

Dipl.-Ing. Helmut Bergmann

**GEFAHREN BEIM UMGANG MIT FEUERGEFÄHRlichen
FLÜSSIGKEITEN UND GASEN**

- Experimentalvortrag -

**Tommesweg 68
45149 Essen
Tel. und Fax 0201 - 713866**

1. Einleitung

Das vorliegende Manuskript soll Leitfaden eines Vortrages sein, der mit Hilfe von Experimenten versucht, das Thema „Feuergefährliche Flüssigkeiten und Gase“ so anschaulich wie möglich zu behandeln. Komplizierte Zusammenhänge lassen sich oftmals auf experimentellem Wege mit einfachen Mitteln erläutern. Die Experimente selbst können allerdings nur nach Sinn und Zweck jeweils kurz beschrieben werden. Im Vortrag sind sie das belebende und in seiner Wirkung oftmals überraschende Element.

2. Gefahren erkennen heißt Brände verhüten

Der ständige Kontakt mit Gefahren stumpft den Menschen ab und läßt ihn gleichgültig werden. Es gilt, über das Verhalten und die Eigenschaften bestimmter Substanzen, z.B. feuergefährlicher Stoffe, Bescheid zu wissen, somit lauernde Gefahren rechtzeitig zu erkennen und sich auf sie einzustellen. In erster Linie sollen Brände verhütet, in zweiter Linie erst, wenn ihre Entstehung nicht verhindert werden konnte, bekämpft werden.

Falsche Vorstellungen im Verhalten von feuergefährlichen Flüssigkeiten und Gasen sind oft die Ursache für schwere Unfälle. Leichtsinns oder das Ignorieren von Sicherheitsvorschriften sind weitere Gründe. In einer Verbrennungskraftmaschine, wie Otto- oder Dieselmotor, sind die Abläufe der Verbrennungen - im Gegensatz zu Explosionen oder Detonationen - genauestens gesteuert. Wärmeenergie, die durch eine Verbrennung freigesetzt wird, sollte in Motoren, Maschinen und Heizungs- oder Industrieanlagen nutzbar gemacht werden. Bei Bränden, Explosionen und Detonationen werden riesige Energiemengen vergeudet. Hier ist das Feuer ein ernstzunehmender Gegner, der mit allen Mitteln wirkungsvoll bekämpft werden muß.

Der Vortrag befaßt sich vorwiegend mit flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen, von denen jährlich allein in Deutschland knapp 130 Mio Tonnen als Erdölprodukte - ohne Erdgas - verbraucht werden. Es gibt jedoch viele andere feuergefährliche Flüssigkeiten und Gase, die nicht Kohlenwasserstoffe sind,

jedoch genauso gefährliche Auswirkungen haben können. Für sie gelten gleiche Regeln und ähnliche Gesetzmäßigkeiten.

3. Chemisch-physikalische Voraussetzungen für eine Verbrennung

Verbrennungen laufen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ab, und man unterscheidet „Feuer“ (also gewöhnliche Verbrennungen), Verpuffungen, Explosionen und Detonationen.

Jegliche Art von Verbrennung benötigt mindestens drei Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen:

- ein **brennbarer Stoff** muß vorhanden sein, d.h. also, eine Substanz, die mit Sauerstoff reagieren kann
- **Sauerstoff** muß in möglichst ausreichender Menge verfügbar sein
- eine Mindesttemperatur, die die Reaktion zwischen Brennstoff und Sauerstoff auslöst, also die **Entzündungstemperatur**, muß erreicht worden sein.

Bei Erreichen der Reaktionstemperatur zerfallen die Moleküle des brennbaren Stoffes in Atome ihrer Elemente, die mit dem Sauerstoff (**Oxygenium**) reagieren können. Auch Korrosionen sind Oxidationen, die jedoch oft sehr langsam ablaufen.

Jede Oxidation ist ein **exothermer Vorgang**. Das bedeutet, daß während der Oxidation, auch wenn sie ganz langsam abläuft, Wärme freigesetzt wird. Je nachdem, wie schnell dieser Vorgang erfolgt und wie groß die freiwerdende Wärmemenge ist, kann man diesen exothermen Prozeß nutzen. - Später wird eine weitere Vorbedingung für das Entstehen einer Verbrennung aufgezeigt, die ebenfalls erfüllt sein muß.

Ein erstes **Experiment** zeigt, daß

- sich Benzin in einem mit Watte gefüllten **Eierbecher** leicht entflammen läßt
- die Flamme einen Kegelmantel bildet.

- ein Streichholz, in die Flamme gehalten, am Schaft anbrennt
- sich in der Mitte der Flamme nur Benzindämpfe und
- außerhalb der Flamme nur Luft befinden
- sich die Flamme mit einem Metallsieb wieder löschen läßt.

Auch mit einem Becherglas läßt sich die Flamme löschen, da ihr der Sauerstoff entzogen wird. Das Metallsieb dagegen entzieht die Wärme, kühlt somit die Gase unter die Entzündungstemperatur ab. Die durch das Sieb hindurchgeströmten Gase lassen sich nämlich oberhalb des Siebes wieder entzünden. Auf diese Weise wird das Prinzip eines **Flammschutzsiebes** verdeutlicht, das wir auch in **Flammenrückschlagsicherungen** vorfinden.

Dieseldkraftstoff, der sich im Dieselmotor „von selbst“ entzündet, läßt sich im Gegensatz zum Benzin nicht mit einem Streichholz entflammen. Der Docht einer Kerze dagegen läßt sich entzünden, wie jedermann weiß. Auch höhere Temperaturen, wie z.B. durch die Funken eines Gasanzünders übermittelt, genügen nicht für Dieseldkraftstoff. Erst, wenn man in einem Tiegel den DK erwärmt, gelingt ein erstes Entflammen. Auf die damit erreichte Temperatur, die als **Flammpunkt** bezeichnet wird, geht Abschnitt 4 genauer ein. Es müssen sich also entflammbare Gase gebildet haben, um zu einer Verbrennung zu führen, wie bereits durch den Versuch mit Kerze und Gasanzünder demonstriert wurde.

Das ist die bereits erwähnte weitere Voraussetzung für eine Verbrennung, die ebenfalls erfüllt sein muß, also: die brennbare Flüssigkeit muß **entflammbare Dämpfe** bilden oder gebildet haben.

Auch schwer entflammbare Stoffe kann man nach entsprechender Vorbereitung entzünden. Der Dieseldkraftstoff z.B. wird im Dieselmotor thermisch und mechanisch aufbereitet: Durch hohe Verdichtungsverhältnisse im Dieselmotor (20 : 1 bis 22 : 1) erreicht die Luft am Ende des Verdichtungsaktes eine Temperatur von ca. 800 bis 850 °C. Der Siedebereich von DK liegt jedoch zwischen 200 und 350 °C, und das bedeutet, daß der in die heiße Luft eingebrachte DK sofort verdampft. Wir hatten das als weitere Voraussetzung für eine Verbrennung erkannt, und man bezeichnet diesen Prozeß als die **thermische Aufbereitung** des Dieseldkraftstoffes. Den Beweis dazu erbringt das **Kompressionsfeuerzeug**.

Beim Einspritzen des Dieselmotorkraftstoffes in die heiße Luft wird die Flüssigkeit in viele kleine Tröpfchen zerrissen. Aus einem Tropfen DK entstehen dabei viele Millionen winzigster Tröpfchen bei einer Oberflächenvergrößerung um das 600 bis 800fache. Das erleichtert die Verdampfung außerordentlich. Das Zerstäuben von Dieselmotorkraftstoff in die Kerzenflamme hinein und das sofortige Aufflammen verdeutlichen diese Zusammenhänge, die man als **mechanische Aufbereitung** bezeichnen kann.

Das thermische und mechanische Aufbereiten einer brennbaren Substanz gilt gleichermaßen für flüssige wie für feste Stoffe, z.B. für Kohle. Im Ofen wird Kohle über brennendes Papier und Holz aufgeheizt; es bilden sich Gase, die Kohle kann brennen. Kohlenstaub erleichtert natürlich diesen Prozeß durch die Oberflächenvergrößerung. Es kann zu **Kohlenstaubexplosionen** kommen, die verheerende Folgen haben. Auch **Metallpulver** (Eisen, Aluminium, Magnesium), Mehl oder ähnliche Substanzen können unter entsprechenden Voraussetzungen zu Staubexplosionen führen.

Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung begegnet uns ebenfalls bei Holz- oder Stahlwolle. Feine **Stahlwolle** läßt sich - wie ein Experiment zeigt - mit einem Funken aus dem Gasanzünder entzünden; bei Sauerstoffzufuhr brennt sie hellrot glühend.

4. Flammpunkt, Gefahrklassen

Die Temperatur, bei der aus einer Flüssigkeit gerade soviel entflammbare Dämpfe austreten, daß man sie entzünden kann, nennt man **Flammpunkt**. Man benutzt ihn, um brennbare Flüssigkeiten in mehr oder weniger gefährliche einzuteilen: Man bildet **Gefahrklassen** mit Hilfe der **Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande (VbF)**.

Zu den **Gefahrklassen AI bis AIII** gehören brennbare Flüssigkeiten, die sich nicht - weder teilweise noch ganz - mit Wasser mischen lassen. Wassermischbare oder in Wasser lösliche zählen zur **Gefahrklasse B**, jedoch nur mit Flammpunkten unter +21°C. Hierzu gehören vornehmlich Alkohole.

Eine Auflistung der **Gefahrklassen** zeigt *Anlage 1*, einige brennbare Flüssigkeiten und deren Flammpunkte bzw. Zuordnung in Gefahrklassen zeigt die Tabelle in *Anlage 2*. Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über +100 °C fallen nicht mehr unter die VbF (z.B. Öle, ca. +220°).

Der Flammpunkt einer brennbaren Flüssigkeit wird fälschlicherweise oft als Zündtemperatur angesehen. In einem Experiment, in dem in einem kleinen Becherglas DK resp. Heizöl bis zur Bildung erster kleinster Mengen von Dampf erwärmt wird, verdeutlicht die Bezeichnung *Flammpunkt*. Bei Annähern einer Zündquelle wird das Aufflammen eher hör- als sichtbar.

Bei noch weiterem Aufheizen - 30 bis 40° über den Flammpunkt - werden soviel brennbare Dämpfe abgesondert, daß es zum Weiterbrennen kommt: jetzt ist der **Brennpunkt** der Flüssigkeit erreicht. Mit kaltem Diesel kann gelöscht werden.

Durch Zusammenbringen von AIII- mit AI-Flüssigkeiten kann es zu **gefährlichen Vermischungen** kommen, wie ein Versuch in der Abdampfschale zeigt: schon kleinste Mengen AI in AIII gebracht ziehen den Flammpunkt herunter, es kommt zum Aufflammen und Weiterbrennen. Diese Zusammenhänge zu erkennen ist wichtig für Transport und Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten, aber auch für die Arbeiten an technischen Anlagen.

Der Flammpunkt von gebrauchten Schmierstoffen wird z.B. durch die gefürchtete *Ölverdünnung durch Kraftstoffe* oft um weit mehr als 100°C herabgezogen, und somit wird Gebrauchtöl zum Gefahrstoff. *Anlage 3* zeigt eine Tabelle über **Flammpunktabsenkung durch Vermischung**. - Durch Umrühren des brennenden DK in der Flammschale, also ein Abkühlen an der Oberfläche, kann gelöscht werden.

5. Entzündungstemperatur, Verbrennungstemperatur

Die Entzündungstemperatur, auch Zündtemperatur genannt, ist bereits als Voraussetzung für das Entstehen einer Verbrennung genannt worden. Sie hängt u.a. von der Molekülgröße, vom Wasserstoff- / Kohlenstoff-Verhältnis und von der Molekülstruktur ab. Die **Zündtemperaturen** einiger brennbarer Stoffe sind in der Tabelle *Anlage 4* aufgeführt. Sie wurden unter definierten Laborbedingungen gemessen. Es wird deutlich, daß die kurzkettigen *Alkane* die höchste Zündtemperatur erfordern und daß mit dem „Längerwerden“ der Molekülketten die Zündtemperatur abnimmt. Auf die **Anwendungstechnik von Kraftstoffen** bezogen bedeutet das, daß die relativ hohe Zerfallsneigung der Mitteldestillate (langkettige Moleküle) als gute **Zündwilligkeit** des Dieselmotorkraftstoffes willkommen ist. Die höhere Zündtemperatur der kurzkettigen Moleküle wird noch gesteigert durch diverse Raffinerie-Verfahren und spiegelt sich wider im Siedebereich von +30 bis +200 °C als mehr oder weniger gute **Klopffestigkeit** des Ottomotorkraftstoffes.

Die **Verbrennungstemperaturen**, die aus der exothermen Reaktion zwischen Brennstoff und Sauerstoff resultieren, liegen weitaus höher. Je nach Substanz und Reaktionsgeschwindigkeit werden Werte zwischen 1.000 und 3.000 °C (siehe *Anlage 5*) erreicht.

6. Zündgrenzen, Dämpfe und Gemische

Verbrennungsversuche mit Leichtbenzin (Fraktion 60 / 95) in **drei Glasrohren** mit je 1.000 ml Inhalt bei unterschiedlichen Benzindampf / Luft-Verhältnissen zeigen auf, daß es nur ein ganz bestimmtes Mischungsverhältnis gibt, bei dem optimale Wirkung - sofern erwünscht - erzielt werden kann. In einer „mageren“ Verbrennung wird ziemlich exakt die **untere Zündgrenze** mit ca. 0.7 % Benzindampf / Luft und in einer „fetten“ Verbrennung bei ca. 2.0 % die **obere Zündgrenze** mit laufenden Flammenfronten verdeutlicht. Die einwandfrei beste Wirkung - auf den motorischen

Effekt bezogen - ist beim **stöchiometrischen Verhältnis** zu erzielen, und das liegt bei 1% Benzindampf / Luft und entspricht einem **Volumenverhältnis von 1 : 10.000** bzw. einem **Gewichtsverhältnis von ca. 1 : 14.5** (bezogen auf die unverdampfte Flüssigkeit - hier: Leichtbenzin / Luft). Beim Verdampfen nehmen Benzin und andere Kohlenwasserstoffe etwa das hundertfache Volumen ein. Für eine explosionsartige Verbrennung genügt also 1 Liter Benzin (das natürlich verdampft sein muß!) auf 10 m³ Luft !

Man kann von einer *vollkommenen Verbrennung* sprechen, wenn die Zahl der angebotenen Kohlenwasserstoffmoleküle zu der Anzahl der vorhandenen Sauerstoffmoleküle „paßt“.

Steht zu wenig Brennstoff in einer bestimmten Luftmenge zur Verfügung, ist eine Zündung nicht mehr möglich: man liegt unterhalb der unteren Zündgrenze.

Wird der vorhandenen Luftmenge eine zu große Brennstoffmenge „angeboten“, läßt sich das Gemisch ebenfalls nicht mehr zünden: man liegt oberhalb der oberen Zündgrenze (beim Ottomotor würde man hier vom „versoffenen Motor“ sprechen).

Bei **Raumexplosionen** hat vorher häufig eine Überkonzentration von Brenngasen vorgelegen, die (noch) eine Zündung verhindert hat, und erst nach unzureichenden Belüftungsmaßnahmen stellt sich dann ein genau zündfähiges Brenngas- / Luftgemisch ein. Die unteren und oberen Zündgrenzen einiger Brennstoffdämpfe zeigt *Anlage 6*.

Eine volle oder halbvolle Benzinflasche läßt sich am Flaschenhals entzünden. Es kommt zur Flammenbildung, aber die Flasche explodiert nicht. In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, daß in Verkehrsberichten häufig von „explodierten Tanks“ die Rede ist. Hier wird verkannt, daß die Tanks nicht explodieren, sondern beim Zusammenprall platzen und der auslaufende Kraftstoff sich an irgendwelchen Zündquellen entzündet.

Für ein ansonsten leeres Benzinfäß von 200 Liter Inhalt sind 20 ml Benzin als verbliebene Restmenge (ein Schnapsglas voll!) kritisch und brisant !

7. Verbrennung - Explosion - Detonation

Verbrennungen in geschlossenen Räumen laufen im allgemeinen sehr viel schneller und heftiger ab als in freier Atmosphäre, da es in kurzer Zeit wegen der stark ansteigenden Temperatur zu erheblichen Drucksteigerungen kommt. Schwaden von Brennstoff / Luft - Gemischen im Bereich der Zündfähigkeit können Gebäude, Behälter und/oder Rohrleitungen anfüllen.

Sofort nach Entstehen einer Verbrennung heizen sich die noch nicht brennenden Gase stark auf durch die Reaktionstemperatur, durch Strahlungswärme und durch die Drucksteigerung. Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt schlagartig zu, die Verbrennung wird urplötzlich zur Raumexplosion und kann verheerende Folgen haben.

In Experimenten mit der sog. **Ballkanone** werden solche Raumexplosionen nachgeahmt, allerdings ist hier eine „Wand“ des Raumes verschiebbar: der Schaumstoffpfropfen kann ausweichen. Erheblich größer ist die Wirkung, wenn während des Zündens (durch Zündfunken) ein Wirbulator das Gas-Luft-Gemisch in Bewegung hält bzw. versetzt und somit die Brenngeschwindigkeit erheblich vergrößert wird. Man erkennt bei diesem Versuch, daß bei rascher Reaktion viel weniger Wärme an das kalte Glasrohr abfließt und daß die Verwirbelung des Gasgemisches die Reaktionsgeschwindigkeit heraufsetzt.

Ähnliche Wirkungen erzielen bei Raumexplosionen Verengungen und Verwindungen in den Räumen oder offenstehende Türen, die bei Explosionen wie ein Schußkanal wirken und das entzündliche Gasgemisch stark verwirbeln (von offenstehenden Fenstern, die Durchzug erzeugen können, ganz zu schweigen). Würde man in der Ballkanone den Pfropfen (Kolben!) festklemmen, könnte sich das Volumen bei der Verbrennung nicht auf das 6 bis 8fache vergrößern, sondern der Druck würde ansteigen.

Erinnerung an die Schulphysik: Nach den Gasgesetzen dehnt sich ein Gas beim Erwärmen um 1 °C um $1/273$ seines Volumens aus, also bei Temperatursteigerungen von ca. 2.200 bis 2.500 °C haben wir eine Volumenvergrößerung um das 7 bis 8fache zu erwarten.

Bei Brenngeschwindigkeiten, die bei wenigen Metern pro Sekunde liegen, sprechen wir von einer **Verbrennung**, die jedoch bei Geschwindigkeiten von 30 bis 300 m/sec zu einer **Explosion** wird und, z.B. als sog. Raumexplosion, schon beträchtliche Folgen haben kann. Dabei bringt die Reaktionswärme das Gas schnell auf hohe Temperaturen, was sich als plötzliche Drucksteigerung und als Knall bemerkbar macht.

Vom Erreichen der Überschallgeschwindigkeit, also ab ca. 300 m/sec, erfolgt die Durchzündung des noch nicht explodierten Gasgemisches nicht mehr durch Wärmeleitung, sondern durch stoßartige Druckübertragung mit Geschwindigkeiten, die auf 2.000 m/sec ansteigen können. Hier spricht man dann von einer **Detonation**. Wir haben es mit einer Simultanverbrennung zu tun, bei der alle Brennstoffteilchen gleichzeitig und schlagartig mit Sauerstoff reagieren.

8. Verhalten von Brennstoffdämpfen

Die meisten Brennstoffdämpfe, vor allem Kohlenwasserstoffdämpfe, sind **schwerer als Luft**. Sie verhalten sich wie Flüssigkeiten und können Vertiefungen und tieferliegende Räume anfüllen und somit große Gefahren bilden.

Dieses Verhalten wird deutlich gemacht in einem Experiment, in dem mit Hilfe einer Scharfschattenlampe die an einer mit Leichtbenzin vollgesogenen Platte entstehenden und **ablaufenden Dämpfe** sichtbar gemacht werden. Sie füllen einen Kasten mit zwei Glaswänden, lassen sich - im Licht der Lampe sichtbar gemacht - in einen anderen Kasten umfüllen und zünden. Fallende und fließende Gasschwaden bilden oft eine große Gefahr in Werkstätten mit Montagegruben, in Kellern oder tiefliegenden Räumen. Wandernde Gase sind schon oft beim Eindringen in die Kanalisation, in Straßengräben oder andere Leitungen Ausgang und Ursache für Explosionen gewesen. Darauf weist besonders deutlich das Experiment mit den **Schlauchkästen** hin, bei dem Benzindämpfe über „hunderte von Metern“ ablaufen, gezündet werden und die Flamme an den Entstehungsort der entflammaren Dämpfe zurückläuft.

Besonders gefährlich ist der Umgang mit Gebinden von brennbaren Flüssigkeiten, wenn an ihnen z.B. Schweißarbeiten vorgenommen werden müssen (Kraftstofftanks, Lagerbehälter). Die besonderen Gefahren, die nach Entleeren und (unsachgemäßem) Spülen auftreten, zeigt der **Sektflaschenversuch** auf, denn der vielleicht hauchdünne, auf der Innenwand zurückbleibende Flüssigkeitsfilm birgt die Explosionsgefahr. Das **Schweißen von Kraftstoffbehältern** darf auf jeden Fall nur unter Verwendung von Schutzgas (Kohlendioxid, Stickstoff) durchgeführt werden.

9. Gefährliche Substanzen

Wenn bislang überwiegend von Kohlenwasserstoffverbindungen, also z.B. von Kraftstoffen, Heizöl oder Lösemitteln, gesprochen wurde, so soll nicht verkannt werden, daß es viele andere Substanzen, feste und flüssige Stoffe, gibt, die ebenso gefährlich wie Kohlenwasserstoffe sind oder sogar noch gefährlicher.

Nicht nur Papier oder Textilien oder Holz lassen sich leicht und schnell entzünden, sondern z.B. auch Metalle. Es braucht nicht Magnesium oder Elektron zu sein, auch Stahl kann man mit einem Funken zur Entzündung bringen: der Stahl muß lediglich in feiner Verteilung vorliegen, also als **Stahlwolle** (siehe Abschnitt 3) oder gar als **Stahlstaub** (nach z.B. Feil- oder Schleifprozessen). Ein Funke aus der Gaspistole entzündet die Stahlwolle (je feiner umso leichter), die sofort verbrennt. Dieser Versuch zeigt die Gefahren auf, die in jeder Werkstatt latent vorhanden sind, wenn Berge von Stahlspänen neben Dreh- oder Fräsmaschinen liegen, meist noch ölbenetzt.

Aber auch im täglichen Leben begegnen uns gefährliche Substanzen, z.B. in vielen **Spraydosen**. Entweder ist die zu versprühende Substanz oder das Treibmittel brennbar, oft sogar beides. Der sich leicht entflammende Sprühstrahl kann dann zum gefährlichen Flammenwerfer werden, wie eine Demonstration beweist.

10. Löschen von Bränden

Es soll nicht Aufgabe dieses Referates sein, das Thema „Brandbekämpfung“ zu behandeln und die Methoden des Löschens von Bränden aufzuzeigen. Das wird an anderer Stelle hinreichend getan.

Hier sei jedoch darauf hingewiesen, daß von den zuvor genannten vier resp. fünf - wenn man das stöchiometrische Verhältnis noch hinzurechnet - Voraussetzungen für das Entstehen einer Verbrennung nur **eine** „weggenommen“ zu werden braucht, um einen **Brand zu löschen**.

- Beim Waldbrand oder anderen Materialbränden in Hallen oder auf Lagerplätzen trennt man brennendes vom noch nicht brennenden Gut
- Beim Löschen mit Schaum oder beim Abdecken mit Woll- oder anderen Löschdecken entzieht man dem Brand den Sauerstoff
- Beim Löschen mit Wasser wird das brennende Gut unter die Entzündungstemperatur abgekühlt, oder ein Flammenschutzsieb führt Wärme entsprechend ab
- Beim Umrühren von z.B. brennendem Dieselmotorkraftstoff wird, wie vorher demonstriert, die Oberfläche unter den Brennpunkt bzw. Flammpunkt abgekühlt.

In Werkstätten, Labors oder Lackierereien geschieht es häufig, daß Gefäße, die mit brennbaren Chemikalien gefüllt sind, sich urplötzlich entzünden. Oft wird dann im ersten Erschrecken falsch reagiert, Umkippen des Gefäßes und Flächenbrand sind die Folge. Ein großer Fehler wäre bei AI-, AII- und AIII-Flüssigkeiten ein Löschversuch mit Wasser !

Ein solches Fehlverhalten wird demonstriert mit einem Versuch in einer **Löschwanne**, in der eine mit Leichtbenzin gefüllte Abdampfschale in Brand gesetzt wird und dann mit Hilfe einer Gießkanne gelöscht werden soll. Der Versuch schlägt fehl, der Brandherd breitet sich aus, und den Flammen ist nur durch Abdecken mittels einer Löschdecke beizukommen.

Bei einer VbF-B-Flüssigkeit (hier im Versuch Spiritus) haben die Löschbemühungen natürlich Erfolg, da - wie in Abschnitt 4 erwähnt - VbF B *mit Wasser mischbar* bedeutet.

11. Zündquellen

Als Zündquellen kennen wir *Flammen* oder *Funken*, aber auch *glühende Drähte* oder gar *heiße Luft*. Beim Umgang mit feuergefährlichen Flüssigkeiten sind Rauchverbot und das Verbot von Feuer und offenen Leuchtflammen eine Selbstverständlichkeit. Oft weiß man jedoch nicht, ob und wodurch Funken entstehen können, die dann zu einer Explosion führen. Elektrische Funken können z.B. in Lichtschaltern oder an beschädigten Kabeln, auch bei Schwachstrom, entstehen. In Werkstätten oder Fabrikhallen sind oft *Schweißgeräte* die Ursache für das Zustandekommen von explosionsartigen Verbrennungen. Hier sollte man auch besonders vorsichtig sein beim Reinigen von Maschinen- und Motorenteilen mit Benzin oder anderen brennbaren Flüssigkeiten (siehe Experiment mit **Schlauchkästen**). Eine Auflistung verschiedener Zündquellen zeigt *Anlage 7*.

Eine besondere Betrachtung verdienen Funken, die unter bestimmten Umständen durch das Phänomen der **elektrostatischen Aufladung** entstehen. Sie werden oft als harmlos angesehen, bilden jedoch in Gegenwart von entzündlichen Gas-Luft-Gemischen eine große Gefahr. Um einen Luftspalt von 1 mm als Funken zu überbrücken, sind etwa 1.000 Volt erforderlich. Wir haben es bei der elektrostatischen Aufladung also mit außerordentlich hohen Zündspannungen zu tun. Zur Bildung eines **Spannungspotentials** kommt es, wenn **zwei Nichtleiter** oder **ein Leiter und ein Nichtleiter**, die vorher engen Kontakt hatten, getrennt werden. Es wird durch die Reibung und die nachfolgende Trennung nicht etwa Ladung erzeugt, sondern lediglich neu formiert.

Nicht nur, wenn feste Stoffe gerieben und getrennt werden, entsteht Spannung, sondern auch, wenn **Flüssigkeiten oder Gase durch Rohrleitungen strömen** und aus diesen austreten (Trenneffekt!). Brennbare Flüssigkeiten sollten deshalb immer mit auf den Boden des Gebindes reichenden Trichtern abgefüllt werden, damit sie nicht zersprühen, und außerdem müssen das Gebinde und der Trichter natürlich geerdet sein.

Luftfeuchtigkeit verringert die Gefahr der elektrostatischen Aufladung . Die Ableitung der Ladungen wird - wie durch eine **Erdung** - über die Feuchtigkeit / feuchten Oberflächen ermöglicht.

Anhand einiger *Experimente* wird das Wesen der elektrostatischen Aufladung erläutert:

- Ein **Plexiglas-** und ein **PVC-Stab** bauen nach Reibung mit einem Lappen ein elektrisches Feld auf, in dessen Wirkungskreis Watteflusen angezogen, aber auch abgestoßen werden
- Eine isoliert aufgestellte **Pendelplatte (Styropor)** wird aufgeladen und durch die gleichfalls aufgeladenen Stäbe zum Ausschwingen gebracht (gleichnamige Ladung: *Abstoßen*, ungleichnamige: *Anziehen*)
- Eine **Aluminiumplatte** wird auf einem Plastikpolster intensiv gerieben und dann abgehoben. Beim Abheben entstehen Spannungen bis 12 kV, die zum Zünden von z.B. Acetylen ausreichen
- Der Funke, der an einem aufgeladenen **Elektroskop** „gezogen“ wird, reicht ebenfalls zum Zünden von Acetylgas aus
- Das **Abstreifen der Ladung** von den Kunststoffstäben „bringt“ 12 bis 15 kV !
- Mit Hilfe von sog. **Entladungsspitzen** (E-Spitzen) wird das Abführen von Ladung über beträchtliche Entfernungen hinweg demonstriert. Die Spitzen brauchen den Ladungsträger nicht zu berühren, Übernahme von Ladung wird durch Ionisierung des Luftspaltes erleichtert
- Zwischen den Platten eines „**Kondensators**“ wird durch eine **pendelnde Korkkugel** - mit Silberpapier beklebt - Ladung transportiert, die zum Zünden von Acetylen ausreicht
- Ein **Speichenrad**, mit Weichgummi belegt, rollt auf einem mit Leder beklebten Alu-Rädchen ab und erzeugt durch das kontinuierliche Berühren und Trennen hohe Spannungen an dem „Kotflügel“, die zum Zünden von Campinggas (Propan-Butan-Gemisch), erst recht Acetylgas, ausreichen
- Mit einem „**Bandgenerator**“ werden Spannungen von 40 bis 50 kV erzeugt, die eine große Gefahr bergen, aber mittels der E-Spitzen abgebaut werden können. Selbst nach Stillsetzen des Bandgenerators bleiben Restspannungen erhalten, die noch zum Zünden ausreichen

- Auch **ein Mensch kann sich aufladen** (enger Kontakt der Kleidung mit Sitzmöbeln z.B.) und Ladungen dann über große Strecken „transportieren“, wenn er stark **isolierende Schuhe** trägt. Eine Demonstration beweist das, wenn mit dem Finger Acetylgas gezündet wird.

12. Schlußbetrachtung

Es war das Ziel dieses mit vielen Experimenten untermauerten Referates, Zusammenhänge einfach und anschaulich darzustellen und die Gefahren aufzuzeigen, die im täglichen Leben beim Umgang mit feuergefährlichen Flüssigkeiten und Gasen immer wieder zu schweren Unfällen führen. Brände und Explosionen könnten in vielen Fällen verhindert werden, wenn Voraussetzungen und Ursachen für das Entstehen solcher Brände bekannt wären und man somit dem lauernden und oft unerkannten „Feind“ besser begegnen könnte.

Wichtig und unerlässlich für den Umgang mit brennbaren Substanzen sind

- **Kenntnis der Stoffwerte** und der Gefahr, die von der Substanz ausgehen kann
- **Gleichgültigkeit abzulegen** im Umgang mit Gefahrstoffen, **nicht abzustumpfen** gegen die stets lauernden Gefahren
- **Analyse potentieller Probleme**, also das **Einschätzen potentieller Gefahren**, oder einfacher: das **„Nach-Vorne-Denken“** kann vor bösen Überraschungen **schützen!**

So mögen die gewonnenen Erkenntnisse über das Verhalten von feuergefährlichen Flüssigkeiten und Gasen mithelfen, unser aller Sicherheitsverhalten zu verbessern, die Sicherheit zu vergrößern und Verluste an Gut und Leben durch Brandunfälle zu verringern oder gar ganz zu vermeiden.

ANLAGEN 1 bis 8 (in verkleinertem Maßstab)

Anlage 1

GEFAHRKLASSEN nach VbF

nicht mit Wasser mischbar:

Flammpunkt	unter	+ 21 °C	Gefahrklasse A I
Flammpunkt	zwischen	+ 21 °C und + 55 °C	Gefahrklasse A II
Flammpunkt	zwischen	+ 55 °C und + 100 °C	Gefahrklasse A III

mit Wasser mischbar bzw. in Wasser löslich:

Flammpunkt	unter	+ 21 °C	Gefahrklasse B
------------	-------	---------	----------------

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt > 100 °C fallen nicht mehr unter die VbF (Schmierstoffe / Öle z.B. ca. + 220 °C).

VbF: VERORDNUNG ÜBER ANLAGEN ZUR LAGERUNG, ABFÜLLUNG UND BEFÖRDERUNG BRENNBARER FLÜSSIGKEITEN ZU LANDE

Anlage 2

GEFAHRSTOFFE UND IHRE GEFAHRKLASSEN (als Beispiel)

STOFF / CHEMIKALIE	FLAMMPUNKT	GEF.KL.
Schwefelkohlenstoff	- 30 °C	A I
n-Hexan	- 23 °C	A I
Diethylether	- 40 °C	A I
Essigsäureethylester	- 4 °C	A I
Tankstellenbenzin	< - 20 °C	A I
n - Butanol	+29 °C	A II
Petroleum	> + 21 °C < + 55 °C	A II
Xylol	+ 27 °C	A II
Essigsäureanhydrid	+ 49 °C	A II
Anilin	+ 76 °C	A III
Buttersäure	+ 69 °C	A III
Tetralin	+ 78 °C	A III
Dieselmotorenkraftstoff / Heizöl EL	> + 55 °C < + 100 °C	A III
Aceton	- 18 °C	B
Methanol (Methylalkohol)	+ 11 °C	B
Ethanol (Ethylalkohol)	+ 12 °C	B
Dioxan	+ 11,8 °C	B
Tetrahydrofuran	- 17,5 °C	B

Anlage 3

FLAMMPUNKT - ABSENKUNG DURCH VERMISCHUNGEN

<u>A III (DK, HEL)</u>	<u>+</u>	<u>A I (Benzin)</u>	<u>Flammpunkt</u>
1 00.0%		0.0%	+ 71 °C
99.9%		0.1%	+ 67 °C
99.5%		0.5%	+ 55 °C
99.0%		1.0%	+ 38 °C
98.0%		2.0%	+ 23 °C
97.0%		3.0%	+ 17 °C

Anlage 4

ZÜNDTEMPERATUREN

Methan	+ 595 °C
Ethan (Äthan)	+ 515 °C
Propan	+ 470 °C
Butan	+ 400 °C
Ethen (Äthylen)	+ 425 °C
Schwefelwasserstoff	+ 270 °C
Kohlenmonoxid	+ 605 °C
Benzine (verdampft)	+ 220 - 450 °C
Dieselmotorenkraftstoff / Heizöl (verdampft)	+ 220 - 300 °C
Schmierstoffe und andere Öle (verdampft)	+ 200 - 220 °C

Anlage 5

VERBRENNUNGSTEMPERATUREN

Holz, Kohle	ca. 1.100 bis 1.300 °C
Leuchtgas	ca. 1.500 °C
Heizöle, Kraftstoffe	ca. 2.000 bis 2.500 °C
Acetylen (Schweißflamme)	ca. 3.100 °C

Anlage 6

ZÜNDGRENZEN EINIGER BRENNGASE (in Vol.-%)

	<u>untere</u>	<u>obere</u>
Ottokraftstoffdämpfe	0.6	8.0 *)
Butangas	1.5	8.5
Propangas	2.0	10.0
Erdgas	5.0	15.0
Wasserstoff	4.0	75.0
Acetylgas	1.5	82.0

*) hoch angesetzt, falls Absenkung auf extrem tiefe Temperaturen

Anlage 7

ZÜNDQUELLEN

OFFENE FLAMME	Streichholz, Kaminfeuer
ELEKTRISCHER FUNKE	Schalter, Relais, Steckdose
MECHANISCHER FUNKE	Schlagwerkzeug, Schleifscheibe
HOCHSPANNUNGSFUNKE	Zündung Ottomotor
ADIABATISCHE KOMPRESSION	Zündung Dieselmotor
GEBÜNDELTES LICHT	Glasscherben (Brennglaseffekt)
OBERFLÄCHENWÄRME	Kesselwandungen, Herdplatten, glühende Rohre
LANGSAME OXIDATION	Heuhaufen, ölgetränkte Lappen
BLITZE	Gewitter
FUNKEN (besonderer Art)	Wunderkerzen, Kurzschlüsse z.B. an Akkus, Trockenbatterien
ELEKTROSTATISCHE AUFLADUNG	Reibung und Trennung von Leiter/Nichtleiter oder Nichtleiter/ Nichtleiter

Anlage 8

FRAKTIONEN DES ERDÖLS

- 162 - + 30 °C	GASE (Methan, Ethan, Propan, Ethen/Ethylen, Propen)
+ 30 - + 200 °C	BENZINE (Leicht-, Spezial-, Normal-, Superbenzine)
+ 200 - + 330/360 °C	DIESEL / HEIZÖL EL (Winterdiesel nur bis +330 °C)
über + 360 °C	SCHMIERSTOFFE, HEIZÖL, BITUMEN