



Lernunterlage B2-320

# Taktische Ventilation

---

Dezernat B2: Zugführer und Gefahrenprävention

Ausgabe Juli 2018

43 Seiten

---

## Inhalt

Diese Lernunterlage gibt Hinweise zum vorteilhaften Einsatz gezielter Lüftungsmaßnahmen und zur gezielten Rauchführung bei Brandeinsätzen in Wohngebäuden.

Die Lernunterlage verweist an einigen Stellen auf kurze Videos. Diese können über einen QR-Code aufgerufen werden.

---

## Urheberrecht

© IdF NRW, Münster 2018, alle Rechte vorbehalten.

Die vorliegende Lernunterlage darf, auch auszugsweise, ohne die schriftliche Genehmigung des IdF NRW nicht reproduziert, übertragen, umgeschrieben, auf Datenträger gespeichert oder in eine andere Sprache bzw. Computersprache übersetzt werden, weder in mechanischer, elektronischer, magnetischer, optischer, chemischer oder manueller Form.

Der Vervielfältigung für die Verwendung bei Ausbildungen der Feuerwehren des Landes Nordrhein-Westfalen wird zugestimmt.

---

---

## Anmerkung

Eine Schreibweise, die beiden Geschlechtern gleichermaßen gerecht wird, wäre sehr angenehm. Da aber entsprechende neuere Schreibweisen in der Regel zu großen Einschränkungen der Lesbarkeit führen, wurde darauf verzichtet. So gilt für die gesamte Lernunterlage, dass die maskuline Form, wenn nicht ausdrücklich anders benannt, für beide Geschlechter gilt.

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort .....	4
2	Einleitung.....	5
3	Ventilation.....	6
3.1	Luftströmungen innerhalb von Gebäuden .....	6
3.2	Luft-/ Rauchbewegungen in brennenden Gebäuden .....	8
3.3	Rauchführung .....	9
3.4	Maschinelle Ventilation .....	12
4	Einsatzablauf .....	16
4.1	Erkundung im Brandeinsatz .....	16
4.1.1	Eigene Lage .....	16
4.1.2	Schadenslage .....	16
4.2	Einsatzplanung .....	19
4.2.1	Abluftöffnung .....	21
4.2.2	Planung des Lüftungskanals .....	22
4.3	Befehl .....	35
4.4	Kontrolle .....	37
5	Zusammenfassung .....	39
I	Abbildungsverzeichnis .....	40
II	Anhang Brandphänomene .....	41

## 1 Vorwort

Diese Lernunterlage verweist an einigen Stellen auf kurze Videos. An diesen Stellen findet man QR-Codes. Diese QR-Codes verweisen auf den Youtube-Kanal des IdF NRW. Die Videos ergänzen dann jeweils die Lernunterlage mit kurzen Beispielen.

Die Lernunterlage richtet sich an Zugführer. Jedoch muss das Verständnis für die taktische Ventilation bei allen beteiligten Einsatzkräften vorhanden sein. Eine theoretische Betrachtung der Thematik durch diese Lernunterlage alleine wird nicht ausreichend sein. Das einsatztaktische Vorgehen muss über alle Führungsebenen hinweg trainiert werden. Durch Versuche und eine gezielte Einsatzauswertung muss sukzessive ein Erfahrungsschatz aller Beteiligter aufgebaut werden. Um hier Unterstützung zu bieten, beschreibt die Lernunterlage zusätzlich Versuche und Übungseinheiten, um komplette taktische Einheiten auf zukünftige Einsätze vorzubereiten. Die Lernunterlage stellt somit einen Baustein der Ausbildung zur taktischen Ventilation dar.

## 2 Einleitung

Die Taktische Ventilation ist die Entrauchung zur Erlangung eines taktischen Vorteils.

Bei Bränden in Wohngebäuden entsteht Rauch. Dieser Rauch ist ein Gemisch aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Die genaue Zusammensetzung variiert je nach brennendem Stoff. Neben Aerosolen, Ruß- und Staubpartikeln erhält der Brandrauch in der Regel mindestens Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Kohlenstoffmonoxid (CO). Darüber hinaus entsteht z.B. bei der Verbrennung von Polyvinylchlorid (PVC), Salzsäure (HCl) und bei der Verbrennung von Polyamid, Blausäure (HCN).

Ein Großteil der bei der Verbrennung frei werdenden Energie ist im heißen Rauch gespeichert. Eine Rauchsicht kann so viel Energie enthalten, dass sie durch Wärmestrahlung andere Stoffe aufheizt oder zum Ausgasen bringt. Aufgeheizter Brandrauch kann in Hohlräume von Zwischendecken strömen. Eine Brandausbreitung ist dann die Folge.

Schon bei kleinen Bränden kann relativ viel Rauch entstehen. Dieser verdrängt zunehmend die frische Luft. Durch die Thermik wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit heißen Brandrauches erhöht. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist im Regelfall wesentlich schneller, als die des eigentlichen Feuers. Der Rauch spielt bei den Phänomenen der extremen Brandausbreitung eine entscheidende Rolle. Raumdurchzündung, Rauchdurchzündung oder Rauchexplosion sind über den Brandrauch zu erklären. Kurze Erläuterungen dieser Brandphänomene finden sich im Anhang.

Die beim Brandeinsatz im Innenangriff eingesetzten Trupps sind trotz moderner Schutzkleidung und umluftunabhängigem Atemschutz physischen Belastungen durch Sichtbehinderung durch Brandrauch und Wärme und enormen Gefahren ausgesetzt.

Durch die Taktische Ventilation werden nun gezielt Maßnahmen gegen den Rauch und die Rauchausbreitung ergriffen. Hierdurch wird der Einsatz unterstützt oder der Einsatzerfolg erst erreicht.

Grundsätzlich werden natürliche und mechanische Belüftungsmaßnahmen unterschieden. Die mechanische Belüftung kann sowohl durch stationäre (RWA) Rauch- und Wärmeabzugsanlagen als auch durch von der Feuerwehr in Stellung gebrachter Belüftungsgeräte erreicht werden.

### 3 Ventilation

#### 3.1 Luftströmungen innerhalb von Gebäuden

Temperaturunterschiede und die damit verbundenen Dichteunterschiede der Luft sind ein Auslöser für Luftbewegungen innerhalb von Gebäuden. Ein alltägliches Beispiel hierfür ist die Zirkulation der Raumluft aufgrund eines Heizkörpers. Weitere Auslöser solcher Luftbewegungen können Temperaturunterschiede, ausgelöst durch die Sonneneinstrahlung sein.

#### Kamineffekt

So lässt sich oftmals in Treppenträumen eine Strömung beobachten, wenn an unterster (z. B. die Hauseingangstür) und oberster Stelle (z.B. ein Fenster) Öffnungen geschaffen werden. Mit Diskonebel kann diese Luftbewegung sehr gut sichtbar gemacht werden. Dieser Effekt wird häufig als „Kamineffekt“ beschrieben.



<https://youtu.be/JuaSldvHG6s>

Im Video ist der Kamineffekt eines Treppenraumes dargestellt.

Deutlich erkennt man, dass sobald die Zuluftöffnung geöffnet wird, der Rauchaustritt aus der Abluftöffnung zunimmt.

Das Video ist mit kaltem Diskonebel gedreht worden. Heiße Brandrauche verhalten sich anders. Der Versuch ist nur grundsätzlich auf reale Einsatzsituationen übertragbar. Die Thermik heißer Rauche ist wesentlich höher.

Wichtig hierbei ist die Feststellung, dass sich eine Strömung nur einstellt, wenn es sowohl eine Zuluftöffnung, als auch eine Abluftöffnung gibt. Diese Lüftungseffekte können ebenso beobachtet werden, wenn ein Fenster einer Wohnung im Obergeschoss geöffnet ist und die Tür zum Treppenraum, bei geöffneter Hauseingangstür, geöffnet wird. Auch hier gilt, dass sowohl eine Zuluftöffnung, als auch eine Abluftöffnung nötig ist.

Auch Temperaturunterschiede zwischen der Innentemperatur und der Außentemperatur sorgen für Luftbewegungen. Selbst bei einem geschlossenen Raum, bei dem nur ein Fenster geöffnet ist, wird es zu einem Luftaustausch mit der Außenluft kommen. Bei kalten Außentemperaturen wird aus einem geheizten Raum aus dem oberen Teil des Fensters warme Luft nach außen strömen, während durch den unteren Teil des Fensters kalte Luft einströmt.

Neben den Effekten durch Temperaturunterschiede innerhalb des Gebäudes spielen Windlasten eine entscheidende Rolle für Luftbewegungen innerhalb von Gebäuden. Drückt z. B. der Wind gegen die Fassade eines Hauses und werden auf der windzugewandten Seite und auf der windabgewandten Seite nun Fenster einer Wohnung geöffnet, ist eine Luftbewegung durch die Wohnung zu beobachten. Dieser Effekt wird z.B. zum Querlüften einer Wohnung genutzt. Winde haben jedoch mehr Effekte als die bloße Last gegen eine Fassade. Entlang von Flächen strömende Luftmassen erzeugen mit ihrer Strömungsgeschwindigkeit einen Unterdruck. Ist nun die Strömungsgeschwindigkeit an der Vorderseite des Hauses größer als auf der Rückseite entsteht ein Druckgefälle, dass durch einen Luftzug durch geöffnete Fenster (Vorderseite und Rückseite) einer Wohnung ausgeglichen wird. Zu berücksichtigen sind auch Effekte durch unterschiedliche Windgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Höhen des Gebäudes. Ist z. B. die Windgeschwindigkeit am Boden geringer als in der Höhe der obersten Geschosse können die unterschiedlichen Drücke an der Fassadenoberfläche Luftbewegungen innerhalb des Gebäudes auslösen.

## Windlasten

Weitere Effekte einer Luftbewegung entstehen durch im Gebäude installierte Belüftungsanlagen. Innenliegende Bäder oder besonders wärmeisolierte Gebäude haben zur Verbesserung des Raumklimas oftmals eingebaute Lüftungstechnische Anlagen. Diese sollen gezielt Luftströmungen auslösen. Hier wird Teils mit einer natürlichen Ventilation gearbeitet, Teils mit einer maschinellen.

## Lüftungstechnische Anlagen

In der Praxis überlagern sich alle beschriebenen Effekte. Je nach Wind und Wetter, Sonnenstand, Temperaturgefälle innerhalb der Gebäude, eingebauter Lüftungstechnik oder Heizungszustände dominieren einzelne Strömungseffekte. Ad hoc im Voraus zu sagen, wie sich eine Luftströmung innerhalb eines Gebäudes einstellen wird, ist kaum möglich.

Beispiel Einfamilienhaus: Innerhalb des Hauses sind alle Türen geöffnet. Im ersten Obergeschoss ist ein Fenster geöffnet, die anderen Fenster sind alle geschlossen. Öffnet man nun die Haustür wird sich an manchen Tagen eine Strömung einstellen, bei der Luft durch die Hauseingangstür ins Gebäude und durch das Fenster im ersten Obergeschoss aus dem Gebäude drückt. An anderen Tagen ist beim selben Haus mit denselben geöffneten Fenstern und Türen der Effekt genau andersrum. An wieder anderen Tagen lässt sich eine wechselnde Strömung beobachten. In der einen Minute strömt Luft durch die Haustür hinein, in der anderen Minute kommt dort Luft hinaus.

Die Vorgänge in der Praxis sind zu komplex, als dass man diese ohne umfassende strömungstechnische Betrachtung in jedem Fall sicher voraussagen könnte.

### 3.2 Luft-/ Rauchbewegungen in brennenden Gebäuden

Beobachtet man ein Feuer im Freien so stellt man fest, dass der heiße Rauch durch die Thermik nach oben entweicht. Die zur Verbrennung notwendige Luft strömt von den Seiten herbei. Trifft der Rauch nun an eine Decke, eine horizontale Fläche, so breitet er sich unter dieser Decke zu den Seiten weiter fort. Erreicht er den Rand der Fläche, quillt er über den Rand noch oben empor. Es sei denn, er kühlt sich so weit ab, dass er seine Auftriebskraft verliert.

#### Rauchausbreitung

Innerhalb von Räumen steigt der Rauch ebenso empor, sammelt sich unter der Decke und breitet sich unter dieser weiter aus. Ist die Rauchsicht stark genug, so quillt der Rauch durch offene Fenster oder Türen und breitet sich weiter aus. Auch hier verliert der Rauch mit abnehmender Temperatur an Auftriebskraft. Während der Ausbreitung verdrängt der Rauch die vorhandene Luft und/oder durchmischt sich mit dieser. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Rauches wird beeinflusst durch die Menge des bei der Verbrennung entstehenden Rauches und der Temperatur des Rauches. Je mehr Rauch bei der Verbrennung entsteht, je schneller breitet er sich aus – je heißer der Rauch ist, je stärker ist der Auftrieb des Rauches.

Die Ausbreitungsrichtung und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Rauches werden durch die natürlichen Luftbewegungen beeinflusst. Genauso wie der Wind den Rauch im Freien mitträgt, kann eine zum Beispiel durch Wind ausgelöste Strömung innerhalb des Gebäudes zu einer Rauchausbreitung führen, die man so nicht erwartet hätte.

Verändert man die Strömungsbedingungen innerhalb von Gebäuden, so hat dies Einfluss auf die Rauchausbreitung. Stellen wir uns einen Brand innerhalb eines Raumes vor. Bei diesem Brand soll der entstehende Rauch durch ein geöffnetes Fenster ausströmen. Öffnet man nun die Tür zu diesem Brandraum, so kann durch die geöffnete Tür frische Luft einströmen und der Rauchaustritt aus dem Fenster nimmt zu. Steht jedoch Wind auf dem Fenster so kann es passieren, dass der Rauch aus der nun geöffneten Tür austritt und das Fenster plötzlich als Zuluftöffnung fungiert. Somit kann man beim Brand durch das Öffnen und Schließen von Fenstern und Türen aktiv Einfluss auf die Rauchausbreitung nehmen. Jedoch sind die Auswirkungen unseres Handelns nicht immer mit absoluter Sicherheit vorhersehbar.



### 3.3 Rauchführung

Bei Bränden in Gebäuden stellt sich eine Rauchausbreitung ein. Die Ausbreitung wird durch die Brandintensität, die Gegebenheiten durch das Gebäude (Größe, Öffnungen, Geometrie) und durch die weiteren Einflüsse (Wetter, Wind) bestimmt.

Einsatztaktisch verdient der Rauch eine besondere Betrachtung. Verrauchte Bereiche stellen für Menschen aufgrund der Giftigkeit und Temperatur des Rauches eine hohe Gefahr dar. Daneben verursacht Rauch erhebliche Sachschäden oder kann Brände an anderer Stelle auslösen. Auch erschwert Rauch das Vorgehen eingesetzter Kräfte und gefährdet diese. Trifft man also gezielte Einsatzmaßnahmen gegen den Rauch, so kann man oftmals einsatztaktische Vorteile erzielen.

Schon bei der Planung und dem Bau von Gebäuden wird eine mögliche Rauchausbreitung im Brandfall besonders betrachtet. Gebäude werden so errichtet, dass eine ungehinderte Rauchausbreitung durch konstruktive Maßnahmen oder anlagentechnische Vorrichtungen verhindert wird. Aus den Unterrichten zum vorbeugenden Brandschutz ist bekannt, dass Nutzungseinheiten (z. B. Wohnungen) gegeneinander durch Wände und Decken abgeschottet sind. Mit zunehmender Größe und Höhe der Gebäude steigen die Anforderungen an diese Decken und Wände. Dort, wo die Abschottungen nutzungsbedingt geöffnet werden müssen, treten andere Elemente ein. Von einfachen, dichtschießenden Türen zu Wohnungen (die naturgemäß nicht die gleiche Abschottung bieten können wie eine Wand) hin zu zertifizierten Brandschutz-toren in Brandwänden, die im Brandfall selbständig schließen sollen, sind sehr viele Lösungen umgesetzt. Gemeinsam haben diese, dass Sie eine Rauchausbreitung verhindern können. Bei dem Thema Rauchführung spielen die Abschottungen eine zentrale Rolle. Funktionieren sie, so kann oftmals eine ungewollte Rauchausbreitung verhindert werden.

#### **Abschottung**

Durch das Thema Rettungswege ist bekannt, dass es im Regelfall zwei unterschiedliche Rettungswege gibt. Aus der normalen Nutzung heraus ergibt sich, dass der erste Rettungsweg baulich ausgeführt ist. Wird dieser Rettungsweg als Angriffsweg gewählt, so kann es zu einer Rauchausbreitung über diesen Weg kommen, wenn z.B. die Wohnungstür zur Brandwohnung geöffnet wird und der Rauch in den Treppenraum eindringt. Das Vorgehen über einen alternativen Zugangsweg, z. B. über die Leitern der Feuerwehr ist oftmals für die Rauchausbreitung vorteilhafter. Stehen zwei bauliche Wege zur Verfügung hat vielleicht der eine Weg dem Anderen gegenüber Vorteile. In der Einsatzplanung sollte geprüft werden, ob die Rauchausbreitung über den gewählten Angriffsweg verhältnismäßig zum gesetzten Einsatzziel ist. Oftmals bestimmen jedoch andere Faktoren den Zugangsweg. Selbst wenn es für die Rauchausbreitung besser wäre über Leitern der Feuerwehr vorzugehen, können andere Erkundungsergebnisse dagegen sprechen: z.B. die Rettung einer leblosen Person aus der Brandwohnung.

#### **Rettungswege**

## Mobiler Rauchverschluss

Technisch ist durch den mobilen Rauchverschluss eine Lösung gefunden worden, eine Rauchausbreitung durch geöffnete Türen zu minimieren. Anstelle der Tür, stellt sich der Rauchvorhang gegen den Rauch. Jedoch ist auch hier einsatztaktisch zu entscheiden, ob die Vorteile des Rauchvorhanges die Nachteile überwiegen. Vielleicht soll der Rauch die Brandwohnung verlassen können um die Sicht und die Temperatur in der Wohnung zu verbessern. Das Einsetzen des Rauchvorhanges benötigt wenige Sekunden – was zu einem Zeitverzug führen kann. Auch ist der Rauchvorhang im Gegensatz zu einer geschlossenen Tür weniger dicht. Starke Strömungen (ausgelöst z.B. durch Windlasten auf die Fassade) lassen den Rauchvorhang nahezu unwirksam werden. Somit ist der Einsatz eines Rauchvorhanges eine einsatztaktische Entscheidung, die durch die Führungskraft getroffen werden sollte.



<https://youtu.be/xB-b6jMy0OA>



<https://youtu.be/TKtyAVi-NMs>

Die Videos zeigen den Unterschied an einer Wohnungseingangstür zwischen dem Öffnen mit und ohne Rauchvorhang.

Deutlich erkennt man den Rauchaustritt in den Treppenraum, wenn kein Rauchvorhang gesetzt wird. Im zweiten Video hält der Rauchvorhang ein Teil des Rauches zurück.

Die Videos sind mit kaltem Discobebel gedreht worden. Heiße Brandrauche verhalten sich anders. Der Versuch ist nur grundsätzlich auf reale Situationen übertragbar.

## Rauchableitung

Neben dem Zurückhalten des Rauches kann in anderen Fällen eine gezielte Rauchabführung taktische Vorteile bringen. Mit dem Rauch wird Wärme abgeführt, die Sicht für vorgehende Trupps wird verbessert und eine ungewollte Rauchausbreitung in gefährdete Bereiche kann verhindert werden. Auch hier

sind in Gebäuden die dafür notwendigen Elemente vorhanden. Das einfachste Mittel zur Rauchabführung sind Fenster. Diese können von außen und innen geöffnet/eingeschlagen werden, um gezielt Rauch aus Bereichen abzuleiten. Treppenträume bieten ebenfalls die Möglichkeit, mittels Fenster entrauchung zu werden. Ab einer gewissen Höhe oder Gefährdung gibt es im Erdgeschoss und im obersten Geschoss Auslöseeinrichtungen, um Fenster zum Rauchabzug öffnen zu können. Handelt es sich um innenliegende Treppenträume (solche, die nicht an einer Außenwand liegen und somit keine Fenster ins Freie haben) gibt es im Regelfall ebenfalls Auslöseeinrichtungen, um dennoch den Rauch abführen zu können. Während der Erkundung sind solche Elemente zu suchen. Neben dem Schaffen einer Abluftöffnung ist jedoch zu bedenken, dass es für eine wirksame Entrauchung auch einer entsprechenden Zuluftöffnung bedarf. Auch durch Türen und Tore kann oftmals Rauch und Wärme direkt ins Freie geleitet werden. Für große Hallen, Industriebauten oder Verkaufsstätten gibt es in der Regel Entrauchungskonzepte. Hier kann es erforderlich werden, dass die Entrauchung durch die Einsatzkräfte der Feuerwehr (z. B. durch Auslösen der RWA) eingeleitet werden muss. Gegebenenfalls gibt es eine Brandfallsteuerung. Dies bedeutet, dass für vorgeplante Ereignisse Zuluft und Abluftöffnungen automatisch geschaffen werden. Diese Automatik wird z.B. durch die Brandmeldeanlage ausgelöst.

Das gezielte Ableiten von Rauch und Wärme sollte als Option in der Einsatzplanung abgewogen werden.

Bei der natürlichen Entrauchung haben die weiteren Bedingungen erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahmen. Man hat einige Male gute Erfahrungen mit dem mobilen Rauchverschluss gemacht und beim nächsten Mal ist der Wind so stark, dass trotzdem Rauch in den Treppenraum eindringt. Man öffnet an oberster Stelle im Treppenraum ein Fenster, um diesen zu entrauchen. Der Rauch kommt aber nicht oben aus dem Fenster sondern unten aus der Eingangstür – weil ausgerechnet heute der Wind ungünstig bläst. Der Trupp öffnet die Tür zur Brandwohnung und plötzlich steht eine bis dahin unbedrohte Person am Fenster voll im Rauch. Wie bereits oben beschrieben, können nicht alle Auswirkungen des geplanten Handelns 100 %ig vorausgesagt werden. Die Einsatzplanung muss auf diese Eventualitäten eingestellt werden. Am Beispiel der Person am Fenster bedeutet dies, dass man im einfachsten Fall diese zuerst rettet und man erst danach die Tür zur Brandwohnung öffnet.

### 3.4 Maschinelle Ventilation

Wie beschrieben stellt sich in Gebäuden eine Luftströmung ein. Insbesondere in brennenden Gebäuden entstehen durch die Rauchentwicklung und die Thermik besondere Rauchbewegungen.

Durch eine maschinelle Ventilation kann man nun die natürlichen Luftbewegungen unterstützen oder gegen diese arbeiten. Der Vorteil hierdurch entsteht dadurch, dass man Strömungen einstellen kann, die sich aufgrund einer natürlichen Ventilation nicht einstellen würden. Durch die maschinelle Ventilation können die gewünschten Effekte wesentlich schneller und gezielter erreicht werden. Bereiche können zielgerichtet rauchfrei gehalten werden. Der maschinellen Ventilation sind auch hier technische Grenzen gesetzt. Das zu ventilierende Volumen muss zur Lüfterleistung passen (in riesigen Hallen erreicht man mit normalen Lüftern kaum Effekte). Gegen besonders starke natürliche Strömungen sind auch die leistungsstarken Lüfter oftmals unterlegen. Steht starker Wind ungünstig auf die vorgesehene Abluftöffnung, vielleicht verbunden mit ungünstigen Strömungsverhältnissen innerhalb des Gebäudes, kann der Lüfter wirkungslos sein.

#### Vorteile der maschinellen Ventilation

Was sind nun die Vorteile der maschinellen Ventilation?

- Sichereres und schnelleres Vorgehen:  
Ein vorgehender Trupp geht mit der Frischluft vor. Der Rauch wird in seiner Bewegungsrichtung vor ihm hergetrieben.
- Schnelleres Auffinden von Personen  
Die Sicht verbessert sich. Der Rauch wird durch Frischluft „ersetzt“. Bereiche können so besser überblickt werden.
- Verdünnung von Schadstoffkonzentrationen:  
Die frische Luft verdünnt Schadstoffe.
- Wärmereduktion:  
Mit dem Rauch wird gleichzeitig auch die Wärme abgeführt. Die Erträglichkeit für den vorgehenden Trupp und zu rettende Personen wird besser. Die thermische Belastung von Bauteilen sinkt.
- Schadensminimierung  
Der Rauch und die Wärme werden gezielt geführt, abgeführt. Damit nehmen Sachwerte weniger Schaden.
- Freihalten von Rettungs- und Angriffswegen  
Rettungswege können rauchfreigehalten werden und stehen somit weiter als Rettungs- und sichere Angriffswege während des Brandes zur Verfügung,
- Entrauchen von Rettungs- und Angriffswegen  
Verrauchte Rettungswege können wieder als sichere Fluchtwege hergestellt werden.

*Versuch: Die Effekte der Ventilation können in einem Versuch verdeutlicht werden. Eine Wohnung in einem Übungshaus, einem Abrisshaus etc.) wird komplett verraucht (hierfür eignet sich Diskonebel). Ein Fenster der Wohnung ist geöffnet. Die Fenster im Treppenraum und die weiteren Türen im Treppen-*

raum sind geschlossen. Die Hauseingangstür ist geöffnet. Öffnet man nun die Wohnungseingangstür wird man eine leichte Rauchbewegung sowohl an der geöffneten Wohnungseingangstür, als auch am Fenster wahrnehmen können. Je nach Wetter und Gebäude kommt Rauch entweder aus dem Fenster oder aus der Wohnungstür.

In einem zweiten Versuch stellt man, ohne etwas Weiteres zu verändern, einen Lüfter vor die Hauseingangstür und ventiliert in den Treppenraum. Öffnet man nun die Wohnungseingangstür, so wird man in der Wohnung beobachten, wie die frische Luft den Rauch vor sich hertreibt. An dem geöffneten Fenster quillt massiv Rauch heraus. In der Wohnung stellt sich ein Strömungskanal ein. Auf dem Weg zwischen Tür und Fenster wird der Rauch herausgedrückt. In Räumen abseits dieses Strömungskanals sieht man nur schwache Effekte. Der Rauch bleibt in diesen Räumen gefangen und verwirbelt.



<https://youtu.be/aoVA-DQ6dRM>



<https://youtu.be/aEBLiOYAnIq>

Im Video ist die maschinelle Entrauchung einer Wohnung dargestellt.

Deutlich erkennt man, den Rauchaustritt an der Abluftöffnung, sobald die Wohnungstür (zum Treppenraum) geöffnet wird.

Im zweiten Video erkennt man die allmähliche Sichtverbesserung in der Wohnung.

Die Videos sind mit kaltem Diskonebel gedreht worden. Heiße Brandrauche verhalten sich anders. Der Einfluss der Belüftung auf eine Brandausbreitung kann nicht dargestellt werden. Durch den Diskonebel wird nur die Strömung sichtbar gemacht.

Die Beobachtungen im Versuch lassen sich grundsätzlich auf die Ventilation in einen realen Brandraum übertragen. Aus Richtung der Zuluftöffnung wird der Rauch Richtung Abluftöffnung getrieben. Dieser Strömungskanal wird zusehends rauchfrei. Gefangene Räume erleben nur einen untergeordneten Effekt. Nicht zu beobachten ist bei dem Versuch jedoch die Wirkung der Ventilation

auf einen herrschenden Brand. Die Beobachtungen mit Diskonebel müssen in diesem Punkt auf einen realen Brand mit realem Brandrauch übertragen werden.

Je nach Brandphase sind die Effekte unterschiedlich. In der Praxis lassen sich die Brandphasen jedoch nicht so deutlich voneinander trennen, so dass sich die Effekte auch überlagern können:

#### Entstehungsbrand

Der Brand befindet sich in der Entstehungsphase. Er ist noch brennstoffkontrolliert. Durch die Ventilation wird der Brand angefacht und das Feuer wird größer. Gleichzeitig wird der entstehende Rauch aus der Wohnung getrieben. Durch die Ventilation wird verhindert, dass sich heiße Rauchgase unter der Decke sammeln können. Ein großer Teil der entstehenden Wärme wird abgeführt. Der Weg zwischen Zuluftöffnung und Brand wird mit Frischluft „gefüllt“, so dass der Trupp schneller und mit besserer Sicht vorgehen kann, um den Brand zu bekämpfen.

#### Weit vor der Raumdurchzündung

Im Brandraum haben sich bereits heiße Gase (Pyrolysegase) unter der Decke gesammelt, sind aber noch weit von der UEG entfernt. Durch die Ventilation werden nun Brandrauch und Pyrolysegase aus dem Raum getrieben. Gleichzeitig wird der Brand angefacht. Durch die Ventilation kann ggf. die Raumdurchzündung verhindert werden.

#### Kurz vor der Raumdurchzündung

Im Brandraum haben sich bereits heiße Gase (Pyrolysegase) unter der Decke gesammelt. Teilweise befinden sich diese an der Grenzschicht zwischen Rauch und Raumluft schon in zündfähigen Bereichen. An einzelnen Stellen zünden diese bereits kurz durch. Die Oberflächen im Raum sind sehr stark aufgeheizt. Durch die Ventilation werden nun Brandrauch und Pyrolysegase aus dem Raum getrieben. Durch den Lüftereinsatz vermischen sich brennbare Gase mit frischem Sauerstoff. Gleichzeitig wird der Brand angefacht. Durch die Strahlungswärme kann der Raum schneller aufgeheizt werden, als die Wärme mit dem Rauch abgeführt wird. Somit kann in diesem Moment eine Raumdurchzündung vielleicht nicht mehr verhindert werden, ggf. wird diese durch die Ventilation gar ausgelöst. Neben Rauch können nun auch Flammen aus der Abluftöffnung austreten.

#### Nach der Raumdurchzündung

Alle Oberflächen im Raum stehen im Brand (Vollbrand). Der Brand ist nun ventilationsgesteuert. Durch den Lüfter wird dem Brand der fehlende Sauerstoff zugeführt. Dadurch steigt die Verbrennungsgeschwindigkeit stark an. Jedoch entwickelt sich der Brand in Richtung Abluftöffnung weiter. Zwischen Zuluftöffnung und Brand wird durch die Frischluft die Temperatur heruntersetzt. Neben Rauch können nun auch Flammen aus der Abluftöffnung austreten.

### Vor der Rauchexplosion

Die Gase befinden sich oberhalb der OEG. Durch die Ventilation werden diese mit Frischluft vermischt. So kann es zu einer Zündung der Gase innerhalb des Brandraumes kommen. Ebenso ist denkbar, dass sich das zu fette Gemisch erst hinter der Abluftöffnung ausreichend mit Luftsauerstoff vermischt und es zu einer Entzündung in der Abluftöffnung oder in einem Abstand zur Abluftöffnung außerhalb des Raumes kommt.

Der Einfluss auf das Brandgeschehen sollte in der Planung berücksichtigt werden. Ein großer Vorteil der Ventilation ist, dass die Bedingungen zwischen Zuluftöffnung und Brand tendenziell besser werden. Wärme und Rauch werden in diesem Bereich abgeführt, die Erträglichkeit für zu rettende Personen in diesem Bereich steigt, Personen können schneller gefunden werden und der Brand kann schneller bekämpft werden. Auch sind die weiteren positiven Einflüsse auf die Rauchführung zu bedenken. Die Rauchausbreitung wird durch die Maßnahme gezielt gesteuert. Eine Ausbreitung an der Abluftöffnung (Flammenaustritt, Rauchaustritt) kann gegebenenfalls beherrscht werden.

## 4 Einsatzablauf

### 4.1 Erkundung im Brandeinsatz

#### 4.1.1 Eigene Lage

Jede Erkundung beginnt mit der eigenen Lage. Dies bedeutet, dass man Ausbildungsstand der Mannschaft, Führungsmittel und Technik kennen muss. Ist die Mannschaft trainiert im Lüftereinsatz? Kennt die Mannschaft die Einsatzgrundsätze beim Lüften und wendet die Mannschaft diese an? Sind die Abläufe bekannt? Wie funktioniert der mitgeführte Lüfter? Wie groß ist der Kräfteansatz für die Vornahme des Gerätes? Welche Belange der Raumordnung erfordert der Lüfter?

#### Lüfertypen

Die Industrie entwickelt die Lüfter ständig weiter. Regelmäßig kommen Neuerungen auf den Markt. Alle Modelle haben besondere Vorteile, aber auch Nachteile. Bei der Beschaffung muss ich diese Abwägen und den entsprechenden Lüfter für meinen vorgesehenen Einsatzzweck auswählen. Im Einsatz muss ich mit den vorhandenen Geräten klar kommen. Neben unterschiedlichsten Antriebsarten (Verbrennungsmotor, Wassermotor, Elektromotor mit und ohne Akkubetrieb) unterscheiden sich die Lüfter in ihren Leistungsmerkmalen und dem Strömungsbild. Teilweise gibt es umfangreiches Zubehör (Abgasschlauch, Druck- und Saugglutten, Wassernebelvorsatz, Leichtschaumvorsatz, Luftleithaube, Ventilations-Box). In den beigefügten Betriebsanleitungen gehen die Hersteller darauf ein und machen Angaben zur optimalen Aufstellung und den Einsatzgrenzen. Neben den Herstellerangaben zum optimalen Aufstellungsort sind auch die anderen Belange an die Raumordnung im Einsatzfall zu beachten. Steht der Lüfter beispielsweise vor einer Hauseingangstür und soll durch diese ein Löschangriff vorgetragen werden, so wird Platz für die Schlauchreserve und für das sichere Hindurchgehen benötigt. So kann es passieren, dass technische Belange an die Positionierung des Lüfters taktischen Belangen nachstehen.

Für die Einsatzkräfte – besonders die Führungskräfte – bedeutet dies, dass man sich tiefgreifend mit der eigenen Technik auseinandersetzen muss.

#### 4.1.2 Schadenslage

Die zielgerichtete Erkundung der Schadenslage ist Grundlage für den erfolgreichen Einsatz. Erstes Ziel ist herauszufinden, ob Menschen gefährdet sind, um dann gegebenenfalls schnell die erforderlichen Maßnahmen planen und einleiten zu können.

Während der Erkundung im Brandeinsatz sollten verrauchte Bereiche erkannt werden. Es muss geplant werden, ob gezielte Maßnahmen gegen den Rauch Vorteile ergeben können. Für den Lüftereinsatz haben in der Einsatzplanung folgende Fragen Relevanz:



- Kann ein Lüfter den Einsatzerfolg sichern oder erhöhen? Ist es erforderlich, dass schnell Bereiche entraucht werden (Sichtverbesserung, Wärmeabfuhr, ...), sollen Bereiche rauchfrei gehalten werden?
- Wo ist eine mögliche Zuluftöffnung? Ist dieser Weg auch als Angriffsweg geeignet?
- Wie ist der Strömungskanal? Welche Fenster und Türen sind offen, durch die die Luft entweicht? Befinden sich unbedrohte Personen im Strömungskanal die durch die Ventilation in Gefahr gebracht werden? Ist der Strömungskanal sicher (können z.B. durch die Strömung noch offene Türen zuschlagen)?
- Wohin könnte sich der Rauch durch die Ventilation ungewollt ausbreiten? Wie hoch wäre das Risiko?
- Gibt es eine vorhandene, geeignete Abluftöffnung? Wo kann eine Abluftöffnung geschaffen werden? Was wird durch den austretenden Rauch/ggf. Flammen an der Abluftöffnung gefährdet, wo zieht der austretende Rauch vermutlich hin? Gibt es Menschen in der Abluftöffnung (z.B. eine Person am Fenster) die durch die Ventilation gefährdet würden? Können durch die Abluft bedrohte Objekte aktiv gesichert werden (z.B. ein Strahlrohreinsatz zum Schutz des über der Abluftöffnung liegenden Geschosses)? Kann die Abluftöffnung als Angriffsweg abgeschlossen werden?
- In welcher Phase befindet sich der Brand? Wie wird ein Lüftereinsatz den Brandverlauf beeinflussen?

Um diese Fragen ausreichend beantworten zu können, ist eine umfangreiche Erkundung notwendig. Oftmals wird man bei Gebäuden die Rückseite erkunden müssen, um offene Fenster, mögliche Abluftöffnungen, bedrohte Personen, Fenster im Treppenraum, das Brandgeschehen usw. erkunden zu können. Auch ein Blick in Treppenräume wird oftmals notwendig werden. Diese Erkundung dauert seine Zeit. Trotzdem sollen die Maßnahmen zügig anlaufen und abgeschlossen werden. Diesen Konflikt kann man durch den Einsatz mit Bereitstellung lösen. Lässt man Einsatzkräfte (z.B. eine einzelne Einheit, ein Staffel im HLF) früh in den Einsatz mit Bereitstellung gehen, laufen Erkundung und Vorbereiten der Maßnahmen zeitgleich ab. Somit gewinnt man die Zeit, die für die umfassende Erkundung notwendig ist, ohne dass die Durchführung der Maßnahmen verzögert eingeleitet werden muss. Der Einsatz mit Bereitstellung schafft hier die Ruhe für die notwendige Erkundung und sollte möglichst früh befohlen werden.

Er sollte so gestaltet werden, dass man sich die weiteren Optionen des Vorgehens offen hält. Ein weiteres Mittel um Maßnahmen bereits vorzubereiten, ist die frühzeitige Schaffung einer Anleiterbereitschaft. Hieraus kann sich später die Schaffung einer Abluftöffnung im Obergeschoss entwickeln. Insbesondere die frühzeitige Anleiterbereitschaft einer Drehleiter hat hier erhebliche

## **Einsatz mit Bereitstellung**

Vorteile gegenüber tragbarer Leitern. Auch kann während der Erkundung bereits der Lüfter in Bereitstellung gebracht werden

- an die wahrscheinliche Zuluftöffnung
- um 90° aus der späteren Lüftungsrichtung herausgedreht, um eine unbeabsichtigte, unkoordinierte Ventilation auszuschließen
- und einsatzbereit in Betrieb genommen (im Standgas laufend, mit angeschlossener Stromleitung oder Wasserleitung, je nach Lüftertyp)

Diese Maßnahmen schaffen nach hinten heraus einen deutlichen Zeitgewinn.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass eine Erkundung für einen späteren, möglichen Lüftereinsatz an Umfang zunimmt und Vorbefehle (z.B. Einsatz mit Bereitstellung) für den Einsatzerfolg an Bedeutung gewinnen.

## 4.2 Einsatzplanung

Im Rahmen der Einsatzplanung muss aus Sicht des Lüftereinsatzes betrachtet werden, ob durch diesen einsatztaktische Vorteile erzielt werden können. Der Einsatz des Lüfters ist auch mit Nachteilen behaftet. Vorteile und Nachteile müssen ganzheitlich gegeneinander abgewogen werden. Teilweise im Text bereits erwähnte Punkte sind anschließend nochmals zusammenfassend aber nicht abschließend aufgelistet, die in Erwägung gezogen werden können:

Mögliche Ziele des Lüftereinsatzes:

- Sichereres und schnelleres Vorgehen
- Schnelleres Auffinden von Personen
- Verbesserung der Sichtverhältnisse
- Verdünnung von Schadstoffkonzentrationen
- Wärmereduktion
- Schadensminimierung
- Freihalten von Rettungs- und Angriffswegen
- Entrauchen von Rettungs- und Angriffswegen
- ...

### Ziele des Lüftereinsatzes

Zu bedenken:

- Branddynamik, Veränderung durch die Ventilation
- Ausbreitung an der Abluftöffnung
  - Maßnahmen zur Sicherung notwendig, abhängig vom Brandgeschehen?
  - Muss die Abluftöffnung beobachtet werden, abhängig vom Brandgeschehen?
  - ...
- Strömungskanal
  - Müssen Fenster/ Türen geöffnet/geschlossen werden?
  - Ist die Abluftöffnung ausreichend groß für die Entrauchung?
  - Habe ich Öffnungen, die das Rauch Freihalten scheitern lässt?
  - Wohin drücke ich den Rauch ungewollt?
  - Kann sich Rauch durch den Lüfter in Bereiche ausbreiten (Öffnungen, Lüftungskanäle, Lüftungsanlagen) und gefährdet dies den Einsatzerfolg?
  - Kann der Lüftungskanal versagen, z.B. weil durch den Luftzug innenliegende Türen zuschlagen?
  - Kann der Rauch in Fenster/ Öffnungen oberhalb der Abluftöffnung eindringen?
  - ...
- Gibt es Gründe, die gegen die Ventilation sprechen?
  - Menschen in der Abluftöffnung
  - Vorgehende Trupps durch die Abluftöffnung
  - Gefährliche Ausbreitung
  - ...
- Ausbildungsstand der Mannschaft/Führungskräfte
  - Kann die Mannschaft die Maßnahme umsetzen?

- Sind die Führungskräfte ausreichend geschult die Aufträge umzusetzen?
- Ist die Bedienung der Geräte bekannt?
- Sind die notwendigen Abläufe ausreichend trainiert worden?
- Können die vorgehenden Trupps meldepflichtige Situationen erkennen und die notwendigen Meldungen absetzen? Wissen die Trupps, welche Maßnahmen eine Absprache mit der Führungskraft erfordern?
- ...
- Kann der eingeleitete Lüftereinsatz abgebrochen werden, wenn dadurch gefährliche Situationen ausgelöst werden, die vorher nicht bedacht wurden?
- Kräfteansatz Lüftereinsatz, mögliche notwendige Aufgaben die erledigt werden müssen:
  - Führung der unterschiedlichen Einsatzabschnitte
  - Vornahme Lüfter
  - Schaffung Abluftöffnung
  - Sicherung/ Beobachtung Abluftöffnung
  - Wasserversorgung
  - Schaffung des Zuganges/Türöffnung
  - Vorgehender Trupp
  - Sicherheitstrupp
  - Atemschutzüberwachung
  - Bedienung der Pumpe
  - ...
- ...

### 4.2.1 Abluftöffnung

Bei Bränden in Gebäuden eignen sich insbesondere vorbereitete RWA (z.B. wenn vorhanden in Treppenträumen), Fenster oder Türen für die Abluftöffnung. Grundsätzlich verbessert sich die Entrauchung mit zunehmender Größe der Abluftöffnung. Eine zu kleine Abluftöffnung kann die Entrauchung scheitern lassen. Werden jedoch zu viele Fenster geöffnet oder ist die Abluftöffnung viel zu groß, wird die Rauchführung weniger gezielt.

Fenster einzuschlagen ist oftmals eine schnelle Möglichkeit gezielt Abluftöffnungen zu schaffen. Jedoch ist in den letzten Jahren die mechanische Widerstandskraft von Fenstern stark gestiegen. So kann das Einschlagen einer Wärmeschutzverglasung ein eigener Einsatzauftrag für eine Einheit werden. In Obergeschossen eignet sich zum Einschlagen insbesondere der Korb der Drehleiter als Standplatz. Das Schaffen der Öffnung ist ein starker Eingriff in die Branddynamik. Auf die möglichen Folgen (Flammenaustritt, starker Rauchaustritt) sollten die Einsatzkräfte vorbereitet und ausreichend geschützt sein. Im Gefahrfall sollte der Korb aus dem Gefahrenbereich geschwenkt werden können. Das Ausrüsten für den Atemschutzeinsatz ist bei modernen Drehleitern für den Fahrzeugführer möglich und sollte bei dem jeweiligen Stichwort obligatorisch sein.

**Sichere  
Abluftöffnung**

Ein weiterer zu bedenkender Effekt ist, dass eingeschlagene Scheiben im weiteren Einsatzverlauf nicht mehr geschlossen werden können.

Werden Fenster gewählt, die bereits „auf Kipp“ stehen, ist zu bedenken, dass diese Öffnung sehr klein ist diese durch den Luftzug jederzeit zu schlagen können. Werden Türen als Abluftöffnung benutzt, müssen diese gegebenenfalls festgekeilt werden.

Im Einsatzverlauf kann es notwendig werden, die Abluftöffnung mit einem Strahlrohr zu sichern. Wird jedoch Wasser in die Abluftöffnung gegeben, so kann der entstehende Wasserdampf den Strömungskanal „verstopfen“ und die Entrauchung unwirksam werden lassen. Auch Einsatzkräfte im Innern werden gegebenenfalls stark gefährdet. Daher wird oftmals der Grundsatz beschrieben, dass man kein Wasser in die Abluftöffnung geben soll. Das Strahlrohr soll zum Schutz der Umgebung (Geschoss oberhalb, die Traufe, etc.) eingesetzt werden. Ein kurzzeitiger Außenangriff, um die Zeit der Vorbereitung im Inneren zu überbrücken, sollte vor dem Betreten der Brandwohnung und der Ventilation beendet sein.

## 4.2.2 Planung des Lüftungskanals

Je nach Lüftungsziel müssen Fenster und Türen gezielt geöffnet/geschlossen werden. Manche sind zu Beginn des Einsatzes vorzubereiten, andere müssen im laufenden Einsatz geschlossen/geöffnet werden. Manchmal wird eine Abluftöffnung benötigt, manchmal darf es zur Erreichung des Zieles keine Abluftöffnung geben. Vieles kann man durch Überlegen, Diskutieren mit Kameradinnen und Kameraden oder durch Lektüre von Fachliteratur nachvollziehen. Jedoch sind gerade in diesem Bereich das Ausprobieren in der Praxis und das Sammeln von Erfahrung von besonderer Bedeutung. Insbesondere auf Grund der Anfangs beschriebenen vielen Einflussmöglichkeiten (Wetter, Brandgeschehen, Gebäudegeometrie), können in der Praxis oftmals nicht alle Faktoren betrachtet werden. Daher sollten umfangreiche Versuche an unterschiedlichen Objekten bei unterschiedlichem Wetter durchgeführt werden. Werden diese Versuche mit Einsatzübungen kombiniert, schulen sie gleichzeitig das Vorgehen und die notwendigen Absprachen aller im Einsatz beteiligten Kräfte.

Insbesondere eignen sich kleine Einsätze, die auch ohne Lüfter gemeistert werden können, um die notwendige Erfahrung zu sammeln. So kann man zum Beispiel alle Abläufe auch bei „Essen auf Herd“ ohne wirklichen Brand bei minimaler Rauchentwicklung trainieren. Um dennoch dem strengen Maßstab der Verhältnismäßigkeit gerecht zu werden kann z.B. hier die Abluftöffnung von Innen, durch das Öffnen eines Fensters geschaffen werden, anstelle dieses von außen einzuschlagen.

Übungen und Einsätze sollten gezielt aufbereitet und nachbesprochen werden. Nur so lässt sich strukturiert ein Erfahrungsschatz bei allen beteiligten aufbauen.

Einen ersten Überblick sollen die folgenden Beispiele geben. Diese Beispiele können ebenso Vorschläge für praktische Versuche/ Einsatztrainings sein:

## Beispiel: Wohnungsbrand 2. Obergeschoss

Im zweiten Obergeschoss ist es zu einem Wohnungsbrand gekommen. Es gibt keine Abluftöffnung:



Abbildung 1: Wohnungsbrand 2. OG

### Möglicher Strömungskanal:

Im Brandraum wird eine Abluftöffnung (Fenster) geschaffen, die Treppenraumfenster sind geschlossen und der Treppenraum wird ventiliert. Anschließend wird die Wohnungstür geöffnet. Der Rauch tritt an der Abluftöffnung aus, der Treppenraum bleibt rauchfrei.



Abbildung 2: Wohnungsbrand 2. OG ventiliert



## Beispiel: Wohnungsbrand im 1. Obergeschoss

Im ersten Obergeschoss ist es zu einem Wohnungsbrand gekommen. Die Wohnungstür der Brandwohnung ist geschlossen. Durch ein Fenster quillt Rauch hervor.



Abbildung 3: Wohnungsbrand 1. OG

Der Treppenraum soll durch eine Ventilation vor Raucheintritt geschützt werden. Hierzu wird das Fenster im Treppenraum geschlossen und anschließend wird der Treppenraum ohne Abluftöffnung ventiliert. Hierbei ist eine mögliche Brandausbreitung auf den Treppenraum zu beachten, während Einsatzkräfte oder andere Personen oberhalb der Brandwohnung sind. Gegebenenfalls sind hiergegen taktische Maßnahmen (Beobachtung, Sicherung der Tür) zu treffen.

Es stellt sich eine minimale Strömung durch die (dichtschließenden) Türen in den jeweiligen Wohnungen ein. Eine Rauchausbreitung aus der Brandwohnung durch Undichtigkeiten der Tür wird somit zurückgedrückt.



Abbildung 4: Wohnungsbrand 1. OG mit Lüfter

## Beispiel: Wohnungsbrand 1. Obergeschoss, mit verrauchtem Treppenraum

Im ersten Obergeschoss ist es zu einem Wohnungsbrand gekommen. Die Wohnungstür steht offen, der Treppenraum ist verraucht:



Abbildung 5: Verrauchter Treppenraum

Der Treppenraum soll entraucht werden. Im ersten Schritt wird die Tür zur Brandwohnung geschlossen und ein Fenster an oberster Stelle im Treppenraum geöffnet. Hierbei ist eine mögliche Brandausbreitung auf den Treppenraum zu beachten, während Einsatzkräfte oder andere Personen oberhalb der Brandwohnung sind. Gegebenenfalls sind hiergegen taktische Maßnahmen (Beobachtung, Sicherung der Tür) zu treffen.





Abbildung 6: Verrauchter Treppenraum mit Abluft

Das geöffnete Fenster ist nun die Abluftöffnung, die geöffnete Hauseingangstür ist die Zuluftöffnung, Durch die natürliche Ventilation entraucht der Treppenraum. Wird zusätzlich ein Lüfter vor die Hauseingangstür gestellt, wird die Entrauchung beschleunigt. Zusätzlich wird ein weiterer Raucheintritt durch die geschlossene Wohnungstür (Brandwohnung) in den Treppenraum verhindert.

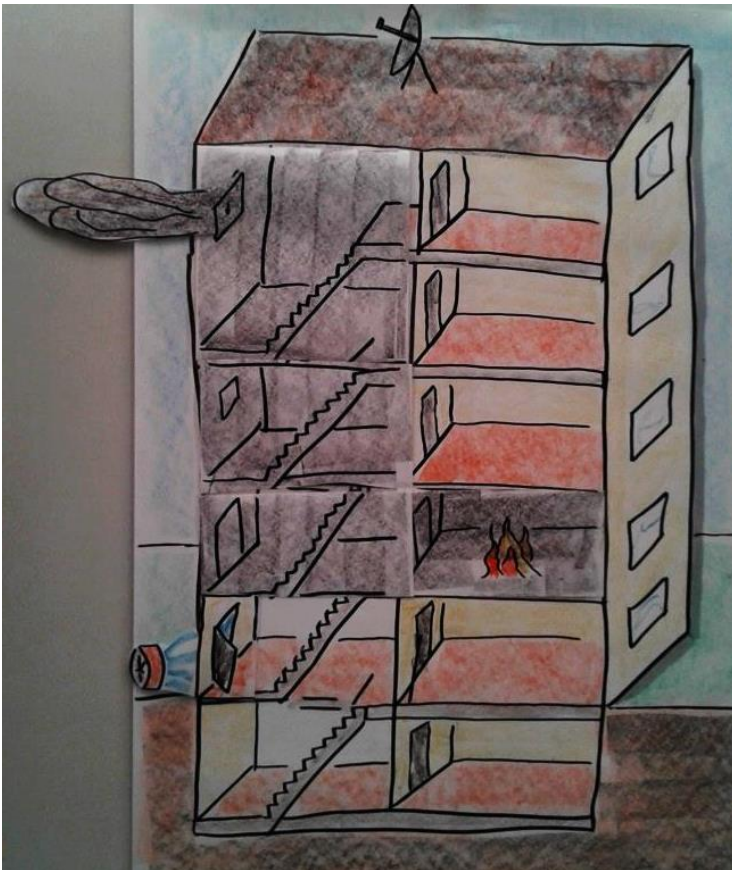


Abbildung 7: Belüfteter Treppenraum

## Beispiel: Wohnungsbrand im ersten Obergeschoss mit einer Person am Fenster

In der Brandwohnung steht eine Person am Fenster. Diese Person ist durch Rauch bedroht:



Abbildung 8: Mensch in Abluftöffnung

Die Person befindet sich in der Abluftöffnung. Eine Ventilation (natürlich oder maschinell) führt zu einer wesentlich stärkeren Gefährdung der Person.

## Beispiel: Wohnungsbrand 1



Abbildung 9: Beispiel Wohnungsbrand 1

Vor der Hauseingangstür ist ein Lüfter in Betrieb genommen worden. Die Wohnungstür zum Treppenraum ist geöffnet. Im Brandraum ist eine Abluftöffnung geschaffen worden.

Hier wird sich ein Strömungskanal durch die Wohnung einstellen. Im verrauchten Raum ohne Abluftöffnung werden kaum Effekte zu beobachten sein. Eine Entrauchung dieses Raumes wird nur minimal (durch Verwirbelungen) erfolgen.



## Beispiel: Wohnungsbrand 2

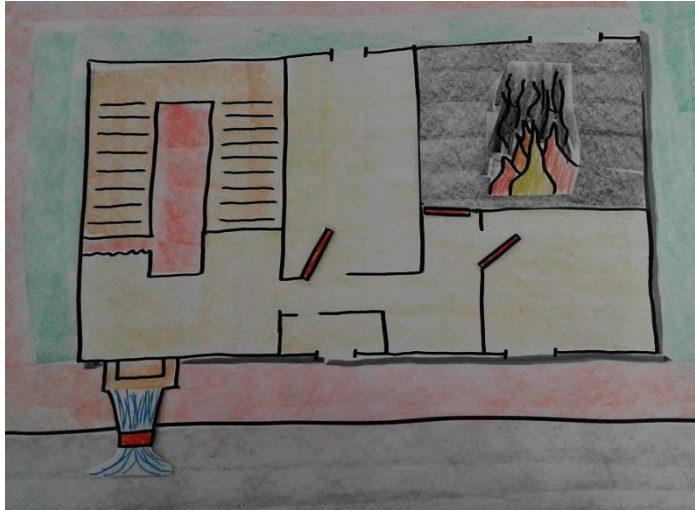


Abbildung 10: Beispiel Wohnungsbrand 2

Vor der Hauseingangstür ist ein Lüfter in Betrieb genommen worden. Die Wohnungstür zum Treppenraum ist geöffnet. Die Tür zum Brandraum ist geschlossen.

Im Brandraum ist eine Abluftöffnung geschaffen worden. Eine Entrauchung des Brandraumes wird erst eintreten, wenn die Tür zum Brandraum geöffnet wird.



### Beispiel: Wohnungsbrand 3



Abbildung 11: Wohnungsbrand 3

Vor der Hauseingangstür ist ein Lüfter in Betrieb genommen worden. Die Wohnungstür zum Treppenraum ist geöffnet. Im Brandraum ist keine Abluftöffnung geschaffen worden. Die Abluftöffnung wurde im Nachbarzimmer geschaffen.

Hier wird sich ein Strömungskanal durch die Wohnung einstellen. Im Brandraum Raum ohne Abluftöffnung werden kaum Effekte zu beobachten sein. Dafür wird der das Nachbarzimmer entraucht werden.

Durch die Luftverwirbelungen in der Wohnung, besonders im Brandraum, können Phänomen der schnellen Brandausbreitung ausgelöst werden.

## Beispiel: Wohnungsbrand 4



Abbildung 12: Wohnungsbrand 4

Vor der Hauseingangstür ist ein Lüfter in Betrieb genommen worden. Die Wohnungstür zum Treppenraum ist geöffnet. Im Brandraum und im Nachbarzimmer sind Abluftöffnungen geschaffen.

Hier wird sich der Strömungskanal innerhalb der Wohnung aufteilen. Brandraum und Nachbarzimmer werden entrauchet. Diese Entrauchung ist weniger zielgerichtet. Die Effekte für die einzelnen Räume können nicht sicher vorausgesagt werden.

Fest steht: Die Entrauchung und Wärmeabfuhr im Brandraum ist weniger effektiv, da der Luftstrom sich aufteilt. Abhängig von der Lüfterleistung und der Fenstergrößen muss sich dies jedoch nicht negativ auswirken.

### 4.3 Befehl

Erweist sich der Einsatz eines Lüfters als zielführend, muss der Entschluss in einen Befehl gefasst werden. Der Teil „Lüfter“ ist jedoch nur ein Baustein des Befehls. Alle weiteren notwendigen Maßnahmen (Vorbereitung einer Patientenversorgung, Verkehrsabsicherung, etc.) müssen ebenfalls durch die Einsatzkräfte umgesetzt werden. Der Teil „Lüfter“ ist oftmals mit vielen Arbeitsschritten verbunden, die in der richtigen Reihenfolge nacheinander ablaufen müssen. Insbesondere wenn Aufgaben durch unterschiedliche taktische Einheiten durchgeführt werden sollen, muss die Zusammenarbeit funktionieren. Der Einsatz mit Bereitstellung schafft ausreichend Zeit für die zielgerichtete Erkundung. Auch für die Befehlsausgabe, die Absprache der Maßnahmen und gegebenenfalls für eine kurze Beratung schafft der Einsatz mit Bereitstellung notwendige Freiräume. Der Einsatz mit Bereitstellung sollte jedoch andere Handlungsoptionen offen halten. Stellt sich während der Erkundung/Planung heraus, dass der Einsatzschwerpunkt falsch erkannt wurde oder andere Maßnahmen (z.B. der Einsatz tragbarer Leitern auf der Rückseite) als die Vorbereiteten notwendig werden, muss darauf ausreichend schnell reagiert werden können.

Einsatzabläufe funktionieren unter Stress nur, wenn sie ausreichend trainiert wurden. Einsatzleiter, unterstellte Führungskräfte und Mannschaft müssen miteinander trainiert sein. Nur so werden Befehle richtig verstanden und umgesetzt. Abläufe wie der Einsatz mit Bereitstellung, die Anleiterbereitschaft, das Vorbereiten des Lüfters müssen eingeübt sein, damit sie im Einsatz angewandt werden können. Insbesondere, dass Umschwenken aus einem Einsatz mit Bereitstellung hin zu anderen Maßnahmen, z.B. die Vornahme von tragbaren Leiter, eines Sprungpolsters etc. sollte umfangreich trainiert sein.

**Ausbildung für  
sicheres und  
schnelles  
Vorgehen**

Der Einsatz unter Vornahme eines Lüfters läuft oftmals in mehreren Phasen ab. Dies bringt besondere Herausforderungen an die Führung mit sich:

Beispiel Wohnungsbrand:

- Zuerst sollen die Fenster im Treppenraum geschlossen werden.
- Danach sollen alle Maßnahmen vorbereitet werden. Der Löschangriff vor der geschlossenen Wohnungstür (Brandwohnung) soll aufgebaut werden, der Lüfter in Bereitstellung gehen und die Abluftöffnung geschaffen werden.
- Wenn dies fertig ist, soll die Abluftöffnung mit einem Strahlrohr gesichert werden und der Lüfter eingeschwenkt und in Betrieb genommen werden, so dass der Treppenraum ventiliert wird.
- Wenn der Sicherheitstrupp einsatzbereit ist und die Wasserversorgung steht, soll die Wohnungstür geöffnet werden.
- Dann sollen die Auswirkungen an der Abluftöffnung beobachtet werden, um gegebenenfalls die Maßnahme rückgängig zu machen und die Tür wieder zu schließen. Es soll überprüft werden, ob der geplante Strömungskanal funktioniert. Sind wohlmöglich weitere Fenster in der Nähe der Abluftöffnung geöffnet, in die nun Rauch eintritt?
- Wenn die Lüftung funktioniert soll der Trupp in die Wohnung vorgehen und den Brand bekämpfen. Gleichzeitig soll die Abluftöffnung mit ei-

nem Strahlrohr gesichert werden ohne dass von außen Wasser in die Wohnung gegeben wird.

Wie können alle diese Maßnahmen in einen Befehl gefasst werden, der dann auch funktioniert. Die Lösung ist, dass im Entschluss bereits durch eine saubere Abschnittsbildung die Aufgaben führbar verteilt werden. Anschließend müssen die Schritte nacheinander befohlen werden. Die Durchführung der einzelnen Schritte muss nach Abschluss wiederum nach oben gemeldet werden. Die Trupps müssen klar wissen, wann sie Meldung machen müssen, um auf neue Befehle zu warten. Es braucht die erforderliche Geduld, nicht überstürzt zu handeln. Gerade beim Lüftereinsatz empfiehlt es sich, sich die Zeit für die Kontrolle zu nehmen. Ist der Trupp erst einmal in die Brandwohnung „gestürmt“, kann die Wohnungstür kaum noch geschlossen werden. Es braucht hier die Geduld aller, in Ruhe die Auswirkungen der Maßnahmen zu beobachten, um gegebenenfalls den Plan zu verändern und anpassen zu können.

Dies funktioniert nur, wenn Abläufe und Kommunikation zwischen allen Beteiligten ausreichend trainiert sind. Fehler in den Abläufen sind bei Übungen und Einsätzen zu analysieren und die Führung und Kommunikation ist darauf auszurichten, dass diese Fehler zukünftig nicht mehr passieren.

## 4.4 Kontrolle

Was kann beim Lüfter Einsatz schief gehen? Grundsätzlich all das, was bei jedem Einsatz schief gehen kann. Dazu kommen die lüfterspezifischen Punkte:

### Rauchausbreitung

Der Rauch breitet sich ungewollt in Bereiche aus, so dass es zu einer unverhältnismäßigen Ausbreitung kommt. Dies kann über Lüftungsanlagen, mangelhafte Abschottungen, geöffnete Fenster, plötzlich aufgehende Türen usw. erfolgen. Steht die Ausbreitung unverhältnismäßig zum Einsatzerfolg, sollte die Ventilation gestoppt und ein neuer Plan gefasst werden. Die in der Einsatzplanung verworfenen Alternativen sind plötzlich von Relevanz. Gerade die Raumentwicklung an der Abluftöffnung ist oft schwierig abzuschätzen. Es kann passieren, dass bei schlecht gewählter Abluftöffnung die Einsatzfahrzeuge plötzlich im Rauch stehen. Sind Zuluftöffnung und Abluftöffnung zu nah beieinander, so kann es passieren, dass der Lüfter Rauch ansaugt und ins Gebäude bläst.

### Brandausbreitung

Innerhalb des Gebäudes oder an der Abluftöffnung kommt es zu einer Brandausbreitung, die so nicht vorher absehbar war. Hierzu sollten sichernde Maßnahmen vorbereitet werden. Gerade an der Abluftöffnung schafft ein Strahlrohr die Möglichkeit auf solche Auswirkungen zu reagieren. Innerhalb des Gebäudes sollte der Trupp durch Einstellung, Ausbildung und Ausrüstung auf solche Situationen vorbereitet werden. Dadurch dass der Trupp mit der Frischluft vorgeht, wird die Gefahr für ihn reduziert. Gefährlich wird es, wenn ohne Absprache in Bereichen gelüftet wird, in denen sich Einsatzkräfte befinden. Daraus resultiert ein hoher Kommunikationsaufwand aller eingesetzten Kräfte (Inbetriebnahme des Lüfters, Beobachtung der Situation usw.). Auch hier ist Geduld gefragt. Bevor ein Trupp in einen ventilierten Bereich vorgeht, sollte er diesen genau beobachten und ggf. Meldung machen. Wenn die Ventilation nicht funktioniert nachdem die Wohnungstür zur Brandwohnung geöffnet wird, ist dies eine Meldeverpflichtung. So kann über das weitere Vorgehen neu entschieden werden.

### Strömungskanal

Der Strömungskanal verhält sich anders als geplant. Die Windlast ist zu stark und arbeitet gegen den Lüfter, Türen innerhalb der Brandwohnung fallen zu, Türen werden unbeabsichtigt (z.B. durch Dritte) oder die Abluftöffnung ist zu klein. All dies können Fehlerquellen sein. Sobald vorgehende Kräfte, unterstützende Kräfte oder Führungskräfte hier Probleme erkennen, ist dies ein Meldegrund, um das weitere Vorgehen neu zu entscheiden und ggf. einen komplett neuen Plan zu fassen. Dies ist einer der Gründe, warum man zwi-

schen den einzelnen Phasen des Einsatzes die Geduld zur Beobachtung aufbringen muss. Öffnet der Trupp die Tür zur Brandwohnung können an unterschiedlichster Stelle Effekte auftreten, die gegen die Ventilation sprechen: Dem Trupp kommt z.B. Rauch an der Wohnungstür entgegen anstatt das Luft einzieht, an der Rückseite steht plötzlich eine Person im Rauch. Jetzt braucht nur die Tür wieder geschlossen zu werden und die negativen Auswirkungen können ein Stück weit zurückgenommen werden.

### Geschwindigkeit der vorgehenden Kräfte

Der Lüfter erleichtert das Vorgehen in den verrauchten Bereich. Die Geschwindigkeit des vorgehenden Trupps wird erhöht. Gleichzeitig wird der Brand angefacht, so dass jetzt eine schnellere Bekämpfung angezeigt ist. Gibt es Probleme mit der Schlauchreserve, kann die Angriffsleitung nicht schnell genug nachgezogen werden, kann dies negative Folgen für den Einsatzerfolg bedeuten. Die schnelle Entrauchung durch einen Lüfter erfordert auch eine Erhöhung der Geschwindigkeit der anderen Maßnahmen – die Menschenrettung oder die Brandbekämpfung. Schlauchreserven, unterstützende Maßnahmen oder vorbereitende Maßnahmen (z.B. Patientenversorgung) müssen dem Einsatz angepasst werden.

### Vorgehen in Abluftöffnung

Der Lüftereinsatz bedarf der Abstimmung. Gehen Einsatzkräfte gegen die Abluft vor, werden diese im Regelfall einer hohen Gefahr ausgesetzt. Das bedeutet, dass der Lüftereinsatz einer ganzheitlichen Betrachtung bedarf. Die Einheiten benötigen hierfür die notwendigen Informationen, um ein gefährliches Vorgehen durch/gegen die Abluftöffnung auszuschließen.

### Unkoordiniertes Vorgehen

Besonders der Lüftereinsatz hat Auswirkungen auf andere Orte und Maßnahmen an der Einsatzstelle. Von daher ist ein Lüftereinsatz im Gesamtkontext zu betrachten. Setzt eine Einheit eigenständig, ohne Absprachen mit der übergeordneten Führungsebene, einen Lüfter ein, kann dies zu einer Gefährdung des Einsatzerfolges und anderer Einsatzkräfte führen. Beispiel: Der Einsatzleiter entschließt sich einen Brand von zwei Einheiten über zwei Seiten anzugreifen. Jetzt wird auf einer Seite durch eine Einheit eigenständig und unabgestimmt ein Lüfter vorgenommen. Dies hat zur Folge, dass die andere Einheit massiv gefährdet werden kann, wenn diese sich in der Abluftöffnung befindet. Auch innerhalb einer Einheit muss der Lüftereinsatz abgestimmt werden. Wird der Lüfter ohne die Absprache mit einem vorgehenden Trupp, während der eingeleiteten Maßnahmen (z. B. Brandbekämpfung) in Betrieb genommen, so kann es dadurch zu einer großen Gefährdung des Trupps kommen. Eine unkontrollierte Brandausbreitung könnte die Folge der Ventilation sein.

## 5 Zusammenfassung

Wo es brennt ist auch Rauch. Feuer bekämpft man mit Wasser. Womit bekämpft man den Rauch?

Gezielte Maßnahmen gegen den Rauch einzuleiten wird in vielen Einsatzsituationen erhebliche taktische Vorteile bringen. Menschen können vor einer Rauchausbreitung geschützt, Einsatzkräften kann das Vorgehen erleichtert und Sachschäden minimiert werden, wenn gezielt Maßnahmen gegen den Rauch eingeleitet werden.

Erstes einsatztaktisches Mittel ist die gezielte Nutzung der natürlichen Ventilation während eines Brandes. Das Öffnen oder Schließen von Fenstern und Türen ist der erste, jedoch sehr einfache Schritt, um gezielt Bereiche vor Rauch zu schützen oder Rauch und Wärme gezielt abzuleiten. Maschinelle Belüftungsgeräte unterstützen hierbei.

Maschinelle Belüftungsgeräte erweitern den „Werkzeugkasten“ und sollten zum Einsatz gebracht werden, wenn es zum Vorteil ist. Hierzu ist während der Erkundung und Einsatzplanung der Lüftereinsatz in Erwägung zu ziehen. Alle am Einsatz beteiligten Kräfte brauchen hierfür das für ihre Ebene notwendige Verständnis. Die Einsatzleitung hat auf das Geschehen einen eher taktischen, die Mannschaft einen eher technischen Blick. Damit der Einsatz erfolgreich abgearbeitet werden kann, ist eine Ausbildung auf allen Ebenen, sowie das gemeinsame Training unerlässlich.

Für die Einsatzplanung ist das Zusammenspiel aus dem Brandgeschehen, der Gebäudegeometrie, den Aufenthaltsorten von Menschen im Gebäude, die Lage von Zuluft- und Abluftöffnung sowie der Strömungskanal entscheidend. Dieses Zusammenspiel ist in der Praxis oft sehr kompliziert und nicht bis in jedes Detail zu durchschauen. Durch ein besonnenes Vorgehen wird der Einsatz so geführt, dass jederzeit auf unvorhergesehene Lageänderungen reagiert werden kann.

Die Kontrolle ist im Lüftereinsatz von besonderer Bedeutung. Nur eine zielgerichtete Kontrolle lässt erkennen, ob der Lüftereinsatz planmäßig durchgeführt wird oder ob eingegriffen werden muss.

## I **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Wohnungsbrand 2. OG.....	23
Abbildung 2: Wohnungsbrand 2. OG ventiliert.....	24
Abbildung 3: Wohnungsbrand 1. OG.....	25
Abbildung 4: Wohnungsbrand 1. OG mit Lüfter .....	26
Abbildung 5: Verrauchter Treppenraum .....	27
Abbildung 6: Verrauchter Treppenraum mit Abluft.....	28
Abbildung 7: Belüfteter Treppenraum.....	29
Abbildung 8: Mensch in Abluftöffnung .....	30
Abbildung 9: Beispiel Wohnungsbrand 1 .....	31
Abbildung 10: Beispiel Wohnungsbrand 2.....	32
Abbildung 11: Wohnungsbrand 3 .....	33
Abbildung 12: Wohnungsbrand 4 .....	34



## II Anhang Brandphänomene

Brandverläufe in Gebäuden stellen chaotische Systeme dar. Die nachfolgend aufgeführten Phänomene können ineinander übergehen oder in Kombination auftreten.

### **Rauchdurchzündung (Rollover)**

Durchzündung entzündbarer Pyrolyseprodukte und Schwelgase, die sich in der Regel als Rauchschiicht in einem Raum ansammeln (vgl. DIN 14011).

Für eine Verbrennung sind folgende Faktoren entscheidend: (Luft) Sauerstoff, Brennstoff und Temperatur. Diese Faktoren müssen in richtigen Proportionen vorliegen.

Bei einem Zimmerbrand sind erstmal genug Brennstoff und Sauerstoff vorhanden. Durch die entstehende Wärme bilden sich durch Pyrolyse brennbare Bestandteile im Brandrauch. Ist während der weiteren Brandentwicklung immer noch ausreichend Sauerstoff im Zimmer vorhanden, kommt es bei Erreichen der UEG zu einer laminaren Verbrennung in der Brandrauchschicht, welche sich im Deckenbereich aufgestaut hat.

Diese komplette oder teilweise Durchzündung der Rauchschiicht erfolgt ohne signifikanten Druckanstieg. Ein häufig auftretendes Erscheinungsbild ist eine Stichflamme. Dies ist eine Rauchdurchzündung.

Durch Verbrennung in der Rauchschiicht kann es auch zu turbulenter Verbrennung durch Verwirbelung von Rauchschiicht und Luftsauerstoff kommen.

Bei der Rauchdurchzündung oder Rollover handelt es sich um einen brennstoffkontrollierten Brand.

### **Raumdurchzündung (Flashover)**

Schlagartige Ausbreitung eines Brandes auf alle thermisch aufbereiteten Oberflächen brennbarer Stoffe in einem Raum (vgl. DIN 14011)

Eine Raumdurchzündung ist der Übergang eines Entstehungsbrandes zum vollentwickelten Brand bei ausreichender Luftzufuhr. Während des Brandverlaufs heizt sich der Brandraum kontinuierlich auf. Heiße Rauchgase sammeln sich unter der Decke und durch die Wärmestrahlung und die Konvektion werden von oben beginnend immer mehr Oberflächen im Raum thermisch aufbereitet, so dass dort Pyrolysegase austreten. Sobald die Konzentration der brennbaren Gase die untere Explosionsgrenze überschritten hat, zündet das Gas-Luft-Gemisch. Hierdurch kommt es zu einer weiteren Aufheizung. Sobald die Zündtemperatur der brennbaren Gegenstände im Raum überschritten ist, zünden diese ebenfalls. Nach der Raumdurchzündung stehen die Oberflächen im gesamten Raum in Flammen.

Merkliche Anzeichen für eine Raumdurchzündung sind:

- sehr starker Temperaturanstieg innerhalb des Brandraums
- Absinken der neutralen Zone
- Rauch entweicht unter Druck
- Ausgasen / Freisetzung von Pyrolysegasen
- Flammzungen an der Grenze zwischen der Rauchsicht und der Luftschicht wenige Sekunden vor der Durchzündung
- Rauchsichtdurchzündung als mögliche Vorstufe

Eine geeignete Maßnahme gegen die Gefahr einer Raumdurchzündung ist das sofortige Sicherstellen eines Rauchabzuges z. B. durch RWA, Dachfenster oder Lichtkuppeln. Das Öffnen von Türen und Fenstern ist eine weitere unterstützende Maßnahme. Bei der Brandbekämpfung sind die Vor- und Nachteile einer Innenbrandbekämpfung sowie eines Außenangriffs und besonders einer aufeinander aufbauenden Kombination der Maßnahmen gegeneinander abzuwägen.

### **Rauchexplosion (Backdraft)**

Explosion der Pyrolyseprodukte und Schwelgase in einem Brandraum mit unzureichender Sauerstoffkonzentration nach Vermischung mit plötzlich zugetretener Luft (vgl. DIN 14011)

Im Gegensatz zu einer Raumdurchzündung, die vom zur Verfügung stehenden Brennstoff abhängt, wird eine Rauchexplosion vom vorhandenen Sauerstoffangebot beeinflusst. Beide Phänomene beginnen mit einem Entstehungsbrand, der sich ausbreitet. Hierbei werden Pyrolysegase gebildet, die sich im Raum anreichern. In einem verschlossenen Brandraum ist der vorhandene Sauerstoff irgendwann verbraucht und das Feuer wird kleiner. Brennbare Pyrolysegase werden weiter gebildet und reichern sich an, so dass das Gas-Luft-Gemisch die obere Explosionsgrenze (OEG) überschreitet ohne zu zünden. Die entstandenen Pyrolysegase kühlen sich ab und es entsteht ein Unterdruck im Brandraum. Sobald eine Tür oder ein Fenster geöffnet wird, strömt von außen Luft ein und vermischt sich mit dem bis dato zu fetten Gas-Luft-Gemisch. Dieses gelangt dadurch in den explosionsfähigen Bereich unter der OEG. Ist im Brandraum noch eine Zündquelle (Glutnest) vorhanden, zündet das Gemisch und es kommt zur Rauchexplosion. Bei diesem Vorgang schlägt eine Flammenfront in Verbindung mit einer Druckwelle aus der Belüftungsöffnung heraus. Die Statik des Gebäudes kann durch die Explosion geschwächt werden.

Für eine bevorstehende Rauchexplosion gibt es keine sicheren Anzeichen. Folgende Indizien sind möglich:

- späte Branderkennung (dadurch ist ein spätes Eintreffen der Feuerwehr bedingt)
- geschlossener Brandraum mit Ruß beschlagenen Glasscheiben
- Lokomotiveffekt: Luftzug in den Raum und Rauchaustritt im Wechsel, z. B. unter Türen

Besteht die Möglichkeit, dass es sich bei einem Brandereignis um einen un-terventilierten Brand handelt, bei dem die Gefahr einer Rauchexplosion nicht ausgeschlossen werden kann, gibt es verschiedene einsatztaktische Möglichkeiten. Der verschossene Brandraum kann mittels Cobra oder Fognail heruntergekühlt werden. Sind diese Geräte nicht vor Ort kann auch eine kleine Öffnung geschaffen werden, durch die ein Hohlstrahlrohr eingesetzt wird. Alternativ kann abgewartet werden, bis sich der Raum von alleine abgekühlt hat und auch die Glutnester erloschen sind. Die gezielte Einleitung einer Rauchexplosion durch das Einschlagen eines Fensters o. ä. birgt eine große Gefährdung für die Einsatzkräfte, welche die Öffnung schaffen. Im Vorfeld kann nicht bestimmt werden, nach wie vielen Sekunden bzw. Minuten es zur Rauchexplosion kommt.