

# Betriebliche Prävention

04.24

Arbeit | Gesundheit | Unfallversicherung



Foto: ESV/Angela Kausche

Heiner Wahl

# Grundlegendes zum betrieblichen Brand- und Explosionsschutz

Praktische Relevanz, fachliche bzw. wissenschaftliche Hintergründe und ein Überblick über gültige Rechtsvorschriften (Teil 1 von 2)

Dieser zweiteilige Beitrag gibt in drei Abschnitten einen kompakten, einführenden Überblick über das Thema „Brand- und Explosionsschutz“. Im ersten Abschnitt wird anhand zahlreicher Beispiele der Vergangenheit die Bedeutung von Bränden und Explosionen im betrieblichen Unfall- bzw. Störfallgeschehen dargestellt. Fachliche bzw. wissenschaftliche Hintergründe mit Blick auf Brände und Explosionen sind Gegenstand des zweiten Abschnitts. Es wird ein Grundwissen vermittelt, ohne dass über Gebühr ins Detail gegangen wird. Der dritte Abschnitt gibt einen kompakten Überblick zu den für Deutschland relevanten Rechtsvorschriften zum Brand- und Explosionsschutz. Über zahlreiche Links bzw. QR-Codes wird dem Leser die Möglichkeit gegeben, tiefer in die Welt der Vorschriften und Regeln einzusteigen.

## Abschnitt 1 – Praktische Relevanz des betrieblichen Brand- und Explosionsschutzes in der Lebenswirklichkeit mit zahlreichen Beispielen

Viele Unfälle und Störfälle in Wirtschaftsbetrieben und Industrieanlagen sind mit Bränden und Explosionen verbunden. Brände und Explosionen gehen häufig einher mit erheblichen materiellen Zerstörungen in den Betrieben und Anlagen sowie mit der Freisetzung gesundheits- und umweltgefährdender Gefahrstoffe.

Oft sind bei solchen Vorfällen Menschen unmittelbar gefährdet – in erster Linie die am Ort des Geschehens tätigen Beschäftigten, aber auch Einsatz- und Rettungskräfte der Feuerwehren und manchmal auch Privatpersonen, die sich in der Nähe des Ereignisses aufhalten oder Anwohner der näheren Umgebung einer betroffenen Industrieanlage sind.

Druckwellen von Explosionen und Rauchwolken machen an Betriebsgrenzen nicht halt. Druckwellen können Fenster zerplatzen, zersplittern lassen. Gefahrstoffe aus (Brand-)Rauchen können in die Atemluft gelangen oder sich in Gärten und anderswo niederschlagen. Zum unmittelbaren Schutz vor (Brand-)Rauchen gilt es zunächst, alle Fenster und Außentüren zu schließen, bis früher oder später die akute Gefährdung durch Verdünnungseffekte bzw. durch die Luftbewegung (Wind) abgeklungen ist. Auf das Schließen von Fenstern und Außentüren wird bei gravierenderen Ereignissen oft durch die Feuerwehren hingewiesen.

Ein (Brand-)Rauch ist fast immer ein „Cocktail“ mit vielen gesundheitsgefährdenden Inhaltsstoffen, dessen Zusammensetzung nicht zuletzt von den Brennstoffen und dem Oxidationsmittel (oft Luftsauerstoff) abhängt. Eine Rolle mit Blick auf die Zusammensetzung des „Cocktails“ spielt auch die Verbrennungstemperatur, wobei niedrigere Verbrennungstemperaturen oft zu „Cock-

tails“ führen, die gefährlicher sind. Die chemische Analyse eines (Brand-)Rauchs ist oft anspruchsvoll und meist nicht von „jetzt auf gleich“, z. B. durch die Feuerwehr, zu realisieren. Entwarnungshinweise, z. B. durch die Feuerwehr, sollten daher auch ein Stück weit „mit Respekt vor dem Ereignis“ aufgenommen werden.

Ferner: Kontaminiertes Löschwasser kann in Gewässer gelangen – in Flüsse und Seen – oder in die Kanalisation, wenn keine ausreichenden Vorkehrungen zum Abfangen des Löschwassers (Rückhalteeinrichtungen) betrieblich getroffen worden sind. So ereignete sich z. B. im Jahr 1986 ein Großbrand bei dem Pharma- und Chemieunternehmen Sandoz in der Nähe von Basel. Große Mengen von mit Pflanzenschutzmitteln kontaminiertem Löschwasser gelangten damals in den Rhein, was ein großes Fischsterben stromabwärts bis Mannheim auslöste. Dieses schwerwiegende Ereignis mit Umweltrelevanz war einer von verschiedenen „Weckrufen“ in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, die dazu gemahnten, im dicht besiedelten Deutschland mit seiner hohen Industriedichte mehr für den Brand- und Explosionsschutz und auch für den Umweltschutz zu tun.

Die Vorbeugung zur Verhinderung von Bränden und Explosionen ist ein wichtiges Thema, und in den letzten Jahrzehnten wurde in Deutschland sowohl auf betrieblicher als auch auf gesetzlicher Ebene viel getan. Auch deshalb haben sich in der jüngeren Vergangenheit in der Gesamtschau nur noch verhältnismäßig wenige schwere Unglücke mit Bränden/Explosionen in industriellen Bereichen bei uns ereignet. Ein Nullrisiko ist aber nicht realistisch, weil man menschliches und technisches Versagen sowie organisatorisch-kommunikative Mängel und auch „den Zufall“ nicht gänzlich ausschließen kann.

Ferner müssen Gefahrstoffe zuweilen transportiert werden – auf der Straße, auf der Schiene, zu Wasser und auch in der Luft. Dabei verlassen sie betriebliche Bereiche. Der Gefahrguttransport ist (international) streng geregelt (Gefahrgutrecht). Auch hier spielt der Brand- und Explosionsschutz eine wichtige Rolle. Beim Gefahrguttransport vollziehen sich Brände und Explosionen im Fall des Falles außerhalb von Betriebsgeländen unter Beteiligung von Lastkraftwagen, Güterzügen, Binnen- und Hochseeschiffen sowie u. U. auch Flugzeugen.

Der innerbetriebliche Transport von Gefahrstoffen (Stichworte z. B. Gabelstapler/Flurförderzeuge) ist zwar auch ein relevantes Thema, aber ein gesondertes. Der innerbetriebliche Transport ist nicht durch das Gefahrgutrecht, sondern durch die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) geregelt.

Infobox 1 verdeutlicht am Beispiel Heizöl bzw. Dieselöl, wie weit verbreitet Gefahrguttransporte auf unseren Straßen sind.

Weiter im Text: Der Leser kann sich bei Interesse einen aufschlussreichen Überblick über Störfälle der letzten Jahrzehnte in Deutschland unter Nutzung folgenden Links zur Zentralen Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA) verschaffen, wenn er ein bisschen „probiert“:

<https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index.html>



Die ZEMA wertet die Störfallmeldungen nach Störfallverordnung (12. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz – BImSchG) aus. Aus den aufgearbeiteten Daten kann man u. a. entnehmen, wie häufig Störfälle mit Bränden

## Infobox 1

Heizöl bzw. Dieselöl auf der Straße – ein Teil der Lebenswirklichkeit

Der Transport von Heizöl bzw. Dieselöl in Tank-Lkw findet häufig auf unseren Straßen statt, auch in Innenstädten. Es handelt sich um Gefahrguttransporte. Zwischen Heizöl und Dieselöl besteht chemisch gesehen kaum ein Unterschied, dafür aber steuerlich.

Besagte Tank-Lkw sind mit folgender Gefahrgut-Warntafel ausgestattet:



Die „30“ ist die Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr, die von dem Gefahrgut ausgeht. Die „1202“ ist die sogenannte UN-Nummer des Gefahrguts.

Daneben sind noch die sogenannten Gefahrzettel für die Ladung an dem Tank-Lkw angebracht:



Das rote Quadrat weist auf die Entzündbarkeit der Ladung (Heizöl bzw. Dieselöl) hin, das schwarz-weiße, formal-rechtlich gesehen kein Gefahrzettel, auf ihre Umweltgefährlichkeit.

Nach EU-CLP-Verordnung ist Heizöl bzw. Dieselöl mit Blick auf physikalisch-chemische Gefährdungen wie folgt eingestuft:



mit H226 „Flüssigkeit und Dampf entzündbar.“

Gewiss gibt es brisantere Gefahrgüter als Heizöl bzw. Dieselöl. Gefahrguttransporte mit brisanteren Ladungen sind bei uns aber weniger in Innenstädten auf

der Straße unterwegs, sondern eher auf Fernstraßen, auf der Schiene (Güterzüge) oder auf Binnenwasserstraßen (Binnenschiffe).

In innerstädtischen Bereichen wird ferner ziemlich häufig Ottokraftstoff/Benzin mit Tank-Lkw transportiert.

Warntafel für Ottokraftstoff/Benzin:



und Explosionen verbunden waren. Es waren nicht wenige – kleinere und schwerwiegendere.

Nicht selten treten Brände und Explosionen bei Instandhaltungsarbeiten auf, die generell besonders gefahrenträchtig sind. Instandhaltung umfasst nach DIN-Norm 31051 Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung. Eine Definition von „Instandhaltung“ findet sich auch im Begriffsglossar zu den staatlichen Regelwerken, das auf der Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) eingestellt ist.

Im Jahr 1996 ereignete sich ein schweres Brandunglück im Düsseldorfer Flughafen, das 17 Todesopfer und viele Verletzte forderte. In einem Flughafen sind viele Menschen unterwegs, nicht zuletzt Passagiere. Durch Funkenflug im Rahmen von schweißtechnischen Arbeiten entstand in einer Zwischendecke des Flughafens zunächst ein Schmelzbrand von Styroporplatten (ein häufig verwendetes, brennbares Isolationsmaterial – chemisch: expandiertes Polystyrol), der sich dann zu einem Vollbrand der Zwischendecke ausweitete. Die Schweißer des beauftragten Unternehmens wussten (vermutlich) nichts von der Brandgefahr, die in unmittelbarer Nähe ihres Arbeitsorts aufgrund ihrer Arbeiten bestand.

Ebenfalls große Beachtung in den Medien fand das schwere Brand-/Explosionsunglück auf dem Firmengelände der BASF im Bereich des Rheinhafens in Ludwigshafen im Jahr 2016. Auch dieses wurde durch schweißtechnische Arbeiten einer Fremdfirma ausgelöst. Konkret waren Arbeiten an einer Versorgungsleitung

durchzuführen. „Angeschnitten“ wurde jedoch eine falsche Leitung. Es kam zu einem Brand und infolgedessen zu zwei heftigen Explosionen mit zerstörerischen Auswirkungen: Fünf Tote und 28 Verletzte waren zu beklagen.

Erwähnt werden soll hier auch noch das Explosionsunglück im Chemiepark Leverkusen, das sich im Juli 2021 im dortigen Sondermüll-Entsorgungszentrum ereignete. Betreiberin des Chemieparks in Leverkusen, wie auch der Chemieparks in Dormagen und Krefeld-Uerdingen, ist die Firma Currenta, die auch für das Entsorgungszentrum in Leverkusen verantwortlich ist. Zentrum des Geschehens war ein Tanklager. In Folge der Explosion gab es sieben Tote und 31 Verletzte.

Die letztgenannten beiden Unglücke bzw. Störfälle der jüngeren Vergangenheit zeigen die fortwährende Bedeutung eines wirksamen Brand- und Explosionsschutzes in betrieblichen Bereichen auf.

Im Folgenden soll noch genauer auf den Stoff Ammoniumnitrat eingegangen werden. Er ist ein sehr nützlicher Bestandteil von Düngern, liefert den Ackerböden chemisch gebundenen Stickstoff. Infolgedessen wird er bis heute in großen Mengen produziert, auch (zwischen-)gelagert.

Der Stoff Ammoniumnitrat ist allerdings explosionsfähig (siehe dazu auch Teil 2 des Beitrags), und so haben sich in den letzten Jahrzehnten an verschiedenen Orten der Welt immer wieder mehr oder weniger katastrophale Explosionsunfälle ereignet. Vier dieser Ereignisse seien hier beispielhaft und kurz beschrieben.

Bereits im Jahr 1921 kam es im damaligen Werk Oppau der BASF zu einem besonders großen und folgenschweren Explosionsunglück im Zusammenhang mit Ammoniumnitrat. Dieses Unglück in Oppau hat historische Relevanz, denn es ist bis heute das folgenschwerste Industrieunglück in Deutschland. Das nun folgende zweite Beispiel trug sich 80 Jahre später zu.

Ausgelöst durch große Mengen gelagerten Ammoniumnitrats kam es im Jahr 2001 zu einem schweren Explosionsunglück in Toulouse, das in der ganzen Stadt Chaos auslöste und nach offiziellen Angaben 31 Tote und über 2.500 Verletzte forderte. Die meisten der Verletzten waren aber nur leicht verletzt, oft durch Glassplitter zerborstener Fenster.

Im Jahr 2015 wurden bei einer Explosion im großen Hafen der chinesischen Stadt Tianjin Hunderte Menschen getötet oder verletzt. Laut der britischen Zeitung „The Guardian“ lagerten auf dem Gelände neben zahlreichen anderen gefährlichen Stoffen 800 Tonnen Ammoniumnitrat. Im Einzelnen bleibt dieser Vorfall jedoch diffus, weil von chinesischer Seite womöglich nicht für volle Transparenz gesorgt wurde. Eines aber ist klar: Häfen sind u. a. auch Orte, an denen Gefahrgüter in großem/größerem Umfang (zwischen-)gelagert werden, was ein erhebliches Gefahrenpotenzial in sich birgt. Das zeigt auch das folgende vierte Beispiel.

Ein besonders erstaunlicher Vorfall, vielleicht entspräche der Begriff „haarsträubend“ den dortigen Umständen besser, ereignete sich im August 2020 im Hafen von Beirut. Offenbar ausgelöst durch Schweißarbeiten brach in einer Halle des Hafens ein Feuer aus, das im Bereich gelagerte Feuerwerkskörper explodieren ließ. Dies wiederum brachte dann mehr als 2500 Tonnen ebenfalls in der Nähe lagernden Ammoniumnitrats zur Explosion. Es gab mindestens 207 Tote und mehr als 6500 Verletzte, von den vielfältigen Zerstörungen in der Stadt Beirut ganz zu schweigen.

Die vier genannten Beispiele, vor allem die beiden letztgenannten, hatten den Charakter von Katastrophen. Es ist im Auge zu behalten, dass es in unserer heutigen Welt viele Staaten mit einer im Vergleich zu Deutschland weniger ausgeprägten „Sicherheits- und Rechtskultur“ gibt. Das kann sich im Ergebnis auch in schweren Brand- oder Explosionsunglücken bzw. ihrer „Nachbehandlung“ manifestieren. Der Leser bedenke, dass dies auch ein Preis für die Verlagerung von Industrieproduktionen in solche Staaten ist.

Nun weiter im Text: Erwähnenswert sind ferner Explosionsunfälle in Produktions- und Lagerstätten von Gefahrstoffen, die heute nach EU-CLP-Verordnung in die Gefahrenklasse „Explosive Stoffe/Gemische und Erzeugnisse mit Explosivstoff“ eingestuft sind. In den Anfangszeiten der Produktion und Verwendung solcher Gefahrstoffe, die nicht zuletzt auch für militärische Zwecke genutzt wurden bzw. werden, gab es zahlreiche schwerwiegende Explosionsunfälle, auf die aber an dieser Stelle nicht im Einzelnen eingegangen werden soll. Erwähnt werden soll stattdessen die historisch sehr bemerkenswerte Persönlichkeit Alfred Nobel (siehe Infobox 2).

### Infobox 2: Ein paar Fakten zu Alfred Nobel

Alfred Nobel war ein schwedischer Chemiker, der im 19. Jahrhundert lebte und einer Industriellen-Familie entstammte. Er war wissenschaftlich sehr kreativ und hielt eine Vielzahl von Patenten. Unter anderem war er Erfinder des Dynamits, dessen explosive Komponente Nitroglycerin ist (siehe dazu auch Teil 2 des Beitrags).

Die Forschung mit explosiven Stoffen sowie ihre Produktion waren damals eine hochgefährliche Angelegenheit.

Alfred Nobel war zugleich Stifter und Namensgeber des Nobelpreises. Auch das chemische Element Nobelium wurde später nach ihm benannt.

Nun soll das Augenmerk des Lesers auf das „Schwarzpulver“ gelenkt werden, das nach EU-CLP-Verordnung als explosives Gemisch eingestuft ist.

Erfunden wurde das Schwarzpulver in China vor vielen Hundert Jahren – wahrscheinlich schon vor dem 13. Jahrhundert. Schnell wurde auch seine militärische Nutzbarkeit erkannt. Sie war recht vielseitig und führte im historischen Verlauf z. B. zur Nutzung von Schwarzpulver als Treibmittel bei Vorderlader-Gewehren (siehe dazu auch Teil 2 des Beitrags).

Schwarzpulver stellt bis heute im zivilen Bereich eine relevante Gefahrenquelle dar, denn es kommt in Feuerwerkskörpern (Stichwort: pyrotechnische Gegenstände) breit zum Einsatz – damit für Vergnügungszwecke. Beispielsweise ereigneten sich im Jahr 2000 im niederländischen Enschede ein Brand und dadurch ausgelöste heftige Explosionen in einer Fabrik für Feuerwerkskörper mit schwerwiegenden Folgen. Es resultierten 23 Tote, 947 Verletzte und ein verwüstetes Stadtviertel.

Erwähnung sollen hier abschließend noch Staubexplosionen finden, denen in der fernerer Vergangenheit z. B. manche Mehlmühle zum Opfer fiel. Noch im Jahr 1979 löste ein Brand eine folgenschwere Mehlstaubexplosion in der Bremer Rolandmühle aus. 14 Tote und 17 Verletzte waren damals zu verzeichnen.

Mehlstaub ist ein sehr feinkörniger, brennbarer Staub. Aufgewirbelt, schwebt er fein verteilt in der Luft und setzt sich wegen der feinen Körnung und wegen der relativ geringen physikalischen Dichte des Mehls nur langsam ab.

Aber auch andere feinkörnige, brennbare Stäube wie Getreide- und Futtermittelstäube sowie Metallstäube haben in Verbindung mit Luft das Potenzial zu Staubexplosionen.

Die zuvor knapp beschriebenen schwerwiegenden betrieblichen Brand- bzw. Explosionsunglücke der Vergangenheit dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass es betrieblich noch sehr viel mehr Unfälle und Störfälle mit Bränden und Explosionen gab (siehe auch die ZEMA-Statistik oben). Ganz besonders dürfen sie auch nicht darüber hinwegtäuschen, dass ebenfalls in außerbetrieblichen Bereichen und jenseits des Gefahrguttransports sehr viele Brände und Explosionen stattfanden, die in den meisten Fällen aber weniger schwere Folgen im Hinblick auf Opferzahlen und Zerstörung hatten.

Man kann z. B. denken an

- ▶ Gasexplosionen in Wohnhäusern,
- ▶ Wohnungsbrände,
- ▶ Waldbrände und
- ▶ womöglich neuerdings auch an Brände von Lithium-Ionen-Akkumulatoren privater E-Autos.

Auf alle Fälle zeigt das vorhergehende unvollständige Gedankenszenario auf, wie groß die praktische Relevanz eines wirksamen betrieblichen Brand- und Explosionsschutzes ist.

## Abschnitt 2 – Was sind Brände und Explosionen? Der Versuch eines systematischen und wissenschaftlich geprägten Überblicks

Hinter Bränden und Explosionen stecken (super-)schnelle und stark exotherme chemische Oxidationsreaktionen mit gasförmigen Reaktionsprodukten (siehe Infobox 3).

### Infobox 3: Redoxreaktionen – ein paar Grundfakten

Zuweilen wird im Jargon der Chemiker auch von Redoxreaktionen gesprochen, weil überall dort, wo eine Oxidation stattfindet, zwangsläufig auch eine Reduktion erfolgen muss. Oxidation und Reduktion sind verkoppelt.

Wird ein Stoff oxidiert (z. B. ein brennbarer Stoff bzw. ein brennbares Material; als solche Reduktionsmittel), dann wird ein anderer reduziert (eben das Oxidationsmittel). Zuweilen stecken Oxidationsmittel und Reduktionsmittel in ein und derselben („labilen“) chemischen Verbindung. Dann wird ein „molekulares Kompartiment“ dieser Verbindung oxidiert und ein anderes „molekulares Kompartiment“ reduziert. Dies ist z. B. bei explosiven Stoffen bzw. explosionsfähigen Stoffen der Fall (siehe die Beispiele Dibenzoylperoxid, Ammoniumnitrat, TNT und Nitroglycerin im kommenden Teil 2 des Beitrags).

Bei Bränden und Explosionen laufen die Oxidationsreaktionen immer schnell ab, unterscheiden sich aber trotzdem in ihrer Geschwindigkeit.

Bei Bränden laufen sie bereits schnell ab. Auch zeichnen sich Brände durch Flammerscheinungen aus, was mit der bei den hohen Temperaturen (exotherme Reaktion) erfolgenden physikalisch-chemischen Anregung der Moleküle der gasförmigen Reaktionsprodukte zu tun hat bzw. genauer mit der „Abregung“ der Moleküle unter Emission von sichtbarem Licht. Ein Lagerfeuer ist zweifellos eine gemütliche Sache.

Hinter Explosionen stecken deutlich schnellere Oxidationsreaktionen als hinter Bränden. Flammerscheinungen werden dabei

nicht wahrgenommen, ggf. aber z. B. Lichtblitze. Schon gar nicht wird eine Explosion als gemütlich empfunden. Die gasförmigen Reaktionsprodukte entfalten bei Explosionen ihre zerstörerische Wirkung durch Druckwellen. Bei Explosionen ist zu unterscheiden zwischen Deflagrationen (Verpuffungen) und Detonationen. Bei Deflagrationen verläuft die chemische Oxidationsreaktion schon deutlich schneller als bei Bränden, aber langsamer als bei Detonationen. Bei Deflagrationen bleibt ein Explosionsknall aus, weil die Druckwelle sich mit geringerer Geschwindigkeit als der Schallgeschwindigkeit ausbreitet. Bei Detonationen breitet sich die Druckwelle mit höherer Geschwindigkeit als der Schallgeschwindigkeit aus. Dann gibt es einen Explosionsknall. Man denke z. B. auch an ein Militärflugzeug, das die „Schallmauer durchbricht“, was noch in den 1960er- und 1970er-Jahren in Deutschland oft erlebbar war.

Zum Auslösen von Bränden und Explosionen sind im Allgemeinen „externe“ Zündquellen erforderlich. Eine Ausnahme bilden z. B. pyrophore Stoffe, die sich bei Gegenwart von Luft von selbst entzünden können (siehe Infobox 4).

### Infobox 4: Was bedeutet der Begriff „pyrophor“?

Als pyrophor werden Feststoffe und Flüssigkeiten bezeichnet, die schon bei Raumtemperatur und an der Luft heftig mit dem Luftsauerstoff reagieren. Die bei dieser Oxidation frei werdende Energie ist so groß, dass die Stoffe zu glühen oder sogar zu brennen beginnen und Flammerscheinung zeigen. Pyrophore Flüssigkeiten und Feststoffe bilden zwei Gefahrenklassen nach EU-CLP-Verordnung (siehe auch Liste der CLP-Gefahrenklassen zu physikalisch-chemischen Gefährdungen im 2. Teil des Beitrags). Beispiele für pyrophore Feststoffe sind weißer Phosphor und bestimmte Metall-/Legierungsstäube.

CLP-Einstufung von weißem Phosphor hinsichtlich der physikalisch-chemischen Gefährdungen nach GESTIS-Stoffdatenbank/DGUV:



mit H250 „Entzündet sich bei Berührung mit Luft von selbst.“

Lebenspraktisch interessant ist eine pyrophore Legierung aus ca. 70 % Lanthanoiden (Cer, Lanthan, Yttrium usw.) und 30 % Eisen. Sie wird in modernen Gasfeuerzeugen als „Feuerstein bzw. Reibstein“ verwendet. Der pyrophore Effekt wird durch den staubfeinen Abrieb dieser Legierung erzeugt, welcher vom Reibstein abgetragen wird und dann das Brenngas des Feuerzeugs entzündet.

Eine Stufe unter „pyrophor“ rangieren Gefahrstoffe, die in die CLP-Gefahrenklasse „Selbsterhitzungsfähige Stoffe und Gemische“ eingestuft sind (siehe auch Liste der CLP-Gefahrenklassen zu physikalisch-chemischen Gefährdungen im 2. Teil des Beitrags). Dabei handelt es sich um Gefahrstoffe, die exotherm, aber eher langsam, mit Luftsauerstoff (ohne Energiezufuhr von außen) reagieren. Eine Selbstentzündung kann bei diesen Stoffen nur nach längerer Zeit (Stunden oder Tage) auftreten, wenn größere Mengen (mehrere Kilogramm) dem Luftsauerstoff ausgesetzt sind (siehe in diesem Zusammenhang auch Infobox 6 – Stichwort Autoxidation).

In Infobox 5 A. wird das Geschehe bei Gefahrstoffen erläutert, die bei Berührung mit Wassern in exothermer chemischer Reaktion brennbare Gase entwickeln. Auch bei diesen kann ohne „externe“ Zündquelle eine Entzündung erfolgen. Ferner enthält Infobox 5 B. Grundfakten zu Brand- und Explosionsgefährdungen in chemischen Laboratorien sowie zu Löschmitteln und Brandklassen.

## Infobox 5

### A. Stoffe und Gemische, die bei Berührung mit Wasser brennbare Gase entwickeln

Auch hierbei handelt es sich um eine Gefahrenklasse nach EU-CLP-Verordnung (siehe auch Liste der CLP-Gefahrenklassen zu physikalisch-chemischen Gefährdungen im 2. Teil des Beitrags). Sehr unedle Metalle (z. B. Natrium, Kalium) und Metallhydride (z. B. Lithiumaluminiumhydrid, Natriumhydrid und Calciumhydrid) bilden bei Berührung mit Wasser in exothermer Reaktion brennbaren Wasserstoff, der sich oft wegen der Reaktionswärme bei Gegenwart von Luft sogleich entzündet.

Ein weiteres Beispiel ist Calciumcarbid. Bei dessen Kontakt mit Wasser entsteht brennbares Acetylen, das sich ebenfalls wegen der Reaktionswärme spontan entzünden kann. Die praktische Bedeutung von Calciumcarbid ist heute relativ gering. Es kommt z. B. noch in Biozid-Produkten als Vergrämungsmittel für Wühlmäuse und Maulwürfe zum Einsatz.

Hier beispielhaft die CLP-Einstufung von Natrium, Lithiumaluminiumhydrid und Calciumcarbid hinsichtlich der physikalisch-chemischen Gefährdungen nach GESTIS-Stoffdatenbank/DGUV:



mit H260 „In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.“

Sehr unedle Metalle (z. B. Natrium, Kalium) oder Metallhydride (z. B. Lithiumaluminiumhydrid, Natriumhydrid und Calciumhydrid) kommen häufig in chemischen Laboratorien zum Einsatz.

### B. Exkurs zu Brand- und Explosionsgefährdungen in chemischen Laboratorien sowie zu Löschmitteln und Brandklassen

Chemische Laboratorien sind generell Orte mit hoher Brand- und Explosionsgefährdung. Neben den zuvor erwähnten sehr unedlen Metallen und Metallhydriden usw. werden in chemischen Laboratorien oft auch brennbare organische Lösungsmittel in den für die unmittelbare Verwendung erforderlichen Mengen aufbewahrt bzw. kommen bei der Laborarbeit konkret zum Einsatz. Gerade der Einsatz der genannten Stoffe kann gelegentlich zu einem Brand führen. Dann gilt es, den Entstehungsbrand mit einem geeigneten Löschmittel rechtzeitig unter Kontrolle zu bringen. Gelingt das nicht, kann sich der Brand ausweiten und dann z. B. im Umfeld Vorratsflaschen bersten lassen und Verpuffungen auslösen. Bevor das passiert, sollte man das Labor allerdings verlassen haben.

Über Laboratorien hinaus ist die schnelle Löschung von Entstehungsbränden von höchster Priorität, um Schlimmeres zu vermeiden. Zum Einsatz gebracht werden darf nur ein geeignetes Löschmittel. Welches Löschmittel geeignet ist und welches nicht, hängt von den Stoffen ab, die in Brand geraten sind. In Brand geraten können z. B. brennbare Feststoffe wie Holz, Papier und Kunststoffe, brennbare organische Lösungsmittel, Metalle usw.

Die brennbaren Stoffe bzw. Materialien sind Brandklassen zugeordnet – konkret den Brandklassen A bis F. Der interessierte Leser kann einen kompakten Kurzüberblick über Löschmittel und Brandklassen über folgenden Link erreichen:

<https://www.safety-feuerloeschtechnik.de/brandklassen/>



Abschließend wird noch auf den Abschnitt 5 der REACH-Sicherheitsdatenblätter „Maßnahmen zur Brandbekämpfung“ hingewiesen, dem man geeignete Löschmittel für den betreffenden Stoff oder das betreffende Gemisch, auf den/das sich das Sicherheitsdatenblatt bezieht, entnehmen kann.

Exotherme chemische Reaktionen können wegen der entstehenden Reaktionswärme auch „externe“ Zündquellen sein, wenn der brennbare Stoff (und das Oxidationsmittel, meist Luftsauerstoff)

separat am Ort des Geschehens vorhanden ist, also nicht unmittelbar bei besagter chemischer Reaktion entsteht (siehe Infobox 5 A.).

Neben exothermen chemischen Reaktionen gibt es u. a. folgende „externe“ Zündquellen für die Auslösung von Bränden und Explosionen:

- ▶ offene Flammen oder die brennende Zigarette,
- ▶ Funkenflug (z. B. bei Verwendung von Trennschleifern oder beim Schweißen),
- ▶ heiße Oberflächen,
- ▶ Elektrogeräte (nicht explosionsgeschützt, Stichwort Abreißfunken),
- ▶ elektrische Lichtbögen (z. B. beim Schweißen),
- ▶ elektrostatische Aufladungen („heimtückisch“ und durch Erdung bestmöglich zu vermeiden),
- ▶ mechanische Einwirkungen (z. B. [Hammer-]Schläge und Reibung).

Ein Leser, der mehr über („externe“) Zündquellen bei Bränden und Explosionen erfahren möchte, wird auf die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 723 „Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische“ und 727 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“ verwiesen.

Link zur Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), über den alle gültigen TRGS im Wortlaut erreicht werden können:

<https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS.html>



### Brände und Explosionen mit Luftsauerstoff als Oxidationsmittel

Bei Bränden und Explosionen fungiert sehr oft der (all-)gegenwärtige Luftsauerstoff als das Oxidationsmittel. Die Luft besteht zu rund 21 Vol.-% (Volumenprozent) aus dem starken Oxidationsmittel Sauerstoff. Infobox 6 gibt Hinweise auf Oxidationen mit Luftsauerstoff unterschiedlicher Art.

## Infobox 6: Oxidationen mit Luftsauerstoff sind (super-)schnell bei Bränden und Explosionen, langsam dagegen bei Autoxidationen

Das Sauerstoffmolekül ist wissenschaftlich gesehen ein sogenanntes Diradikal. Bei Bränden und Explosionen mit Sauerstoff als Oxidationsmittel spielen schnelle bzw. superschnelle Radikalkettenreaktionen mit intermediär auftretenden Peroxy-Radikalen eine Rolle. Die vielfältigen chemischen Abläufe in diesen Fällen sind wissenschaftlich, aber nicht bis ins Detail aufgeklärt.

Oxidationen mit Luftsauerstoff können aber auch langsam ablaufen. Dann spricht man von Autoxidation, worüber man wissenschaftlich gesehen mehr weiß. Dies geschieht z. B.

- ▶ bei der Alterung von Kunststoffen, insbesondere von „einfachen Massenkunststoffen“, die im Laufe der Zeit spröde und brüchig werden,
- ▶ beim Ranzigwerden von Speisefetten und -ölen und
- ▶ bei Korrosionsprozessen (z. B. Rostbildung).

Autoxidationen sind aber auch im Brand- und Explosionsschutz konkret relevant, so z. B.

- ▶ die Bildung organischer (Hydro-)Peroxide unter Wirkung von Luftsauerstoff bei der Lagerung/Aufbewahrung von Ethern (siehe auch Teil 2 des Beitrags), die in der Vergangenheit schon öfter für Explosionen verantwortlich waren, und

► mit pflanzlichen oder tierischen Ölen oder Fetten, insbesondere solchen mit hohen Anteilen ungesättigter Fettsäuren, kontaminierte Putzlappen. Diese können sich, z. B. in Abfallbehältern, wegen der großen Oberfläche, an der das Öl/Fett mit Luft in Kontakt kommt, erwärmen und nach einiger Zeit sogar selbst entzünden, was letztlich zu einem größeren Brand führen kann.

Ein zentraler Begriff im Bereich der Rechtsetzung zum betrieblichen Explosionsschutz bzw. speziell in der GefStoffV, ist „explosionsfähige Atmosphäre“ bzw. „gefährliche explosionsfähige Atmosphäre“. Eine solche kann entstehen, wenn Luft in Mischung mit brennbaren Gasen/Dämpfen, mit brennbaren Stäuben oder mit brennbaren flüssigen Aerosolen (Stichworte Nebel, Sprühanwendungen) vorliegt. Explosionsfähige Atmosphäre zeichnet sich per Definition durch das Vorliegen eines Drucks von 0,8 bis 1,1 bar (Normaldruck 1,013 bar bzw. 1013 hPa) und einer Temperatur von -20 bis +60 °C (Normaltemperatur 20 °C) aus (siehe § 2 Absatz 13 der GefStoffV).

Mit Blick auf explosionsfähige Atmosphären spielen auch die Begriffe „Untere Explosionsgrenze“ (UEG) und „Obere Explosionsgrenze“ (OEG) eine große Rolle. Zur grafischen Erläuterung siehe Abbildung 1 zu Gemischen brennbarer Gase/Dämpfe mit Luft.

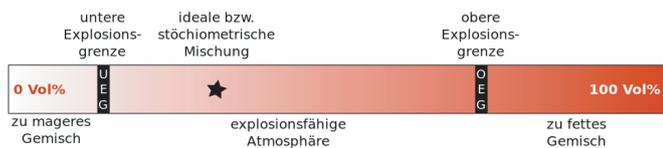


Abb. 1: Schematische Darstellung zur Erläuterung von unterer und oberer Explosionsgrenze bei Gemischen brennbarer Gase/Dämpfe mit Luft (Quelle der Abbildung: Wikipedia)

#### Anmerkung zu Abbildung 1:

Dämpfe sind Gase, die durch Verdunstung/Verdampfung (bzw. auch Sublimation) von unter Normalbedingungen flüssigen (bzw. auch festen) Stoffen in die Umgebungsluft entlassen werden.

Bei Gasgemischen werden die Anteile der Gemischkomponenten auch heute noch oft in Volumenprozent angegeben, obwohl Konzentrationsangaben in Vol.-% grundsätzlich eher als veraltet anzusehen sind. Nach GESTIS-Stoffdatenbank/DGUV beträgt z. B. die UEG des brennbaren Acetons (flüssig; Siedepunkt: 56 °C) 2,5 Vol.-% und die OEG 14,3 Vol.-%. 2,5 Vol.-% bedeutet, dass in 100 ml des Acetondampf-Luftgemischs 2,5 ml reiner Acetondampf stecken.

CLP-Einstufung von Aceton hinsichtlich der physikalisch-chemischen Gefährdungen nach GESTIS-Stoffdatenbank/DGUV:



mit H225 „Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.“

Das Schema der Abbildung 1 ist grundsätzlich übertragbar auf Gemische brennbarer Stäube mit Luft (Stichwort Staubexplosionen) und auf Gemische brennbarer flüssiger Aerosole (Stichworte Nebel, Sprühanwendungen) mit Luft. In diesen Fällen werden jedoch UEG und OEG nicht in Vol.-% angegeben.

Von Relevanz in der Praxis ist häufiger das Überschreiten der Unteren Explosionsgrenze (UEG) – also der Übergang von einem zu mageren Gemisch zu explosionsfähiger Atmosphäre – als das Überschreiten der Oberen Explosionsgrenze (OEG) – der Übergang von einer explosionsfähigen Atmosphäre zu einem zu fetten Gemisch.

Im Bereich der explosionsfähigen Atmosphäre liegt auch das zündwilligste Gemisch, das heißt das Gemisch, zu dessen Zündung die geringste Mindestzündenergie (MZE) aufgebracht werden muss.

Die vorstehenden Darlegungen spielen nicht zuletzt eine Rolle bei Tätigkeiten mit brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen in räumlich abgegrenzten und schlecht belüfteten bzw. belüftbaren Bereichen, z. B. Tanks (siehe Infobox 7), Silos, Schächte, auch Räume in Bauten. Ebenfalls relevant sind Bereiche, z. B. in Anlagen, in denen eine unbeabsichtigte Freisetzung von brennbaren Gasen/Dämpfen, z. B. durch Leckagen, auftreten kann.

### Infobox 7: Reste von brennbaren Flüssigkeiten in „entleerten“ Tanks und anderen Behältern – eine zuweilen unterschätzte Gefahr

Entleerte, aber nicht restentleerte Tanks und andere Behälter unterschiedlicher Größe stellen potenziell eine Gefahr dar. Denn: Bereits relativ geringe Volumina von Resten brennbarer Flüssigkeiten können in Tanks und Behältern eine explosionsfähige Atmosphäre verursachen. Kleine Volumina von brennbaren Flüssigkeiten können zu so großen Volumina von Dämpfen führen, dass die UEG der jeweiligen brennbaren Flüssigkeit im Tank oder im Behälter überschritten wird. Das ist v. a. relevant bei Tanks und Behältern unterschiedlicher Größe im Bereich der Lagerung und des Gefahrguttransports.

Die Restentleerung bzw. die Reinigung von Tanks und Behältern muss also mit Umsicht durchgeführt werden. Sie spielt praktisch oft auch im Hinblick auf deren Neubefüllung eine Rolle.

Ein weiterer relevanter Begriff im Bereich der Rechtsetzung zum betrieblichen Explosionsschutz, speziell in der GefStoffV, ist „explosionsfähiges Gemisch“. Explosionsfähige Atmosphären sind eine Teilmenge explosionsfähiger Gemische. Zu den explosionsfähigen Gemischen gehören neben den explosionsfähigen Atmosphären auch solche Gemische, bei denen Druck- oder Temperaturbedingungen außerhalb der Grenzen liegen, die für explosionsfähige Atmosphären festgelegt sind (siehe zuvor). Der Leser denke z. B. an Industriereaktoren oder Autoklaven, die mit Überdruck und/oder stark erhöhter Temperatur betrieben werden. Auch Gemische, bei denen das Oxidationsmittel ein anderes als Luftsauerstoff ist, z. B. Chlorgas, gehören dazu.

Lesen Sie im **zweiten Teil** des Beitrags, der in Heft 05/2024 der Betrieblichen Prävention erscheinen wird, interessante fachliche Fakten zu Bränden und Explosionen mit anderen Oxidationsmitteln als Luftsauerstoff bzw. ohne separates Oxidationsmittel.

Lesen Sie ferner den Überblick über Rechtsvorschriften der EU und die national für Deutschland gültigen staatlichen Rechtsvorschriften und -regeln mit Bezug zum Brand- und Explosionsschutz.

Dr. Heiner Wahl ist Diplom-Chemiker und Unternehmensberater. Bis 2013 war er als Referent im Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) an der Entwicklung des Arbeitsschutzrechts bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen sowie des Chemikalienrechts aktiv beteiligt.

Telefon: 0228-4331362

E-Mail he\_wahl@gmx.de

Website: wahl-consulting.com

