

Eine etwas andere Sicht auf die Brandkurve

1 Einleitung

Jeder Feuerwehrmann kennt die Brandkurve. In der Grundausbildung zum Feuerwehrmann wird diese ausführlich behandelt. Im Gegensatz zu früher, gibt es nun allerdings zwei verschieden verlaufende Kurven. Eine davon ist die so genannte 'alte Kurve', die mit dem Begriff "belüfteter Brandverlauf" (siehe Bild 1) einhergeht. Der nachfolgende Artikel beschäftigt sich mit dieser Kurve. Sie kommt immer dann zur Anwendung, wenn ein Brand in einem geschlossenen Raum entsteht, welcher folgende zwei Bedingungen erfüllt:

- Ausreichend vorhandene Brandlast, die darüber hinaus in einer gewissen Anordnung im Raum verteilt ist
- Ausreichende Belüftung

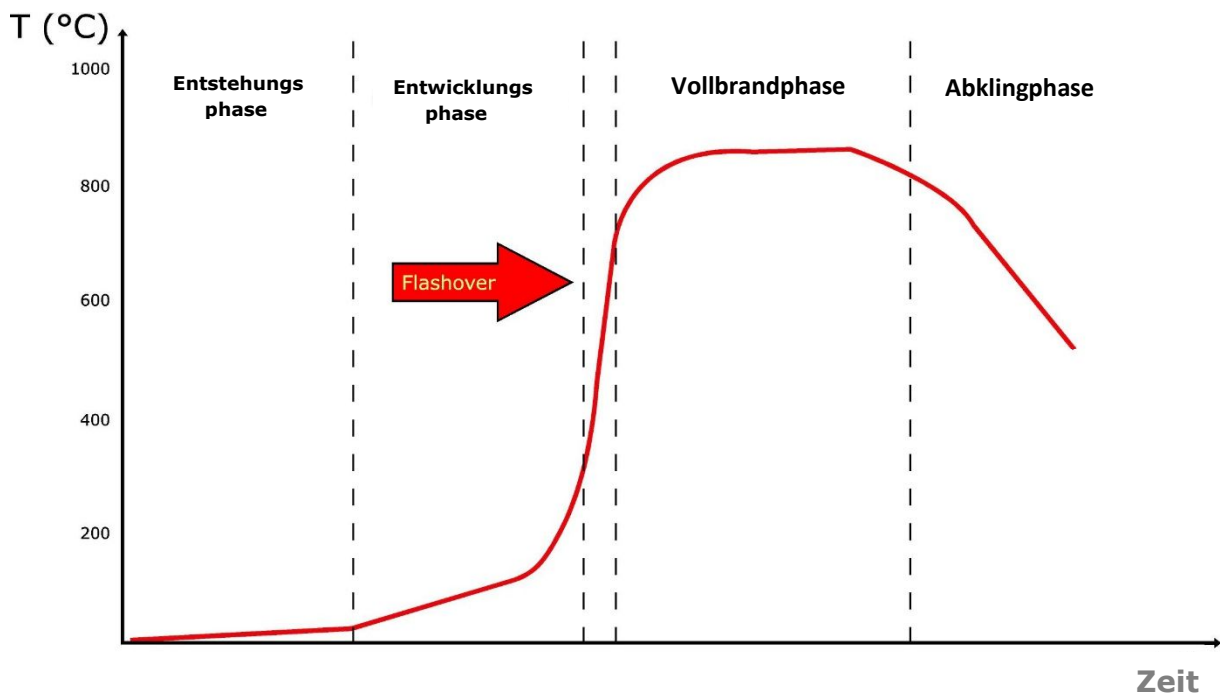


Bild 1 Die Brandkurve des belüfteten Brandverlaufs (Bild: Karel Lambert)

Es kommt häufig vor, dass ein Feuer von alleine erlischt. In diesem Fall konnte das erste, in Brand geratene Objekt, nicht genügend Leistungsvermögen produzieren, um ein weiteres Objekt in seiner unmittelbaren Nähe zu entzünden. Es entsteht dabei sehr viel Rauch aber nur wenig Temperatur. Es wäre in den meisten Fällen genügend Brennstoff vorhanden, um eine Entwicklung des Brandes bis hin zum Flashover zu ermöglichen, jedoch lässt die unvorteilhafte Verteilung der Objekte im Raum keinen Temperaturentwurf zu. Der Brand erlischt somit bereits in der Entstehungsphase.

Vor kurzem wurde der Posten Oostkamp mit einem solchen Feuer konfrontiert. Die Feuerwehr wurde zu einem Wohnungsbrand gerufen, bei dem eine Familie auf der ersten Etage vom Rauch eingeschlossen war.

Beim Eintreffen der Einsatzkräfte, hatte sich tatsächlich der gesamte Erdgeschoßbereich mit Rauchgasen gefüllt. Der Rauch versperrte den Bewohnern aus dem oberen Stockwerk den Fluchtweg. Hinzu kam, dass die Fenster auf der ersten Etage offenbar aus einfachem, einschichtigem Glas bestanden. Es schien sich um einen unterbelüfteten Brand zu handeln und man war sich bewusst, dass das Zerbersten der Fenster einen belüftungsinduzierten Flashover hätte auslösen können. Es wurde ein Innenangriff mittels Bündel eingesetzt. Während des Vorrückens stellte der Angriffstrupp jedoch fest, dass der Rauch im Wohnzimmer nicht warm war. Kalter Rauch kann in der Tat die Folge eines unterbelüfteten Feuers sein. Durch den Sauerstoffmangel entwickelt das Feuer nur ein geringes Leistungsvermögen (siehe Bild 2) und der Temperaturentwurf bleibt aus. Mithilfe der Wärmebildkamera wurde der Brandherd aufgespürt und vollständig abgelöscht. Es handelte sich um ein *Hoverboard*, das über ein Ladekabel an eine Steckdose angeschlossen war. Das Gerät stand direkt neben einem massiven Eichenschrank. Die Schrankwand war zwar bereits stark geschwärzt, aber das Leistungsvermögen des brennenden Hoverboards hatte nicht ausgereicht, um das Eichenholz zu entzünden. Das Board war verbrannt und das Feuer anschließend in die Abklingphase übergegangen. Der Brand hatte zwar große Mengen Rauchgase produziert, jedoch nur wenig Temperatur aufgebaut. Durch den Einsatz eines Überdruckventilators konnte der Rauch schnell aus den Räumlichkeiten entfernt werden und die Familie konnte das Haus unversehrt verlassen. Der Rauch war zwar nicht heiß, aber die Konzentration war derart hoch, dass eine Flucht ohne Atemschutz durch die verrauchten Räume für die Menschen keine Option gewesen war.

Diese Situation hätte jedoch auch einen ganz anderen Verlauf nehmen können. Auf der gegenüberliegenden Seite des Wohnzimmers stand die große Kartondose, in der das Board geliefert worden war. Die Dose stand in unmittelbarer Nähe zu einem Dreisitzsofa. Hätte das Hoverboard sich in, auf oder direkt neben der Dose befunden, als der Brand entstand, dann hätten Board und Dose mit hoher Wahrscheinlichkeit das Sofa in Brand gesetzt. Ein solch großes Sitzmöbel hätte mehr als genug Leistungsvermögen produziert, um binnen kürzester Zeit einen Flashover im Wohnzimmer auszulösen. Bei ihrem Eintreffen hätte die Feuerwehr einen heftigen, offenen Brand im Erdgeschoß vorgefunden. Die Temperatur der Rauchgase, die in die obere Etage geströmt wären, hätte bis zu zehn Mal höher gelegen und es wäre ein Wettlauf mit der Zeit gewesen, da die Schlafzimmertüren die Familie nicht lange geschützt hätten.

Die einzige Variable, die den Unterschied zwischen diesen beiden Szenarien ausmacht, ist die Position des ersten brennenden Objektes bei Ausbruch des Brandes. Außer der Platzierung des Hoverboards ändert sich nichts an der Wohnungseinrichtung. Die veränderte Positionierung des Initialbrandherdes kann allerdings fatale Folgen nach sich ziehen. Das reale Szenario endete mit starken Rauchschiäden, während die fiktive Variante mit einer ausgebrannten Wohnung und möglicherweise mehreren Todesfällen ein weitaus schlimmeres Ende genommen hätte. Damit ein belüfteter Brand sich zu einem Flashover entwickelt, ist also ausreichend Brennstoff in einer günstigen Anordnung notwendig.



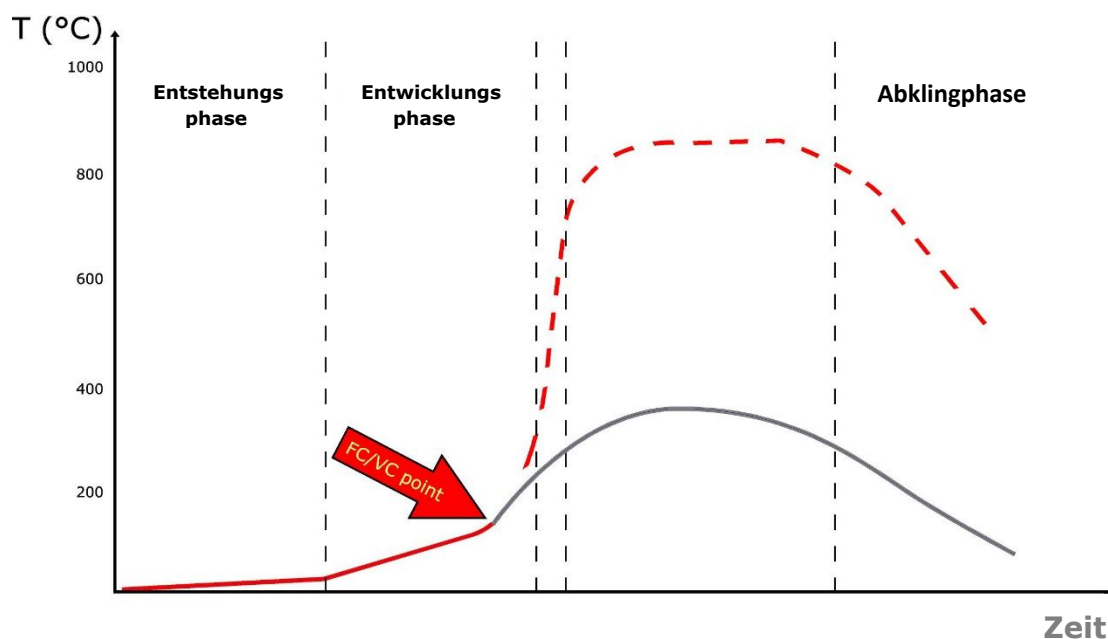


Bild 2 Wenn nicht ausreichend Luftsauerstoff verfügbar ist, geht der Brandverlauf von der roten in die graue Kurve über. Die graue Kurve stellt den graphischen Verlauf eines unterbelüfteten Brandes dar. (Bild: Karel Lambert)

Wenn Sauerstoffmangel das Auftreten eines Flashovers verhindert, dann spricht man von einem *unterbelüfteten Brand*. Der Brand kann sich in diesem Fall nicht ausbreiten und bleibt lokal begrenzt, bis er aufgrund von Sauerstoff- oder Brennstoffmangel erlischt oder aber durch das Entstehen einer neuen Belüftungsöffnung ausreichend mit Luft versorgt wird, um dann wiederum der Kurve des *belüfteten Brandverlaufs* (gestrichelte rote Linie) zu folgen.

Dieser Artikel behandelt die Brandkurve des belüfteten Brandverlaufs aus Bild 1. Die Kurve kennen die meisten Feuerwehrleute als eine Zeit/Temperatur - Kurve. Eine solche Kurve beschreibt, wie sich die Temperatur in Relation zur Zeit entwickelt. Hierbei können eine ganze Reihe von Fragen entstehen. Eine davon wäre: *Um welche Temperatur handelt es sich genau, bei dem in der Kurve wiedergegebenen Wert?* Oder anders ausgedrückt: *Wo muss ich ein Thermometer halten, damit die gemessenen Temperaturen die Kurve formen?* Viele Feuerwehrleute haben auf diese Frage keine Antwort.

Kennen Sie die richtige Antwort? In diesem Artikel werden Sie ab und zu direkt angesprochen und zum Nachdenken angeregt. Überlegen Sie gründlich, bevor Sie weiterlesen. Wenn Ihre Antwort durch den folgenden Text bestätigt wird, lagen Sie richtig. Wenn dem nicht so ist, sollten Sie versuchen zu verstehen, warum Ihre Antwort falsch war. In jedem Fall werden Sie etwas dazu gelernt haben.

2 Das Leistungsvermögen eines Brandes

Jedes Feuer entwickelt ein bestimmtes Leistungsvermögen. Dieser Vorgang kann anhand eines Beispiels verdeutlicht werden: Ein Dreisitzsofa wird durch eine Zigarette in Brand gesetzt. Auf der Sitzfläche des Sofas steht eine Fläche von ungefähr einem Viertel Quadratmeter in Brand. Die Flammen schlagen zu diesem Zeitpunkt etwa einen halben Meter hoch.

Die Wärme der Flammen wird größtenteils nach oben abgeführt. Dort heizt sie die Rauchschrift auf. Während sich die Rauchschrift vergrößert und immer tiefer absinkt erhitzt sie sich derart, dass schon bald ein Teil der Hitze, über Strahlung, zurück auf das Sofa abgegeben wird. Hierdurch werden wiederum Teile des Sofas erhitzt, die bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht im Strahlungsbereich der Flammen lagen. Das gesamte Sofa wird thermisch aufbereitet. An einem bestimmten Zeitpunkt führt die hohe Temperatur des Sitzmöbels (das zu diesem Zeitpunkt den einzigen Brennstoff bildet), zum Einsetzen der Pyrolyse. Teile des Sofas beginnen demnach zu pyrolysieren und das Möbelstück verliert einen Teil seiner Masse. Würde das Sofa auf einer Waage stehen, dann würde sein Gewicht stetig weiter abnehmen, da seine festen Bestandteile in den gasförmigen Zustand wechseln und als Pyrolysegase entweichen. Der wissenschaftliche Begriff hierfür ist die *Mass Loss Rate*, die *Masseverlustrate* (in kg/s). Umso mehr sich der Brennstoff aufwärmt, umso schneller werden die Pyrolysegase freigesetzt (und umso schneller sinkt das Gewicht auf der Waage). Es handelt sich hier jedoch **NUR** um eine Veränderung des Aggregatzustands eines Stoffes, in diesem Fall eines Brennstoffes. Das heißt, es bleibt weiterhin ein Brennstoff. Pyrolysegase sind demnach nichts anderes als gasförmiger Brennstoff. Es ist eine Art Kreislauf, die Flammen erhitzen die Rauchgase, die Hitze in der Rauchschrift strahlt auf das Sofa zurück und bewirkt das Einsetzen der Pyrolyse. Die Pyrolysegase wiederum dienen den Flammen als neue Nahrung und werden mit dem anwesenden Luftsauerstoff verbrannt. Die Flammen werden durch die Pyrolysegase genährt.

Die Temperatur des Brennstoffs spielt hier eine regulierende Rolle. Sie bestimmt die Geschwindigkeit mit der die Pyrolysegase freigesetzt werden. Wenn man an einem Gasherd den Hahn aufdreht und das ausströmende Gas mit einem Funken entzündet, entsteht eine Flamme. Indem man den Hahn weiter oder weniger weit öffnet, reguliert man die Größe der Flamme. Bei einem realen Brand fällt die Rolle des Gashahns der Wärme zu, die auf den Brennstoff einwirkt. Umso höher die Temperatur des Brennstoffs liegt, umso größer ist die Menge der Pyrolysegase, die pro Sekunde freigesetzt und den Flammen zugeführt werden. Und desto mehr Pyrolysegase pro Sekunde verbrannt werden, desto höher liegt das Leistungsvermögen des Feuers. Im Umkehrschluss lässt sich sagen: Dreht man den Gashahn zu, also senkt man die Hitzestrahlung aus der Rauchschrift ab oder bringt sie komplett zum Erliegen, stoppt auch die Aufheizung des Brennstoffs und nach einer Weile sinkt auch die Produktion der Pyrolysegase, und somit das Leistungsvermögen des Feuers.

Das obenstehende Beispiel findet jedoch nur Anwendung, wenn es sich um einen brennstoffkontrollierten Brand handelt. Bei einem derartigen Brand ist Luftsauerstoff im Überfluss vorhanden. Das Leistungsvermögen dieses Brandes ist, wie bereits erwähnt, direkt abhängig von der Menge der freigesetzten Pyrolysegase (Masseverlustrate). Wenn ein Brand in das belüftungskontrollierte Stadium übergeht, bedeutet dies, dass nur noch unzureichend Luftsauerstoff vorhanden ist und die Menge reicht nicht mehr aus, um alle produzierten Pyrolysegase abzubrennen. Ein Teil der Gase wird von der Rauchschrift aufgenommen und unverbrannte Teilchen gelangen so in den Rauch. Das Leistungsvermögen des Feuers wird jetzt durch die Menge des zur Verfügung stehenden Luftsauerstoffs bestimmt. Das passiert in Bild 2 an dem Zeitpunkt, wo die rote in die graue Linie übergeht. Es passiert jedoch auch in Bild 1. Und zwar kurz bevor die Kurve anfängt, in horizontaler Richtung weiterzulaufen. Das ist der Punkt, an dem der Brand sauerstoff- oder belüftungskontrolliert wurde. In beiden Kurven gibt es also eine Stecke, während der der Brandverlauf belüftungskontrolliert verläuft.



Die Grafik in Bild 1 hätte auch mit einer Achse für das Leistungsvermögen und einer Achse für die Zeit dargestellt werden können. Diese Kurve würde dann wiedergeben, wie sich das Leistungsvermögen (die *heat release rate HRR*) im Verhältnis zur Zeit entwickelt. Auf Bild 1 ist die Entstehungsphase, gefolgt von der Ausbreitungsphase zu sehen. Die Entstehungsphase ist brennstoffkontrolliert und kennzeichnet sich in der Regel durch ein begrenztes Leistungsvermögen. Der Brand bleibt auch in der Ausbreitungsphase brennstoffkontrolliert, wechselt jedoch während der Flashoverphase in das belüftungskontrollierte Stadium, in dem er auch während der Vollbrandphase verbleibt. Die horizontale Linie, in der die Kurve während der Vollbrandphase verläuft, ist die Folge dessen, dass nur eine begrenzte Menge Luftsauerstoff durch die Belüftungsöffnung(en) eintreten kann.

3 Welche Informationen verbergen sich in der Brandkurve?

Schauen wir uns den Brand auf Bild 3 etwas genauer an. Es ist deutlich erkennbar ein vollentwickelter Brand. Die Flammen schlagen aus zwei Fenster, die direkt nebeneinander liegen. Beide Fenster haben exakt die gleiche Oberfläche und die gleiche Höhe.

Stellt man sich vor, dass es sich um zwei Fenster eines Wohnzimmers handelt und die Türe zum Wohnzimmer geschlossen ist, dann dienen die beiden Fenster als einzige verfügbare Belüftungsöffnungen für das Feuer. Im Wohnzimmer wird eine hohe Brandlast anwesend sein: Sofas, Sessel, ein Tisch, Schränke mit Büchern, TV,... Der Raum steht vollständig in Brand und das Leistungsvermögen des Brandes wird durch die Menge Frischluft bestimmt, die in den Raum einströmen kann. Es ist das typische Beispiel eines belüftungskontrollierten Feuers.



Bild 3 Ansicht eines vollentwickelten Brandes, bei dem die Flammen aus einem Doppelfenster schlagen. (Foto: www.nufoto.nl)

Dieser Brand hat natürlich ursprünglich auch als ein kleiner Entstehungsbrand begonnen. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass bei Brandbeginn beide Fenster geöffnet waren. Man stelle sich vor, dass der Brand an einem Dreisitzsofa entstanden ist.

Anfangs wird nur ein begrenztes Leistungsvermögen aufgebaut. Abhängig von der Ausbreitungsfläche des Brandes wird jedoch auch dessen Leistung immer weiter zunehmen.

Auf Bild 4 ist zu sehen, wie das Leistungsvermögen (oder die *Heat Release Rate HRR*) sich in Relation zur Zeit entwickelt. Das Feuer beginnt klein, breitet sich aus, durchläuft die Flashoverphase und wird zum Vollbrand (die horizontale Linie). Nach Ablauf einer gewissen Zeit hat sich die Menge des Brennstoffs stark vermindert. Der meiste Brennstoff ist weggebrannt. Das heißt, dass durch die Masseverluste nicht mehr viel Brennstoff übrigbleibt. Ein großer Teil des Brennstoffs wurde in Pyrolysegase umgewandelt. Man kann davon ausgehen, dass die Abklingphase einsetzt, wenn etwa 70% der Brandlast abgebrannt sind. Die Menge der, pro Sekunde freigesetzten Pyrolysegase, nimmt ab, da kaum noch Brennstoff vorhanden ist. Dies bewirkt, dass an einem gewissen Zeitpunkt, die einströmende Luft wieder ausreicht, um alle erzeugten Pyrolysegase vollständig zu verbrennen. Der Brand wechselt dann erneut in das brennstoffkontrollierte Stadium der Verbrennung. In dem Maße, in dem die Pyrolyse abnimmt, wird auch das Leistungsvermögen des Brandes absinken. Nach einiger Zeit wird der Brand erlöschen. Die Produktion der Pyrolysegase ist an diesem Zeitpunkt so gering geworden, dass keine Verbrennung mit Flammenerscheinung mehr zustande kommt. Der übrig gebliebene Brennstoff wird noch eine Weile nachglühen aber nach Ablauf weiterer Zeit wird alles soweit abgekühlt sein, dass der Brand vollständig erloschen ist.

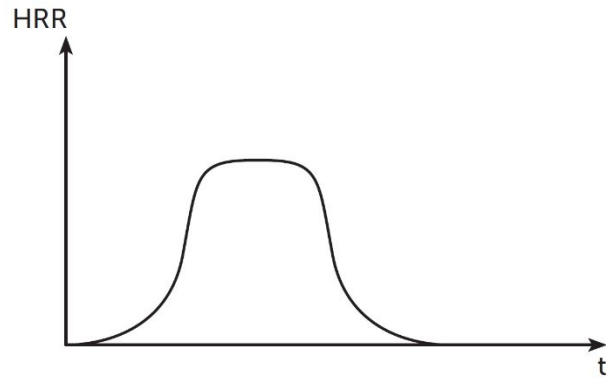


Bild 4 Aufbau des Leistungsvermögens in Relation zur Zeit, bei einem belüfteten Brand
(Zeichnung: Karel Lambert)

Man stelle sich vor, dass der gleiche Brand in einer anderen Wohnung stattgefunden hätte. In einem exakt baugleichen Wohnzimmer, mit genau denselben Abmessungen, wie das erste Wohnzimmer. Auch die Brandlast wäre exakt die gleiche und alle Objekte (Sofa, Tisch,...) ständen an exakt der gleichen Stelle. Der Brand würde auch auf genau die gleiche Weise beginnen, mit einer Zigarette im Sofa. Alles ist genau gleich, wie beim tatsächlichen Brandgeschehen, bis auf ein Detail: Es gibt nur ein Fenster anstelle von zwei. Die Oberfläche der Fenster ist demnach halbiert im Vergleich mit dem echten Brand. Welchen Einfluss wird das auf die Entwicklung des Leistungsvermögens haben? Wird das Feuer sich mit nur einem Fenster langsamer ausbreiten? Oder wird die Ausbreitung durch das fehlende Fenster sogar beschleunigt?

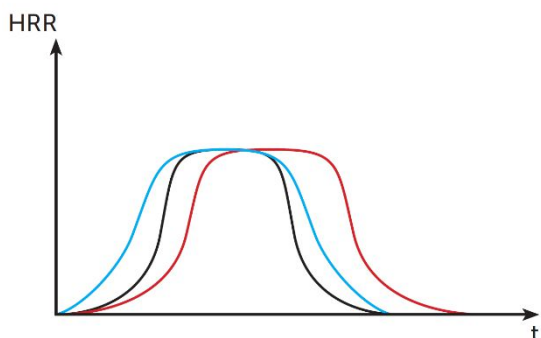


Bild 5 Zwei mögliche Varianten für die Leistungskurve eines Brandes mit nur einer Fensteröffnung anstelle von zwei.
(Bild: Karel Lambert)

Auf Bild 5 gibt die schwarze Linie die Entwicklung des Leistungsvermögens des Brandes bei **zwei** geöffneten Fenstern wieder.

Die blaue Grafik steht für einen Brand, der sich schneller ausbreitet

Die rote Grafik stellt einen Brand dar, der sich langsamer ausbreitet. Welches wäre die richtige Kurve für einen Brand bei nur **einem** geöffneten Fenster? Oder sind beide falsch?

Finden Sie selber Argumente, um Ihren Standpunkt zu festigen.

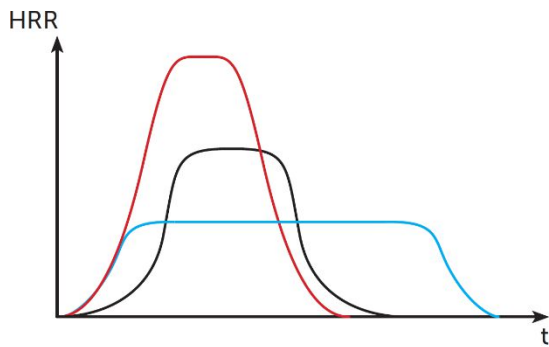


Bild 6 Zwei andere Varianten, für die Entwicklung des Leistungsvermögens eines Brandes bei dem nur ein Fenster geöffnet ist, anstelle von zwei. (Bild: Karel Lambert)

Es ist jedoch auch möglich, dass ein Brand einer Kurve folgt, die schneller steigt und ein geringeres oder höheres Leistungsvermögen erreicht. Auf Bild 6 sind zwei solcher Kurven zu sehen. Die schwarze Kurve dient als Vergleichswert und ist noch stets die Leistungskurve des Wohnzimmerbrandes mit **zwei** geöffneten Fenstern.

Die blaue Kurve zeigt den Verlauf eines Brandes, bei nur **einem** geöffneten Fenster, der zwar schnell wächst, seine Ausbreitung jedoch nach kurzer Zeit wieder stoppt und anschließend über einen längeren Zeitraum mit geringerem Leistungsvermögen weiterbrennt.

Die rote Linie stellt den Verlauf eines Brandes dar, der, ebenfalls bei nur **einem** geöffneten Fenster, sehr schnell wächst, dabei jedoch ein hohes Leistungsvermögen erreicht. Anschließend fällt die Kurve steil ab, was bedeutet, dass das Feuer, nachdem es den Spitzenwert schnell erreicht hat, sein hohes Leistungsvermögen nicht lange halten kann und insgesamt sogar weniger lange brennt.

Ist eine dieser zwei Kurven vielleicht die richtige Darstellung der Leistungskurve des Brandes mit nur **einem** geöffneten Fenster?

Finden Sie auch hier Argumente, um Ihren Standpunkt zu festigen.

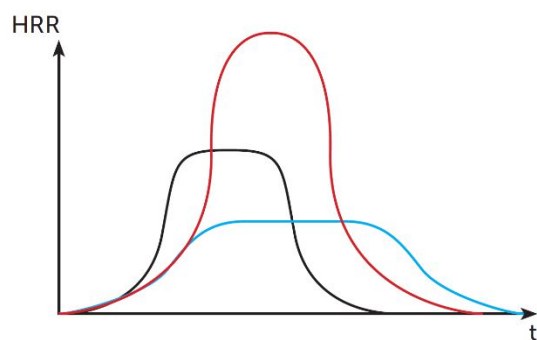


Bild 7 Zwei neue, mögliche Varianten für den gleichen Brand (Bild: Karel Lambert)

Bild 7 zeigt eine weitere Variante zu Bild 6. Die rote und die blaue Kurve stellen diesmal Brände dar, die sich beide langsamer entwickeln, als der echte Brand mit zwei geöffneten Fenstern, welcher immer noch von der schwarzen Kurve interpretiert wird. Genau wie in Bild 6 erreicht die blaue Kurve auch hier ein niedrigeres Leistungsvermögen, als die schwarze Kurve. Die rote Kurve erreicht, wie schon in Bild 6, ein bedeutend höheres Leistungsvermögen als die beiden anderen. Ist eine dieser Kurven die richtige Darstellung?

Denken Sie kritisch nach und formulieren sie dann Ihre Antwort.

Auf den Bildern 5, 6 und 7 sind Brände dargestellt, die sich schneller oder langsamer entwickeln, als der echte Brand, der von der schwarzen Leistungskurve bezeichnet wird. Es wäre allerdings auch möglich, dass die Brandausbreitung durch das Fehlen einer zweiten Fensteröffnung überhaupt nicht beeinflusst wird. Bild 8 zeigt zwei solcher Möglichkeiten. Die blaue Linie folgt zu Beginn exakt dem Verlauf der schwarzen Kurve. Mit anderen Worten, das Feuer entwickelt sich auf die gleiche Weise und es spielt zu Beginn keine Rolle, dass nur die Hälfte der Fensteröffnungen vorhanden ist.

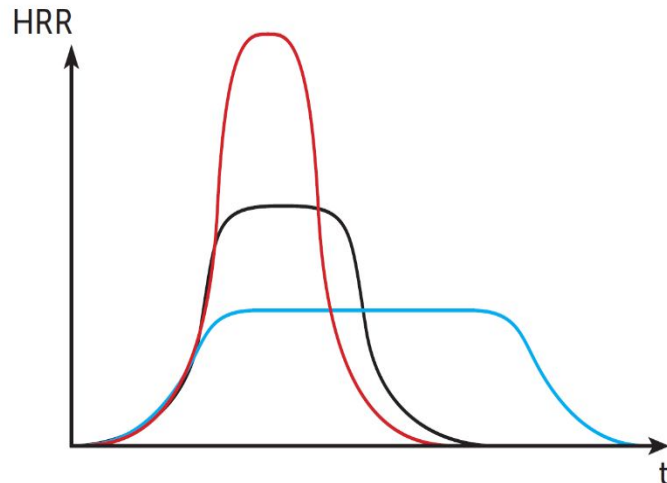


Bild 8 Grafische Darstellung zweier weiterer Leistungskurven, wie sie möglicherweise bei einem Brand mit **nur einem** geöffneten Fenster auftreten könnten. (Bild: Karel Lambert)

In einer späteren Phase brennt das Feuer allerdings weniger intensiv, der Spitzenwert des Leistungsvermögens (HRR) liegt niedriger, als bei den anderen dargestellten Verläufen. Die rote Kurve folgt ebenfalls bei Entstehung und Ausbreitung dem Verlauf der schwarzen Kurve, entwickelt jedoch ein weitaus höheres Leistungsvermögen, als der Originalbrand mit zwei geöffneten Fenstern.

Ist in einer dieser Darstellungen die richtige Antwort zu finden? Oder ist noch eine weitere Variante denkbar, die bisher noch nicht zur Sprache kam?

Bedenken Sie Ihre Antwort und suchen Sie nach Argumenten.

4 Der Effekt der reduzierten Fensteröffnung

Die schwarze Kurve gibt wieder, wie sich, bei einem Brand mit zwei geöffneten Fenstern, das Leistungsvermögen des Brandes in Relation zur Zeit entwickelt. Am Anfang der Kurve werden Entstehungs- und Ausbreitungsphase dargestellt. Der Brand befindet sich zu diesem Zeitpunkt im brennstoffkontrollierten Stadium. Das bedeutet, dass genügend Luftsauerstoff vorhanden ist, um die freigesetzten Pyrolysegase vollständig zu verbrennen. Das Vergrößern der Belüftungsöffnungen hätte zu diesem Zeitpunkt keinen Einfluss auf die Ausbreitung des Brandes. Es ist bereits genügend Luft vorhanden. Auch das Verkleinern der Öffnungen zur Luftzufuhr hätte in dieser Phase keinen Effekt auf das Brandverhalten. Solange genügend Luftsauerstoff durch die vorhandenen Öffnungen einströmt, um die produzierten Pyrolysegase zu verbrennen, bleibt der Brand brennstoffkontrolliert und zusätzliche Belüftung hätte keinerlei Effekte.

Ein brennstoffkontrolliertes Feuer wird in der Anfangsphase nicht schneller oder langsamer brennen, weil *ein* oder *zwei* Fenster offenstehen. Die Kurven der beiden Brände (ob mit einem oder zwei geöffneten Fenstern) verlaufen daher zu Beginn gleich.

Der Brand im Wohnzimmer wird sich auch bei nur einem geöffneten Fenster zum Flashover entwickeln. Es strömt genügend Luftsauerstoff durch die Fensteröffnung, um das Feuer soweit anwachsen zu lassen. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die Oberfläche der Fensteröffnung nicht unter einen bestimmten Minimumwert sinkt. Unterhalb dieses Wertes kann das Feuer nicht genügend Leistung (Temperatur) aufbauen, um einen Flashover im Raum zu erreichen. Wenn beispielsweise die zwei Fenster in Bild 3 durch ein Fenster ersetzt würden, welches nur über ein Viertel der vorherigen Oberfläche verfügen würde, dann würde der Brand höchstwahrscheinlich in das belüftungskontrollierte Stadium wechseln, noch bevor die Bedingungen für einen Flashover erreicht wären. In diesem Fall spricht man von einem unterbelüfteten Feuer. Bild 2 vermittelt eine graphische Vorstellung vom Verlauf eines solchen Brandes.

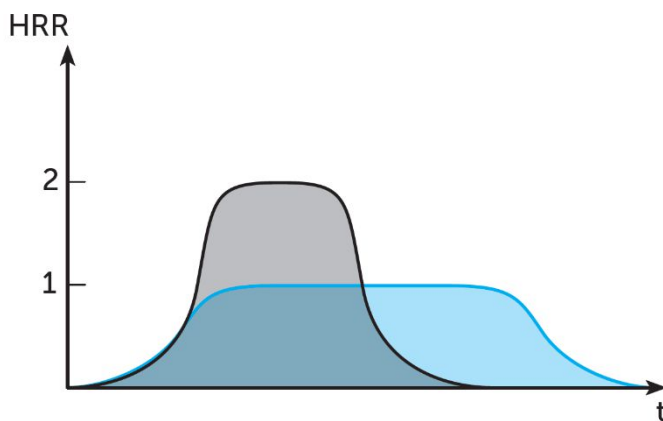


Bild 9 Die blaue Kurve gibt an, dass nur die Hälfte des maximalen Leistungsvermögens der schwarzen Kurve produziert wird. Dadurch wird der Brennstoff weniger schnell konsumiert und der Brandverlauf dauert ungefähr doppelt so lange.
(Bild: Karel Lambert)

In der weiteren Entwicklung des Brandes erweist sich die Anzahl der geöffneten Fenster dann doch als sehr wichtig für den Brandverlauf. Wenn die Oberfläche der Belüftungsöffnungen im zweiten Beispiel (nur ein geöffnetes Fenster) um die Hälfte reduziert wird, dann strömt auch nur die Hälfte der ursprünglichen Menge an Frischluft ein. Aufgrund dessen wird auch das Leistungsvermögen des Brandes exakt halb so groß sein. Die blaue Kurve in Bild 8 wäre daher die richtige Antwort. Die Höhe der horizontalen Linie (das maximale Leistungsvermögen) wird durch die Gesamtoberfläche der vorhandenen Belüftungsöffnungen bestimmt. Die Größe der Belüftungsöffnung(en) legt fest, wieviel Luftsauerstoff in den Raum einströmen kann und definiert daher auch das maximal erreichbare Leistungsvermögen des Brandes.

Die Höhe, bei der die blaue Kurve in den horizontalen Verlauf übergeht, müsste genau die Hälfte der Höhe des horizontalen Teilstücks der schwarzen Kurve sein. Zum Vergleich: Wenn die Belüftungsöffnungen auf vier gleichgroße Fenster verdoppelt würden, dann käme die rote Kurve aus Bild 8 zur Anwendung. In diesem Fall würde doppelt so viel Luft einströmen und es würde ein exakt doppelt so hohes Leistungsvermögen produziert.

Zu guter Letzt ist es wichtig, zu erwähnen, dass die Fläche unter den Kurven jeweils die Brandlast versinnbildlicht. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass in Bild 8 die blaue Kurve signifikant länger verläuft, als die schwarze. Die rote Kurve verläuft im Umkehrschluss am kürzesten. Wenn die Leistung halbiert wird, dann wird auch nur halb so viel Brennstoff per Zeiteinheit verbraucht werden und die Brandlast wird doppelt so lange halten.

Als ein gutes, praxisbezogenes Beispiel kann hier der Holzofen dienen. Im Ofen liegen eine Anzahl Holzstücke, die verbrannt werden sollen. Wenn der Lufteinzug des Ofens halbiert wird, dann sinkt die abgegebene Wärmemenge des Ofens ebenfalls. Das Leistungsvermögen des Feuers halbiert sich, was wiederum dazu führt, dass die Holzstücke doppelt so lange halten.

Dieser Vorgang wird in Bild 9 verdeutlicht. Die Gesamtmenge der grauen Oberfläche muss der Gesamtmenge der blauen Oberfläche entsprechen. Die beiden Mengen geben die Brandlast an und diese ist in beiden Fällen gleich. Beim schwarz dargestellten Brandverlauf verfügt das Feuer über doppelt soviel Luftsauerstoff und die Brandlast wird doppelt so schnell konsumiert. Das Brandgeschehen dauert daher nur halb so lange, erreicht dafür aber ein doppelt so hohes Leistungsvermögen.

5 Quellennachweis

- [1] *Lambert Karel, Baaij Siemco (2018) brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2nd edition, Sdu*
- [2] *Lambert Karel (2009-2019) CFBT-instructeurscursus voor de Attack cell, CFBT-BE*
- [3] *McDonough John (2009-2019) persoonlijke communicatie*
- [4] *Grimwood Paul (2008-2019) persoonlijke communicatie*

Karel Lambert

