

# Anlagensicherheit bei der Herstellung und Lagerung von Explosivstoffen

Dr. Manfred Steidinger

## 1. Einleitung

Der Terminus „Explosivstoffe“, der substantiell die Sprengstoffe, Zünd- und Anzündmittel, Treibmittel, die Pyrotechnik und die gesamte Munition umfaßt, ist in der Öffentlichkeit im großen und ganzen negativ belegt. Bei den meisten Menschen verbinden sich mit dem Wort „Explosivstoff“ Begriffe wie Krieg, Terrorismus, Vernichtung, Zerstörung, Verlust von Menschenleben und Eigentum; erst in zweiter Linie werden Begriffe wie Arbeitsstoff, Bergbau, Arbeitserleichterung, Jagd und Sport oder gar Silvestervergnügen assoziiert.

Mit dem Terminus „Explosivstoff“ den Begriff „Sicherheit“ zu verbinden, fällt fast jedem schwer, zumal auch die Presse keine Gelegenheit ausläßt, die unterschwellig Angst- und Sorgegefühle der Öffentlichkeit zu schüren.

Kein Unfall in der Explosivstoffindustrie oder in den mit ihr verknüpften Bereichen ist unbedeutend genug, um nicht wenigstens von der lokalen Presse aufgegriffen und vermarktet zu werden, wobei das Gefühl der Leser, Seher oder Hörer „wir sind gerade noch einmal davongekommen“ bewußt oder unbewußt in Kauf genommen wird.

Sind nun diese Angst- und Sorgegefühle berechtigt? Sind Industrie und Behörden, Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet der Sicherheit von Explosivstoffen in der Vergangenheit untätig geblieben oder haben sie gar versagt? Diese Fragen sollen nachfolgend am Beispiel der Anlagensicherheit in Sprengstoffbetrieben beleuchtet und diskutiert werden.

## 2. Grundsätze der sicherheitstechnischen Beurteilung von Anlagen der Sprengstoffindustrie

Die Beurteilung der Sicherheit von industriellen Anlagen hat grundsätzlich alle denkbaren Gefahrenquellen dieser Anlagen für Menschen und Umwelt zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieses Beitrages sollen jedoch nur diejenigen Gefahren betrachtet werden, die für den behandelten

Industriezweig – nämlich die Sprengstoffindustrie – spezifisch sind, d. h. die sich von den explosiven Eigenschaften der Sprengstoffe herleiten. Alle anderen Gefahren, wie z. B. die Brandgefahr durch leichtentzündliche Stoffe, die Verätzungsgefahr durch Säuren oder Laugen, die Vergiftungsgefahr durch toxische Stoffe oder die Explosionsgefahr durch zündfähige Dampf/Luft-Gemische sind für den Bereich der Sprengstoffindustrie nicht anders zu bewerten, als dies auch in den übrigen Bereichen der chemischen Industrie geschieht.

Die Größe des Risikos eines Schadens ergibt sich ganz allgemein aus der Schadeneintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß. Die Schadeneintrittswahrscheinlichkeit hängt einerseits von stoffspezifischen Größen und andererseits von den betrieblichen Bedingungen in der Anlage ab. Das Schadensausmaß wird zum einen durch die Masse des den Schaden verursachenden Stoffes und zum anderen durch die Widerstandsfähigkeit der betroffenen Objekte gegenüber den zu betrachtenden Einwirkungen bestimmt.

Für den Bereich der Sprengstoffindustrie bedeutet dies, daß sich die Explosionseintrittswahrscheinlichkeit aus der Empfindlichkeit der Sprengstoffe gegenüber äußeren Beanspruchungen und aus der Stärke der durch die Verfahrensbedingungen und die verwendeten Apparate, Maschinen und Geräte charakterisierten Beanspruchung ergibt. Es ist in diesem Zusammenhang selbstverständlich, daß die Explosionseintrittswahrscheinlichkeit um so geringer ist, je unempfindlicher die Sprengstoffe sind und je kleiner deren Beanspruchung ist. Andererseits ist das Schadensausmaß umso größer, je mehr Sprengstoff in die Explosion verwickelt ist und je weniger widerstandsfähig die betrachteten Objekte in der Umgebung des Explosionsortes gegenüber den Einwirkungen einer Explosion sind. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, daß die Schadenswirkungen von Explosionen entsprechend ihrer naturwissenschaftlichen Geetzmäßigkeiten räumlich begrenzt sind, d. h., daß die Explosionswirkungen mit zunehmendem Abstand vom Explosionsort bis auf einen Wert Null abnehmen.

Dies bedeutet, daß das Schadensausmaß von Explosionen nicht nur von der Masse der explodierenden Stoffe und der Widerstandsfähigkeit der betrachteten

Objekte, sondern auch noch von deren Abstand vom Explosionsort bestimmt wird. Keiner zusätzlichen Erläuterung bedarf die Schlußfolgerung, daß das Schadensrisiko für ein Objekt in der Nähe eines potentiellen Explosionsortes um so kleiner ist, je kleiner die Explosionseintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß sind. Das wichtigste Grundprinzip bei der sicherheitstechnischen Beurteilung von Anlagen der Sprengstoffindustrie besteht darin, daß grundsätzlich von der Erkenntnis ausgegangen wird, daß sich Explosionsunfälle, selbst bei Beachtung aller diesbezüglicher Vorschriften zur Verhinderung von Unfällen, nicht mit letzter Sicherheit ausschließen lassen, d. h., daß sich die Explosionseintrittswahrscheinlichkeit nicht auf den Wert Null absenken läßt. Da aber andererseits das Schadensausmaß im Falle von Explosionen zumindest in der unmittelbaren Umgebung des Explosionsortes unvertretbar groß ist, werden in der Sprengstoffindustrie schon seit jeher die Maßnahmen zur Unfallverhütung durch die Maßnahmen zur Begrenzung der Unfallfolgen ergänzt.

Diesem Grundprinzip folgen auch die Herstellung, Be- und Verarbeitung, Wiedergewinnung, Vernichtung und Lagerung von Sprengstoffen regelnden Vorschriften, wie das Sprengstoffgesetz, die Sprengstoff-Lagerverordnung und -richtlinien und die Unfallverhütungsvorschriften. Die Explosionseintrittswahrscheinlichkeit wird durch die Bestimmungen, die definierte Mindestanforderungen an die verwendeten Verfahrensapparaturen und Maschinen und die Qualität des Bedienungspersonals stellen, sowie durch die Festlegung von Verhaltensregeln beim Betrieb der Anlagen minimiert. Die Vorschriften über die Bauweisen der Anlagen und Betriebsgebäude sowie die Einhaltung von Schutz- und Sicherheitsabständen dienen dem Bestreben, das Schadensausmaß so klein wie möglich zu halten.

Das Prinzip der doppelten Sicherheitsmaßnahmen bewirkt, daß einerseits der Eintritt von Explosionsunfällen in Anlagen der Sprengstoffindustrie möglichst unwahrscheinlich gemacht wird, und daß andererseits, wenn es trotz dieser Maßnahmen doch zu einer Explosion in den Anlagen kommt, der Schaden in der Umgebung räumlich begrenzt und auf ein vertretbares Maß reduziert bleibt.



Damit erfüllen die Anlagen der Sprengstoffindustrie, bei Beachtung der Bestimmungen des Sprengstoffgesetzes, der davon abgeleiteten Rechtsvorschriften sowie der Unfallverhütungsvorschriften, zumindest im Hinblick auf die Explosionsgefahren, der grundsätzlichen Forderung der Allgemeinheit nach einem möglichst hohen Sicherheitsstandard.

Die Maßnahmen des der Verringerung des Schadensrisikos dienenden Explosionsschutzes lassen sich für die Betriebe der Sprengstoffindustrie in vier Gruppen einteilen, die nachfolgend erläutert werden und die der Verfasser mit dem Begriff der Maßnahmen des primären, sekundären, tertiären und quartären Explosionsschutzes bezeichnet.

## a) Primärer Explosionsschutz

Unter den Maßnahmen des primären Explosionsschutzes werden solche zusammengefaßt, die am Sprengstoff direkt angreifen und dessen Empfindlichkeit gegenüber äußeren Beanspruchungen sowie seine Wirkung verringern oder gar ausschließen. Als solche Maßnahmen sind die Verdünnung, Inertisierung oder Phlegmatisierung seit langem bekannt und in Gebrauch.

Es liegt aber in der Natur der Sache begründet, daß diese Schutzmaßnahmen, zumindest im Falle der gebrauchsfertigen Sprengstoffe, nur eine sehr einschränkende Bedeutung haben können, denn Sprengstoffe werden schließlich nur wegen ihrer explosiven Eigenschaften hergestellt. Hierbei ist aber auch zu berücksichtigen, daß eine unmittelbare Wechselbeziehung zwischen der Empfindlichkeit der Sprengstoffe und ihrer Wirkung nicht besteht. Die Entwicklung relativ unempfindlicher gewerblicher Sprengstoffe, wie die sog. ANC- und Emulsions-Sprengstoffe, hat diese Tatsache unter Beweis gestellt.

Für den Bereich der Herstellung und Bearbeitung der einheitlichen Sekundärsprengstoffe können die Maßnahmen des primären Explosionsschutzes jedoch eine wesentlich größere Bedeutung haben. So kann durch entsprechende Auswahl der Verfahrensbedingungen die Empfindlichkeit der jeweils vorliegenden Stoffe oder Stoffgemische gegenüber den auftretenden Beanspruchungen durch Verdünnen oder Phlegmatisieren u. U. deutlich herabgesetzt werden.

## b) sekundärer Explosionsschutz

Zu den Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes zählen diejenigen,

die auf eine Verringerung der Beanspruchung der Sprengstoffe abzielen. Die sicherheitstechnische Bewertung dieser Maßnahmen kann aber nur im Einzelfall unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des dabei vorliegenden Sprengstoffes erfolgen.

Leider sind die möglichen Beanspruchungen der Sprengstoffe während des Umgangs nur in den seltensten Fällen nach Art und Stärke genau bekannt. Außerdem sind die für die Sprengstoffe nach speziellen Prüfverfahren ermittelten Empfindlichkeitsdaten nicht geeignet, um sie mit den Werten der möglichen Beanspruchungen in direkte Beziehung zu setzen. Aus diesen Gründen ist man bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes gezwungen, einen indirekten Vergleich des Verhaltens des fraglichen Stoffes mit demjenigen eines bekannten Stoffes unter gleichen oder doch sehr ähnlichen Verfahrensbedingungen anzustellen, oder es muß das Verhalten des Stoffes unter möglichst ähnlichen Verfahrensbedingungen bekannt sein und zum Vergleich herangezogen werden.

Dies bedeutet, daß sich die sicherheitstechnische Beurteilung von Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes objektiven Gesetzmäßigkeiten weitgehend entzieht. Sie ist vielmehr nur im Einzelfall auf der Grundlage ausgedehnter Erfahrungen auf dem Gebiet der Sprengstoffe und der Sprengstofftechnologie – wie sie z. B. in der Sprengstoffindustrie vorhanden sind – möglich.

## c) Tertiärer Explosionsschutz

Die Maßnahmen des tertiären Explosionsschutzes betreffen die nähere Umgebung der Sprengstoffe, d. h. die Bauweise der Gebäude und Anlagen, in denen sich bestimmungsgemäß Sprengstoffe befinden. Es wäre denkbar, nur solche Bauweisen für die Gebäude und Anlagen der Sprengstoffindustrie zu verwenden, die eine Explosion in ihrem Innern unbeschadet überstehen. In diesem Falle würde der Schaden einer Explosion ausschließlich auf das Gebäude oder die Anlage selbst beschränkt bleiben.

Eine überschlägige Abschätzung der Explosionswirkungen in der unmittelbaren Umgebung eines Explosionsortes zeigt jedoch, daß eine derartige „Einkapselung“ der Gebäude und Anlagen nur dann technisch realisierbar ist, wenn die explodierende Sprengstoffmasse relativ klein ist, d. h. im kg-Maßstab liegt.

Ähnlich liegen die Verhältnisse im Falle der „Einkapselung“ von Maschinen oder Apparaten. In der jüngeren Ver-

gangenheit sind in den USA sog. „suppressive shields“ entwickelt worden, die das Auftreten gefährlicher Explosionswirkungen außerhalb der Einrichtungen sicher verhindern. Die Konstruktion derartiger Einrichtungen ist jedoch so aufwendig, daß ihr Einsatz nur in sehr speziellen Fällen der Sprengstoffproduktion sinnvoll erscheint.

Im allgemeinen werden die Betriebsgebäude in der Sprengstoffindustrie in sog. „schwerer Bauweise“ errichtet. Das bedeutet, daß die Gebäude entweder erdüberdeckt sind oder aber in „Skelettbauweise“ mit schwerer Decke ausgeführt und vollständig umwallt werden. Diese Bauweise hat sich in der Vergangenheit in zahlreichen Fällen bewährt.

Bei einer Explosion im Innern dieser Gebäude werden diese weitestgehend zerstört. Diese Zerstörung bewirkt einerseits eine Verringerung der außerhalb des Gebäudes auftretenden Druckstoßwirkung, wobei andererseits jedoch mit einer gleichzeitigen Zunahme der Gefährdung durch Wurfstücke zu rechnen ist. Dieser Gefährdung wird aber durch die Umwallung entgegengewirkt.

Die schwere Bauweise der Betriebsgebäude hat sich aber auch im Hinblick auf ihre Schutzfunktion gegenüber der Einwirkung von Explosionen in benachbarten Gebäuden und Anlagen bewährt, sofern die Beanspruchungen im zulässigen Rahmen lagen.

Eine Mittelstellung zwischen der schweren und der sog. „Überlebensbauweise“ nimmt die Ausblasebauweise mit Widerstandswänden ein. Tritt in einem Gebäude solcher Bauart eine Explosion ein, so werden die Explosionswirkungen in die Ausblaserichtung abgelenkt, während hinter den Widerstandswänden keine oder nur sehr geringe Schadenswirkungen zu verzeichnen sind. Durch die Fokussierung der Explosionswirkungen in Ausblaserichtung kommt es vor den Ausblaseflächen der Gebäude zu einer beträchtlich gesteigerten Schadenswirkung.

Die hier angesprochene Bauweise ist durch die Vorschriften für alle diejenigen Gebäude der Sprengstoffindustrie verbindlich vorgeschrieben, in denen Arbeitsgänge ablaufen, in deren Verlauf eine Explosion nicht mit der notwendigen Sicherheit ausgeschlossen werden kann, wie z. B. beim Mahlen oder Pressen einheitlicher Sprengstoffe. Ihre Anwendung wird überall dort empfohlen, wo das Bedienungspersonal einer Anlage vor möglichen Explosionsgefahren in der Anlage geschützt werden muß. Die Widerstandsfähigkeit von Gebäuden gegenüber inneren oder äußeren Beanspruchungen durch Explosionen ist in vielen Fällen zumindest näherungsweise berechenbar. Auf die Gesetzmäßigkeiten, die den Berechnungen zugrunde zu legen sind, kann hier aus Platzgründen nicht näher eingegangen werden.



## d) Quartärer Explosionsschutz

Das Prinzip des quartären Explosionsschutzes beruht auf der Einhaltung von vorgeschriebenen Abständen zwischen den Orten möglicher Explosionen und Objekten in deren Umgebung. Dieses rein defensive Schutzprinzip hat auf die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Explosion keinerlei Einfluß, sondern dient ausschließlich der Begrenzung der auf die zu schützenden Objekte einwirkenden Beanspruchungen.

Die Absolutgröße der einzuhaltenen Abstände richtet sich nach dem Grad der Schutzbedürftigkeit der betroffenen Objekte (Akzeptoren). Sie ist von der Stärke der explosiven Beanspruchungen, d. h. von der Masse der gleichzeitig explodierenden Stoffe und von der durch die Bauweise charakterisierten Widerstandsfähigkeit der Akzeptoren abhängig. Weil aber die Stärke der von einem Explosionsort (Donator) ausgehenden Wirkungen auch durch die Schutzeinrichtungen am Donator selbst abhängig ist, beeinflussen diese zusätzlich die auftretenden Beanspruchungen.

Da außerbetriebliche Wohngebäude eine deutlich geringere Widerstandsfähigkeit aufweisen als innerbetriebliche Arbeitsgebäude, deren Bauweise den zu erwartenden Beanspruchungen entsprechend ausgelegt ist, sind die zu Wohnbereichen einzuhaltenen Schutzabstände grundsätzlich erheblich größer als die innerbetrieblich zu beachtenden Sicherheitsabstände. Die größeren Schutzabstände tragen im übrigen auch dem höheren Grad an Schutzbedürftigkeit der Wohngebäude Rechnung.

*Dr. Manfred Steidinger  
Bundesanstalt für Materialforschung  
und -prüfung (BAM),  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45*

Die Kunst der sicherheitstechnischen Beurteilung von Anlagen der Sprengstoffindustrie besteht darin, die geschilderten Maßnahmen des Explosionsschutzes zu einem einheitlichen Sicherheitskonzept zu kombinieren, um das angestrebte Ziel der Minimierung der Explosioneintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes zu erreichen.

So sind nach Möglichkeit

- nur solche Stoffe oder Gemische zu be- oder verarbeiten, die eine geringe oder gar keine mechanische oder thermische Empfindlichkeit gegenüber den zu erwartenden Beanspruchungen aufweisen.
- Die eingesetzten Maschinen, Apparate und Geräte dürfen – bezogen auf ihren Stoffinhalt – nur geringe mechanische oder thermische Beanspruchungen ausüben können.
- Die Bauweise der Arbeitsgebäude ist so zu wählen, daß sie den zu erwartenden inneren und äußeren Beanspruchungen standhalten oder doch wenigstens einen erheblichen Widerstand entgegensetzen.
- Die Arbeitsverfahren sind so zu gestalten, daß möglichst kleine Teilmengen explosiver Stoffe an einer Stelle vorliegen. Diese Teilmengen sind so weit und derart räumlich voneinander zu trennen, daß eine Explosionsübertragung von Teilmenge auf Teilmenge ausgeschlossen ist.
- Die Arbeitskräfte sind – soweit dies das Arbeitsverfahren zuläßt – aus der unmittelbaren Umgebung der Explosivstoffe fernzuhalten, oder aber die Arbeitsplätze sind in besonders geschützten Gebäuden oder Räumen einzurichten.
- Zu den zu schützenden Objekten der Öffentlichkeit müssen die Anlagen der Sprengstoffindustrie die gesetzlich vorgeschriebenen Mindest-Schutzabstände einhalten.

Werden diese Vorgaben und Zielvorstellungen in jedem Einzelfall in sachlich richtiger und vernünftiger Weise berücksichtigt, so ist das verbleibende Restrisiko für Personen und Sachen auf ein zulässiges und akzeptables Maß reduziert.

## 3. Schlußbetrachtung

Die in den vergangenen ca. 100 Jahren durchgeführten Untersuchungen und Forschungen zur Aufklärung der naturwissenschaftlichen Zusammenhänge in Beziehung auf die Empfindlichkeit der Explosivstoffe und deren Wirkungen, die Umsetzung dieser Erfahrungen und der wissenschaftlichen Erkenntnisse in vollziehbare Vorschriften und die intensive und laufende Überwachung der Einhaltung der Vorschriften durch Behörden und Arbeitsschutzinstitutionen haben zu einem hohen Sicherheitsstandard in der Explosivstoffindustrie geführt.

Diese Aussage ist auch statistisch belegbar:

- In den vergangenen 50 Jahren sind keine Personen in der Öffentlichkeit durch Explosionen in Anlagen der Explosivstoffindustrie zu Schaden gekommen.
- Die Zahl der leichten, aber auch der schweren Personenschäden im Bereich der Beschäftigten der Explosivstoffindustrie liegt im langjährigen Mittel bei einer Größe, die der gesamten chemischen Industrie entspricht. Dies bedeutet, daß im Zeitraum der letzten 10 Jahre keine in der Explosivstoffindustrie beschäftigte Person statistisch einem höheren Unfallrisiko ausgesetzt war, als z. B. ein Arbeitnehmer im Bereich der Herstellung von Seife und Waschmitteln oder im Bereich der Herstellung von Kunststoffherzeugnissen.

Dieses pauschale Ergebnis soll genügen, um zu zeigen, daß alle für die öffentliche und für die Arbeitssicherheit Verantwortung tragenden Institutionen der Industrie, der Forschung, der Behörden, der Arbeitsschutzinstitute und der Berufsgenossenschaften eine vorbildliche und erfolgreiche Arbeit geleistet haben. Es ist jedoch auch ausdrücklich zu betonen, daß der hohe Sicherheitsstandard in der Explosivstoffindustrie nur dann gehalten oder noch weiter verbessert werden kann, wenn auch in Zukunft mit gleicher Aktivität und Intensität an den immer noch zu lösenden Problemen weitergearbeitet wird.

## Hier sehen Sie FUNKI, die Symbolfigur zur Brandschutzerziehung

