



## Explosionsversuche mit brennbaren Dämpfen und Stäuben

— ein Beitrag zur Sicherheitserziehung im Chemieunterricht

Peter Menzel

IM CHEMIEUNTERRICHT muß der verantwortungsvolle und richtige Umgang mit Gefahrstoffen vermittelt werden. Besonders wichtig ist dies bei brennbaren Stoffen, die in Alltag und Beruf leider Ursache vieler Unfälle sind. Mit dieser Arbeit sollen Möglichkeiten gezeigt werden, die entscheidenden Einflußgrößen für Explosionen dieser Stoffe experimentell zu erarbeiten und sicher zu demonstrieren. Hierzu dient eine Versuchsfolge, die bei brennbaren Flüssigkeiten von der Einführung des Flammpunktes über die einfache Demonstration der Zündtemperatur bis zur Ermittlung der Explosionsgrenzen führt. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung des Zerteilungsgrades und das Problem der Fernzündung herabfließender Lösungsmitteldämpfe behandelt. Die Gefährdung durch brennbare Stäube, die weniger bekannt ist, wird mit sicheren Versuchen in einem speziell entwickelten Plexiglas-Silo gezeigt. Die erforderlichen fachlichen Grundlagen sind bei den einzelnen Versuchen eingegliedert. —

### 1. Einführung

Der Chemieunterricht hat drei wesentliche Aufgaben zu erfüllen, die über die reine Weitergabe von Fakten weit hinausgehen. Neben der Vermittlung einer chemischen **Allgemeinbildung** für Alltag, Studium und Beruf und wichtigen Beiträgen zur **Umwelterziehung** spielt die **Sicherheitserziehung** eine zunehmende Rolle. Der richtige Umgang mit Gefahrstoffen ist entscheidend für die Unfallverhütung in Alltag und Beruf.

Besonders häufig sind Unfälle mit brennbaren Stoffen. Lediglich drei Bedingungen müssen zusammentreffen, daß es zu mehr oder weniger heftigen Verbrennungen kommen kann. Ein brennbarer Stoff, Sauerstoff – aus der Luft immer vorhanden – und eine Zündquelle reichen aus. Menge und Verteilungsgrad bestimmen dann die Heftigkeit der Reaktion. Deshalb sind Explosionen von Gasen, Lösemitteldämpfen und auch Stäuben leider alltäglich. Leichtsinns und Unkenntnis führen häufig zu schwersten Unfällen. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, mit eindrucksvollen, aber sicheren Experimenten diese Gefahren und ihre Ursachen im Chemieunterricht zu zeigen und damit zur Unfallverhütung beizutragen. Mit diesem Artikel sollen Anregungen gegeben werden, wichtige Zusammenhänge experimentell zu erarbeiten und Faktoren zu demonstrieren, die zu Explosionen führen können.

### 2. Explosionen brennbarer Dämpfe

Der Austritt von Erdgas oder Stadtgas aus undichten Gasleitungen führt immer wieder zu verheerenden Explosionen, wenn das explosive Gas-Luftgemisch durch Funken elektrischer Geräte (Regler, Lichtschalter, Klingel) oder eine Flamme unfreiwillig gezündet wird. Solche Unfälle sind selbst durch regelmäßige Überwachung der Leitungen und erhöhte Aufmerksamkeit der Bevölkerung gegenüber den Geruchsstoffen im ausströmenden Gas kaum völlig zu vermeiden. Dagegen überrascht es immer wieder, mit welcher Gedankenlosigkeit und welchem Leichtsinns in Alltag und Beruf mit brennbaren Flüssigkeiten hantiert wird. Einige Zeitungsausschnitte mit trauriger Aktualität sollen dies belegen (Zeitungsausschnitte 1: Explosionen brennbarer Flüssigkeiten durch offene Flammen).

Was im Vorfeld solcher Explosionen abläuft und was deshalb zur Vermeidung beachtet werden muß, läßt sich mit folgenden Versuchen erarbeiten.

---

*Peter Menzel, Jahrgang 1944, ist Professor für Didaktik der Chemie und Ökologie an der Universität Hohenheim. Nach dem Militärdienst begann er 1965 das Chemiestudium an der Universität Stuttgart, das er 1971 mit der Promotion über Sigma-Komplexe bei der Aromatensubstitution bei Prof. F. Effenberger abschloß. Von 1972 bis 1974 leitete er dort die Polymer-Arbeitsgruppe von Prof. H. Bredereck. 1974 erhielt er einen Ruf an die Pädagogische Hochschule Esslingen, 1984 wechselte er an die Berufspädagogische Hochschule Esslingen, seit 1988 arbeitet er an der Universität Hohenheim.*

*Seit 1986 hat er einen Lehrauftrag für Instrumentelle Analytik an der Fachhochschule für Druck in Stuttgart.*

*Ein Schwerpunkt seiner Forschung ist die Entwicklung von Medien, Lehr- und Lernmitteln für den Chemieunterricht (z.B. Magnetapplikationen, Projektionsversuche, Elektrochemie, Explosionsversuche) und von Modellversuchen für die Ökologie (z.B. Treibhauseffekt, Modellkläranlage). Weitere Schwerpunkte sind angewandte chemisch-ökologische Arbeiten aus dem Bereich Abwasserreinigung und Bodensanierung.*

*1992 war er Initiator und Mitorganisator des Wettbewerbs Abfallfreier Chemieunterricht.*

*1993 erhielt er den Manfred-und-Wolfgang-Flad-Preis der GDCh für seine Arbeiten und Vorträge zur Förderung des experimentellen Chemieunterrichts.*

*Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Peter Menzel, Universität Hohenheim, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften und Informatik, Fachgebiet Chemie und Ökologie, 70593 Stuttgart*

## Brand in Bernhausen Dämpfe explodierten

**FILDERSTADT** – Der Brand in einem Reihemittelhaus in der Bernhauser Graf-Zeppelin-Straße am vergangenen Mittwoch nachmittag (die EZ berichtet) ist nach den Ermittlungen der Kripo Leinfelden-Echterdingen auf die Entzündung von Lösungsmitteldämpfen zurückzuführen. Bei dem Feuer war eine 66jährige Frau ums Leben gekommen. Der 51jährige Hausbesitzer hatte im Erdgeschoß des Hauses PVC-Boden verlegt und einen lösungsmittelhaltigen Kleber verwendet. Die Gasheizung in unmittelbarer Nähe war in Betrieb und als sich die Heizung durch den Thermostat entzündete, explodierten die Lösungsmitteldämpfe. Die Polizei weist wieder darauf hin, daß beim Umgang mit Klebern und anderen lösungsmittelhaltigen Stoffen in geschlossenen Räumen unbedingt die Verarbeitungshinweise zu beachten sind und für eine ausreichende Belüftung zu sorgen ist.

Esslinger Zeitung vom 10. November 1990

## Hose mit Benzin gesäubert Explosion im Badezimmer

**INGELHEIM** (dpa). Bei dem Versuch, seine Hose in der Badewanne mit Benzin zu reinigen, hat ein 30jähriger aus Ingelheim lebensgefährliche Verbrennungen erlitten. Nach Angaben der Polizei vom Montag hatte der Mann in der Badewanne Benzin und Wasser gemischt, um die Hose darin zu waschen. Als er den Warmwasserboiler anstellte, führte die starke Gasflamme zu einer Explosion. Der Verletzte mußte im Hubschrauber in eine Ludwigshafener Spezialklinik gebracht werden.

Stuttgarter Zeitung vom 23. Januar 1991

## Feuerzeug am Öltank: Mann schwerverletzt

**KIRCHHEIM** (pol) – Schwere Brandverletzungen zog sich ein 52jähriger Mann am Mittwoch gegen 15.15 Uhr bei der Verpuffung von Öldämpfen im Keller seines Hauses zu. Er wollte nach den bisherigen Ermittlungen den Füllstand des Öltanks überprüfen und schraubte hierzu den Deckel des Tanks auf. Vermutlich konnte er nicht erkennen, wieviel Öl sich noch im Tank befand, so daß er ein Feuerzeug zum Ausleuchten nahm. Dabei kam es zur Verpuffung und einer Stichflamme, die dem Mann erhebliche Brandverletzungen im Gesicht und am Oberkörper zufügte. Mit dem Hubschrauber wurde er zur Behandlung ins Krankenhaus geflogen.

Esslinger Zeitung vom 16. Oktober 1992

Zeitungsausschnitte 1: Explosionen durch offene Flammen

**Versuch 1: Dieseltreibstoff (Heizöl) brennt bei Raumtemperatur nicht**

**Geräte und Chemikalien:** 1 Kristallisierschale, 1 Glimmspan, Dieseltreibstoff (Heizöl)

**Durchführung:** Etwa 10 ml Dieseltreibstoff werden in die Kristallisierschale gegeben. Man nähert den brennenden Glimmspan langsam der Oberfläche des Dieseltreibstoffes und taucht ihn dann in die Flüssigkeit.

**Beobachtung:** Oberhalb der Flüssigkeit ist keine Entflammung festzustellen, der Glimmspan erlischt sogar in der Flüssigkeit.

Erwartungsgemäß geschieht nichts, weil keine brennbaren Dämpfe entwickelt werden und der eintauchende Glimmspan die Flüssigkeit nicht auf die Zündtemperatur bringt. Daß Dieseltreibstoff aber bereits bei Raumtemperatur verpuffen kann, wenn die Verteilung fein genug ist und die Zündquelle die Tröpfchen deshalb sofort über die Zündtemperatur bringt, läßt sich eindrucksvoll demonstrieren.

**Versuch 2: Verpuffung von zerstäubtem Dieseltreibstoff**

**Geräte und Chemikalien:** Eine 20 ml Sprühflasche aus Glas (bzw. eine Metall-Blumenspritze) mit Dieseltreibstoff (Heizöl), 1 Gasbrenner, 1 Schutzbrille, evtl. Arbeitshandschuh aus Leder

**Durchführung:** Man sprüht aus 20 bis 30 cm Abstand einen kräftigen Sprühstoß Dieseltreibstoff leicht schräg von unten in die Brennerflamme. (Nicht in Richtung der Schüler, sondern quer dazu sprühen! Auf Sicherheitsabstand achten!).

**Beobachtung:** Der zerstäubte Dieseltreibstoff verbrennt schlagartig mit einer heftigen Verpuffung.

Dieser Vorgang ist in der Regel nicht die Ursache unbeabsichtigter Explosionen, sondern er wird gezielt zur Verbrennung in Heizkesseln oder Motoren ausgenutzt. Dagegen ist die allmähliche Abgabe von brennbaren Dämpfen die häufigste Ursache. Die hierfür erforderliche Mindesttemperatur, die unter definierten Bedingungen ermittelt wird, ist der sogenannte **Flammpunkt** (Definition und Angaben im Glossar). Seine Bedeutung kann mit folgender einfachen Methode gezeigt werden.

**Versuch 3: Flammpunktbestimmung**

**Geräte und Chemikalien:** 1 Magnetrührer mit Temperaturregelung, 1 Aluminium-Thermoblock, 1 Porzellanschale, 1 Uhrglas, 1 Tiegelzange, 1 Thermometer (oder Temperaturmeßgerät mit Thermofühler), 1 Rührstäbchen, Dieseltreibstoff (Heizöl), 1 Glimmspan

**Durchführung:** Der Thermoblock wird auf die Heizplatte des Magnetrührers gestellt, das Thermometer in den Aluminiumblock gesteckt, die Porzellanschale (mit Rührstäbchen) in die Mulde gestellt und ca. 10 ml Dieseltreibstoff eingefüllt und die Schale mit dem Uhrglas abgedeckt (Tiegelzange). Dann wird langsam unter Rühren die Temperatur erhöht und in regelmä-

Bigen Abständen mit einem brennenden Glimmspan geprüft, ob sich entflammbare Dämpfe entwickelt haben (Abb. 1). Beim ersten kurzfristigen Entflammen bzw. Verpuffungsgeräusch wird auch die Temperatur der Flüssigkeit gemessen.

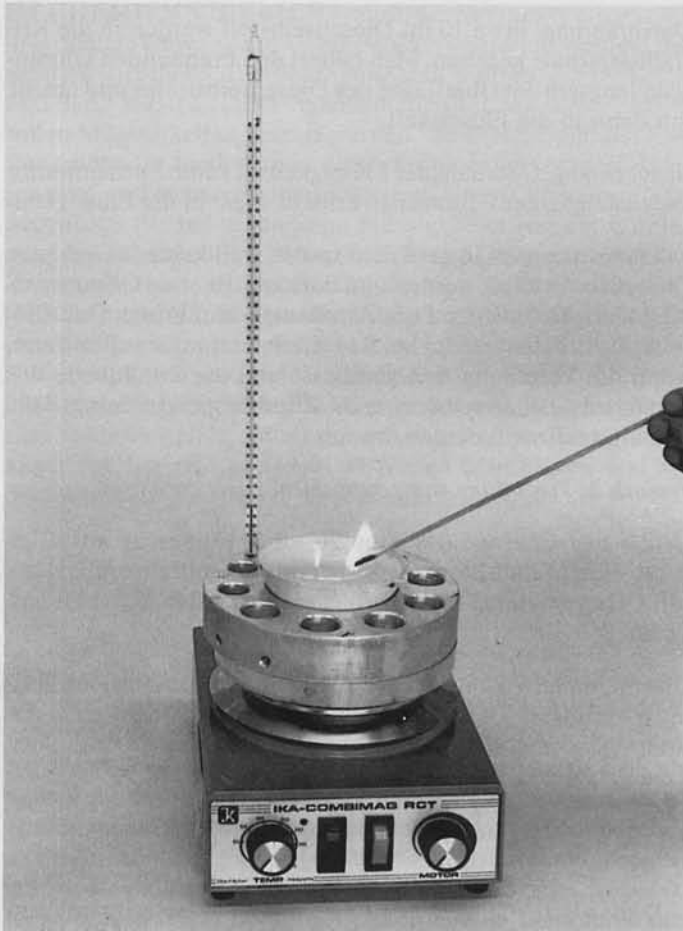


Abb. 1: Flammpunktbestimmung

Erst oberhalb des Flammpunktes entwickeln sich aus einer brennbaren Flüssigkeit ausreichend Dämpfe, sodaß es bei Näherung einer Zündquelle (also durch Fremdzündung!) zur Entflammung kommen kann. Der Flammpunkt ist also ein wichtiges Kriterium für die Entflammbarkeit brennbarer Flüssigkeiten und gibt deshalb einen Anhalt für die Explosions- und Feuergefährlichkeit dieser Stoffe. Die Einteilung brennbarer Flüssigkeiten in verschiedene Gefährklassen stützt sich auf den Flammpunkt [1].

Der Flammpunkt hängt vom Dampfdruck des Stoffes ab und kann grob über die Siedetemperatur abgeschätzt werden. Häufig liegt er etwa 60 bis 100° unter der Siedetemperatur.

Aber nicht nur die Näherung von offenen Flammen oder anderen Zündquellen führt beim unvorsichtigen Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten zu schweren Unfällen, sondern oft auch das unbeabsichtigte Erhitzen bis zur Zündtemperatur. Sehr viele Brände sind auf diese Ursache zurückzuführen (Zeitungsausschnitte 2, oben). Die Selbstentzündung von Dämpfen

## Reinigungsmittel soll Brand ausgelöst haben

LONDON (rtr). Das Rätselraten um die Ursache des Großbrandes, der Teile des königlichen Schlosses Windsor vernichtet hat, schien am Montag beendet. Britische Zeitungen meldeten unter Berufung auf Experten, an einem heißen Halogenstrahler habe sich ein von Restauratoren benutztes spiritushaltiges Reinigungsmittel entzündet und das Inferno ausgelöst.

Stuttgarter Zeitung vom 24. November 1992

## Zu „heiß“ gekocht: 400 000 Mark Schaden

MAGSTADT, Kreis Böblingen. In einem Wohnhaus in der Maichinger Straße ist bei einem Brand Inventar- und Gebäudeschaden von etwa 400 000 Mark entstanden. Bei seinen Löschversuchen erlitt der 47 Jahre alte Wohnungsinhaber eine Rauchvergiftung. Die Brandursache ist banal – ein auf die Herdplatte gestellter Kochtopf mit Fett, den der Mann schlicht vergessen hatte. Das zu heiß gewordene Fett entzündete sich schließlich und setzte die ganze Küche in Brand. Siedend heiß fiel dem Mann der Topf erst dann wieder ein, als es zu spät war und bereits die Rauchschwaden durchs Haus zogen. mn

Stuttgarter Zeitung vom 06. Juni 1992

Was ist das?

## Hexan

Die verheerenden Explosionen in der mexikanischen Millionenstadt Guadalajara am Mittwoch wurden vermutlich durch hochexplosives Hexan, das in die Kanalisation gelangte, ausgelöst.

Chemisch zählt Hexan ( $C_6H_{14}$ ) zu den sogenannten gesättigten Kohlenwasserstoffen. Als wesentlicher Bestandteil von Erdgas und Erdöl weist es einen typischen, benzinartigen Geruch auf. Über einen derartigen Gasgeruch, der aus dem unterirdischen Abwassersystem aufstieg, hatten sich die Einwohner von Guadalajara schon seit Dienstag beschwert. In flüssiger Form ist die Substanz relativ ungefährlich. Allerdings verdunstet sie schon bei niedrigen Temperaturen erheblich leichter als beispielsweise Benzin. Ein winziger Funke reicht dann aus, um eine unsichtbare Hexangaswolke zur Explosion zu bringen. Wenn man Hexandampf einatmet, kommt es zu Schwindel, Kopfschmerzen und Übelkeit. Allerdings wurde Hexan früher auch als Schnüffelstoff mißbraucht, als es noch Klebstoffen als Verdünnungsmittel zugesetzt wurde. vz

Stuttgarter Zeitung vom 24. April 1992

Zeitungsausschnitte 2: Brände durch Selbstentzündung (oben) und Fernentzündung brennbarer Dämpfe (unten)

bei entsprechender Erhitzung kann ebenfalls eindrucksvoll und sicher mit Dieseltreibstoff (oder Heizöl) demonstriert werden.

#### Versuch 4: Bestimmung der Zündtemperatur

**Geräte und Chemikalien:** 1 Stativ, 2 Stativmuffen, 2 Stativklemmen, 1 Temperaturmeßgerät mit langem Thermofühler, 1 Gasbrenner, 1 250 ml Weithals-Rundkolben, Fön zum Fortblasen der Dämpfe, 1 Schutzbrille, Dieseltreibstoff (Heizöl) in 30 ml Pipettenflasche

**Durchführung:** Man befestigt den Thermofühler so oberhalb des Rundkolbens, daß die Meßspitze in die Mitte des Kolbens ragt. Die Kabelführung muß so gelegt werden, daß das Kabel nicht überhitzt werden kann (notfalls zum Schutz mit Aluminiumfolie umwickeln). Der Kolben wird mit fächernder Flamme erhitzt. In bestimmten Temperaturabständen wird der Brenner entfernt und ausgemacht, dann mit der Pipette 1 Tropfen Dieseltreibstoff in den Kolben getropft (Abb. 2). Bei Temperaturen bis etwa 270 °C erfolgt keine Entzündung. Die nicht verbrannten Dämpfe müssen dann jedesmal mit dem Fön aus dem Kolben geblasen werden. Bei etwa 300 °C kann die Zündung erfolgen. Soll der Versuch aus Zeitgründen direkt beim ersten Mal positiv ausfallen, empfiehlt es sich, deutlich über die erwartete Zündtemperatur zu erhitzen und beim Abkühlen des Kolbens oberhalb des bekannten Wertes zuzutropfen.

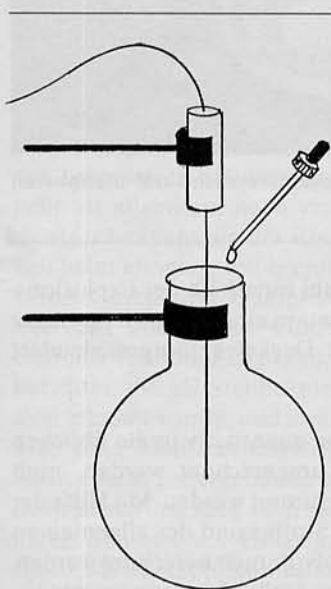


Abb. 2: Zündtemperaturbestimmung

**Beobachtung:** Ist die Temperatur des Kolbens und der Luft im Kolben hoch genug, verdampft der Flüssigkeitstropfen sofort nach dem Zutropfen, die Dämpfe entzünden sich und brennen mit leichtem Verpuffungsgeräusch ruhig ab.

Wie tief die Zündtemperaturen zahlreicher Stoffe sind, wie leicht also Selbstentzündung an heißen Gegenständen (z.B. Herdplatten, Lampen etc.) erfolgen kann, zeigt ein Blick in die einschlägige Literatur [2]. Als Beispiele bei den Dämpfen seien nur Schwefelkohlenstoff mit 102 °C, Diethylether mit 170 °C und Dieseltreibstoff mit 250 bis 350 °C angeführt. Während der Flammpunkt grob über die Siedetemperatur des

Stoffes abgeschätzt werden kann, gilt dies nicht für die Zündtemperatur. Hier handelt es sich um eine Pyrolysereaktion, die Lage der Zündtemperatur hängt also von der Stabilität des Moleküls ab. Deshalb findet man für ähnliche Stoffe auch ähnliche Zündtemperaturen (Tab. 1).

Tabelle 1: Siedetemperaturen, Flammpunkte, Zündtemperaturen und Explosionsgrenzen einiger brennbarer Flüssigkeiten im Vergleich

| Stoff        | Siedetemp.<br>in °C | Flammpunkt<br>in °C | Zündtemp.<br>in °C | Explosionsgrenzen<br>in Vol.-% |
|--------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Acetaldehyd  | 21                  | -27                 | 140                | 4 - 57,0                       |
| Aceton       | 56                  | -19                 | 540                | 2,5 - 13,0                     |
| Benzol       | 80                  | -11                 | 555                | 1,2 - 8,0                      |
| Ethanol      | 78                  | 12                  | 425                | 3,5 - 15,0                     |
| Diethylether | 34                  | -40                 | 170                | 1,7 - 48,0                     |
| Glycerin     | 290                 | 160                 | 429                | 0,9 -                          |
| Hexan        | 68                  | -22                 | 240                | 1,2 - 7,4                      |
| Methanol     | 65                  | -11                 | 455                | 5,5 - 26,5                     |
| Octan        | 126                 | 8                   | 226                | 1,8 - 6,5                      |
| Toluol       | 111                 | 6                   | 535                | 1,2 - 7,0                      |

Da die Dämpfe aller brennbaren Flüssigkeiten grundsätzlich schwerer als Luft sind, sinken sie z.B. beim Umfüllen dieser Stoffe oder aus Lecks herab und können dadurch über größere Entfernung an Zündquellen gelangen. Die verheerende Explosion in der mexikanischen Stadt Guadalajara ist hierfür das jüngste Beispiel (Zeitungsausschnitte 2, unten). Diese Gefahr besteht grundsätzlich auch im Labor und im Alltag, wie folgender Versuch belegt [3].

#### Versuch 5: Fernzündung brennbarer Dämpfe

**Geräte und Chemikalien:** 1 Metalltrichter mit Deckel, 4 bis 5 m PVC-Schlauch (ø 5 cm), 1 Metalldose mit Stofflappen, 1 Tiegelzange, 1 Schutzbrille, Lederhandschuhe, 1 niedrige Kerze mit flachem Ständer (auch Teelicht), evtl. Stativmaterial zur Befestigung des Schlauches am Experimentiertisch, Wundbenzin (bzw. Petrolether niedrig siedend, Pentan, Heptan o.ä.; F) in Metall-Sicherheitsflaschen

**Durchführung:** Entsprechend der Abb. 3 wird der Metalltrichter in den Schlauch gesteckt und der Schlauch so ausgelegt und befestigt bzw. durch Zuschauer gehalten, daß das freie Ende auf dem Boden liegt. Vor dieses Ende wird die noch nicht brennende Kerze gestellt. Dann wird der Stofflappen mit ca. 5 bis 10 ml Wundbenzin o.ä. getränkt und nochmals kurz in die Dose gelegt (darauf achten, daß alle Flammen gelöscht sind!). Nun wird die Kerze angezündet, anschließend der getränkte Stofflappen mit der Tiegelzange in den Trichter gelegt (Abb. 3).

**Beobachtung:** Im verdunkelten Raum sieht man nach kurzer Zeit eine blaue Flammfront von der Kerze im Schlauch empor zum Trichter wandern, der Lappen entzündet sich und brennt mit deutlicher Flamme. Zum Löschen wird der Trichter mit dem Deckel abgedeckt und damit die Flamme erstickt.

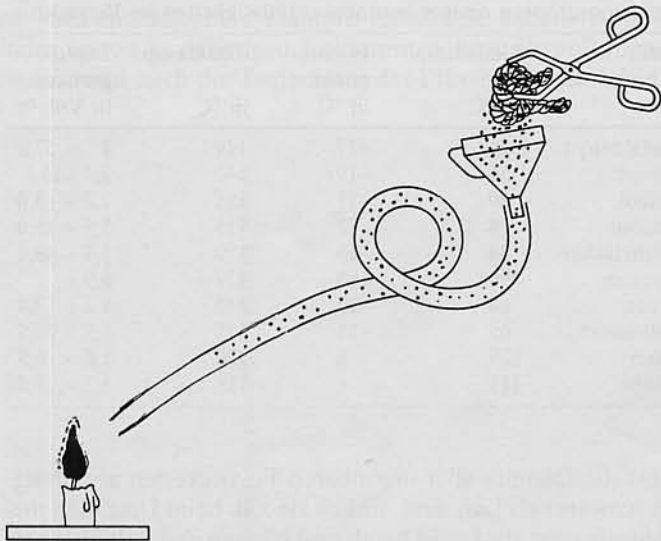


Abb. 3: Fernzündung brennbarer Dämpfe

Glücklicherweise führt es nicht immer zu Explosionen, wenn für eine Verbrennung eigentlich schon alle Bedingungen gegeben sind. Dies ist aus chemischer Sicht verständlich, da die Reaktionsgeschwindigkeit grundsätzlich vom Mischungsverhältnis der Reaktionspartner abhängt. Deshalb ist es besonders wichtig, die untere und die obere Explosionsgrenze (UEG bzw. OEG) für ein bestimmtes Dampf-Luft-Gemisch zu kennen. Im Bereich von UEG und OEG bilden die Dämpfe mit Luft zündfähige Gemische. Mit einem Zündrohr aus Plexiglas lassen sich z.B. die Explosionsgrenzen von Wundbenzin o.ä. rasch bestimmen. Dieser Explosionsversuch kann ohne weiteres auch als Schülerversuch durchgeführt werden.

#### Versuch 6: Explosionsgrenzenbestimmung mit einem Zündrohr

**Geräte und Chemikalien:** 1 Zündrohr mit Kunststoff-Deckel und Piezo-Zünder, 1 Fön zum Ausblasen der Dämpfe, Wundbenzin (bzw. Pentan, Heptan o.ä.; F) in kleinem Pipettenfläschchen, 1 Schutzbrille

**Durchführung:** Man untersucht die Zündfähigkeit von Mischungen aus Dampf und Luft mit unterschiedlicher Tropfenzahl. Dazu gibt man zuerst einen Tropfen in das Zündrohr, verschließt es mit dem Deckel und schüttelt es mehrfach. Ein zugehöriges kleines Weichplastikteil sorgt beim Schütteln für bessere und raschere Durchmischung. Dann wird das Zündrohr abgestellt und mit dem Piezo-Zünder gezündet (Abb. 4). Erfolgt keine Reaktion, wird ein weiterer Tropfen hinzugefügt und der Vorgang wiederholt. (Nach einer Explosion sollten die Verbrennungsgase mit dem Fön herausgeblasen werden, bevor ein weiterer Versuch durchgeführt wird.) Man erhält auf diese Weise rasch die UEG und OEG als Tropfenzahl.

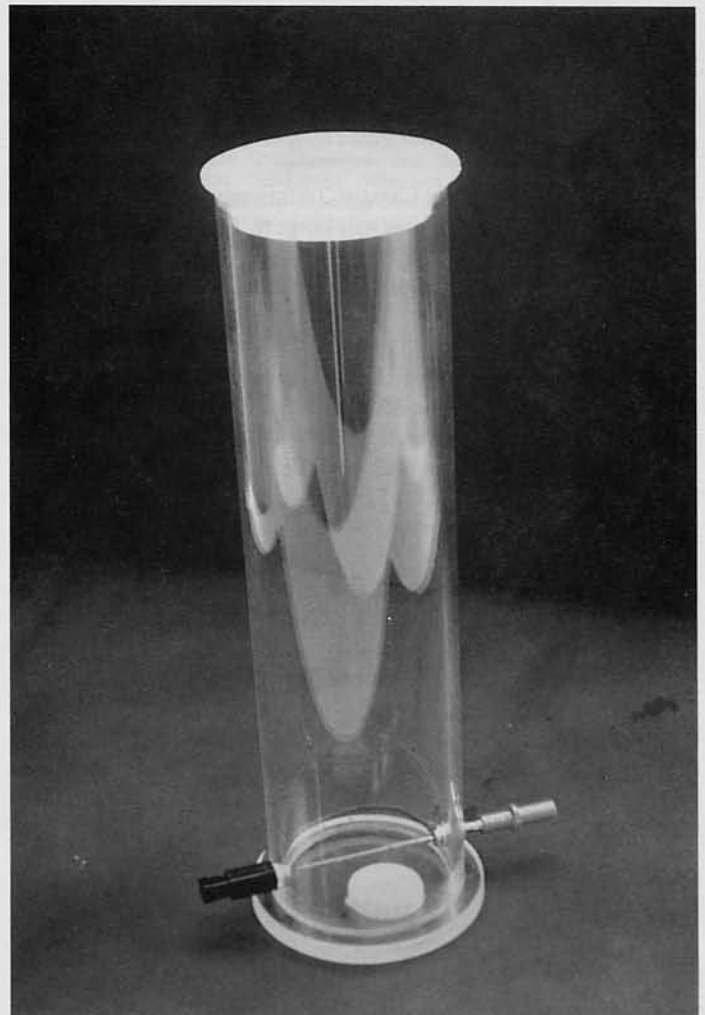


Abb. 4: Plexiglaszündrohr für Explosionsversuche mit brennbaren Dämpfen

**Beobachtung:** Liegt die Tropfenzahl innerhalb der Explosionsgrenzen, erfolgt je nach Konzentration eine mehr oder weniger heftige Explosion, wodurch der Deckel emporgeschleudert wird.

**Auswertung:** Sollen die Ergebnisse quantitativ in die üblichen Angaben mit Volumenprozent umgerechnet werden, muß noch die Masse eines Tropfens bestimmt werden. Mit Hilfe der Molekülmasse des betreffenden Stoffes und des allgemeinen Gasgesetzes kann dann das Dampfvolumen berechnet werden. Über das Volumen des Zündrohres ergibt sich das gesuchte Volumenverhältnis [4].

Man erhält gute Ergebnisse bei 4 bis 8 Tropfen, was erwartungsgemäß im optimalen Zündbereich für n-Alkane mit UEG- OEG 1-8 Vol.% liegt. Die Explosionsgrenzen organischer Lösungsmittel mit vergleichbarer Zusammensetzung liegen ähnlich, was aufgrund der Reaktionsstöchiometrie verständlich ist (Tab. 1). Je weiter dieser Zündbereich ist, umso explosionsgefährlicher ist der betreffende Stoff. Dies ist z.B. besonders deutlich bei Wasserstoff, bei welchem sich der Zündbereich von ca. 4 bis 76 Vol.% erstreckt [2]. Mit dem Zündrohr können auch Explosionsgrenzenbestimmungen mit Wasserstoff durchgeführt werden, aber hier sind die Explosionen so heftig, daß zusätzlich mit einer Schutzscheibe gearbeitet werden muß und der Mund zum Schutz des Trommelfells geöffnet werden sollte.

### 3. Explosionen brennbarer Stäube

Die Explosionsgefahr, die von brennbaren Stäuben ausgeht, ist allgemein noch viel weniger bekannt als die Risiken beim Umgang mit brennbaren Gasen und Dämpfen. Vor etwa 200 Jahren wurde erstmals von einer Explosion berichtet, die als Staubexplosion erkannt wurde, und zwar 1785 eine Mehlstaubexplosion in einem Lagergebäude in Turin [5]. Mit zunehmender Industrialisierung stieg auch die Zahl der Explosionen mit brennbaren Stäuben wie Holzstaub, Nahrungs- und Futtermittelstaub, Metallstaub, Kohlestaub usw. Da prinzipiell jeder Staub aus organischem Material, das brennbar ist, bei Verwirbelung an einer Zündquelle zur Explosion gebracht werden kann, sind entsprechende Unfälle leider auch relativ häufig. Außerdem ist die Energiedichte von Feststoffen sehr hoch, deshalb die Explosionen von Silos und Lagergebäuden auch besonders heftig (Zeitungsausschnitt 3). Deshalb ist es auch im Chemieunterricht wichtig, auf das Phänomen einzugehen. Mit Explosionsversuchen in einem Modellsilo aus Plexiglas können diese Probleme eindrucksvoll und sicher gezeigt werden.

## Mehlstaub explodiert: Ein Inferno

### Bremer Getreidemühle in Schutt und Asche – Vermutlich 14 Tote

**Bremen (dpa/ap) Eine schwere Mehlstaubexplosion in einer Bremer Getreidemühle am späten Dienstagabend hat vermutlich 14 Menschenleben gefordert.**

Die Explosion, die nach offiziellen Angaben die Wirkung einer Detonation von mindestens 20 Tonnen reinen Sprengstoffs hatte, legte die Roland-Mühle am Bremer Holz- und Fabrikhafen in Schutt und Asche. Vier Leichen wurden bis Mittwoch nachmittag aus den Trümmern geborgen. Für zehn Vermißte gab es nach Angaben der Behörden zu diesem Zeitpunkt keine Überlebenschance mehr.

Die vermißten Mühlenarbeiter sowie der Hausmeister und drei seiner Angehörigen wurden wahrscheinlich von der ungeheuren Druckwelle getötet, die bei der Explosion entstand. In einer vom bremischen Innensenator Fröhlich geleiteten Pressekonferenz, an der auch Bürgermeister Koschnik teilnahm, erklärte ein Sprecher der Feuerwehr, allein vom Druck sei im Umkreis von 50 Metern kein Überleben möglich gewesen.

Von den 17 lebend geborgenen Menschen konnten 12 nach ambulanter Behandlung aus den Kliniken entlassen werden. Fünf fliegen mit schweren Verletzungen in Krankenhäusern.

Um 21.24 Uhr am Dienstagabend hatte das Inferno begonnen. Im Bremer Holz- und Fabrikhafen war es in einer Halle des Getreide- und Futtermittelunternehmens Rolandmühle unmittelbar nach dem Schichtwechsel vermutlich zu einer Explosion des Mehlstaubs gekommen, durch die

Fenster und Schaufenster im Umkreis von zwei Kilometern zu Bruch gingen. Steine und Mauerstücke flogen einen Kilometer weit durch die Luft.

Gebäude und Silos stürzten wie Kartenhäuser zusammen. Lagerhallen und Fabriken standen in Windeseile in Flammen. Die Feuersäule brannte 40 Meter hoch. Ein 40 Meter hoher Turm auf einem Verwaltungsgebäude stürzte ebenfalls ein. Die Druckwelle war noch in den niedersächsischen Nachbargemeinden zu spüren.

Während der Löscharbeiten bestand besondere Gefahr für eine benachbarte Lagerhalle, die bis oben hin mit Schafwolle gefüllt war. Ein Übergreifen der Flammen konnte jedoch verhindert werden. Auch ein Schiff, das an einem Kai in der Nähe lag, mußte eilends verholt werden. Die Aufbauten waren durch herabgestürzte Mauerbrocken beschädigt worden. Erst in den frühen Morgenstunden hatte die Feuerwehr den Großbrand unter Kontrolle. Die Aufräumarbeiten und die Suchaktion werden sich vermutlich über mehrere Tage erstrecken. Der Sachschaden dürfte nach ersten Schätzungen 50 Mill. DM übersteigen.

Der Bundeskanzler hat den Angehörigen der Opfer, dem Präsidenten des Senats der Freien Hansestadt Bremen sowie der bremischen Bürgerschaft sein Beileid ausgesprochen. Wie ein Regierungssprecher erklärte, habe das Bundeskabinett mit großer Betroffenheit von dem schweren Unglück Kenntnis genommen.

Zeitungsausschnitt nach einer DPA-Meldung vom 08. Februar 1979

#### Zeitungsausschnitt 3: Mehlstaubexplosion

#### Versuch 7: Staubexplosionen im Plexiglas-Silo

**Geräte und Chemikalien:** 1 Modell-Silo aus Plexiglas mit Polyethylendeckel, 1 Ballonpumpe mit Schlauch, 1 Porzellantiegel, 1 Kerze (ca. 10 cm hoch) mit Kerzenständer, 1 Tiegelzange, 1 Schutzbrille, 1 Teelöffel o.ä., brennbare Stäube (z.B. Bärlappsaamen, Mondamin, Weizenstärke usw. Die Stäube sollten sehr feinpulvrig und trocken sein).

**Durchführung:** Der Plexiglas-Silo wird aufgestellt und mit dem Schlauch der Ballonpumpe verbunden. Etwa ein Teelöffel Staub wird in den Porzellantiegel gegeben und der Tiegel unter das gekrümmte Verwirbelungsrohr gestellt. Dann wird die Kerze außerhalb des Silos angezündet, mit der Tiegelzange in den Silo gestellt und der Silo mit dem Deckel verschlossen. Die Reaktion wird mit einem Pumpstoß der Ballonpumpe ausgelöst (Abb. 5).

**Beobachtung:** Durch den Pumpstoß wird der Staub verwirbelt, es kommt an der Kerze zur Entzündung und zu einer mehr oder weniger heftigen Explosion. (Mit Bärlappensamen erhält man die eindrucksvollsten Resultate).

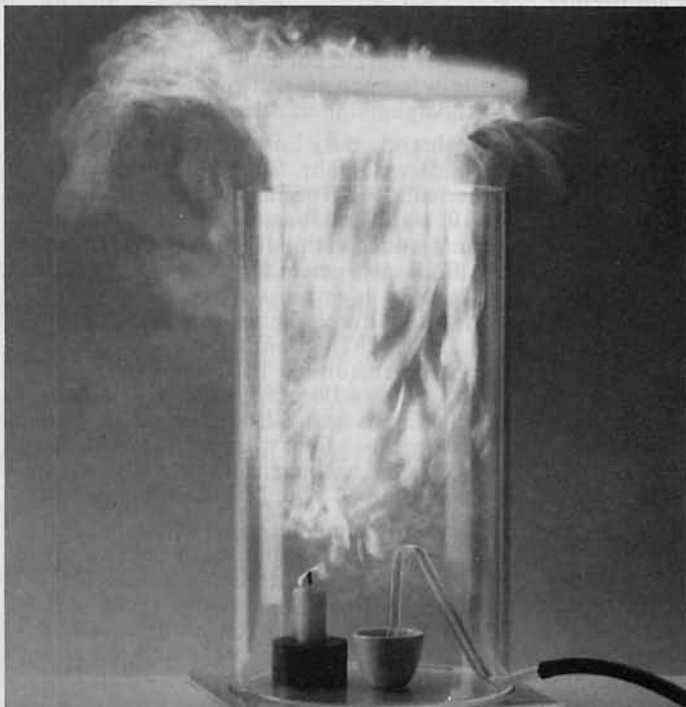


Abb. 5: Staubexplosion im Plexiglas-Silo

Während es bei brennbaren Dämpfen Untere und Obere Explosionsgrenzen gibt, sind bei brennbaren Stäuben andere Faktoren wichtig. Korngröße, Trockenheit, Mindestzündenergie und die Zusammensetzung des Staubes beeinflussen die Reaktion.

Die Heftigkeit von Explosionen hängt z.B. entscheidend von der Korngröße ab. Als maximale Korngröße wird in der Fachliteratur für PE-Staub beispielsweise  $300\ \mu\text{m}$  [5, 7] angegeben, eine Minimalgröße gibt es hier nicht. Als Untere Explosionsgrenze gilt für organische Stäube eine Größenordnung von 30 bis 50 mg/l, die sehr leicht erreicht wird, eine Obergrenze wird in der Regel nicht genannt. Feuchter, gröberer Mehlstaub ist im Modell-Silo fast nicht zur Explosion zu bringen, sehr feinpulvriger Bärlappensamen, der aufgrund von Ölen meist trocken ist, zeigt dagegen heftige Reaktionen.

Zur Vertiefung sei auf das ausgezeichnete Buch von Bartknecht [5] hingewiesen, als Quelle für Flammpunkte und Zündtemperaturen sind inzwischen die einschlägigen Chemikalienkataloge gut geeignet.

#### Literatur

- [1] P. Menzel, PdN-Ch. 1991, 40, 34-35
- [2] A. Rempe, G. Gisbert, Rodewald, Brandlehre, W. Kohlhammer Verlag Stuttgart 1988
- [3] G. Lutzeier, Brennbare Flüssigkeiten, BAGUV-Schriftenreihe, München 1989
- [4] P. Menzel, PdN-Ch. 1991, 40, 32-34
- [5] W. Bartknecht, Explosionsschutz, Springer Verlag Berlin 1993
- [6] aus Umwelt: Chemie Nordrhein-Westfalen, Ernst Klett Schulbuchverlag Stuttgart 1994, mit freundlicher Genehmigung des Verlages
- [7] H.K. Schäfer, Sicherheit in der Chemie, Carl Hanser Verlag München 1973

#### Bezugsquellenhinweis

für die angegebenen Geräte und Materialien  
Aug. Hedinger GmbH, Postfach 60 32 62, 70302 Stuttgart, Tel.: 07 11-40 20 50

#### Glossar

##### Flammpunkt (nach DIN 51755)

„Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur (bezogen auf einen Druck von 1013,25 mbar), bei der sich aus der zu prüfenden Flüssigkeit unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, daß sich ein durch Fremdzündung entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet.“

(Das Gemisch flammt bei Annäherung der Zündquelle, in der Regel eine offene Flamme, zum ersten Mal kurz auf und erlischt wieder.)

##### Brennpunkt

Der Brennpunkt (meist 30-40 °C höher als der Flammpunkt) ist die Temperatur, bei welcher der Stoff nach Entflammung weiterbrennt.

##### Zündtemperatur

Die Zündtemperatur ist die niedrigste Temperatur, bei welcher unter festgelegten Bedingungen eine „Selbst-Entzündung“ des brennbaren Stoffes im Gemisch mit Luft festgestellt wird.

##### Verbrennungstemperatur

Die Verbrennungstemperatur ist die Temperatur, die durch die bei der Verbrennung freiwerdende Wärme entsteht. Je nach Art des brennbaren Stoffes und der Gemischzusammensetzung liegt sie zwischen 1000° und 3000 °C.

##### Explosionsgrenze (nach DIN 14011 T1)

Untere und obere Explosionsgrenze (Zündgrenze) ist die niedrigste bzw. höchste Konzentration des brennbaren Stoffes im Gemisch von Gasen, Dämpfen, Nebeln und/oder Stäuben, in dem sich nach dem Zünden ein Brennen gerade nicht mehr selbständig fortpflanzen kann. □