

Aspekte der Sicherheit bei der Planung chemischer Anlagen und Laboratorien*

Von WALTER LOOSE

J. R. Geigy AG, Basel

Der im folgenden behandelte Problemkreis läßt sich in vier Themen unterteilen:

1. die spezifischen Gefahrenmomente chemischer Anlagen,
2. die Wirkungsrichtung der Ereignisse,
3. der Wirkungsbereich und die Ausbreitung eines Ereignisses,
4. die Anlageplanung vom Aspekt der Sicherheit.

Bei allen Überlegungen, die bei der Planung chemischer Anlagen gemacht werden, ist es unsere höchste Pflicht, den Menschen vor Schaden zu schützen, und erst in zweiter Linie, an den Schutz der Anlagen zu denken. Die Ausführungen gelten ausschließlich den Anlagen der traditionellen chemischen Industrie und nicht den speziellen Problemen der Sprengstoffindustrie und der Kernindustrie (Strahlenschutz). Sie sind ferner beschränkt auf die spezifischen Gefahren der chemischen Anlagen und behandeln nicht die Probleme des Transportes, des Güterumschlages usw.

1. Die spezifischen Gefahrenmomente der chemischen Anlagen

Die spezifischen Gefahrenmomente chemischer Anlagen umfassen alle Einwirkungen der chemischen Produkte auf den Menschen und auf die Apparaturen. Diese Einwirkung kann eine direkte oder eine indirekte sein. Bei der direkten Einwirkung wird der Mensch durch das Produkt zufolge seiner Toxizität unmittelbar in seiner Gesundheit geschädigt. Auf die sich hieraus ergebenden Sicherheitsmaßnahmen kann im vorliegenden Rahmen nicht eingegangen werden, obwohl sie bei der Planung chemischer Anlagen in mannigfachster Weise ebenfalls zu berücksichtigen sind, z. B. bei der Prozeßführung und Lagerung der Produkte in geschlossenen Apparaturen und Behältern, bei der Einrichtung wirksamer Lüftun-

gen bei Anlagen, bei denen die geschlossene Arbeitsweise nicht vollständig durchgeführt werden kann, usw.

Bei den indirekten Einwirkungen wird der Mensch durch sekundäre Folgen der Produkte in Mitleidenschaft gezogen. Solche indirekte Einwirkungen sind z. B.

- die langsame Einwirkung der Produkte auf die Anlagen, also die Korrosion, welche die Gefahr des Einsturzes von Konstruktionen oder des Berstens von Anlageteilen in sich birgt;
- die speziellen Zustandsformen der Produkte, wie etwa unter Druck verflüssigte Gase, welche bei Wärmeeinwirkung zum Bersten von Behältern führen können;
- die Zersetzung chemischer Produkte, welche ebenfalls mit Berstgefahr von Behältern verbunden sein kann (z. B. spontane Polymerisationsexplosion von Äthylenoxyd);
- das Verhalten chemischer Produkte mit den Umgebungsmitteln Luft und Wasser, z. B.
 - die Bildung explosionsfähiger Gas- oder Dampf-Luft-Gemische,
 - die Abspaltung von Wasserstoff bei der Einwirkung von Wasser auf Natrium;
- das Verhalten der chemischen Produkte in Reaktion; insbesondere bei exothermen Reaktionen, welche einen raschen Temperatur- und Druckanstieg und damit ebenfalls eine Berstgefahr von Reaktionsbehältern zur Folge haben können.

Jede Anlage ist primär so zu konzipieren, daß sie die ihr zuge dachte Aufgabe *im normalen Prozeßablauf* erfüllen kann. Bei der Wahl der Verfahren und Anlagen ist diese Forderung weitestgehend zu beachten und dafür zu sorgen, daß keine *abnormalen Ereignisse* eintreten. Die mannigfachsten Zufälle, verbunden mit der menschlichen Unzulänglichkeit, werden uns aber vor solchen abnormalen Ereignissen niemals verschonen. Aufgabe einer seriösen Anlageplanung ist es nun, zu verhüten, daß solche *Ereignisse zu Unglücken* und zu *Katastrophen* führen.

* Vorgetragen am Symposium über Sicherheit in der chemischen Industrie, veranstaltet durch den Schweizerischen Chemiker-Verband am 6. Februar 1965 in Basel.

2. Die Wirkungsrichtung der Ereignisse

Wenn wir die im ersten Abschnitt aufgezählten, für die chemische Industrie spezifischen Gefahrenmomente näher betrachten, so können wir vier typische Ereignisse unterscheiden, und zwar:

- die Ausbreitung und Verteilung von giftigen oder brennbaren Gasen und Dämpfen als Folge von Undichtheit, oder Bersten von Lagerbehältern, von Reaktionsapparaturen oder von Teilinstallationen solcher Anlagen;
- der Brand, als Folge der Zündung fester oder ausgeleiteter flüssiger Produkte;
- die Verpuffung, als Folge der Zündung von explosionsfähigen Dampf- oder Gas-Luft-Gemischen. Die Verpuffungsgefahr besteht insbesondere beim Ausströmen von brennbaren Dämpfen aus Druckbehältern oder Reaktionsapparaturen sowie beim Ausfließen von brennbaren Flüssigkeiten mit Temperaturen über dem Flammpunkt;
- die Explosion, als Folge des Berstens von Behältern oder Reaktionsapparaten bei Drucksteigerungen über den Berstdruck des Apparates.

Die einzelnen Ereignisse sind in bezug auf ihren Wirkungsbereich, wie die folgenden Abschnitte zeigen, recht unterschiedlich.

2.1 Die Ausbreitung von Gasen und Dämpfen

Weitaus die meisten der in der chemischen Industrie verarbeiteten Gase und Dämpfe sind schwerer als Luft, doch gibt es auch hier Ausnahmen, wie Wasserstoff H_2 mit einem Mol-Gewicht von 2, Methan mit einem Mol-Gewicht von 16, Ammoniak mit einem Mol-Gewicht von 17, u. a. m. Im allgemeinen werden sich also Gase und Dämpfe über größere Gebiete direkt über dem Boden in die Fläche verteilen, und sie werden sich insbesondere in Bodenvertiefungen und Kellern ansammeln. In kleinen Räumen wird dies weniger ausgeprägt sein als über größere Gebiete (Teile des Werkes oder dessen Umge-

bung). Im letzteren Falle werden die momentanen Witterungsverhältnisse (Wind) auch mitspielen. Die Wirkungsrichtung ist also vorwiegend horizontal über die Fläche, der Wirkungsbereich hängt im wesentlichen von der ausströmenden Menge ab (Abb. 1). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist im Vergleich zur möglichen Fluchtgeschwindigkeit von Menschen relativ langsam bis mittelschnell. Bei genügend rascher Alarmierung der Belegschaft wird diese in der Regel flüchten können. Kritischer werden die Verhältnisse, wenn eine rasche Alarmierung der Personen in umliegenden, dicht besiedelten Gebieten nicht gewährleistet werden kann.

In geschlossenen Räumen (Fabrikationsbauten) wird sich eine Ausbreitung auf die umliegenden Gebiete auch erheblich verzögern lassen, sofern das Gebäude nicht durch andere Ereignisse bereits Schaden erlitten hat.

2.2 Der Brand

Ein wesentliches Merkmal des Brandes ist dessen rasche Ausbreitung nach oben, bedingt durch den starken Auftrieb der heißen Luft und Verbrennungsgase. Immerhin müssen wir auch mit einer langsameren Ausbreitung in horizontaler Richtung und nach unten rechnen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit nach diesen Richtungen kann durch ausfließende brennbare Flüssigkeiten unter Umständen stark beschleunigt werden.

Sofern ein Gebäude aus brennbarem Material (Holz) besteht, kann eine Ausbreitung nach allen Richtungen rasch um sich greifen. Diesen Fall dürfen wir aber für moderne Anlagen der chemischen Industrie wohl ausschließen. Dazu kann die Eindämmung eines Brandes in der Fläche mit relativ einfachen Mitteln (Brandmauern, Brandabschnitten) erreicht werden.

Im allgemeinen dürfen wir annehmen, daß die Wirkungsrichtung eines Brandes vorwiegend senkrecht nach oben weisen wird (Abb. 1). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Brandes wird mittel bis schnell sein. Man kann daher annehmen, daß bei Bestehen genügender Fluchtmöglichkeiten die sich im Raume aufhaltenden Personen flüchten können.

2.3 Die Verpuffung

Eine Verpuffung (Raumexplosion) tritt dann ein, wenn brennbare Gase oder Dämpfe ausströmen und sich nach Durchmischung mit der Raumluft entzünden. In der Regel, besonders bei größeren Räumen, werden diese nur zu einem kleinen Teil mit explosionsfähigen Gemischen erfüllt. Die Gemische sind ja auch nur in einem beschränkten Konzentrationsbereich (Explosionsbereich) zündfähig. Wir werden es vielmehr in der Regel mit explosionsfähigen Schwaden, welche die Räume partiell durchschweben, zu tun haben.

Die Wirkungsrichtungen einer Verpuffung sind allseitig, also räumlich, und die Wirkung selbst kommt durch eine den Raum durchdringende Druckwelle zum

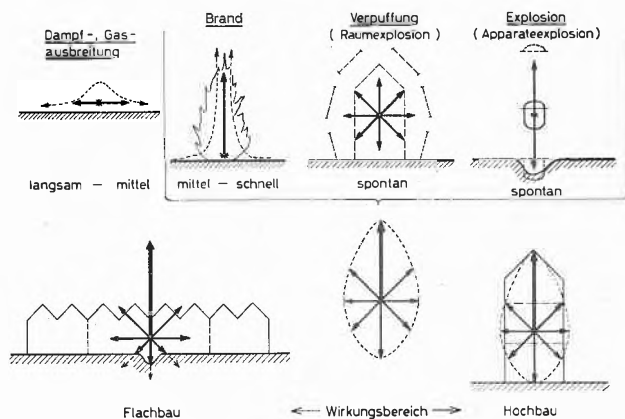


Abb. 1. Wirkungsbereich des Ereignisses

Ausdruck (Abb. 1). Solange diese Druckwelle genügend Expansionsmöglichkeit hat, wird sie kaum größeren Schaden an Anlagen anrichten können. Die sich im eigentlichen Verbrennungsbereich der Verpuffung aufhaltenden Personen werden allerdings stark in Mitleidenschaft gezogen. Im allgemeinen erleiden sie Verbrennungen, die zum Tode führen.

Das Vorhandensein explosionsfähiger Schwaden wird von der Belegschaft durch Geruchsempfindung meistens rasch wahrgenommen, so daß sich bei Verpuffungen selten Personen direkt in der Verbrennungszone aufhalten. Wenn die Zündung der Schwaden stattfindet, dann schreitet die Verpuffung spontan fort, so daß von diesem Moment an eine Flucht nur noch nach der Verpuffung möglich ist. Besonders gefährlich können sich Verpuffungen in geschlossenen, durch widerstandsfähige Wände verdämmten Räumen auswirken.

2.4 Die Explosion

Unter Explosion ist das spontane Bersten von Behältern und Reaktionsapparaturen zufolge Druckanstiegs über den Berstdruck zu verstehen. Derartige Druckanstiege können in Reaktionsbehältern bei exothermen Reaktionen unter Umständen sehr rasch erfolgen, so daß eine wirksame Entlastung in Frage gestellt sein kann.



Abb. 2. Kesselabblasversuche mit Berstplatten

Um über die Entlastungsmöglichkeiten von Reaktionsbehältern Aufschluß zu erhalten, sind ausgedehnte Versuche durchgeführt worden (Abb. 2). Ein 1500-Liter-Behälter wurde mit einer Berstplatte von 150 mm Durchmesser und einem Berstdruck von 3 atü ausgerüstet. Das Druckentlastungsrohr führte unter 45° nach oben geneigt ins Freie. Der Behälter wurde mit Wasser unter Zusatz eines Schäumungsmittels gefüllt und bis zum Berstdruck der Berstplatte aufgeheizt. Die Entlastung von 3 atü auf Normaldruck dauerte über eine Minute, wobei der gesamte Behälterinhalt von 1500 Liter durch das Entlastungsrohr auf ein Gebiet von etwa 2000 bis 3000 m² ausgespien wurde. Ungeachtet der sehr langen Entlastungszeit ist an die Katastrophe zu denken, die eintreten kann, wenn eine solche Berstscheibe z. B. unter dem Einfluß der Alterung schon bei normalem Reak-

tionsdruck bricht und einige tausend Liter brennbare Flüssigkeit ein Fabrikareal von etwa 50 auf 50 m in ein brennbares Flammenmeer einhüllen. Damit ist der Berstplatte keineswegs die Berechtigung zum Schutze von Druckbehältern abgesprochen. Bei ihrem Einsatz müssen aber die Wirkung einerseits und die eventuellen Folgen andererseits überprüft werden.

Grundsätzlich kann sich eine Apparateexplosion ähnlich wie eine Verpuffung sowohl durch weggeschleuderte Apparateile (Bruchstücke) wie durch die entstehende Druckwelle nach allen Richtungen, also räumlich, auswirken. Die Erfahrung zeigt, daß bei Reaktionsbehältern mit aufgeschraubten Deckeln die Deckelverschraubung im allgemeinen die schwächste Stelle ist und daß die Explosionswirkung dadurch ausgesprochen nach oben (wegfliegender Deckel) und nach unten (Reaktionswirkung auf den Behälterunterteil) gerichtet ist. Bei Einstückapparaten (verschweißte Konstruktionen) hat man mindestens die Möglichkeit, durch konstruktive Maßnahmen (Berststellen) eine solche einachsige vertikale Wirkungsrichtung zu erzwingen und dadurch die gefährlichere allseitige Wirkung zu unterdrücken. Wir dürfen also von der Annahme ausgehen, daß die Wirkungsrichtung einer Explosion vertikal verlaufen wird und die Flächenauswirkung eher bescheiden ist. Einige typische Unfälle der letzten Jahre haben dies mit aller Deutlichkeit gezeigt.

Der zeitliche Ablauf vom Beginn eines Ereignisses bzw. dessen Erfassung durch die Belegschaft bis zum Eintritt der Explosion kann sehr unterschiedlich sein. Oft wird noch eine angemessene Fluchtzeit vorhanden sein, in anderen Fällen wird dies nicht mehr der Fall sein. Die Explosion selbst erfolgt aber wieder ausnahmslos praktisch momentan, so daß nach der Explosion die Flucht auf diejenigen Personen beschränkt bleibt, welche durch die Explosion nicht allzustark verletzt wurden.

2.5 Überlagerung der Wirkungsrichtungen

Bei chemischen Anlagen, wie sie in der Schweiz üblich sind, können nun die zuvor geschilderten Ereignisse für sich einzeln, oder aber auch gleichzeitig eintreten.

Die Ausbreitung von Gasen und Dämpfen spielt eine besondere Rolle, wenn es sich um große Mengen, also vorwiegend um Großbehälter, handelt. Sie ist besonders bei der Planung ganzer Werke zu berücksichtigen. Demgegenüber hat diese Ausbreitung bei eigentlichen Produktionsanlagen, zumindest für die nachfolgenden Betrachtungen, eher eine untergeordnete Bedeutung, ohne sie hiermit bagatellisieren zu wollen.

Demgegenüber müssen wir mit einer Überlagerung von Brand, Verpuffung und Explosion durchaus rechnen. Das Resultat dieser Überlagerung ist eine ausgesprochene Wirkungsrichtung nach oben, eine etwas geringere nach unten und eine eher bescheidene nach den übrigen Richtungen.

3. Der Wirkungsbereich und die Ausbreitung eines Ereignisses

3.1 Das potentielle Gefahrenmoment

Für die Planung von Anlagen sind nun nicht nur die Wirkungsrichtungen, sondern auch die Wirkungsbereiche der möglichen Ereignisse von ausschlaggebender Bedeutung. Diese hängen wiederum vom potentiellen Gefahrenmoment der Anlage ab. In der Regel wird das potentielle Gefahrenmoment und der Wirkungsbereich um so größer sein, je größer die Menge der sie verursachenden gefährlichen Stoffe ist. Die Charakterisierung der vernichtenden Wirkung von Sprengstoffen durch deren Gewichtsangabe ist uns ja geläufig.

Eines der wesentlichen Grundprinzipien bei der Planung chemischer Anlagen wird es also sein, die Mengenanhäufung gefährlicher Stoffe nach Möglichkeit zu reduzieren. Dieses Prinzip wird man um so stärker beachten müssen, je größer die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses ist. Wir sehen somit, daß wir nicht nur das potentielle Gefahrenmoment in Rechnung setzen müssen, sondern auch

3.2 die Wahrscheinlichkeit und das Risiko des Eintretens eines Ereignisses

Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses ist wiederum von verschiedenen Umständen abhängig, wie z. B.

- der Gefährlichkeit der Produkte;
- der Beherrschung des Prozeßablaufes mit diesen Produkten;
- der Natur des Prozesses, wie etwa kontinuierliches oder absatzweises Verfahren, Lagerung;
- der Umwelteinflüsse u. a. m.

So wird man größere potentielle Gefahren in Kauf nehmen können, wenn die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses sehr klein gehalten werden kann. Dies wird etwa zutreffen für die Lagerung gefährlicher Produkte bei einem Minimum an Bedienungspersonal in wenig besiedelten Gebieten.

Bei chemischen Prozessen mit erhöhten Risiken wird man andererseits bemüht sein, die potentielle Gefahr, also die im Prozeß involvierte Reaktionsmenge, möglichst klein zu halten. In vielen Fällen wird dies möglich sein durch den Übergang von absatzweisen zu kontinuierlichen Verfahren. Hierbei wird die risikoarme Lagerung der großen Mengen an Ausgangs- und Endstoffen vom eigentlichen Produktionsprozeß mit erhöhten Risiken, aber verminderter potentieller Gefahr, getrennt. Damit ergibt sich ein weiteres, für die Planung der Anlagen wichtiges Prinzip, nämlich das der

3.3 Risikotrennung

Auf Grund dieses Prinzipes wird der planende Ingenieur versuchen, eine komplexe Anlage einzeln in Teil-

anlagen aufzulösen. Vom Gesichtspunkt der Sicherheit wird man hierbei die Anlageteile mit hohen potentiellen Gefahren, aber geringen Risiken (kleine Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses und kleine Belegschaft) von denjenigen mit geringer potentieller Gefahr, aber erhöhten Risiken trennen. Den Wirkungsbereich bei Eintritt eines Ereignisses kann man sich dabei in Gedanken durch größere oder kleinere Kreise vorstellen. Wir haben dafür zu sorgen, daß bei der Gruppierung der Anlageteile sich die einzelnen Wirkungsbereiche (Kreise) nicht überschneiden. Würden sie dies tun, dann laufen wir Gefahr, daß bei Eintritt eines Ereignisses dieses auf andere Anlageteile übergreift und dort weitere Ereignisse auslöst. Im schlimmsten Falle wird so eine Kettenreaktion von Unglücksfällen ausgelöst, welche gesamt- haft zu einer Katastrophe führen kann.

Nach solchen logischen Gesichtspunkten geplante Anlagen können nun allerdings außergewöhnliche, uns in den meisten Fällen gar nicht zur Verfügung stehende Räume bzw. Gebiete beanspruchen oder aus anderen Gründen zu unbrauchbaren Lösungen führen. Wir werden in solchen Fällen zu anderen Mitteln greifen müssen, z. B. zu dem der Beschränkung des Gefahrenbereiches durch Abschirmungen. Auf solche Möglichkeiten wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen.

4. Die Anlageplanung vom Aspekt der Sicherheit

4.1 Die Werkplanung

Wenn wir vor die nicht alltägliche Aufgabe der Planung eines neuen Werkes gestellt werden, so wird uns als erste Frage die des Standortes beschäftigen, wobei wir nicht nur das Werk als solches in den Gedankenkreis einschließen dürfen, sondern auch die nähere und eventuell sogar weitere Umgebung mitberücksichtigen müssen. Ist ein solches Werk mit Anlageteilen mit großen potentiellen Gefahren behaftet, z. B. mit großen Phosgen-Tankanlagen, welche beim Eintreten eines Ereignisses ein größeres Gebiet in Mitleidenschaft ziehen können, so werden wir (vom Sicherheitsstandpunkt aus) versuchen, den Standort dieses Werkes in einem möglichst schwach besiedelten, abgelegenen Gebiet zu wählen.

Bei der Gliederung des Werkes, d. h. bei der Aufstellung des Master-Planes, werden wir nun die früher gemachten Überlegungen anwenden. Angenommen, unser Werk umfasse ein Großtanklager mit einem großen potentiellen Gefahrenmoment, aber mit geringen Risiken (also kleine Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses und wenig Bedienungspersonal), so werden wir dieses am Rand des Werkes auf der Seite des wenig besiedelten Gebietes placieren, und daran, mit den entsprechenden Sicherheitsabständen, die arbeitsintensiveren Werkteile mit abnehmender potentieller Gefahr, aber mit zunehmenden Risiken anschließen. Es sind dies das Produktionstanklager mit etwa 2 Beschäftigten, der Produktionsbetrieb mit etwa dreißig Beschäftigten, die

Konfektionierung mit etwa fünfhundert Beschäftigten und die wiederum weniger arbeitsintensiven und mit geringen potentiellen Gefahren behafteten Fertiglager. Mit Rücksicht auf die besonderen Gefahren der Gasausbreitung beim Bersten eines Großtanks wird die vorherrschende Windrichtung bei der Orientierung des Werkes beachtet (Abb. 3).

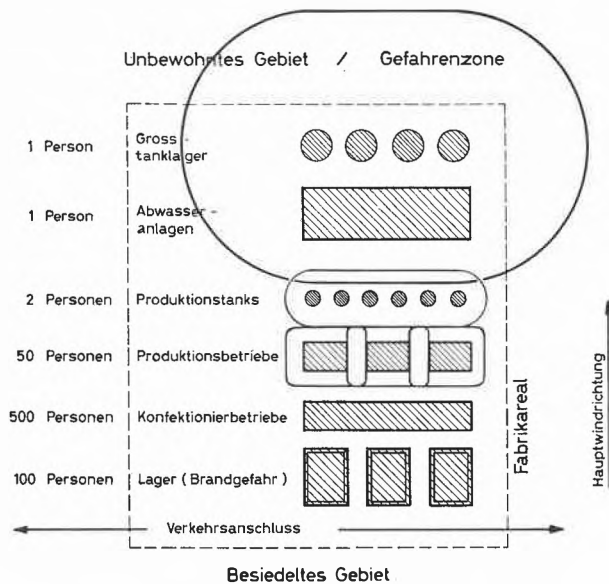


Abb. 3. Werkplanung

Zur Verhütung des Übergreifens eines Ereignisses vom Großtanklager auf die eigentliche Produktionsanlage sind diese Anlagenteile durch ein relativ großes Areal voneinander getrennt. Dieses Areal kann unter Umständen ohne weiteres auch genutzt werden, z. B. durch wenig arbeitsintensive Anlagen ohne spezielle Gefahren und die im Falle eines Ereignisses im Großtanklager wenig in Mitleidenschaft gezogen werden (z. B. eine Abwasserkläranlage). Der Sicherheitsabstand zwischen Großtanklager und Produktionsbetrieb läßt sich unter Umständen auch durch wirksame Abschirmungen (Erdwall) verringern.

Es sind noch eine Vielzahl an Sicherheitsaspekten bei der Werkplanung zu berücksichtigen, von denen hier nur einige wesentliche herausgegriffen worden sind.

4.2 Gebäudeplanung für chemische Produktionsanlagen

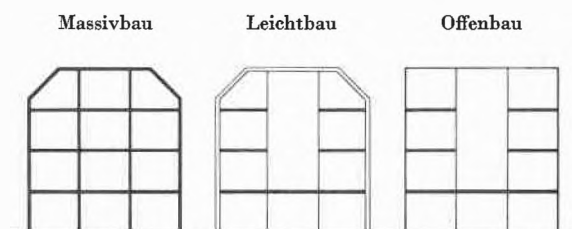
Der Wirkungsbereich von Brand, Verpuffung und Explosion für Produktionsanlagen mittlerer Größe (bei Reaktionskesseln bis etwa 10000 Liter Inhalt) erstreckt sich in vertikaler Richtung durchaus über die gesamte Höhe eines größeren Gebäudes, während die Ausdehnung nach der Fläche eher bescheiden ist. Wenn wir nun diesen Wirkungsbereich in Fabrikationsgebäude hineinprojizieren, so wird der Unterschied zwischen einem Hochbau mit kleiner Grundfläche und einem niedrigen Flachbau mit großer Grundfläche deutlich. Beide Gebäude sollen den gleichen umbauten Raum aufweisen. Im

Falle des Hochbaues wird praktisch das ganze Gebäude vom Ereignis erfaßt, während der Flachbau kaum zur Hälfte in Mitleidenschaft gezogen wird (Abb. 1). Bedenken wir noch, daß im Hochbau die Fluchtmöglichkeiten erschwert sind und daß beim Hochbau im Falle einer Explosion die Einsturzgefahr wesentlich größer ist als bei einem Flachbau, so können wir leicht die enormen Vorteile des letzteren bezüglich Sicherheit erkennen. Wir müssen uns aber wohl bewußt sein, daß die Sicherheit nur ein, wenn auch ein wichtiger Aspekt bei der Planung von Produktionsgebäuden darstellt und daß wir bei der Beurteilung der verschiedenen Aspekte brauchbare Kompromisse finden müssen. Aus diesem Grunde wird es in den seltensten Fällen möglich sein, für Produktionsanlagen reine Flachbauten zu wählen.

Risikotrennung bei der Planung eines Fabrikationsgebäudes. Wir haben bereits erwähnt, daß wir bestrebt sein müssen, die eigentlichen Produktionsanlagen mit erhöhten Risiken von den potentiellen Gefahren zu entlasten. Zu diesem Zweck versuchen wir, die in der Produktion involvierten größeren Mengen an gefährlichen Ausgangs-, Zwischen- und Fertigprodukten aus dem Wirkungsbereich der Produktionsanlage zu entfernen. Im Falle von Flüssigkeiten werden hierfür oft Produktionstanks verwendet. Vom Sicherheitsstandpunkt aus gesehen, ist es grundsätzlich falsch, solche Produktionstanks über bzw. unter die Produktionsanlage zu placieren, selbst wenn dies aus anderen Gründen (z. B. Prozeßablauf im freien Fall) erwünscht wäre. Solche Produktionstanks werden mit Vorteil neben den Anlagen und nach Möglichkeit außerhalb des Gebäudes aufgestellt.

Neben den Produktionstanks gehören zu einer Produktionsanlage noch eine ganze Anzahl weitere, zum Teil recht arbeitsintensive Hilfsanlagen, wie Vertikaltransporteinrichtungen, Betriebslaboratorien, Aufenthaltsräume, Zwischenlager für feste Produkte, Energieverteilanlagen, Lokalwerkstätten usw. Mit Vorteil werden diese ebenfalls von den eigentlichen Produktionsanlagen separiert und in einem Hilfstrakt außerhalb des Wirkungsbereiches der Produktionsanlagen zusammengefaßt. Ein solcher Hilfstrakt kann ohne weiteres unterkellert werden, während eine Unterkellerung des Produktionstraktes mit Rücksicht auf die Ansammlungsmöglichkeit brennbarer Gase und Dämpfe nur mit den nötigen Sicherheitsmaßnahmen (dichte Abtrennung, gute Lüftung usw.) verantwortet werden kann.

Bei der Gebäudeplanung müssen wir vom Sicherheitsstandpunkt aus auch die Fragen der *Gebäudestruktur und der Bauweise* tangieren. Von dieser Sicht aus können wir drei typische Gebäudekonstruktionen unterscheiden (Abb. 4). Erstens den Massivbau mit festen widerstandsfähigen Böden, Wänden und Dacheinkleidungen. Zweitens den Typ, bei dem zwar ein steifes Gerippe vorhanden ist, die Wände und das Dach hingegen in der Leichtbauweise hergestellt sind. Die Außenhaut dieses Gebäudes besitzt kein Widerstandsvermögen gegen inneren Druck, und die Böden sind durch sogenannte Licht-



Laboratorium – Kilolaboratorium – Versuchslokal – Produktionslokal

Brandausbreitung +	Brandausbreitung ±	Brandausbreitung –
Verpuffung –	Verpuffung ±	Verpuffung +
Explosion –	Explosion ±	Explosion ±
Rettungswesen –	Rettungswesen ±	Rettungswesen ±
Günstiger Bau bei Beschränkung des Wirkungsbereiches auf eine Zelle (Labor und Kilolabor)	Günstiger Bau für größere Produktionsanlagen mit latenter Brandgefahr (übliche Produktionsgebäude)	Günstiger Bau für kontinuierliche Großproduktionen mit verschiedenen Gefahren (Petrochemie)

Abb. 4. Gebäudestruktur

schächte teilweise unterbrochen. Schließlich als dritte Variante die offene Bauweise, bei der nur noch das steife Gerippe übrigbleibt; die Wände, und im Grenzfall auch das Dach, sind weggelassen.

Die Vorteile dieser letztgenannten Bauweise sind insbesondere im Falle von Verpuffungen und Explosionen unverkennbar. Brennbare Gase und Dämpfe können sich in einer solchen Anlage gar nicht anreichern, und somit ist die Verpuffungsgefahr (zumindest die Gefahr der Raumexplosion) ausgeschlossen. Diese offene Bauweise wird man für Produktionsanlagen mit Vorteil dann anwenden, wenn die Bedienung von einer abgetrennten, geschlossenen Schaltwarte aus möglich ist, also vorwiegend bei kontinuierlichen Anlagen, wie sie in der Petrochemie und teils auch in der übrigen Großchemie üblich sind. Diese Bauweise ist aber auch für absatzweise Produktionsanlagen, mit Bedienung an der Apparatur selbst, anwendbar. Allerdings werden hierbei an die Witterungsbeständigkeit des Bedienungspersonals höhere Ansprüche gestellt, als der Mitteleuropäer in der Regel auf sich zu nehmen gewillt ist.

In unseren Gebieten wird man für absatzweise arbeitende Produktionsanlagen vorteilhaft die Leichtbauweise wählen, bei welcher im Falle von Verpuffungen und Explosionen die Außenverkleidungen herausfliegen, ohne daß sich im Gebäude ein innerer Druck ausbilden kann. Die Lichtschächte bieten bezüglich Verpuffung Vorteile, bezüglich der Brandausbreitung Nachteile. Sie haben den Vorteil, daß im Brandfall die Verqualmung des Raumes viel langsamer fortschreitet und damit die Flucht- und Rettungsmöglichkeit verbessert wird. Bei Abwägung aller Vor- und Nachteile wird man im allgemeinen die Lösung mit Lichtschächten bevorzugen.

Obwohl aus den genannten Gründen der Massivbau für Produktionsanlagen (mit den genannten Verpuffungs- und Explosionsrisiken) abgelehnt wird, will das nun nicht besagen, daß er in der chemischen Industrie keinen Anwendungsbereich hat. Überall dort, wo die potentielle Gefahr und damit der Wirkungsbereich eines

Ereignisses klein ist und innerhalb eines geschlossenen widerstandsfähigen Raumes gut abgeschirmt werden kann, wird der Massivbau die geeignete Lösung darstellen. Dies ist nun ganz ausgesprochen bei chemischen Laboratorien und Kilolaboratorien der Fall.

4.3 Der Laboratoriumsbau

Wie erwähnt dürfen wir bei der Laborarbeitspraxis mit kleinen Mengen (Größenordnung von Litern) von der Voraussetzung ausgehen, daß der Wirkungsbereich eines Ereignisses nur einige Meter umfaßt und durch massive Decken und Wände leicht abgeschirmt werden kann. Das Ereignis läßt sich gewissermaßen auf eine Zelle beschränken, und es besteht kein Hinderungsgrund, derartige Zellen in beliebiger Anzahl in der Horizontalen nebeneinander oder in der Vertikalen übereinander anzuordnen. Immerhin müssen wir auch für den Laboratoriumsbau die früher postulierten Grundsätze beachten. Sie mögen hier nochmals zusammengefaßt und ergänzt werden:

- Der Gesamtbau ist brandsicher auszuführen, damit bei einem Brandereignis in einer Zelle dieses wirklich lokalisiert werden kann und sich nicht auf den Gesamtbau überträgt. Dies ist besonders auch bei der Planung von Lüftungsanlagen zu berücksichtigen.
- Jedes Laboratorium soll mindestens zwei unbehinderte Fluchttüren haben, die von jedem Standort auf verschiedenen Wegen zugänglich sind. Ein Fluchtweg kann z. B. auf einen Fluchtbalkon ausmünden.
- Das Prinzip der Risikotrennung soll sinngemäß wie bei Produktionsanlagen berücksichtigt werden. Größere Mengen an gefährlichen Produkten (Lösungsmitteln), die nicht im täglichen Gebrauch benötigt werden, sollen in separaten, mit den erforderlichen Schutzeinrichtungen ausgerüsteten Lagerräumen (Lösungsmittlräumen) aufbewahrt werden.
- Die für den täglichen Gebrauch benötigten gefährlichen Produkte sollen nicht auf dem Arbeitsplatz, sondern an ungefährlichem Ort, z. B. in Lösungsmittelschränken, deponiert werden.

Damit dürften wohl die wesentlichsten, für die Planung von Laboratorien maßgebenden Sicherheitsaspekte erwähnt worden sein.

4.4 Spezialanlagen

Abschließend möchten wir aus der Fülle der Spezialfälle, die immer vorkommen, noch einen, dem vielleicht eine besondere Bedeutung zukommt, herausgreifen. Es betrifft dies die Druckoperationen in Autoklaven. Bei diesen Operationen steht die Explosionsgefahr im Vordergrund aller Betrachtungen. Die Wirkung ist bei sonst gleichen Verhältnissen wesentlich größer als bei Normaldruckoperationen, weil der Berstdruck der Apparaturen viel höher liegt.

Schon im Laboratoriumsmaßstab müssen wir damit rechnen, daß sich die Wirkung einer Autoklavenexplosion nicht auf eine normale Bauzelle eines Massivbaues beschränken läßt. Wir werden vielmehr versuchen, den Autoklaven in eine besonders stark gepanzerte Zelle, in eine Autoklavenkoje, zu verlegen und die Bedienung während der Operation von außen zu bewerkstelligen. Die Autoklavenkoje muß auch eine nach mindestens einer Richtung freie Expansionsmöglichkeit haben. Oft wird man diese nach oben wählen, um die umliegende Nachbarschaft nicht in Mitleidenschaft zu ziehen. Meistens werden aus diesem Grunde Autoklavenoperationen in speziellen Flachbauten oder im obersten Stockwerk von Laboratoriumsbauten durchgeführt, wobei im letzteren Falle die Abschirmung nach unten durch entsprechend massive Deckenkonstruktionen gewährleistet werden muß.

Bei Produktionsanlagen sind diese Gesichtspunkte in noch ausgeprägterer Form zu berücksichtigen, wobei der Flachbau mit nach einer Seite freier Expansionsrichtung bevorzugt wird. In der Regel werden bei Produktionsanlagen die Autoklavenreaktionen in Kombination mit normalen Operationen vorkommen, so daß auch eine gemischte Bauweise zur Anwendung kommen kann (Abb. 5).

Wir haben uns bei den behandelten Themen bewußt auf die grundsätzlichen Gesichtspunkte beschränkt, denn nur eine einwandfreie Beherrschung der Grundregeln

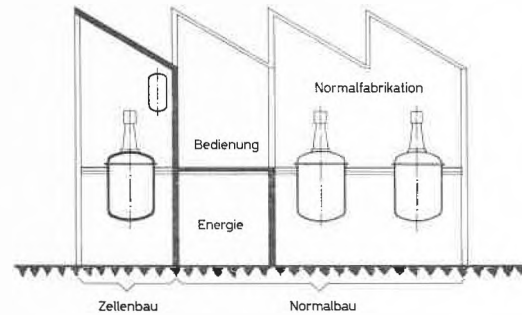


Abb. 5. Anlage mit verschiedenen Risiken

befähigt uns schließlich, die nahezu unbeschränkte Fülle an einzelnen Detailproblemen richtig anzupacken und zu lösen.

Letztendlich wollen wir uns aber auch bewußt sein, daß trotz aller Bemühungen zur Erhöhung der Sicherheit das Phänomen des Unglücks und der Katastrophe den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung unterworfen ist. Wir können und müssen die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines solchen Ereignisses im Rahmen der vernünftigen Möglichkeiten gegen Null konvergieren lassen, werden aber den Nullpunkt selbst nie erreichen. Eines Tages wird das Schicksal von der ihm verbleibenden kleinen Chance Gebrauch machen und uns überfallen. Nur in der nüchternen Vorausschau dieser Tatsache werden wir dann auch in der Lage sein, das Schicksal zu meistern.