

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

**Maßnahmen zur Optimierung der Einsatztaktik bei Bränden in Räumen
ohne direkten Zugang ins Freie**

von

J. Blumenstock et al.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

181

STÄNDIGE KONFERENZ DER INNENMINISTER UND -SENATOREN DER LÄN-
DER, ARBEITSKREIS V, AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHR-ANGELEGENHEI-
TEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

**Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz
und zivile Verteidigung**

Forschungsbericht Nr. 181

**Maßnahmen zur Optimierung der Einsatztaktik bei Bränden in Räumen
ohne direkten Zugang ins Freie – Teil I**

Von

J. Blumenstock et al.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Karlsruhe

Juli 2016

Berichtskennblatt

Nummer des Berichtes: 181	Titel des Berichtes: Maßnahmen zur Optimierung der Einsatztaktik bei Bränden in Räumen ohne direkten Zugang ins Freie - Teil I	ISSN: 0170 - 0060	
Autoren: J. Blumenstock / D. Schelb / J. Kunkelmann / D. Max	durchführende Institution: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Hertzstrasse 16, D-76187 Karlsruhe		
Nummer des Auftrages: 217 (3/2014)	auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung		
Abschlussdatum: Juli 2016			
Seitenzahl: 62	Abbildungen: 13	Tabellen: 7	Literaturverweise: 54
Kurzfassung: Im Bericht werden zunächst die Grundlagen für Brände in Räumen ohne Zugang ins Freie, z.B. Kellerbrände, dargestellt. Die Besonderheit liegt im begrenzten Angebot von Verbrennungsluft, so dass insbesondere auf die spezifischen Gefahren bei unterventilierten Bränden eingegangen wird. Im Anschluss wird die Einsatztaktik der Feuerwehr dargestellt, wobei insbesondere technische Hilfsmittel wie Mobiler Rauchverschluss und Taktische Ventilation näher beleuchtet werden. Weiterhin werden anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen wie z.B. Löschanlagen, RWA, Sauerstoffreduktionsanlagen mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen aufgeführt			
Schlagwörter: Rollover, Flashover, Backdraft, Brandgase, Pyrolysegase, Mobiler Rauchverschluss, Taktische Ventilation, Überdruckbelüftung, Unterdruckbelüftung, anlagentechnischer Brandschutz			

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS I

TABELLENVERZEICHNIS II

1.	Einleitung	1
1.1.	Forschungsziel	1
1.2.	Definition: Räume ohne direkten Weg ins Freie	2
2.	Grundlagen	3
2.1.	Allgemeiner Brandverlauf	3
2.1.1.	Rollover	6
2.1.2.	Flashover	7
2.1.3.	Backdraft	8
2.2.	Brandentwicklung im geschlossenen Raum	10
2.3.	Entwicklung von Brand- und Pyrolysegasen	11
2.3.1.	Atemgifte/Brandrauch	15
2.3.2.	Ausbreitung	16
2.3.3.	Explosion	17
2.4.	Fazit	18
3.	Einsatztaktik der Feuerwehr	19
3.1.	Der Innenangriff	19
3.1.1.	Brandrauch beurteilen	20
3.1.2.	Angriffsweg und Rückwegsicherung	21
3.1.3.	Türöffnung	22
3.1.4.	Mobiler Rauchverschluss	24
3.2.	Taktische Ventilation	25
3.2.1.	Lüftung ohne Abluftöffnung	28
3.2.2.	Unterdruckventilation ohne Abluftöffnung	30
3.3.	Löschtechnik	32

3.3.1. Löschmittel Wasser	32
Hohlstrahlrohr	34
Nebellöschsysteme	35
3.3.2. Schaumeinsatz	37
3.4. Fazit	39
4. BRANDSCHUTZEINRICHTUNGEN	40
4.1. Löschanlagen	41
4.1.1. Wasserlöschanlagen	41
4.1.2. Schaumlöschanlagen	42
4.1.3. Gaslöschanlagen	42
4.2. Entrauchungsanlagen	43
4.2.1. Rauch- und Wärmeabzüge (RWA)	43
4.2.2. Abluftschächte	44
4.3. Lüftungsanlagen	47
4.4. Sauerstoffreduktionsanlagen	47
4.5. Fazit	49
5. AUSBLICK	50
6. LITERATURVERZEICHNIS	51

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1. Charakteristischer Verlauf eines „typischen“ Zimmerbrandes bei genügend Verbrennungsluft [2].	4
Abbildung 2.2: Brandverlauf eines zunächst gering ventilierten Brandes [2].	5
Abbildung 2.3: Entstehung und Verlauf eines Rollovers bei geöffneter Zimmertür [6].	6
Abbildung 2.4: Entwicklung eines Brandes bis zum Flashover [6].	7
Abbildung 2.5: Entstehung eines Backdrafts [6].	9
Abbildung 3.1: Der mobiler Rauchverschluss wurde im Türrahmen einer Wohnungsabschlusstür installiert [33]. Im vorliegenden Fall war es die Tür zu einem Raum mit Waschmaschinen und Wäschetrockner in einer großen Wohneinheit [50].	25
Abbildung 3.2: Injection-Lüftung eines Raumes ohne direkte Öffnung ins Freie [34].	28
Abbildung 3.3: Belüftung eines Raumes mithilfe von Lutten [34].	29
Abbildung 3.4: Entrauchung eines Brandraumes mittels Unterdruckventilation. Die notwendigen Nachströmöffnungen sind nicht explizit in der Abbildung dargestellt.	30
Abbildung 3.5: Variante der Unterdruckventilation. Die notwendigen Nachströmöffnungen sind nicht explizit in der Abbildung dargestellt.	31
Abbildung 3.6: Theoretische Zusammensetzung der Rauchschiicht zur Erläuterung des Inertisierungseffekts. A: Mögliche Zusammensetzung vor der Rauchgaskühlung, B: Mögliche Zusammensetzung zu Beginn der Rauchgaskühlung, C: Mögliche Zusammensetzung nach der Rauchgaskühlung.	33
Abbildung 3.7: Dreiecksdiagramm zur Verdeutlichung des Inertisierungseffekts am Beispiel von CO. Zur Interpretation des Diagramms: Die UEG bei 100% O ₂ ist ca. 11%, die OEG bei 100% O ₂ ca, 79%. Bei ca. 62% O ₂ (punktierte grüne Linie) liegt die UEG (gestrichelte grüne Linie) bei 11% und die OEG bei 50%	33
Abbildung 4.1: Entrauchung mit Abluftschächten [44].	45

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Letale CO Dosis nach verschiedenen Expositionszeiten [25].	11
Tabelle 2.2: Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase [25, 26].	13
Tabelle 2.3: Typische Ausbeute Y von Kohlenstoffmonoxid ausgewählter Brennstoffe bei verschiedenen Ventilationsbedingungen [25, 27, 28].	14
Tabelle 3.1: Vergleich der CO-Konzentration vor und nach der Überdruckbelüftung [34].	26
Tabelle 3.2: Übersicht und Bewertung der möglichen Einsatzmaßnahmen bei Bränden in Räumen ohne direkten Zugang ins Freie.	39
Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Tabellen aus Schümmer für Räume bis 25 m ² und bis 50 m ² [44].	46
Tabelle 4.2: Übersicht der Brandschutzeinrichtungen.	49

Bemerkung zu den vorliegenden Untersuchungen

Jede Nennung kommerzieller Produkte geschieht nur zu Informationszwecken. Damit ist keine Empfehlung des genannten Produkts durch die Forschungsstelle für Brand-
schutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie verbunden.

Die ausgewerteten in- und ausländischen Untersuchungen geben den Standpunkt und die Meinung der jeweiligen Autoren wieder und stellen nicht notwendigerweise den Standpunkt der Verfasser dieses Forschungsberichtes dar.

1. EINLEITUNG

1.1. Forschungsziel

Der Kellerbrand stellt den Sonderfall eines Wohnungsbrandes dar: Liegen bei einem „gewöhnlichen“ Wohnungsbrand die Räume ebenerdig oder in den oberen Stockwerken, kann sich der Angriffstrupp unterhalb des Rauchs dem Brandherd annähern. Bei einem Brand im Keller besteht für den Angriffstrupp die Gefahr, dass bei einer unkontrollierten Rauchausbreitung nach oben durch das Treppenhaus der Trupp sich quasi „im Kamin“ befindet.

Das Brandgeschehen innerhalb des Raums ohne direkten Zugang ins Freie unterscheidet sich nicht von einem Brand in einem Raum mit Fenster oder Türen, solange diese geschlossen sind. Insbesondere bei modernen Gebäuden halten Fenster aufgrund der Mehrfachverglasung einem Brand lange Stand ohne zu bersten [5].

In diesem ersten Teil des Forschungsberichtes werden zuerst die Grundlagen der Brände in geschlossenen Räumen dargestellt. Die Besonderheit liegt im begrenzten Angebot von Verbrennungsluft, so dass insbesondere auf die spezifischen Gefahren bei unterventilierten Bränden eingegangen wird.

Im Anschluss werden gängige Einsatztaktiken der Feuerwehr dargestellt, wobei insbesondere technische Hilfsmittel wie Mobiler Rauchverschluss und Taktische Ventilation näher beleuchtet werden.

Zum Schluss werden die anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen (z.B. Löschanlagen, RWA, Sauerstoffreduktionsanlagen) mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen aufgelistet

1.2. Definition: Räume ohne direkten Weg ins Freie

Der vorliegende Forschungsbericht behandelt Brände in Räumen ohne direkten Zugang ins Freie. Dazu werden Kellerräume aller Art sowie Räume im Gebäudeinneren ohne Fenster bzw. ohne Lüftungsanlage gezählt. Die Musterbauordnung (MBO) [1] bezeichnet alle Geschosse eines Gebäudes als Kellergeschoss, deren Deckenoberkante im Mittel weniger als 1,4 m oberhalb der Geländefläche liegt.

Die MBO schreibt für Kellergeschosse ohne Fenster lediglich eine Öffnung ins Freie vor. Damit sind Öffnungen für jeden einzelnen Kellerraum nicht explizit gefordert, jedoch muss die Rauchableitung durch diese eine Öffnung möglich sein.

In oberirdischen Geschossen sind Räume ohne Öffnungen grundsätzlich möglich. Für Aufenthaltsräume¹ gilt jedoch, dass das Rohbaumaß der Fensteröffnungen mindestens einem Achtel der Netto-Grundfläche des Raumes entspricht, damit eine ausreichende Belüftung und Beleuchtung durch Tageslicht sicher möglich ist. Aufenthaltsräume sind aber in bestimmten Fällen auch ohne Fenster zulässig.

In Wohngebäuden sind Räume ohne Fenster oder anderen Öffnungen zur Belüftung und Beleuchtung meist kleinere Räume unter 20 m², wie z.B. Bäder, Toiletten oder Abstellräume und Kellerräume. Jedoch muss man grundsätzlich davon ausgehen, dass auch große Räume ohne weitere Öffnungen existieren. Lediglich notwendige Treppenhäuser müssen zur Unterstützung wirksamer Löscharbeiten entrauchet werden können.

¹ „Aufenthaltsräume sind Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.“ [1] MBO §2 (5)

2. GRUNDLAGEN

2.1. Allgemeiner Brandverlauf

Der Verlauf eines Brandes ist von mehreren Faktoren abhängig. Das vorhandene Raumvolumen, die Brandlast, die Brandentwicklung sowie die Temperatur und die Sauerstoffkonzentration im Brandraum beeinflussen den Brandverlauf [2]. Erhält ein Feuer die zur Verbrennung ausreichende Luftmenge kann der Brennstoff praktisch vollständig zu den Reaktionsendprodukten, i.d.R. Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O), umgesetzt werden (Ausbrand). Dabei werden nur geringe Mengen an Nebenprodukten wie Kohlenstoffmonoxid (CO), Ruß und brennbarer Gase (Pyrolysegase) freigesetzt und es kommt zu einer hohen spezifischer Energiefreisetzung [3] einhergehend mit einer hohen Raumtemperatur..

Erhält ein Feuer stattdessen bei geschlossenem Raum mit geringen Zu- und Abluftströmen nicht ausreichend Sauerstoff, wird die Temperatur im Raum deutlich geringer und der Gehalt an Kohlenstoffmonoxid, Ruß und brennbarer Gasen wird deutlich größer, da der Sauerstoff zum vollständigen Ausbrand fehlt.

Noch nicht in Brand stehende Einrichtungsgegenstände werden thermisch beaufschlagt, sodass die Zersetzung der Materialien beginnt und sich dadurch brennbare Gase (Pyrolysegase) bilden. Es kommt zum sogenannten „Ausgasen“ der Stoffe. Diese Pyrolysegase reichern sich im geschlossenen Raum an, und es können Rauchgasgemische entstehen, die allein durch Zuführung von Frischluft entzündet werden können. So kann es durch Öffnen einer Tür zu einer schlagartigen Entzündung kommen [3].

Die Temperaturentwicklung eines ventilierten Brandes bei ausreichender Sauerstoffkonzentration zeigt in den meisten Fällen einen charakteristischen Verlauf, der in Abbildung 2.1 dargestellt ist. Da der exakte Brandverlauf von verschiedenen Faktoren, wie Raumgröße und -anordnung, Zusammensetzung der Brandlast sowie der Frischluftzufuhr abhängig ist, zeigt die hier aufgezeigte Kurve einen als „typisch“ angenommenen Zimmerbrand.

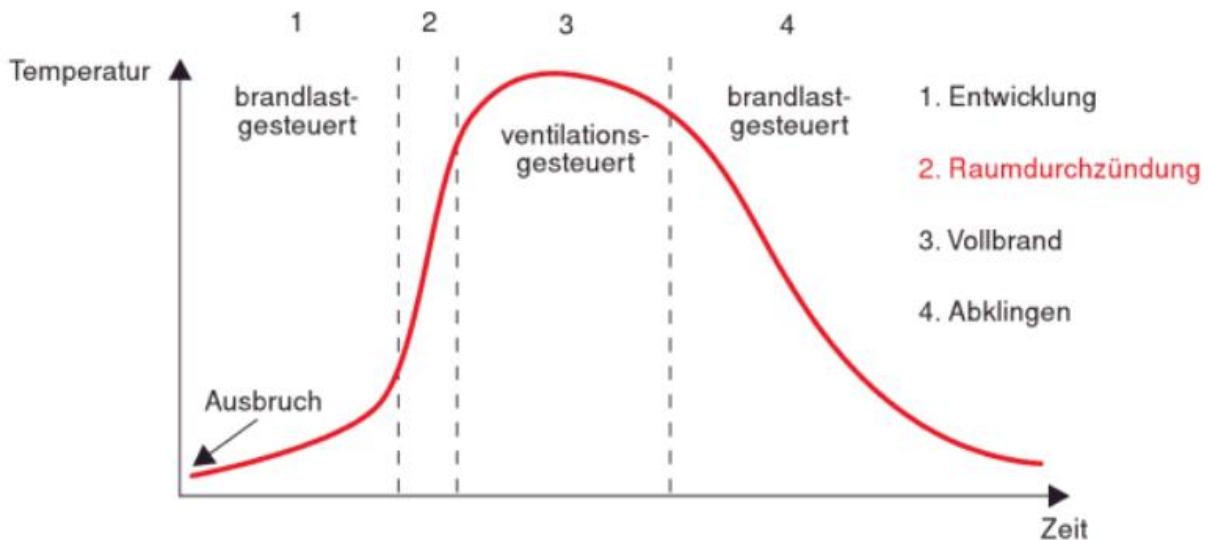


Abbildung 2.1. Charakteristischer Verlauf eines „typischen“ Zimmerbrandes bei genügend Verbrennungsluft [2].

1. Brandentstehung / Brandentwicklung

In der ersten Phase, der Brandentstehungsphase, kommt es erstmalig zur Entzündung eines Stoffes. Die Wärmefreisetzungsrate steigt kontinuierlich an. Hierbei ist der Brandverlauf brandlastgesteuert, da er wegen des Überangebots an Sauerstoff ausschließlich von den Eigenschaften des Brennstoffes abhängt.

2. Raumdurchzündung / Flashover

Die darauf folgende Brandphase führt zu einer erhöhten Flammenbildung sowie Flammen- und Rauchausbreitung mit einhergehendem Temperaturanstieg. Ist der Raum und die sich darin befindlichen Objekte weit genug thermisch aufbereitet, kommt es zur Raumdurchzündung (*engl.: Flashover*). Voraussetzung hierfür ist allerdings ein genügend großer Vorrat oder eine kontinuierliche Zufuhr von Verbrennungsluft.

3. Vollbrand

Im weiteren Verlauf kommt es zum Vollbrand, in dieser Phase steht nach erfolgtem Flashover der komplette Raum samt Einrichtung in Flammen. Dabei ist die verfügbare Menge an Sauerstoff ausschlaggebend. Diese Phase wird daher als ventilationsgesteuert bezeichnet.

4. Abklingen

Reicht letztendlich das brennende Material oder die vorhandene Sauerstoffkonzentration nicht mehr aus um die Brandtemperatur zu erhöhen oder zu halten, kommt es zum Abklingen des Brandes.

Wird der Flashover aufgrund fehlenden Sauerstoffs nicht erreicht, sinkt die Temperatur zunächst wieder ab. Es entstehen jedoch weitere Pyrolysegase durch die erreichte Temperatur. Wird zu einem späteren Zeitpunkt wieder Frischluft zugeführt, kann es zu einer schnellen Brandausbreitung und einem sehr schnellen Temperaturanstieg kommen. Dieser Brandverlauf ist in Abbildung 2.2 wiedergegeben.

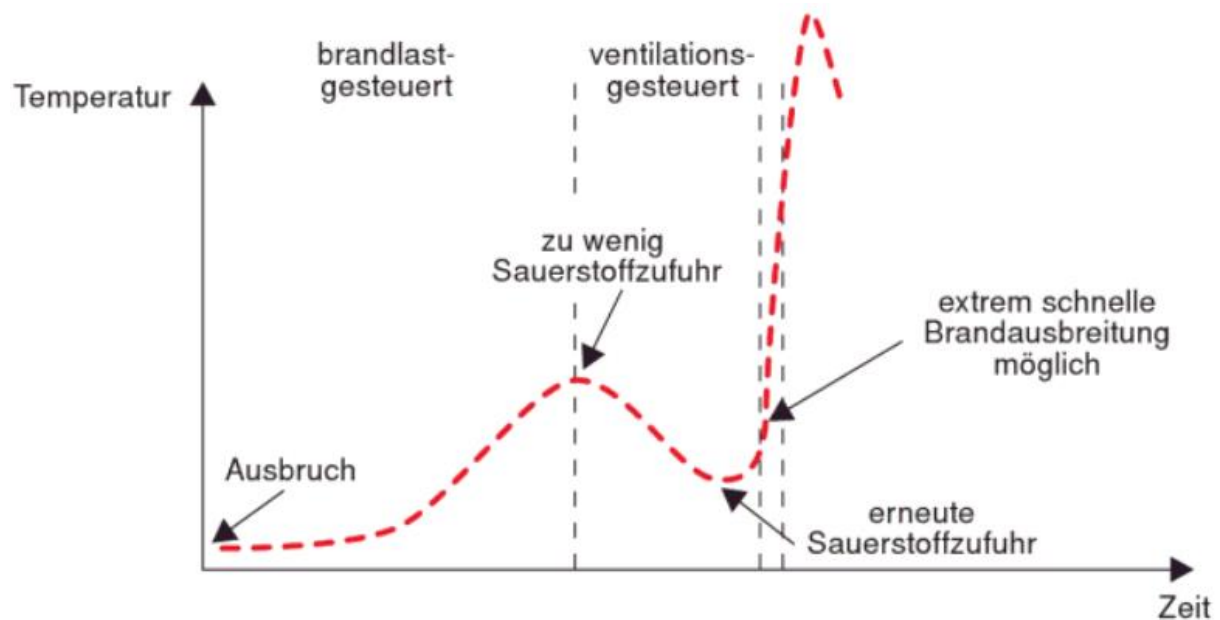


Abbildung 2.2: Brandverlauf eines zunächst gering ventilierten Brandes [2].

Bei Bränden in Gebäuden mit starken Rauchentwicklung sind die Phänomene Flashover, Rollover sowie Backdraft grundsätzlich nicht auszuschließen. Die Literatur diesbezüglich ist sehr umfangreich [4-9]. Daher werden an dieser Stelle lediglich die Begriffe kurz erläutert und die Entstehung sowie deren Gefahren beschrieben.

2.1.1. Rollover

Es wird von einem Rollover gesprochen, wenn überhitzte zündfähige Brand- und Pyrolysegase, aus dem eigentlichen Brandraum in Bereiche mit höherer Sauerstoffkonzentration gelangen und sich dabei entzünden [4, 6]. In Abbildung 2.3 ist die Entwicklung eines Rollovers in einem Raum mit geöffneter Tür grafisch dargestellt.



Abbildung 2.3: Entstehung und Verlauf eines Rollovers bei geöffneter Zimmertür [6].

Da im eigentlichen Brandraum der Sauerstoffgehalt durch die Verbrennung abgesunken ist, können sich die brennbaren Gase erst außerhalb des Brandraumes entzünden. Zudem bilden sich aufgrund der angestiegenen Temperatur im Brandraum vermehrt Pyrolysegase.

Die Zündung der Rauchschiicht erfolgt als Stichflamme ohne signifikanten Druckanstieg bei gerade ausreichender Sauerstoffzufuhr. Hierbei verbrennen nur die Brandpyrolysegase, ohne eine direkte Brandausbreitung zu bewirken. Die Einsatzkräfte werden dabei von den Flammen beim Innenangriff eventuell überrollt.

2.1.2. Flashover

Als Flashover oder Raumdurchzündung bezeichnet man die schlagartige Brandausbreitung auf den gesamten Raum innerhalb weniger Sekunden [4, 6]. In der deutschen Literatur wird auch vom Feuerübersprung gesprochen.

Ein zunächst lokal begrenzter Brandherd entwickelt Wärme und Rauchgase, die sich unterhalb der Decke sammeln. Die thermische Energie wird über den gesamten Raum über Wärmestrahlung wieder abgegeben, dabei sind im Bodenbereich bis zu 20 kW/m^2 [9] typisch². Hierbei heizen sich alle Oberflächen im gesamten Raum auf und die Pyrolyse der brennbaren Stoffe beginnt. Ab einer Temperatur in der Rauchschiicht von ca. 600°C [9] kommt es zum Feuerübersprung und alle brennbaren Gegenstände entzünden sich schlagartig. Hierfür ist eine große Menge brennbarer Brand- und Pyrolysegase, eine hohe Temperatur sowie eine Zündquelle notwendig. Beim Flashover erfolgt der Übergang vom brandlast- zum ventilationsgesteuerten Brand und die Entwicklungsphase ist abgeschlossen.

Abbildung 2.4 stellt den Ablauf eines Flashovers dar. Ein zunächst noch lokal begrenzter Brandherd weitet sich aus, bis letztlich die gesamte Einrichtung in Flammen steht.



Abbildung 2.4: Entwicklung eines Brandes bis zum Flashover [6].

² Referenz für Wärmestrahlung: Sonnenstrahlung auf dem Erdboden bei senkrechter ungehinderter Einstrahlung 1 kW/m^2 [10].

Aufgrund des hohen Gefährdungspotentials der Einsatzkräfte, wurde der Flashover bereits in verschiedensten Veröffentlichungen untersucht [4, 9, 11-16]. Dabei haben sich folgende Parameter als entscheidend herausgestellt:

- Art, Zündverhalten und Anordnung der Brandlast
- Geometrie des Brandraumes
- Ventilationsbedingungen (Art der Luftöffnungen)
- Thermische Eigenschaften von Fußboden, Wänden und Decke

So ergeben sich Zeiten zum Eintritt des Flashovers von 1 min bis 30 min, wobei der Zeitpunkt stark von der Brandlast abhängt. So wird ein Brand in einem Raum mit Holzmöbeln und Ledersofa deutlich langsamer an Stärke zunehmen als z.B. in einem Zimmer mit Schaumstoff-Sitzmöbeln, Kunststoffmöbeln und sonstigen leichten Einrichtungsgegenständen.

Ein bevorstehender Flashover kann durch große Mengen an Brandrauch, der unter Druck aus dem Brandraum quillt oder durch Flammenzungen (*engl.: dancing angels*), die sich an der Grenzschicht zu sauerstoffreicher Luft bilden, angekündigt werden.

2.1.3. Backdraft

Ein Backdraft entspricht einer schlagartigen Durchzündung großer Rauchgasmengen [5]. Abbildung 2.5 stellt die Entstehung eines Backdrafts aus einem Entstehungsbrand dar. Es entwickelt sich ein Schwelbrand, da durch fehlende Luftöffnungen der Brand nicht ausreichend ventiliert ist. So bilden sich große Mengen an unverbrannter Brand- und Pyrolysegase. Durch die deutlich geschwächte Brandentwicklung sinkt die Temperatur im Raum, weil das heiße Gas mehr Wärme an die Wände abgibt als es aus dem Brand zugeführt bekommt und es entsteht ein Unterdruck. Wird nun eine Tür oder ein Fenster geöffnet, wird zum Druckausgleich sauerstoffreiche Luft in den Brandraum gesaugt oder allein durch das Öffnen der Türe ein Luftaustausch erzwungen. So bildet sich ein zündfähiges Gemisch, das durch eine Zündquelle (z.B. Glutnester, kleine noch nicht verloschene Brandherde) gezündet werden kann.

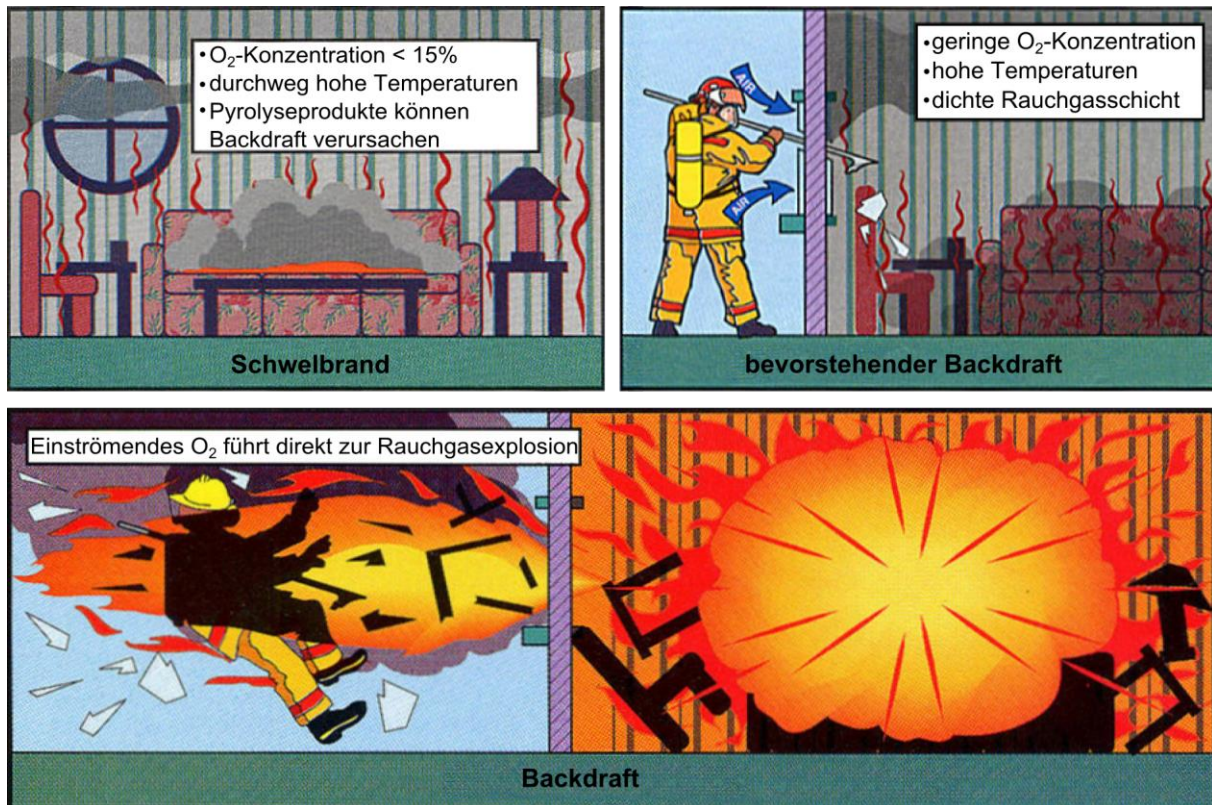


Abbildung 2.5: Entstehung eines Backdrafts [6].

Es handelt sich hierbei jedoch nicht um eine Explosion im eigentlichen Sinn, da der Druckanstieg unter 100 mbar liegt [17]. Deshalb spricht man von einer Verpuffung oder Deflagration [18]. Die Einsatzkräfte sind dabei besonders durch einen Feuerball, Stichflammen sowie umherfliegende Teile wie Glassplitter gefährdet.

Ein Backdraft kann schon bei Raumtemperaturen von etwa 200°C und einer Kohlenstoffmonoxid-Konzentration von 2,5 Vol.-% entstehen. Der Einfluss weitere Brand- und Pyrolysegase ist in Kapitel 2.3 genauer beschrieben. Im Einsatzverlauf kann ein Backdraft nicht eindeutig vorausgesagt werden, jedoch deuten folgende Anzeichen auf einen bevorstehenden Backdraft hin [7]:

- Über längere Zeit unbemerktes Brandgeschehen
- Heiße Türklinken/Türblätter und heiße Fensterscheiben
- Brandrauch quillt stoßweise aus Tür- und Fensterspalten
- Luft wird nach dem Öffnen einer Tür in den Raum gesaugt

2.2. Brandentwicklung im geschlossenen Raum

Bei Bränden in geschlossenen Räumen kann im Allgemeinen nicht von einer ausreichenden Luftzufuhr ausgegangen werden, da keine ausreichenden Zuluftöffnungen vorhanden sind. Nur bei sehr großen Räumen ist das Raumvolumen und damit die Sauerstoffmenge ausreichend, damit sich ein vollständig ventilierter Brand entwickeln kann.

Da es sich in privaten Haushalten meist um kleine Räume unter 30 m² Grundfläche handelt, werden im Folgenden nur diese betrachtet. Durch bestimmte Voraussetzungen kann es in geschlossenen Räumen dazu kommen, dass die zunächst offenen Flammen aufgrund der unzureichenden Sauerstoffzufuhr bereits kurz nach der Entzündung weitgehend erlöschen. Es kommt zu einem Schmelbrand, bei dem die Temperatur im Brandraum weiterhin langsam ansteigt [19]. Zudem bilden sich große Mengen an heißen Pyrolysegasen, die sich unter der Decke anreichern. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass sich die Situation bei einem Kellerbrand nicht von der bei einem Wohnungsbrand unterscheidet, solange das bzw. die Fenster noch verschlossen und nicht geborsten sind.

Da es sich um meist ventilationsgesteuerte Brände handelt, können z. B. das Öffnen von Türen die Situation schlagartig verändern. Je nach Menge an Pyrolysegasen und Sauerstoff sowie der Temperatur kann es zum schlagartigen Durchzünden aller brennbaren Materialien im Raum kommen [19]. Ist die Sauerstoffkonzentration im Raum nicht ausreichend für eine Zündung, kann es erst durch eine nachträgliche Belüftung zu einem schlagartigen Brandverlauf (Backdraft) kommen. Die dabei entstehenden Temperaturen sind auch bei intakter PSA lebensbedrohend. In Paris kam es 2002 bei einem Wohnungsbrand zu einem zweifachen Backdraft, bei dem insgesamt 5 Feuerwehrangehörige ihr Leben verloren [49].

2.3. Entwicklung von Brand- und Pyrolysegasen

Durch die direkte Verbrennung sowie die thermische Zersetzung (Pyrolyse) entsteht eine Vielzahl verschiedener Verbrennungsprodukte, die teilweise toxisch, brennbar oder explosiv sind. Zur Entstehung der verschiedenen Stoffe wurden diverse Untersuchungen durchgeführt [21-23].

Die Hauptgefährdungen für beteiligte Personen stellt Kohlenstoffmonoxid (CO) dar [24]. Der Hauptanteil aller Brandopfer ist der Inhalation von toxischem Brandrauch geschuldet. Tabelle 2.1 gibt den Zusammenhang von letaler Dosis und Expositionsdauer wieder. Als Arbeitsplatzgrenzwert ist eine Dosis von 30 ppm als unbedenklich angegeben [25].

Tabelle 2.1: Letale CO Dosis nach verschiedenen Expositionszeiten [25].

Dauer	min	2	5	10	30	60
Anteil	ppm	40000	16000	8000	3000	1500
	%	4	1,6	0,8	0,3	0,15

Kohlenstoffmonoxid ist aber auch mitverantwortlich für die Ausbreitung von Bränden über den Brandraum hinaus infolge von Nach- und Durchzündungen in der Gasphase, wodurch auch die Sicherheit von Einsatzkräften gefährdet wird.

Es wäre für die Brandbekämpfung vorteilhaft, die Zusammensetzung der Rauchgase im Raum abhängig von der Zeit der Brandentwicklung, der Raumtemperaturen und der Belüftungsbedingungen zu kennen, um den weiteren Brandverlauf abschätzen zu können und um die Gefahren durch einen Flashover oder einen Backdraft (siehe Kapitel 2.1), richtig zu bewerten.

Realistisch betrachtet ist die folgende Aussage wohl doch eher theoretischer Natur [48]: Der Einsatztrupp hat i.d.R. nur ein Gaswarngerät dabei, welches nur eine einzige Gaskomponente zuverlässig misst. Es ist hilfreich bei Einsätzen mit möglichem Austritt

von Gasen - es ist aber nicht als robustes Messgerät für den Einsatz unter heißen Bedingungen konzipiert. Dieses Gaswarngerät wird regelmäßig mit einer Gaskomponente kalibriert. So wird zwar im Rauch diese eine Komponente mit einem minimalen Fehler gemessen, die anderen Komponenten werden aber sehr ungenau erfasst.

Neben Kohlenstoffmonoxid lassen sich aber auch andere brennbare Gase im Brandrauch nachweisen. Die exakte Zusammensetzung des Rauches ist von den Randbedingungen wie Ventilation, Temperatur und Art der Brandlast abhängig. Um die Risikobewertung adäquat durchführen zu können, wurden in vielen verschiedenen Versuchen die entstehenden Rauchgase analysiert [21-23].

Die Zusammensetzung der Pyrolyseprodukte ist dabei neben der Temperatur auch von der Molekularstruktur der brennbaren Stoffe abhängig. Wichtige Pyrolyseprodukte von z.B. Holz sind dabei Kohlenstoffmonoxid und viele weitere Kohlenwasserstoffe. Bei dem Brand von Kabelisolierungen kann Chlorwasserstoff³ entstehen, oder Cyanwasserstoff (Blausäure) bei Polsterstoffen⁴. Eine Auswahl wichtiger explosiver Brand- und Pyrolysegase ist in Tabelle 2.2 zusammengefasst, weiterhin sind die obere und untere Explosionsgrenze (UEG und OEG) sowie die Zündtemperatur angegeben.

³Chlorwasserstoff bildet sich aus chlorhaltigen Materialien, wie PVC.

⁴Cyanwasserstoff bildet sich aus stickstoffhaltigen Materialien, wie Polyurethan, Nylon, Wolle, Federn.

Tabelle 2.2: Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase [25, 26].

Pyrolysegas	Explosionsgrenze in Luft				Zündtemperatur
	untere	obere	untere	obere	
	Vol.-%		g/m ³ (20 C, 1013 mbar)		°C
Kohlenstoffmonoxid (CO)	10,9	76,0	129	901	605
Methan (CH ₄)	4,4	17	29	113	595
Acetylen (C ₂ H ₂)	2,3	100	24	-	305
Ethen (C ₂ H ₄)	2,4	32,6	29	388	440
Ethan (C ₂ H ₆)	2,4	14,8	31	182	515
Hexan (C ₆ H ₁₄)	1,0	8,9	35	319	230
Ammoniak (NH ₃)	15,4	33,6	108	240	630
Wasserstoff (H ₂)	4,0	77	3,4	65	560
Aceton (C ₃ H ₆ O)	2,5	14,3	60	345	528
Methanol (CH ₃ OH)	6,0	80	50	665	440
Essigsäure (C ₂ H ₃ OOH)	6,0	148	17	430	485

Zur Abschätzung der Explosionsgefahr im Feuerwehreinsatz wird bereits bei Messwerten oberhalb 20% der UEG von einer Explosionsgefahr ausgegangen. Die Wahl des Wertes 20% hängt mit der Messungenauigkeit der Gaswarner zusammen: Da diese Geräte nur eine Gaskomponente (mehr oder weniger) genau messen können, wurde pragmatisch ein Sicherheitszuschlag von Faktor 5 gewählt.

Bei der Betrachtung der entstehenden Gase ist entscheidend, wie hoch die Ausbeute Y (engl.: Yield) der einzelnen Gase ist. Hierbei wird die Masse von CO pro Masse des Brandmaterials angegeben. Zudem wird die Masse der Brandlast berücksichtigt, die notwendig ist um die untere Explosionsgrenze von CO zu erreichen. Dieser Wert ist dabei deutlich von den Ventilationsbedingungen abhängig und liegt deutlich unter dem theoretisch möglichen Wert Y_{\max} , der über die Stöchiometrie berechnet werden kann.

Tabelle 2.3: Typische Ausbeute Y von Kohlenstoffmonoxid ausgewählter Brandstoffe bei verschiedenen Ventilationsbedingungen [25, 27, 28].

Material	Starke Ventilation		Geringe Ventilation		Theoretische, Ausbeute	
	Y_{CO} [g/g]	Masse ⁵ [kg]	Y_{CO} [g/g]	Masse ⁵ [kg]	$Y_{CO, max}$ [g/g]	Masse ⁵ [kg]
Holz	0,005	1290	0,14	46	0,89	7,2
Propan	0,005	1290	0,23	28	1,91	3,4
Ethanol	0,001	6450	0,22	29	1,22	5,3
Polyvinylchlorid (PVC)	0,063	102	0,4	16	0,903	7,1

2.3.1. Atemgifte/Brandrauch

Die Gefahr von Atemgiften bei Bränden geht in aller Regel vom entstehenden Brandrauch und den Pyrolyseprodukten aus. Im Gegensatz zu Bränden in frei zugänglichen Stockwerken, stellen sich bei einem Kellerbrand wesentlich schwierigere Bedingungen für die Brandbekämpfung ein. Zwar sind bei Bränden in Wohnräumen und Kellerräumen dieselben Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Rauch und Pyrolysegasen anzutreffen- solange die Fenster geschlossen sind. Aber bei Bränden in Stockwerken über Erdgleiche können durch geeignete Lüftungsmaßnahmen meist schon deutlich bessere Verhältnisse erreicht werden. Bei Kellerbränden hingegen gelangen die heißen Gase eventuell in den Treppenraum und behindern so die Zugangsmöglichkeit. Der Angriffstrupp muss quasi „durch den Kamin“ zum Brandherd vordringen.

Mithilfe von Lüftern (Taktische Ventilation) oder dem Öffnen von Rauch- und Wärmeabzügen (RWA) ist es je nach baulichen Gegebenheiten möglich, Flucht-, Rettungs- sowie Angriffswege über Flure und Treppenträume rauchfrei zu halten bzw. diese rauchfrei zu bekommen.

Bei Bränden in Kellergeschossen sind diese Maßnahmen deutlich schwieriger. Fehlende oder unzureichende Öffnungen ins Freie machen eine Entrauchung deutlich komplizierter. Die möglichen Maßnahmen zur Entrauchung von Räumen ohne direkten Zugang ins Freie sind Bestandteil des Kapitels 3.2.

2.3.2. Ausbreitung

Im Fall eines Brandes in einem geschlossenen Raum besteht die Gefahr der Ausbreitung durch Übergreifen des Brandes auf angrenzende Räume, Stockwerke und Gebäude, sowie der Ausbreitung des Brandrauches. Die Ausbreitung eines Schadenfeuers kann sowohl über brennbare Stoffe, durch Wärmeübertragung, durch taktische Fehler der Feuerwehr als auch durch bauliche oder betriebliche Mängel begünstigt werden.

Kellerräume werden häufig als Lager- und Abstellräume genutzt, wodurch hier von einer erheblichen Brandlast ausgegangen werden muss. In den meisten Fällen wird diese große Menge an Brandgut zu einer Zunahme der Brandintensität führen, sofern genügend Frischluftzufuhr vorhanden ist.

Schlechte Zu- und Abluftverhältnisse in Kellerräumen oder in Räumen ohne Öffnungen ins Freie verhindern eine ausreichende Frischluftzufuhr, sodass der Brand nach einiger Zeit mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Schwelbrandphase übergehen wird. Temperatur und Rauchentwicklung können hierbei allerdings noch weiterhin zunehmen, wodurch die Bedingungen für die Selbstrettung erheblich verschlechtert werden. Deshalb muss das vorrangige Ziel sein, in den Brandgeschossen die Rauch- und Wärmebelastung zu verringern bzw. auf einem erträglichem Maß zu halten, um die Möglichkeit der Selbstrettung zu gewährleisten. Ebenso müssen die die Bedingungen für die Einsatzkräfte auf ein erträgliches Maß verringert werden.

2.3.3. Explosion

Trotz strenger, jedoch häufig nicht für in den Regelungen berücksichtigte „Kleinmen- gen“ geltender Verordnungen zur Lagerung brand- und explosionsgefährlicher Stoffe werden insbesondere Keller-, Heizungs- und Speicherräume sowie Flure und Trepp- enräume in der Praxis als Lagerstätten für Druckgasbehälter wie Spraydosen oder Flüssiggasflaschen verwendet. Ebenso werden Farben, Lacke und Verdünnungsmittel gerne in den genannten Gebäudeteilen gelagert.

Durch die häufig starke Verrauchung bei Kellerbränden stellen sich sehr schlechte Sichtverhältnisse ein, welche in Verbindung mit unzureichenden Schutz- bzw. De- ckungsmöglichkeiten in Kellergeschossen eine überaus schlechte Ausgangssituation für die Einsatzkräfte darstellt. Meist trifft die Rauchgasdurchzündung bzw. Rauchgas- explosion die Einsatzkräfte in schmalen Fluren oder auf Treppen, wo die Rückzugs- wege aufgrund der starken Verrauchung nicht optimal gesichert werden können. Ähn- liches trifft auf nicht in Kellergeschossen liegende Räume ohne Öffnungen ins Freie zu.

Für Brände in geschlossenen Räumen bzw. in Kellerräumen muss die Ausbreitung von Rauch und Temperatur schnellstens unterbunden oder im besten Fall schon im Voraus verhindert werden. Die damit verbundene Reduzierung der Flashover- und Backdraftgefahr ergibt sich zeitgleich mit der Reduzierung von Brandrauch bzw. Pyro- lyseprodukten und Temperatur [4]

2.4. Fazit

Bei Bränden in geschlossenen Räumen ohne Öffnungen (bzw. in Räumen mit geschlossenen und nicht geborstenen Fenstern) wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach kein Vollbrand entwickeln. In jedem Fall ist damit zu rechnen, dass sich aufgrund der begrenzt vorhandenen Sauerstoffmenge im geschlossenen Raum ein unterventilierter Brand entwickelt. Die Raumtemperatur kann weiterhin langsam ansteigen, wobei sich große Mengen an brennbaren Pyrolyseprodukten bilden.

Ist der Brandraum entsprechend aufgeheizt und hat sich bereits eine brennbare Atmosphäre aufgrund der entstandenen Pyrolyseprodukte gebildet, besteht die Gefahr für einen Backdraft. Wird z. B. die Tür schlagartig geöffnet dringt Luft ein und zündet einen Teil der explosionsfähigen Rauchgase. Dabei werden weitere Rauchgase durch die Tür nach außen gedrückt und durchmischen sich mit frischer Verbrennungsluft zu einem zündfähigen Gemisch.

3. EINSATZTAKTIK DER FEUERWEHR

3.1. Der Innenangriff

Die richtige Einsatztaktik und die notwendige Technik spielen eine entscheidende Rolle, um den gewünschten Erfolg an der Einsatzstelle zu erzielen. Nur mit der richtigen Ausrüstung und der optimalen Einsatztaktik ist ein Brandeinsatz ohne Gefährdung der Einsatzkräfte möglich. Dazu ist ein hoher Zeiteinsatz bei der Ausbildung und ausreichend Einsatzpraxis erforderlich.

Das Ziel ist es, sämtliche Feuerwehrangehörige, insbesondere derjenigen mit Atemschutz im Innenangriff und der Führungskräfte, auf die jeweiligen Einsatzszenarien vorzubereiten. Gezielte Schulungen über aktuelle, gängige Einsatztaktiken und Techniken verbunden mit Heißausbildungen in Gas- bzw. holzbefeuerte Brandübungsanlagen erhöhen die Sicherheit erheblich. Denn viele Unfälle sind zweifelsfrei der falschen Einschätzung der Gefahrenlage und der somit falsch angewandten Einsatztaktik zuzuschreiben. Häufig berichten Einsatzkräfte bei Bränden in geschlossenen Räumen über extreme Hitze und schlechte Sichtverhältnisse in den betroffenen Gebäudeabschnitten.

3.1.1. Brandrauch beurteilen

Bemerkung FFB: Dieser Abschnitt ist der Vollständigkeit wegen hier aufgeführt. Die FFB weist darauf hin, dass die Beurteilung des Brandgeschehens anhand der Farbe des Rauches keine verlässliche Vorgehensweise ist. Vielmehr hängt die Farbe und Intensität des Rauches auch vom Brandgut ab. Beispielhaft sei hier ein Alkoholbrand erwähnt, der praktisch farb- und rauchlos verläuft. Es ist aber möglich, aus der Strömung des Rauches Informationen über die Zuluft- und Abluftbedingungen im Brandraum zu erhalten [50]. Hierzu werden z.Zt. Untersuchungen durchgeführt, die in Teil 2 des kommenden Forschungsberichtes veröffentlicht werden)

Dieser Abschnitt beleuchtet die klassische Vorgehensweise, wie sie in der Grundausbildung sowie dem Atemschutzlehrgang gelehrt wird. Dazu werden Möglichkeiten, die die Einsatztaktik verbessern oder unterstützen beschrieben. Hier wird hauptsächlich auf die Veröffentlichungen von Cimolino [7], Ridder [30] und Ebner [31] eingegangen.

Die richtige Deutung des Brandrauches ist von hoher Wichtigkeit, um sachgemäße Einschätzungen und daraus resultierende Einsatzbefehle treffen zu können. Die Interpretation des Brandrauches gibt zwar keine 100%ige Sicherheit im Hinblick auf die tatsächlich vorliegende Brandsituation, jedoch kann hiermit eine erste grobe Einschätzungen der Lage hinsichtlich des Brandstadiums, des Brandherdes und der fortgeschrittenen Brandausbreitung getroffen werden. Folgende Eigenschaften des Brandrauches sind bei der Betrachtung von Interesse:

- Volumen
- Dichte
- Strömungsgeschwindigkeit
- Farbe

Das **Rauchvolumen** ist ein erster Hinweis auf die aktuelle Brandsituation. Viel Rauch bedeutet in der Regel auch viel Feuer, wobei wenig Rauch auf einen kleineren Brand schließen lässt. Wichtig zu beachten ist bei dieser Betrachtungsweise, dass große Gebäude bzw. Gebäude in offener Bauweise viel Rauch im Inneren ansammeln können bevor dieser nach außen tritt.

Mit der **Dichte** des Brandrauches erhöht sich die Masse an brennbaren Gasen. Deshalb ist dichter Brandrauch ein wichtiges Indiz für einen Brand unter ausgeprägtem Sauerstoffmangel oder für Rauch, der einen längeren Weg durch das Gebäude zurückgelegt hat und abgekühlt ist.

Wird der Rauch nur durch nachströmenden Rauch aus dem Gebäude gedrückt, so wird seine Geschwindigkeit beim Gebäudeaustritt umgehend verlangsamt. Beinhaltet der Rauch jedoch zusätzlich noch viel Wärmeenergie, wird seine Geschwindigkeit auch nach dem Verlassen des Gebäudes aufgrund der starken Auftriebskräfte (Thermik) nicht merklich verringert. Gerade dieses letztere Verhalten des Brandrauches gepaart mit deutlich sichtbaren Turbulenzen und Pulsieren der Rauchsicht, deutet auf einen weit entwickelten Brand und einen bevorstehenden Flash-over oder Backdraft hin.

Die **Farbe** des Brandrauches ist ein nicht ganz verlässlicher Hinweis auf das Brandgeschehen, da hier leicht Fehler bei der Beurteilung gemacht werden können. Grundsätzlich ist folgende Zuordnung anzunehmen: Weißer Rauch lässt oft auf einen hohen Wasserdampfanteil schließen, wobei die helle Färbung aber auch durch überwiegend Pyrolysegase hervorgerufen werden kann. Grauer Rauch deutet in der Regel auf ein frühes Stadium der Pyrolyse von Kunststoff hin. Ebenso kann heißer, schwarzer Brandrauch, durch einen langen Weg durch das Gebäude hohe Konzentrationen an Pyrolysegasen enthalten. Im Allgemeinen trifft die Aussage zu: *Je dunkler der Rauch, desto höher die Temperatur.*

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine kontinuierliche Beobachtung der Rauchentwicklung mit den möglichen Veränderungen der obengenannten Eigenschaften wie Volumen, Dichte, Strömungsgeschwindigkeit sowie Farbe erforderlich ist. Zudem müssen während des Einsatzes Schlüsse aus dem Verhalten des Brandrauches gezogen werden.

3.1.2. Angriffsweg und Rückwegsicherung

Der Angriffsweg insbesondere bei Kellerbränden ist in den meisten Fällen auch gleichzeitig der Rückzugsweg, da nicht immer alternative Zugänge vorhanden sind und eine

Anleitemöglichkeit als zweiter Rettungsweg nicht möglich ist. Deshalb gilt der Rückwegsicherung besondere Sorgfalt.

Bereiche wie Treppenträume und notwendige Flure sind möglichst rauchfrei zu halten. Der Einsatz von Belüftungsgeräten zur Schaffung eines Überdrucks im Treppenraum kann sich hier als sinnvoll erweisen.

Tritt heißer Rauch aus einem Raum durch eine Öffnung wie zum Beispiel eine (teil-) geöffnete Tür in den Angriffsweg ein, so ist beim Vorgehen die Rauchsicht durch Löschmittel zu kühlen. Insbesondere der rückwärtige Bereich muss dabei auch berücksichtigt werden. Als Grundsatz gilt, dass eine Brandstelle gelöscht oder durch einen weiteren Trupp gesichert wird, bevor der Trupp weiter vorgeht. Eine Brandentwicklung im Rückzugsweg könnte fatale Folgen für den Trupp haben.

Um den Rückzugsweg zu sichern ist der Rauch und dessen Veränderungen ständig zu beobachten, damit eine angemessene Reaktion erfolgen kann. Die Intensivität der Rauchgaskühlung muss ständig der aktuellen Lage angepasst werden. Zudem sollte eine ständige Rundumsicht auch Veränderungen der Bausubstanz beinhalten.

Hierdurch kann rechtzeitig die Brandbekämpfungsmethode angepasst bzw. bei Gefahr den Innenangriff rechtzeitig abgebrochen werden.

3.1.3. Türöffnung

Ein kritischer Moment beim Innenangriff ist das Öffnen der Tür des Brandraumes. Gerade bei Bränden in geschlossenen Räumen sind die Verbrennungsbedingungen im Brandraum zu diesem Zeitpunkt noch recht unübersichtlich, daher müssen die Einsatzkräfte auf jede Situation vorbereitet sein.

Um die Gefährdung der Einsatzkräfte zu reduzieren wird die Tür nach einem festgelegten Verfahren geöffnet. Dabei empfiehlt es sich - falls denn möglich - einen Sicherheitsbereich mit ausreichender Deckungs- oder Rückzugsmöglichkeit zu schaffen.

Grundlegend sollte angestrebt werden, den Bereich vor dem Brandraum rauchfrei und somit übersichtlicher für den vorrückenden Trupp zu halten.

Türcheck

Bevor eine Tür in einem brennenden Gebäude geöffnet wird, ist insbesondere auf Anzeichen einer möglichen Rauchgasdurchzündung oder Rauchexplosion zu achten. Dazu wird i.d.R. vorab ein Türcheck durchgeführt. Quillt Rauch am Rahmen der Tür nach außen, kann natürlich darauf verzichtet werden.

Die Tür wird dabei mit dem Handrücken von unten nach oben abgetastet. Ist ein Temperaturanstieg bemerkbar, ist ein ausgeprägter Brand mit starker Brandentwicklung zu erwarten. Leider gilt hierbei der Umkehrschluss nicht direkt, da durch eine gute Isolierung der Tür die Aussagekraft des Türchecks eingeschränkt wird. Deshalb bedeutet eine kalte Tür nicht zwingend, dass sich im Raum kein entwickelter Brand oder explosionsfähige Pyrolysegase befinden.

Es dürfte schneller und zielführender sein, die Tür langsam einen Spalt zu öffnen und ins Zimmer zu schauen [48].

Tür öffnen

Um einen Flashover und oder Backdraft zu verhindern wird die Tür zunächst nur einen Spalt breit geöffnet und direkt einige Sprühstöße in die Rauchschiicht abgegeben. Dadurch wird die Sauerstoffzufuhr gering gehalten und die Temperatur der Rauchgasschiicht im Deckenbereich kann bereits wesentlich reduziert werden. Anschließend wird die Tür zunächst wieder geschlossen. Hierdurch kann die Gefährdung der Einsatzkräfte erheblich reduziert werden. Durch Kühlung der Rauchschiicht und Erzeugung von Wasserdampf kann der Entstehung einer Rauchgasdurchzündung entgegen gewirkt werden.

Dieses Verfahren ist nur bei sich noch entwickelndem Brand im Raum ohne besondere Gefährdung der Einsatzkräfte anwendbar.

Ist hingegen im Innern ein großes Feuer zu sehen oder reicht die heiße Rauchschiicht bis zum Boden sollte deutlich länger als nur einige Sekunden Wasser in den Raum gesprüht werden. Es ist allerdings praktisch ausgeschlossen, dass in einem kleinen Raum ohne Zuluftöffnungen ein großes Feuer aufgrund des geringen Sauerstoffvorrats aus der Luft anzutreffen ist.

anzutreffen ist, Vorgehen im Brandraum

Ist die Tür zum Brandraum durch den Trupp geöffnet und die Situation im Brandraum lässt es zu, geht der Trupp in den Raum vor. Eine Beobachtung der Rauchsicht sowie der Einsatz einer Wärmebildkamera bieten den Einsatzkräften viele Vorteile im Einsatz und können den eingesetzten Trupps ein großes Stück an zusätzlicher Sicherheit bringen [32].

Eine Wärmebildkamera kann eine wesentlich schnellere Eingreifzeit der Feuerwehr durch schnelleres Vorankommen im Innenangriff ermöglichen und kann den Einsatzkräften erhöhte Sicherheit bieten, da sich heiße Oberflächen im Brandraum oder die heiße Rauchgasschicht im Deckenbereich schneller und sicherer erkennen lassen [32]. In einem verrauchten Raum ist es aber nicht möglich, die Deckentemperatur zu messen, da der Rauch für die Wärmebildkamera nicht durchlässig ist.

3.1.4. Mobiler Rauchverschluss

Bei Bränden in geschlossenen Räumen, vor allem in Kellergeschossen, ist der Treppenraum für die Feuerwehr häufig der einzige, aber gleichzeitig auch der einfachste und schnellste Angriffsweg. Deshalb ist es wichtig diesen Rettungsweg möglichst rauchfrei zu halten [33]. Dazu wurde ein mobiler Rauchverschluss entwickelt um die Rauchausbreitung in Treppenträume und Flure angrenzende Nutzungseinheiten zu verhindern.

Da die Türen in diesen Fällen meist in Angriffsrichtung, d.h. nach innen öffnen, lässt sich der mobile Rauchverschluss im außen liegenden Türrahmen leicht einbauen. Bei Türen, die sich nach außen öffnen lassen, muss das Öffnen der Tür in Kauf genommen werden, um den mobilen Rauchverschluss im dahinterliegenden Türrahmen zu installieren [33]. Jedoch muss hierbei die Gefährdung durch den austretenden Rauch und die möglichen Gefahren durch einen Backdraft berücksichtigt werden.



Abbildung 3.1: Der mobiler Rauchverschluss wurde im Türrahmen einer Wohnungsabschlusstür installiert [33]. Im vorliegenden Fall war es die Tür zu einem Raum mit Waschmaschinen und Wäschetrockner in einer großen Wohneinheit [50].

Abbildung 3.1 zeigt einen eingebauten mobilen Rauchverschluss, wodurch die Öffnung um ein Vielfaches verkleinert wird. Eine ungehinderte Vornahme der Angriffsleitung für den Innenangriff ist durch die schmale Öffnung am Boden weiterhin möglich.

Nachdem der mobile Rauchverschluss eingebaut ist, kann die Türöffnung wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben durchgeführt werden.

3.2. Taktische Ventilation

Ein relativ zügiger, gezielter Rauch- und Wärmeabzug ist für die Feuerwehr im Brandfall von größter Bedeutung. Durch den Rauchabzug entstehen für die Einsatzkräfte

bessere Sichtverhältnisse, so dass ein schnelleres Vorankommen im Innenangriff ermöglicht wird. [2, 34].

Einsatzkräfte berichten, dass schon kurz nach Beginn der Lüftungsmaßnahmen eine wesentliche Verbesserung der Sichtverhältnisse bei gleichzeitiger spürbarer Reduzierung der Wärme erfolgt [34]. Versuche haben ebenfalls diese Temperatursenkung bestätigt. Bei den eingesetzten Einsatzkräften, wurde hierbei eine um bis zu 5°C niedrigere Körpertemperatur als ohne Belüftung gemessen. Die somit geringere Wärmeeinwirkung ermöglicht den Feuerwehrleuten eine längere Einsatzzeit durch die reduzierte Belastung des Körpers.

Versuche haben zudem gezeigt, dass die CO-Konzentration, besonders bei frühzeitig eingesetzter Ventilation, deutlich gesenkt werden kann. Tabelle 3.1 zeigt die CO-Konzentrationen in verschiedenen Gebäuden vor und nach einer Überdruckbelüftung [34].

Tabelle 3.1: Vergleich der CO-Konzentration vor und nach der Überdruckbelüftung [34].

Gebäude	Durchsuchungsbereich	CO [ppm]	
		vor der Belüftung	nach der Belüftung
Einfamilienhaus	Schlafzimmer	600	110
Appartement	Kombination aus Wohn- und Schlafzimmer	800	150
Gewerbebetrieb	Arbeitsbereich	1000	180

Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden überlebender Personen deutlich gesteigert, da die Temperatur- und Sauerstoffbedingungen ein Überleben ermöglichen.

Um das betroffene Gebäude belüften zu können müssen natürliche Gegebenheiten wie Thermik oder Wind ausgenutzt werden. Zudem setzt die Feuerwehr auch speziell dafür entwickelte Belüftungsgeräte ein. Dabei finden verschiedene Ventilationsmethoden Anwendung, wobei durch Überdruck oder durch Unterdruck gezielt belüftet wird.

So hilfreich eine qualifizierte Belüftung von Brandobjekten auch sein kann, genauso gefährlich können diese Maßnahmen werden, wenn sie nicht beherrscht oder fehlerhaft ausgeführt werden. Für eine erfolgsversprechende „taktische Ventilation“ müssen folgende Punkte beachtet werden [2]:

- Es werden keine Belüftungsmaßnahmen gestartet, bevor die Brandstelle nicht lokalisiert und gesichert ist. Der Luftstrom, den das Belüftungsgerät erzeugt, kann möglicherweise den Brand weiter vorantreiben und die eingesetzten Trupps in Gefahr bringen.
- Vor dem Einsatz eines Belüftungsgerätes muss eine ausreichende Abluftöffnung geschaffen sein. Hier ergeben sich besondere Schwierigkeiten bei Räumen ohne Öffnungen ins Freie.
- Die Abluftöffnung sollte idealerweise in der Nähe des Brandherdes liegen um den Brandrauch möglichst direkt und auf kürzestem Weg ins Freie zu leiten. Rauchfreie Gebäudebereiche sollten auch rauchfrei bleiben.
- Zu- und Abluftöffnungen, sowie die Aufstellung des Lüfters müssen entsprechend der Ventilationsmethode richtig gewählt werden.

Da Beschreibungen einzelner Ventilationsmethoden und Hinweise zur Verwendung in der Praxis in der Literatur [2, 33, 34] ausreichend vorhanden sind, ist das Ziel der folgenden Abschnitte, die Möglichkeiten der Belüftung von Räumen ohne Öffnung ins Freie und taktische Maßnahmen die grundsätzlich ohne Abluftöffnungen durchgeführt werden können, darzustellen.

3.2.1. Lüftung ohne Abluftöffnung

Bei der sogenannten Überdruckbelüftung wird mittels mobiler Belüftungsgeräte gezielt Luft in ein Gebäude eingeblasen, sodass ein geringer Überdruck von 20 bis 50Pa (0,2-0,5mbar) im Gebäudeinneren entsteht. Die Entrauchung der Gebäudeabschnitte beruht auf der relativen Druckerhöhung im Vergleich zum Umgebungsdruck, wodurch der Brandrauch nach außen abgeführt wird. Der Überdruck im betreffenden Raum sorgt dafür, dass die dort befindliche Atmosphäre durch eine geschaffene Abluftöffnung ins Freie geblasen wird.

Ist im betroffenen Raum keine Abluftöffnung, müssen alternative Strategien angewandt werden. Eine Möglichkeit stellt die Kombination zweier Lüfter dar. Dabei wird der erste Lüfter wie üblich zur Überdruckerzeugung außerhalb des Gebäudes aufgestellt und der zweite Lüfter wird in die Tür des Brandraumes gestellt. Dieses Verfahren ist allerdings nur anwendbar, wenn ein angrenzender Raum eine Öffnung ins Freie hat. Nach den baurechtlichen Vorschriften sollte das normalerweise der Fall sein.

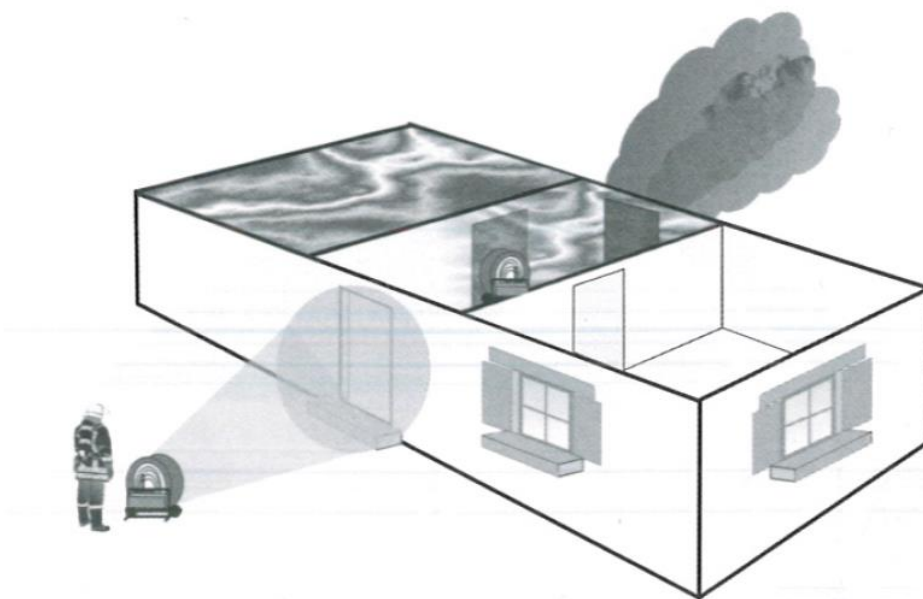


Abbildung 3.2: Injection-Lüftung eines Raumes ohne direkte Öffnung ins Freie [34].

Eine weitere Möglichkeit zur Entrauchung von geschlossenen Räumen ist der Einsatz von sogenannten Lutten. Diese Belüftungsschläuche mit großem Durchmesser werden vom Inneren des Brandraums ins Freie verlegt. Durch den erzeugten Überdruck des Belüftungsgerätes, werden die Brandgase aus dem Rauminnen nach außen geleitet. Es ist bei der Überdruckbelüftung sicher zu stellen, dass bei der Erkundung alle Öffnungen erkannt worden sind um eine unkontrollierte Rauchausbreitung im Gebäude zu verhindern.

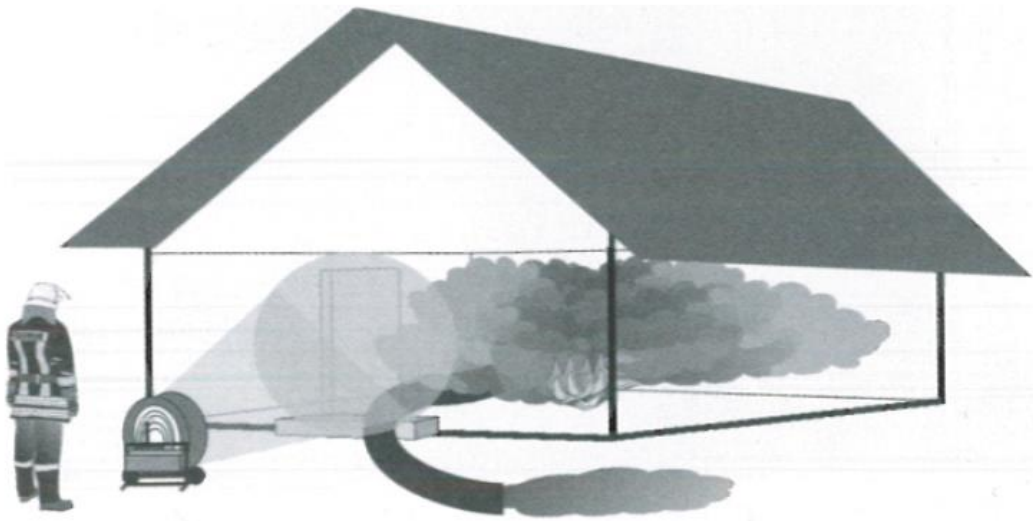


Abbildung 3.3: Belüftung eines Raumes mithilfe von Lutten [34].

Die dafür notwendigen Lutten gehören nicht zur Normbeladung aktueller Löschfahrzeuge und sind daher eher selten vorzufinden.

3.2.2. Unterdruckventilation ohne Abluftöffnung

Die Unterdruckventilation saugt die Gase im Gebäude nach außen. Für diese Art der Entlüftung ist jedoch ein hoher Aufwand erforderlich, was dieser Maßnahme im Brandeinsatz nur einen geringen Stellenwert zukommen lässt. Hierbei sind wiederum Lutten notwendig, die in den Brandraum eingebracht werden (Abbildung 3.4).



Abbildung 3.4: Entrauchung eines Brandraumes mittels Unterdruckventilation. Die notwendigen Nachströmöffnungen sind nicht explizit in der Abbildung dargestellt.

Das Entlüftungsgerät saugt den Brandrauch durch die Leitung nach außen. Das Verlegen dieser Sauglutten gestaltet sich sehr aufwändig und benötigt viel Platz, was sich im Einsatzfall als eher hinderlich erweist. Daher wird die Unterdruckventilation meist erst nach einer erfolgreichen Brandbekämpfung eingesetzt. Es ist vor Ort je nach Lage und Verfügbarkeit abzuwägen ob ein Einsatz der Unterdruckventilation sinnvoll ist.

Ein klarer Vorteil dieser Methode ist aber sicherlich die Rauchableitung ins Freie durch rauchfreie Bereiche ohne diese mit Brandrauch zu belasten. Besonders in weitläufigen Kellergeschossen, kann der Rauch über diese Methode von weit hinten gelegenen Kellerräumen nach außen geleitet werden, ohne andere Räume, Flure oder Treppenträume zu verrauchen und damit zu beschädigen.

Ist es durch die gegebenen Umstände an der Einsatzstelle nicht möglich die Sauglutten in den Brandraum einzubringen, besteht auch die Möglichkeit der Entrauchung durch einen erzeugten Unterdruck in einem Vorraum des Brandraumes (Abbildung 3.5)

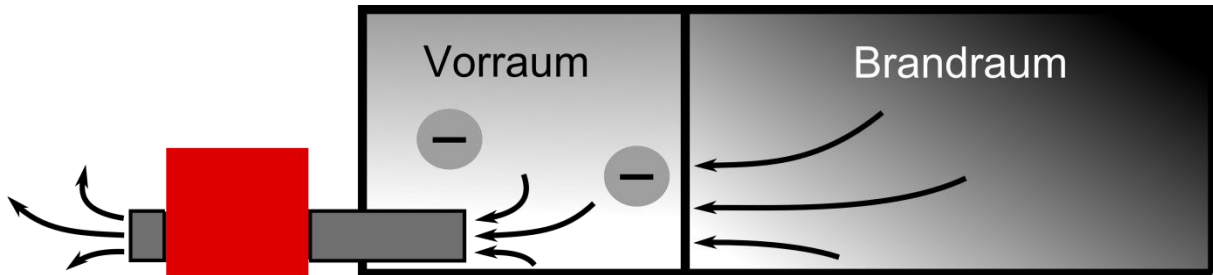


Abbildung 3.5: Variante der Unterdruckventilation. Die notwendigen Nachströmöffnungen sind nicht explizit in der Abbildung dargestellt.

Der Nachteil besteht hier sicherlich in den entstehenden Rauchschäden im Vorraum, welche aber in bestimmten Situationen in Kauf genommen werden könnten. Jedoch muss hierfür eine geeignete Nachströmöffnung vorhanden sein um ein direkte Zirkulation mit der einströmenden Luft an der Eingangstür zu verhindern. Gegebenenfalls ist diese mit einer Lutte ins Innere des Brandraumes zu schaffen.

3.3. Löschtechnik

Neben der richtigen Einsatztaktik ist ebenso die Wahl des richtigen Löschmittels und der richtigen Löschtechnik für den Erfolg der Einsatzmaßnahmen ausschlaggebend. Aufgrund guter Verfügbarkeit und guter Löscheigenschaften ist Wasser das Mittel der Wahl. Die Verwendung weiterer Löschmittel wie Pulver oder Löschgase durch die Feuerwehr sind bei ausgedehnten Bränden normalerweise nicht zielführend. Lediglich im Entstehungsstadium sind weitere Löschmittel sinnvoll einsetzbar [30, 31].

3.3.1. Löschmittel Wasser

Der direkte Löscheffekt des Löschmittels Wasser beruht primär auf der Kühlwirkung. Dem Brand bzw. den explosions- oder zündfähigen Gasen wird hierdurch Energie entzogen [31]. Die Effektivität des Kühlmittels hängt von der Wärmekapazität ab, also wieviel Energie das Löschmittel aufnehmen kann. Für Wasser beträgt die Wärmekapazität $c = 4,19 \text{ kJ/kgK}$. Deshalb werden $E = 335 \text{ kJ}$ benötigt um 1 kg bzw. 1 L Wasser von $T = 20^\circ\text{C}$ auf $T = 100^\circ\text{C}$ zu erwärmen. Für den Phasenübergang in die Gasphase sind 2250 kJ/kg notwendig. Somit nimmt bereits 1 Liter Wasser bei vollständiger Verdampfung 2585 kJ auf. Der Anteil des verdampften Wassers wird deutlich erhöht, wenn das Wasser fein verteilt auf den Brandherd bzw. in die heiße Rauchschiicht gelangt.

Weiterhin wird durch Einsprühen und Verdampfen von Wasser die Rauchschiicht inertisiert, d.h. die Zusammensetzung der vorhandenen, zündfähigen Gase wird so verändert, dass die Zündung nicht möglich ist. Möglicherweise bewirken die Wassertröpfchen einen Quencheffekt, so dass sich Flammen gar nicht ausbreiten können. Hierzu kann zum jetzigen Zeitpunkt keine wissenschaftlich fundierte Aussage gemacht werden. Der zusätzliche Wasserdampf reduziert in jedem Fall die Sauerstoffkonzentration sowie die Konzentration der explosionsfähigen Stoffe. In Abbildung 3.6 ist die Veränderung der lokalen Zusammensetzung der Rauchgase vor sowie nach der Rauchgaskühlung beispielhaft dargestellt. Dabei ist zum besseren Verständnis lediglich CO als Brandgas angegeben.

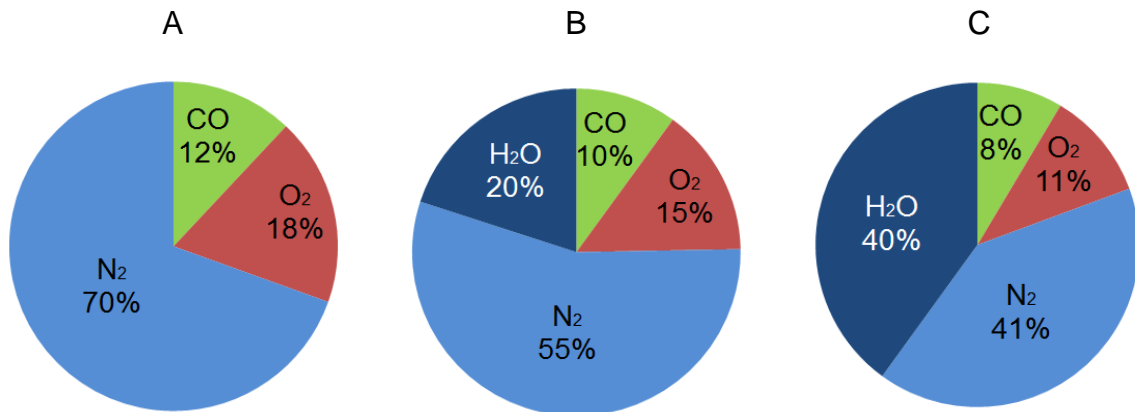


Abbildung 3.6: Theoretische Zusammensetzung der Rauchschicht zur Erläuterung des Inertisierungseffekts. A: Mögliche Zusammensetzung vor der Rauchgaskühlung, B: Mögliche Zusammensetzung zu Beginn der Rauchgaskühlung, C: Mögliche Zusammensetzung nach der Rauchgaskühlung.

Durch diese Veränderung verschiebt sich auch die Explosionsgrenze. Abbildung 3.7 gibt den Explosionsbereich für verschiedene Gaszusammensetzungen an. Hierbei sind die drei Zusammensetzungen aus Abbildung 3.6 rot dargestellt [26, 35].

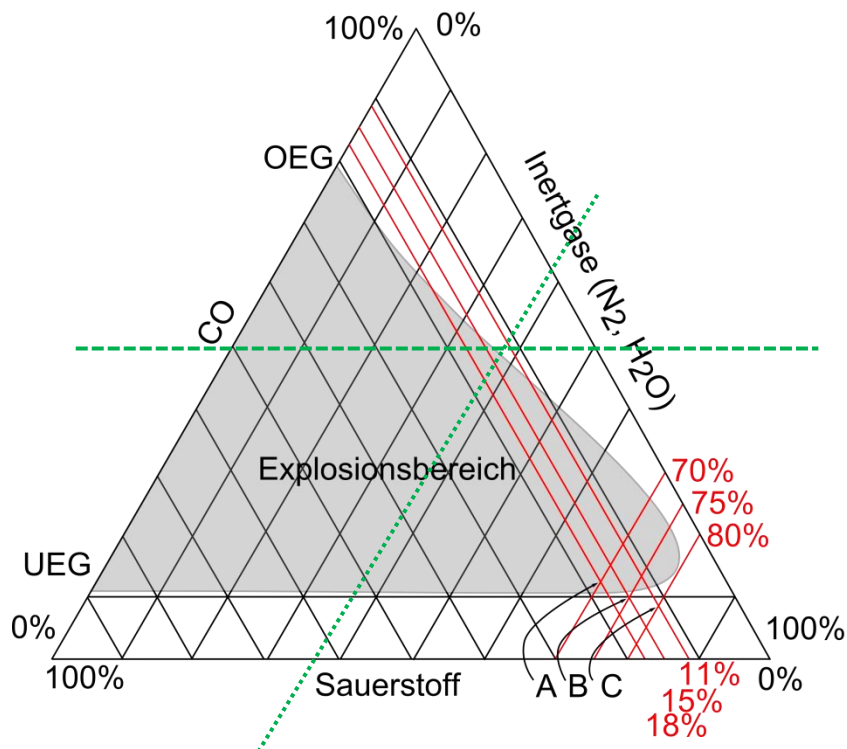


Abbildung 3.7: Dreiecksdiagramm zur Verdeutlichung des Inertisierungseffekts am Beispiel von CO. Zur Interpretation des Diagramms: Die UEG bei 100% O₂ ist ca. 11%, die OEG bei 100% O₂ ca. 79%. Bei ca. 62% O₂ (punktierte grüne Linie) liegt die UEG (gestrichelte grüne Linie) bei 11% und die OEG bei 50%

Es ist zu erkennen, dass vor der Rauchgaskühlung eine explosionsfähige Zusammensetzung besteht. Durch die Rauchgaskühlung kann diese reduziert werden. Dabei reduziert sich die Gefahr, je mehr Wasserdampf in die Rauchschiicht eingebracht werden kann.

Der entstandene Wasserdampf bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Da aus einem Liter Wasser rund 1700 Liter Wasserdampf entsteht ($T = 100^{\circ}\text{C}$, $p = 1 \text{ bar}$), kann beim Einsatz von Wasser (typischerweise einige Liter pro Sekunde) mehrere Kubikmeter Dampf pro Sekunde entstehen, der beim Austritt der einzigen Raumöffnung - der Tür- zu Verbrühungen der Einsatzkräfte führen kann.

Hohlstrahlrohr

Moderne Hohlstrahlrohre haben heutzutage die herkömmlichen Mehrzweckstrahlrohre weitestgehend abgelöst. Sie sind dank ihrer fortschrittlichen Entwicklung vielseitig einsetzbar und decken ein größeres Anwendungsspektrum als Mehrzweckstrahlrohre ab [31], da sich die Wassermenge von 40 – 400 l/min einstellen lässt und damit eine leichte Anpassung an gegebene Situationen möglich ist. Zudem kann das Sprühbild des Hohlstrahlrohres einfach reguliert werden. Die Düse erzeugt einen Wasserstrahl mit Tropfen von ca. 0,3 mm Durchmesser. Diese Größe stellt den optimalen Kompromiss aus Wurfweite und Verdampfung dar. Kleinere Tropfen verdampfen wesentlich besser und binden somit mehr Wärmeenergie, können aufgrund ihrer geringen Masse jedoch nicht weit genug in den Brandraum eingebracht werden. Im Gegensatz hierzu können größere Wassertropfen mit dem Strahlrohr deutlich weiter in den Brandraum gebracht werden, jedoch verdampfen diese nicht vollständig.

Die Bedienung mittels Kipphebel am Hohlstrahlrohr erlaubt dem Strahlrohrführer eine einfachere Handhabung beim bereits erwähnten Impulslöschverfahren zur Kühlung der Rauchschiicht. Des Weiteren kann durch einen sehr breiten Sprühwinkel die Sicherheit des Trupps bei einer plötzlichen Rauchgasdurchzündung verbessert werden.

Trotz der genannten Vorteile muss auch hier das erforderliche „Know-How“ vermittelt werden damit der Strahlrohrführer das Hohlstrahlrohr richtig bedienen kann um die Möglichkeiten des Gerätes optimal einzusetzen.

Nebellöschsysteme

Aufgrund der Tatsache, dass die Löschwirkung des Wassers maßgeblich von der Tropfengröße abhängt, wurden weitere Möglichkeiten entwickelt, um möglichst wenig Wasser effektiv einzusetzen [30]. Da bei der Verwendung des Hohlstrahlrohres die Wurfweite relativ hoch sein muss um die Einsatzkräfte vor Verbrühungen zu bewahren ist eine feinere Verteilung nur möglich, wenn sich die Einsatzkräfte vor dem entstehenden Wasserdampf schützen können. Da auch die aktuelle Schutzausrüstung hierbei keinen ausreichenden Schutz bietet, dürfen sich die Einsatzkräfte nicht im selben Raum aufhalten. Es gibt dazu mehrere Arten, die aktuell Anwendung finden.

Zum einen gibt es Systeme, die über einen D-Schlauch mit der Feuerlöschkreiselpumpe betrieben werden. Dabei wird eine Art Nagel mit einem Hammer durch die Tür, Fenster, Wand oder Decke in den Brandraum gebracht [36]. Düsen im Bereich der Spitze des Nagels erzeugen einen feinen Wasserdampfnebel. Die Wasserversorgung und die Bedienung erfolgt aus dem sicheren Bereich vor dem Brandraum. Im Handel befinden sich derzeit Systeme der Firmen *Fognail* oder *Dönges*.

Zum anderen werden Wasserdampfnebel mit Hochdruck erzeugt. Dabei sind durch einen Druck bis $p \approx 300$ bar eine sehr feine Zerstäubung der Wassertropfen sowie deutlich höhere Wurfweiten möglich. Da durch die hohe Belastung der Einsatzkräfte durch Wasserdampf diese Systeme nicht im normalen Innenangriff verwendet werden können, hat die Firma *Coldcut* ein System entwickelt, das mit einer Schneidefunktion kombiniert ist [37]. Dabei wird mit dem System *Cobra* ein Loch durch eine Tür oder Wand in den Brandraum geschaffen. Hierbei wird das Wasser mit einem Druck von $p \approx 300$ bar zusammen mit einem Abrasivmittel, üblicherweise feiner Sand, vermischt. So ist es möglich Holz, Beton, Stein oder bis 20 mm starke Stahlkonstruktionen in kürzester Zeit zu durchtrennen [37]. Anschließend kann durch diese Öffnung mit dem Wasserdampfnebel die Temperatur im Brandraum reduziert werden.

Beide Systeme zeigen eine deutliche Reduzierung der Temperatur sowie der Brand- und Rauchentwicklung. Anschließend kann der Raum mit deutlich geringerer Belastung für die Einsatzkräfte betreten und der Brandherd gelöscht werden.

Ein klarer Nachteil solcher Systeme ist die fehlende Sicht auf den Brand [36]. Eine Beobachtung der Maßnahmen (z. B. durch ein Fenster) ist für gezielte Löschmaßnahmen notwendig.

Zudem sind solche Systeme immer erst dann einzusetzen, wenn der Brand sehr weit fortgeschritten ist und damit Überlebende im Brandraum ausgeschlossen werden können [38].

Die gebräuchliche Vorgehensweise bei einem Brandeinsatz im Gebäude ist daher der Innenangriff mit einem C-Hohlstrahlrohr. Erst wenn festgestellt wurde, dass es sich um eine sehr starke Brand- und Rauchentwicklung handelt, können solche Nebellöschsysteme verwendet werden. Zu dieser Information gelangt man aber häufig nicht durch die Erkundung des Gruppenführers sondern erst durch einen Trupp, der in den Brandraum vorgehen möchte. Vor allem bei Räumen ohne direkten Zugang ins Freie sind die Informationen über den Brandraum normalerweise eingeschränkt.

3.3.2. Schaumeinsatz

Ist die Brandentwicklung so weit vorangeschritten, dass austretende Brandgase den Zugang zum Brandraum verhindern und der Einsatz von Nebellöschgeräten ebenfalls nicht möglich ist, kann auf Löschschaum zurückgegriffen werden. Dabei muss das Risiko eines Innenangriffes nicht immer zwingend in Kauf genommen werden. Ist keine Menschenrettung notwendig, steht die Sicherheit der Einsatzkräfte an oberster Stelle [39]. Der Einsatz von Löschschaum ist dann eine mögliche Variante zur Brandbekämpfung, bei der keine Einsatzkräfte in den gefährdeten Bereich vorrücken müssen.

Dieses Löschmittel lässt sich ursprünglich in drei Varianten einteilen. Die Anwendungsbereiche von Schwer-, Mittel und Leichtschaum sind entsprechend der Eigenschaften aufgrund des Luftanteils unterschiedlich.

Schwerschaum ist für die direkte Brandbekämpfung von Flüssigkeits- und Feststoffbränden geeignet, wobei vor allem der Kühleffekt des hohen Wasseranteils maßgeblich ist. Zudem haftet bzw. schwimmt Schwerschaum auf dem Brandgut, so wird der Brandherd vom Luftsauerstoff abgetrennt. Bei Bränden in geschlossenen Räumen ist diese Schaumart jedoch nicht geeignet.

Für Mittelschaum wird dem Wasser-Schaummittel-Gemisch deutlich mehr Luft zugeführt, wodurch auch das Volumen um ein Vielfaches höher ist. Der Mittelschaum eignet sich besonders, um geschlossene Räume oder beispielsweise Keller vollständig auszufüllen. Wichtig beim Mittelschaumeinsatz ist, dass der aufgebrauchte Schaum durch die starke Hitze teilweise zerstört wird. Man spricht von Abbrand- und Durchbruchwiderstand. Ein Maß für die Beständigkeit eines Schaumes gegen Wärme ist der Abbrandwiderstand. Der Durchbruchwiderstand charakterisiert die Fähigkeit eines Schaumes, den Durchtritt brennbarer Dämpfe durch die Schaumschicht zu verhindern.

Ein Schaumeinsatz muss sorgfältig geplant werden und die Schaummittelvorräte müssen vorab in ausreichender Menge bereitgestellt werden. Eine Berechnung über die benötigte Schaummenge muss der Einsatzleiter im Voraus erstellen [19].

Durch einen sehr hohen Luftanteil ist Leichtschaum sehr leicht und kann nicht mit einem Strahlrohr geworfen werden. Für die Erzeugung von Leichtschaum sind spezielle

Generatoren erforderlich, um die notwendige hohe Luftmenge einzumischen. Durch sein großes Volumen ist er besonders zur Ausschäumung großer Räume und Hallen geeignet. Im Feuerwehreinsatz kommt diese Schaumart jedoch aufgrund der sehr aufwendigen Herstellung kaum zum Einsatz, da die benötigten Luftgeneratoren selten bei einer Feuerwehr vorzufinden sind. Vielmehr eignet sich dieser Schaum als Löschmittel für ortsfeste Schaumlöschanlagen, wo ein Schaumgenerator bereits fest verbaut ist.

Desweiteren ist die Verwendung von Druckluftschaum DLS (*engl.: Compressed Air Foam System CAFS*) möglich. Bei dieser Art der Schaumerzeugung wird das Schaummittel über eine festverbaute Anlage bereits im Fahrzeug vermengt und mit Druckluft aufgeschäumt. Solche Anlagen sind in der Lage, das Verhältnis des Wasser-/Luftanteils von recht nassem Schaum bis zu sehr trockenem Schaum einzustellen, was erheblichen Einfluss auf das Löschvermögen mit sich bringt [19]. Die Abgabe erfolgt mit speziellen Strahlrohren, grundsätzlich ist auch die Verwendung von Mehrzweckstrahlrohren oder Hohlstrahlrohren möglich.

Nasser Schaum kann zur direkten Brandbekämpfung und trockener Schaum zum Schutz von Objekten eingesetzt werden. Zudem besitzt dieser Schaum eine sehr geringe Oberflächenspannung im Vergleich zu reinem Wasser, weshalb er leicht in die brennenden Stoffe eindringen kann.

Einer Brandbekämpfung mit Druckluftschaum ist möglich. In jedem Fall muss aber sichergestellt sein, dass dem Löschtrupp, der mit DLS im Innenangriff tätig ist, nicht rückseitig der Weg durch Feuer oder Rauch versperrt wird. Schläuche mit DLS sind weit weniger hitzeresistent als mit Wasser gefüllte, so dass im Notfall dem Trupp keine Kühlung für den Selbstschutz zur Verfügung steht, weil der DLS-Schlauch möglicherweise geplatzt ist.

3.4. Fazit

In diesem Kapitel wurden die derzeit bekannten Einsatztaktiken bzw. Einsatzmaßnahmen zur Brandbekämpfung sowie Möglichkeiten zur taktischen Rauchabführung beschrieben. Für die Bekämpfung eines Brandes in einem Raum ohne direkten Zugang ins Freie sind jedoch nicht alle Maßnahmen geeignet.

Tabelle 3.2 zeigt einen Überblick der genannten Einsatzmaßnahmen und deren Eignung für einen Brand in Räumen ohne direkten Zugang ins Freie.

Tabelle 3.2: Übersicht und Bewertung der möglichen Einsatzmaßnahmen bei Bränden in Räumen ohne direkten Zugang ins Freie.

Maßnahme	Geeignet	Bedingt geeignet	Ungeeignet	Bedingungen/Einschränkung
Mobiler Rauchverschluss	X			In den Raum öffnende Tür
Überdruckbelüftung			X	Nur mit Abströmöffnung möglich
Überdruckbelüftung mit 2 Lüftern		X		Nur bei bestimmter Raumanordnung
Unterdruckbelüftung			X	Nur mit Nachströmöffnung möglich
Druckbelüftung mit Lutten		X		Keine Normbeladung
Hohlstrahlrohr	X			
Nebellöschsysteme		X		Keine Normbeladung, Einschlagen der Lanze i.d.R. schwierig
Mittelschaum	X			vollständiges Fluten möglich
Leichtschaum		X		Nur mit zusätzlichen Aggregaten
Druckluftschaum		X		Für direkte Brandbekämpfung; Keine Normbeladung

4. BRANDSCHUTZEINRICHTUNGEN

Der vorbeugende Brandschutz unterteilt sich in die 3 Hauptgruppen des baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Brandschutzes [41, 42].

Brandschutzeinrichtungen zählen in ihrer Art zum anlagentechnischen Brandschutz. Sie dienen in erster Linie der Brandfrüherkennung, der Brandbekämpfung sowie der Verhinderung der Brandausbreitung. Brandschutzeinrichtungen werden in der Industriebaurichtlinie auch als „Brandschutztechnische Einrichtungen“ oder „anlagentechnische Brandschutzkomponenten“ bezeichnet. Hierzu zählen alle im Brandfall wirksamen oder wirksam werdenden Einrichtungen, insbesondere Brandschutztüren und -tore, Feuerlöschanlagen, Löschhilfeeinrichtungen, sowie Rauch- und Wärmeabzugseinrichtungen. Alle Anlagen erfüllen jedoch den Zweck, eine möglichst kurze Eingreifzeit nach der Brandentstehung zu gewährleisten.

4.1. Löschanlagen

Löschanlagen dienen dem Schutz von Menschen und Sachwerten und reduzieren somit im Brandfall in hohem Maße auch die Gefahren für die Einsatzkräfte der Feuerwehr.

Die Einsatzgebiete dieser Anlagen sind vielseitig und jede Anlage bietet in ihrer Wirkungsweise Vorteile aber auch Nachteile auf welche im Detail hier nicht näher eingegangen und daher auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen wird.

4.1.1. Wasserlöschanlagen

Zur Gruppe der Wasserlöschanlagen gehören z.B. Sprinkleranlagen, Wasserdampf- oder Wassernebellöschanlagen im Nieder-, Mittel und Hochdruckbereich sowie Sprühwasserlöschanlagen.

Diese sind zur Bekämpfung glutbildender Brandstoffe wie z.B. Holz, Papier oder Textilien geeignet.

4.1.2. Schaumlöschanlagen

Zum Löschen von bestimmten Bränden, wie z.B. Flüssigkeitsbränden in Raffinerien, Kraftwerken oder Chemieanlagen, muss dem Löschwasser ggf. ein Schaummittel zugesetzt werden. Weitere Einsatzgebiete sind z.B. Logistikhallen mit hohen Kunststoffanteilen, Kohlesilos oder Reifenlager.

- Leichtschaumanlagen fluten im Brandfall den gesamten Brandraum und entziehen der Verbrennung den notwendigen Sauerstoff. Zusätzlich werden sämtliche, teils brennbaren Gase verdrängt sowie angrenzende Objekte vor der Wärmestrahlung geschützt. Bereiche, in denen sich bei Auslösung Personen aufhalten können, müssen mit entsprechenden Alarm- und Warneinrichtungen ausgestattet sein, um eine Evakuierung der betroffenen Personen zu ermöglichen.
- Mittel- und Schwerschaumanlagen bedecken das Brandgut mit einer Schaumdecke, welche den Brandherd vom Umgebungssauerstoff abschneidet. Der Brandherd wird zusätzlich durch den hohen Wasseranteil des langsam aus dem Schaum ausfallenden Wassers gekühlt und die Oberfläche gegen Wärmerückstrahlung aus Flammen und somit gegen Wiederentzündung geschützt.

Von essentieller Bedeutung beim Schaummitteleinsatz sind die Berücksichtigung der umweltrelevanten Gesichtspunkte z.B. bezüglich der Wassergefährdung.

4.1.3. Gaslöschanlagen

Bei Gaslöschanlagen wird ein Lösch- bzw. Inertgas in die betreffenden Bereiche eingeleitet, das den Sauerstoff verdrängt und so den weiteren Verbrennungsprozess verhindert. I.d.R. werden Kohlenstoffdioxid (CO₂), Stickstoff (N₂), Argon (Ar) oder Gemische dieser Gase eingesetzt. Der entscheidende Vorteil ist das „Nicht-Beschädigen“ der vorhandenen Betriebseinrichtungen (z.B. durch Korrosion oder Schaden an der Elektrik). Personen im Gefahrenbereich müssen den Gefahrenbereich verlassen, da die niedrige Sauerstoffkonzentration lebensbedrohlich ist. Deshalb muss vor dem Auslösen der Anlage eine akustische und optische Warnung erfolgen.

Die Einsatzkräfte dürfen die betroffenen Räume nur noch mit umluftunabhängigem Atemschutz betreten. Es besteht Lebensgefahr. Besondere Vorsicht gilt bei CO₂ in Bereichen mit Kellerräumen oder Gruben, da sich dort das CO₂ aufgrund der höheren Dichte Luft gegenüber sammelt und lange nach Beendigung des Löschvorgangs verweilt. Aufgrund der hohen Personengefährdung werden Gaslöschanlagen nur dort eingesetzt, wo andere Löschanlagen keinen Löscherfolg versprechen oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand installiert werden müssen.

Löschgase haben keine bzw. nur eine sehr geringe Löschwirkung bei tiefsitzenden Glutbränden (z.B. Holz, Papier, Textilien, Kohleschüttung).

4.2. Entrauchungsanlagen

Um bei Bränden den Brandschaden möglichst gering zu halten und vor allem aber Menschenleben zu retten, kommen im vorbeugenden baulichen Brandschutz Entrauchungsanlagen zum Einsatz [43]. Dadurch ist die Selbstrettung der Personen im Gebäude mit geringerer Gefährdung möglich und vereinfacht den Einsatz der Feuerwehr durch schnelleres und sicheres Vorankommen.

4.2.1. Rauch- und Wärmeabzüge (RWA)

Bei den Rauch- und Wärmeabzügen unterscheidet man zwischen Rauchabzügen und Wärmeabzügen. Da über einen Rauchabzug aber auch automatisch Wärme abgeführt wird, spricht man häufig von Rauch- und Wärmeabzügen (RWA).

- Natürliche Rauchabzüge (NRA) sind beispielsweise Lichtkuppeln, Lichtbänder oder Jalousien. Sie werden bei entsprechender Temperatur oder Rauchbeaufschlagung automatisch geöffnet und der Brandrauch entweicht allein durch die eigene Thermik ins Freie. Nach der DIN 18232-2 sind natürliche Rauchabzüge ab einer Fläche von 200 m² sinnvoll.
- Maschinelle Rauchabzüge (MRA) werden über eine Brandmeldeanlage oder durch Rauchmelder ausgelöst. Durch eine gesicherte Energieversorgung wird der Brandraum mittels Ventilatoren über Abluftöffnungen entraucht. Einzelne

Räume können so über Rohrsysteme mittels außenliegender Brandrauchventilatoren entraucht werden. Bei der Dimensionierung dieser Anlagen ist besonders das zu erwartende Rauchgasvolumen aufgrund der Brandlast zu berücksichtigen. Nach der DIN 18232-5 sind maschinelle Rauchabzüge erst ab einer Fläche von 400 m² sinnvoll.

Beide Anlagen lösen im Normalfall schon in der Brandentstehungsphase aus, so dass eine raucharme Schicht im unteren Bereich des Brandraumes entstehen kann und die Flucht- und Rettungswege für betroffene Personen und die Einsatzkräfte der Feuerwehr möglichst sicher bleiben.

- Wärmeabzüge lösen erst aus, wenn der Brand bereits weit entwickelt ist und eine relativ hohe Temperatur im Brandraum entstanden ist. Obwohl auch über diese Wärmeabzüge Brandrauch abgeführt wird, ist deren Wirkung im Wesentlichen die Reduzierung der thermischen Belastung der Bauteile. Bei derartigen Anlagen ist aufgrund der Druckverhältnisse im Gebäude stets für ausreichende Zuluft zu sorgen.

4.2.2. Abluftschächte

Für jeden Raum kann eine Entrauchung für die betroffenen Personen und Gebäudeabschnitte sowie die Feuerwehr im Inneneinsatz ebenfalls vorteilhaft sein. Daher betrachtet Schümmer et. al. [44] die Wirkung von Entrauchungsöffnungen über Rohrsysteme aus geschlossenen Räumen. So können die entstandenen Rauchgase aus innenliegenden bzw. geschlossenen Räumen durch das Gebäude abgeführt werden. Damit werden mit entsprechender Belüftung durch die Feuerwehr die Temperatur- und Sichtverhältnisse positiv beeinflusst.

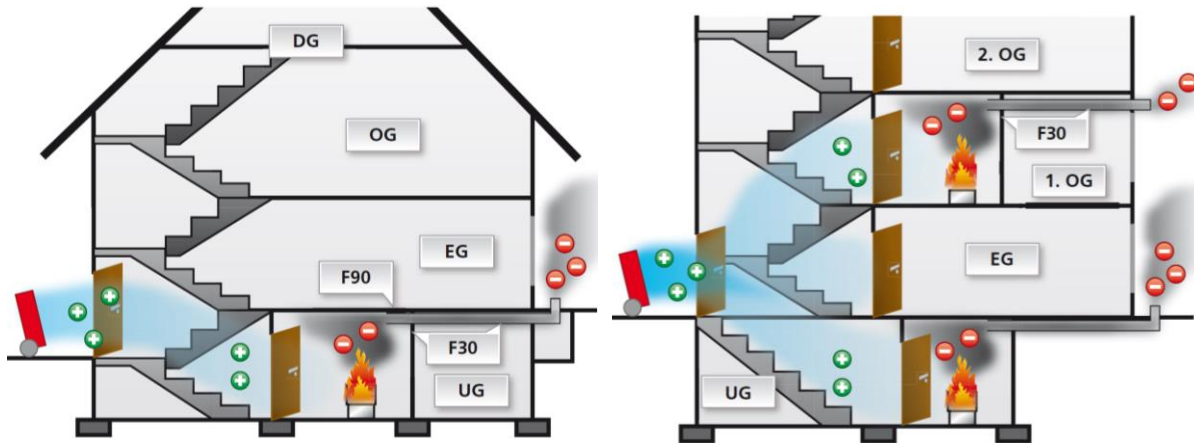


Abbildung 4.1: Entrauchung mit Abluftschächten [44].

Um den notwendigen Querschnitt der Abluftrohre zu berechnen, wurden durchschnittliche Lüftungsleistungen mobiler Lüftungsgeräte von 30 000 bis 35 000 m³/h angenommen. Zudem wurde durch einen Abstand des Überdruckbelüftungsgerätes zur Öffnung von 3 m, ein Luftkegel mit einem Durchmesser von 2,4 m angenommen.

Dabei ist bei optimalen Bedingungen eine Luftgeschwindigkeit von 3m/s im Inneren möglich, die eine schnelle Entrauchung ermöglicht. Der Druck im Inneren des Gebäudes steigt dann auf ca. 0,3 mbar an [34].

Sind die Ventilationsbedingungen nicht optimal, ist also der Abstand des Lüftungsgerätes, das Verhältnis von Zu- und Abluftöffnung nicht optimal, reduziert sich die Luftgeschwindigkeit im Gebäudeinneren. Ebenso reduzieren Hindernisse im Gebäude, wie Treppen oder Ecken, die Luftgeschwindigkeit. So sind nur noch Luftgeschwindigkeiten von ca. 2 m/s zu erwarten.

Tabelle 4.1 zeigt die erforderlichen Dimensionen der Entrauchungsschächte in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit und des Profils der Abluftleitungen.

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Tabellen aus Schümmer für Räume bis 25 m² und bis 50 m² [44].

Fläche [m ²]	Höhe [m]	Raum- volumen [m ³]	Luft-geschwin- digkeit [m/s]	Freier Querschnitt			
				Eckig	1 Rohr	2 Rohre	3 Rohre
				[m ³]	Durchmesser [cm]		
1-25	3,0	< 75	2	0,11	35	25	25
			2,5	0,08	32,5	25	20
			3	0,07	30	25	20
25-50	3,0	75-1500	2	0,21	50	40	30
			2,5	0,17	45	35	30
			3	0,14	30	25	20

4.3. Lüftungsanlagen

Durch Lüftungsanlagen soll zumindest ein Teil des Brandrauchs im zu schützenden Bereich abgeführt werden. Vor allem zu Beginn der Brandentstehungsphase, wenn erst geringe Mengen an Brandgasen freigesetzt wurden, kann die Rauchgasverdünnung durch entsprechende Frischluftzufuhr sichere Rettungswege gewährleisten. Ist der Brand jedoch weiter fortgeschritten, wird die zugeführte Frischluftmenge in aller Regel nicht mehr ausreichend sein.

Diese Anlagen sind deshalb nur für die kurzzeitige Sicherung von Flucht- und Rettungswegen im Anfangsstadium eines Brandes geeignet.

4.4. Sauerstoffreduktionsanlagen

Sauerstoffreduktionsanlagen werden bereits vor einem möglichen Brandereignis eingesetzt. Sie reduzieren den Sauerstoffgehalt im zu schützenden Bereich soweit, dass bei einer Vielzahl von Brandstoffen lediglich ein Glut- oder Schwelbrand aber kein Flammenbrand mehr möglich ist und somit der Ausbreitung von Entstehungsbränden somit vorgebeugt wird [46].

Der Luftsauerstoff wird hierbei üblicherweise durch Einbringen von Stickstoff soweit abgemindert, dass eine Brandentstehung ausgeschlossen ist. Die Begehrbarkeit des Raumes bleibt für gesunde Menschen bestehen. Die Sauerstoffkonzentration beträgt bei solchen Anlagen in der Regel zwischen 13-17% [47].

Der Vorteil von Stickstoff liegt darin, dass er kostengünstig und leicht verfügbar ist sowie keine zusätzliche toxische Wirkung auf den Menschen hat.

Sauerstoffreduktionsanlagen werden dort eingesetzt, wo alternative Löschanlagen nicht optimal eingesetzt werden können oder erheblichen Schaden anrichten würden, z.B. in Kühlhäusern, IT-Serverräumen, Kunstlagern bzw. Räumen mit empfindlichem Inhalt.

Mit Einbau solcher Anlagen ergeben sich aber auch besondere Anforderungen an den zu schützenden Gebäudebereich. Die ausreichende Dichtheit des Raumes sowie die

Anzahl und Ausführung der Zugänge bzw. Öffnungen muss gegeben sein, zudem dürfen sich keine ständigen Arbeitsplätze im betroffenen Bereich befinden.

4.5. Fazit

Tabelle 4.2 gibt einen Überblick über mögliche, bevorzugt automatisch wirkende Brandschutzeinrichtungen zur schnellen Brandbekämpfung und zu Entrauchungsmaßnahmen. Nicht alle dieser Einrichtungen sind für einen Kellerbrand oder für Brände in geschlossenen Räumen gleichermaßen geeignet, was im Weiteren genauer erläutert wird.

Tabelle 4.2: Übersicht der Brandschutzeinrichtungen.

Brandschutzeinrichtung	Bedingungen/Einschränkung
Sprinkleranlage	Sehr kostenintensiv
Schaumlöschanlage	Sehr kostenintensiv
Gaslöschanlage	Hohe Personengefährdung, Sehr kostenintensiv
RWA	Günstig und bewährt
Abluftschächte	Günstig und bewährt
Lüftungsanlage/ Verdünnungsanlage	Nur für Brände im Anfangsstadium und zur Fluchtwegsicherung
Sauerstoffreduktionsanlage	Dichtigkeit des Brandraums erforderlich, kostenintensiv

Bei allen baulichen Brandschutzanlagen, ist immer auf die Verhältnismäßigkeit einer solchen Installation zu achten und darauf hinzuweisen, dass eine Brandentwicklung nie vollständig ausgeschlossen werden kann.

Da sich in Räumen ohne Abluftöffnung meist keine Aufenthaltsräume befinden und die Gegenstände normalerweise nicht besonders schützenswert sind, sind die beschriebenen Brandschutzanlagen nur in speziellen Fällen notwendig.

Gibt es jedoch die Möglichkeit Rauch und Wärme aus den Gebäuden über Rauch- und Wärmeabzüge oder durch Abluftschächte abzuführen verbessert dies die Situation für die Feuerwehr erheblich.

5. AUSBLICK

Im zweiten Teil des Forschungsberichtes (in Vorbereitung) werden theoretische Betrachtungen über Brandgröße und -dauer in Abhängigkeit der verfügbaren Luftmenge bzw. Raumgröße dargestellt.

Darauf basierend werden insbesondere gebräuchliche taktische Regeln und Vorgehensweisen hinterfragt und mittels dreidimensionaler numerischer Strömungssimulation (CFD) untersucht.

In einem mehrgeschossigen Gebäude wird ein Kellerbrand bei verschiedenen Szenarien simuliert:

Hierbei werden z. B. der Einfluss geöffneter Fenster auf die Rauchausbreitung im Treppenhaus und das Eindringen von Rauchgas durch Wohnungstüren in dahinterliegende Räume bei ungünstigsten Windbedingungen untersucht.

Es wird gezeigt, welche Strömungsverhältnisse beim Rauchaustritt aus Öffnungen in Abhängigkeit der Zuluft- und Abluftbedingungen vorliegen.

Weiterhin wird die Anwendbarkeit einer Methode zur Lokalisierung von Bränden untersucht, bei der mit Hilfe einer Wärmebildkamera der Boden des über dem Brandraum liegenden Raumes auf Wärmestromer untersucht wird.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] *Musterbauordnung*, Bauministerkonferenz, **2012**.
- [2] C. Emrich, *Taktische Ventilation, Reihe: Einsatzpraxis*, ecomed Sicherheit, **2012**.
- [3] *Normentwurf „Fachbericht Kelleraustragung“ DIN 18232 AK Kelleraustragung*, **Nov. 2013**.
- [4] J. Kunkelmann, *Forschungsbericht 130: Flashover/Backdraft - Ursachen, Auswirkungen möglichen Gegenmaßnahmen*, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungsstelle für Brandschutztechnik, **2003**.
- [5] J. Kunkelmann, *Forschungsbericht 164: Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise, Teil 2* Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungsstelle für Brandschutztechnik, **2013**.
- [6] M. A. Wieder, C. Smith, C. Brackage, *Essentials of Fire Fighting*, Fire Protection Publications, Oklahoma State University, **1992**.
- [7] U. Cimolino, A. Dirk, L. Thomas, P. Christian, S. Jan, *Atemschutz, Reihe: Einsatzpraxis*, ecomed Sicherheit, **2011**.
- [8] M. Pulm, *BrandSchutz Deutsche Feuerwehrzeitung*, **2003**, 4, 304.
- [9] D. Drysdale, *Fire Engineers Journal*, **1996**, 185, 18-23.
- [10] N. Pucker, *Physikalische Grundlagen der Energietechnik*, Springer-Verlag, **2013**.
- [11] W. E. Clark, *Fire Engineering*, **1994**, 26-29.
- [12] T. Hakkarainen, *Journal of Fire Sciences*, **2002**, 20, 133-175.
- [13] S. Klopovic, Ö. F. Turan, *Fire Safety Journal*, **1998**, 31, 117-142.
- [14] D. Leihbacher, *Fire Engineering*, **1999**, 65-76.
- [15] M. Shipp, *Fire Engineers Journal, Fire Prevention*, **2002**, 15-16.
- [16] K. S. S. Yu, *Fire Engineers Journal*, **1992**, 27-30.
- [17] D. T. Gottuk, M. J. Peatross, J. P. Farely, F. W. Williams, *Fire Safety Journal*, **1999**, 33, 261-282.
- [18] S. Busenius, *Wissenschaftliche Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes*, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin, Köln, **1996**.
- [19] H. Kemper, *Brennen und Löschen, Reihe: Fachwissen Feuerwehr*, ecomed Sicherheit, **2002**.
- [20] I. F. I. AACHEN, *Fachbericht: Brand in einem geschlossenen Raum*, Institut für Industrieaerodynamik.
- [21] R. Goertz. Abschlußbericht zum Untersuchungsvorhaben Bildung und Bildungsraten toxischer Stoffe bei Bränden, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, **1995**.
- [22] B. Forell, *Technische Überwachung*, **2010**, 3, 20-29.

- [23] R. Goertz, *S+S Report* **2014**, 4.
- [24] G. Pless, *Die Entwicklung von Kohlenmonoxid bei Bränden in Räumen*, **2007**.
- [25] GESTIS Stoffdatenbank, <http://gestis.itrust.de/>.
- [26] K. Nabert, *Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase und Dämpfe*, Deutscher Eichverlag, **2004**.
- [27] B. Karlsson, J. G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, **1999**.
- [28] *The Society of Fire protection Engineers (SFPE) Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association, Quincy, **1995**.
- [29] H. Schläfer, *Das Taktikschema*, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, **1998**.
- [30] A. Ridder, *Brandbekämpfung im Innenangriff, Reihe: Einsatzpraxis*, ecomed Sicherheit, **2013**.
- [31] C. Ebner, *Innenangriff, Reihe: Die Roten Hefte/Ausbildung Kompakt 214*, W. Kohlhammer, **2010**.
- [32] M. Pulm, *Wärmebildkameras im Feuerwehreinsatz, Reihe: Die Roten Hefte/Ausbildung Kompakt*, W. Kohlhammer GmbH, **2008**.
- [33] M. Reick, *Mobiler Rauchverschluss, Reihe: Die Roten Hefte/Ausbildung Kompakt 212*, W. Kohlhammer GmbH, **2012**.
- [34] G. Schmidt, *Überdruckbelüftung, Reihe: Die Roten Hefte/Ausbildung Kompakt 203*, W. Kohlhammer, **2007**.
- [35] O. Fuß, *Ermittlung und Berechnung der Sauerstoffgrenzkonzentration von brennbaren Gasen*: Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Chemie, **2004**.
- [36] M. Pulm, *BrandSchutz*, **2000**, 12, 1036-1045.
- [37] R. Lobnig, *Blaulicht* **2008**, 07, 24-25.
- [38] M. Pulm, *Falsche Taktik – Große Schäden*, W. Kohlhammer GmbH, **2011**.
- [39] U. Cimolino, *Brandbekämpfung mit Wasser und Schaum, Reihe: Einsatzpraxis*, ecomed Sicherheit, **2008**.
- [40] *Technischer Bericht Druckluftschäum (DLS)*, Verein zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V. (VFDB), **2010**.
- [41] H. Kemper, *Vorbeugender Brandschutz, Reihe: Fachwissen Feuerwehr*, ecomed Sicherheit, **2012**.
- [42] F. Kircher, *Vorbeugender Brandschutz, Reihe: Die Roten Hefte/Ausbildung Kompakt 75*, W. Kohlhammer, **2008**.
- [43] F. Kircher, S. Georg, *Rauchabzug*, W. Kohlhammer GmbH, **2000**.
- [44] H.-G. Schümmer, H. Kruse, *BrandSchutz* **2011**, 05, 360-363.
- [45] L. Eichelberger, *FeuerTRUTZ*, Sonderheft Entrauchung, **2010**, 01, 37-39.
- [46] *VdS-Richtlinien 3527 für Inertisierungs- und Sauerstoffreduzierungsanlagen*, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln, **2007**.
- [47] *Information Arbeiten in Sauerstoffreduzierter Atmosphäre*, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin, **2013**.

-
- [48] Mündliche Mitteilung, C. Slaby, Leiter Einsatztaktik und Planung, LFS BaWü, **2016**
- [49] O. Widetschek, 6. Aprilsymposium 2005, Graz, A, **2005**
- [50] Mündliche Mitteilung, M. Reick, Kreisbrandmeister Landkreis Göppingen, **2016**

Hinweis

Die bisher veröffentlichten Forschungsberichte können auf den Homepages der

**Forschungsstelle für Brandschutztechnik
am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

<http://www.ffb.kit.edu>

und des

Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge

<http://www.idf.sachsen-anhalt.de/ueber-uns>

eingesehen werden.