

Die Löschwirkung von Wasser

1 Einleitung

Die Feuerwehr arbeitet seit jeher mit Wasser um Brände zu löschen. In längst vergangenen Zeiten waren es Bürger, die Eimerketten bildeten, an deren Ende jemand stand, der das Wasser aus den Eimern ins Feuer schüttete. Es liegt auf der Hand, dass die Effizienz dieser Methode stark eingeschränkt war. Die Erfindung der Feuerlöschpumpe und der dazugehörigen Schläuche durch den Niederländer Jan Vanderheyden brachte eine erste große Verbesserung in die Arbeitsweise der Feuerwehren ein. Plötzlich war es möglich, Wasser über einen gewissen Abstand zu transportieren und in Richtung des Feuers zu spritzen. Hierdurch gelangte mehr Wasser in das Gebäude, was dazu beitrug, dass die Wirksamkeit der brandbekämpfenden Maßnahmen stark erhöht wurde. Danach dauerte es wieder viele hundert Jahre, bevor das Atemschutzgerät erfunden wurde. Dieses Gerät ermöglichte es, tief in einen Raum einzudringen und das Wasser direkt auf den Brandherd abzulegen. Dadurch konnte noch präziser und effizienter gearbeitet werden. Die bisher letzte einschneidende Verbesserung war die Einführung der Rauchgaskühlung. Diese Vorgehensweise hatten sich schwedische Kollegen einfallen lassen. Die Anwendung der Methode ist mittlerweile überall auf der Welt geläufig und sorgt für weitaus sicherere Arbeitsbedingungen im Innenangriff.

Der Löscheinsatz von Wasser hat also eine weitreichende Entwicklung durchlaufen. Heutzutage ist das Ausführen eines Innenangriffs die Standardmethode zur Brandbekämpfung. Wenn die Umstände es zulassen, ist dies die effizienteste Weise um ein Feuer zu bekämpfen. Nichtsdestotrotz gibt es immer noch eine Vielzahl von Feuerwehrleuten, die die Mechanismen hinter dem Löschvorgang noch nicht vollständig begriffen haben. Nachfolgend wird versucht, die Funktionsweise dieser verschiedenen Mechanismen zu erklären.

2 Wie nimmt Wasser Wärme auf?

Wasser kann auf drei Arten Wärme aufnehmen. Das Wasser, welches durch die Feuerwehr eingesetzt wird, hat eine maximale Temperatur von 20 °C. Wenn man Wasser aufwärmt, steigt logischerweise der Temperaturwert an. Das geschieht jedoch nicht irgendwie, sondern es existieren vordefinierte Werte und Formeln. Um einen Liter Wasser um ein Grad Celsius aufzuwärmen benötigt man eine Energie von 4186 Joule. (wobei Joule die Einheit ist, in der man Energie ausdrückt). Ein Liter Wasser benötigt daher 335 Kilojoule (kJ) um von 20 °C nach 100°C aufgewärmt zu werden.

Anschließend wird das Wasser auf eine zweite Weise Wärme aufnehmen. Das Wasser, welches auf 100 °C erhitzt wurde, wird in 100 °C heißen Dampf verwandelt. Der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand nimmt sehr viel mehr Wärme auf, als das Erhitzen des Wassers von 20 auf 100 °C. Der Wert für das Umwandeln von Wasser in Dampf liegt bei 2.260 kJ Energieleistung pro Liter Wasser. Das Verdampfen des Wassers absorbiert daher rund sieben Mal mehr Energie, als das Aufwärmen von 20 nach 100 °C.

Wasser kann auch noch auf eine dritte Weise Energie in Form von Wärme aufnehmen. Wenn bei 100 °C Wasserdampf entsteht, dann wird dieser Dampf den Rauchgasen, mit denen er in Kontakt kommt, Wärme entziehen. Falls die Rauchgase wärmer sind als 100 °C, dann wird Wärme aus den Rauchgasen an den Dampf übertragen. Es findet ein Temperatenausgleich statt, der erst endet, wenn beide Gase gleich warm sind. Wenn beispielsweise Rauch und Dampf am Ende 300 °C heiß sind, dann musste der Dampf, um diesen Zustand zu erreichen, um die Differenz von 200 °C erwärmt werden. Der Durchschnittswert, der nötig ist, um Dampf, der aus einem Liter Wasser entstanden ist, um ein Grad Celsius zu erwärmen, ist 2080 J. Um also eine Temperaturdifferenz von 200 °C zu überwinden, absorbiert der Dampf 416 kJ.

Wasser nimmt demnach während drei Phasen Energie in Form von Wärme auf.

Im oben beschriebenen Fall wären das folgende Werte:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Während der Aufwärmung von 20 °C nach Wasser von 100 °C | 335 kJ/liter |
| 2. Während der Umwandlung von Wasser (100 °C) zu Dampf (100 °C) | 2.260 kJ/liter |
| 3. Während des Aufheizens des Dampfes von 100 °C auf 300 °C | 416 kJ/liter |

Ein Liter Wasser, der zu 300 °C heißem Wasserdampf aufgeheizt wird, nimmt während dieses Prozesses demnach ungefähr 3 Megajoule (MJ) Energie auf. Eine detailliertere Aufarbeitung des Themas findet sich im Buch Brandverlauf von Lambert & Baaij (sh. [2]).

Eine noch interessantere Sichtweise ergibt sich, wenn man die Effizienz der Löscharbeiten betrachtet, im Hinblick auf überschüssiges Wasser, das abläuft, ohne zu verdampfen. Der maximale Wirkungsgrad beträgt hier lediglich 11 %. Und es lässt sich leider sehr oft bei der Bekämpfung von Bränden beobachten, dass große Mengen Wasser ungenutzt abfließen. In solchen Fällen ist es durchaus möglich, dass zehn Mal so viel Wasser gebraucht wird, als eigentlich nötig wäre.

Die obenstehende Argumentation wurde eingebracht, um zu verdeutlichen, dass Wasser auf effiziente Weise eingesetzt werden muss. Auf YouTube lassen sich zahlreiche Filme finden, in denen zu sehen ist, dass Feuerwehrleute offenbar vergessen, dass ein Dach in erster Linie dazu dient das Haus vor (Regen)Wasser zu schützen. "Das Dach weiß nicht, dass es brennt." Trotzdem werden Unmenge Wasser auf das Dach gespritzt. Damit Wasser den höchstmöglichen Löscheffekt entwickelt, sollte es zumindest verdampfen. Wenn das Wasser verdampft, wird ein Wirkungsgrad von 86% erreicht. Von daher auch die Redensart, dass bei einer wirkungsvollen Brandbekämpfung kein Wasser zu sehen sein sollte, das über Treppen und durch Türen aus dem Brandobjekt abfließt.

3 Surface cooling oder Oberflächenkühlung (direktes Löschen)

3.1 Was genau ist Verbrennung?

Einfach ausgedrückt kann man sagen: *Verbrennung ist eine unkontrollierte chemische Reaktion zwischen Brennstoff und Sauerstoff, bei der Wärme und Licht produziert werden.* Wenn man diese Definition näher betrachtet, drängt sich die Frage auf, um welchen Brennstoff es sich handelt. Jedem Feuerwehrmann dürfte es mittlerweile bekannt sein, dass es nicht die Feststoffe sind, die brennen.

Es ist vielmehr so, dass brennbare Feststoffe, die ausreichend stark erwärmt werden, brennbare Gase produzieren. In diesem Prozess werden die Moleküle des Feststoffs in kleinere Bestandteile aufgebrochen. Dabei handelt es sich um einen sichtbaren Prozess.

Die Feststoffe geben nämlich Dämpfe ab (sh. Bild 4.2 und Bild 4.3). In einem CFBT-Container kann dieses Phänomen sehr gut beobachtet werden. Die Dämpfe werden Pyrolysegase genannt. Der Prozess selber nennt sich Pyrolyse. Die Menge an Pyrolysegase, die freigesetzt wird, hängt von der Temperatur der Brennstoffoberfläche ab. Durch Pyrolyse werden also Feststoffe in gasförmige Stoffe umgewandelt. Und es sind diese Gase, die anschließend den Brennstoff für das Feuer liefern.

In der Grundausbildung zum Feuerwehrmann wird kurz auf das Löschen von Gasbränden eingegangen. Den Teilnehmern wird beigebracht, dass das Schließen der Gaszufuhr (das Zudrehen des Gashahns) die beste Art und Weise ist, um solch ein Feuer zu löschen. Der gleiche Lösungsansatz kann angewandt werden, um einen Innenraumbrand zu löschen. Die Gaszufuhr zum Brand muss unterbunden werden. Die Vorgehensweise um dies zu erreichen, ist das Absenken der Oberflächentemperatur, durch das Ablegen von Wasser auf den Brandherd. Das abgelegte Wasser wird verdampfen und dadurch der Oberfläche des Brennstoffs Energie entziehen. Die Temperatur des Brennstoffs wird dadurch abgesenkt und die Pyrolyse beginnt sich erst zu vermindern und wird anschließend komplett eingestellt. Auf diese Weise wird die Gaszufuhr zum Brand unterbunden. Diese Löschmethode wird "direktes Ablöschen" genannt (sh. Bild 4.6). Der Mechanismus dahinter basiert sich auf das Abkühlen der Oberfläche der brennbaren Materie. Dieser Löschvorgang muss bei jedem Brand eingesetzt werden. Es ist zwar möglich, um mit anderen Methoden den Brand unter Kontrolle zu bekommen, das eigentliche Ablöschen kann jedoch nur durch ausreichende, beziehungsweise vollständige, Abkühlung des Brandherdes erfolgen. Bei einer anderen Verfahrensweise besteht, durch die noch vorhandene Temperatur oder im Falle einer erneuten Sauerstoffzufuhr, weiterhin die Gefahr einer Rückzündung und infolge dessen das erneute Aufflackern des Feuers.

3.2 Merkmale für die Oberflächenkühlung

Beim Kühlen von brennenden Oberflächen müssen folgende Grundsatzregeln beachtet werden. Wenn ein Feuerwehrmann Wasser in Richtung des Brandes spritzt, ist es Sinn und Zweck dieser Maßnahme, dass das Wasser auf den Brandherd abgelegt wird. Wenn die Wassertropfen durch heiße Rauchgase hindurch gespritzt werden, wird ein Teil der Tropfen bereits verdampfen, bevor sie den Brandherd erreichen. Wenn die Tröpfchen zu klein sind, werden sie vollständig verdampft sein, bevor sie den Brandherd erreicht haben. In diesem Fall wird die Oberflächentemperatur nicht abnehmen und die Pyrolyse nicht gestoppt werden. Bei der Oberflächenkühlung sollten daher die Tropfen ausreichend groß sein, damit mindestens der größte Teil des Wassers auf der brennenden Oberfläche verdampft.

Außerdem ist es wichtig, dass alle brennenden Flächen erreicht und somit die pyrolysierenden Gegenstände abgekühlt werden. Anderenfalls wird zwar ein bestimmter Teil der brennenden Fläche abgelöscht, aber direkt daneben lodern weiterhin offene Flammen. In diesem Fall wird die Strahlungswärme der Flammen die eben erst abgekühlte Fläche wieder thermisch aufbereiten und wenig später wird die Pyrolyse dort erneut einsetzen.

Nach kurzer Zeit entzünden sich die Gase und das Feuer gewinnt sehr schnell seine alte Stärke zurück. Dieser Vorgang lässt sich hervorragend in einem CFBT-Container beobachten.

Zu guter Letzt ist es von Bedeutung, dass die eingesetzte Wassermenge immer im Verhältnis zum Ausmaß der brennenden Oberfläche(n) steht. Das "Ertränken" des Brennstoffes ist eine Technik aus längst vergangenen Zeiten, in denen die Atemschutzsysteme noch nicht erfunden waren. Damals war es noch nicht möglich, um weit genug vorzurücken und das Wasser direkt auf den Brandherd abzulegen. Auch heutzutage existieren immer noch derartige Einsatzsituationen, beispielsweise Brände in weitläufigen Industriegebäuden, bei denen es aus Stabilisationsproblemen nicht möglich ist, das Brandobjekt zu betreten. Es ist jedoch längst nicht mehr Sinn und Zweck der Brandbekämpfung, einfache Wohnungsbrände, die mittels Innenangriff wirkungsvoll bekämpft werden könnten, zu „ertränken“.

Wenn ein Atemschutzträger sein Wasser direkt auf eine brennende Oberfläche ablegt, werden die zuerst ankommenden Wassertropfen, dort wo sie niedergehen, für ein lokales Absinken der Oberflächentemperatur sorgen. Dies hat zur Folge, dass an dieser Stelle die Pyrolyse gestoppt wird. Alle nachkommenden Wassertropfen, die auf die gleiche Oberfläche niedergehen, werden abfließen, ohne dass sie effizient genutzt wurden. Das erzeugt jedoch Wasserschäden. Brände, bei denen mehr Schäden durch Löschwasser entstehen, als durch das Feuer, sind leider keine Seltenheit. Eine überlegte und geübte Handhabung des Strahlrohrs kann hier für Abhilfe sorgen.

4 Dampferzeugung (Indirektes Löschen)

Wenn Dampf zur Brandbekämpfung eingesetzt wird, bedeutet das eigentlich nichts anderes, als den Einsatz von Wasser im gasförmigen Zustand. Der Mechanismus hinter der Taktik funktioniert indem der Dampf die Luft verdrängt. Diese Löschmethode wird ‚Indirektes Löschen‘ genannt. Durch das Erzeugen von Dampf, sinkt der Sauerstoffanteil der Raumluft stark ab. Ab einem Volumenanteil von 50 % Dampf in der Raumluft, ist keine Flammenbildung mehr möglich (sh: Bild 4.5). Das heißt jedoch nicht, dass der Brand gelöscht ist. Er wurde höchstens für einen gewissen Zeitraum unter Kontrolle gebracht. In dem Moment, in dem, beispielsweise durch Belüftung, der Dampf aus dem Raum entweicht, strömt wieder Frischluft ein und in den meisten Fällen flackert das Feuer wieder auf. Um den Brand tatsächlich zu löschen, muss die Produktion von Pyrolysegase zum Stillstand gebracht werden (sh. obenstehend).

Um eine maximale Dampferzeugung zu erreichen, müssen die heißen Oberflächen genässt werden. Idealerweise wird hierfür ein Sprühstrahl verwendet, mit dem die Wände und die Decken nass gespritzt werden. Bei einem vollentwickelten Brand wird bereits viel Wasserdampf entstehen, wenn die Tropfen, auf dem Weg zur Wand, die Flammen durchqueren. Nachdem der indirekte Löschvorgang durchgeführt wurde, kann die Türe zum Raum geschlossen werden. Diese Maßnahme sorgt dafür, dass die Dampfkonzentration in der Raumluft so hoch wie möglich gehalten wird.

Der Einsatz dieses Löschmechanismus` erweist sich dann auch als der meist effizienteste bei Bränden in abgeschlossenen Räumen. Die Methode kann immer dann angewandt werden, wenn ein Innenangriff sich als schwer durchführbar gestaltet oder als Lösung gänzlich ausscheidet.

Mithilfe des ‚Cobra‘-Systems oder der ‚Piercing Nozzle‘ ist es sogar möglich ein Brandobjekt unter Dampf zu setzen, ohne den Raum zu betreten. Auch in Situationen, in denen ein erhöhtes Risiko auf Backdraft besteht, bietet der indirekte Angriff von außerhalb des Gebäudes eine gute Lösung.

Falls die Feuerwehrleute sich bei der Ausführung dieser Löschmethode mit ihrem Strahlrohr im Brandraum aufhalten, ist es allerdings von großer Wichtigkeit, dass sie eine Öffnung vorsehen, durch die der überschüssige Dampf abziehen kann. Wenn dies nicht der Fall ist, bleibt die Türöffnung, durch die der Raum betreten wurde, die einzige nutzbare Öffnung. Das hat zur Folge, dass der überschüssige Dampf durch die Türöffnung entweicht und auf seinem Weg unvermeidlich den Standort des Angriffstrupps kreuzt. Dabei besteht für die Feuerwehrleute ein großes Risiko, sich ernsthafte Brandwunden zuzuziehen. Diese Gefahr vermindert sich stark, wenn eine zweite Öffnung (z.B. ein Fenster), vorzugsweise hinter dem Brandherd, vorhanden ist. In einer solchen Konstellation kann, über den Brandherd hinweg, ein Luftstrom zwischen Türöffnung und Fenster entstehen. Die Luftströmung kann den Dampf nach draußen evakuieren, ohne dass der Angriffstrupp dabei in Gefahr gerät.

Hier muss allerdings ein weiteres Mal darauf hingewiesen werden, dass die Zufuhr von Luftsauerstoff brandfördernd wirkt. Wenn man also die indirekte Löschmethode in einem Raum mit Öffnungen anwendet, muss man sich dessen bewusst sein, dass das Feuer, unmittelbar nach dem Abzug des Dampfes, durch die Frischluftzufuhr wieder aufflackern wird. Die Oberflächen des Brennstoffs sind derweil immer noch sehr heiß und produzieren noch stets Pyrolysegase. Um zu vermeiden, dass die freigesetzten Gase sich erneut entzünden, sollte, nach dem Niederschlagen der Flammen mittels eines indirekten Angriffs, sofort zum direkten Angriff (gezielte Oberflächenkühlung) übergegangen werden. Damit werden die Oberflächen der brennbaren Materialien auf eine Temperatur unterhalb des Pyrolysewertes abgekühlt (sh. Bild 4.6 und Bild 4.7). Wenn dann anschließend wieder Sauerstoff in den Raum eindringt, wird keine erneute Entzündung stattfinden, weil nicht mehr ausreichend Pyrolysegase anwesend sind.

In der nachfolgenden Bilderreihe ist der Ablauf eines so genannten ‚live fire test‘ zu sehen. Dabei wird in einem Wohnzimmer ein Feuer entzündet. Der Brand kann sich anschließend ungehindert vom Entstehungsbrand zum vollentwickelten Zimmerbrand entwickeln. Danach wird das Feuer mit einem massiven Angriff niedergeschlagen. Dabei handelt es sich um eine Kombination von direktem und indirektem Löschen, wobei erst der Schwerpunkt auf den indirekten Löschvorgang gelegt wird und anschließend der Übergang zum direkten Löschangriff und dem Ablöschen des Brandherdes erfolgt.



Bild 4.1 In dem Modellnachbau eines Livings wird ein Brand gelegt.
(Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.2 Das Feuer breitet sich aus und die Rauchsicht entzündet sich. Über dem rechten Sessel sieht man deutlich, die, durch die Strahlungswärme freigesetzten, Pyrolysegase. Auch auf den Bücherschrank hat bereits ein Brandübergriff stattgefunden.
(Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.3 Der Flashover tritt ein und es kommt zur Raumdurchzündung. Die Pyrolysegase aus dem Sessel rechts im Bild, sind deutlich sichtbar. Auch der Teppich auf dem Boden pyrolysiert bereits sehr stark. (Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.4 Der Brand ist jetzt vollentwickelt. Die Brandleistung steigt außerordentlich hoch an, weil die vordere Wand komplett fehlt. Dadurch kann viel mehr Sauerstoff einströmen, als bei einem „echten“ Brand. (Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.5 Der Strahlrohrführer beginnt den Löschvorgang mit einem massiven Angriff. Zu dem Zeitpunkt, als das Bild gemacht wurde hat er bereits einen 3/4^{tel} Kreis ausgeführt. Er ist oben rechts begonnen und ist jetzt unten in der Mitte angekommen. Der Löscheffekt wird hauptsächlich durch den erzeugten Dampf erreicht. Der Unterschied zu Bild 4.4 ist schon jetzt enorm.
(Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.6 Nachdem die Flammen niedergeschlagen wurden, geht der Strahlrohrführer zum direkten Angriff über. Dabei macht er Gebrauch von der Penciling-Technik. Mit kurzen Stößen und Vollstrahl werden die Oberflächen des Brennstoffs gezielt weiter abgekühlt, um eine Rückzündung zu vermeiden. (Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)



Bild 4.7 Nachdem der Dampf abgezogen ist, herrschen wieder klare Sichtverhältnisse im Raum. Die Nachlöscharbeiten erfolgen mittels Painting-Methode, die vorsieht, dass mittels sehr geringem Durchfluss die Oberflächen vollständig abgekühlt werden.
(Foto: New South Wales Fire & Rescue Service)

5 Kühlung der Rauchgase

Die dritte wichtige Arbeitsweise beim Gebrauch von Wasser dient zur Sicherung der Arbeitsumgebung. Die Rauchgase, die durch Überhitzung von Gegenständen produziert werden, sammeln sich hauptsächlich unter der Raumdecke. Temperatur und Konzentration der Gase steigen dabei kontinuierlich an. Die so entstandene Rauchsicht stellt ein bedeutendes Risiko für die Feuerwehrleute dar. An einem bestimmten Zeitpunkt wird das Gas-/Luftgemisch sich entzünden (Roll-Over) und infolge dessen wird die Strahlungswärme aus der Rauchsicht enorm ansteigen (sh. Bild 4.3). Der Flashover ist die Konsequenz.

Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, kann die Rauchgaskühlung eingesetzt werden. Indem Wasser in richtiger Form in die Rauchdecke eingebracht wird, werden zwei Vorgänge ausgelöst. Das Wasser wird verdampfen und dabei der Rauchsicht Energie in Form von Wärme entziehen. Die Temperatur in der Rauchsicht wird absinken und das Risiko auf Roll-Over wird vermindert. Der zweite positive Effekt ist die Vermischung des Dampfes mit den Rauchgasen. Der erzeugte Dampf wird nämlich (teilweise) in der Rauchsicht verbleiben und somit die Explosionsgrenzen der Gase beeinflussen. Die Zündfähigkeit der Rauchsicht wird auf diese Weise stark vermindert.

Im vorherigen Abschnitt über Oberflächenkühlung wurde gesagt, dass die Tropfen ausreichend groß sein müssen, damit sie auch tatsächlich auf der brennenden Oberfläche niedergehen. Tropfen verdampfen immer schon teilweise, wenn sie auf dem Weg zum Brandherd die heißen Rauchgase durchqueren müssen. Bei der Anwendung der Rauchgaskühlung ist es jedoch nicht Sinn und Zweck der Maßnahme, dass die Tropfen auf Oberflächen, wie beispielsweise Mauern oder Zimmerdecken niedergehen. Ganz im Gegenteil, hier ist genau dieses Verdampfen der Tropfen in der heißen Rauchsicht das angestrebte Ziel der Taktik.

Paul Grimwood beschrieb in verschiedenen seiner Werke (sh. [4] en [5]), dass hierfür Tropfen mit einem Durchmesser von 300 Mikrometer vonnöten sind. Bei einem solchen Umfang sind die Tropfen dick und schwer genug, um in die Rauchsicht zu gelangen. Wenn die Tröpfchen nur unwesentlich unterhalb dieses Wertes liegen, sind sie bereits zu leicht und die Wahrscheinlichkeit ist groß, dass sie gar nicht erst in die Rauchsicht gelangen. Sind sie dagegen größer und dicker, dann wird nur ein Teil der enthaltenen Wassermenge in der Rauchdecke verdampfen, der restliche Teil des Tropfens wird auf eine Wand oder einen anderen Raumabschluss niedergehen und dort verdampfen.

6 Quellennachweis

- [1] *Fire Behaviour and Fire Suppression Course for instructors, MSB, augustus 2012, Revinge, Zweden*
- [2] *Lambert Karel, Baaij Siemco, Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2011*
- [3] *Särdqvist Stefan, Water and other extinguishing agents, 2002*
- [4] *Grimwood Paul, Eurofirefighter, 2008*
- [5] *Grimwood Paul, Hartin Ed, Mcdonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [6] *CFBT instructeurscursus voor de T-cell, CFBT-BE, september 2012*

Karel Lambert