



Lernunterlage B1-401

Phänomene der extremen Brandausbreitung

Dezernat B1: Gruppenführer und Spezialausbildung

Ausgabe Mai 2018

26 Seiten

Inhalt

Phänomene der extremen Brandausbreitung

Diese Lernunterlage ist vergleichbar mit dem Kapitel 3 „Brandverläufe in geschlossenen Räumen und Phänomene der extremen Brandausbreitung“ aus dem Buch „Brandbekämpfung im Innenangriff“, welches im Ecomed-Verlag erschienen ist. Wir danken der ecomed-Storck GmbH für die freundliche Freigabe und der Arbeitsgruppe Realbrandausbildung (VdF und AGBF NRW) für die freundliche Unterstützung. Einzelne Passagen sind gekürzt oder redaktionell angepasst worden.

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	Einleitung.....	4
2	Phänomene der extremen Brandausbreitung.....	4
2.1	Brennstoffkontrollierte Brandphänomene	5
2.1.1	Raumdurchzündung	5
2.1.2	Rauchdurchzündung ohne signifikanten Druckanstieg.....	10
2.2	Ventilationskontrollierte Brandphänomene.....	11
2.2.1	Rauchexplosion	15
2.2.2	Rauchschichtexplosion	17
2.3	Ventilationsbedingte Raumdurchzündung.....	19
2.4	Sonstige Brandphänomene	19
2.4.1	Kalte Rauchexplosion	19
2.4.2	Verlagerte Rauchexplosion.....	20
2.4.3	Selbstentzündung der Brandgase.....	20
2.4.4	Winddruckstichflammen.....	21
3	Zusammenfassung	23
4	Literaturverzeichnis.....	24
5	Abbildungsverzeichnis	25

1 Einleitung

Ein Brandverlauf wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren können dazu führen, dass es bei einem Brand zu einem Phänomen der extremen Brandausbreitung kommt. Um diese Phänomene erkennen und möglichst wirksam bekämpfen zu können ist vorab ein einheitliches Begriffsverständnis erforderlich. Die Entstehungsabläufe und die daraus resultierenden wirksamen Gegenmaßnahmen für einzelne Brandphänomene unterscheiden sich teils stark voneinander, so dass eine exakte Nomenklatur essentiell notwendig ist.

2 Phänomene der extremen Brandausbreitung

Begriffsdefinition

Im Zusammenhang mit der Brandbekämpfung in Gebäuden stellt sich sehr bald die Frage: Welches Phänomen liegt vor? Eine Raumdurchzündung (flashover) oder eine Rauchexplosion (backdraft)?

Übersicht der einzelnen Phänomene

Nachfolgend wird zuerst ein Überblick über die möglichen Brandverläufe gegeben, bevor im Anschluss die einzelnen Phänomene erklärt werden.



Abbildung 1: Modell für die Phänomene der extremen Brandausbreitung basierend auf den deutschen Definitionen (Abbildung: Volkmar, ecomed-Storck GmbH, bearbeitet von Vöge, IdF NRW)

Brandverläufe in Gebäuden stellen chaotische Systeme dar. Die in den folgenden Unterkapiteln erklärten Phänomene können ineinander übergehen.

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal von Phänomenen der extremen Brandausbreitung ist das vorhandene Angebot an Sauerstoff: Je nachdem, ob ausreichende Sauerstoffzufuhr vorhanden ist (brennstoffkontrollierter Brand), es an diesem mangelt (ventilationskontrollierter Brand) oder Sauerstoff verzögert zu einer Situation zugeführt wird, kommt es zu unterschiedlichen Brandverläufen und damit auch Brandphänomenen.

2.1 Brennstoffkontrollierte Brandphänomene

2.1.1 Raumdurchzündung

Ein Brand in einem Zimmer wird, je nach Entwicklungsstadium, in unterschiedliche Phasen eingeteilt:

Raumdurchzündung

- Entstehungsphase
- Entwicklungsphase
- Raumdurchzündungsphase
- Vollbrandphase
- Abklingphase

Die Raumdurchzündungsphase wird hier gesondert aufgeführt, da sie für die Innenbrandbekämpfung von besonderer Bedeutung ist.

Entstehungsphase

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie ein Brand entstehen kann. Als Gemeinsamkeit kann festgestellt werden, dass zuerst nur geringe Wärme freigesetzt wird. An den brennbaren Materialien, die unmittelbar an die Flammen angrenzen, kommt es zur Pyrolyse.

Entstehungsphase



Abbildung 2: Entstehungsphase dargestellt im Übungscontainer (Foto: Fuchs, eco-med-Storck GmbH)

Entwicklungsphase

Entwicklungsphase

Der Bereich zwischen der Entzündung eines Feuers und dem Moment der Raumdurchzündung wird als Entwicklungsphase bezeichnet. Die Temperatur im Brandraum wird während dieser Phase kontinuierlich steigen. In dieser Phase ist das Feuer brennstoffkontrolliert, d.h. es ist genug Sauerstoff vorhanden, um den entzündeten Brennstoff zu verbrennen und einzig der vorhandene Brennstoff ist die limitierende Größe für die Größe des Brandes. Maßgeblichen Einfluss auf den weiteren Brandverlauf haben die im Brandraum vorhandenen Materialien sowie deren Anordnung. Unter der Raumdecke bildet sich eine Rauchschiicht, in der aufgrund der Thermik der erwärmten Raumluft und Rauchgase ein Überdruck herrscht. In Bodennähe herrscht ein Unterdruck. Die Luft strömt zum Feuer und versorgt es mit Sauerstoff. Die Rauch- und die Luftschicht trennen sich voneinander ab. Der Bereich der Trennung der Schichten wird als „neutrale Ebene“ bezeichnet. Im Verlauf des Brandes wird der Zeitpunkt erreicht, an dem zunehmend mehr Pyrolysegase entstehen, die folglich nicht mehr komplett durch die Flammen direkt am Brandherd verbrannt werden können und sich somit in der Rauchschiicht ansammeln. Durch die Wärmestrahlung werden alle brennbaren Oberflächen im Raum thermisch aufbereitet und es werden noch mehr Pyrolysegase freigesetzt.



Abbildung 3: Entwicklungsphase dargestellt in Übungsanlage: sichtbaren Pyrolysegase auf der rechten Seite. (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH)

Die so erzeugten Pyrolysegase werden bei Erreichen ihrer Zündtemperatur entzündet, wodurch der Brand dann auf alle brennbaren Oberflächen im Raum übergreift.

Raumdurchzündungsphase (Flashoverphase)

In dieser Phase kann sich das Feuer zu einer Raumdurchzündung entwickeln, wenn genug Brennstoff im Verhältnis zum Raumvolumen und ausreichender Sauerstoff im Brandraum vorhanden sind. Kurz bevor eine Raumdurchzündung auftritt, sinkt die Rauchschicht manchmal ab. Das hat zur Folge, dass weniger Frischluft und damit auch weniger Sauerstoff zum Feuer gelangt. Daher wird die Intensität der Verbrennung schwächer und es entstehen mehr unverbrannte Pyrolyseprodukte.

Raumdurchzündungsphase

Eine Raumdurchzündung wird häufig durch eine Rauchschichtdurchzündung (s.u.) eingeleitet.

Vorläufer: Rauchschichtdurchzündung

Bei Erreichen der Zündtemperatur der Pyrolyseprodukte entzündet sich die Unterseite der Rauchgasschicht, wo brennbare Pyrolysegase und Luft direkt aufeinander treffen (= Rauchschichtdurchzündung). Diese Verbrennung erfolgt anfangs mit langsamer Geschwindigkeit in Form von Flammenzungen. Diese wandern an der Unterseite der Rauchgasschicht entlang, was zu einer Durchmischung von Rauchgasschicht und Luft führt (turbulente Verbrennung). Die Wärmestrahlung steigt aufgrund der auftretenden Flammen stark an, wenn sich die Rauchschicht entzündet (Bengtsson, 2001).

„Schlagartige Ausbreitung eines Brandes auf alle thermisch aufbereiteten Oberflächen brennbarer Stoffe in einem Raum.“ DIN 14011

Definition Raumdurchzündung



Abbildung 4 a: Simulierter Raum im Übungscontainer: Brandausbruch war in der rechten hinteren Ecke. (Foto: Fuchs, SCB Boxmeer, Niederlande, ecomed-Storck GmbH)



Abbildung 4 b: Simulierter Raum im Übungscontainer: nach der Raumdurchzündung sind noch der durchgezündete Sessel, Tisch und Regal zu erkennen. (Foto: Fuchs, SCB Boxmeer, Niederlande, ecomed-Storck GmbH)

Veränderte Brandlasten

Durch veränderte Brandlasten kommt es heute früher zur Raumdurchzündung. Der exakte Zeitpunkt einer Raumdurchzündung lässt sich nicht voraussagen.

Häufig wird versucht, die Färbung des Brandrauches als Kriterium für eine bevorstehende Raumdurchzündung heranzuziehen. Dies ist nur eingeschränkt möglich und birgt eine hohe Fehlerwahrscheinlichkeit. Die Farbe des Brandrauches ist in erster Linie abhängig von der Temperatur des Brandes und dem verbrennenden Material.

Vollentwickelter Zimmerbrand (Vollbrandphase)

Vollbrandphase

Nach einer Raumdurchzündung brennen die Oberflächen aller brennbaren Materialien im Raum.



Abbildung 5: Vollbrandphase: über den Zustand der Raumdurchzündungsphase hinaus ist hier das komplette Raumvolumen mit Flammen gefüllt. (Foto: Fichte, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)

In der Entstehungs- und der Entwicklungsphase ist das Feuer brennstoffkontrolliert. Nach einer Raumdurchzündung ist das Feuer ventilationskontrolliert, d.h. Brennstoff ist in ausreichender Menge vorhanden und der Sauerstoff ist nun der limitierende Faktor. Die entstandenen Pyrolyseprodukte können aufgrund eines Sauerstoffdefizits nicht im Raum verbrennen. Daher findet die Verbrennung außerhalb des Zimmers an Fenster- und/oder Türöffnungen statt. Diese Brandphase hält solange an, bis der Brennstoff im Raum verbraucht ist oder ein Löscheffekt eintritt (vgl. Bengtsson, 2001). Nach der Vollbrandphase, wenn mangels noch vorhandenen Brennstoffes wieder weniger Pyrolysegase gebildet werden, wird das Feuer irgendwann wieder brennstoffkontrolliert werden und langsam abklingen. Aufgetragen über die Zeit, stellt sich der Verlauf von Temperatur (und Wärmefreisetzungsrates) bei der Raumdurchzündung wie folgt dar:

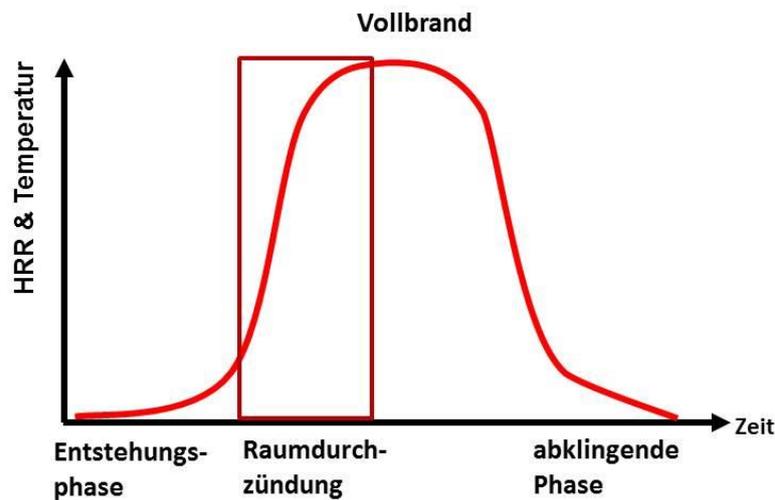


Abbildung 6: Wärmefreisetzung und Temperaturverlauf bezogen auf den Zeitverlauf einer Raumdurchzündung: der Bereich im Kasten stellt die Phase der Raumdurchzündung dar, nach welcher der Raum im Vollbrand steht. (Grafik: Ridder, eco-med-Storck GmbH)

2.1.2 Rauchdurchzündung ohne signifikanten Druckanstieg

Rauchdurchzündung

Bei einem Zimmerbrand sind anfangs ausreichend Brennstoff und Sauerstoff für eine Verbrennung vorhanden. Durch die entstehende Wärme bilden sich aufgrund der Pyrolyse brennbare Bestandteile im Brandrauch. Ist während der weiteren Brandentwicklung immer noch ausreichend Sauerstoff im Zimmer, kann es bei Erreichen der UEG zu einer Verbrennung in der Rauchschiicht kommen. Diese komplette oder teilweise Durchzündung der Rauchschiicht erfolgt ohne signifikanten Druckanstieg. Ein häufig auftretendes Erscheinungsbild ist eine Stichflamme. Dies wird nach DIN 14011 mit dem Oberbegriff Rauchdurchzündung bezeichnet. Wenn die komplette Rauchschiicht in einem Raum involviert ist, kann man genauer auch von einer Rauchschiichtdurchzündung sprechen. Diese kann als einzelnes Ereignis oder als Vorstufe zu einer Raumdurchzündung auftreten.

Definition Rauchdurchzündung

„Durchzündung entzündbarer Pyrolyseprodukte und Schwelgase, die sich in der Regel als Rauchschiicht in einem Raum ansammeln.“ DIN 14011

Die Flammen können innerhalb der Rauchschiicht unter der Decke entlang laufen und sind dann durch die Rauchschiicht für den vorgehenden Trupp optisch nicht zu erkennen. Dieses Phänomen ist größtenteils unabhängig von einer Änderung der Luftzufuhr, kann also zu jedem Zeitpunkt der Brandbekämpfung eintreten!



Abbildung 7: Rauchdurchzündung dargestellt in einer Brandübungsanlage. (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH)

2.2 Ventilationskontrollierte Brandphänomene

Die Entstehungsphase eines Brandes ist für ventilationskontrollierte wie brennstoffkontrollierte Brandphänomene identisch. Irgendwann in der Entwicklungsphase wird jedoch der Punkt erreicht, an dem nicht mehr genug Sauerstoff zum Brand gelangt. Ein Hinweis auf einen schlecht ventilierten Brand kann das Pulsieren des Brandrauches an kleinen Öffnungen, wie Fenster- oder Türschlitze, sein oder das Pulsieren des austretenden Rauches nach dem Schaffen einer Öffnung. Dieses Pulsieren ist die stark ausgeprägte Form der bei jedem Brand in Gebäuden auftretenden Schwerkraftströmung. Solange Sauerstoff in den Raum einströmt, wird das Feuer innerhalb des Raumes größer. Es entstehen große Mengen an Brandrauch, der aufgrund des bestehenden thermischen Überdrucks aus den vorhandenen Öffnungen des Brandraumes gedrückt wird. Wird so viel Rauch aus dem Gebäude abgeführt, dass er den gesamten Querschnitt der Zuluftöffnung einnimmt, entsteht im Brandraum kurzzeitig Sauerstoffmangel, da keine Luft mehr in den Raum gelangen kann. Das Feuer wird dadurch kleiner und die Temperatur im Raum sinkt. Dies wiederum führt dazu, dass weniger Brandgase produziert werden, weshalb folglich auch nur weniger Brandgase und Rauch aus der Öffnung strömen, wodurch nun auch wieder gleichzeitig Luft einströmen kann. Somit wird das Feuer durch die Sauerstoffzufuhr wieder größer, es wird mehr Brandrauch produziert und der Effekt wiederholt sich fortlaufend (Pulsieren des Rauches, „Lokomotiveffekt“, vgl. Bengtsson, 2001).

Begriffsdefinition

Lokomotiveffekt

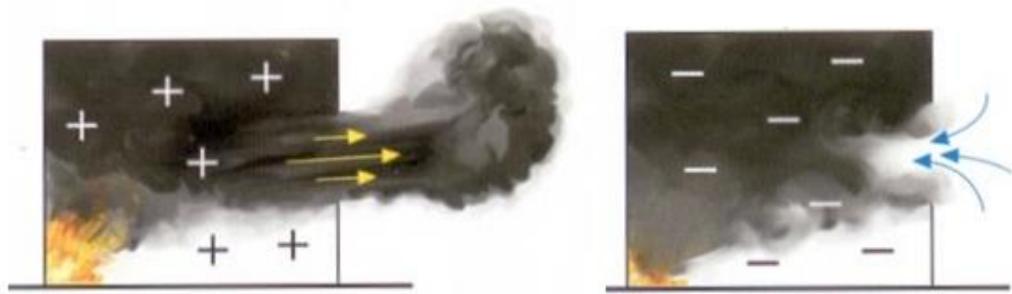


Abbildung 8 a und b. Ablauf der Druckverhältnisse im Brandraum, welche zum Pulsieren des Brandrauches an den Öffnungen führen. a: Abströmen des Rauchs und Verschließen der Öffnung für Zuluft. b: weniger Rauch strömt aus, weshalb wieder Luft in den Raum gelangen und das Feuer erneut anfachen kann. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)

Wenn einem solchen ventilationskontrollierten Brand plötzlich Sauerstoff zugeführt wird, bestehen folgende Entwicklungsmöglichkeiten (die Phänomene werden weiter unten näher erläutert):

1. Rauchexplosion (backdraft)
2. Rauchschiechtexplosion im Raum vor dem Brandraum
3. Kalte Rauchexplosion
4. Selbstentzündung der Brandgase
5. Verzögerte Phänomene (Raumdurchzündung/Rauchexplosion)

In der Übersicht stellen sich diese unterschiedlichen Möglichkeiten wie folgt dar:



Abbildung 9 a und b: Ein Brand entwickelt sich bis der im Brandraum enthaltene Sauerstoff vom Feuer verbraucht wurde. (Foto: Kortenhof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH);

**Rauchexplosion**

Abbildung 10 a - c: Rauchexplosion (backdraft) (Foto: Kortenhof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH)

**Rauchschicht-
explosion**

Abbildung 11 a - d: Rauchschichtexplosion im Raum vor dem Brandraum. (Foto: Fuchs, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)



Kalte Rauchexplosion

Abbildung 12: Der Brand ist verloschen. Es besteht die Möglichkeit einer kalten Rauchexplosion. (Foto: Kortenhof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH)



Selbstentzündung

Abbildung 13: Die Temperatur der Pyrolysegase ist so hoch, dass sie sich an der Tür sofort bei Sauerstoffzutritt selbst entzünden (Selbstentzündung der Brandgase). (Foto: Fuchs, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)



Verzögerte Phänomene

Abbildung 14: Verzögerte Phänomene (Raumdurchzündung/Rauchexplosion) nach erneuter Sauerstoffzufuhr (Öffnen der Tür). (Foto: Kortenhof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH)

Bei aktueller Bauweise wird zunehmend ein Zusammenhang zwischen der sog. Energiespar-Bauweise und dem Auftreten von Bränden mit unzureichender Sauerstoffzufuhr gesehen (vgl. u.a. GRIMWOOD, 2008; Cimolino/Südmersen et al., 1999/2011): Brände können aufgrund des Sauerstoffmangels schwelen und so eine große Menge von Kohlenstoffmonoxid und Pyrolysegasen produzieren. Bei einigen modernen Gebäuden ist wegen der verbauten brennbaren Materialien zur Wärmeisolierung auch bei kleinen Bränden eine hohe Wärmeentwicklung zu erwarten.

2.2.1 Rauchexplosion

Im Gegensatz zur Raumdurchzündung ist für die Entstehung einer Rauchexplosion ein Sauerstoffmangel im Brandraum Voraussetzung. Da sich durch den Sauerstoffmangel die entstandenen Pyrolysegase und Verbrennungsprodukte nicht entzünden und somit nicht verbrannt werden können, sammeln sich diese in großen Mengen an und füllen das gesamte Raumvolumen. Nach dem beabsichtigten Öffnen oder dem brandbedingten Versagen einer Tür oder eines Fensters entweichen die Rauchgase unter Druck und Sauerstoff kann in den Raum strömen. Die im Brandraum verbliebenen Rauchgase durchmischen sich mit Sauerstoff.

Rauchexplosion

Die Zeitdauer, welche für die Vermischung benötigt wird, kann zwischen mehreren Sekunden und mehreren Minuten betragen. Nach der Vermischung liegen nun der Brennstoff (brennbare Gase) und der Luftsauerstoff in vorge-mischter, zündfähiger Form vor. Wird dieses Gemisch entzündet kommt es zu einer Rauchexplosion.

Sekunden bis Minuten bis zur Rauchexplosion

Voraussetzung für eine Rauchexplosion ist, dass Pyrolysegase und Sauerstoff in einem optimalen Mengenverhältnis und zeitgleich eine Zündquelle vorhanden sind.

Mengenverhältnis

Der Rauch formt sich beim Austritt aus der Öffnung zu einer Kugel. Anschließend zündet diese Rauchkugel. Die schnelle Expansion der Rauchgase führt zu einem Feuerball außerhalb des Brandraumes. Daher kommt es bei einer Rauchexplosion zu einem Druckanstieg.

„Explosion der Pyrolyseprodukte und Schwelgase in einem Brandraum mit unzureichender Sauerstoffkonzentration nach Vermischung mit plötzlich zugetretener Luft.“ DIN 41011

Definition Rauchexplosion

Die Stärke der Rauchexplosion wird von der Menge des einströmenden Sauerstoffs und der Lage der Zündquelle bestimmt.

Feuerball hängt von den unverbrannten Pyrolysegasen ab

Es kommt dann zur Zündung, wenn das explosionsfähige Gasluftgemisch mit einer Zündquelle in Berührung kommt. Dabei ist die potentielle Größe des Feuerballs (und somit die Heftigkeit der Explosion) davon abhängig, welche Menge an unverbrannten Pyrolysegasen aktuell in einem zündfähigen Bereich vorliegt.

Keine sichere Vorwarnung

Vor einer Rauchexplosion gibt es kein sicheres Warnsignal!

Beobachtungen, welche auf eine möglicherweise bevorstehende Rauchexplosion hinweisen **können**, sind u. a. (vgl. Bengtsson, 2001 bzw. davor ähnlich auch Südmersen ab 1999, in CIMOLINO, 1999-2011):

- Das Feuer brennt in einem geschlossenen Raum ohne größere Ventilationsöffnungen.
- Ölige, von außen nur sehr schlecht zu erkennende Ablagerungen an den Fensterscheiben sind kondensierte Pyrolyseprodukte. Dies deutet auf einen schlecht ventilierten Brand hin.
- Heiße Türen bedeuten, dass das Feuer schon eine längere Zeit brennt, vielleicht mit zu wenig Sauerstoff.
- Pulsieren des Rauches.
- Pfeifende Geräusche an den Öffnungen durch einströmende Luft.

Rauchfarbe ist kein Erkennungszeichen

Wichtig ist, dass nicht nur ein Warnsignal einzeln auf eine Rauchexplosion hinweist, sondern die Kombination von mehreren! Die Farbe des Brandrauches ist kein sicheres Erkennungsmerkmal.

Aufgetragen über die Zeit, stellt sich der Verlauf von Temperatur bei der Rauchexplosion wie folgt dar:

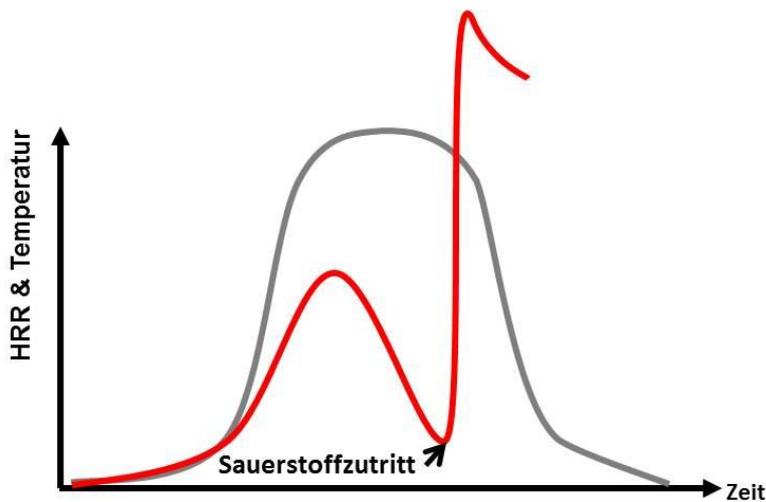


Abbildung 15: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchgasexplosion (Grafik: Ridder, eco-med-Storck GmbH)

Der Einsatzleiter muss das Risiko für seine Mannschaft im Innenangriff abschätzen. Ist das Risiko zu groß, muss defensiv vorgegangen werden. Um das Risiko einer Rauchexplosion zu minimieren gibt es zwei Möglichkeiten: Man kann eine möglichst hoch gelegene Öffnung zum Brandraum schaffen, um so die Rauchgase eventuell brennend abzuführen. Die andere Möglichkeit ist, die Rauchgase massiv mit Wasser zu kühlen. Das erfordert eine Durchflussmenge von mehreren hundert Litern pro Minute (vgl. Bengtsson, 2001).

Risiko einschätzen

2.2.2 Rauchschiechtexplosion

Ein weiteres ventilationskontrolliertes Brandphänomen ist die Rauchschiechtexplosion. Im Gegensatz zur Rauchexplosion ist hierbei nicht das (fast) komplette Raumvolumen des Brandraumes involviert, sondern nur die Rauchschiecht.

Rauchschiechtexplosion



Abbildung 16: Rauchschiechtexplosion (Foto: Fuchs, eco-med-Storck GmbH)

Nach CIMOLINO & SÜDMERSEN, 1999-2011, hat die Rauchschiechtexplosion bis zu einem gewissen Zeitpunkt den gleichen Verlauf wie die Raumdurchzündung – allerdings zündet die Rauchschiecht bei Erreichen der UEG nicht komplett durch Sauerstoffmangel, weil genügend Sauerstoff für die gesamte Rauchschiecht fehlt. Statt dessen reichert sich die Rauchschiecht weiter mit brennbaren Gasen an. Trotzdem kann in einigen Bereichen mit ausreichender Sauerstoffkonzentration eine Verbrennung stattfinden: An der Grenzschicht zwischen Rauch- und Luftzone und beim Verlassen des Rauches aus dem Brandraum können daher Flammenzungen entstehen. Die Gefahr in diesem Stadium des Brandverlaufes geht von der Rauchschiecht aus, die mit brennbaren Gasen gesättigt ist, aber aufgrund von Sauerstoffmangel in dieser Schicht nicht durchzündet kann. Wird jetzt der Rauchschiecht Sauerstoff zugeführt und eingemischt, droht eine sehr schnelle Verbrennungsreaktion – eine Verpuffung, je nach Mischungsgrad ist auch eine Detonation mit entsprechender Druckwelle möglich.

Zeitverzögerte Durchzündung

Je nach Situation kann es zur sofortigen oder zeitverzögerten Durchzündung der Rauchschiecht kommen. Die Rauchschiechtexplosion ist in erster Linie ein ventilationsbedingtes Phänomen. Die Gefährdung ist kurz nach dem Öffnen des Brandraumes und während eines Innenangriffes, wenn sich der direkte Löschangriff auf den Brandherd verzögert oder nicht möglich ist, am größten. Aufgetragen über die Zeit, stellt sich der Verlauf von Temperatur bei der Rauchschiechtexplosion wie folgt dar:

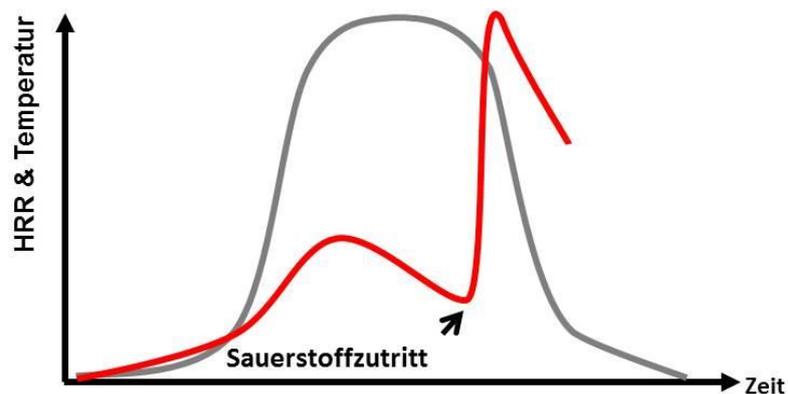


Abbildung 17: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchschiechtexplosion (Grafik: Ridder, ecomed-Storck GmbH)

Dieses Phänomen kann in sog. Rauchdurchzündungsanlagen mit abgetrenntem Brandraum demonstriert werden.

2.3 Ventilationsbedingte Raumdurchzündung

Durch die baulichen und materialbedingten Veränderungen der letzten Jahrzehnte ist eine weitere Veränderung der Phänomene der schnellen Brandausbreitung zu beobachten. Neue Forschungserkenntnisse (vgl. KERBER, 2011) zeigen, dass aufgrund der zunehmend ventilationskontrollierten Brandbedingungen die Grenzen zwischen den Phänomenen Raumdurchzündung und Rauchexplosion verschwimmen. Durch den fehlenden Sauerstoff erreicht der Brand im Raum nicht die Raumdurchzündungsphase. Somit kommt es erst zur Raumdurchzündung, wenn Sauerstoff zugeführt wird. Als Resultat kommt es zu einem schlagartigen Anstieg der Wärmefreisetzungsrate und Temperatur im Raum. Somit besteht bei dieser sog. „**ventilationsbedingten Raumdurchzündung**“ ein ganz ähnlicher Entstehungsmechanismus wie bei einer Rauchexplosion, mit dem Unterschied, dass eine Druckwelle unterbleibt (vgl. RIDDER, 2011).

Grenzen zwischen den Phänomenen verschwimmen

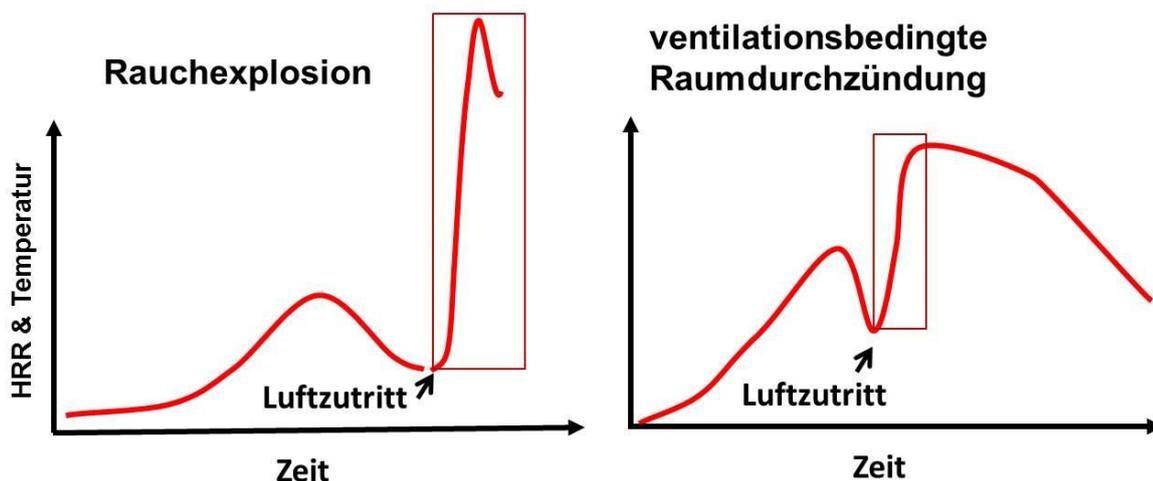


Abbildung 18 a und b: Wärmefreisetzungsrate und Temperatur über der Zeit bei Rauchexplosion (links) und ventilationsbedingter Raumdurchzündung (rechts). (Grafik: Ridder, verändert nach KERBER, 2010, ecomed-Storck GmbH)

2.4 Sonstige Brandphänomene

Wie schon kurz erwähnt, gibt es neben den Haupt-Phänomenen auch „Grauzonen“ und vermischte Phänomene. Einige wichtige derartige „sonstige Brandphänomene“ werden im Folgenden beschrieben.

Sonstige Brandphänomene

2.4.1 Kalte Rauchexplosion

Die weiter oben erwähnte Rauchexplosion bei Brandverläufen mit unzureichender Sauerstoffzufuhr ist ein ventilationsgesteuertes Ereignis, wohingegen die hier beschriebene kalte Rauchexplosion erst durch die Zufuhr einer Zündquelle ausgelöst wird. Für eine sog. kalte Rauchexplosion entspricht der

Rauchexplosion trotz Abkühlung

Brandverlauf anfangs dem einer Rauchexplosion (vgl. BENGTTSSON, 2001). Aufgrund des Sauerstoffmangels verlischt der Brand irgendwann und die verbliebenen Pyrolysegase kühlen ab und ziehen sich zusammen. Dabei kann Luft durch kleine Öffnungen in den Raum gesogen werden, wodurch die anfangs „fette“ Mischung der Pyrolysegase mit Luft verdünnt wird. Die im Raum befindlichen Gase können jedoch, obwohl sie inzwischen gut vermischt sind, nicht zünden, da die Zündquelle fehlt. Erreichen jedoch die zündfähigen Gas-mischungen im Raum eine Zündquelle erfolgt die Rauchexplosion. Der Zeitpunkt der Explosion ist dabei nicht genau bestimmbar.

2.4.2 Verlagerte Rauchexplosion

Rauchexplosion im Nachbarraum

Verlagerte Rauchexplosionen können sich in Räumen ereignen, die an den Brandraum angrenzen. Dabei vermischen sich Rauchgase, die im Brandraum entstehen, beim Austreten aus dem Raum mit Luft. Ist in dem angrenzenden Raum eine Zündquelle vorhanden, kann es je nach Mischungsverhältnis dort zu einer Explosion kommen. Bei einer verlagerten Rauchexplosion ist die Zündquelle entscheidend. Die Zündquelle fehlt zuerst, da das Feuer keinen Kontakt zu dem angrenzenden Raum hat. Die Brandgase haben Zeit, sich mit der vorhandenen Raumluft zu vermischen. Die Intensität der Durchzündung ist davon abhängig, wie viel des Raumvolumens mit Gas-/Luftgemisch im zündfähigen Bereich ausgefüllt ist. Köhlen sich die Brandgase ab und reichern sich in dem Nebenraum an, kann es dort zu einer kalten Rauchexplosion (s.o.) kommen.



Abbildung 19: Verlagerte Rauchexplosion. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)

2.4.3 Selbstentzündung der Brandgase

Selbstentzündung

Die aus einem Brandraum austretenden Rauchgase können sich selbstständig an einer Öffnung (Sauerstoffangebot!) entzünden, wenn ausreichend hohe Temperaturen in der Rauchgasschicht vorliegen. Die Zündtemperatur der in

der Rauchgasschicht enthaltenden Pyrolyseprodukte liegt ungefähr zwischen 500 °C und 600 °C. Der im Brandraum fehlende Sauerstoff verhindert eine Entzündung der Rauchgase beim Erreichen ihrer Zündtemperatur. Verlassen die Rauchgase den Brandraum, können sie sich mit Luft vermischen. Wie weit die Flammen von der Öffnung in den Brandraum laufen, hängt von der Menge der gebildeten Pyrolysegase und von der Größe der Öffnung ab. Es ist möglich, dass die Flammen die gesamten Rauchgase im Raum entzünden und es so zu einem voll entwickelten Zimmerbrand kommt (vgl. Bengtsson, 2001, GRIMWOOD, 2008).



Abbildung 20: Ablauf der Selbstentzündung heißer Pyrolysegase nach dem Öffnen einer Tür. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)

2.4.4 Winddruckstichflammen

Ein rein physikalisches Phänomen der extremen Brandausbreitung sind die sog. „Winddruckstichflammen“ (vgl. MADRZYKOWSKI & KERBER, 2009). Dieses Phänomen beschreibt den Effekt, den Wind, der auf Gebäuden steht, auf ein Feuer haben kann: Heiße Gase und Flammen strömen horizontal aus dem Brandraum heraus in den Flur oder ins Freie.

Horizontale Flamme



Abbildung 21 a und b: Typisches Erscheinungsbild von Winddruckstichflammen (Fotos: W. Westerholz, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)

Dabei entwickelt sich ein „klassischer“ Zimmerbrand unmittelbar nach Herstellen eines Ventilationskanals (Platzen eines Fensters o.ä.) zu einem extremen Brandereignis. Sobald der Ventilationskanal vom Fenster bis zur Abluftöffnung vollständig etabliert ist, steigen die Temperaturen **über die gesamte Höhe des Raumes und Flures** (!) innerhalb von Sekunden auf ca. 600 °C an. In dieser Situation besteht dann keine Möglichkeit mehr, am Boden „Deckung“ zu suchen, da die Bedingungen von Boden bis Decke gleichermaßen lebensfeindlich und auch mit PSA nicht auszuhalten sind. Die Situation ist auch mit einem massiven Wassereinsatz von mehreren 100 l/min nicht zu beherrschen. Steht ein Trupp im Ventilationskanal hat er keine Chance auf Flucht! Binnen kürzester Zeit (wenige Sekunden) versagen die Atemschutztechnik und die restliche Schutzausrüstung. Man kann daher sagen, dass derartige Situationen auch für Feuerwehrangehörige in vollständiger PSA nicht überlebbar sind!

Lebensgefahr

Der Versuche der Brandbekämpfung gegen die Windrichtung im Ventilationskanal ist völlig aussichtslos und lebensgefährlich.

Als Maßnahmen bei Bränden in windbelasteten Gebäuden wurden daher in verschiedenen Studien mehrere Alternativen erprobt, die vor allem in Kombination positive Auswirkungen zeigten. Dazu gehören besondere Strahlrohre (z.B. an einem Gestänge in „L“- oder „U“-Form), mit denen vom Stockwerk über oder unter dem Brandraum Wasser in den Raum gegeben werden kann, besondere Windvorhänge, die von außen über die Zuluftöffnung gelegt werden sowie Maßnahmen der taktischen Ventilation, um die Auswirkungen der Strömung zu reduzieren. Überdrucklüfter alleine können jedoch nicht die Strömungsrichtung umkehren, da sie nicht leistungsfähig genug sind; in Kombination mit den anderen Maßnahmen kann durch taktische Ventilation jedoch der Treppenraum gesichert werden (Kerber & Madrzykowski, 2009).

3 Zusammenfassung

Verschiedene Phänomene der extremen Brandausbreitung werden durch ebenso verschiedene Faktoren beeinflusst. Dennoch lassen sich, wie in der nachfolgenden Grafik dargestellt, verschiedene Untergruppen bilden.

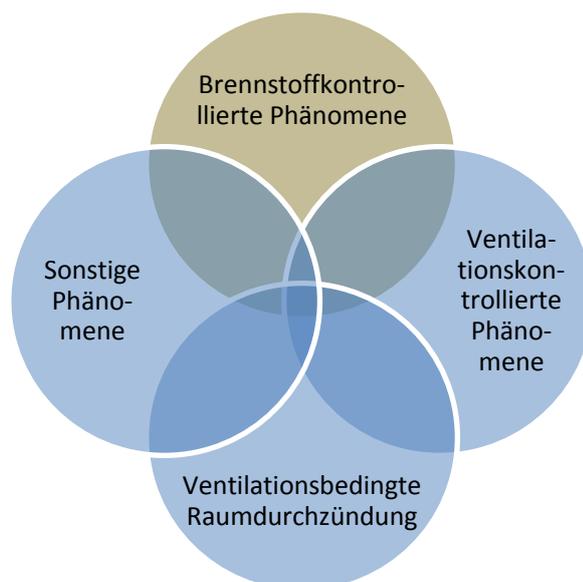


Abbildung 22: Untergruppen der Phänomene der extremen Brandausbreitung (Grafik: Vöge, IdF NRW)

Wie dicht einzelnen Phänomene beieinander liegen wurde in dieser Lernunterlage ausführlich beschrieben. Des Weiteren sind die unterschiedlichen Brandverläufe und die daraus resultierenden Gegenmaßnahmen dargestellt worden. Insgesamt ergibt sich ein Schulungsbedarf, der von Ihnen, werte Leserinnen und Leser, aktiv mitgestaltet werden kann.

4 Literaturverzeichnis

Die Literaturangaben beziehen sich auf das Kapitel 3 „Brandverläufe in geschlossenen Räumen und Phänomene der extremen Brandausbreitung“ aus dem Buch „Brandbekämpfung im Innenangriff“, welches 2013 im Ecomed-Verlag erschienen ist und von den Autoren Ridder, Cimolino, Fuchs, Südmerßen und Volkmar verfasst wurde.

Bengtsson, Lars-Göran: Enclosure Fires, Swedish Rescue Services Agency, Karlstad, 2001

Cimolino, Ulrich (Hrsg.): Atemschutz, 5. Auflage, Ecomed Verlag, Landsberg, 1999-2011

Grimwood, Paul: Euro Firefighter – Global Firefighting Strategy and Tactics, Command and Control, Firefighter Safety, Jeremy Mills Publishing Ltd., Lindley (UK), 2008

Kerber, Stephen & Madrzykowski, Daniel: Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Fire Conditions: 7-Story Building Experiments, NIST Technical Note 1629, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/MD, 2009

Kerber, Steve: Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction, Underwriters Laboratories, 2010

Madrzykowski, Daniel & Kerber, Stephen – Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Conditions: Laboratory Experiments, NIST Technical Note 1618, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/MD, 2009

Ridder, Adrian: Mitarbeiterqualifizierung als Bestandteil der Business Resilience einer Werkfeuerwehr der chemischen Industrie, Master-Thesis, Lehrstuhl Methoden der Sicherheitstechnik/Unfallforschung, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, 2011.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell für die Phänomene der extremen Brandausbreitung basierend auf den deutschen Definitionen (Abbildung: Volkmar, ecomed-Storck GmbH, bearbeitet von Vöge, IdF NRW)	4
Abbildung 2: Entstehungsphase dargestellt im Übungscontainer (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH)	6
Abbildung 3: Entwicklungsphase dargestellt in Übungsanlage: sichtbaren Pyrolysegase in der rechten Ecke. (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH)	7
Abbildung 4 a: Simulierter Raum im Übungscontainer: Brandausbruch war in der rechten hinteren Ecke. (Foto: Fuchs, SCB Boxmeer, Niederlande, ecomed-Storck GmbH)	8
Abbildung 6: Vollbrandphase: über den Zustand der Raumdurchzündungsphase hinaus ist hier das komplette Raumvolumen mit Flammen gefüllt. (Foto: Fichte, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)	9
Abbildung 7: Wärmefreisetzungsrate und Temperaturverlauf bezogen auf den Zeitverlauf einer Raumdurchzündung: der Bereich im Kasten stellt die Phase der Raumdurchzündung dar, nach welcher der Raum im Vollbrand steht. (Grafik: Ridder, ecomed-Storck GmbH)	10
Abbildung 8: Rauchdurchzündung dargestellt in einer Brandübungsanlage. (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH).....	11
Abbildung 9 a und b. Ablauf der Druckverhältnisse im Brandraum, welche zum Pulsieren des Brandrauches an den Öffnungen führen. a: Abströmen des Rauches und Verschließen der Öffnung für Zuluft. b: weniger Rauch strömt aus, weshalb wieder Luft in den Raum gelangen und das Feuer erneut anfachen kann. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)	12
Abbildung 10 a und b: Ein Brand entwickelt sich bis der im Brandraum enthaltene Sauerstoff vom Feuer verbraucht wurde. (Foto: Korten Hof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH);	12
Abbildung 12 a - c: Rauchexplosion (Backdraft) (Foto: Korten Hof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH)	13
Abbildung 13 a - d: Rauchschichtexplosion im Raum vor dem Brandraum. (Foto: Fuchs, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH).....	13
Abbildung 14: Der Brand ist verloschen. Es besteht die Möglichkeit einer kalten Rauchexplosion. (Foto: Korten Hof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH) ...	14
Abbildung 15: Die Temperatur der Pyrolysegase ist so hoch, dass sie sich an der Tür sofort bei Sauerstoffzutritt selbst entzünden (Selbstentzündung der Brandgase). (Foto: Fuchs, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)	14

Abbildung 16: Verzögerte Phänomene (Raumdurchzündung/Rauchexplosion) nach erneuter Sauerstoffzufuhr (Öffnen der Tür). (Foto: Kortenhof, Leipzig, ecomed-Storck GmbH)	14
Abbildung 17: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchgasexplosion (Grafik: Ridder, ecomed-Storck GmbH)	17
Abbildung 18: Rauchschichtexplosion (Foto: Fuchs, ecomed-Storck GmbH)	17
Abbildung 19: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchschichtexplosion (Grafik: Ridder, ecomed-Storck GmbH)	18
Abbildung 20 a und b: Wärmefreisetzungsrates und Temperatur über der Zeit bei Rauchexplosion (links) und ventilationsbedingter Raumdurchzündung (rechts). (Grafik: Ridder, verändert nach KERBER, 2010, ecomed-Storck GmbH)	19
Abbildung 21: Verlagerte Rauchexplosion. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)	20
Abbildung 22: Ablauf der Selbstentzündung heißer Pyrolysegase nach dem Öffnen einer Tür. (Grafik: Bengtsson, 2001, ecomed-Storck GmbH)	21
Abbildung 23 a und b: Typisches Erscheinungsbild von Winddruckstichflammen (Fotos: W. Westerholz, Wuppertal, ecomed-Storck GmbH)	22
Abbildung 24: Untergruppen der Phänomene der extremen Brandausbreitung (Grafik: Vöge, IdF NRW)	23