

Brandeingang

# **DIE ROTEN HEFTE 1**

Roy Bergdoll/Sebastian Breitenbach

# **Verbrennen und Löschen**

18., erweiterte und überarbeitete Auflage

**Kohlhammer**

**Rotes Heft 1**

# **Verbrennen und Löschen**

Brandamtsrat **Roy Bergdoll**

Feuerwehr Mannheim

Brandamtsrat **Sebastian Breitenbach**

Feuerwehr Mannheim

18., erweiterte und überarbeitete Auflage

**Verlag W. Kohlhammer**

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen und sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

Die Bilder stammen – sofern nicht anders angegeben – von der Feuerwehr Mannheim.

18., erweiterte und überarbeitete Auflage 2021

Alle Rechte vorbehalten

© W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

Gesamtherstellung: W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

Print: ISBN 978-3-17-026968-2

E-Book-Formate:

pdf: ISBN 978-3-17-039390-5

epub: ISBN 978-3-17-039391-2

mobi: ISBN 978-3-17-039392-9

Für den Inhalt abgedruckter oder verlinkter Websites ist ausschließlich der jeweilige Betreiber verantwortlich. Die W. Kohlhammer GmbH hat keinen Einfluss auf die verknüpften Seiten und übernimmt hierfür keinerlei Haftung.

## Vorwort

Einfach war es nicht, dieses Rote Heft als Autorenteam fortzuführen, das unser Vorgänger Kurt Klingsohr in nunmehr 17 Auflagen gelebt hat. Hinzu kommt, dass sich eigentlich jeder Feuerwehrangehörige regelmäßig seit den ersten Unterrichten und Lehrgängen mit dem Thema Verbrennen und Löschen zu Genüge beschäftigt. In jeder Lernzielstufe kommt neues Wissen hinzu und eine jahrelange Tätigkeit im Einsatzdienst festigt das Erlernte, warum und wie etwas verbrennt und welche Löschmittel man am besten einsetzt und welche nicht. Warum braucht man dann auch noch ein Fachbuch zu diesem Thema?

Auch wir beide Autoren stellten uns diese Frage, als es darum ging, das Rote Heft 1 »Verbrennen und Löschen« weiterzuführen. Und je mehr wir uns zu diesen Fragen bei gemeinsamen Diensten, in unseren Bereitschaftszeiten und auch gemütlich auf der Terrasse bei einem von uns beiden austauschten, umso mehr stellten wir fest, dass es nicht einfach nur mit den vier Voraussetzungen einer Verbrennung und der Wahl des richtigen Löschmittels getan ist. Ein umfänglicherer Ansatz über die Grenzen der reinen Tatsachenvermittlung sollte her. Was interessiert die Leserinnen und Leser? Welche Themen werden hinterfragt, um sie auch zu verstehen? Was ist denn jetzt genau der Flash-over, was steckt dahinter, wie erkenne ich ihn und wie schütze ich mich. Oder warum gibt es die Brandklasse E »Brände in elektrischen (Nieder-)Spannungsanlagen« nicht mehr, obwohl die Themen Elektromobilität und Gefahren durch Lithium-Ionen-Akkus vermehrt diskutiert werden. Das Löschmittel Schaum ist mittlerweile mehr als nur Leicht-, Mittel- und Schwertschaum, aber warum werden Neuronen entwickelt und in Fahrzeuge eingebaut? Welche Vor- und Nachteile bringen sie?

Die inhaltliche Umgestaltung dieses Buches kostete uns einiges an Zeit. Ohne die allgemeinen Grundlagen zum Themenbereich Verbrennen und Löschen geht es nicht, das war uns klar. Müssen weiterführende Informationen mit physikalischen und chemischen Vorgängen mit dazu? Auch hier war schnell ein »Ja!« gefestigt, denn um Phänomene zu begreifen, sind die entsprechenden Grundlagen

essentiell. Und auch Tabellen und Übersichten sind wichtige Mittel, um Tatsachen zu verstehen und Vergleiche anstellen zu können. Und schlussendlich waren wir uns einig, dass Praxisbeispiele und Bilder das Gelesene zusätzlich noch abrunden.

Mit diesen Zielsetzungen haben wir letztendlich versucht, an die Vorgängerversionen anzuknüpfen. Wir hoffen, mit der nunmehr 18. Auflage dieses Roten Heftes im Kapitel Verbrennen die vorherrschenden Grundlagen sowie das allgemeine Wissen mit weiterführenden Informationen unterbauen zu können. Ein weiterer Ansatz ist der Versuch, den Verbrennungsvorgang einmal in Gänze zu betrachten. Dies gilt weiterführend für den Abschnitt Löschen, denn auch hier haben wir uns das Ziel gesetzt, eine breite Basis für das fachliche Grundwissen rund um die Thematik Löschmittel und Löschverfahren zu vermitteln.

Die Leserinnen und Leser sind diejenigen, die beurteilen können, ob es uns gelungen ist, unsere Ansprüche und Gedanken umzusetzen. Wir erheben keinesfalls den Anspruch, vollumfänglich und allumfassend diese breiten Themenfelder zu erfassen, denn auch wir sind sicherlich in einigen Bereichen betriebsblind. Umso mehr freuen wir uns über Fragen und Anmerkungen der Leserinnen und Leser dieses Roten Heftes.

Roy Bergdoll

Sebastian Breitenbach

# Inhaltsverzeichnis

## **Vorwort**

### **1 Verbrennen**

#### **2 Voraussetzung „Brennbarer Stoff“**

- 2.1 Allgemeine Grundlagen
- 2.2 Brandklassen
- 2.3 Weiterführende Informationen

#### **3 Voraussetzung „Sauerstoff“**

- 3.1 Allgemeine Grundlagen
- 3.2 Weiterführende Informationen

#### **4 Voraussetzung Zündenergie**

- 4.1 Allgemeine Grundlagen
  - 4.1.1 Selbstentzündung
  - 4.1.2 Fremdzündung
  - 4.1.3 Möglichkeiten der Wärmeübertragung
- 4.2 Weiterführende Informationen
  - 4.2.1 Zündtemperatur
  - 4.2.1 Mindestzündenergie
  - 4.2.3 Zündvorgang
  - 4.2.4 Temperaturklassen und Explosionsgruppen

#### **5 Voraussetzung Mengenverhältnis**

- 5.1 Allgemeine Grundlagen
  - 5.1.1 Der Explosionsbereich mit der unteren und oberen Explosionsgrenze
  - 5.1.2 Dichteverhältnis

- 5.2 Weitergehende Informationen
- 5.2.1 Verpuffung – Explosion – Detonation
- 5.2.2 Explosionszonen

## **6 Brandverläufe am Beispiel eines Zimmerbrandes**

- 6.1 Brandrauch
- 6.2 Brandverläufe eines Zimmerbrandes
  - 6.2.1 Die Phase der Entzündung
  - 6.2.2 Die Phase des Entstehungsbrandes
  - 6.2.3 Der Übergang zu einem Vollbrand – die Rauchdurchzündung
  - 6.2.4 Der verzögerte Übergang zu einem Vollbrand – die Rauchgasexplosion

## **7 Löschen**

- 7.1 Löschverfahren
  - 7.1.1 Löschen durch Beseitigen
  - 7.1.2 Löschen durch Abkühlen
  - 7.1.3 Löschen durch Ersticken
  - 7.1.4 Löschen durch Inhibition

## **8 Löschmittel**

- 8.1 Wasser / Netzmittel
  - 8.1.1 Wasser als Löschmittel in elektrischen Anlagen:
  - 8.1.2 Weitergehende Informationen:
- 8.2 Schaum
  - 8.2.1 Schaumarten
  - 8.2.2 Schaummittel
  - 8.2.3 Musterrechnung
- 8.3 Löschpulver
  - 8.3.1 BC-Löschpulver (P)
  - 8.3.2 BC-Löschpulver (P-SV)
  - 8.3.3 ABC-Löschpulver (PG)
  - 8.3.4 D-Löschpulver (PM)

8.4 Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub>

8.5 Inertgase

8.6 Halone

8.7 Sonstige Löschmittel

### **Literatur- und Quellenverzeichnis**

# 1 Verbrennen

Allgemein gesprochen wird das Verbrennen als ein chemischer Vorgang bezeichnet, bei dem sich Stoffe mit Sauerstoff verbinden und Wärme freigesetzt wird.

Die DIN 14011 beschreibt in Teil 1 den Vorgang des Verbrennens – auch als Brennen bezeichnet – wie folgt: »Brennen ist eine selbstständig ablaufende exotherme (wärmeabgebende) Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und Sauerstoff oder Luft. Das Brennen ist durch Flamme oder Glut gekennzeichnet.«.

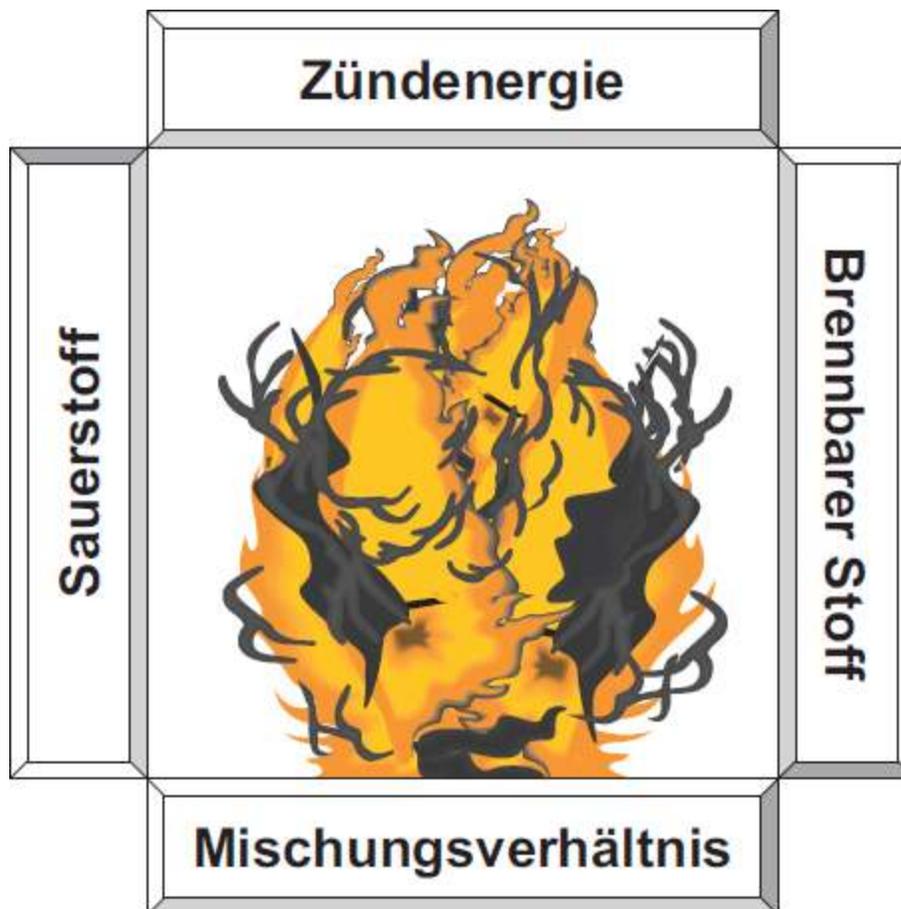
Die naturwissenschaftliche Fachliteratur wie beispielsweise »Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie« von Dr. Rudolf Christen beschreibt den Verbrennungsvorgang als eine Redox-Reaktion (Reduktions-Oxidations-Reaktion), die unter Energiefreisetzung in Form von Wärme und Licht (also exotherm) abläuft. Der Oxidationsvorgang wird dabei als schnelle Umsetzung eines Materials (Reduktionsmittel) mit Sauerstoff (Oxidationsmittel) mit Flammerscheinung verstanden, wobei auch andere Stoffe als Sauerstoff das Oxidationsmittel darstellen können. Ohne auf chemische und physikalische Grundlagen weiter eingehen zu wollen, wird schon aus den vorherigen Beschreibungen deutlich, dass bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit eine Verbrennung überhaupt stattfinden kann. Auf der stofflichen (materiellen) Seite

- muss zum einen ein **brennbarer Stoff** in einer für die Verbrennung geeigneten Form vorliegen;
- muss zum anderen genügend **Sauerstoff** vorhanden sein und dieser muss Zugang zum brennbaren Stoff haben;
- müssen brennbarer Stoff und Sauerstoff in einem günstigen **Mischungsverhältnis** bzw. **Mengenverhältnis** zueinanderstehen, damit sie überhaupt reagieren können.

Sind alle stofflichen Voraussetzungen gegeben, fehlt immer noch die energetische Seite, damit der Verbrennungsvorgang überhaupt startet und in der Folge selbstständig weiterbrennt. Somit

- muss als letzte Voraussetzung für den Verbrennungsvorgang den stofflichen Voraussetzungen eine gewisse Menge **Zündenergie** zugeführt werden.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Voraussetzungen näher eingegangen und die mit dem Verbrennungsvorgang verbundenen Begrifflichkeiten und Kennzahlen herausgearbeitet.



**Bild 1:** Die vier Voraussetzungen für eine Verbrennung (Quelle: Roy Bergdoll)

## 2 Voraussetzung »Brennbarer Stoff«

### 2.1 Allgemeine Grundlagen

Als erste Bedingung, die für den Verbrennungsvorgang notwendig ist, sollen die »Brennbaren Stoffe« beleuchtet werden. Unter brennbaren Stoffen versteht man alle gasförmigen Stoffe sowie feste und flüssige Stoffe in ihren unterschiedlichen Erscheinungsformen wie Dämpfe, Stäube und Nebel, die beim Vorhandensein von Sauerstoff und einer ausreichenden Zündenergie brennen. Betrachtet man das Einsatzgeschehen der Feuerwehr, so könnte man die brennbaren Stoffe in folgende drei Gruppen einteilen.

1. Brennbare Stoffe, die Kohlenstoff enthalten. Diese Gruppe macht wohl knapp 100 % der Brandeinsätze der Feuerwehr aus. Handelt es sich doch hierbei um Stoffe wie Holz, Heu, Stroh, Papier und Kunststoffe, die fast immer in irgendeiner Form an Bränden beteiligt sind und welche die typische Rußbildung beim Verbrennen hervorrufen. Weitere Vertreter dieser Gruppe sind Kraftstoffe, Mineralöle, Stadt- und Erdgas, Propan oder Acetylen.
2. Metalle wie Eisen, Magnesium oder Aluminium, die vor allem in zerkleinerten Formen als Granulat, Späne oder Pulver leicht zum Brennen gebracht werden können.
3. Bleiben noch Stoffe wie Schwefel, Phosphor, einige Alkali- und Erdalkalimetalle wie Natrium oder Calcium sowie deren Legierungen übrig, die im Brandeinsatz eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Es gibt weitere Unterscheidungsmerkmale wie chemische Zusammensetzung, Temperaturklassen (Einteilung brennbarer Stoffe nach deren Zündtemperatur), Brennbarkeitsgruppen (leicht-, normal- und schwerbrennbare Stoffe) oder die Gefahrklassen bei brennbaren Flüssigkeiten bzw. Explosionsgruppen bei brennbaren Gasen, die zu einer Klassifizierung der brennbaren Stoffe herangezogen werden

können. Letztendlich hat sich die Gruppeneinteilung nach gleichartigem Brandverhalten bewährt – die Einteilung in sogenannten Brandklassen.

## 2.2 Brandklassen



### **Brandklasse A – feste brennbare Stoffe**

Definition der Brandklasse A nach DIN EN 2: Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen.

Hauptbestandteil organisch aufgebauter Materie ist das Element Kohlenstoff in Kombination mit Wasserstoff (die sogenannten Kohlenwasserstoffverbindungen) sowie Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und/oder Phosphor. Organische Stoffe sind entweder natürlichen Ursprungs und entstammen dem Pflanzenwachstum oder es handelt sich um synthetisch hergestellte Stoffe wie eine Vielzahl von Kunststoffen. Da Kunststoffe in der Regel aus Erdölderivaten hergestellt werden, sind sie im weitesten Sinne auch organische Stoffe, die vom Pflanzenwachstum herrühren.

Typisch für Stoffe der Brandklasse A ist das Verbrennen mit **Flammerscheinung** und **Glutbildung**. Erhitzt man einen brennbaren festen Stoff, so treten zunächst leichtflüchtige, später auch schwerer flüchtige Gase, die **Pyrolysegase** aus, die für die Flammenbildung verantwortlich sind. Die Glutbildung wird dann durch den nichtflüchtigen festen Kohlenstoffanteil hervorgerufen. Ein weiteres typisches Merkmal beim Verbrennen von Stoffen der Brandklasse A ist die **Rußbildung** und die damit einhergehende Brandparallelscheinung Rauch.

Während bei der vollständigen Verbrennung einer reinen Kohlenwasserstoffverbindung nur die unsichtbaren Verbrennungsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser gebildet werden,

entstehen bei einem Brandereignis, das die Feuerwehr normalerweise in Form eines Schadenfeuers auf den Plan ruft, zusätzlich noch das giftige Kohlenstoffmonoxid, weitere Schwelgase, Aerosole und sichtbarer Rauch. Die schwarzen Ruß- und Holzkohleteile sowie Flugasche, der weiße Wasserdampf und die gelbgrün bis braun gefärbten Schwelgase bestimmen die Farbe des Rauches. Neben der Farbe können das Rauchvolumen, die Rauchdichte und die Geschwindigkeit bzw. der Druck, mit der Rauch aus einer Öffnung gedrückt wird, wichtige Hinweise auf das Brandereignis geben und damit Rückschlüsse auf die Entwicklung des Brandes gezogen werden – man kann quasi »aus dem Rauch lesen«. Welche Gefahren im Feuerwehreinsatz von Pyrolysegasen ausgehen und welche Hinweise der Brandrauch auf den Verbrennungsvorgang gibt, wird im Kapitel 6 »Brandverläufe am Beispiel eines Zimmerbrandes« näher beschrieben.



**Bild 2:** *Feste brennbare Stoffe verbrennen mit Flammenerscheinung und Glutbildung sowie Rußbildung*

Eine besondere Gefahr geht von brennbaren festen Stoffen aus, die in feinstverteilter Form vorliegen, den Stäuben. Zu nennen sind hier die klassischen organischen Stäube aus Holz oder Kohle sowie den daraus abgeleiteten Nahrungsmittelstäuben aus Mehl und Zucker. Es sind aber auch Stäube von Schwefel, Hartgummi, Erzen, Kunststoffen,

Arzneimitteln oder Farbstoffen anzuführen. In der Luft bilden diese Stäube explosionsfähige Atmosphären, die sich ähnlich wie Dampf- oder Gas-Luft-Gemische verhalten und unterschiedliche Abbrandverhalten aufweisen. Die für die Feuerwehr relevanten Kennzahlen bzw. Begrifflichkeiten im großen Umfeld des Begriffs der Explosion sind im Kapitel 5 »Voraussetzung Mengenverhältnis« näher erläutert.



**Bild 3:** Der Rauchaustritt bei einem Schadfeuer lässt Rückschlüsse auf das Brandgeschehen zu.



### **Brandklasse B – flüssige brennbare Stoffe**

Definition der Brandklasse B nach DIN EN 2: Brände von flüssigen oder flüssig werdenden Stoffen.

Eigentlich ist diese Definition nicht ganz richtig, denn es brennen nicht die Flüssigkeiten selbst, sondern die sich aus der Flüssigkeit heraus entwickelnden Dämpfe. Ein Faktum, das beim Löschen von brennbaren Flüssigkeiten eine wichtige Rolle spielt (siehe Kapitel 8 »Löschmittel«). Je nachdem, um welche Flüssigkeit es sich handelt,

entwickeln sich abhängig von Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck mehr oder weniger zündfähige Dämpfe. Ein typisches Merkmal für Stoffe der Brandklasse B ist, dass sie nur unter Flammenerscheinung brennen. Je nach Unvollständigkeit der Verbrennung ist aber auch hier eine Rußbildung die Regel, vor allem wenn es sich um größere (längere) Kohlenwasserstoffverbindungen handelt. Die komplexen Kohlenwasserstoffverbindungen Benzin oder Diesel verbrennen mit einer deutlichen Ruß- und Rauchentwicklung, ebenso Wachs. Brennspritus bzw. Ethanol oder Methanol hingegen rauchen fast überhaupt nicht.



**Bild 4:** Brennbare Flüssigkeiten verbrennen normalerweise nur unter Flammenerscheinung, bei unvollständigen Verbrennungen tritt auch eine Rußbildung auf. (Quelle: Roy Bergdoll)

Eine differenzierte Einteilung brennbarer Flüssigkeiten erfolgt in der Regel nach deren Flammpunkt (wie der Flammpunkt definiert ist, ist im Folgenden angeführt). Bis 2003 erfolgte die Einteilung nach der »Verordnung über brennbare Flüssigkeiten« (VbF). Unterschieden wurde dabei zwischen nicht wasserlöslichen (unpolaren) brennbaren Flüssigkeiten (Gefahrklasse A) und bei 15 °C wasserlöslichen (polaren) brennbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C (Gefahrklasse B). Die Gefahrklasse A war, abhängig von den Flammpunkten, nochmals in die drei Untergruppen AI bis AIII unterteilt.

Derzeit erfolgt die Klassifizierung nach europäischem Gefahrstoffrecht wie folgt:

- hochentzündliche Flüssigkeiten (F+) mit einem Flammpunkt unter 0 °C und Siedebeginn kleiner 35 °C,
- leichtentzündliche Flüssigkeiten (F) mit einem Flammpunkt von 0 °C bis 21 °C,

- entzündliche Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von 21 °C bis 55 °C.



**Bild 5:** Kennzeichnung brennbarer Flüssigkeiten nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) (Quelle: Roy Bergdoll)

Die GHS-Verordnung (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals) klassifiziert noch etwas genauer, was aber für den Feuerwehreinsatz keinen Unterschied macht.

- Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar (Gefahrenkategorie 1) mit einem Flammpunkt kleiner 23 °C und Siedebeginn kleiner/gleich 35 °C.
- Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (Gefahrenkategorie 2) mit einem Flammpunkt kleiner 23 °C und Siedebeginn größer 35 °C.
- Flüssigkeit und Dampf entzündbar (Gefahrenkategorie 3) mit einem Flammpunkt von 21 °C bis 60 °C.



**Bild 6:** Kennzeichnung brennbarer Flüssigkeiten nach der GHS-Verordnung (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals) (Quelle: Roy Bergdoll)

Für den Einsatz des richtigen Löschmittels werden brennbare Flüssigkeiten, wie bereits angeführt, in Anlehnung an die nicht mehr