

Rapid Fire Progress: Eine Übersicht

1 Einleitung

In den vorherigen Artikeln dieser Reihe haben wir drei Gruppen von Phänomenen der schnellen Brandausbreitung studiert. Der Mechanismus hinter jedem Phänomen wurde betrachtet und es wurde erklärt, welche Abläufe stattfinden, wenn das jeweilige Phänomen sich ereignet. Um zu einem besseren Verständnis für die schnelle Brandausbreitung zu gelangen, werden wir nun die Phänomene auf eine andere Weise betrachten. Vom praktischen Standpunkt aus gesehen, ist es nämlich für einen Feuerwehrmann wichtiger, zu wissen, DASS ETWAS SCHIEFLAUFEN KANN, WENN..., als zu wissen, WAS GENAU PASSIERT, WENN ETWAS SCHIEFLÄUFT. Ein Beispiel kann dies verdeutlichen: Es ist für einen Feuerwehrmann viel wichtiger, die Begleitumstände, die zu einem Flashover führen, erkennen zu können, als während eines Flashovers begreifen zu können, dass er sich inmitten eines solchen Phänomens befindet.

Auf Bild 1 ist eine Graphik abgebildet, in der die meisten Formen der schnellen Brandausbreitung ihren Platz finden. Die Graphik beginnt bei den Anzeichen und den Bedingungen, die bei dem jeweils unmittelbar bevorstehenden Phänomen vorhanden sein müssen. Für Feuerwehrleute ist es überlebenswichtig, einschätzen zu können, welches Phänomen aus der jeweiligen Situation entstehen kann, in der sie sich gerade befinden. Die Graphik gibt daher eine Übersicht über die Vorbedingungen für die verschiedenen Phänomene der schnellen Brandausbreitung.

Bei jedem Phänomen bedarf es noch einer weiteren finalen Entwicklung, damit es letztendlich von der Vorstufe in das tatsächliche Ereignis wechseln kann. In der Graphik sind die Umstände unmittelbar vor dem Eintreten des Ereignis¹ zu sehen, was in der Regel darauf hinaus läuft, dass in diesem Moment (noch) eine Seite des Branddreiecks fehlt. Es ist an uns, den Feuerwehrleuten, zu wissen und zu erkennen, welche Begleitumstände auf welches bevorstehende Phänomen hinweisen. Die Auflistung der Vorzeichen für Flashover und Backdraft dürften (müssten!) jedem Feuerwehrmann geläufig sein, während es sich allerdings als bedeutend schwieriger erweist, das Auftreten einer Fire Gas Ignition (Rauchgasentzündung) vorauszusehen.

Eine gute Observation der Gefahrenlage (und gute Kommunikation untereinander), können ausschlaggebend dafür sein, dass die warnenden Anzeichen bemerkt werden, bevor es zu spät ist. Auf Basis der Beobachtungen, können die richtigen Maßnahmen getroffen werden, damit sich das Feuer nicht in die falsche Richtung entwickelt. Wenn das nicht möglich ist, bleibt immer noch die zeitige Evakuierung der Räumlichkeiten. Indem möglichst viel Abstand zwischen Feuerwehrleuten und Brandereignis gebracht wird, lässt sich das Risiko auf Opfer stark reduzieren.

Die Graphik ist ein Modell, welches die realen Bedingungen soweit wie möglich nachstellen soll. Der amerikanische Offizier Ed Hartin hat für Modelle eine ganz bestimmte Devise: „Alle Modelle sind falsch aber einige sind brauchbar“. Das ist sicherlich auch bei der Graphik aus Bild 1 der Fall. Bild 1 zeigt die verschiedenen, charakteristischen Merkmale im Vorfeld eines jeweiligen Phänomens. Ein Modell ist jedoch immer nur der Versuch der Annäherung an die Wirklichkeit und nur in den seltensten Fällen perfekt. Dieses Modell wurde über die Jahre hinweg bearbeitet und kann vielleicht noch weiter verbessert werden. Vorschläge sind immer willkommen.

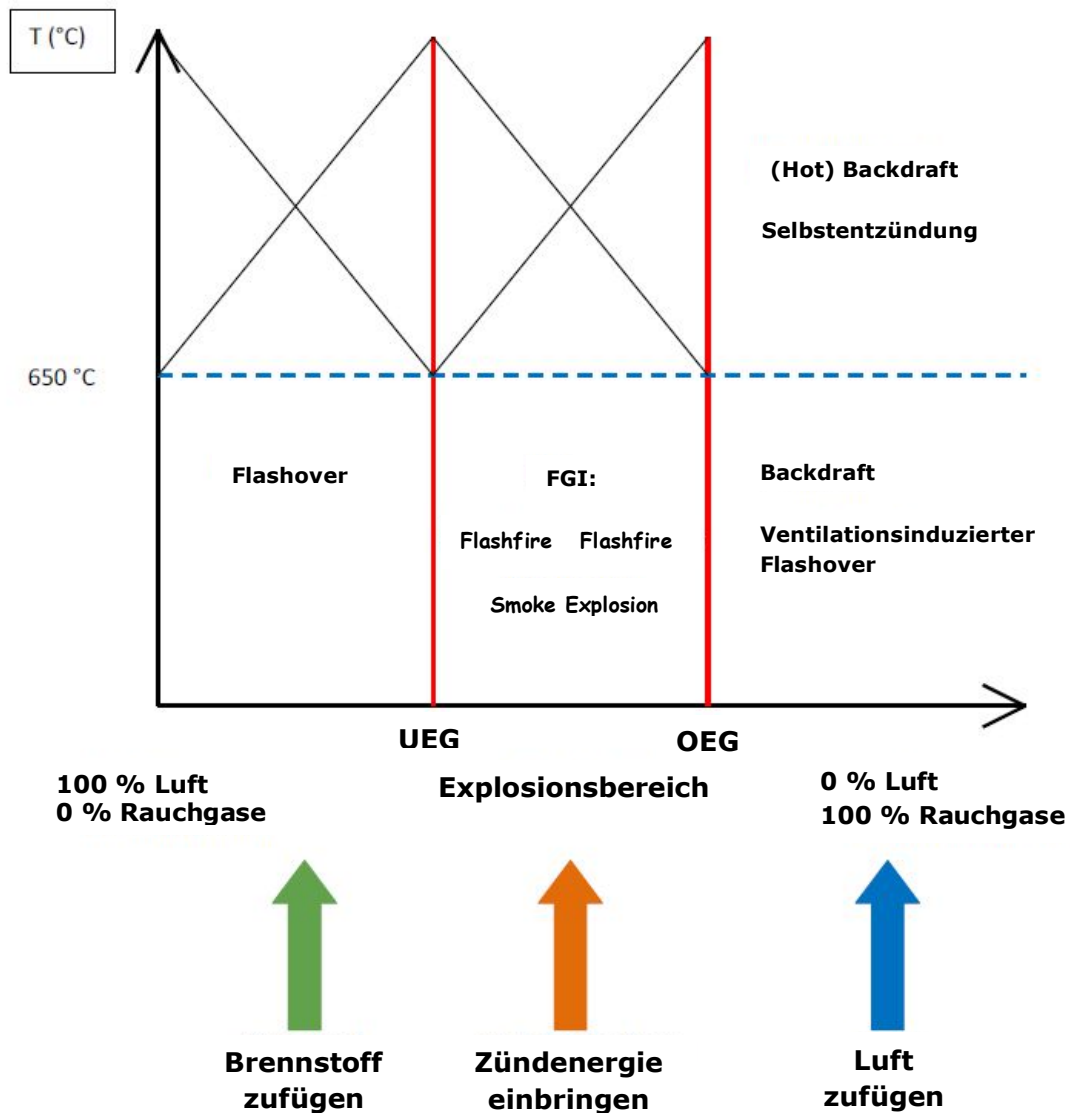


Bild 1: Übersicht über die Formen von Rapid Fire Progress (Grafik: Karel Lambert)

2 Annäherung an die verschiedenen Phänomene

2.1 Flashover

Flashover ist eine Form der schnellen Brandausbreitung, wobei der Brand vom brennstoffkontrollierten Stadium in das belüftungskontrollierte (sauerstoffkontrollierte) Stadium wechselt. Damit ein Flashover stattfinden kann, muss ausreichend Temperatur im Raum aufgebaut werden. Dafür ist Energie nötig, die durch die Verbrennung gewonnen wird. Im Verlauf der Ausbreitungsphase wird die Oberfläche des Brandherdes stetig zunehmen. Die Brennstoffmenge, die an der Verbrennung teilnimmt, steigt dadurch an. Die Brandleistung steigt im Verhältnis zur Ausbreitung, das heißt, es wird immer mehr Energie freigesetzt, umso größer die Brandfläche wird. An einem bestimmten Zeitpunkt, wird der kritische Wert überschritten und es kommt zum Flashover.

Anders ausgedrückt: Bevor es zum Flashover kommt, bewegt sich die Raumtemperatur in einem begrenzten Bereich. Es muss folglich Temperatur aufgebaut werden. Da jedoch die Brennstoffmenge, die an der Verbrennung teilnimmt, zu diesem Zeitpunkt ebenfalls noch begrenzt ist, spricht man (noch) von einem lokalen Brandherd.

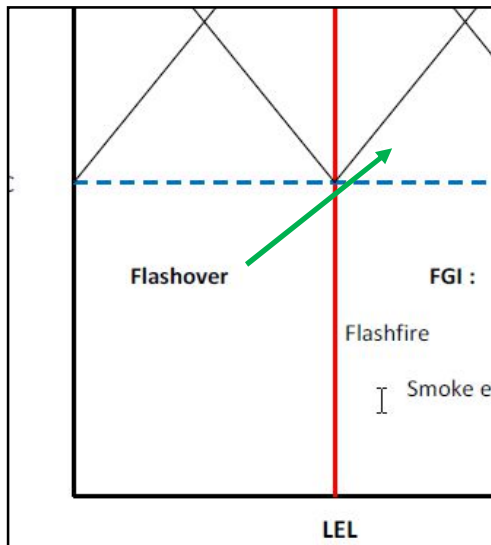


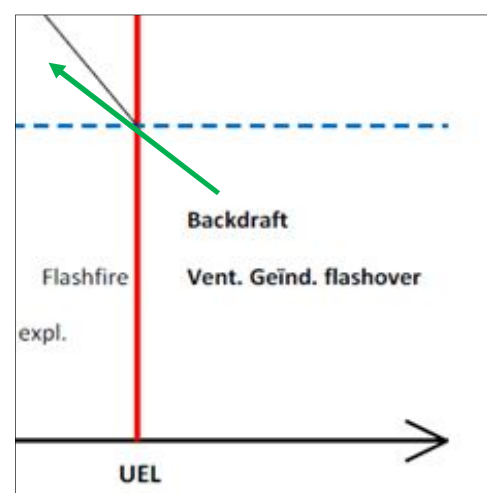
Bild 1 Der grüne Pfeil stellt das Auftreten eines Flashovers graphisch dar.

Das Feuer breitet sich also aus. Das hat zur Folge, dass immer mehr Brennstoff an der Reaktion teilnimmt und infolge dessen immer mehr Energie freigesetzt wird. Die Rauchschiicht wird immer dichter, sinkt Richtung Boden ab und nimmt stets mehr brennbare Gase auf. In der Graphik verschiebt sich die Situation nach rechts. Am kritischen Punkt wird sich die Rauchschiicht entzünden. Dabei handelt es sich eigentlich um ein eigenes Phänomen: Dem Rollover. Durch das Abbrennen der im Rauch anteiligen, brennbaren Gase, nimmt die Wärmestrahlung und damit die thermische Aufbereitung der Objekte unterhalb der Rauchschiicht stark zu. Die Gegenstände gasen schneller aus und die Gase werden fast augenblicklich verbrannt, dadurch breitet sich das Feuer rasend schnell aus. Wenige Sekunden später kommt es zum Flashover und der gesamte Raum steht in Flammen. In Bild 2 zeigt der grüne Pfeil die Entwicklung der Situation während eines Flashovers an.

2.1 Backdraft und ventilationsinduzierter Flashover

Backdraft ist ein Phänomen, das nur sehr selten vorkommt. Allerdings handelt es sich um ein Ereignis, das für seine äußerst brutalen Begleitumstände berüchtigt ist. Fast alle Feuerwehrleute können irgendetwas zum Thema Backdraft erzählen.

Die Bedingungen für das Auftreten eines Backdrafts sind wie folgt: Es muss eine Verbrennung in einem geschlossenen Raum stattfinden. Das Feuer benötigt Bren- und Sauerstoff um sich auszubreiten und Hitze aufzubauen. An einem bestimmten Zeitpunkt wird der Brand durch Sauerstoffmangel in seiner Entwicklung gestoppt. Wir reden ab diesem Moment von einem unterventilierten Brand. Aufgrund dessen, dass die Raumtemperatur während der Ausbreitungsphase bereits sehr hoch angestiegen war, pyrolysieren die ausreichend erhitzten Gegenstände trotzdem weiter. Der Brand erstickt. Die Verbrennung mit Flammenentwicklung kommt zum Stillstand und es bleiben nur noch Glutnester übrig. Währenddessen werden jedoch weiterhin Rauch- und Pyrolysegase in großen Mengen produziert. Die Raumatmosfera wechselt auf der Graphik von ganz links nach ganz rechts.



Figuur 2 Optreden van backdraft en ventilatie geïnduceerde flashover.

Die Konzentration der brennbaren Gase steigt derart an, dass ein Gemisch entsteht, welches man als "zu reich" bezeichnet. Die Mischung befindet sich oberhalb der Oberen Explosionsgrenze (OEG).

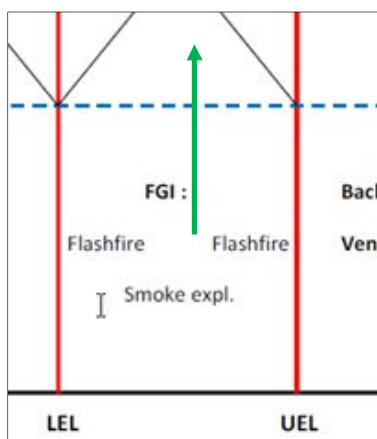
In dem Moment, in dem die Feuerwehr die Tür zum Brandobjekt öffnet oder in dem ein Fenster zerspringt, kann wieder Luftsauerstoff in den Raum strömen. Die zu reiche Mischung wird verdünnt und es entsteht ein zündfähiges Gemisch innerhalb der Unteren und der Oberen Explosionsgrenzen (UEG – OEG). Der Brandherd wird wieder aufflackern und falls das Gas-Luft Gemisch in der Umgebung der Flammen zündfähig ist, wird es sich entzünden. Die Folge ist ein Backdraft, dessen Druckwelle erst die Rauchgase vehement und mit hoher Geschwindigkeit durch die Öffnung nach draußen drückt, unmittelbar gefolgt durch eine Flammenfront, die den typischen, spektakulären Feuerball entfacht.

Aufgrund der Vielzahl an Bedingungen, die erfüllt werden müssen, damit ein Backdraft eintreten kann, ist und bleibt es ein seltenes Phänomen. Ein anderes Brandereignis, das weniger bekannt ist aber in Zukunft bedeutend öfter vorkommen wird, wird als 'ventilationsinduzierter Flashover' bezeichnet. Auch diesem Phänomen liegt ein unterbelüfteter Brandverlauf zugrunde. Ein Feuer in Sauerstoffmangel liefert auch hier die nötigen Bedingungen, damit ein derartiges Ereignis stattfinden kann: Ein Brand, der durch fehlende Luftzufuhr 'gebremst' wird und ein, mit brennbaren Gasen gefüllter Raum.

In dem Moment, in dem die Feuerwehr die Türe öffnet, strömt Luftsauerstoff in den Raum. Das Feuer brennt noch, die Brandleistung steigt wieder an und das Feuer kann sich aufgrund der bereits thermisch aufbereiteten Gegenstände schnell ausbreiten. Der Brand dehnt sich aus und noch bevor die Rauchsicht sich lichten kann, tritt möglicherweise ein Flashover ein. Dieser Typ Flashover wird durch veränderte Belüftung ausgelöst (induziert). Der Prozess wird in Bild drei durch den grünen Pfeil dargestellt.

Da die Bauweise unserer Häuser sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert hat, kommt es immer öfter zu unterbelüfteten Bränden. Es liegt kein genaues Zahlenmaterial zu den verschiedenen Brandverläufen vor, aber es ist sehr wahrscheinlich, dass es in der Zukunft mehr unterbelüftete als belüftete Brände geben wird. Das Risiko auf einen belüftungsinduzierten Flashover wird daher stark zunehmen und auch wenn in Feuerwehrkreisen der Backdraft einen viel höheren Bekanntheitsgrad genießt, ist es dringend nötig, dass Feuerwehrleute auch auf diese Art Flashover vorbereitet werden.

2.2 Flashfire & Smoke Explosion



Neben den Flashover und Backdrafts gibt es noch eine dritte Familie von spontanen Brandereignissen: Die Fire Gas Ignitions (FGI). Diese Phänomene sind vergleichbar mit Gasexplosionen, wie sie sich in Wohnungen nach einem Gasaustritt ereignen. Damit sich ein solches Phänomen ereignen kann, müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein: Die Konzentration der im Raum anwesenden, brennbaren Gase muss oberhalb der Unteren Explosionsgrenze liegen (UEG). Bei einem Brand können diese Gase durch Verbrennung (Rauchgase) oder durch Pyrolyse (Pyrolysegase) entstehen.

Bild 3 Ablauf der FGI

Wenn während eines Brandes in einem geschlossenen Raum zuviel Rauchgase entstehen, wird Überdruck aufgebaut. Dieser Überdruck sorgt dafür, dass Rauchgase durch kleinste Ritzen und Spalten gepresst werden. Der Rauch kann in diesem Fall nach draußen oder in einen angrenzenden Raum gedrückt werden. Es ist auch durchaus möglich, dass die Rauchgase auf diese Weise in eine falsche Decke, in einen Leitungsschacht oder hinter eine Wandverkleidung gelangen und sich dort ansammeln. Die Konzentration der Rauchgase darf allerdings nicht einen Wert oberhalb der Oberen Explosionsgrenze (OEG) erreichen, da ansonsten das Gemisch 'zu reich' und damit nicht mehr zündfähig wäre.

Wenn jedoch in einem Neben- oder Zwischenraum ein Luft-/Gasgemisch im zündfähigen Bereich anwesend ist, bedarf es nur noch einer Zündenergie, die eingebracht wird, um eine Durchzündung herbeizuführen. Dieser Vorgang wird in Bild 4 durch den grünen Pfeil markiert.

Die Art von FGI (Flashfire oder Smoke Explosion), die dann eintritt, wird durch die Konzentration der Gasmenge definiert. Irgendwo in der Mitte des Zündbereiches liegt das stöchiometrische Verhältnis. In der Brandbekämpfung handelt es sich dabei meist um das ideale Mischverhältnis zwischen Rauch- oder Pyrolysegas und Sauerstoffgas. Bei einer Entzündung von Gasen in einem idealen Mischverhältnis wird eine sehr heftige Explosion erzeugt. Mischungen aus einer idealen Verbindung zwischen Brenn- und Sauerstoff würden daher bei einer Entzündung in die Kategorie der Smoke Explosions fallen. Diese Mischungen liegen mehr oder weniger in der Mitte des Explosionsbereiches, also sehr nahe am stöchiometrischen Verhältnis. In den Außenbereichen der Explosionsgrenzen liegen Gemische, deren Zusammenstellung nicht ideal ist, die jedoch durchaus zündfähig sind. Eine Entzündung dieser Verbindungen führt zu einer schnellen Verbrennung. Der Unterschied zur Explosion ist der verhältnismäßig geringe Druckaufbau. Derartige Phänomene werden als Flashfire bezeichnet.

2.3 Selbstentzündung (Auto-Ignition)

Auch die Selbstentzündung ist ein weniger bekanntes Phänomen, das jedoch oftmals zur Bedrohung für die Feuerwehr wird. Es kann zur Brandausbreitung führen und verdeutlicht darüber hinaus, dass in einem geschlossenen Raum sehr hohe Temperaturen herrschen.

Damit beim Austritt der Rauchgase durch eine Öffnung eine Selbstentzündung stattfinden kann, müssen in einem Raum ausreichende Mengen heißer Rauchgase anwesend sein. Diese Gase benötigen eine sehr hohe Temperatur oberhalb von 650 °C. Der angegebene Wert ist jedoch nur eine grobe Schätzung. Das Phänomen kann auch bei 600 °C oder 700 °C eintreten. In einigen Texten wird auch von niedrigeren Temperaturen gesprochen, vornehmlich dann, wenn die Gase hauptsächlich aus Pyrolyseprodukten bestehen.

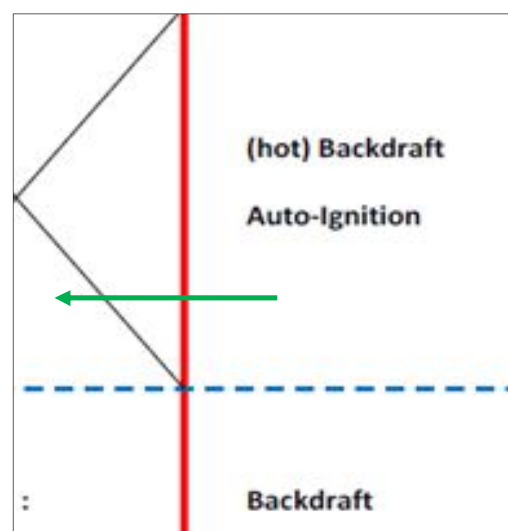


Bild 4 Auftreten von Selbstentzündung und Hot Backdraft

Eine letzte Voraussetzung für ein derartiges Phänomen ist die Anwesenheit einer solch großen Menge heißer Rauchgase, dass die Obere Explosionsgrenze (OEG) überschritten wird. Würde sich das Gemisch nämlich im zündfähigen Bereich aufhalten, dann würden die Gase bereits im Raum abbrennen und nicht erst außerhalb des Raumes.

In dem Moment, in dem eine Öffnung entsteht, strömen die heißen Gase nach draußen und vermischen sich mit der Außenluft. Dieser Vorgang wird durch den grünen Pfeil in Bild 5 dargestellt. Sobald die Rauchgase und der Luftsauerstoff außerhalb des Raumes ein zündfähiges Gemisch gebildet haben, entzünden sie sich. Die hohe Temperatur der Rauchgase ist hierbei als Zündenergie ausreichend.

2.4 Hot Backdraft

In einer wallonischen Gemeinde wurde die Feuerwehr zu einem offenen Supermarktbrand gerufen. Bei der Ankunft vor Ort wurden tatsächlich Flammen wahrgenommen, die offenbar durch das Dach des Geschäftes schlugen (sh. Bild 6). Das Geschäft war geschlossen und die Feuerwehr musste sich gewaltsam Zugang verschaffen um den Brand anzugreifen. Aufgrund der ausschlagenden Flammen dachte niemand an einen möglichen Backdraft. Immerhin steht die Anwesenheit von sichtbaren Flammen ganz oben auf der Liste der Ausschlusskriterien für einen Backdraft.

Nach dem Einschlagen eines Fensters wurde jedoch plötzlich eine große Menge Luft in den Raum gesogen und kurz darauf ereignete sich ein sehr heftiger Backdraft. Glücklicherweise kam kein Feuerwehrmann zu Schaden. Nichtsdestotrotz war die Verwunderung sehr groß, dass in dieser Situation ein Backdraft-Phänomen hatte auftreten können, es waren schließlich deutlich Flammen zu sehen gewesen. Der ausschlaggebende Unterschied war jedoch, dass in den Räumlichkeiten selbst kein sichtbares Feuer bemerkt wurde, was nur den einen Rückschluss zulässt, dass es sich bei den sichtbaren Flammen wahrscheinlich (zumindest teilweise) um die Selbstentzündung der austretenden Rauchgase gehandelt hatte.



Bild 5 Auf dem Bild sind von links nach rechts drei Erscheinungen zu sehen. Pyrolysegase, Rauchgase und Flammen. Die helle Farbe der Flammen lässt vermuten, dass es sich um die Selbstentzündung austretender Rauchgase handelt. (Foto: Benoît Amans)



Bild 6 Nachdem ein Feuerwehrmann eine Öffnung in einem Fenster geschaffen hat, findet ein sehr heftiger Hot Backdraft statt. (Foto: Benoît Amans)

Eine außergewöhnliche Situation kann eintreten, wenn in einem Raum, in dem sich enorm heiße Rauchgase angesammelt haben, plötzlich eine Luftzufuhr entsteht. Bei einem gewöhnlichen Backdraft werden Luftsauerstoff und Rauchgase (Brennstoff) gemischt und danach durch den erneut aufflackernden Brandherd entzündet. Das erneute Aufflackern des Brandherdes wird auch durch die Sauerstoffzufuhr ausgelöst. Bei einem gewöhnlichen Backdraft setzen daher also zwei Mechanismen ein, die durch Art und Menge der Belüftung kontrolliert werden: Es muss eine zündfähige Mischung entstehen und der Brandherd muss mit genügend Sauerstoff versorgt werden, um wieder aufzuflackern.

Wenn die Rauchgase allerdings so heiß sind, dass sie ihre Selbstentzündungstemperatur bereits überschritten haben, ist keine Zündquelle mehr vonnöten. Der Luftsauerstoff muss nicht erst bis zum Brandherd durchdringen, die aufgeheizten Rauchgase liefern selber die benötigte Zündenergie. In dergleichen Situationen kann ein 'Hot Backdraft' auftreten. Dieses Phänomen ist überaus selten und unter den Experten besteht keine einheitliche Meinung dazu.

2.5 Besprechung der Graphik

Wenn wir Bild 1 im Detail betrachten, sehen wir, dass es drei Sorten Mechanismen gibt, die zu einer schnellen Brandausbreitung führen können:

- Brennstoff zufügen (grüner Pfeil)
- Energie zufügen (oranger Pfeil)
- Luft zufügen (blauer Pfeil)

Wir wissen, dass Architekten der luftdichten Bauweise von Gebäuden stets mehr Aufmerksamkeit widmen. Brände werden daher immer öfter "in Atemnot" geraten. Situationen, in denen die Frischluftzufuhr zum Problem wird, werden immer häufiger anzutreffen sein. Das bedeutet andererseits nicht, dass andere (geläufigere) Situationen nicht mehr vorkommen werden. Es obliegt den Einsatzleitern bei der Brandbekämpfung auf die warnenden Begleitumstände zu achten und kontinuierlich über das aktuelle Brandverhalten nachzudenken. Es ist Aufgabe der Führungskräfte, um Unfällen vorzubeugen, indem sie das Brandverhalten richtig einschätzen und dementsprechend ihre Maßnahmen ergreifen.

3 Quellennachweis

- [1] *McDonough John, persoonlijke gesprekken, 2009-2012*
- [2] *Hartin Ed, persoonlijke gesprekken, 2010-2012*
- [3] *Lambert Karel & Baaij Siemco, Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2011*
- [4] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [5] *Grimwood Paul, persoonlijke gesprekken, 2008*
- [6] *Lambert Karel & Desmet Koen, Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009*
- [7] *Grimwood Paul, Hartin Ed, McDonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [8] *Bengtsson Lars-Göran, Enclosure Fires, 2001*
- [9] *Hartin Ed, www.cfbt-us.com*
- [10] *Raffel Shan, www.cfbt-au.com*

Karel Lambert