

toren gestellt werden. Die meisten Inhibitoren, die die anodische Teilreaktion der Korrosion hemmen, sind hier nicht einsetzbar, weil sie an bereits mit Rost abgedeckten Stellen Lochkorrosion auslösen können. In diesen Fällen ist wahrscheinlich die Verwendung von Sauerstoffbindemitteln wie Natriumsulfit oder Hydrazin vorteilhafter. Der Einsatz dieser zur Wasserbehandlung in größeren Heizungsanlagen durchaus üblichen Chemikalien bedingt eine sorgfältige Berechnung der Zugabemengen, die zur Bindung der nach Gl. (7) bzw. (8) zu ermittelnden Sauerstoffmengen notwendig sind. Dies und die erforderliche regelmäßige Wartung und Kontrolle kann bei Heizungsanlagen in Ein- oder Zweifamilienhäusern allerdings Probleme bereiten.

### Ausblick

Die Tatsache, daß bisher verhältnismäßig wenig Korrosionsschäden bekannt geworden sind, darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß grundsätzlich in jeder Anlage ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen Korrosionsschäden auftreten können.

nen. Mit diesem Risiko muß der Betreiber leben. Im Schadenfall wird er vermutlich den Heizungsbauer in Regreß nehmen können, es sei denn, daß dieser den Betreiber vorher schriftlich auf das Risiko eines Korrosionsschadens hingewiesen hat. Wenn der Heizungsbauer dies nicht getan hat, ist er derjenige, der mit dem Schadenrisiko zu leben hat. Im Zweifelsfall muß er sich vom Betreiber oder einem in Vorlage getretenen Leitungswasserversicherer vorwerfen lassen, daß er durch Unterlassen von Schutzmaßnahmen bei der Erstellung der Anlage einen Korrosionsschaden billigend in Kauf genommen hat. Daß die Hersteller und Verreiber von Kunststoffrohren keine Bereitschaft erkennen lassen, sich an dem Schadenrisiko, das nach ihren Aussagen praktisch gar nicht existiert, in irgendeiner Form zu beteiligen, ist nicht leicht verständlich. Angesichts dieser Situation kann es nicht verwundern, wenn sich mancher Heizungsbauer daran erinnert, daß man Fußbodenheizungen auch aus metallischen Werkstoffen herstellen kann.

### Literatur

- 1 SHT-Diskussion „Luft in Fußbodenheizungen“ Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 4 1980, S. 289–301
- 2 W. Sturm Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 2 1981, S. 81–82
- 3 C.-L. Kruse sbz Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, Heft 22 1980, S. 2038–2040, VDI-Berichte Nr. 388, 1980, S. 57–61
- 4 C.-L. Kruse Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 2 1981, S. 80
- 5 VDI-Richtlinie 2035, „Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in Warmwasserheizungsanlagen“ Juli 1979
- 6 R. Scharmann SWT Anlagen-Systemtechnik, Heft 1 1980, S. 32–37 DIE KÄLTE und Klimatechnik, Heft 6 1981, S. 218–224
- 7 T. Engel Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 2 1981, S. 93–97

# Sicherheitsaspekte bei Transport und Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe

Manfred Steidinger

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einer Stoffgruppe, die zu den gefährlichen Gütern gerechnet wird – den explosionsgefährlichen festen und flüssigen Stoffen. Um die Ausführungen nicht allzuweit ausufern zu lassen, beschränkt sie sich nur auf einige Teilaspekte der Sicherheit beim Transport und bei der Lagerung dieser Stoffgruppe.

### Definitionen

An den Anfang sollen einige Definitionen gestellt werden, um so den sachlich-stofflichen Rahmen, in dem die getroffenen Aussagen gelten, unmißverständlich zu machen.

Das Bild 1 dient der Erklärung der Zusammenhänge, die zwischen den einzelnen Stoffgruppen bestehen.

Die kondensierten festen und flüssigen Stoffe lassen sich in explosionsfähige und nicht explosionsfähige Stoffe unterteilen. Explosionsfähige kondensierte

Stoffe sind reine feste oder flüssige Stoffe oder Stoffmischungen in Form von Gemengen, Lösungen, Aufschlämmun-

gen, Suspensionen oder Emulsionen mit stark exothermer Reaktionsfähigkeit, die meist aus verbrennlichen und oxydieren-

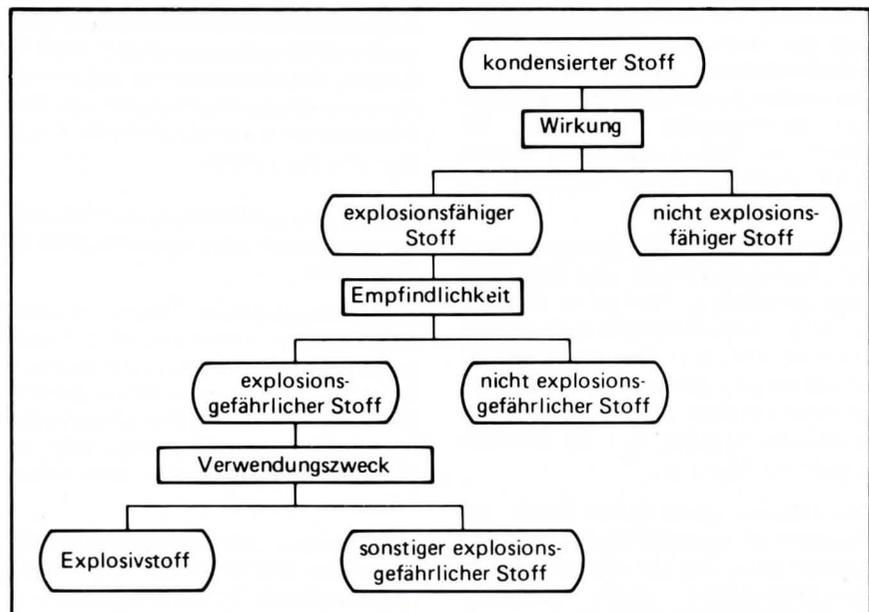


Bild 1. Stammbaum der explosionsgefährlichen Stoffe.

Dr. Manfred Steidinger  
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM),  
Berlin

Explosivstoffe verwendet als		Sprengstoffe Treibmittel Zündstoffe Anzündstoffe pyrotechnische Sätze
sonstige explosionsgefährliche Stoffe		
verwendet als		Beispiel
Lösungsmittel		Nitromethan
Katalysatoren in der Kunststoffindustrie		organische Peroxide
Blähmittel in der Kunststoffindustrie		Diazoverbindungen
Arzneimittel		Salpetersäureester
Ausgangsstoffe für Farben und Lacke		Nitrocellulose, Nitroverbindungen
Hilfsstoffe der chemischen Industrie, Laborchemikalien		Ammoniumdichromat Hydroxylammoniumsulfat

Bild 2. Verwendungsbereiche der explosionsgefährlichen Stoffe.

den Molekülgruppen oder nebeneinander vorliegenden Komponenten oder aus leicht zersetzlichen Verbindungen bestehen. Die diesen Stoffen oder Mischungen innewohnende chemisch gebundene Energie kann in Form einer Verbrennungsreaktion oder Zersetzungsreaktion freigesetzt werden, die, sofern sie hinreichend schnell und unter Entwicklung großer Wärme- und / oder Gasmengen verläuft, zerstörend auf ihre Umgebung einwirkt und als Explosion bezeichnet wird. Zu den kondensierten explosionsfähigen Phasen zählen im übrigen auch die Stoffe und Stoffgemische, die sich in Form einer Wärmeexplosion im Sinne von Frank-Kamenetzki und Semjonov u. a. umsetzen.

Die explosionsfähigen Stoffe lassen sich weiterhin in die explosionsgefährlichen und die nicht explosionsgefährlichen Stoffe unterteilen. Als explosionsgefährlich werden die explosionsfähigen Stoffe und Stoffgemische bezeichnet, bei denen die Explosionsreaktion bereits durch nicht allzugroße Energiezufuhr ausgelöst werden kann.

Das Unterscheidungsmerkmal zwischen den explosionsfähigen und den nicht explosionsfähigen Stoffen ist also die Wirkung, während das Unterscheidungskriterium zwischen den explosionsgefährlichen und den nicht explosionsgefährlichen Stoffen die Auflösbarkeit der explosiven Reaktion, d. h. die Empfindlichkeit der Stoffe, ist.

Die explosionsgefährlichen Stoffe und Stoffgemische werden häufig noch in die Explosivstoffe und die sonstigen explosionsgefährlichen Stoffe unterteilt. Explosivstoffe sind Stoffe, die mit dem Ziel der praktischen Ausnutzung des

explosiven oder pyrotechnischen Effektes hergestellt werden; die sonstigen explosionsgefährlichen Stoffe hingegen sind Stoffe, die in der chemischen Industrie als Ausgangsstoffe, Hilfsstoffe oder Endprodukte auftreten und bei denen die Eigenschaft der Explosionsgefährlichkeit eine durchaus unerwünschte Nebenerscheinung ist. Die Unterscheidung zwischen den Explosivstoffen und den sonstigen explosionsgefährlichen Stoffen ergibt sich also aus deren Verwendungszweck.

Aus dem Bild 2 läßt sich ersehen, daß die Explosivstoffe als Sprengstoffe, Treibmittel, Zünd- oder Anzündstoffe sowie als pyrotechnische Sätze Verwendung finden.

Zu den sonstigen explosionsgefährlichen Stoffen zählen verschiedene Nitroverbindungen, Salpetersäureester, organische Peroxide, Diazoverbindungen u. a. Der Anwendungsbereich dieser Stoffe ist aus dem Bild 2 abzulesen.

#### Vorschriften zur Regelung der Beförderung und Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe

Explosionsgefährliche Stoffe werden bereits seit über einhundert Jahren für die verschiedensten Zwecke industriell verwendet – erinnert sei in diesem Zusammenhang z. B. an das Nitroglycerin, die Nitrocellulose, die Pikrinsäure oder an das bereits im Altertum verwendete Schwarzpulver.

Die Kenntnis der Gefährlichkeit der explosiven Stoffe hat die verantwortlichen staatlichen Stellen bereits sehr früh zur Aufstellung technischer Regeln und Vorschriften über den Umgang mit diesen

Stoffen veranlaßt. Heute ist der gesamte Existenzbereich der explosionsgefährlichen Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland durch eine Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen, Unfallverhütungsvorschriften und Richtlinien umfassend geregelt; als Beispiele seien hier nur

das Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe – auch kurz Sprengstoffgesetz genannt – mit seinen Rechtsverordnungen,

das Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter mit seinen transportträgerspezifischen Verordnungen

oder

die Unfallverhütungsvorschriften der Reihe VBG 55 der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie mit einer Vielzahl zugehöriger Richtlinien

erwähnt.

Im Falle der Lagerung und Beförderung explosionsgefährlicher Stoffe ist festzustellen, daß zunächst nur Regelungen für die Explosivstoffe bestanden. Die Einbeziehung der sonstigen explosionsgefährlichen Stoffe in die Vorschriftenwerke ist in größerem Umfang erst seit etwa 25 Jahren in Angriff genommen worden und bis heute noch nicht vollständig abgeschlossen.

Die Bilder 3 und 4 vermitteln einen Überblick über die derzeit gültigen nationalen und internationalen Regelwerke für die Beförderung und Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe.

Alle diese Regelwerke enthalten die Sicherheit betreffende Vorschriften, deren Einhaltung eine Minimierung des mit der Beförderung und der Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe verbundenen Risikos für die Umwelt garantieren soll.

Die Vorschriften sind selbstverständlich einer ständigen Weiterentwicklung durch Berücksichtigung neuer Erkenntnisse der Sicherheitstechnik, neuer Entwicklungen im technischen Bereich und der Erfahrungen aus dem Unfallgeschehen unterworfen. An dieser Weiterentwicklung sind neben anderen Institutionen und der Industrie auch die Bundesanstalt für Materialprüfung bzw. ihre Vorgängerinstitutionen seit Bestehen der Vorschriften intensiv als sachverständig beratende Stelle beteiligt gewesen.

Es ist nun aber eine allgemeine Eigenart gesetzlicher Vorschriften, daß sie sich ausschließlich mit der Regelung des „Allgemeinfalles“, von dem angenommen wird, daß er die Mehrheit aller auftretenden Fälle abdeckt, befassen. Die Besonderheiten des Einzelfalles, die u. U. zu Abweichungen von den allgemeingültigen

Geltungsbereich	international	national
Allgemein	Empfehlungen der Vereinten Nationen über den Transport gefährlicher Güter	
Seeverkehr	IMDG-Code	Gefahrgutverordnung See
Schienerverkehr	Internationales Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn	Gefahrgutverordnung Eisenbahn
Straßenverkehr	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße	Gefahrgutverordnung Straße
Luftverkehr	IATA-Regulations/ ICAO-Code	
Binnenschiffsverkehr	ADNR (mit Einschränkungen)	
		Ergänzt durch spezielle Vorschriften der Bundesländer, Verkehrsträger und örtliche Stellen bzw. Hafenbehörden

Bild 3. Übersicht über die Vorschriften zur Regelung der Beförderung explosionsgefährlicher Stoffe.

gen Vorschriften berechtigen können, sind dementsprechend nicht im Regelwerk berücksichtigt, sondern bedürfen der speziellen Begutachtung durch Sachverständige.

### Sicherheitsbetrachtungen

Wie und nach welchen Kriterien hat man nun bei der Begutachtung des Einzelfalls vorzugehen? Prinzipiell bietet sich für eine solche Sicherheitsanalyse das Verfahren an, das in den letzten Jahren im Zusammenhang mit der sicherheitlichen Beurteilung technischer Systeme entwickelt wurde – gemeint ist die Risikoanalyse.

### Risikoberechnung

Grundlage einer Risikoanalyse ist die Risikoberechnung unter Verwendung einer sog. Risikofunktion, die für die Fälle der Beurteilung von Explosionsrisiken explosionsgefährlicher Stoffe folgende Form besitzt:

$$\text{Risiko} = \text{Risikostufe} \times \text{Schadenswahrscheinlichkeit} \times \text{Explosionswahrscheinlichkeit} \times \text{Expositionszeit}$$

Die Risikostufe hat den Charakter einer Dimension; sie beschreibt in Worten den zu erwartenden Schaden – z.B. Glasbruch, Zerstörung gemauerter Wände, Beschädigung von Straßenfahrzeugen, Gehörschaden beim Menschen oder Tod des Menschen.

Die restlichen drei Faktoren der Risikofunktion stellen den sog. Risikowert dar, der umgangssprachlich häufig auch mit dem Begriff „Risiko“ gleichgesetzt wird.

### Schadenswahrscheinlichkeit

Die Schadenswahrscheinlichkeit ist eine Funktion der Schädigungsparameter, als da sind:

- Luftstoßwelle
- Bodenerschütterungswelle oder Wasserstoßwelle
- Kraterbildung oder Wasserschwall
- Wärmestrahlung
- Splitterwurf
- Schwadentoxizität

Alle diese Parameter sind jeweils wiederum Funktionen, die von der Art und Menge des betrachteten explosionsgefährlichen Stoffes, aber auch von der „Widerstandsfähigkeit“ der betrachteten zu schützenden Objekte gegenüber der einwirkenden Schädigungsart abhängig sind.

Quantifizieren läßt sich die Schadenswahrscheinlichkeit bisher nicht. Der Grund dafür ist darin zu suchen, daß die einzelnen bestimmenden Funktionen noch nicht vollständig aufgeklärt sind. Ob dies in Zukunft in jedem Einzelfall überhaupt möglich sein wird, muß zumindest bezweifelt werden, da es eine nahezu unbegrenzte Vielfalt von möglichen Relationen zwischen dem schädigenden Effekt und dem geschädigten Objekt gibt. Hinzu kommt noch, daß die einzelnen Schädigungsarten nicht unabhängig voneinander wirksam werden, sondern der Gesamtschaden stets eine komplexe Kombination verschiedener Schädigungsarten darstellt.

Alle Zahlenangaben für Schadenswahrscheinlichkeiten müssen demzufolge mit einem unakzeptabel großen Unsicherheitsbereich behaftet sein.

### Explosionswahrscheinlichkeit

Der Risikofaktor Explosionswahrscheinlichkeit wird von der Empfindlichkeit des betrachteten explosionsgefährlichen Stoffes bestimmt und ist außerdem von der Art und Stärke der Beanspruchung abhängig.

Im Falle der Explosivstoffe muß deren Empfindlichkeit als vorgegeben und nur in einem sehr engen Rahmen veränderbar angesehen werden, weil die Verwen-

Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz (Sprengstofflagerverordnung)
Richtlinien des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung zur Sprengstofflagerverordnung
Richtlinien der Bergbehörden über die Lagerung von Sprengstoffen und Zündmitteln
Unfallverhütungsvorschriften der Reihe VBG 55 der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie
NATO Empfehlungen über die Lagerung von Sprengstoffen und Munition
Dienstvorschriften der Bundeswehr

Bild 4. Übersicht über Vorschriften zur Regelung der Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe.



Bild 5.  
Brandversuch mit 1250 kg  
einer Nitroverbindung in  
einem big bag; Versuchsauf-  
bau.

dung der Explosivstoffe nun einmal zwangsweise an eine relativ große Empfindlichkeit der Stoffe gebunden ist. Die Beanspruchung der Explosivstoffe bei Lagerung und Transport ergibt sich aus den Modalitäten dieser Umgangsarten. Eine Beeinflussung der Explosionswahrscheinlichkeit ist somit zwar durch Veränderung der äußeren Beanspruchung bei Lagerung und Transport in gewissen Grenzen möglich, jedoch ist sie, vor allem wegen der vorgegebenen Empfindlichkeit der Stoffe, nicht auf den Wert Null absenkbar.

Bei den sonstigen explosionsgefährlichen Stoffen liegen die Verhältnisse günstiger, weil die Empfindlichkeit dieser Stoffe fast immer ohne allzu große Umstände verringert werden kann – z. B. durch Inertisierung oder Phlegmatisierung.

Um die Explosionswahrscheinlichkeit zahlenmäßig erfaßbar zu machen, bedarf es unbedingt einer Quantifizierung der Empfindlichkeiten explosionsgefährlicher Stoffe.

Obwohl die Empfindlichkeiten der meisten explosionsgefährlichen Stoffe als bekannt angesehen werden können oder sich relativ leicht bestimmen lassen, ist es bisher trotzdem nicht möglich, die Empfindlichkeiten durch absolute Energiewerte zu quantifizieren. Dies liegt darin begründet, daß die Empfindlichkeiten bisher immer noch mit Verfahren bestimmt werden müssen, die nur zu Empfindlichkeitsangaben in Relativskalen führen.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Quantifizierung der Empfindlichkeiten besteht darin, daß diese wiederum komplexe Größen sind, die einerseits von der Art

und physikalischen Form der betrachteten explosionsgefährlichen Stoffe, der Art ihres Einschusses, der Art der Beanspruchung und andererseits vom Charakter der ausgelösten Reaktion – Detonation, Deflagration oder Abbrand – abhängig sind.

### Expositionszeit

Der einzig wirklich quantifizierbare Risikofaktor der vorgenannten Risikofunktion ist die Expositionszeit. Sie ergibt sich aus dem Quotienten der Zeit, in der eine potentielle Gefahr für ein betrachtetes Objekt besteht, dividiert durch die Gesamtzeit. Im Falle der Lagerung hat dieser Quotient stets den Wert eins, zumindest solange stationäre Verhältnisse vorausgesetzt werden. Beim Transport ist die Expositionszeit stets kleiner als eins, da ja jedes betrachtete Objekt nur solange als gefährdet angesehen zu werden braucht, als es sich im Einwirkungsbereich der möglichen Explosion befindet.

Faßt man das Vorstehende zusammen, so ergibt sich, daß eine Risikoberechnung für die Lagerung oder Beförderung explosionsgefährlicher Stoffe mit Hilfe der Risikofunktion derzeit nicht zu brauchbaren Erkenntnissen führt. Alle Versuche, die einzelnen Risikofaktoren durch drastische Vereinfachung der bestimmenden Parameter quantifizierbar zu machen, müssen zwangsläufig zu einer Vergrößerung der Unsicherheit der Endaussage führen, die die Gesamtaussage praktisch wertlos macht; im Gegenteil, es besteht sogar die Gefahr, daß die ermittelte Sicherheit der Lagerung oder Beförderung aufgrund ungenauer Risikofaktoren nur vorgetäuscht wird, obwohl in Wirklichkeit noch ein unakzeptabel hohes Risiko besteht.

Man ist also gezwungen, ein anderes Verfahren bei der Sicherheitsbetrachtung anzuwenden.

### Risikoabschätzung

Das Grundprinzip der sicherheitstechnischen Überlegungen im Zusammenhang mit den kondensierten explosionsgefährlichen Stoffen besteht in der Erkenntnis, daß, solange ein explosionsfähiges System vorliegt, dessen explosive Reaktion grundsätzlich nicht auszuschließen ist, d. h., es besteht in jedem Fall ein Restrisiko der Explosion.

Dieses Restrisiko führt zu einer Gefährdung der Umgebung eines explosionsgefährlichen Stoffes, die sich aus der zerstörenden Wirkung der Explosion auf die Objekte der Umgebung ergibt. Sollen nun die gefährdeten Objekte der Umgebung vor der zerstörenden Wirkung einer Explosion geschützt werden, so kann dies nicht nur durch die Verhinderung der Explosion selbst erreicht werden, son-



Bild 6. Brandversuch mit 1250 kg einer Nitroverbindung in einem big bag; Brandverlauf.

dern es können alle Maßnahmen, die zur Verringerung der Schäden in der Umgebung führen, zur Anwendung gelangen.

Diese Schutzprinzipien sollen in Anlehnung an die Begriffe des primären und sekundären Explosionsschutzes, die bereits seit einiger Zeit aus dem Bereich der Dampf-Luft- oder Staub-Luft-Explosionen her bekannt sind, bezogen auf die kondensierten explosionsgefährlichen Stoffe als Prinzipien des primären, sekundären, tertiären und quartären Explosionsschutzes bezeichnet werden. Es soll aber in diesem Zusammenhang ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es sich dabei nur um die Benutzung bekannter Ausdrücke für ähnliche Schutzprinzipien handelt; eine inhaltliche Gleichsetzung der Begriffe ist also nicht angestrebt.

### Primärer Explosionsschutz

Unter primärem Explosionsschutz sollen alle Maßnahmen verstanden werden, die am explosionsgefährlichen Stoff direkt angreifen und die dessen Empfindlichkeit gegenüber äußerer Beanspruchung sowie dessen explosive Wirkung verringern oder gar ganz ausschließen. Als solche Maßnahmen sind die Inertisierung oder die Phlegmatisierung seit langem sehr wohl bekannt. Obwohl sich diese Maßnahmen bevorzugt im Zusammenhang mit den sonstigen explosionsgefährlichen Stoffen anwenden lassen, kann das Prinzip des primären Explosionsschutzes in beschränktem Maße – aber immer noch in wirkungsvollem Umfang – auch bei den Explosivstoffen wirksam werden: erinnert sei in diesem Zusammenhang an die Entwicklung auf dem Gebiet der gewerblichen Sprengstoffe von Alfred Nobels Dynamit zu dem heute in größtem Maßstab verwendeten ANC-Sprengstoff oder Sprengschlamm.

Eine andere Möglichkeit der Anwendung der Prinzipien des primären Explosionsschutzes besteht in der physikalischen Veränderung des explosionsgefährlichen Stoffes, z. B. durch Änderung seiner Dichte. Vor einigen Jahren ist der erfolgreiche Versuch unternommen worden, einen an sich relativ empfindlichen Sprengstoff nur in besonders verdichteter und damit weitgehend unempfindlicher Form auf den Markt zu bringen. Bei der Verwendung des Sprengstoffes wurde dieser dann wieder auf eine einfache Weise in seine ursprüngliche, empfindliche Form zurückverwandelt. Durch diese Maßnahme des primären Explosionsschutzes wurde das Explosionsrisiko des Sprengstoffes bei seiner Lagerung und Beförderung ganz erheblich verringert.

Die Prinzipien des primären Explosionsschutzes haben vor wenigen Jahren auch bei der Entwicklung neuer nicht massenexplosionsfähiger elektrischer Spreng-

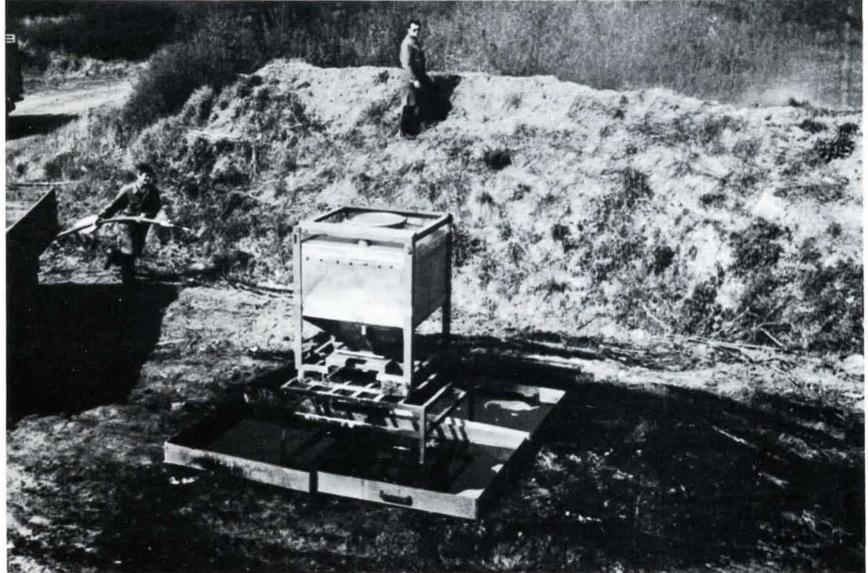


Bild 7. Brandversuch mit 580 kg einer Nitroverbindung in einem Metallcontainer; Versuchsaufbau.

zünder Pate gestanden. Durch eine relativ geringfügige konstruktive Umgestaltung des Innenaufbaus der früher üblichen massenexplosionsfähigen Momentzündler konnte die gefahrträchtige Wirkung der Zündmittel im Schadensfall drastisch verkleinert werden.

### Sekundärer Explosionsschutz

Unter dem sekundären Explosionsschutz sind alle Maßnahmen zu verstehen, die die äußere Beanspruchung der explosionsgefährlichen Stoffe auf das unbedingt notwendige Maß beschränken. Hierbei handelt es sich im allgemeinen um technische und organisatorische Maßnahmen der Gefahrenerkennung und -bekämpfung. Im Falle der Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe bestehen

sie z. B. in der Einhaltung von Zusammenlagerverboten, dem Fernhalten brennbarer Stoffe aus der Nähe der Läger, in Maßnahmen der frühzeitigen Branderkennung und Brandbekämpfung sowie im Einsatz von Förderzeugen, die eine möglichst geringe Beanspruchung der explosionsgefährlichen Stoffe bewirken. Weitgehend ähnliche Maßnahmen gelten auch für den Bereich der Beförderung, wobei zusätzlich noch die ausschließliche Verwendung speziell konstruierter Beförderungsmittel, die Einhaltung bestimmter Beförderungswege sowie eine sachgerechte Schulung des Beförderungspersonals beispielhaft zu nennen sind.

### Tertiärer Explosionsschutz

Der tertiäre Explosionsschutz setzt in der



Bild 8. Brandversuch mit 580 kg einer Nitroverbindung in einem Metallcontainer; Brandverlauf Phase I.



Bild 9.  
Brandversuch mit 580 kg  
einer Nitroverbindung in  
einem Metallcontainer;  
Brandverlauf Phase II.

unmittelbaren Umgebung des explosionsgefährlichen Stoffes an.

Es ist seit langem bekannt, daß die Wirkung der explosiven Reaktion eines explosionsgefährlichen Stoffes sehr stark von seinen Einschlußbedingungen abhängig ist.

Während viele explosionsgefährliche Stoffe in loser Schüttung bei z. B. thermischer Beanspruchung entzündet werden und dann relativ langsam abbrennen, können dieselben Stoffe, wenn sie sich unter Einschluß befinden, weit heftiger abbrennen oder gar explodieren.

Als Beispiel hierfür sollen einige Bilder (Bilder 5–9) von Abbrandversuchen mit einer explosionsgefährlichen Nitroverbindung dienen:

Im ersten Versuch wurden ca. 1250 kg der Nitroverbindung, die sich in einer leichten Verpackung, einem sog. „big bag“ befanden, einem Außenbrand ausgesetzt.

Die gesamte Stoffmenge verbrannte ohne besondere explosive Effekte in ca. 60 Minuten.

Im zweiten Versuch befanden sich ca. 580 kg derselben Nitroverbindung in einem relativ dünnwandigen, 1 m<sup>3</sup> großen, mit Spannringdeckel verschlossenen Metallcontainer.

Nach etwa elfminütiger Einwirkung des Außenbrandes wurde der Deckel des Metallcontainers abgeworfen, und die gesamte Substanzmenge verbrannte unter Ausbildung einer sehr großen Feuerwolke mit nachfolgender raketen-

strahlartiger Stichflamme innerhalb von nur einer Minute.

Dieses Beispiel zeigt sehr eindrucksvoll den Einfluß der Art des Einschlusses – im vorliegenden Fall der Verpackung – auf das Verhalten des explosionsgefährlichen Stoffes und somit auf seine Gefährlichkeit.

In ähnlicher Weise ist der Einfluß des Einschlusses der explosionsgefährlichen Stoffe durch die Art der Beförderungsmittel oder der Lagergebäude auf die Reaktions- und Wirkungsweise der Stoffe zu betrachten.

Das exakte Wissen über diese Einflußgrößen ist bisher noch recht lückenhaft. Aus diesem Grunde sind seit einigen Jahren weltweit intensive Untersuchungen zu diesem Thema in der Planung und Ausführung.

Einen Einblick in die Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung zu diesem Problembereich geben die folgenden kurzen Ausführungen.

Bei den derzeit in Gang befindlichen Untersuchungen handelt es sich um die Verfolgung des Druckaufbaus in einem Modell eines mit Druckentlastungsflächen unterschiedlicher Größe versehenen Lager- oder Betriebsgebäudes im Falle einer im Inneren des Gebäudes ablaufenden Explosion. Das Bild 10 zeigt einen solchen Modellversuch.

Die Versuche im verkleinerten Maßstab dienen der Ableitung von Modellgesetzen, deren Gültigkeit für die Praxis in vielen Fällen in Großversuchen unter Verwendung von Versuchseinrichtungen im Maßstab 1:1 überprüft werden müssen.

Die den erwähnten Modellversuchen entsprechenden Großversuche sind auf dem Versuchsgelände der Bundesanstalt für Materialprüfung in Lehre bei Braunschweig ausgeführt worden. Zwei Bilder sollen einen Eindruck von der Aufwendigkeit solcher Großversuche vermitteln. Das Bild 11 zeigt die Versuchsgebäude, die den in der Praxis verwendeten Arbeitsgebäuden nachgebildet sind. In Bild 12 ist ein Versuch im Moment der im Inneren des Gebäudes ablaufenden Explosion zu sehen.

#### Quartärer Explosionsschutz

Das Prinzip des quartären Explosionsschutzes beruht auf der Einhaltung von Mindestabständen zwischen dem Ort einer potentiellen Explosion und den zu schützenden Objekten in seiner Umgebung.

Diese rein defensive Art des Explosionsschutzes, die den explosionsgefährlichen Stoff aus der Betrachtung quasi ausschließt, d. h., die das Eintreten der Explosion als vorgegeben voraussetzt, ist eine seit langem im Zusammenhang mit den Explosivstoffen praktizierte Maßnahme.

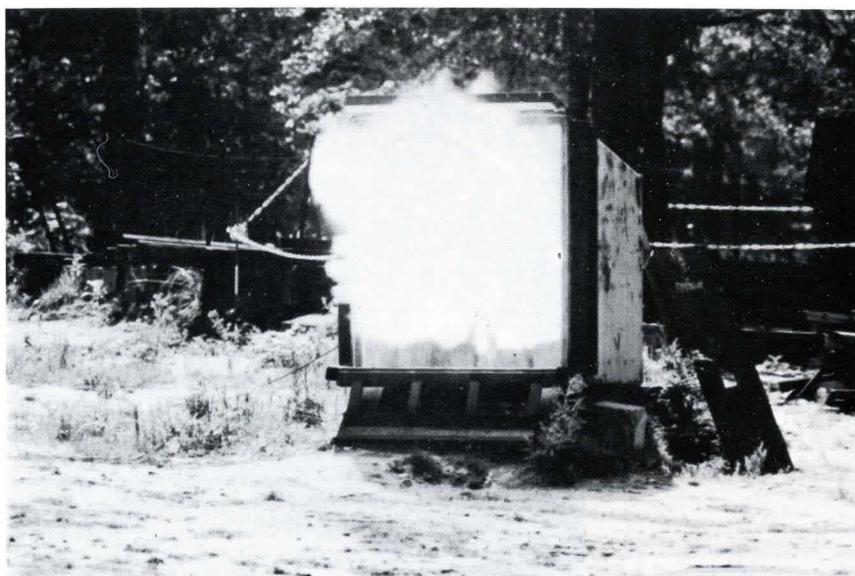


Bild 10. Schwarzpulverexplosion in einem 1 m<sup>3</sup> Stahlkasten.

Da die Wirkung der Explosion eines explosionsgefährlichen Stoffes durch das Auftreten von Stoßwellen, Wärmestrahlung und Splintern oder einer Kombination dieser Effekte charakterisiert ist, ist der Wirkungsbereich einer Explosion räumlich begrenzt.

Somit kann durch Einhaltung räumlicher Abstände zwischen dem Ort einer möglichen Explosion und besonders zu schützenden Objekten in seiner Umgebung ein totaler oder doch weitgehender Schutz der Objekte garantiert werden. Allerdings kann diese Art des Explosionsschutzes nicht verhindern, daß in der näheren Umgebung des Explosionsortes schwerste Schäden durch totale Zerstörung oder weitgehende Beschädigung auftreten.

Im Bild 13 sind die verschiedenen Arten des Explosionsschutzes mit ihren Charakteristiken aufgelistet.

Da die sicherheitstechnischen Wirksamkeiten der verschiedenen Arten des Explosionsschutzes, wenn auch nicht quantifizierbar, so doch wenigstens größenordnungsmäßig richtig erfaßbar sind, lassen sich die Einzelfälle unter Berücksichtigung der vorgegebenen Umstände – wie Art des explosionsgefährlichen Stoffes, seine Empfindlichkeit, seine Verpackung, die Bauart des verwendeten Beförderungsmittels bzw. Lagers, die Art der Behandlung des Stoffes während der Lagerung bzw. Beförderung, die vorhandenen Abstände zu den zu schützenden Objekten usw. – in einer Sicherheitsanalyse begutachten. Dem Sachverständigen steht außerdem unter Ausschöpfung der genannten Maßnahmen des Explosionsschutzes eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung, einen als sicherheitstechnisch nicht befriedigend gelösten erkannten Einzelfall in wünschenswerter Form positiv zu verändern.

### Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß

quantifizierte Risikoberechnungen im Bereich der Lagerung und der Beförderung explosionsgefährlicher Stoffe derzeit nur mit einem nicht akzeptabel großen Unsicherheitsbereich ange stellt werden können. Dadurch wird der Wert solcher „Sicherheitsanalysen“ nicht nur in Frage gestellt, sondern häufig sogar in das Gegenteil von Sicherheit verkehrt. Vermeintliche Sicherheit bedeutet aber stets auch eine besondere Gefahr, denn sie verleitet dazu, notwendige Maßnahmen des Explosionsschutzes u. U. erst gar nicht zu ergreifen oder getroffene Maßnahmen falsch zu wichten.

Eine vernünftige Sicherheitsbetrachtung unter Einbeziehung aller verfüg-



Bild 11. Versuchsgebäude auf dem Gelände Lehre.



Bild 12. Explosion von Feuerwerkssternen.

Explosionsschutzart	Charakteristik
Primärer Explosionsschutz	Beeinflussung der Empfindlichkeit und Wirkungsweise der explosionsgefährlichen Stoffe durch Inertisierung und chemische oder physikalische Phlegmatisierung
Sekundärer Explosionsschutz	Verminderung der Beanspruchung der explosionsgefährlichen Stoffe; Verkleinerung der Auslösewahrscheinlichkeit einer Explosion
Tertiärer Explosionsschutz	Beeinflussung der Empfindlichkeit und Wirksamkeit der explosionsgefährlichen Stoffe durch Veränderung seiner Einschlußbedingungen
Quartärer Explosionsschutz	Beschränkung der durch die Explosion explosionsgefährlicher Stoffe hervorgerufenen Schäden durch Einhaltung von Schutz- und Sicherheitsabständen

Bild 13. Explosionsschutzarten für kondensierte explosionsgefährliche Stoffe.

baren Kenntnisse auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik und des Explosionsschutzes sowie langjähriger Erfahrungen bei der sicherheitstechnischen Beurteilung von Verfahren der Herstellung, Be- und Verarbeitung, Lagerung, Beförderung und Verwendung von explosionsgefährlichen Stoffen garantiert derzeit bereits ein sehr hohes Maß an Sicherheit. Diese Aussage wird im übrigen auch durch das Unfallgeschehen eindeutig gestützt.

Aus dem Gesagten kann geschlußfolgert werden, daß nur solche Sicherheitsanalysen als sachlich begründet angesehen werden können, die ein Mindestmaß an Voraussetzungen erfüllen. Der den Ein-

zelfall begutachtende Sachverständige muß über umfangreiche Stoffkenntnisse sowie über umfassende Erfahrungen hinsichtlich der Reaktionsweise und Wirkung explosionsgefährlicher Stoffe verfügen. Des weiteren muß er die Einflußgrößen bzgl. der Empfindlichkeit und Wirkung in Art und Umfang möglichst genau kennen. Er muß außerdem in der Lage sein, sich sein Wissen durch speziell geplante und auf die Bedingungen des Einzelfalls abgestimmte Versuche – ggf. in Form von Großversuchen – zu vervollständigen.

Was gilt es in der Zukunft noch zu tun, um weiter verbesserte Sicherheitsanalysen erstellen zu können?

Die Stoffkenntnisse über explosions-

gefährliche Stoffe müssen systematisch erweitert werden.

Die Empfindlichkeiten der explosionsgefährlichen Stoffe müssen in Form von Absolutwerten der Auslöseenergien ermittelt werden.

Das Wissen über die Wirkung von Explosionen auf Objekte verschiedenster Art muß weiter vertieft werden.

Die vielfältigen und komplexen Beziehungen zwischen der Auslösung von Explosionen und deren Wirkung auf Gebäude, Menschen oder Einrichtungen des öffentlichen Lebens müssen ergründet und, soweit möglich, in mathematische Formeln überführt werden.

# Feuerschutztüren brauchen nicht unansehnlich zu sein

Erwin Knublauch

## Rechtslage

Bei zahlreichen Schadenfeuern hat sich immer wieder gezeigt, daß gerade die zum Funktionieren eines Gebäudes und zu seiner wirtschaftlichen Nutzung unbedingt erforderlichen Öffnungen in Wänden und Decken zur Brandausbreitung sehr beigetragen haben. Aus diesem Grunde ist es wichtig, daß schon bei der Planung auch den sogenannten Brandnebenwegen mindestens die gleiche Aufmerksamkeit gewidmet wird, wie den brandschutztechnisch wirksamen raumtrennenden Bauteilen.

Brandnebenwege sind alle Möglichkeiten, die ein Schadenfeuer oder von ihm erzeugter Rauch finden, um von einem Gebäudeabschnitt in den benachbarten zu gelangen, sei es über nicht ausreichend durch Feuerschutzabschlüsse gesicherte Wandöffnungen, über Lüftungsanlagen, Installationsschächte und -kanäle, über Fahrshächte oder Kabel- und Rohrdurchführungen.

Aufgrund bauaufsichtlicher Bestimmungen besitzen Feuerschutzabschlüsse – dies sind neben den ein- oder zweiflügligen Türen auch Schiebetüren und -tore, Hubtore und Rolltore – eine besondere Bedeutung. Sie sind z. B. überall dort zwingend vorgeschrieben,

wo betrieblich und nutzungsbedingt unvermeidbare Öffnungen in inneren

Brandwänden gesichert werden müssen. Solche Öffnungen ergeben sich zwingend z. B. in Krankenhausbauten, bei denen jeder Pflegebereich aus Gründen der Menschenrettung Zugang auch zu einem benachbarten Brandabschnitt haben muß, aber auch in ausgedehnten Verwaltungs-, Schul- oder Industriegebäuden wegen der vorgegebenen Maximalabstände von Brandwänden (z. B. alle 40 m),

wo Räume aneinander grenzen, von denen einer so genutzt wird, daß eine erhöhte Brand- oder Explosionsgefahr besteht. Hier kann man z. B. an Werkräume und Lagerräume denken, die an Verkaufs- und Ausstellungsräume grenzen,

wo Rettungswege, insbesondere Treppenräume, nicht unmittelbar ins Freie geführt werden (können), sondern in eine Eingangs- oder Empfangshalle oder in einen Pausenraum/ Versammlungsbereich münden. Alle anderen Zugänge in diese Halle, z. B. aus einem angrenzenden Ausstellungsraum, einem Erfrischungsraum, – außer den Türen ins Freie – müssen Feuerschutztüren erhalten,

wo brandgefährdete Räume gegen Flure und Treppenräume abgeschlossen werden müssen. Hier denke man nicht nur an die Keller- und Dachbodenzugänge, sondern auch an die Zugänge zu Übungs- und Praktikums-

räumen in Bildungsstätten, (Demonstrations-) Werkstätten, u. ä.

Die große öffentlich-rechtliche Bedeutung von Feuerschutzabschlüssen wird deutlich, wenn man den Aufwand für den erforderlichen Brauchbarkeitsnachweis betrachtet. Feuerschutzabschlüsse müssen

1. selbsttätig schließen,
2. hinsichtlich ihres Brandverhaltens die Anforderungen der DIN 4102 Teil 5 erfüllen und
3. konstruktiv so ausgebildet sein, daß sie diese Eigenschaften bei vernünftiger Handhabung und Pflege über längere Zeit beibehalten können.

Die Zusammenstellung zeigt, daß ein Prüfzeugnis über Prüfungen nach DIN 4102 Teil 5 allein keinen ausreichenden Brauchbarkeitsnachweis für Feuerschutzabschlüsse darstellen kann, sondern daß weitere Nachweise erforderlich sind, die im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erbracht werden müssen. (Eine Ausnahme von der Zulassungspflicht besteht z. Z. nur für die in DIN 18082 Teil 1 genormte T 30-1-Tür aus Stahl, wenn sie einer güteüberwachten Produktion entstammt.)

Als Bestätigung dafür, daß ein Feuerschutzabschluß von zugelassener Bauart ist und die Produktion güteüberwacht wird, muß er stets vom Hersteller mit einem (auch einen Brand überdauernden) Kennzeichnungsschild versehen