „Belüfte für dich“ ist ein Aspekt, den jeder Feuerwehrmann in Betracht ziehen sollte. Bei einem Schwelbrand in einem Raum ist es im Allgemeinen (für die Feuerwehrleute) sicherer, die Verbrennungsprodukte mittels Ventilation von außen VOR Betreten des Raumes zu entfernen. In ähnlicher Art und Weise sollte auch der Anmarschweg vor Betreten des brennenden Raumes belüftet werden. Wenn die Tür zum Brandraum jedoch schon offen steht, KANN eine Ventilation den Angriffstrupp gefährden. Es ist eine schwierige Entscheidung, ob in einem solchen Falle belüftet werden sollte. Auf jeden Fall sollten das diejenigen entscheiden, die das aus der Nähe beurteilen können, also der Angriffstrupp! Kommunikation ist hier das A und O!!! Denken Sie aber auch immer daran, dass eine 3D-Wassernebelanwendung in den Overhead (und wo möglich auch in den Brandraum) zur Gaskühlung und – inertisierung idealerweise vor jeder Art von Ventilation von außen stattfinden sollte.

VIII.91 Entspricht es den Tatsachen, dass SB oder „Explosionen“ auch in Räumen auftreten kann/können, die etwas entfernt vom eigentlichen Brandraum liegen?

Ja! Vielen Feuerwehrleuten fällt es schwer, diese Tatsache zu verstehen. Es ist gut möglich, dass Brandgase in angrenzende Räume transportiert werden, die entweder auf dem gleichen Stockwerk wie der Brandraum, aber auch auf höheren und sogar auf tiefer gelegenen Etagen liegen können. Diese Brandgase können in leichtem bis mittelstarkem Rauch enthalten sein und haben so den Anschein, als seien sie harmlos. Jedoch kann es solange zu einer Rauchexplosion kommen, bis die Gase vollständig aus dem Gebäude entfernt wurden. Bei diesen Explosionen kann es möglicherweise sogar zu Schäden an tragenden Bauteilen kommen! Eine Ausbreitung der Gase durch Hohlräume oder das Ausgasen von Teppichen in über dem Brandraum gelegenen Räumen waren schon des Öfteren Ursache für ein solches Ereignis. Einige Male kam es sogar erst dann dazu, als der eigentliche Brand schon gelöscht war.

VIII.92 Kann die Anwendung von 3D-Impuls-Wassernebel tatsächlich die Entzündung der Gasschichten verhindern?

Ja! Dies erfolgt auf zwei Arten: **Gaskühlung** und – **inertisierung**. 3D-Impuls-Wassernebel kann auch dazu eingesetzt werden, brennende Gase im Overhead zu kontrollieren und zu löschen. Dies geschieht weitaus effektiver als bei der Verwendung von Vollstrahl. Indem man Serien von Sprühstößen abgibt, ist - im Vergleich mit einer konstanten Anwendung von Sprühstrahl - die Wahrscheinlichkeit, Brandgase in Richtung von Zündquellen zu „drücken“, geringer. Ein weiterer positiver Effekt ist, dass man die Kontrolle über die Umgebungsbedingungen behält. Eine Abgabe von Impulsen feiner Wassertröpfchen in den Overhead wirkt sich dreidimensional aus. Dieses Verfahren ist weitaus kontrollierter (und sicherer) als die Anwendung langer Sprühstrahlstöße, die große Mengen Wasserdampf erzeugen und dazu führen, dass Brandgase, Flammen und Wärme in verschiedene Richtungen transportiert werden. Dies kann in gewissen Situationen ein großer Nachteil sein. Die Impuls-Anwendung stellt sicher, dass **in den Gasen - und NICHT auf überhitzten Oberflächen (Wänden, Decken, etc.)** - eine maximale Kühlwirkung erreicht wird. Dadurch wird jedes Vorgehen eines Angriffstrupps optimiert und die Wahrscheinlichkeit jeder Form von SB gesenkt. Der Effekt der Inertisierung der Gase ist zwar nicht vollständig nachgewiesen. Wissenschaftler geben jedoch zu, dass das Vorhandensein feiner, in der Gasschicht schwebender Wassertröpfchen höchstwahrscheinlich die Auswirkungen jeder Brandgasdurchzündung löscht und die Entstehung einer Brandgasdurchzündung von vornherein verhindert.

VIII.93 Wie ernst ist das Problem von tödlichen Dienstunfällen durch die verschiedenen Formen der SB und wie können wir die Zahl dieser Unglücke senken?

Bestätigte Todesfälle durch Flashover oder andere Formen der SB sind schwer ausfindig zu machen. Die NFPA meldet durchschnittlich fünf durch SB getötete Feuerwehrleute pro Jahr. Auch aus anderen Teilen der Welt gibt es immer wieder Berichte von schweren Zwischenfällen. Nicht bei jedem dieser Zwischenfälle sind Tote zu beklagen; einige Opfer überleben, wenn auch nur mit schrecklichen Verbrennungen. **Viele Todesfälle ereignen sich bei Realbrand"ausbildungen" in unbewohnten Gebäuden!** Noch wichtiger sind die vielen Zwischenfälle, die nicht öffentlich gemacht werden! Wann immer neue Unfälle an die Öffentlichkeit gelangen, scheint es, als ob die Angelegenheit weitaus ernster ist, als man zuerst meinen würde. Das große Problem ist, dass bei diesen Zwischenfällen oft mehrere Feuerwehrleute sterben – die SB erfasst ganze Trupps, wodurch die Verluste sehr hoch werden können.

VIII.94 Was ist ein „Flur-Flashover“?

Wenn Brandgase in einen Flur gelangen, der zum Brandraum führt, können sich diese Gase entzünden. Wenn der Brandraum selbst das Flashover-Stadium erreicht hat (vollständige Entwicklung und anhaltender Umfang des Brandes), kann es sein, dass die zur Aufrechterhaltung der Verbrennung notwendige Luft zu einem großen Teil durch den Flur zum Brand gelangt. Die Flammen können sich dabei in Deckenhöhe in den Flur hinaus ausbreiten und die dort angesammelten Gase entzünden. Viel hängt davon ab, ob die Gase in einem „zu mageren“ oder „überfetten“ Mischungsverhältnis vorliegen. Wenn die Gase sich in einem mageren Mischungsverhältnis befinden, wird eine Verbrennung nur in Nähe der Decke ablaufen und die dort vorhandenen Oberflächen mit einbeziehen. Wenn die Gase sich in einem fetten Mischungsverhältnis befinden, wird die Verbrennung dort stattfinden, wo Luft zugeführt wird, nämlich an der unteren Grenze der Gasschicht. Ein solches „Ereignis“ im Flur führt dazu, dass nur noch begrenzt Luft in den eigentlichen Brandraum gelangt. Dadurch kommt es zu einer Verbrennung unter überfetten Bedingungen, was wiederum eine verstärkte Rauchentwicklung nach sich zieht. Flur-Flashover sind häufig sehr intensiv und bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit fort. Halten sich Feuerwehrleute an Engstellen des Flurs auf, sind sie großer Gefahr ausgesetzt, da dort durch die Einengung des Raumes eine Deflagration zu einer Explosion gesteigert werden kann. 1991 verursachten zwei Flur-Flashover in einem St. Petersburger Hotel den Tod von acht Feuerwehrleuten. Bei diesem Einsatz waren vier Feuerwehrleute gezwungen, aus dem siebten Stock zu springen, um den Flammen zu entkommen. Nur einer von ihnen überlebte. 2002 wurden bei ähnlichen Flur-Flashover/Backdrafts fünf Pariser Feuerwehrleute getötet. „Backdrafts“ deswegen, weil diese Form der SB nicht unbedingt der üblichen Definition eines Flashovers entspricht.

VIII.95 Was ist eine Verpuffung?

Eine Explosion wird in der SUTHERLAND-Studie von 1999 [15] als eine schnelle Ausbreitung einer Flammenfront mit einer begleitenden Druckwelle definiert (CROFT, 1980). CROFT [16] nimmt an, dass bei einer Rauchexplosion ein Druck von bis zu 5-10 kPa erreicht werden kann. Derartig hohe Drücke sind stark genug, um Fenster zu zerstören. Die Geschwindigkeit der Flammenwand bestimmt die Stärke der Druckwelle. Wenn keine Druckwelle entsteht oder sie nur vernachlässigbar klein ist, spricht man von einer Verpuffung und nicht von einer Explosion (WIEKEMA, 1984). WIEKEMAS Untersuchung von 68 Bränden ergab, dass das Vorhandensein von Hindernissen in einer Dampf Wolke dazu führt, dass sich eine Explosion – und keine Verpuffung – ereignet. WIEKEMA erklärt diesen Sachverhalt damit, dass Hindernisse Verwirbelungen im Dampf hervorrufen. Und da Verwirbelungen bekanntlich die Geschwindigkeit einer Verbrennung erhöhen, kommt es zu einer Druckwelle.

IX. „NEUARTIGER“ 3D-WASSERNEBEL IN DER BRANDBEKÄMPFUNG

IX.1 Die taktische Vorgehensweise bei einem Brand innerhalb eines Gebäudes in der Art eines „indirekten“ Angriffs nach Lloyd LAYMAN [9] hat sich über viele Jahre hinweg entwickelt. Dennoch ist wohl die Anwendung direkter Löschmethoden unter Verwendung von Vollstrahl und Sprühstrahl mit kleinem Sprühwinkel im Allgemeinen weiter verbreitet. Die moderne Vorgehensweise ist im Allgemeinen sehr aggressiv und bei der Wasserabgabe befinden sich die Feuerwehrleute in unmittelbarer Nähe des Feuers. Dies hat in der Vergangenheit manchmal dazu geführt, dass Feuerwehrleute durch Wasserdampf, der sie plötzlich einhüllte, oder durch Temperaturumkehrungen verletzt wurden, da die thermische Schichtung der Luft durcheinander gebracht wurde.

IX.2 1982 führten die schwedischen Feuerwehren eine überarbeitete Version der **LAYMAN'schen Prinzipien** ein, nachdem zwei Feuerwehrleute bei einem Flashover in Stockholm ihr Leben verloren hatten. Bei dieser Art der Brandbekämpfung wird von einer Position im Inneren des Gebäudes aus gearbeitet, in der die Probleme, die früher bei der Brandbekämpfung aus nächster Nähe und bei der Anwendung von Wassernebel in geschlossenen Räumen vorhanden waren, nicht mehr auftreten. Diese Anwendung der „neuen Art“ wurde **„Offensive Brandbekämpfung“** genannt. Als später bekannt wurde, dass zur optimalen Bekämpfung des Brandes feine Wassertröpfchen direkt in die Brandgase im Overhead eingebracht werden müssen, benannte man dieses Konzept in **„3D-Wassernebelangriff“** um. Die dreidimensionalen Auswirkungen dieser Methode waren eigentlich das genaue Gegenteil von LAYMANS Konzept. Denn dieses sah vor, dass Wasserdampf entstehen sollte, indem Wasser auf heiße Oberflächen, Wände, Decken usw. trifft und dadurch verdampft. Dabei wurde ein Anteil von 10 % Wassernebel im Raumvolumen angestrebt. Im Gegensatz zum Konzept LAYMANS beruht die Wirkung der 3D-Wassernebelanwendung sehr viel weniger auf dem **erstickenden** Effekt des Wasserdampfes als viel mehr auf der **kühlenden und inertisierenden** Wirkung des Wasserdampfes in den Brandgasen.

IX.3 Ungefähr zur gleichen Zeit verwendete eine Führungskraft der Stockholmer Feuerwehr [26] einen Stahl-Schiffscontainer, der innen mit Spanholzplatten ausgekleidet war, um zu demonstrieren, wie Brandgase entstehen und sich in einem Brandraum ausbreiten. Im Anschluss an diese Demonstration wurden simulierte Rollover erzeugt, die bei einem „echten“ Brand einen Flashover ausgelöst hätten. Die neuartige Verwendung dieser einfachen, billigen und frei verfügbaren Einrichtung wurde später noch unter Sicherheits- und Effektivitätsgesichtspunkten überarbeitet und international als „Flashover-Simulator“ oder „Blechbüchse“ bekannt. Das Design dieses Simulators wurde dazu erdacht und entwickelt, um Feuerwehrleuten beizubringen, wie sich ein Brand verhält und ihnen gleichzeitig die Möglichkeit zu geben, verschiedene Strahlrohrtechniken zu üben, um die Brandgase bekämpfen zu können, die sich dem Rollover- und Flashover-Stadium nähern. Heute wird diese Art der Ausbildung auf der ganzen Welt durchgeführt.

IX.4 Im Jahr 1984 wurde die Anwendung von 3D-Wassernebel von Feuerwehrleuten im Londoner West-End in der Praxis getestet [4]. Dieser neuartige taktische Ansatz wurde daraufhin extrem populär, obwohl es noch sieben weitere Jahre dauern sollte, bis diese Taktik endgültig offiziell vom UK Fire Service anerkannt wurde [13]. 1988 und 1990 testete die US-Küstenwache [4], finanziert vom Naval Sea Systems Command (NSSC) der US Navy, die so genannte „Technik der Wasserabgabe in kurzen Serien“. 1994 schloss die US Navy ihre umfangreichen Forschungen [27] über die Verwendung der 3D-Wassernebel-Technik auf Schiffen ab. Im Jahre 1997 wurden die Forschungsergebnisse und Empfehlungen des Forschungsteams der US Navy anerkannt und die Technik wurde offiziell Teil des operativen Brandbekämpfungsplans NSTM 555-7 der Navy.

IX.5 Zu Beginn des neuen Jahrtausends wurde die neuartige Verwendung von 3D-Wassernebel von vielen Brandschutzbehörden in Europa, Australien, USA und anderen Teilen der Welt auf ihre Tauglichkeit hin untersucht und eingesetzt. Anfang Februar 2001 vollendete die Feuerwehr Austin/Texas, USA, ihre Untersuchungen, in deren Verlauf 146 Realbrandausbildungen in Gebäuden analysiert wurden [36]. Hierbei wurde die Verwendung von 3D-Wassernebel in vielen unterschiedlichen Situationen erprobt. Über 500 Trainingsteilnehmer wandten diese Form des Angriffs an. Dabei wurde festgestellt, dass die Abgabe von Wassertröpfchen in Impuls-Serien direkt in die überhitzten Brandgase bei einer großen Mehrheit der Brände Erfolg hatte. Es wurde festgestellt, dass diese neuartige Anwendung, die seit den 1980ern in ganz Europa weiterentwickelt worden war, besonders dann effektiv ist, wenn sie schon auf dem Anmarschweg zum Brandraum angewandt wird. Die Sichtverbesserung und die Aufrechterhaltung der Wärmebilanz stellten sich im Vergleich mit der Anwendung von Vollstrahl als besonders hervorragend heraus. Die Feuerwehrleute aus Austin stellten bei ihren Versuchen auch fest, dass es Situationen gab, in denen man auch durch eine noch so große Menge 3D-Wassernebel den Brand nicht kontrollieren konnte. Bei diesen Bränden konnte jedoch auch die Anwendung von Vollstrahl die Intensität des Brandes nicht senken, weshalb sich die Feuerwehrleute zurückziehen mussten. Vermutlich waren bei diesen speziellen Bränden **Luftströmungen** nicht unter Kontrolle gebracht worden und die Wärmefreisetzungsraten überstiegen die Kapazität der verwendeten Schlauchleitungen.

IX.6 Eine Führungskraft der Feuerwehr Austin meint dazu [36]: **„Meiner Meinung nach hat die 3D-Angriffsmethode sehr gut funktioniert. Sie war die Methode der Wahl beim weitaus größeren Teil der 146 Brände, die wir in der Ausbildung bekämpft haben und wird es auch bei den Bränden sein, mit denen wir im Alltag zu tun haben. Die Verwendung von 3D-Wassernebel-Impulsen ist im Vergleich die sicherste und effektivste Methode, wengleich auch sie nicht für jede denkbare Situation geeignet ist. Wir bilden unsere Feuerwehrleute nun in dieser Technik aus und fort.“**

IX.7 Im Jahr 2002 veröffentlichte der National Research Council (NRC) in Kanada einen Bericht [45], in dem die Meinung vertreten wurde, dass weitere Forschung über 3D-Wassernebel-Taktiken höchstwahrscheinlich bestätigen würde, dass diese Technik eine bahnbrechende Neuerung ist. In dem Bericht wird der Standpunkt vertreten, dass es theoretisch betrachtet auf jeden Fall positiv wäre, solche neuen Ansätze wie die 3D-Brandbekämpfung weiterzuführen, da sie große Vorteile für die Feuerwehrleute mit sich bringen. Zitat: *„Verglichen mit der traditionellen Vollstrahl- und konventionellen Sprühstrahltechnik zeigen sowohl experimentelle als auch analytische Ergebnisse, dass eine korrekt angewendete 3D-Wassernebeltechnik einen besseren Kühleffekt, weniger Wasserdampfbildung und weniger starke Störungen der Wärmebilanz mit sich bringen kann, wenn kurze Sprühstöße, feine Tröpfchen und große Sprühwinkel verwendet werden.“*

Flashover

IX.8 Mehrere Unfälle, bei denen Feuerwehrleute durch *Ereignisse* ums Leben kamen, die in einem Zusammenhang mit Flashover stehen, waren nötig, bis man von ca. 1980 an die Brandbekämpfungsstrategien in Europa einer kritischen Prüfung unterzog. Es stellte sich heraus, dass die Feuerwehrleute keine klare Vorstellung davon hatten, wie sich Brände in geschlossenen Räumen unter verschiedenen Belüftungsparametern entwickeln. Auch dem gefährlichen Entstehen von entzündlichen und explosiven Brandgasen im Overhead wurde nur wenig Beachtung geschenkt. Diese Gase können in angrenzende Räume oder Hohlräume gelangen – auch in einiger Entfernung vom Brandherd – und dann zeitverzögert durchzündeln, manchmal sogar erst dann, wenn der eigentliche Brand schon gelöscht ist. Mehrere Definitionen von **Flashover, Backdraft und Brandgasdurchzündungen** wurden von Wissenschaftlern im Vereinigten Königreich, Schweden und Neuseeland genau untersucht. Dabei wurden Begrifflichkeiten vereinheitlicht und Unklarheiten, die bezüglich einiger Ereignisse der SB vorhanden waren, beseitigt. Durch dieses Wissen wurde der Versuch unterstützt, die Brandbekämpfung in Gebäuden neu zu überarbeiten. Im Verlauf dieses Vorhabens wurden auch Flashover-Simulatoren (Container) dazu verwendet, Feuerwehrleuten die Ausbreitung eines Brandes zu erklären, ihnen Türöffnungsprozeduren beizubringen sowie zu lehren, wie man 3D-Impulse mit einem Strahlrohr erzeugt, mit denen man die Bedingungen im Overhead kontrollieren kann.

Anwendung von 3D-Wassernebel

IX.9 Es gibt drei Hauptzwecke, die 3D-Wassernebel bei der Brandbekämpfung in Gebäuden erfüllt:

1. **Kühlung der Gase** – der Nebel wird dazu verwendet, die Gase im Overhead soweit herunterzukühlen, dass kein Rollover oder Flashover mehr entstehen kann.
2. **Inertisierung** - der 3D-Wassernebel wird dazu verwendet, eine „inerte“ Atmosphäre im Overhead zu schaffen, die entweder durch Wasserdampf (kontrolliert geschaffen) ODER in der Luft schwebende Wassertröpfchen (dann, wenn es zu keiner Verdampfung kommt) kontrolliert wird. Dadurch wird jede mögliche Entzündung der Gase bei einem Backdraft oder einer Rauchexplosion verhindert bzw. in ihren Auswirkungen gemildert.
3. **Löschen** – der Wassernebel wird dazu verwendet, brennende Brandgase abzulöschen, die sich in Hohlräumen wie z.B. Treppenhäusern, Dachböden oder geschlossenen Räumen im Allgemeinen angesammelt haben und nun dort abbrennen.

IX.10 Es sollte klar sein, dass 3D-Wassernebel nicht (ausschließlich) dazu verwendet werden sollte, Brände zu löschen, sondern hauptsächlich dazu dient, **den Anmarschweg zum Brand „sicher“ zu machen** und die Wahrscheinlichkeit einer Brandgasdurchzündung, eines Flashovers, Backdrafts usw. zu reduzieren. Ebenso wenig ist diese Technik dazu gedacht, den direkten Angriff, bei dem Wasser per Vollstrahl angewendet wird, zu ersetzen, sondern viel mehr dazu, die vorhandenen Formen der Brandbekämpfung zu ergänzen, um so die Sicherheit und Effektivität der Feuerwehrleute zu erhöhen bzw. zu verbessern.

IX.11 Bei einem interessanten Forschungsprojekt der Universität Lund/Schweden [22] wurde ein Computermodell verwendet, um zu veranschaulichen, welche Auswirkungen bestimmte Tätigkeiten bei einem unzureichend belüfteten Brand wahrscheinlich haben werden. Untersucht wurden:

1. Natürliche Ventilation
2. Überdruckbelüftung
3. Anwendung von 3D-Wassernebel.

Die gewonnenen Erkenntnisse zeigten, dass die Anwendung von 3D-Wassernebel die sicherste von diesen drei Optionen ist.



Schema IX.1: 3D-Wassernebel

IX.12 Diese dreidimensionale Taktik kann defensiv oder offensiv angewendet werden. Der wahre Nutzen der Anwendung von 3D-Wassernebel zeigt sich bei der Verhinderung von Flashover und Backdraft (defensive Anwendung). Die impulsartige Abgabe von Wassernebel in kurzen Serien in den Overhead entlang des Anmarschweges dient dazu, die Brandgasschichten zu inertisieren und verhindert eine Entzündung der Brandgase (die sonst zu Ereignissen wie Flashover oder Backdraft führen würde) bzw. mildert die Auswirkungen einer solchen. Derartige Entzündungen von Brandgasen unterscheiden sich in ihrer explosiven Wirkung. Doch bei allen derartigen Ereignissen haben feine Wassertröpfchen bewiesenermaßen einen „beruhigenden“ Effekt und mildern die explosiven Auswirkungen. Derartige Anwendungen von Wassernebel müssen jedoch mit einem ausreichend großen Quantum an Präzision durchgeführt werden und sind von der Ausstattung, Ausbildung und Denkweise der Feuerwehrleute abhängig. Die Dauer der Impulse und die Größe des Sprühwinkels sind immer von der Größe des betreffenden Raumes und der darin vorliegenden Bedingungen abhängig.

IX.13 Von schlecht informierten Personen werden viele Pseudo-Argumente gegen die Anwendung von 3D-Wassernebel vorgebracht und falsche Vorstellungen verbreitet. Nachfolgend nun eine Auswahl solcher Aussagen.

Falsche Aussagen

IX.14 Die Verwendung von Vollstrahl ist bei der Brandgaskühlung genauso effektiv 3D-Nebel, wenn man mit ihm sozusagen ein „Z“ in den Rauch „zeichnet“ – FALSCH!

In mehreren unabhängigen Forschungsprojekten wurde wissenschaftlich bewiesen, dass feine Wassertropfchen die Gase im Overhead weitaus effektiver kühlen, als es mittels Vollstrahl möglich ist. Dies haben z.B. auch die Versuche der US Navy [27] unter streng wissenschaftlichen Versuchsbedingungen ergeben.

IX.15 Die Verwendung von 3D-Wassernebel verursacht bei den Feuerwehrleuten Verbrühungen und drückt die Flammen vom Wasserstrahl weg – FALSCH!

Dies wird nicht geschehen, wenn die Impuls-Technik verwendet wird. Dabei werden in kurzen Serien Sprühstöße abgegeben und bei jedem kurzen Sprühstoß wird ungefähr „ein Becher voll“ Wasser in den Overhead abgegeben. Das Wasser verdampft dann in den Gasen und nicht auf überhitzten Oberflächen wie Wänden oder Decken. Der durch das Verdampfen hervorgerufene Kühleffekt führt dazu, dass die Gase kontrahieren und sich vom Strahlrohrführer weg bewegen. Im Inneren des Raumes herrscht eher ein leichter Unter- als ein Überdruck. Außerdem entsteht beim Verdampfen des Wassers „trockener“ Wasserdampf. Davon abgesehen besitzen die einzelnen Impulse nicht genug „Wucht“, um die Flammen vom Wasserstrahl wegzudrücken.

IX.16 Die Anwendung von Wassernebel bringt die Wärmebilanz aus dem Gleichgewicht – FALSCH!

Der Einsatz der 3D-Technik hat genau das Gegenteil zur Folge! Die Schichtung der Brandgase bleibt erhalten und die Sichtverhältnisse werden verbessert. Diese Überlegenheit der 3D-Wassernebelanwendung im Vergleich zur Anwendung von Vollstrahl zeigte sich wiederholt in wissenschaftlichen Studien, einschließlich der Versuche der US Navy.

IX.17 Die Durchflussmenge, die bei der Gaskühlung Verwendung findet, ist gefährlich niedrig – FALSCH!

Zwar braucht man nicht sehr viel Wasser – bei der Verwendung eines (Hohl-)Strahlrohrs mit variablem Durchfluss hat man jedoch bei Bedarf augenblicklich mehr Wasser zur Verfügung. Gaskühlung kann auch mittels automatischen Strahlrohren mit hohem Durchfluss durchgeführt werden. Sie als Verantwortlicher müssen die Anwendung von 3D-Wassernebel eben ihrer Ausrüstung und den Durchflüssen, die sie normalerweise verwenden, anpassen.

IX.18 Die Anwendung von 3D-Nebel funktioniert am Besten in unbelüfteten Räumen – FALSCH!

Das trifft für die Anwendung von 3D-Wassernebel nicht zu; sie ist sowohl in belüfteten als auch in unbelüfteten Räumen effektiv einsetzbar.

IX.19 Die „Impuls“-Tätigkeit am Strahlrohr kann gefährliche Druckstöße erzeugen – FALSCH!

Aus Sicht der großen Pumpenhersteller geht von der Anwendung der Impuls-Technik am Strahlrohr keine Gefahr für die Feuerwehrkreiselpumpen aus. Seit der Einführung dieser Technik in Schweden, im Vereinigten Königreich und in Australien wurde kein spürbarer Anstieg an Wartungsarbeiten/Reparaturen an Pumpen/Strahlrohren festgestellt. Es gab jedoch das Problem, dass Hochdruck-Schnellangriffe platzten, wenn an der Pumpe ein Druck von ca. 35 bar ⁷ gefahren wurde und die Impuls-Technik angewandt wurde. Dieses Problem wurde inzwischen gelöst. Falls dennoch weitere Bedenken bestehen, gibt es auch verschiedene technische Lösungen wie Druckbegrenzungsventile oder hydraulische Retarder, die man einsetzen kann, um völlig sicher zu gehen.

IX.20 Die „taktischen Lösungen“ und Begleiterscheinungen der Ausbildung, die nötig sind bzw. sich ergeben, wenn man Wasser einsetzen will, um in einem Brandraum/Gebäude kontrollierte Bedingungen zu schaffen, reichen sehr viel weiter als bis zur Technik der Strahlrohre. Die Ausbildungskonzepte vermitteln eine bessere Sensibilisierung für folgende Aspekte der Brandbekämpfung: Brandausbreitung, Brandverhalten, Bildung und Verhalten von brennbaren Gasschichten, Gefahrenanalyse bezüglich der Situation und der Taktik, Auswirkungen der Raumgeometrie und taktische Vorgehensweise in verschiedenen Situationen, einschließlich Öffnungs- und Eintrittsverfahren und taktischer Ventilation. Diese Art der Vorgehensweise wurde bereits in der ganzen Welt übernommen und legt die Betonung vor allem auf die **Sicherheit der Feuerwehrleute**. Ein schwedischer Experte in der Brandbekämpfung mittels 3D-Wassernebel [29] wurde für ein Jahr nach Queensland, Australien, entsandt, um dort das gesamte australische Trainingsprogramm aufzubauen, während britische Spezialisten nach Paris geschickt wurden, um französische Feuerwehrleute auszubilden.

Offensiver 3D-Nebelangriff (Gaskühlung)

IX.21 Ein Offensiver 3D-Nebelangriff ist definiert als die Anwendung von Wassernebel in kurzen, kontrollierten Serien (Impulsen). Sehr wichtig ist dabei der Durchmesser der verwendeten Wassertröpfchen. Das Ziel (bei defensiver Anwendung) ist es, dass die Tröpfchen in den Brandgasschichten schweben und diese dadurch kühlen, inertisieren und verdünnen. So sollen die Brandgase aus ihrem **unmittelbarem** Zündbereich entfernt werden, um nachfolgende Durchzündungen zu verhindern oder zu löschen. Die Auswirkungen einer Gaskühlung dienen außerdem dazu, thermische Rückkopplungen und den Wärmefluss in den Brandraum zu verringern, wodurch das Entstehen eines Flashovers verhindert wird. Diese Technik kann auch dazu verwendet werden, um Durchzündungen von entzündlichen Brandgasen niederzuschlagen (offensive Anwendung), die in einem Brandraum in einem Sauerstoff-kontrollierten Zustand abbrennen (wobei die Menge der Gase, die im Brandraum abbrennen, durch die Menge des Sauerstoffs/der Luft bestimmt wird, die durch Belüftungsöffnungen in den Brandraum gelangt). Die Anwendung dieser Technik erfolgt nach einem dreidimensionalen Muster innerhalb eines geschlossenen Raumes, in dem sich zum Zeitpunkt des Angriffs auch die Feuerwehrleute aufhalten. Das Verfahren kann sowohl in unbelüfteten als auch in belüfteten Räumen angewendet werden. Berechnungen [2], die verwendet werden, um den Nutzen der Anwendung dieser Technik zu kalkulieren, beruhen darauf, wie lange ein gewisses Volumen Wassertröpfchen (m³ etc.) in der Gasphase verweilt. Die Ergebnisse der Berechnungen können je nach Größe des betreffenden Raumes und anderen Faktoren variieren.

⁷ 500 psi

IX.22 Um gute Resultate erzielen zu können, sind der **Sprühwinkel** und der Anwendungswinkel genauso wichtig wie der praktische Aspekt des „**Pulsierens**“ am Strahlrohr. Ein Beispiel [4]: Lassen Sie uns für diese Beispielrechnung annehmen, dass ein Sprühwinkel von 60° , der in einem durchschnittlich großen Raum (er sei 50 m^3 groß) unter einem Anwendungswinkel von 45° zum Boden eingesetzt wird, ca. 16 m^3 Wassertröpfchen enthält. Ein 1 Sekunde andauernder Impuls aus einer Schlauchleitung mit einem Durchfluss von 100 l/m wird dann ungefähr $1,6 \text{ l}$ Wasser im Konus des Sprühstrahls freisetzen. Lassen Sie uns für diese Beispielrechnung einmal annehmen, dass eine einzelne „Einheit“ Luft bei $538 \text{ }^\circ\text{C}$ ein Gewicht von $0,45 \text{ kg}$ hat und ein Volumen von 1 m^3 beansprucht. Diese einzelne „Einheit“ Luft kann $0,1 \text{ kg}$ ($0,1 \text{ l}$) Wasser verdampfen, welches als Dampf (bei dieser Temperatur von $538 \text{ }^\circ\text{C}$, die für einen an Flashover grenzenden Zimmerbrand typisch ist) $0,37 \text{ m}^3$ einnimmt. Daraus folgt, dass ein Nebel mit 60° -Sprühwinkel den Platz von 16 „Einheiten“ $538 \text{ }^\circ\text{C}$ heißer Luft einnimmt. Das bedeutet, dass $1,6 \text{ kg}$ ($16 \times 0,1 \text{ kg}$) oder $1,6 \text{ l}$ Wasser verdampft werden können, was exakt die Wassermenge ist, die während einem 1 s dauernden Impuls abgegeben wird. Dieses Wasser wird in der Gasschicht verdampft, noch bevor es die Wände und die Decke erreicht, was wiederum den Kühleffekt im Overhead maximiert. Man kann recht leicht erkennen, dass überschüssiges Wasser die Gase durchdringt und beim Auftreffen auf heißen Oberflächen zu unerwünschtem Wasserdampf wird, wenn die Wassertröpfchen zu groß sind oder wenn zuviel Wasser abgegeben wird.

IX.23 Nun können wir unter Verwendung der Berechnungen von Charles Law untersuchen, wie effektiv die Gase letztendlich gekühlt wurden. Durch Kühlung kontrahieren die Gase. Jede „Einheit“ Luft im Konus des Sprühstrahls wurde auf ca. $100 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt und beansprucht nun nur noch ein Volumen von $0,45 \text{ m}^3$. Dies verursacht eine Reduzierung des gesamten Luftvolumens (im Kegel des Sprühstrahls) von 16 m^3 auf $7,2 \text{ m}^3$. Dazu müssen jedoch noch die $5,92 \text{ m}^3$ ($16 \times 0,37 \text{ m}^3$) Wasserdampf addiert werden, die bei einer Temperatur von $538 \text{ }^\circ\text{C}$ in der Gasschicht produziert wurden. Diese dramatische Volumenreduzierung im betroffenen Raum von 50 m^3 auf $47,1 \text{ m}^3$ hat einen Unterdruck im Raum verursacht - und das alles mit nur einem einzigen Sprühstrahl-Impuls! Ein Zustrom von Luft durch den Schlauch, der eventuell stattgefunden haben könnte, ist minimal (ungefähr $0,9 \text{ m}^3$) und der Unterdruck bleibt erhalten. Es ist jedoch notwendig, dass der Strahlrohrführer fortwährend nach jedem abgegebenen Impuls oder nach jeder Impulsserie beobachtet, wie sich die Gase verhalten, da sie andauernd in Bewegung sind und insgesamt ein dynamisches System vorliegt. Aufgrund dieser Beobachtungen sollten dann die Impulsdauer und der Sprühwinkel entsprechend angepasst werden.





Fotos IX.1-4: Impulstechnik mit kleinem Sprühwinkel
Fotos: John MacDoough, New South Wales Fire Brigade/Australien

Indirekter (defensiver) kombinierter Wassernebelangriff

IX.24 Ein indirekter, kombinierter Wassernebelangriff ist definiert als die Anwendung eines Sprühstrahls, bei der es nicht so stark auf die Größe der Wassertropfchen ankommt und deren Ziel es ist, Wasser auf überhitzte Oberflächen (einschließlich Wände und Decke) auszubringen. Dies geschieht normalerweise im Außenangriff, d.h. in einem defensiven Modus. Durch diese Art des Angriffs entstehen große Mengen heißen, feuchten Wasserdampfes, der die Flammen eindämmt, manchmal sogar vollständig löscht bzw. erstickt. Die Berechnungen, die bei dieser Art Wasseranwendung genutzt werden, haben die befeuchtete Fläche (in m²) zur Grundlage. Eine solche Anwendung kann häufig dann mit großem Erfolg eingesetzt werden, wenn im Raum Sauerstoffmangel herrscht oder Anzeichen für einen Backdraft vorhanden sind.

IX.25 CHITTY berichtet: *GISELSSON und ROSANDER veröffentlichten eine Berechnung, mit deren Hilfe die Mechanismen bei einem indirekten Angriff (die Anwendung von Wasser auf heiße Oberflächen um Wasserdampf zu erzeugen, der den Sauerstoff verdrängt und so den Brand eindämmt) erklärt werden können. Diese wurde von Paul GRIMWOOD – mit einigen Verbesserungen – in seinem Buch „Fog Attack“ übernommen. Diese Rechnung bedarf jedoch einer weiteren Überarbeitung, um das Verständnis zu erhöhen, da im Original mit mangelnder Genauigkeit gearbeitet wurde (So ist zum Beispiel die Aussage $90^\circ = 380 \text{ kW}$ unsinnig). Außerdem fehlten dort einige Rechenschritte und benötigten Werte.*

IX.26 Dies ist der Versuch, die Beispielrechnung für den indirekten Wassernebelangriff zu überarbeiten und Missverständnisse zu beseitigen:

Betrachtet wird ein mit Brandgasen gefüllter Raum mit einer Fläche von 40 m² und einer Höhe von 2,5 m.

Wenn wir auf eine heiße Oberfläche kurze Sprühstrahlimpulse abgeben, verdampft dieses Wasser und wird zu Wasserdampf. Falls das Wasser aus einem Hydranten bezogen wird, können wir annehmen, dass es mit einer Temperatur von 10 °C am Fahrzeug ankommt. Wenn wir nun eine Atmosphäre schaffen wollen, die zu 10 % aus 180° C heißem Wasserdampf besteht, **können wir die benötigte Wassermenge wie folgt berechnen:**

Um Wasser von 10°C in 180 °C heißen Wasserdampf umzuwandeln, muss eine bestimmte Menge Energie für folgende Tätigkeiten aufgewandt werden:

- Um das Wasser von 10°C auf 100°C zu erwärmen
- Um das flüssige, 100°C heiße Wasser in 100°C heißen Wasserdampf zu verwandeln
- Um den Wasserdampf von 100°C auf 180°C zu erwärmen

Wenn wir nun rückwärts rechnen, müssen wir damit anfangen, die vorhandene Wasserdampfmenge zu berechnen:

$$\begin{aligned}40 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} &= 100 \text{ m}^3 \\10\% \text{ von } 100 \text{ m}^3 &= 10 \text{ m}^3 \\ \text{unser Volumen des Dampfs bei } 180^\circ\text{C} &= 10 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Wenn man diesen Wasserdampf als ein auf 180 °C erhitztes Gas betrachtet und man weiß, dass sich Gase bei Hitze ausdehnen, kann man mittels der Zustandsgleichung des idealen Gases das Volumen des Gases bei 100°C berechnen. Dabei wird die Veränderung des Drucks im Raum als vernachlässigbar klein angesehen, d.h. $P_1 = P_2$.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

V_1 = Volumen des Wasserdampfs bei 100°C
 V_2 = Volumen des Wasserdampfs bei 180°C = 10 m³
 T_1 = 100°C + 273 = 373 K (Kelvin)
 T_2 = 180°C + 272 = 453 K

Aus dieser Gleichung folgt, dass $V_1 = 8,23 \text{ m}^3$. Dieses Ergebnis stimmt mit unserer Erwartung überein, dass Gase kontrahieren, wenn sie gekühlt werden. Man darf jedoch auch nicht vergessen, dass dieses Volumen 8230 l von 100°C heißem Wasserdampf entspricht.

Wir haben nun also errechnet, dass wir 8230 l von 100°C heißem Wasserdampf erhalten.

Die Physik sagt uns, dass 1 l (flüssiges) Wasser bei Erwärmung zu 1700l Wasserdampf (gasförmig) mit einer Temperatur von 100°C transferiert werden kann. Folglich benötigt man, um die von uns gewünschte Atmosphäre mit 10% Wasserdampf zu erreichen

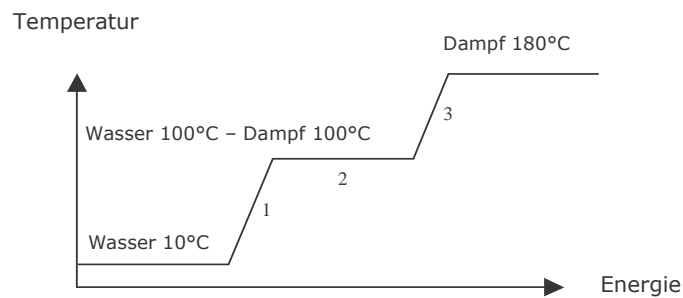
$$8230 \text{ l} / 1700 = 4,84 \text{ l}$$

Also müssen wir nur 4,84 l Wasser verdampfen, um eine Atmosphäre mit 10 % Wasserdampf darin zu erhalten.

Wie viel Energie wird nun benötigt, um diese 10 m³ Wasserdampf zu erzeugen? Oder anders gesagt: **In welchem Ausmaß kühlen wir, wenn wir 10 m³ Wasserdampf erzeugen?**

Um 4,84 l (= 4,84 kg, da 1l die Masse 1kg besitzt) 10 °C kühles Wasser in Wasserdampf von 180°C umzuwandeln, muss für folgende Vorgänge Energie bereitgestellt werden:

- Um die Wassertemperatur von 10 °C auf 100 °C zu erhöhen (1)
- Um das 100 °C heiße Wasser in 100 °C heißen Wasserdampf zu transferieren (2)
- Um die Temperatur des Wasserdampfes von 100 °C auf 180 °C zu erhöhen (3)



1. Unter Verwendung der spezifischen Wärmekapazität des Wassers von $C_{\text{H}_2\text{O}, \text{l}} = 4180 \text{ J/kg/K}$ können wir berechnen, wie viel Energie für den ersten Schritt der Erwärmung benötigt wird.

$$E_1 = C_{(\text{H}_2\text{O}, \text{l})} \cdot m \cdot \Delta T_1$$

$$E_1 = 4180 \text{ J/kg/K} \cdot 4,84 \text{ kg} \cdot (100-10)$$

$$E_1 = 1820808 \text{ J} = 1821 \text{ kJ}$$

2. Unter Verwendung der Verdampfungswärme des Wassers (2260 kJ/kg) können wir die beim Schritt (2) benötigte Energie berechnen.

$$E_2 = L \cdot m$$

$$E_2 = 2260 \text{ kJ/kg} \cdot 4,83 \text{ kg} = 10938400 \text{ J} = 10938 \text{ kJ}$$

3. Unter Verwendung der spezifische Wärmekapazität von Wasserdampf $C_{(\text{H}_2\text{O}, \text{g})} = 2020 \text{ J/kg/K}$ können wir die in Schritt (3) benötigte Energie berechnen.

$$E_3 = C_{(\text{H}_2\text{O}, \text{g})} \cdot m \cdot \Delta T_1$$

$$E_3 = 2020 \text{ J/kg/K} \cdot 4,84 \text{ kg} \cdot (180-100)$$

$$E_3 = 782144 \text{ J} = 782 \text{ kJ}$$

Durch Addition von E_1 , E_2 und E_3 erhalten wir nun die Gesamtenergie E_{ges} , die benötigt wird, um 4,84 l 10°C kühles Wasser in 180°C heißen Wasserdampf zu überführen:

$$E_{\text{ges}} = 13541352 \text{ J} = 13541 \text{ kJ} = 13,541 \text{ MJ}$$

GISELSSON und ROSANDER nehmen an, dass diese Energie im ersten Millimeter der Wand „enthalten“ ist. Die in diesem Teil der Wand verfügbare Energie kann man aus folgender Gleichung errechnen:

$$E_{\text{Wand}} = \rho \cdot A \cdot C_{\text{Wand}} \cdot d \cdot \Delta T$$

ρ = Dichte des Wandmaterials

A = Fläche der Wand bzw. Decke

d = Tiefe (1mm)

C_{Wand} = spezifische Wärmekapazität des Wandmaterials

ΔT = Temperaturveränderung in der Wand

Nimmt man an, dass die Ausganstemperatur der Wand 500 °C und ihre endgültige Temperatur 180 °C beträgt, die Dichte 1000 kg/m³ ist, die Wand eine spezifische Wärmekapazität von 1000 J/kg/K besitzt und die Tiefe wie schon oben genannt 1 mm beträgt, **wird folgende Fläche benötigt, um ausreichend Energie für die Umwandlung des Wassers zu erhalten:**

$$A = E_{\text{Wand}} / (\rho \cdot C_{\text{Wand}} \cdot d \cdot \Delta T)$$
$$A = 13,5 \cdot 10^6 \text{ J} / (1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1000 \text{ J/kg/K} \cdot 0,001 \text{ m} \cdot (500-180))$$
$$A = 42,2 \text{ m}^2$$

Folglich müssen also ungefähr 4,9 l Wasser auf eine Fläche von ca. 42 m² angewendet werden, um die gewünschte Wasserdampfkonzentration zu erhalten.

Also muss man, wie von GISELSSON und ROSANDER berechnet und von GRIMWOOD reproduziert, 0,11 l/m² anwenden.

Ein Modell, das die Wärmeabgabe von den Wänden wiedergäbe, würde diese Analyse noch deutlich verbessern, da so die zur Wiederaufwärmung der Wände benötigte Zeit und somit auch die optimale Zeit zwischen den einzelnen Wasseranwendungen abgeschätzt werden könnten. Darüber hinaus könnte man auch abschätzen, wie lange nachfolgende Anwendungen des Sprühstrahls andauern müssten.

Im Verlauf dieser Anwendung des Wassers sind **mehrere Mechanismen** zum Tragen gekommen, die einen **Brand eindämmen bzw. kontrollieren** können. Als erstes tritt, wie von GISELSSON und ROSANDER berichtet, eine **Verringerung der Sauerstoffkonzentration** im Raum auf, wodurch Verbrennungsreaktionen inhibiert werden. Zusätzlich wird die **Raumtemperatur gesenkt**, weshalb die thermische Rückkopplung auf die Oberfläche des brennbaren Stoffes abnimmt und die Wärmeverluste an die Umgebung zunehmen. Diese thermischen Faktoren können bereits ausreichen, um zu bewirken, dass der Brand in ein niedrigeres Gleichgewichtsstadium zurückfällt (eine Umkehrung des Flashover-Mechanismus).

GISELSSON und ROSANDER warnen wiederholt davor, **zu viel Wasser einzusetzen** (wodurch die Wandtemperatur unter 100 °C fällt, weshalb das Wasser an den Wänden kondensiert). Außerdem sollte man beachten, dass für eine **überfette Brandgasphase** weniger Wasser benötigt wird, da es dieser schon an Sauerstoff mangelt, wohingegen für magerere Gemische mehr Wasser benötigt wird.

Außerdem wird empfohlen, während der Brandbekämpfung die Öffnung zum Brandraum möglichst klein zu halten, da dadurch wahrscheinlich weniger Sauerstoff in den Raum hinein und weniger Wasserdampf hinaus gelangt. Besondere Beachtung muss der Gefahr der Wiederentzündung geschenkt werden.

Um diese Technik anwenden zu können, wurden besondere Sprühstrahlrohre entwickelt. Was jedoch zu beachten ist: In Europa sind die Wände üblicherweise nicht aus Gips oder Holz, sondern aus massivem Backstein, weshalb die oben beschriebene Beispielrechnung nicht uneingeschränkt zutrifft und der Effekt dieser Anwendung nicht ganz so stark ausfällt.

Diese Technik wird auch üblicherweise eingesetzt, um Brände in Frachträumen von Schiffen zu bekämpfen.

Direkter Angriff

IX.27 Der direkte Angriff wird, wie der Name schon sagt, direkt auf das Brandgut gerichtet. Dazu können verschiedene Strahlrohre (Vollstrahl, Sprühstrahl, Mehrzweck [nicht deckungsgleich mit dt. Begriff]) verwendet werden. Diese Art des Angriffs kann defensiv oder offensiv sein, je nachdem, wie stark die Brandausbreitung schon vorangeschritten ist.

IX.28 Möglichkeiten der Brandbekämpfung bei Bränden der Brandklasse A

Wasser kann auf Brände der Brandklasse A folgende Auswirkungen haben:

- **Kühlen des brennbaren Stoffes** - *Kühlen der Oberfläche des entzündlichen Feststoffs*: Dadurch wird die Pyrolyse verlangsamt, wodurch weniger brennbarer Stoff soweit aufbereitet wird, dass er verbrennen könnte. Dies verringert die Wärmefreisetzungsrate des Brandes und damit auch die thermische Rückkopplung von den Flammen auf den brennbaren Stoff, wodurch die primäre Kühlwirkung des Löschmittels verstärkt wird. Typisch für diese Methode ist die Anwendung von Sprühstrahl auf den Brandherd.
- **Kühlen der Flammen** - *direkte Kühlung der Flammerscheinungen*: Dies verringert die Konzentration an freien Radikalen. Ein bestimmter Prozentsatz der Reaktionswärme wird dazu benötigt, um eine inertisierende Substanz (z.B. Wasser) zu erwärmen, weshalb weniger thermische Energie übrig bleibt, um die Aufspaltung chemischer Verbindungen in der Reaktionszone aufrecht zu erhalten. Eine der Aufgaben der neuen Wassernebeltechnik ist es, auf diese Art und Weise den Brand zu bekämpfen. Denn die feinen Tröpfchen bieten eine sehr große Oberfläche pro Sprühimpuls und steigern so diese Umwandlung von Energie in Wärme.
- **Inertisieren der Flammen** - *Inertisierung der Luft, die die Flammen mit Sauerstoff versorgt*: Dies wird erreicht, indem der Sauerstoffpartialdruck erniedrigt wird. Zu diesem Zweck werden inerte Gase (z.B. N_2 , CO_2 , H_2O gasförmig) zugegeben. Dies entspricht der Beseitigung der Sauerstoffversorgung der Flammen durch die Bildung von Wasserdampf. Dies ist der dominierende Mechanismus, durch den Wassernebel große Brände in geschlossenen Räumen löschen kann.

In einer Diskussion über die Löschemanismen von Wassernebel fügte MACWHINNEY zu den obigen Möglichkeiten noch folgende hinzu:

Abschwächung der Wärmestrahlung, Verdünnung des entzündlichen Gas-/Luftgemisches und Löschen der freien Radialen der Verbrennungsprodukte (durch Interaktion mit Wasser wird das Energieniveau der Radikalen gesenkt).

Wechselwirkung zwischen Sprühstrahl sowie Flammen & Gasen

IX.29 Die Verwendung feiner Wassertröpfchen zur Brandbekämpfung in der Gasphase wird schon seit mindestens 50 Jahren untersucht. HERTERICH stellte fest, dass es notwendig ist, für die Diskussion über verschiedene Arten von Sprühstrahl – vor allem, wenn die Tröpfchengröße Gegenstand der Diskussion sein soll – eine einheitliche Terminologie festzulegen. Die normalerweise bei der Feuerwehr am häufigsten verwendeten Sprühstrahl-Arten besitzen Tröpfchengrößen von ca. 100 – 1000 Mikrons (0,1 – 1,0 mm). Verschiedene Sprühstrahlarten werden nach ihrer **Tröpfchengröße** in fünf Kategorien eingeteilt:

1. **gallertartig** (kleiner als 1 Mikron – tritt als „Rauch“ auf)
2. **staubartig** (zwischen 1 und 10 Mikron – tritt als „Öl“ oder Seenebel auf)
3. **fein** (zwischen 10 und 100 Mikron – tritt in Wolken oder als feiner Nebel auf)
4. **durchschnittlich** (zwischen 100 und 1000 Mikron – tritt z.B. in Nieselregen oder Regen auf)
5. **grob** (1000 – 10000 Mikron – tritt als große Tropfen auf)

IX.30 Die **Unterscheidung zwischen Sprühstrahl und Nebel** ist nicht klar definiert und bleibt in gewisser Hinsicht willkürlich. Die NFPA schlug kürzlich als praktische Definition eines „Wassernebels“ vor, dass ein Wassernebel ein Sprühstrahl ist, in dem 90 % des Wasservolumens in Tröpfchen enthalten ist, die im Durchmesser kleiner als 1000 Mikron (1,0 mm) sind. RAMSDEN schlug eine andere Definition vor, da er die NFPA-Empfehlung als zu vage empfindet. Seiner Meinung nach entspricht ein Durchmesser von 80 bis 200 Mikron eher dem Begriff „Wassernebel“.

IX.31 Im Hinblick auf die Verwendbarkeit eines Sprühstrahls zur Brandbekämpfung ist die Größe der einzelnen Tröpfchen bzw. die Durchschnittsgröße der Tröpfchen des Sprühstrahls von großer Bedeutung, da der Luftwiderstand, dem die Tröpfchen bei Bewegungen in der Luft ausgesetzt sind, proportional zum Tröpfchendurchmesser steigt. Daher ist die Reichweite bzw. die Eindringtiefe des Sprühstrahls stark von der Tröpfchengröße abhängig. Auch die Effektivität der Wärmeübertragung auf die Wassertröpfchen, die bei der Anwendung des Sprühstrahls zur Brandbekämpfung ja von fundamentaler Bedeutung ist, hängt von der Geometrie der Tröpfchen und in besonderem Maße vom Verhältnis der Gesamtoberfläche des Sprühstrahls (d.h. der einzelnen Tröpfchen, aus dem dieser besteht) zu seinem Volumen ab. Indem man dieses Verhältnis möglichst maximiert, wird die Fähigkeit des Sprühstrahls verbessert, Energie von der Umgebung aufzunehmen und resultierend daraus können mehr Tröpfchen verdampft werden. Die größtmögliche Eindringtiefe eines Sprühstrahls ist in der Praxis abhängig von der relativen Größe der kinetischen Energie der Ausgangsflüssigkeit und dem aerodynamischen Widerstand, den das umgebende Gas (Luft) ausübt. Wenn alle anderen Faktoren unverändert bleiben, ist die Eindringtiefe eines Sprühstrahls größer als die eines einzelnen Tröpfchens. Denn die „voranfliegenden“ Tröpfchen vermitteln dem umgebenden Gas einen (Bewegung-) Impuls, wodurch der Luftwiderstand für die nachfolgenden Tröpfchen verringert wird. Auf diese Weise wird für die nachfolgenden Tröpfchen ein „Pfad“ geschaffen, was zu einer besseren Eindringtiefe des gesamten Sprühstrahls führt.

Zurzeit gibt es vermehrt Forschungsbemühungen, die sich mit den Wechselwirkungen zwischen den Wassertröpfchen und den Brandgasen beschäftigen. Die einschlägige Literatur lässt vermuten, dass es wohl eine kritische Wärmefreisetzungsrates gibt, oberhalb derer eine bestimmte Tröpfchengröße nicht mehr zum Löschen des Brandes beiträgt, da die Tröpfchen nicht mehr die relevante „Kühlzone“ erreichen. Unter Berücksichtigung dieser Fakten kamen zahlreiche Studien zu dem Schluss, dass die „ideale“ Tröpfchengröße zur Gasphasenkühlung **im Bereich von ca. 200 – 400 Mikron (0,2 – 0,4 mm)** liegt.

IX.32 Die jährlich stattfindende BFRL-Konferenz zum Thema Brandschutzforschung gab ein interessantes Papier von ALAGEEL, EWAN und SWITHENBANK (Universität Sheffield, Vereinigtes Königreich) heraus, das sich mit dem Thema **„Eindämmung von Zimmerbränden unter Verwendung von Sprühstrahl“** befasste. Das Hauptziel dieser Studie war, die Wechselwirkung zwischen dem Sprühstrahl und einem Deckenbrand, der sich im Zuluft-kontrollierten Zustand befindet, zu untersuchen. Besondere Beachtung fand die Untersuchung der Effizienz verschiedener Sprühwinkel, Tröpfchendurchmesser, Strömungsgeschwindigkeiten und Durchflussmengen. Wasser wurde mit unterschiedlichen Sprühwinkeln in die Gasschichten eines Brandes eingebracht; untersucht wurden 30°-, 60°-, 75°-, 90°-, 120°-, 135°- und 150°- Winkel.

Die größte Absenkung der Gesamttemperatur wurde bei der Verwendung von Winkeln zwischen **60° und 75°** erreicht. Es stellte sich heraus, dass für diese Winkel die Strömungsgeschwindigkeit der begrenzende Faktor hinsichtlich der Eindringtiefe des Sprühstrahls war. Daher kam man zu dem Schluss, dass die Strömungsgeschwindigkeit mindestens 18 m/s (65 km/h) betragen sollte. In Sachen Tröpfchengröße wurden unterschiedliche Sprühstrahl-Arten mit durchschnittlichen Tröpfchengrößen von 100 bis 600 Mikron untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass der größte Kühleffekt durch Tröpfchen mit einem Durchmesser von ca. 300 Mikron (0,3 mm) erreicht wurde. Hinsichtlich des Durchflusses wurde festgestellt, dass bei dieser Versuchsanordnung (die der bei einem üblichen „Container-Simulator“ entsprach und ein Raumvolumen von 35 m³ besaß) eine Durchflussmenge von 120-180 l/min optimal ist. Wurde diese Durchflussmenge überschritten, sank die Raumtemperatur dennoch nicht im gleichen Verhältnis ab und viel Wasser floss ungenutzt ab. Bei Durchflussmengen unter 120 l/min war die Brandgaskühlung deutlich weniger effektiv als bei optimaler Durchflussmenge.

IX.33 Das Löschmittel Wasser besitzt eine theoretische Kühlfähigkeit von 2,6 MW pro Liter pro Sekunde; in der Praxis dürfte die Kühlfähigkeit bei einem Direkten Angriff jedoch eher bei ca. 0,84 MW/l/s liegen. Es wäre sinnvoll, wenn Sie ausprobieren würden, inwieweit die von Ihnen verwendeten Durchflüsse den Wärmefreisetzungsraten entsprechen, mit denen Sie im Erstangriff bei Gebäuden in ihrem Ausrückbereich rechnen müssen. Der durchschnittliche Zimmerbrand erreicht bei einem Flashover eine Intensität von über 7 MW; um eine solche Situation sicher und effektiv bewältigen zu können, ist eine minimale Durchflussmenge von 500 l/m erforderlich. Eine derartige Durchflussmenge ist jedoch zu groß, um damit eine optimale Gaskühlung durchführen zu können. Daher ist in der Vor-Flashover-Phase eines solchen Brandes, in der besonders die Gaskühlung und -inertisierung wichtig ist, ein Durchfluss von 100 – 150 l besser geeignet. Damit nicht unnötig große Durchflussmengen verwendet werden und damit vermieden werden kann, der Brandentwicklung mit der Durchflussmenge „hinterherzuhinken“, sollten an Erstangriffsleitungen idealerweise Strahlrohre verwendet werden, die eine **Einstellungsmöglichkeit für die Durchflussmenge** besitzen und die o.g. Bandbreite von Durchflussmengen von 100 – 500 l/m bieten. Alternativ dazu können auch Mehrzweckstrahlrohre [Strahlrohre, die sowohl Sprüh- als auch Vollstrahl bieten; jedoch nicht deckungsgleich mit deutschen Mehrzweckstrahlrohren] mit konstantem Durchfluss oder mit variablem Durchfluss bei konstantem Druck (automatische Strahlrohre) verwendet werden, bei denen eine Durchflusskontrollvorrichtung es ermöglicht, auch bei niedrigeren Durchflüssen **Impulse** abzugeben, indem einfach das Schaltorgan in schneller Folge geöffnet und geschlossen wird.

IX.34 RASBASH versuchte unter Verwendung eines Computermodells den Wärmeübergang von Flammen auf den Sprühstrahl zu bestimmen. Er entwarf einen Graphen, in dem die **Wärmeübergangsrate durch Konvektion** über der Tröpfchengeschwindigkeit aufgetragen wird. Als Flammentemperatur wurden 1000 °C angenommen und die Tröpfchengröße variierte zwischen 50 Mikron und 2 mm. RASBASH fand heraus, dass im Allgemeinen größere Geschwindigkeiten und kleinere Tröpfchendurchmesser für einen Anstieg der Wärmeübergangsrate sorgen. So konnte z.B. bei einem Tröpfchen von 2 mm Durchmesser und einer Geschwindigkeit von 0,07 m/s (Endgeschwindigkeit in unbewegter Luft) eine Wärmeübergangsrate von 167 kW m² gemessen werden. Das gleiche Tröpfchen erzielte mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s eine Wärmeübergangsrate von 293 kW m². Für ein Tröpfchen von 50 Mikron sind die Wärmeübergangswerte bei 0,01 m/s bzw. 0,5 m/s dementsprechend 1,7 MW m² bzw. 2,5 MW m². Auch die Eindringtiefe der Tröpfchen wurde untersucht. Dabei kam man zu dem Ergebnis, dass Tröpfchen mit einer höheren Ausgangsgröße tiefer in die Flammen eindringen können, bevor sie vollständig verdampft werden. Inzwischen wurden auf Basis des bestehenden Computermodells weitere Simulationen entwickelt, bei denen

die erfassten Daten auch Details der heißen Gasschichten und empirisch gewonnene Durchschnittströpfchengrößen von kommerziell genutzten Sprinklersystemen und Wassernebelstrahlrohren beinhalten. Damit kann das individuelle Verhalten einzelner Tröpfchen bei einem simulierten Aufeinandertreffen zwischen Feuer und Sprühstrahl untersucht werden.

IX.35 Von Interesse mag in diesem Zusammenhang sein, dass das Ein-Liter-Löschgerät IFEX 3000 (<http://www.ifex3000.de>) seine „Ladung“ in Tröpfchen mit einem Durchmesser von 2 – 200 Mikron und einer Geschwindigkeit von 120 m/s abgibt. Dabei wird eine maximale Reichweite von 16 Metern erreicht. Bei Versuchen in Brandcontainern berichteten die testenden Feuerwehrleute jedoch, dass die Eindringtiefe in die überhitzten Brandgase innerhalb eines geschlossenen Raumes nicht ausreichend ist. Zwar besitzt das Gerät eine akzeptable Kühlfähigkeit bei Anwendung aus nächster Nähe; beim Bekämpfen eines „ausgewachsenen“ Brandes scheint es jedoch zu Wechselwirkungen mit der Rauchwolke zu kommen, durch welche die Eindringtiefe der winzigen Tröpfchen in die Gase im Overhead nachteilig beeinflusst wird.

IX.36 Hinsichtlich der **Eindringtiefe einzelner Tröpfchen** wird des Öfteren die Bedeutung des Strahlrohrausgangsdrucks diskutiert. Dazu kommt noch, dass die Verwendung von Hochdruck-Systemen zur Erhöhung der Reichweite feiner Wassernebel fragwürdig erscheint. Auch die Auswirkungen derartiger Systeme auf die Tröpfchengröße scheinen den Erwartungen entgegengustehen: Eine Erhöhung des Druckes führt nicht, wie man annehmen könnte, zu kleineren Tröpfchen, sondern im Gegenteil zu größeren. Dessen ungeachtet besteht in diesem Bereich jedoch noch weiterer Forschungsbedarf.

Forschungen aus Skandinavien

IX.37 Im Jahre 1995 beendete das finnische Fire Technology Laboratory (VTT) ein Forschungsprojekt, das sich über vier Jahre erstreckt hatte. Dr. Maarit TUOMISAARI verwendete bei diesem Projekt Computeranalysen und Realbrandversuche, um zu untersuchen, wie gut sich Sprühstrahl bei der Brandbekämpfung in Gebäuden zur Brandunterdrückung eignet, wenn er in die Gasphase abgegeben wird. Der Bericht vergleicht die „indirekte“ Anwendung auf heiße Oberflächen, bei der „wedelnde“ Bewegungen mit dem Strahlrohr gemacht werden, mit unterbrochenen Serien von 3D-Impulsen, die in die Gasphase eines Post-Flashover-Brandes abgegeben werden. Man stellte fest, dass die verwendete Wassermenge und die durchschnittliche Tröpfchengröße den größten Einfluss darauf hatten, wie schnell der Brand unter Kontrolle gebracht werden konnte. In Übereinstimmung mit vielen anderen Studien ähnlicher Art wurde festgestellt, dass eine Tröpfchengröße von 0,2 – 0,6 mm (200 – 600 Mikron) am Besten dazu geeignet ist, die Verbrennung in den Brandgasschichten zu unterdrücken. Das „indirekte“ Besprühen von Oberflächen in „wedelnder“ Art und Weise war zwar hinsichtlich Kühlung und Unterdrückung der brennenden Gasschichten effektiv; das Durcheinanderbringen der thermischen Schichtung wurde jedoch als nachteilig bewertet. Besonders im Vergleich mit den intermittierenden **Impulsen**, die direkt in die Brandgase abgegeben werden, sticht dieser Nachteil der indirekten Anwendung ins Auge, da bei der 3D-Anwendung die thermische Schichtung der Brandgase erhalten bleibt. Die Verwendung intermittierender Wassernebel-Impulse optimiert (d.h. senkt) außerdem die tatsächlich benötigte Wassermenge, die in den Overhead abgegeben werden muss. Außerdem kann der Strahlrohrführer die Kontrolle über die Umgebungsbedingungen leichter beibehalten und die Bildung von unerwünschtem Wasserdampf so gering wie möglich halten.

IX.38 Wasser, das in einen Raum gesprüht wird, kann man im Allgemeinen in drei Hauptteile gliedern:

- ein Teil des Wassers (**kleine Tröpfchen**) erreicht die Brandgasschicht nicht, da es den Aufwind im Raum nicht durchdringt; es ist daher nicht an der Brandunterdrückung beteiligt;
- ein Teil des Wassers (**ideale Tröpfchen**) wird in den Verbrennungsgasen verdampft;
- der dritte Teil (**große Tropfen**) erreicht Oberflächen im Raum und den brennbaren Stoff in flüssiger Form und wird dort verdampft oder sammelt sich ungenutzt auf dem Boden.

Um die 3D-Unterdrückung der Verbrennung in der Gasphase zu optimieren, muss der Teil des Wassers, der verdampft, möglichst maximal sein. Um sicherzustellen, dass die Auswirkungen der Verdampfung für die Feuerwehrmänner und eventuellen Opfer, die sich im Raum aufhalten, positiv sind, sollte der überwiegende Teil der Verdampfung in den Gasen und nicht auf Wänden oder Decken erfolgen. Die resultierende Kontraktion der Gase wird jede Volumenausdehnung des Wasserdampfes kompensieren, falls die Tröpfchen eine entsprechende Größe besitzen und der Strahlrohrführer bei der Abgabe von Wasser nicht zu „übereifrig“ ist.

IX.39 Im Jahr 2000 wurde in Schweden eine weitere Studie [32] fertig gestellt. Anders HANDELL von der Universität Lund bewertete im Auftrag der Feuerwehr Stockholm verschiedene zur Brandbekämpfung geeignete Sprühstrahl-Arten. Bei dieser Studie setzte er Computersimulationen und Realbrandversuche ein, um die Effektivität eines Strahlrohrs mit einem großen Sprühwinkel bei der Kühlung überhitzter Gasphasen zu bewerten, die sich im Overhead eines brennenden Raumes ansammeln. Dabei ist zu erwähnen, dass dies zum Teil auch bei der o.g. VTT-Studie Ziel der Untersuchungen war. Beide Forschungsprojekte kamen zu dem Schluss, dass das effektivste Strahlbild für die Brandgaskühlung und Unterdrückung brennender Gase von Strahlrohren der Firma Task Force Tips erzielt wurde. Als Ergebnis dieser Studie startete die Feuerwehr Stockholm 2001 ein Programm, in dessen Verlauf alle bisherigen Strahlrohre durch das Modell **TFT Ultimatic** ersetzt werden sollen, ein Strahlrohr, das auch die Feuerwehr London bereits seit 1992 verwendet. Auch die Lund-Studie widmete wiederum der Tröpfchengröße, dem Strahlbild, dem Durchfluss und der Fließgeschwindigkeit der Strahlrohre große Aufmerksamkeit und bewertete auch die Anwendungstechniken. Diese Studie stellt insofern einen Wendepunkt dar, als dass ein nordamerikanisches Strahlrohr das Modell TA Fogfighter in der Leistungsfähigkeit übertraf, das bis dahin bei den schwedischen Feuerwehren seit den frühen 1980ern als das am Besten zur 3D-Gaskühlung geeignete Strahlrohr galt.

IX.40 Es steht außer Frage, dass der Übergang zur offensiven 3D-Wassernebelanwendung, bei der feine Wassertröpfchen in kurzen Impulsen in die überhitzten Gase im Overhead abgegeben werden, das Leben vieler Feuerwehrleute gerettet hat. Statistiken zeigen, dass durch die neuartigen Methoden, durch die jede Art der Entzündung der Brandgase verhindert bzw. in ihren Auswirkungen gelindert wird, die Zahl der Feuerwehrleute, die aufgrund von Schneller Brandausbreitung verletzt oder getötet wurden, drastisch gesenkt wurde. Dies rührt vor allem daher, dass durch den effektiven Umgang mit Brandgasformationen, die bei einem Post-Flashover-Brand vorhanden sind, die Wahrscheinlichkeit für solche Phänomene wie Rollover, Flashover, Backdraft oder Brandgasexplosion stark reduziert wurde, da eine Entzündung der Brandgase weitestgehend verhindert wird. Wir erinnern uns: Diese neuartige Anwendung von Sprühstrahl bei der Brandbekämpfung innerhalb von Gebäuden ergänzt die traditionellen Methoden zur Brandbekämpfung, wie z.B. den direkten Angriff. **Der Feuerwehrmann, der in der Lage ist, die Risiken einer Situation einzuschätzen und zu erkennen, welche Art von Angriff für diese spezielle Situation optimal ist, wird mit größter Wahrscheinlichkeit Erfolg haben.**

Vorteile der Anwendung von 3D-Wassernebel

IX.41 Die dreidimensionale Anwendung von Wassernebel ist im Vergleich zu jeder anderen Form des Angriffs, einschließlich Vollstrahl, indirektem Angriff, Class-A-Schaum und CAFS, die effektivste Möglichkeit, Gase im Overhead zu kühlen; dies ist wissenschaftlich bewiesen. Diese Tatsache wird auch von mehreren unabhängigen Studien aus aller Welt belegt.

- Wenn der 3D-Wassernebel korrekt angewendet wird, hat er einen inertisierenden Effekt auf die Brandgase, was sich dahingehend äußert, dass sie schwerer zu entzünden sind (**Inertisierung der Luft, welche die Flamme nährt**, indem man den Sauerstoffpartialdruck durch die Zugabe von inerten Gasen wie z.B. N_2 , CO_2 oder Wasserdampf senkt). Der gleiche Effekt wird erreicht, wenn man durch die Bildung von Wasserdampf das Oxidationsmittel entzieht. Vor allem durch diesen Mechanismus können mittels Wassernebel große Brände in geschlossenen Räumen bekämpft werden.
- Die Abgabe von Wassertröpfchen in die Brandgase **verengt den Zündbereich der Gase** und senkt somit die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung.
- **Kühlung der Flammen – Direkte Kühlung der Verbrennungszone:** Ein gewisser Anteil der Reaktionswärme wird für die Erwärmung der inertisierenden Substanz (z.B. Wasser) benötigt, weshalb **weniger thermische Energie** übrig bleibt, um die Aufspaltung chemischer Verbindungen in der Reaktionszone aufrecht zu erhalten. Eine der Aufgaben der neuen Wassernebeltechnik ist es, auf diese Art und Weise den Brand zu bekämpfen. Denn die feinen Tröpfchen bieten eine sehr große Oberfläche pro Sprühimpuls und verstärken somit diese Umwandlung von Energie in Wärme. Aus chemischer Sicht kann man diesen Vorgang auch als Senkung der Anzahl der effektiven Kollisionen (die zu Verbrennung führen) der im Verbrennungsprozess beteiligten Radikale betrachten. Die Wassermoleküle – die bei dieser Reaktion inert sind – kollidieren mit den Radikalen und senken damit deren Energieniveau, wodurch es nur noch zu weniger effektiven Kollisionen kommen kann, für die auch eine gewisse Menge der Reaktionsenergie aufgewendet werden muss. Man kann sagen, dass das Wasser einen erstickenden Effekt hat.

Durchflussmengen

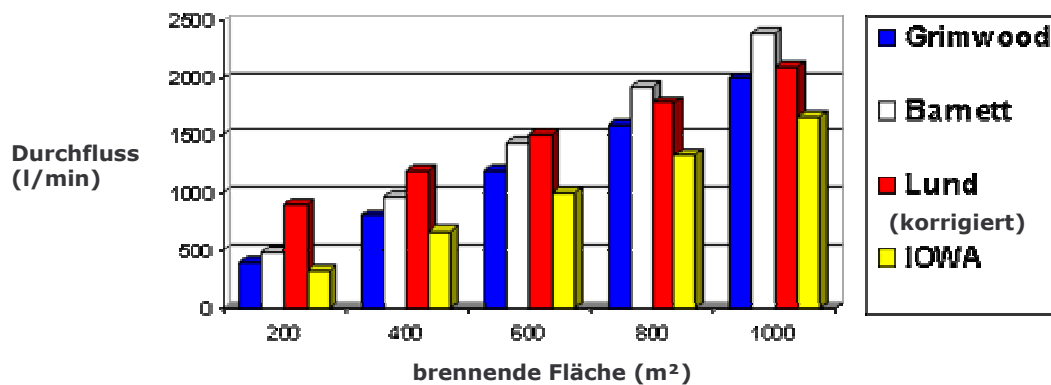
IX.42 In den vergangenen 50 Jahren gab es eine Vielzahl von internationalen Forschungsprojekten, die versuchten, eine „ingenieurmäßige“ Lösung für das Problem zu liefern, welche Wasserdurchflussmenge für die Brandbekämpfung innerhalb von Gebäuden notwendig ist. Diese Studien basierten im Allgemeinen zum einen auf wissenschaftlichen Daten, die mit Wärmefreisetzungsraten bei Zimmerbränden zusammenhängen, und zum anderen auf empirischen Versuchen, in deren Verlauf bei verschiedenen Feuerwehren Durchflüsse im realen Einsatzgeschehen in einer Vielzahl von Gebäudearten gemessen wurden. Die so gewonnenen Informationen sind äußerst nützlich, wenn es darum geht, in Bauvorschriften Anforderungen an die Wasserdurchflussmengen [des Hydrantennetzes am jeweiligen Gebäudestandort, etc.] für die Brandbekämpfung festzulegen. Aber auch für den Einsatzleiter vor Ort können diese Informationen dabei behilflich sein, einzuschätzen, welche Ressourcen bei einer spezifischen Lage notwendig sind, um jeden Brand von bekannter oder vermuteter Größe bekämpfen zu können.

IX.43 Bevor 1990 meine eigene Studie [4] veröffentlicht wurde, stammte die meistverwendete Studie aus den USA [33] (obwohl es außerdem auch mehrere Laborstudien in kleinerem Maßstab gab, die untersuchten, welche theoretische Durchflussmenge nötig ist, um kleinere Brände innerhalb von Räumen zu bekämpfen). In meiner Studie, der 100 größere Brände in London von 1989 bis 1990 zu Grunde lagen, kam ich zu dem Schluss, dass eine Durchflussmenge empfehlenswert ist, die im Vergleich mit den in den USA verwendeten viel niedriger war. Dieser Gegensatz löste eine Diskussion aus, die zu weiteren Forschungen führte. Diese weiteren Forschungen fanden 1994 - 97 statt, als die Feuerwehr London, unterstützt von der Universität Lund, Schweden, eine Studie erstellte, die sich über 307 Brände erstreckte. Diese Studie fand schließlich 1998 mit dem SARDQVIST-Bericht [34] ihren Abschluss. Die Durchflüsse, die laut dieser Studie von den Londoner Feuerwehrleuten verwendet wurden, waren merklich höher als die, die ich 1990 errechnet hatte. Wie kam es dazu? Hatte ich meine Rechnungen zu niedrig angesetzt oder übertrieb der Bericht „Lund 7003“?

IX.44 Es steht außer Frage, dass die geschätzten Strahlrohrdurchflüsse, die von der Feuerwehr London angegeben wurden und auf denen SARDQVIST seine Berechnungen gründete, für die Durchflüsse, die tatsächlich an der Einsatzstelle erreicht wurden, nicht repräsentativ sind. Tatsächlich haben meine Berechnungen ergeben, dass diese theoretischen und unrealistischen Strahlrohrdurchflüsse, die zu der Empfehlung im Lund 7003-Bericht führten, 40 % zu hoch angesetzt sind. Als Feuerwehrmann, der in einem Teil des Zeitraumes, in dem diese Studie verfasst wurde, aktiven Einsatzdienst in London geleistet hat, ist es mir möglich, zu bestätigen, dass die Durchflüsse, die zu dieser Zeit in den SRDB-Vorschriften festgelegt waren, aufgrund mehrerer Faktoren selten bis niemals an der Einsatzstelle erreicht wurden. Zu diesen Faktoren zählen u.a. die Abgabeleistung der Hydranten, Reibungsverluste und die Rückstoßkräfte an den Strahlrohren. In den o.g. Vorschriften werden die Größe der Strahlrohre/Schläuche sowie die Rückstoßkräfte gar nicht erwähnt, obwohl dies alles Faktoren sind, die direkte Auswirkungen darauf haben, welche Durchflussmenge bei einer Angriffsleitung im Innern eines Gebäudes praktikabel und effektiv ist.

IX.45 So würde beispielsweise jeder Versuch, eine Schlauchleitung mit einem Durchfluss von 870 l/min zu betreiben, Rückstoßkräfte am Strahlrohr hervorrufen, die vom Angriffstrupp im Innern des Gebäudes nicht sicher gehandhabt werden könnten. Darüber hinaus ist es unrealistisch, anzunehmen, dass fast immer 5 bar Druck am Strahlrohr anstehen, da es sich bewährt hat und bei den Feuerwehren im Vereinigten Königreich üblich ist, die Angriffsleitungen mit einem Pumpenausgangsdruck von 4-5 bar zu betreiben. Aufgrund meiner praktischen Erfahrungen aus dieser Zeit vermute ich, dass folgende Durchflüsse bei Angriffsleitungen im Innern eines Gebäudes bei weitem realistischer sind, als die von den theoretischen SRDB-Vorschriften genannten, die auch im Lund-Bericht verwendet wurden: 200 l/min bei einem Strahlrohr mit 12,5 mm [Mundstück-]Durchmesser, 450 l/min bei einem Strahlrohr mit 20 mm [Mundstück-]Durchmesser und 700 l/min bei einem Strahlrohr mit 25 mm [Mundstück-]Durchmesser. Bei Großeinsätzen fielen die Durchflüsse manchmal auch unter diese Schätzwerte, da das Hydrantennetz mehr oder weniger zusammenbrach.

IX.46 1994 wurde von BARNETT in Neuseeland eine weitere Studie veröffentlicht [35]. Diese stellte wissenschaftliche Daten zur Verfügung, die aus vielen empirischen Versuchen gewonnen worden waren. Diese Daten stellten 1997 die Grundlage für den **MacBar Fire Design Code** dar. Diese Studie wiederum liefert einen Durchfluss-Graphen, der dem meiner früheren Studie sehr ähnlich ist. Interessanterweise ist auch dieser Graph dort, wo die Lund-Studie 40 % zu hoch greift, den Ergebnissen von GRIMWOOD und BARNETT sehr ähnlich.



Grafik IX.1: Durchflussrate in Abhängigkeit von der brennenden Fläche

IX.46 Wenn man meine ursprünglichen Berechnungen in eine Flächenformel umwandelt, die, um mit Lund 7003 vergleichbar zu sein, auf einem Durchschnittswert beruht, ergibt sich als minimale (und realistische) Durchflussmenge an der Einsatzstelle (ausgehend von brennenden Büroräumen mit einer Deckenhöhe von **2,50 m**) folgende Formel: **$A \times 2 = I/\text{min}$** , wobei A die Fläche in m² ist. Wenn **Nutzungsseinerheiten mit einem hohen Gefahrenpotential** betroffen sind, scheinen meine Berechnungen von 1990, umgewandelt in eine Flächenformel (**$A \times 4 = I/\text{min}$**), nicht mehr so abwegig niedrig zu sein, vor allem, wenn bis zu 100 m² Fläche vom Brand betroffen sind. Interessanterweise weisen die Studien von BARNETT (1994) und GRIMWOOD (1990) einen Durchfluss auf, der sich direkt proportional zur brennenden Fläche verhält, und nicht etwa ungefähr proportional zur Quadratwurzel der Fläche des Brandes ist, wie SARDQVIST 1998 annahm.

X. Taktische Ventilation

X.1 Paul GRIMWOOD führte 1989 den Begriff „Taktische Ventilation“ ein:

Taktische Ventilation: Ventilationsmaßnahmen, die von Feuerwehrmännern vor Ort durchgeführt werden; wird dazu genutzt, die Kontrolle über die Bedingungen im Innern eines brennenden Gebäudes zu erlangen und zum Vorteil der dort tätigen Feuerwehrleute einzusetzen. Derartige Tätigkeiten können Versuche beinhalten, Rauch sowie überhitzte und brennende Gase vom Innern des Gebäudes unter Verwendung natürlicher oder künstlicher Mittel abzuführen bzw. deren Ausbreitung zu lenken. Rauch und Gase werden durch horizontale und vertikale Öffnungen im Gebäude abgeführt, die entweder schon vorhanden sind oder erst geschaffen werden müssen. Diese Tätigkeiten können auch beinhalten, das Gebäude „abzuschotten“, um so den Zustrom von Frischluft zu reduzieren. Diese Taktik wird von den schwedischen Feuerwehren „Anti-Ventilation“ genannt. Es ist überaus wichtig, dass Feuerwehrleute immer daran denken, dass die gefährlichste Öffnung, die sie an einem Gebäude schaffen können, der Zugangspunkt zum Gebäude ist.

X.2 Es wird sehr kontrovers diskutiert, ob das „Öffnen“ oder das „Abschotten“ eines vom Brand betroffenen Gebäudes das Mittel der Wahl ist, um einen taktischen Vorteil bei der Brandbekämpfung zu erlangen. Die nordamerikanische Philosophie hat gezeigt, welche Vorteile daraus entstehen, durch vertikale und horizontale Entlüftungsöffnungen überhitzte und gefährliche Gase aus einem Gebäude abzuführen und den Grad der Verrauchung zu senken. Sie hat uns außerdem gezeigt, wie Verbrennungsprodukte durch

den Einsatz von Überdrucklüftern von den vorgehenden Trupps ferngehalten und aus dem Gebäude entfernt werden können. Im Gegensatz dazu besagt die europäische Philosophie, dass es in gewissen Situationen vorteilhafter sein kann, keine Öffnungen am Gebäude zu schaffen. Auf dem Feuerwehrmann liegt eine größere Verantwortung, da er die Bedingungen im Gebäude mittels Anti-Ventilation kontrollieren muss. Das bedeutet jedoch nicht, dass z.B. die Feuerwehrleute im Vereinigten Königreich nicht wissen, wie man Ventilationseinsätze von außen im Rahmen einer Gesamtstrategie zur Brandbekämpfung einsetzt. Um zu erkennen, dass diese Taktik gelegentlich angewendet wird (wenn auch nur in den späteren Phasen der Brandbekämpfung) muss man nur betrachten, welche langwierigen Anstrengungen beim Lagerhaus-Brand in der Tooley-Street 1971 von der Feuerwehr London unternommen wurden, um das Gebäude zu belüften. Diese Anstrengungen waren notwendig, da keine natürlichen Belüftungsöffnungen vorhanden waren.

X.3 Die größten Erfolge bei der Anwendung dieser Technik können Einheiten erreichen, die darin ausgebildet sind, veränderte Gegebenheiten und Situationen zu erkennen. Denn von diesen Veränderungen hängt es ab, welche der o.g. Möglichkeiten in einer spezifischen Situation die erfolgsversprechende ist. Zurzeit ist es wohl so, dass Taktische Ventilation in den USA zu häufig und in Europa zu selten eingesetzt wird. Es muss eine Strategie zur Brandbekämpfung entwickelt werden, die vertiefte Kenntnisse im Verständnis des Brandverhaltens von Zimmer- und Gebäudebränden und der Dynamik der Brandausbreitung unter verschiedenen Belüftungsparametern voraussetzt. In Europa und dem Vereinigten Königreich muss der Taktischen Ventilation vor allem dort verstärkt Beachtung geschenkt werden, wo die breitere Akzeptanz der Ventilation auch schon im Anfangsstadium der Brandbekämpfung bisher an folgenden Defiziten gescheitert ist: mangelnde Ausbildung, keine Ausstattung der Feuerwehrleute mit zusätzlichen Brechwerkzeugen, sowie fortschreitender Abbau von Personal und Hubrettungsfahrzeugen, vor allem in den Innenstädten großer Städte. Zwar hat sich die ÜDB im Vereinigten Königreich zu einer anerkannten Maßnahme entwickelt; sie wurde jedoch eingeführt, bevor es irgendeine Art von Ausbildung gab, die sich mit der Dynamik von Gebäudebränden und grundlegenden Ventilationstätigkeiten befasste. Daraus folgt, dass auch die Auswirkungen, Vorteile und sowie Nachteile der Schaffung neuer bzw. der Verwendung vorhandener Öffnungen an einem Gebäude zum Abführen von Verbrennungsprodukten und heißen Gasen den Feuerwehrmännern bewusst sein müssen.

Natürliche Ventilation

X.4 Die Entscheidung, an einem vom Brand betroffenen Gebäude Öffnungen zu schaffen, um einen taktischen Vorteil zu erlangen, sollte wohl überlegt sein, da das Ergebnis irreversibel sein kann. Unter gewissen Umständen können sich derartige Maßnahmen als äußerst effektiv erweisen, wohingegen die gleichen Maßnahmen bei anderen Einsätzen verheerende Folgen haben können. In einigen Situationen werden die Öffnungen es ermöglichen, Verbrennungsprodukte abzuführen, wohingegen unter anderen Umständen gefährliche Luftströmungen in Richtung des Brandes entstehen können. Oftmals ist die Öffnung mit den größten Auswirkungen (und damit die gefährlichste Öffnung), die ein Feuerwehrmann schaffen kann, die **Zugangsöffnung ins Gebäude**. Diese Öffnung wird oft als Notwendigkeit betrachtet und nicht im Ventilationsplan berücksichtigt. Der Luftstrom, der durch diese Öffnung entsteht, kann jedoch die Intensität des Brandes erhöhen und im Extremfall dazu führen, dass der Brand soweit eskaliert, dass er nicht mehr mit den Kapazitäten der Erstangriffsleitungen bekämpft werden kann.

X.5 Taktisch sinnvoll platzierte Öffnungen, durch die Verbrennungsprodukte abgeführt werden, können dazu beitragen, den Grad der Verrauchung sowie die Raumtemperaturen zu senken, Flashover und Backdraft zu verhindern und im Allgemeinen die Arbeit der Feuerwehrleute zu erleichtern. Es ist jedoch auch möglich, dass derartige Öffnungen unerwünschte und gegensätzliche Auswirkungen haben. So kann z.B. die Temperatur ansteigen, was zu einer Eskalation der Brandausbreitungen und zu Flashover, Backdraft sowie Brandgasexplosionen führen kann.

X.6 Eine schwedische Studie empfiehlt, dass Führungskräfte eine klare Vorstellung davon haben sollten, wie sich ein Druckaufbau in einem brennenden Gebäude entwickelt und wie sich Brandgase durch verschiedene Arten von Öffnungen in verschiedenen Situationen ausbreiten. Die Ursachen eines solchen Druckaufbaus können in mehrere Kategorien eingeteilt werden:

- die Ausdehnung der Gase aufgrund der Wärme ist nicht möglich (Wände!)
- der Auftrieb der heißen Brandgase
- der normale Temperaturunterschied der Luft innerhalb und außerhalb eines Gebäudes
- Wind
- künstliche Ventilation

Es ist wichtig, dass die o.g. Öffnungen auch zu Einlassöffnungen (für Luft) werden können, wenn sich der Innendruck im Gebäude dem Außendruck angleicht. Wenn schließlich Rauch und Brandgase aus dem belüfteten Bereich abziehen, strömt von außen Luft nach und vermischt sich mit den verbliebenen Gasen und kann so zu einer nochmaligen Intensivierung des Brandes führen. Es ist möglich, dass zu diesem Zeitpunkt eine Art von Flashover oder Backdraft auftritt.

X.7 Ein ausgezeichnete Bericht von Richard CHITTY [12] stellt dar, wie ein Flashover durch verstärkte Ventilation des Raumes hervorgerufen werden kann. Zwar nimmt mit verstärkter Ventilation anfangs auch der Wärmeverlust zu, weil durch die Konvektion verstärkt Hitze durch die Öffnungen abgegeben wird. Ab einem gewissen Punkt kann verstärkte Ventilation jedoch dazu führen, dass mehr Hitze in den Raum abgegeben wird, als nach außen abgeführt werden kann. Diese „thermische Instabilität“ kann dann zu Flashover führen.

X.8 Es gibt Gebäude, die so gebaut sind, dass sie sozusagen „zwei Erdgeschosse“ besitzen, d.h. das Bodenniveau ist z.B. an der Vorderseite höher gelegen als an der Rückseite eines Gebäudes. Dadurch kommt es dazu, dass man an der Vorderseite meint, das Erdgeschoss zu betreten, von der Rückseite aus betrachtet befindet man sich jedoch schon im 1.OG. Bei derartigen Gebäuden wurde beobachtet, dass Ventilation verheerende Auswirkungen haben kann. Wenn nach der Schaffung von Zugangöffnungen am Erdgeschoss (Vorderseite) am rückwärtigen „Erdgeschoss“ ebenfalls Zugangs- oder Belüftungsöffnungen geschaffen wurden, trat oft schnelle Brandausbreitung auf. Diese SB ereignet sich üblicherweise dann, wenn sich Feuerwehrleute im Gebäude befinden; das macht diese Art der SB so gefährlich.

X.9 Es ist immer unbedingt notwendig, die Windrichtung und die möglichen Auswirkungen des Windes auf die Brandausbreitung in die Überlegungen mit einzubeziehen. Dies ist besonders dann wichtig, wenn der Wind in die Zugangsöffnung hinein weht – dies kann für die im Innenangriff vorgehenden Trupps nützlich oder gefährlich sein. Eine Situation, die zu unvorteilhaften Bedingungen führt, kann auch dann entstehen, wenn Ventilationsöffnungen an einem Raum geschaffen werden, der an den Brandraum

angrenzt. Wenn die Luftströmung dann durch den Brandraum selbst verläuft, können sich die Bedingungen verbessern. Wenn der natürliche Luftstrom jedoch durch den angrenzenden Raum führt, kann es in beiden Räumen sogar zu einem **Anstieg** der Temperatur und des Grades der Verrauchung kommen.

Überdruckbelüftung

X.10 Als Maßnahme nach der erfolgreichen Bekämpfung eines Brandes hat sich die Überdruckbelüftung (ÜDB) – von gut ausgebildeten und erfahrenen Feuerwehrangehörigen durchgeführt – im Allgemeinen als sicher und effektiv darin erwiesen, Rauch und gefährliche Gase aus dem Brandraum und dem gesamten Gebäude zu entfernen. Dadurch wird es den Feuerwehrleuten ermöglicht, die Aufräumarbeiten schnell und problemlos zu beenden. Es hat sich gezeigt, dass die ÜDB darüber hinaus bessere Arbeitsbedingungen für die Feuerwehrleute schafft, die Sichtverhältnisse verbessert, Rauch und gefährliche Gase schnell und effektiv entfernt und die Temperatur im Gebäude senkt, wenn sie dazu verwendet wird, ein Gebäude/einen Raum schon während der eigentlichen Angriffsphase zwangszubelüften. Ein solcher Einsatz der ÜDB setzt jedoch einen höheren Ausbildungsstand und ein umfassendes Verständnis von Brandausbreitung, Luftdynamik und Brandgastransport innerhalb eines Gebäudes voraus.

X.11 **Bevor man ÜDB** im Angriffstadium eines Brandes **einsetzt**, ist es **unumgänglich zu wissen, wo sich der Brandherd befindet**, bis **zu welchem Stadium** sich der Brand bereits entwickelt hat und ob der Brand **unzureichend belüftet** ist. Falls der Brand unter Sauerstoffmangel leidet oder falls irgendwelche Warnzeichen für Backdraft vorliegen, sollte ÜDB nicht eingesetzt werden, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich noch Personen im Gebäude befinden. Es ist bekannt, dass die Zugabe von Luft in einen unzureichend belüfteten Raum einen Backdraft, eine Rauchexplosion oder sogar eine Verpuffung auslösen kann. Wenn der Brand einen Zuluft-kontrollierten Zustand erreicht hat und die Verbrennungsreaktion im Gleichgewicht ist, kann es sicher sein, ÜDB einzusetzen. Dennoch sollten sich die Feuerwehrleute bewusst sein, dass die von den Lüftern erzeugten Luftströme eventuell immer noch ein Ansammeln gefährlicher Gase und Verbrennungsprodukte innerhalb des Raumes verursachen können. Dies kann geschehen, wenn das Zusammenspiel von überhitzten Wand- und Deckenverkleidungen und heißen Aschepartikeln/Glutnestern einerseits sowie dem verstärkten Zustrom von Luft andererseits eine gefährliche Umgebung schafft.

X.12 Darüber hinaus sollten die Feuerwehrleute wissen, dass die Luftdynamik in Treppenhäusern und Korridoren eventuell einen Unterdruck schaffen kann, der Flammen, Rauch und Gase in diese Gebäudeteile „ziehen“ kann. Die Möglichkeit, dass sich der Brand in andere Gebäudeabschnitte ausbreitet, wenn Gebäudeteile (Wände, Decken etc.) vom Brand durchbrochen wurden, sollte immer in Betracht gezogen werden. ÜDB in Verbindung mit dem Einsatz von WBKs sollte verwendet werden, um derartige Brandausbreitung in Treppenhäusern, Schächten und Dachböden zu überwachen. Die richtige Platzierung von Rauchabzugsöffnungen geeigneter Größe hat großen Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg jedes ÜDB - Einsatzes.

Isolierung/Eingrenzung des Brandes (Anti-Ventilation)

X.13 Das Konzept der „Anti-Ventilation“ steht nicht im Gegensatz zu dem Konzept, Öffnungen an Gebäuden zu schaffen, um Rauch, Gase und Wärme zu entfernen, sondern stellt vielmehr eine ergänzende Maßnahme dar, um mit gewissen Situationen umgehen zu können. Manchmal ist es sicherer, die Kontrolle über die bestehenden Schwerkraftströmungen und Luftströmungen in einem vom Brand betroffenen Gebäude zu erlangen, um taktische Vorteile zu erreichen. Durch das „Öffnen“ eines Gebäudes geht ein Teil der Kontrolle über die Luftströmungen verloren und es kann dazu kommen, dass Wärme, Flammen und Gase weiter transportiert werden und die Gase im Extremfall durchzündend, wenn sie mit Luft vermischt werden. Das hört sich zwar einfach und grundlegend an; aber wie viele Ereignisse Schneller Brandausbreitung waren eine direkte Folge unkontrollierter Schwerkraft- und Luftströmungen? Und wie viele Feuerwehrleute sind bei solchen Ereignissen umgekommen? Sie kennen sicherlich derartige Situationen: ein Gebäude im Vollbrand, mehrere Zugangsöffnungen werden geschaffen, um durch sie Schlauchleitungen vorzunehmen. Ich fordere Sie dazu auf, jede einzelne dieser Situationen zu analysieren und zu überlegen, ob ein „Mehr“ an Kontrolle über die einströmende Luft nicht vielleicht die Entwicklung des Brandes verlangsamt und einen sichereren und einfacheren Vormarsch der Angriffstrupps ermöglicht hätte.

X.14 Eine größere Kontrolle über die Luftströmungen und somit über die Brandausbreitung kann ganz einfach durch das Schließen einer Tür erreicht werden, da so den Flammen der lebensnotwendige Sauerstoff genommen wird. Unter gewissen Umständen kann es für die Feuerwehrleute sicherer und effektiver sein, ein Gebäude „abzuschotten“. Derartige Umstände sind z.B. ein offensichtlich vorhandenes Potential für einen Backdraft, signalisiert durch dichten, schwarzen „rollenden“ Rauch, der aus dem oberen Bereich der Zugangsöffnung (Tür) quillt; hier kann das Schließen der Tür bereits ausreichen, um einen Backdraft oder jede andere Form der SB zu verhindern. Zu diesem Zeitpunkt werden alle weiteren Maßnahmen von den vorliegenden Umständen bestimmt, so z.B. wo der Brandherd liegt, wie groß das Gebäude/der Raum ist etc. Bevor in einer solchen Situation der Brandraum betreten wird, können z.B. der indirekte Einsatz von Wassernebel oder das Schaffen von Öffnungen anderswo am Gebäude nützlich sein, um die Bedingungen soweit zu verbessern, dass ein Betreten mehr oder weniger gefahrlos möglich ist.

Ventilation in der Praxis

X.15 Beim Brand in der Cherry Road in Washington D.C. im Jahr 1999 ereignete sich eine sehr heftige Form der SB, die durch einen Ventilationseinsatz ausgelöst wurde. Dabei verloren zwei Feuerwehrleute ihr Leben und ein dritter zog sich schwere Verbrennungen zu. Die thermischen Bedingungen, die bei diesem Brand auftraten, wurden vom NIST in wissenschaftlichen Simulationen reproduziert. Der taktische Ventilationseinsatz, der von der Feuerwehr durchgeführt wurde, scheint eine Strömung von **Hochgeschwindigkeitsgasen** in den ersten Stock **ausgelöst zu haben**, indem sich die o.g. Feuerwehrleute aufhielten und nach vermissten Personen suchten. Ausführliche Berichte dieser Simulationen sind unter <http://fire.nist.gov/> zu finden.

X.16 In „Flashover & Strahlrohrtechniken“ schrieb Paul GRIMWOOD 1999 folgendes:

X.17 „Das Getöse des Feuers war etwas beunruhigend, als wir auf allen vieren in den Raum krochen. Der dichte Rauch sammelte sich unter der Decke, die Rauchschiicht reichte bis ungefähr 1,5 m über den Boden und ich fühlte die Hitze, die von der Rauchschiicht abgestrahlt wurde, deutlich durch meine Schutzkleidung hindurch. Ich schaute direkt über mich in den dunklen Rauch und bemerkte einige gelbe Flammzungen, die sich vom eigentlichen Feuer, das in der gegenüberliegenden Ecke des Zimmers loderte, lösten und die Decke entlang liefen. Wir waren etwa 1,5 m weit in den Raum vorgedrungen, als ich das Strahlrohr der Hochdruck-Schnellangriffsleitung nahm und sehr kurze Wassernebel-Impulse in die Rauchschiicht über unseren Köpfen abgab. Es kamen keine Wassertröpfchen wieder zurück und eine Reihe von „knallenden“ Geräuschen ließ vermuten, dass der Wassernebel in den überhitzten Gasschiichten seine Arbeit tat. Die Flammzungen 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.“

X.18 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 1 m vom Boden entfernt. Ich konnte spüren, dass der Zeitpunkt für einen Flashover schnell näher kam und ich griff 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. 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 Rauchschiicht, 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 Flammzungen unter der Decke in Richtung des offenen Fensters bewegten, und damit **weg** von unserer Position.“

X.19 Dies ist ein typisches Beispiel dafür, wie Anti-Ventilation (Eingrenzung des Brandes) genutzt werden kann, um die Entwicklung des Brandes zu verlangsamen. Gleichzeitig werden durch einen gut koordinierten und präzise angewendeten Ventilationseinsatz die Flammen von den Feuerwehrleuten weg bewegt. Flammen breiten sich immer in die Richtung aus, aus der Luft in den Raum gelangt. Wenn die Luft nun hinter den Feuerwehrleuten (am Zugangspunkt) vorhanden ist, bewegen sich die Flammen direkt auf die Feuerwehrmänner zu!

X.20 Ein Umstand bleibt jedoch bei allen Bedingungen kritisch: ein taktischer Vorteil kann durch Ventilation nur dann erreicht werden, wenn sichergestellt wird, dass der gesamte Ventilationseinsatz diszipliniert abläuft, mit großer Präzision durchgeführt und zwischen den Kräften innerhalb und außerhalb des Gebäudes sorgfältig abgestimmt wird. Der Schlüssel für das alles ist Kommunikation!

XI. GLOSSAR

Backdraft (Backdraught): die heute genaueste Definition ist vermutlich folgende: die explosive oder sehr schnelle Verbrennung erhitzter Gase (unverbrannter Pyrolyseprodukte), die auftritt, wenn Sauerstoff in einen Raum oder ein Gebäude gelangt, in dem während einem Brand ein Sauerstoffmangel herrschte.

Es gibt jedoch eine ganze Bandbreite weiterer Bedingungen, die unter dieser Definition zusammengefasst werden (z.B. „Rauchexplosion“). Für diese Phänomene ist jedoch nicht unbedingt die Zugabe von Sauerstoff erforderlich.

Blaue Flammen: der Begriff wurde von Grimwood [4] eingeführt; Warnsignal, das vor einem Backdraft auftritt.

Brandphasen: Man kann einen Brand durch eine Kombination von drei Phasen beschreiben, die jeweils durch den Verlauf der Wärmefreisetzungsrates des Brandes definiert werden. Folgende Phasen gibt es: **Ausbreitungsphase**, **stabile Phase** und **abklingende Phase**.

Das frühe Stadium eines Brandes, in dem brennbarer Stoff und Sauerstoff praktisch unbegrenzt zur Verfügung stehen, heißt **Ausbreitungsphase**. Diese Phase wird durch einen exponentiellen Anstieg der Wärmefreisetzungsrates charakterisiert.

Das mittlere Stadium eines Brandes ist die **stabile Phase**. Diese Phase wird durch eine Wärmefreisetzungsrates gekennzeichnet, die relativ unverändert bleibt. Zum Übergang von der Ausbreitungsphase zur stabilen Phase kommt es, wenn die Versorgung des Brandes mit brennbarem Stoff oder Sauerstoff nicht mehr uneingeschränkt möglich ist.

Das letzte Stadium eines Brandes ist die **abklingende Phase**. Sie ist durch eine kontinuierliche Verlangsamung der Wärmefreisetzungsrates charakterisiert, die schlussendlich das Verlöschen des Brandes zur Folge hat.

Brennstoff-kontrollierter Brand: Brand, bei dem mehr Sauerstoff zur Verfügung steht, als für die vollständige Verbrennung des brennbaren Stoffes und der entstandenen Pyrolyseprodukte notwendig ist; folglich ist die Größe des Brandes nur von der Menge des brennbaren Stoffes abhängig.

Diffusionsflamme: die meisten Flammen eines Feuers sind Diffusionsflammen. Das grundlegende Charakteristikum einer Diffusionsflamme ist, dass der brennbare Stoff und das Oxidationsmittel (Luft) ursprünglich getrennt sind; die Verbrennung tritt dort auf, wo die beiden Gase vermischt werden.

durch bewegte Brandgase verursachte Explosion: Floyd NELSON (USA) führte eine Definition für ein Ereignis ein, dass er als eine „durch bewegte Brandgase verursachte Explosion“ bezeichnet. Dieser Begriff bezeichnet die Entzündung von Brandgasblasen, welche durch ein Zimmer/Gebäude transportiert werden. Dieses Ereignis unterscheidet sich von Backdraft, da bei einem Backdraft Frischluft (Sauerstoff) die treibende Kraft ist, bei einer durch bewegte Brandgase verursachten Explosion hingegen sind die Gase selbst diese trei-

bende Kraft, da sie sich auf eine Frischluftquelle zu bewegen. Dies kann auf viele verschiedene Arten innerhalb eines brennenden Gebäudes geschehen; z.B. wenn durch den Einsturz einer Decke Brandgase dort, wo die Decke herunterfällt, aus dem Gebäude herausgedrückt werden. Durch die Vermischung mit Luft können diese Gase soweit aufbereitet werden, dass sie in den Zündbereich gelangen und sich mit unterschiedlicher Heftigkeit explosiv entzünden.

Entzündlichkeit von Brandgasen: Brandgase können sowohl in diffundiertem als auch in vorgemischtem Zustand verbrennen. Der bei einem Brand entstehende Rauch ist brennbar. Die Schwebstoffe im Rauch sind Produkte einer unvollständigen Verbrennung und können eine zündfähige Atmosphäre schaffen. Wenn diese entzündet wird, kann es zu einer Explosion kommen.

Explosionsbereich: im Allgemeinen bei Dämpfen und Gasen vorhanden. Definiert als der Konzentrationsbereich, in dem ein entzündlicher Stoff bei Vorhandensein einer Zündquelle (z.B. Zündfunke oder offene Flamme) eine Explosion oder eine Verbrennung hervorrufen kann. Die Konzentration wird im Allgemeinen in Vol-% angegeben.

Über der **oberen Explosionsgrenze (OEG)** ist das Stoff-/Luftgemisch zu fett (Mangel an Sauerstoff), um zu brennen.

Unter der **unteren Explosionsgrenze (UEG)** fehlt dem Stoff-/Luftgemisch ausreichend brennbarer Stoff, um zu brennen; man sagt, dass Gemisch ist zu „mager“.

Flashover: ein allgemeiner Begriff, für den es verschiedene wissenschaftliche Definitionen gibt. Dieser Begriff wird im Allgemeinen von Feuerwehrleuten benutzt, um verschiedene Formen der Schnellen Brandausbreitung zu bezeichnen. In der Wissenschaft gibt es keinen Konsens über die genaue Bedeutung des Begriffs. Der Urheber des Begriffs (P.H. THOMAS) hat eingestanden, dass der Begriff unpräzise ist und in verschiedenen Zusammenhängen Verschiedenes bezeichnen kann.

Geisterflammen: Flammen, die nicht vom eigentlichen Brandherd ausgehen. Sie bewegen sich um einen bestimmten Bereich im Brandrauch herum und brennen dort, wo das Gemisch aus brennbarem Stoff und Sauerstoff für eine Verbrennung günstig ist. Ein solches Ereignis bei einem unzureichend belüfteten Brand ist ein relativ sicheres Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft. Auch „tänzelnde Flammen“ genannt.

heiße Schichten-Trennfläche: oft Nulldruckebene genannt; man nimmt an, dass die heiße, verrauchte Schicht, die sich unter der Decke bildet, und die kühlere, untere Schicht, die mit der Zeit kleiner wird, da sich die heiße Schicht absenkt, an einer klar bestimmbar horizontalen Trennfläche aufeinander treffen. Natürlich ist dies eine Vereinfachung, da die Turbulenzen in einem brennenden Raum die Bildung einer solchen Trennfläche stören würden. Auch starke Belüftungsluftströme können diese klare Trennfläche zerstören. Es ist jedoch tatsächlich eine Veränderung der Bedingungen von der oberen zur unteren Fläche hin in vielen Realbrandversuchen festgestellt worden. Die Ebene der heißen Schichten-Trennfläche und die Nulldruckebene sind nicht identisch. Die Trennfläche ist die vertikale Schichtung innerhalb des Raumes ausgehend von der Belüftungsöffnung, wo die Aufteilung in heiße und kühle Schicht ihren Ausgang hat. Die Nullebene (oder -punkt) ist der Ort *an der Belüftungsöffnung*, an dem der Druckunterschied gleich Null ist.

Hochgeschwindigkeitsgase: Wo die Entzündung und Bewegung überhitzter Brandgase durch enge Öffnungen, Korridore etc. beschleunigt oder abgelenkt wird, kann dieser Effekt dramatische Ausmaße annehmen.

Die Heftigkeit der Verbrennung verursacht ungewöhnliche Brandspuren, die den Anschein erwecken, dass ein Brandbeschleuniger verwendet worden wäre, um die Intensität des Brandes zu erhöhen. Wenn Hochgeschwindigkeitsgase nach außen gelangen, ohne abgelenkt worden zu sein, besitzen sie eine solche Energie, dass sie die gesamte Breite einer Straße überqueren können. So erzeugen sie eine Art Flammenwerfereffekt aus einem Fenster oder einer Tür heraus.

kurzzeitige Ereignisse: kurze, möglicherweise heftige Energiefreisetzungen durch den Brand, die NICHT anhaltend sind; sie werden ausgelöst durch:

1. Zugabe von brennbarem Stoff
2. Zugabe von Luft/Sauerstoff (Backdraft)
3. Zugabe von Wärme (Rauchexplosion)

Overhead: bezeichnet die unter der Zimmerdecke angesammelten überhitzten oder brennenden Gase bzw. den dort befindlichen Rauch.

Pyrolyse: Die chemische Aufspaltung von Feststoffen aufgrund von Wärme, z.B. durch die von einem Brand ausgehende Strahlungswärme. Durch diesen Vorgang geht der brennbare Stoff aus und wird dadurch leichter entzündlich. Außerdem wird der Brandraum dadurch mit entzündlichen Reaktionsprodukten gefüllt. Durch die chemische Zersetzung natürlicher (z.B. Holz) oder künstlicher Polymere entsteht eine toxische Atmosphäre, in der mehrere giftige Stoffe enthalten sind.

Rauchexplosion: Die Entzündung einer Blase aus vorgemischten Brandgasen und Sauerstoff bei Vorhandensein einer Zündquelle. Dazu kann es kommen, wenn z.B. durch Konvektion ein heißer Aschepartikel oder ein Funke in einen Bereich gelangt (eventuell in Deckennähe), in dem vorgemischte Gase vorliegen. Darüber hinaus kann auch das Aufdecken einer Zündquelle in einem Bereich, in dem vorgemischte Gase vorhanden sind, zu einer Rauchexplosion führen.

Rollover: Die Ausbreitung von Flammen, die sich vom eigentlichen Brandherd gelöst haben und sich in Deckenhöhe vor dem Brandherd befinden, deutet auf einen „Rollover“ hin. Warnsignal dafür, dass sich der Zimmerbrand sehr schnell einem Flashover annähert.

Schnelle Brandausbreitung: eine Definition der NFPA für alle Arten einer schnellen Ausbreitung eines Brandes, die durch die o.g. Phänomene wie Flashover, Backdraft und deren Unterarten zustande kommt und mit diesen in enger Beziehung steht.

Schwerkraftströmung: eine einander entgegengesetzte Bewegung zweier Flüssigkeiten/Gase, die durch einen Dichteunterschied verursacht wird (von John TAYLOR auch Luftströmung genannt).

Bei der Brandbekämpfung bezeichnet dieser Begriff im Grunde einerseits ein Gebiet, in dem Unterdruck herrscht, weshalb dort Luft in ein Gebäude/einen Raum hinein gelangt, und andererseits ein Gebiet, in dem Überdruck herrscht, weshalb dort Rauch, Flammen, und heiße Gase austreten.

Selbstentzündungstemperatur: niedrigste Temperatur, bei der sich Feststoffe oder Dämpfe einer Flüssigkeit ohne eine Zündquelle selbst entzünden.

Stöchiometrisch: Hinsichtlich des Zündbereichs von Gas-/Luftgemischen ist ein stöchiometrisches Gemisch ein Gemisch, in dem ein ideales Mischungsverhältnis vorliegt, weshalb es zu einer vollständigen Verbrennung kommt.

Das bedeutet, dass für jedes Molekül des brennbaren Stoffs ausreichend Sauerstoffmoleküle vorhanden sind, damit es zu einer vollständigen chemischen Reaktion kommen kann. Somit entstehen als Verbrennungsprodukte idealerweise nur Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Stufenereignisse: Die Wärmefreisetzungsrate wird entweder durch die Versorgung mit brennbarem Stoff oder durch die Versorgung mit Sauerstoff kontrolliert. Daher sind grundsätzlich die vier folgenden Übergänge (Stufen) möglich:

1. von Brennstoff-kontrolliert zu kontrolliert durch neuen brennbaren Stoff
2. von Brennstoff-kontrolliert zu Zuluft-kontrolliert
3. von Zuluft-kontrolliert zu kontrolliert durch neue Luftversorgung
4. von Zuluft-kontrolliert zu Brennstoff-kontrolliert

Der neu entstandene (veränderte) Brand bleibt in diesen Fällen immer ANHALTEND. Flaschover ist üblicherweise zur 2. Stufe zu zählen, obwohl er auch manchmal durch verstärkte Ventilation entstehen kann (3. Stufe).

tänzelnde Flammen: siehe Geisterflammen

Taktische Brandbekämpfung: Paul GRIMWOOD führte 1989 das Konzept der Taktischen Brandbekämpfung ein. Dabei legte er verstärkt Wert auf die Kombination verschiedener taktischer Optionen an der Einsatzstelle. Zu diesen Optionen zählen u.a.: offensive 3D-Wassernebelanwendung, Verwendung von Vollstrahl (im direkten Angriff), indirekter Angriff, Taktische Ventilation einschließlich „Öffnen“, „Abschotten“ und ÜDB. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in einer sorgfältigen Risikoanalyse, dem Erkennen spezifischer Bedingungen, regelmäßiger Anwendung und AUSBILDUNG! Diese unterschiedlichen taktischen Optionen haben alle ihren Platz im Einsatz. Der erfahrene Feuerwehrmann erkennt bestimmte Bedingungen und setzt für eine bestimmte Situation die effektivste Option bzw. eine Kombination der verschiedenen Optionen ein. Dabei muss sichergestellt sein, dass die taktischen Optionen effektiv eingesetzt werden, keine gegensätzlichen Auswirkungen haben und die Sicherheit der beteiligten Personen nicht gefährden.

Taktische Ventilation: das Konzept wurde in den 1980ern von Paul Grimwood eingeführt und ist definiert als Ventilationsmaßnahmen, die von Feuerwehrmännern vor Ort durchgeführt werden; wird dazu genutzt, die Kontrolle über die Bedingungen im Innern eines brennenden Gebäudes zu erlangen und zum Vorteil der dort tätigen Feuerwehrleute einzusetzen. Derartige Tätigkeiten können Versuche beinhalten, Rauch sowie überhitzte und brennende Gase vom Innern des Gebäudes unter Verwendung natürlicher oder künstlicher Mittel abzuführen bzw. deren Ausbreitung zu lenken. Rauch und Gase werden durch horizontale und vertikale Öffnungen im Gebäude abgeführt, die entweder schon vorhanden sind oder erst geschaffen werden müssen. Diese Maßnahmen können auch beinhalten, das Gebäude „abzuschotten“, um so den Zustrom von Frischluft zu reduzieren. Diese Taktik wird von den schwedischen Feuerwehren „Anti-Ventilation“ genannt. Es ist überaus wichtig, dass Feuerwehrleute immer daran denken, dass die gefährlichste Öffnung, die sie an einem Gebäude schaffen können, der Zugangspunkt zum Gebäude ist.

thermisches Gleichgewicht: Inwiefern in einem geschlossenen Raum während einem Brand ein thermisches Gleichgewicht vorhanden ist, hängt neben anderen Faktoren vor allem davon ab, wie gut die Versorgung mit brennbarem Stoff und Sauerstoff ist. Der heiße Bereich über dem Brandherd verursacht eine Luftzirkulation, die dem Brand Frischluft zuführen soll. Wenn jedoch Wand- und Deckenverkleidungen überhitzt werden, verlangsamt sich diese Zirkulation, bis schließlich im gesamten Raum eine Art thermisches Gleichgewicht vorliegt und im gesamten Raum die Temperatur in der jeweiligen horizontalen Schicht einheitlich ist. Vertikal betrachtet steigt die Temperatur vom Boden zur Decke hin kontinuierlich an, wobei die höchsten Temperaturen am höchsten Punkt im Raum messbar sind.

unzureichend belüfteter Brand: im Gegensatz zum Zuluft-kontrollierten Brand findet beim unzureichend belüfteten Brand keine Verbrennung mit offener Flamme statt; es liegt vielmehr ein überfetter Zustand vor. Der Brand muss nicht vollständig entwickelt sein und kann nur als Schwelbrand in Erscheinung treten. Es können (müssen aber nicht) Warnsignale für einen bevorstehenden Backdraft vorhanden sein.

Verbrennungszustand: 1. Brennstoff-kontrolliert; 2. Zuluft-kontrolliert; 3. stöchiometrisch

vorgemischte Verbrennung: bei einer vorgemischten Verbrennung werden der gasförmige brennbare Stoff und das Oxidationsmittel (Luft) vor der Entzündung gründlich miteinander vermischt. Die Ausbreitung der Flamme im Gemisch ist eine Verpuffung (z.B. Rauchexplosion).

Wärmefreisetzungsrate: Die Energie, die von brennenden Materialien freigesetzt wird (Brandintensität); gemessen in kW oder MW/m².

Bei einem Zimmerbrand wird normalerweise eine minimale Wärmefreisetzungsrate benötigt, bevor ein Flashover auftreten kann. Die Wärmefreisetzungsrate kann erhöht werden durch: 1. eine vergrößerte Ventilationsöffnung; 2. größere Fläche des Raumes; 3. Zunahme des Wärmeübergangs innerhalb des Raumes (dies hängt von der thermischen Leitfähigkeit der Wände des Raumes ab).

Gewisse entzündliche Feststoffe wie z.B. Natrium, Kalium, Phosphor und Magnesium können sogar direkt durch den Luftsauerstoff oxidiert werden, ohne dass eine Pyrolyse nötig wäre.

Zuluft-kontrollierter Brand: Manchmal „unzureichend belüfteter Brand“ genannt, was jedoch nicht korrekt ist (siehe „unzureichend belüfteter Brand“). Meist vollständig entwickelter Brand, dessen weitere Ausbreitung nur von der zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge abhängt; die Verbrennung läuft unter annähernd überfetten Bedingungen ab. Bei derartigen Bränden sind die höchsten Temperaturen normalerweise an den Ventilationsöffnungen zu finden. Die zugeführte Luft reicht nicht aus, um den gesamten brennbaren Stoff im Raum zu verbrennen, folglich kommt es erst zu starker Verbrennung, wenn die Gase das Gebäude verlassen haben.

zyklisches Pulsieren: Anzeichen für das Vorhandensein von unverbrannten Rückständen des brennbaren Stoffes in einem Raum; dabei ist Potential für Vormischung und Explosion vorhanden. Warnsignal für Backdraft, da der Rauch an einer Ventilations-/Zugangsöffnung immer wieder vor und zurück „pulsiert“.

XII. LITERATUR-/ QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Lehrgang für Führungskräfte in Belgien, mit eigenen Ergänzungen
- [2] Daten von Webseiten wie im Text angegeben
- [3] Tewarson - Observations on experimental fires in enclosures – Combustion Flame 19 (1972)
- [4] P. Grimwood – Fog Attack – DMG (FMJ) Publications UK (1992)
- [5] Johan Mangs und Hakan – VTT Finland - Fire International Magazine (UK) December/January 1992
S. 32-38
- [6] K. Roughley - University of Central Lancashire (UK) – Dissertation
- [7] N. Pope - Fire Prevention & Fire Engineers Journal (UK) (Mai 2002, S.33-36)
- [8] Brammer & Wise - FIRE Journal Australia – November 2002
- [9] K. Giselsson & M. Rosander – Fundamentals of Fire – Girobrand ab 1978
- [10] P.D.C. Steward – Dust & Smoke Explosions – NFPA Q.7(4) (1914) – 424-428
- [11] C.M. Fleischmann – University of California – NIST GCR-94-646 1994
- [12] R. Chitty – A Survey of Backdraught – FRDF 5/94 1994
- [13] Fire Service Manual – Volume 2 (1997) – Compartment Fires & Tactical Ventilation – HMFSI
- [14] Lars-Goran Bengtsson – Report 1019 – Lund University Sweden – 1999
- [15] B.J. Sutherland – Smoke Explosions - University of Canterbury NZ – 1999
- [16] W.M. Croft – Fires involving Explosions – Fire Safety Journal 3 (1980/81) S. 3-24
- [17] Indianapolis Athletic Club Fire – Report 063 – USFA
- [18] F. Nelson – Qualitative Fire Behavior – ISFSI 1991
- [19] Dr. M. Thomas – Report into the Blaina Fire – 1996
- [20] P. Grimwood – www.firetactics.com
- [21] Station Officer P. Hall – Shropshire Fire & Rescue (UK) – persönliche Gespräche
- [22] D. Gojkovic & L. Bengtsson – Lund University/Helsingborg FD – Theory & Practice of Backdrafts
- [23] B.J. Weikema – Vapour Cloud Explosions – Journal of hazardous Materials 8, S. 295-329 (1984)
- [24] L. Laymen – Attacking and extinguishing Interior Fires – NFPA 1955
- [25] P. Grimwood – Flashover & Strahlrohrtechniken (1999) www.firetactics.com
- [26] Anders Lauren
- [27] J.P. Scheffey, C.W. Siegmann, T.A. Toomey, F.W. Williams, J.P. Farley – 1994 Attack Team Workshop Phase 2 - Full-scale Offensive Fog Attack Tests – US Navy
- [28] Persönliche Kommunikation via E-Mail– www.firetactics.com
- [29] Tommy Torling
- [30] Grant & Drysdale – The Suppression and Extinction of Class 'A' Fires Using Water Sprays - FRDG 1/97
- [31] Maarit Tuomisaari – VTT Finland – Suppression of Compartment Fires with a Small Amount of Water – 1995
- [32] A Handell – Lund University Sweden Fire Safety Engineering – Report 5065 (2000)
- [33] $LxWxH/100$ =Durchfluss (Gallonen/min) Royer Nelson IOWA 1959 – oderr $LxW/3$ = Durchfluss (Gallonen/min) NFPA USA
- [34] S. Sardqvist – Lund University Sweden – Report 7003 (1998)
- [35] C. R. Barnett – Fire Cell Floor Area Limits – MacBar Fire Design Code 1997
- [36] www.firetactics.com

- [37] A. Hay – FRDG 6/94 UK – A Survey of Fire Ventilation
- [38] P.H Thomas – FRS Note 663 – UK 1967
- [39] John Taylor – North Yorkshire FRS UK – IFE Scholarship, veröffentlicht 1993
- [40] Shan Raffel – Queensland FRS Australia – CFBT Techniques in Queensland 1998
- [41] Fleischmann C.M., Pagni P.J., Williamson R.B., "Exploratory Backdraft Experiments", Fire Technology, Vol 29 Nr. 4, S.298-316 (1993)
- [42] Sidney G. Gamble – Outbreaks of Fire – Their Causes & Means of Fire Prevention, London (1931)
- [43] Major C.C.B Morris – Fire (S.102) London – Datum unbekannt
- [44] Deputy Chief Thomas Dunne (FDNY) – Fire Engineering Magazine – Dezember 2002
- [45] Z.Liu, A.Kashef, G.D. Loougheed und N.Benichou – National Research Council (Canada) – Research Report RR124 – 3D Water-fog Review