

Phänomene der externen Brandausbreitung

Ziel dieses **Ausbildungsleitfadens** ist es, dass die Teilnehmer Phänomene der extremen Brandausbreitung im Einsatz erkennen, die Möglichkeiten einer wirksamen Brandbekämpfung einsetzen können und ein einheitliches Begriffsverständnis vorhanden ist.

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

- Im Zusammenhang mit der Brandbekämpfung in Gebäuden stellt sich sehr bald die Frage:
Welches Phänomen liegt vor?
Eine Raumdurchzündung oder eine Rauchexplosion?
- Übersicht der einzelnen Phänomene:

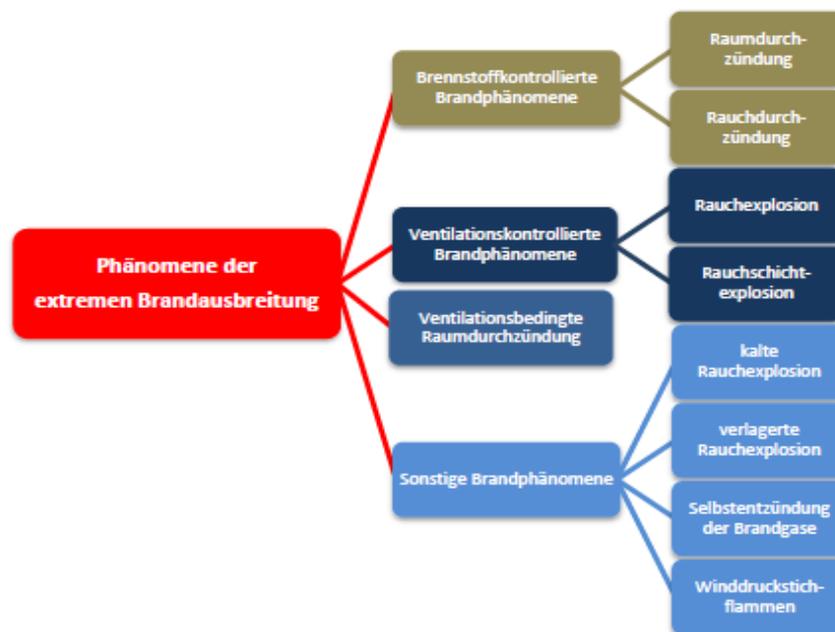


Abbildung 1: Modell für die Phänomene der extremen Brandausbreitung basierend auf den deutschen Definitionen (Abbildung: Volkmar, ecomed-Storck GmbH, bearbeitet von Vöge, IdF NRW)

- Brandverläufe in Gebäuden stellen chaotische Systeme dar.
- 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 Sauerstoffzufuhr mangelt (ventilationskontrollierter Brand)
 - Sauerstoff verzögert zu einer Situation zugeführt wird,kommt es zu unterschiedlichen Brandverläufen und damit auch Brandphänomenen.

a) **Brennstoffkontrollierte Brandphänomene**

- Ein Brand in einem Zimmer wird, je nach Entwicklungsstadium, in unterschiedliche Phasen eingeteilt:
 - Entstehungsphase
 - Entwicklungsphase
 - Raumdurchzündungsphase
 - Vollbrandphase
 - Abklingphase
- Die Raumdurchzündungsphase wird hier gesondert aufgeführt, da sie für die Innenbrandbekämpfung von besonderer Bedeutung ist.
- Entstehungsphase
 - Zuerst wird nur geringe Wärme freigesetzt.
 - An den brennbaren Materialien, die unmittelbar an die Flammen angrenzen, kommt es zur Pyrolyse.



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

- 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.

- Das Feuer ist brennstoffkontrolliert.
 - ✓ Es genug Sauerstoff vorhanden, um den entzündeten Brennstoff zu verbrennen.
 - ✓ Einzig der vorhandene Brennstoff ist die limitierende Größe für die Größe des Brandes.
- Unter der Raumdecke bildet sich eine Rauchschiicht.
- In der Rauchschiicht herrscht ein Überdruck, aufgrund der Thermik der erwärmten Raumluft und Rauchgase.
- 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 zwischen den Schichten wird als „neutrale Ebene“ bezeichnet.



- Im Verlauf des Brandes entstehen zunehmend Pyrolysegase, die nicht mehr komplett durch die Flammen direkt am Brandherd verbrannt werden können.
- Sie sammeln sich in der Rauchschiicht.
- Durch Wärmestrahlung werden alle brennbaren Oberflächen im Raum thermisch aufbereitet und es werden noch mehr Pyrolysegase freigesetzt.
- Die so erzeugten Pyrolysegase werden bei Erreichen ihrer Zündtemperatur entzündet.



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

- Der Brand greift dadurch auf alle brennbaren Oberflächen im Raum über.
- Raumdurchzündungsphase (Flashoverphase)
- Eine Raumdurchzündung wird häufig durch eine Rauchsichtdurchzündung eingeleitet.
 - Bei Erreichen der Zündtemperatur der Pyrolyseprodukte entzündet sich die Unterseite der Rauchgasschicht, wo brennbare Pyrolysegase und Luft direkt aufeinander treffen. (=Rauchsichtdurchzündung)
 - Anfänglich verläuft die Verbrennung mit langsamer Geschwindigkeit in Form von Flammenzungen.
 - Diese wandern an der Unterseite der Rauchsicht entlang.
 - Das führt zu einer Durchmischung von Rauchgassicht und Luft.
 - Die Wärmestrahlung steigt aufgrund der auftretenden Flammen stark an, wenn sich die Rauchsicht entzündet.
 - Definition Raumdurchzündung:
„Schlagartige Ausbreitung eines Brandes auf alle thermisch aufbereiteten Oberflächen brennbarer Stoffe in einem Raum.“
DIN14011



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)

- 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)

- 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.
 - ✓ Brennstoff ist in ausreichender Menge vorhanden.
 - ✓ Der Sauerstoff ist nun der limitierende Faktor.
 - ✓ Die entstehenden 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.
 - ✓ Nach der Vollbrandphase wird das Feuer irgendwann wieder brennstoffkontrolliert werden und langsam abklingen.
 - ✓ Voraussetzungen hierfür, mangels noch vorhandenen Brennstoffes wird wieder weniger Pyrolysegase gebildet.
 - ✓ Der Verlauf der Temperatur (und Wärmefreisetzungsrate) bei der Raumdurchzündung stellt sich wie folgt dar:

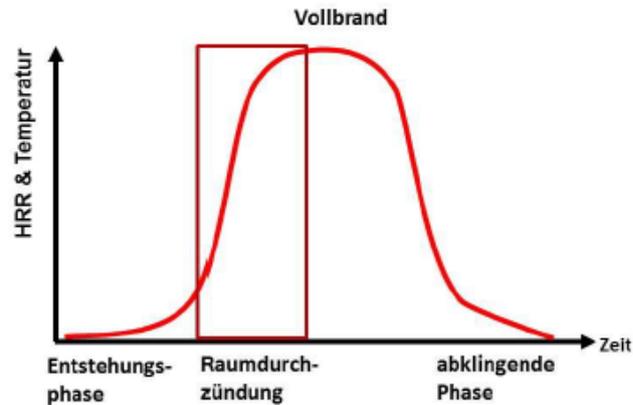


Abbildung 6: Wärmefreisetzungsrate und Temperaturverlauf bezogen auf den Zeitverlauf einer Raumdurchzündung: der Bereich im Kasten stellt die Phase der Raumdurchzündung dar, nach welcher der Raum im Vollbrand steht. (Grafik: Ridder, eco-med-Storck GmbH)

- Raumdurchzündung ohne signifikanten Druckanstieg
 - Definition Raumdurchzündung:

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

b) 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. Hinweise auf einen schlecht ventilierten Brand können:
 - das Pulsieren des Brandrauches an kleinen Öffnungen, wie
 - ✓ Fensterschlitze
 - ✓ 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.
- Dadurch kann nun wieder gleichzeitig mehr Luft einströmen.

- Somit wird das Feuer durch die Sauerstoffzufuhr wieder größer.
- Es wird mehr Brandrauch produziert.
- Der Effekt wiederholt sich fortlaufend. (Pulsieren des Rauches, „Lokomotiveffekt“)

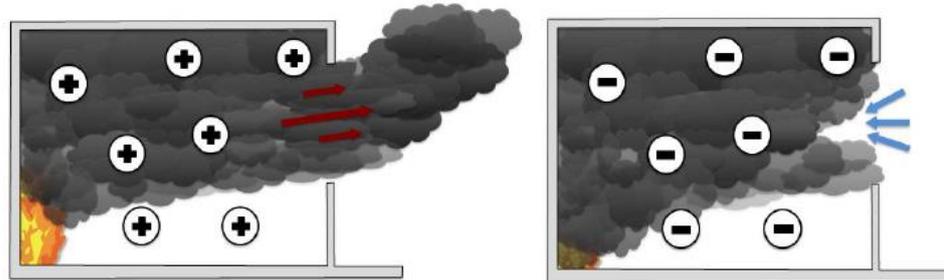


Abbildung 8 a und b. Ablauf der Druckverhältnisse im Brandraum, welche zum Pulsieren des Brandrauches an den Öffnungen führen. a: Abströmen des Rauchs und Verschließen der Öffnung für Zuluft. b: weniger Rauch strömt aus, weshalb wieder Luft in den Raum gelangen und das Feuer erneut anfachen kann. (Grafiken: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

- Wenn einem solchen ventilationskontrollierten Brand plötzlich Sauerstoff zugeführt wird, bestehen folgende Entwicklungsmöglichkeiten:
 - Rauchexplosion (Backdraft)
 - Rauchschiechtexplosion im Raum vor dem Brandraum
 - Kalte Rauchexplosion
 - Selbstentzündung der Brandgase
 - 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
 - ✓ Im Gegensatz zur Raumdurchzündung ist für die Entstehung einer Rauchexplosion ein Sauerstoffmangel im Brandraum Voraussetzung.
 - ✓ Durch den Sauerstoffmangel entzünden sich die entstandenen Pyrolysegase und Verbrennungsprodukte nicht und werden nicht verbrannt.
 - ✓ Sie sammeln sich 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 einströmen.
 - ✓ Die im Brandraum verbliebenen Rauchgase durchmischen sich mit Sauerstoff.
 - ✓ 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 vorgemischter, zündfähiger Form vor.
 - ✓ Wird dieses Gemisch entzündet kommt es zu einer Rauchexplosion.
 - ✓ Voraussetzung für eine Rauchexplosion ist, dass
 - Pyrolysegase und
 - Sauerstoffin einem optimalen Mengenverhältnis und zugleich eine
 - Zündquellevorhanden sind.
 - ✓ 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 14011**
 - ✓ Die Stärke der Rauchexplosion wird von der Menge des einströmenden Sauerstoffs und der Lage der Zündquelle bestimmt.
 - ✓ Es kommt dann zur Zündung, wenn das explosionsfähige Gas-Luft-Gemisch 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.
- ✓ Vor einer Rauchexplosion gibt es kein sicheres Warnsignal!
 - ✓ Beobachtungen, welche auf eine möglicherweise bevorstehende Rauchexplosion hinweisen können, sind u.a.:
 - 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 längere Zeit brennt, vielleicht mit zu wenig Sauerstoff.
 - Pulsieren des Rauches
 - Pfeifende Geräusche an den Öffnungen durch einströmende Luft.
 - ✓ **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:

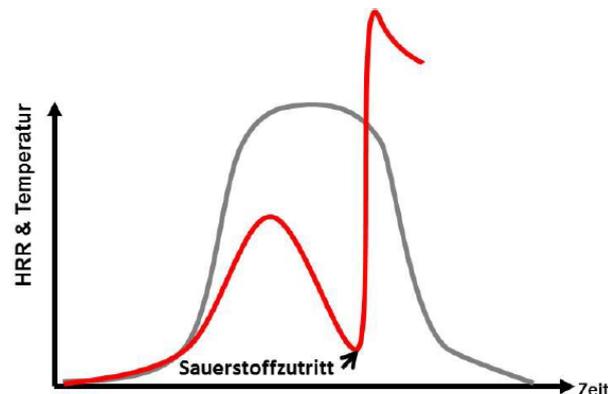


Abbildung 15: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchgasexplosion (Grafik: Ridder, eco-med-Storck GmbH)

- ✓ Um das Risiko einer Rauchexplosion zu minimieren gibt es zwei Möglichkeiten:
 - Schaffung einer möglichst hoch gelegenen Öffnung zum Brandraum, um so die Rauchgase eventuell brennend abzuführen.
 - Rauchgase massiv mit Wasser kühlen. Das erfordert eine Durchflussmenge von mehreren hundert Litern pro Minute.



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

- Rauchschichtexplosion
 - ✓ Im Gegensatz zur Rauchexplosion ist hierbei nicht das (fast) komplette Raumvolumen des Brandraumes involviert, sondern nur die Rauchschiicht.
 - ✓ Bis zu einem gewissen Zeitpunkt hat die Rauchschichtexplosion den gleichen Verlauf wie die Raumdurchzündung.
 - ✓ Die Rauchschicht entzündet allerdings bei Erreichen der UEG nicht komplett durch.
 - ✓ Grund ist Sauerstoffmangel. Es ist nicht genügend Sauerstoff für die gesamte Rauchschicht vorhanden.
 - ✓ Stattdessen reichert sich die Rauchschicht weiter mit brennbaren Gasen an.
 - ✓ In einigen Bereichen finden trotzdem eine Verbrennung mit ausreichender Sauerstoffkonzentration statt.
 - ✓ An der
 - Grenzschicht zwischen Rauch- und Luftzone und
 - beim Verlassen des Rauches aus dem Brandraum können daher Flammzungen entstehen.
 - ✓ Die Gefahr in diesem Stadium des Brandverlaufes geht von der Rauchschicht aus, die mit brennbaren Gasen gesättigt ist.
 - ✓ Aufgrund von Sauerstoffmangel kann diese Schicht nicht durchzündend.

- ✓ Wird jetzt der Rauchschiicht Sauerstoff zugeführt und eingemischt, droht eine sehr schnelle Verbrennungsreaktion – eine Verpuffung, je nach Mischungsgrad ist auch eine Detonation mit entsprechender Druckwelle möglich.
- ✓ Je nach Situation kann es zur sofortigen oder zeitverzögerten Durchzündung der Rauchschiicht kommen.
- ✓ Die Rauchexplosion ist in erster Linie ein ventilationsbedingtes Phänomen.
- ✓ Die Gefährdung ist am größten:
 - Kurz nach dem Öffnen des Brandraumes und
 - Während des Innenangriffs, wenn sich der direkte Löschangriff auf den Brandherd verzögert oder nicht möglich ist.
- ✓ Aufgetragen über die Zeit, stellt sich der Verlauf von Temperatur bei der Rauchschiichtexplosion wie folgt dar:

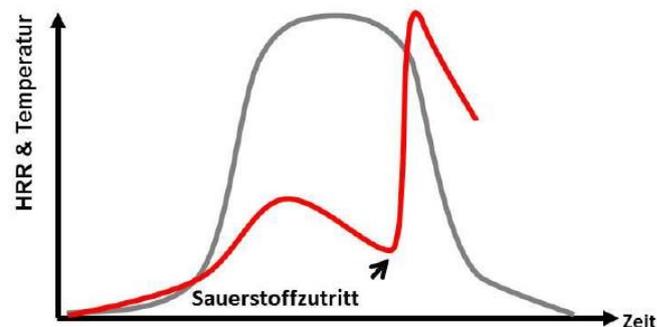


Abbildung 17: Temperatur-/Zeitverlauf einer Rauchschiichtexplosion (Grafik: Ridder, ecomed-Storck GmbH)



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

- Ventilationsbedingte Raumdurchzündung
 - ✓ Durch die baulichen und materialbedingten Veränderungen der letzten Jahrzehnte ist eine weitere Veränderung der Phänomene der schnellen Brandausbreitung zu beobachten.
 - ✓ Durch fehlenden Sauerstoff kann der Brand im Raum nicht die Raumdurchzündungsphase erreichen.
 - ✓ Somit kommt es erst zur Raumdurchzündung, wenn Sauerstoff zugeführt wird.
 - ✓ Als Resultat kommt es zu einem schlagartigen Anstieg der Wärmefreisetzungsrate und Temperatur im Raum.
 - ✓ Es entsteht ein ähnlicher Entstehungsmechanismus wie bei einer Rauchexplosion.
 - ✓ Einziger Unterschied ist das Unterbleiben einer Druckwelle.

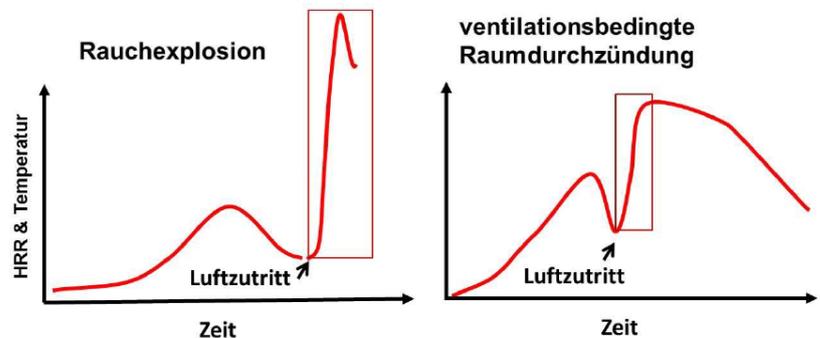


Abbildung 18 a und b: Wärmefreisetzungsrate und Temperatur über der Zeit bei Rauchexplosion (links) und ventilationsbedingter Raumdurchzündung (rechts). (Grafik: Ridder, verändert nach KERBER, 2010, ecomed-Storck GmbH)

- Kalte Rauchexplosion
 - ✓ Eine kalte Rauchexplosion wird erst durch die Zufuhr einer Zündquelle ausgelöst.
 - ✓ Die bereits erwähnte Rauchexplosion bei Brandverläufen mit unzureichender Sauerstoffzufuhr ist ein ventilationsgesteuertes Ereignis.
 - ✓ Aufgrund von Sauerstoffmangel verlischt der Brand irgendwann und die verbliebenen Pyrolysegase kühlen ab.
 - ✓ Die Pyrolysegase ziehen sich zusammen.
 - ✓ Dabei kann Luft durch kleine Öffnungen in den Raum gesogen werden.
 - ✓ Die anfangs „fette Mischung“ der Pyrolysegase wird mit Luft verdünnt.
 - ✓ Die im Raum befindlichen Gase sind jetzt gut vermischt, können jedoch aufgrund fehlender Zündquelle nicht zünden.
 - ✓ Erreichen jedoch die zündfähigen Gasmischungen im Raum eine Zündquelle erfolgt die Rauchexplosion.
 - ✓ Der Zeitpunkt der Explosion ist dabei nicht genau bestimmbar.

- Verlagerte Rauchexplosion
 - ✓ Verlagerte Rauchexplosionen können sich in Räumen ereignen, die an den Brandraum angrenzen.
 - ✓ Rauchgase, die im Brandraum entstehen, vermischen beim Austreten aus dem Raum mit Luft.
 - ✓ Ist in dem angrenzenden Raum eine Zündquelle vorhanden, kann es je nach Mischungsverhältnis dort zu einer Rauchexplosion kommen.
 - ✓ Bei einer vorgelagerten 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.
 - ✓ Köhlen sich die Brandgase ab und reichern sich in dem Nebenraum an, kann es dort zu einer kalten Rauchexplosion kommen.

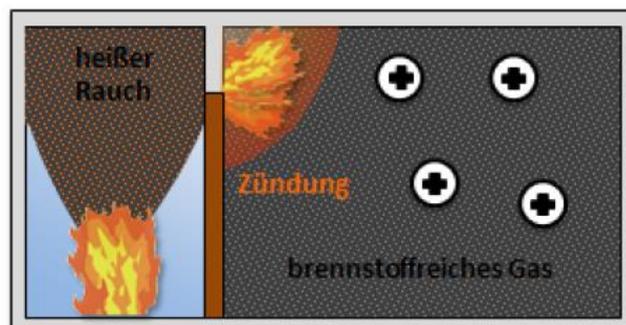


Abbildung 19: Verlagerte Rauchexplosion. (Grafik: Andreas Weich)

- Selbstentzündung der Brandgase
 - ✓ Die in einem Brandraum austretenden Rauchgase können sich selbständig an einer Öffnung (Sauerstoffangebot!) entzünden.
 - ✓ In der Rauchgasschicht müssen ausreichend hohe Temperaturen vorliegen.
 - ✓ Die Zündtemperatur der Pyrolyseprodukte in der Rauchsicht liegt ungefähr zwischen 500 °C und 600 °C.
 - ✓ Der im Brandraum fehlende Sauerstoff verhindert eine Entzündung der Rauchgase beim Erreichen der 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.

- ✓ Es kann so zu einem voll entwickelten Zimmerbrand kommen.



Abbildung 20: Ablauf der Selbstentzündung heißer Pyrolysegase nach dem Öffnen einer Tür. (Grafik: Andreas Weich)



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)

- Winddruckflamme, Winddruckstichflammen
 - ✓ Winddruckstichflammen sind ein rein physikalisches Phänomen der extremen Brandausbreitung.
 - ✓ 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.



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

- ✓ Es entwickelt sich ein „klassischer Zimmerbrand“ unmittelbar nach Herstellen eines Ventilationskanals (Platzen eines Fensters o.ä.) zu einem extremen Brandereignis.
- ✓ Im Raum gesammelte Brandgase werden verwirbelt, mit Sauerstoff durchmischt und zur Tür herausgedrückt.
- ✓ Sobald der Ventilationskanal vom Fenster bis zur Abluftöffnung vollständig etabliert ist, steigen die Temperaturen über die gesamte Höhe des Raumes und des Flures innerhalb von Sekunden auf ca. 600 °C an.
- ✓ In dieser Situation besteht dann keine Möglichkeit mehr, am Boden „Deckung“ zu suchen.
- ✓ Die Bedingungen von Boden bis Decke sind gleichermaßen lebensfeindlich.
- ✓ Auch die PSA bietet keinen ausreichend Schutz mehr.
- ✓ Ein massiver Wassereinsatz von mehreren 100 L/min kann die Situation ebenfalls nicht mehr beherrschbar machen.
- ✓ Steht ein Trupp in dem Ventilationskanal hat er keine Chance auf Flucht!
- ✓ Binnen kürzester Zeit versagen die Atemschutztechnik und die restliche Schutzausrüstung.
- ✓ **Es besteht für Feuerwehrangehörige in vollständiger PSA Lebensgefahr!**

- ✓ **Der Versuch 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.
- ✓ Maßnahmen der taktischen Ventilation, um die Auswirkungen der Strömung zu reduzieren.
- ✓ Belüftungsgeräte alleine können jedoch nicht die Strömungsrichtung umkehren, da sie nicht leistungsfähig genug sind.
- ✓ In Kombination mit anderen Maßnahmen kann jedoch durch die taktische Ventilation ein Treppenraum gesichert werden.

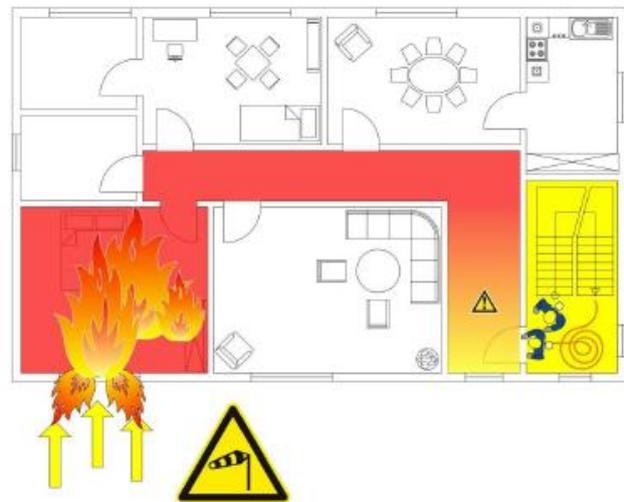


Abbildung 27 - Gefährdung durch Winddruckflammen & -stichflammen, Jürgen Buil

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:

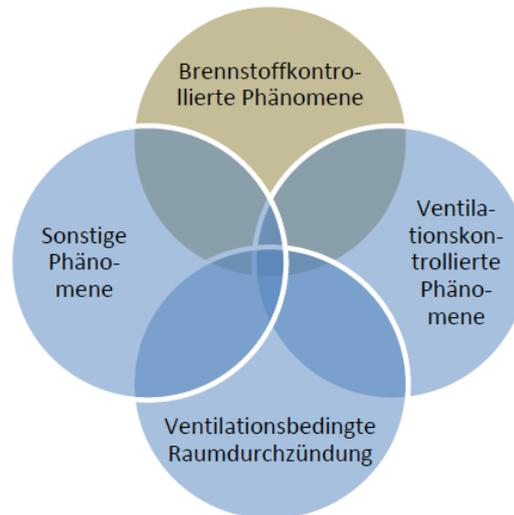


Abbildung 22: Untergruppen der Phänomene der extremen Brandausbreitung (Grafik: Vöge, IdF NRW)

- Wie dicht einzelne Phänomene beieinander liegen wurde in dieser Lehrunterlage ausführlich beschrieben.
- Die unterschiedlichen Brandverläufe und die daraus resultierenden Gegenmaßnahmen wurden dargestellt.

4. **Literaturverzeichnis**

Die Literaturangaben beziehen sich auf die 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, Südmersen und Volkmar verfasst wurde.

Lehrunterlage B1-401, „Phänomene der extremen Brandausbreitung“, IDF NRW, Ausgabe Mai 2018.

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 Fighter – 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**

Alle Abbildungen in dieser Lehrunterlage stammen aus der Lehrunterlage B1-401, „Phänomene der extremen Brandausbreitung“, IDF NRW, Ausgabe Mai 2018.