

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

Inhaltsübersicht

- 5.1 Anlagensicherheit und Lebenszyklen**
- 5.2 Schutzprinzipien**
- 5.3 Einflussgrößen auf die Anlagensicherheit**
 - 5.3.1 Stoffe**
 - 5.3.2 Verfahren**
 - 5.3.3 Anlagen**
 - 5.3.4 Organisation**

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

5.1 Anlagensicherheit und Lebenszyklen

Der Begriff des Lebenszyklus wird in den letzten Jahren vermehrt und sehr zutreffend auch im Zusammenhang mit verfahrenstechnischen Anlagen benutzt. Es wird mit dem Begriff darauf hingewiesen, dass auch jedes industrielle Erzeugnis und die zu dessen Erzeugung erforderlichen Produktionsmittel eine Reihe von Phasen durchlaufen von der Entstehung bis zum Ende der Nutzungsdauer. Für eine verfahrenstechnische Anlage bedeutet dies, dass für ihre Bewertung, sei es in wirtschaftlicher, umwelttechnischer oder natürlich auch sicherheitstechnischer Hinsicht alle Lebenszyklen bzw. Phasen zu betrachten sind.

Die Lebenszyklen von Anlagen werden in den folgenden Kapiteln unter Bezug auf den Anlagenstatus, d. h. von der Planung bis zur Beseitigung näher beschrieben.

Verfahrenstechnische Anlagen müssen so konzipiert, betrieben und letztlich beseitigt werden, dass von ihnen keine Gefahren für die Menschen und die Umwelt ausgehen.

Um dieses Ziel weitgehend und effektiv zu erreichen, müssen sicherheits-, umwelt- und rückbaurelevante Aspekte so früh wie möglich, d. h. schon während der Verfahrensentwicklung, also in früher Planungsphase, konsequent berücksichtigt werden.

Eine späte Berücksichtigung dieser Aspekte birgt die Gefahr, dass Planungsentscheidungen von Anfang an in eine falsche Richtung weisen können. Später zutage tretende Fehler oder Unterlassungen können in aller Regel nur mit hohem zeitlichem und finanziellem Aufwand korrigiert werden können. Generell kommt der Planungsphase eine zentrale Bedeutung zu für die Anlagensicherheit. Alle grundsätzlichen und zum Teil aus den verschiedensten Gründen irreversiblen Realisierungslösungen der späteren Anlage hinsichtlich Verfahren und technischer Ausführung werden hier festgelegt.

Anlagensicherheit und Umweltschutz müssen also in die maßgeblichen Überlegungen integriert werden, und zwar im Hinblick auf alle Lebenszyklen der betrachteten Anlage. Dies bedeutet u. a. auch, dass z. B. Sicherheits- und Umweltfragestellungen betreffend Montage, Baustelle, Inbetriebnahme, alle denkbaren betrieblichen Vorgänge (An/Abfahren, störungsfreier Betrieb, Behebung von Störungen, Instandhaltung, Instandsetzung, Demontage und Sanierung) in der Planung berücksichtigt werden müssen.

Daneben müssen die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Einflussgrößen Stoffe und Stoffumwandlungen, Verfahren, Anlagen, organisatorische/prozedurale Abläufe in diesem Zusammenhang gesehen und planerisch umgesetzt werden.

Auch aus dieser Sicht kann dem Informationsfluss zwischen den unterschiedlichen beteiligten Gruppen nicht

genug Bedeutung beigemessen werden. In aller Regel sind mit Planung, Errichtung, Betrieb, Rückbau unterschiedliche Personen bzw. Personengruppen betraut, die über ihre besonderen Kenntnisse und Erfahrungen verfügen. Diese Kenntnisse und Erfahrungen (z. B. des Errichtungs- und Betriebspersonals) für den Planungsprozess nutzbar zu machen, ist zwar keine leichte, aber eine lohnende Aufgabe. In gleichem Maße ist es sehr sinnvoll, Erkenntnisse aus Störungen an technischen Einrichtungen und betrieblichen Abläufen zu kommunizieren und dem planenden Ingenieur verfügbar zu machen.

5.2 Schutzprinzipien

Die Gefahren, die von verfahrenstechnischen Anlagen ausgehen, also die Möglichkeit des Eintretens eines schädlichen Ereignisses wie Verletzungen, Sachschäden, Umweltschäden müssen über den gesamten Lebenszyklus der Anlagen so vermindert, beherrscht oder begrenzt werden, dass sie nicht zu den genannten Auswirkungen führen.

Basis aller Überlegungen ist das Gefährdungspotenzial, das im Wesentlichen aus den im Prozess vorhandenen Gefahren bestimmt wird. Die Besonderheiten einer verfahrenstechnischen Anlage, d. h. die spezifischen Gefahren resultieren dabei aus den präsenten Stoffen und den Verfahrensschritten zum Behandeln und Verändern dieser Stoffe (Bild 1).

Die ersten Sicherheitsüberlegungen setzen bereits hier an und beinhalten Betrachtungen zur Minimierung des Gefährdungspotenzials, der Gestaltung der Verfahrensschritte und der Anwendung der Prinzipien der inhärenten Sicherheit, wie in Abschnitt 5.3.2 zum Element Verfahren beschrieben. Gefahrenvermeidungsstrategien haben hier ihren grundsätzlichen Angriffspunkt und bilden den ersten, vielleicht wichtigsten Schritt zur Verhinderung unerwünschter Ereignisse.

Das Risiko oder die Möglichkeit, dass ein unerwünschtes Ereignis stattfindet, ist aber nicht nur von dem vorhandenen Gefahrenpotenzial abhängig, sondern ebenso von Ursachen, die es ermöglichen, dass das Gefahrenpotenzial wirksam wird bzw. von einem auslösenden oder initiiierenden Impuls. Solche Ursachen oder auslösende Impulse können grob zwei Kategorien zugeordnet werden:

- a) Störungen:
Auf technisches oder menschliches Versagen oder Einwirkungen von außen zurückzuführende Abweichungen von definierten sicheren Bedingungen und Zuständen.
- b) Systemfehler:
Von Anfang an nicht erkannte Ursachen, ungenügend verhinderte Ursachen oder nach und nach entstandene bzw. eingeschlichene Fehler (z. B. im verfahrenstechnischen Prozess, der Ausrüstung oder der Organisation).

Da vorhandene Gefahren bzw. ein vorhandenes Gefährdungspotenzial nach allen Bemühungen zur Minimierung in aller Regel noch verbleiben, müssen Maßnahmen defi-

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

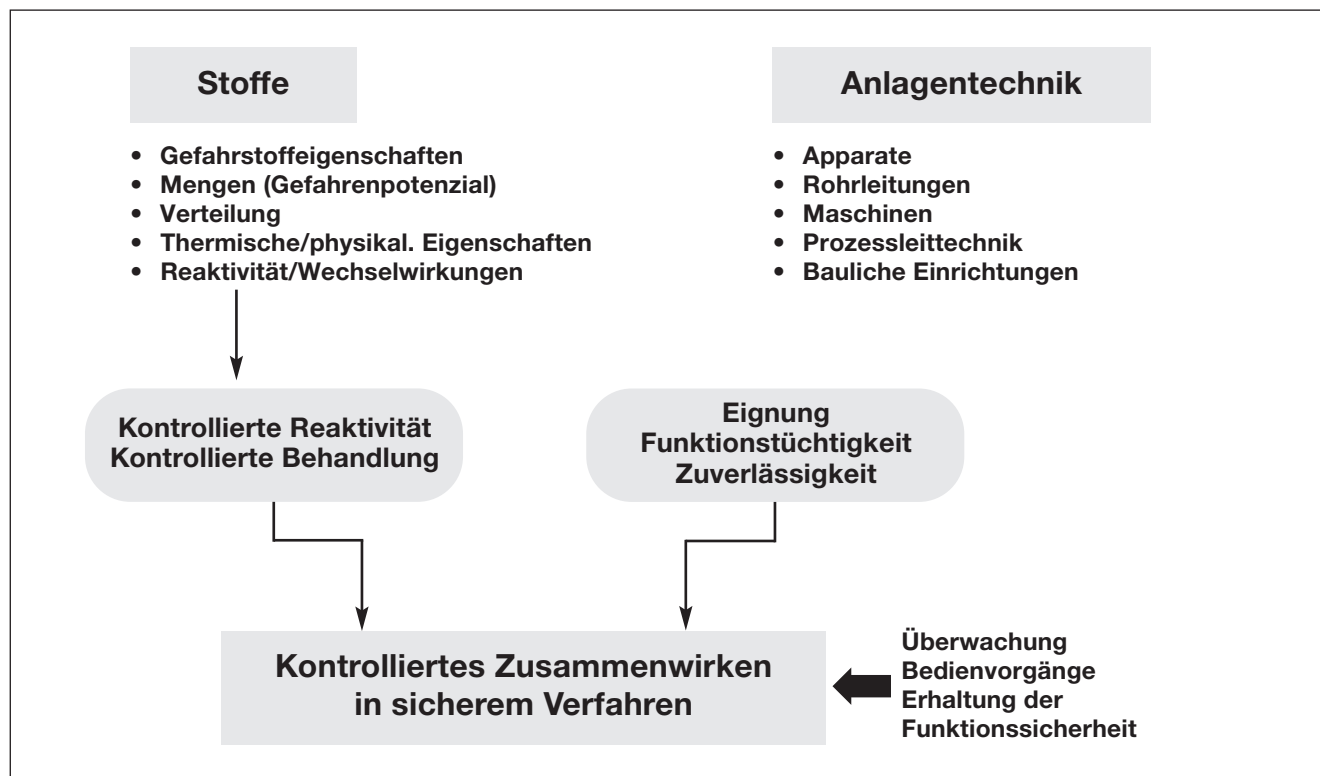


Bild 1: Einflussgrößen auf Verfahren

Tabelle 1:

Sicherheitsprinzip	Maßnahmen/ Lösungen	Beispiele
Vermeidung, Reduzierung von Gefährdungspotenzial	<p>Reduzierung von Stoffinventar</p> <p>Substitution durch ungefährliche Stoffe Verminderung der Reaktionsfähigkeit des Prozesses oder der beteiligten Stoffe</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verminderung von Reaktor-Apparate-Volumina <ul style="list-style-type: none"> • kontinuierliche Reaktionsführung, • Reaktionsbeschleunigung (Einsatz von Katalysatoren), • Intensivierung des Stoff- und Wärmeaustausches (Strahlmischer, Blasensäulen), - Kontinuierliche Stofftrennung (Dünnschichtverdampfer), - Synthesen zur Herstellung hochtoxischer Stoffe vor Ort (keine Lagerung), - Reduktion von Puffervolumina, - Verringerung von Lagermengen, - Optimierung innerbetrieblicher Transporte und der Anlagenverfügbarkeit bei sich gegenseitig beliefernenden Anlagen(teilen) - Ersatz gefährlicher Stoffe, - Vermeidung inkompatibler Systeme, - Verdünnung von Reaktanden, - Reaktionsführung in Lösemittel, - Verwendung von granulierten oder pastösen Feststoffen (Vermeidung von staubförmigen Feststoffen), - Inertisierung, - Abmilderung von Verfahrensparametern (z. B. Druck, Temperatur),

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

(Fortsetzung Tabelle 1)

Sicherheitsprinzip	Maßnahmen/ Lösungen	Beispiele
	Gewährleistung des bestimmungsgemäßen Betriebes (Verhinderung unzulässiger Betriebszustände)	<ul style="list-style-type: none"> - Abführung von Entlastungsmassenströmen in Auffangsysteme, - doppelwandige Ausführung, - Zwischenraumüberwachung, - Kammerung. - Einsatz hierarchisch abgestufter und ggf. redundanter PLT-Systeme, - Druckentlastungssysteme, - Festlegung und Einsatz von Sicherheits-/Schutzsystemen, - vorbeugende Instandhaltung, - regelmäßige Prüfungen, - Festlegung und Beachtung von notwendigen Betriebsabläufen, - Festlegung und Beschreibung von Abläufen und Prozeduren, - Qualifizierung, Training von Personal.
Begrenzung des Wirkungspotenzials	Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Löscheinrichtungen, - Auffangwannen, - spezielle Abwassersysteme, - Beschäumungssysteme, - Wasser-/Dampf-Vorhänge, - Notabfahrssysteme, - Meldeeinrichtungen, - Warneinrichtungen, - Notfallpläne, - Betriebsfeuerwehr, - Rettungsdienst.

niert, planerisch realisiert und im Betrieb aufrecht erhalten werden, die verhindern, dass ein unerwünschtes Ereignis stattfinden kann. Auch hier haben Überlegungen zur inhärenten Sicherheit ihren Platz, etwa zur Simplifikation oder fehlerverzeihenden Ausführung von technischen Einrichtungen. Im Wesentlichen sind aber technische und organisatorische Maßnahmen gefordert, die alle möglichen Störungsszenarien berücksichtigen und nicht zulassen, dass Abweichungen von sicheren Betriebszuständen über ein definiertes Maß stattfinden können.

Wird auch diese Barriere im Störfall überwunden und trifft ein vorhandenes Gefahrenpotenzial mit einem initiierenden Vorgang (Impuls) zusammen, so kann es wirksam werden und seine schädigende Wirkung entfalten.

Die einzigen Maßnahmen, die jetzt noch greifen können, sind auswirkungsmindernd bzw. auswirkungsbegrenzend. Sie dienen nur noch dazu, die schädigenden Wirkungen des vorhandenen Gefahrenpotenzials auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren bzw. den entstehenden Schaden für Menschen und Umwelt und Betrieb so gering wie möglich zu halten.

Eine Zusammenstellung der vorgenannten Sicherheitsprinzipien und möglichen daraus resultierenden Maßnahmen sind in Tabelle 1 beispielhaft aufgeführt.

Aus den beschriebenen Überlegungen hat sich in der Praxis für identifizierte Gefährdungspotenziale die Vorgehensweise herausgebildet, umfassende Schutzkonzepte zu gestalten, die aus mehreren gestaffelten Barrieren bestehen. Alle diese Barrieren sind in der Lage, ein unerwünschtes Ereignis zu verhindern. In der Literatur wird dieser konzeptionelle Ansatz meist mit dem englischen Begriff „Layers of Protection“ (LOP) beschrieben (Bild 2).

Da Ereignisse aus der Vergangenheit beweisen, dass Menschen Fehler machen und keine Technik ohne entsprechende Pflege und Behandlung für die Ewigkeit sicher und zuverlässig arbeitet, können Störungen zu kritischen Situationen führen. Schutzkonzepte, bestehend aus mehreren einander nachgeschalteten, möglichst unabhängigen Schutzbarrieren machen darum Sinn.

Ein umfassendes Schutzkonzept entsteht in mehreren Schritten und mit zunehmendem Planungsfortschritt aufbauend auf die vorher geleistete Arbeit und gewonnenen Erkenntnisse aus Sicherheitsbetrachtungen.

Die erste Sicherheitsbarriere bildet die Auslegung des Prozesses und der Anlagenkomponenten für verbleibende nicht vermeidbare Gefährdungspotenziale. Die nächsten Barrieren ergeben sich aus der Prozessleittechnik und der Prozessüberwachung durch das Anlagenpersonal, die

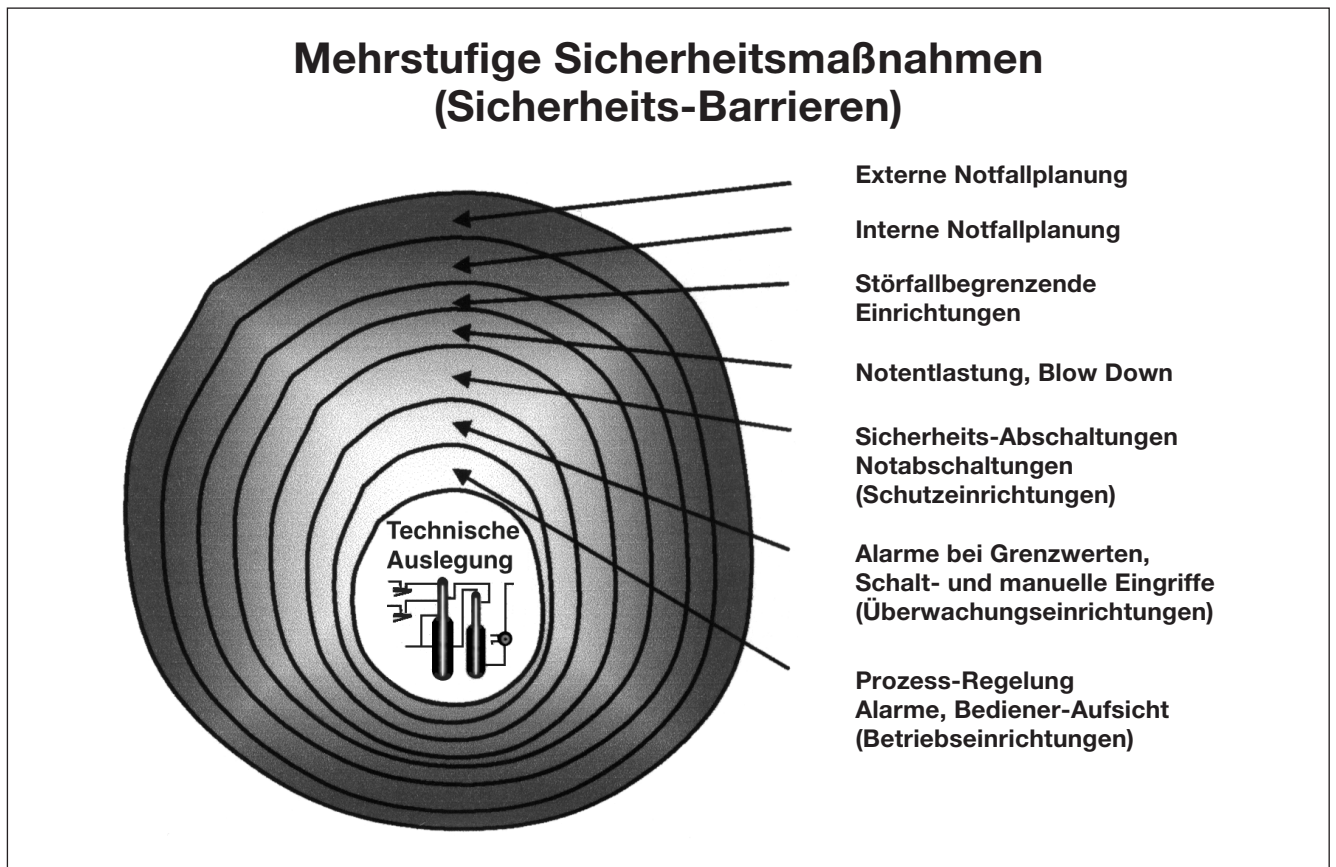


Bild 2: Layers of Protection

ebenfalls gestaffelt (siehe Abschnitt 5.3.3 Element Anlagen) wirksam werden. Weitere Barrieren bilden Notentlastungen, Auffangsysteme usw. und danach die störfallbegrenzenden Einrichtungen, sofern die Bewertung der Auswirkungen eines betrachteten Notfallszenarios dies erfordert. Als letzte Schutzbarrieren bestehen dann die Gefahrenabwehrpläne für die Anlage, den Betriebsbereich und die externe Notfallplanung.

5.3 Einflussgrößen auf die Anlagensicherheit

Eine effektive Beschäftigung mit dem Thema Anlagensicherheit erfordert eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Anlage insgesamt mit allen ihren Komponenten, dem Verfahren und den erforderlichen Betriebsvorgängen über alle Lebensphasen der Anlage hinweg. Man hat es mit einem interdisziplinären Fachgebiet zu tun, in dem sich die zu behandelnden Probleme aus diesen Gründen meist als sehr komplex herausstellen.

Wie sicher eine Anlage ist bzw. wie sicher eine Anlage betrieben wird, hängt im Wesentlichen von vier Einflussgrößen ab:

- Stoffe,
- Verfahren,

- Anlagen (technische Ausrüstung),
- Organisation.

Diese Einflussgrößen können in aller Regel nicht isoliert betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen und zusammen die Anlagensicherheit bestimmen.

5.3.1 Stoffe

Grundsätzlich wird das Gefahrenpotenzial einer Anlage durch die vorhandenen Stoffe maßgeblich mitbestimmt. Denkbare Unfälle oder Störfälle mit der Gefahr von Bränden, Explosionen, durchgehenden Reaktionen oder der Freisetzung von Stoffen mit toxischen Eigenschaften bedingen immer die Präsenz von Stoffen mit bestimmten gefährlichen Eigenschaften. In diesem Zusammenhang sind eine Menge von Faktoren von Bedeutung und in die Betrachtung mit einzubeziehen:

- Eingesetzte Mengen an Stoffen,
- Unterschiedliche Arten von Stoffen,
- Verteilung der Stoffe in Teilmengen,
- Gefährliche Eigenschaften,
- Reaktivität und thermische Eigenschaften,
- Mobilitätseigenschaften der Stoffe.

Daneben gehört zu den Voraussetzungen für das sichere Durchführen chemischer bzw. verfahrenstechnischer Pro-

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

duktionsprozesse, dass das Verhalten von Einsatz- und Hilfsstoffen, von Zwischen-, Neben- und Endprodukten sowie Rückständen bekannt ist. Zur Auslegung und Betrieb einer Anlage benötigt man sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb als auch für Abweichungen davon und zur sicheren Reaktion auf unerwünschte Ereignisse eine Reihe von physikalischen Daten und Parametern. Für diesen Zweck müssen die Daten in aller Regel über einen weiten Temperatur- und ggf. Druckbereich zur Verfügung stehen. Solche Stoffdaten sind z. B.:

- Allgemeine Stoffdaten
 - Molekulargewicht
 - Dichte
 - pH-Wert
- Kalorische Daten
 - Dampfdruckkurve
 - Schmelz-, Siede-, Sublimationstemperatur
 - Umwandlungsenthalpien, Lösungsenthalpien
 - Thermodynamische Zustandsdaten in Form von Diagrammen
 - Kritische Daten
 - Spez. Wärmekapazitäten
- Transportgrößen
 - Viskosität
 - Wärmeleitfähigkeit
 - Stoffübergangskoeffizienten
 - Wärmeübergangskoeffizienten
 - Diffusionskoeffizienten
 - Löslichkeiten
- Zustandsgrößen
 - Aggregatzustand
 - Dispersionsgrad
 - Korngrößenverteilung

Diese physikalischen Stoffdaten bilden die Grundlage für alle Entscheidungen in der Planung von Verfahren, der Auslegung von Anlagenkomponenten und der betrieblichen Abläufe. Hierbei ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die präsenten Stoffe nicht nur als reiner Stoff und isoliert, sondern häufig im Gemisch mit bzw. neben anderen Stoffen im System vorliegen. Die Stoffdaten müssen darum auch für die vorkommenden Stoffgemische mit allen relevanten Konzentrationen bekannt sein oder errechnet werden können.

Neben einer Vielzahl der unterschiedlichsten physikalischen Prozessschritte müssen zur Herstellung von chemischen Produkten in aller Regel Stoffumwandlungen durchgeführt werden. Diese laufen zu einem großen Teil unter Freisetzung von Reaktionswärme ab. Daneben können Stoffe und Stoffgemische verwendet werden, die sich bei thermischer Belastung, etwa beim Destillieren oder Trocknen, exotherm zersetzen können.

Wird die freiwerdende Reaktionswärme bei der Umsetzung von Stoffen nicht ausreichend abgeführt, führt die steigende Temperatur des Reaktionsgemisches zu einer Beschleunigung der Reaktion. Die Geschwindigkeit der Reaktion kann dann unter entsprechend ungünstigen Be-

dingungen so schnell zunehmen, dass die Reaktion nicht mehr beherrschbar ist. Die Auswirkungen einer durchgehenden Reaktion sind im wesentlichen die Folgen einer Druckerhöhung, die bedingt ist durch:

- die Erhöhung des Dampfdruckes im Reaktionsgefäß infolge des Temperaturanstieges,
- die Entwicklung nicht kondensierbarer Zersetzungsgase,
- die Wärmeausdehnung der flüssigen Phase.

Die möglichen hohen Druckanstiegsgeschwindigkeiten und die auftretenden Massenströme und Stoffphasen im Falle einer Druckentlastung (gasförmig, flüssig/gasförmig oder fest/flüssig/gasförmig) stellen hohe Anforderungen an die Druckentlastungseinrichtungen oder andere Entlastungsquerschnitte.

Bei hohen Konzentrationen von Ausgangsstoffen besteht dann die Gefahr, dass Auslegungsgrenzen von Anlagenteilen durch Temperatur- und Druckanstieg überschritten werden und es zur Stofffreisetzung oder gar zum Bersten des Apparates kommt.

Zur sicheren Führung der Reaktionen und zur Identifikation von maximalen Belastungen von Anlagenteilen müssen die Wärme- und Gasentwicklungen unter allen möglichen Betriebsbedingungen ausreichend bekannt sein, da sie als Grundlage für die Auslegung dienen. Wesentliche thermoanalytische Kenndaten sind:

- Reaktionswärme,
- Reaktionsgeschwindigkeiten,
- adiabatische Temperaturerhöhung,
- Wärmeproduktionsgeschwindigkeit,
- adiabatische Induktionszeit.

Zu betrachten sind dabei alle bestimmungsgemäßen erwünschten Reaktionen, aber auch alle anderen Reaktionen wie Zersetzungen, Nebenreaktionen oder Polymerisationen. Auch das mögliche Zusammentreffen von Stoffen, die bestimmungsgemäß nicht als Reaktanden zusammentreffen sollen, sind, sofern ein solches Zusammentreffen bei realistischer Betrachtung nicht auszuschließen ist, in die Überlegungen mit einzubeziehen. Ein Beispiel für einen solchen Fall wäre die Betrachtung der möglichen Folgen bei Kühlwassereinbruch in einen Reaktionsraum bzw. den Produktraum eines Wärmetauschers.

Für die Beurteilung der Gefährlichkeit eingesetzter chemischer Stoffe und Gemische bzw. des Gefahrenpotenzials der Stoffe und die Festlegung von konstruktiven, technischen oder organisatorischen Schutzmaßnahmen müssen qualitative und quantitative Aussagen über Stoffeigenschaften möglich sein. Eine Grundlage dafür bilden sicherheitstechnische Kenngrößen, die für unterschiedliche Gefahrenbereiche definiert und in zugehörigen Messverfahren ermittelt werden. Die Untersuchungsergebnisse zu sicherheitstechnischen Kenngrößen sind in der Regel abhängig von der Zusammensetzung, der Reinheit und gegebenenfalls der physikalischen Konsistenz der beprobten Stoffe. Änderungen der Bezugsquelle von Einsatzstoffen

oder Änderungen im Herstellungsverfahren können dadurch auch das sicherheitstechnische Verhalten der Stoffe verändern, sofern die vorgenannten Einflussgrößen nicht gleich bleiben, was nicht selten der Fall ist. Physikalische Kenngrößen sind, von Ausnahmen abgesehen, keine physikalischen Konstanten, sondern von der benutzten Meßmethode abhängig. Zu den Zahlenwerten gehört deshalb in der Regel auch die Angabe der Bestimmungsmethode. Bekannte Sicherheitstechnische Kenngrößen sind:

- Flammpunkt,
- Explosionsgrenzen,
- maximaler Explosionsdruck,
- maximaler zeitlicher Druckanstieg,
- Sauerstoffgrenzkonzentration,
- Mindestzündenergie,
- Zündtemperatur,
- Normspaltweite,
- Selbstentzündungsverhalten.

Die Eigenschaften von Stoffen beeinflussen aber auch in erheblichem Umfang die technische Ausführung der Anlage und den Anlagenbetrieb. Alle Einsatzstoffe bzw. die in einer Anlage vorhandenen Medien haben spezifische Auswirkungen auf die eingesetzten Werkstoffe und die Funktion von Apparate- und Rohrleitungsteilen, Maschinen und Geräten (insbesondere Prozessleittechnik). Korrosionseigenschaften, hohe Viskosität, die Möglichkeit des Verfestigens oder die Neigung zu Anbackungen, Ablagerungen, Verklebungen usw. bestimmen maßgeblich die Technischen Details und die getroffenen technischen Entscheidungen, nicht nur in der Planung. Der erhöhten Störungsneigung, die aus solchen besonderen Medien-eigenschaften resultiert, muss man planerisch begegnen und in der Regel auch mit besonderem Instandhaltungsaufwand im laufenden Betrieb. Der Bezug zur Sicherheit bei erhöhter Störungsneigung in bestimmten Bereichen aufgrund solcher Stoffeigenschaften ist offensichtlich, da jede Störung eine potenzielle Gefahr beinhaltet.

Letztendlich bleibt auch zu beachten, dass in jeder Anlage in gewissem Umfang mit Gefahrstoffen umgegangen werden muss. Selbst bei weitgehender Realisierung eines geschlossenen Systems müssen Tätigkeiten ausgeführt werden, die eine Stoffexposition von beschäftigten Personen beinhalten, wie z. B.:

- Instandhaltungs-/Instandsetzungsarbeiten,
- manuelle Stoffeingaben,
- manuelle Abfüll- und Beladungsvorgänge,
- Probenahmen,
- Filterwechsel.

Zur Abschätzung der Gefahren durch Gefahrstoffe bei solchen Arbeiten müssen selbstverständlich alle Gefahrstoffe und deren gefährlichen, insbesondere auch gesundheitsgefährlichen Eigenschaften bekannt sein. Das Ausmaß der Exposition ist festzustellen bzw. abzuschätzen und die Schutzmaßnahmen sind darauf abzustimmen.

5.3.2 Verfahren

In verfahrenstechnischen Anlagen werden in unterschiedlichen Verfahrensschritten mechanische, thermische und chemische Umwandlungen von Stoffen durchgeführt. Hergestellt werden Stoffe bzw. Produkte in bestimmten erwünschten marktrelevanten Erscheinungsformen.

Die im jeweiligen Produktionsprozess eingesetzten und erzeugten Stoffe besitzen, wie vorher ausgeführt, die unterschiedlichsten erwünschten und unerwünschten, d. h. auch gefährlichen Eigenschaften. Sie können z. B. giftig, brennbar, explosionsfähig oder umweltgefährdend sein.

Verfahrenstechnische Anlagen sind ohne Gefahrstoffe bzw. Stoffe mit bestimmten, auch gefährlichen Eigenschaften kaum denkbar.

Über das Verfahren werden die Stoffe bzw. Stoffeigenschaften und Zustände verändert. Es herrschen in der Regel vom Umgebungszustand abweichende Prozessbedingungen, d. h.

- hohe/tiefe Drücke,
- hohe/tiefe Temperaturen,
- Reaktionen finden statt/sind möglich,
- erhöhte Energieinhalte liegen vor,
- Freisetzung zerstörerischer Energien sind möglich (z. B. Brände, Explosionen, unerwünschte Reaktionen),
- verbundene Systeme können sich gegenseitig beeinflussen.

Die Gefahren, die von verfahrenstechnischen Anlagen aufgrund des dort vorliegenden Inventars an gefährlichen Stoffen und der durchgeführten verfahrenstechnischen Schritte ausgehen, können durch die geeignete Auswahl und Gestaltung der Verfahren maßgeblich beeinflusst werden.

Die Überlegungen zu einem sicher gestalteten Verfahren sind systematisch und planmäßig. Sie basieren auf einem Verfahrens-Sicherheitskonzept, das auf der Grundlage einer systematischen Betrachtung der mit dem verfahrenstechnischen Prozess verbundenen Gefahren festgelegt wird.

Das Augenmerk ist darauf zu richten, dass im Vergleich möglicher Verfahrensalternativen nach sicheren Lösungen gesucht wird. Die Vermeidung der Gefahren steht vor der Beherrschung und Kontrolle durch additive Sicherheitseinrichtungen. Man spricht auch von inhärenter Sicherheit und verwendet ebenfalls in diesem Zusammenhang gerne den Begriff „eigensicher“. Subsumiert werden darunter alle Maßnahmen und Planungsüberlegungen zur Vermeidung statt zur Beherrschung von Gefahren. Dabei ist allerdings zu beachten, dass inhärente Sicherheit keine absolute Größe ist und immer von gewählten Randbedingungen der angestellten Überlegung abhängt.

Inwieweit in einem Verfahrensschritt (mehr) inhärente Sicherheit oder Eigensicherheit gegeben ist, kann nur in

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

einem Vergleich mit alternativen Lösungen und unter Beachtung aller getroffener Annahmen bestimmt werden.

Wie bereits von Trevor Kletz beschrieben, gibt es eine Reihe von sehr einfachen Prinzipien, deren Beachtung zu einer Anlage mit mehr inhärenter Sicherheit führen:

- Die Reduzierung der Menge an Gefahrstoffen in der Anlage (Intensifikation).
Ein Beispiel dafür ist die Umstellung vom Batch-Betrieb in Rührkesseln auf einen kontinuierlichen Betrieb in einem Rohrreaktor. In aller Regel bewirkt diese Entscheidung, sofern sie sinnvoll realisiert werden kann, eine Reduktion des Reaktorinhaltes auf einen Bruchteil dessen im Rührkessel.
- Der Ersatz von Stoffen mit gefährlichen Eigenschaften durch ungefährliche Stoffe, soweit dies der Prozess zulässt (Substitution).
Als Beispiel wäre das Vermeiden der Präsenz toxischer Stoffe in leichtflüchtiger Form zu nennen oder die Auswahl eines Lösemittels mit höherem Flammpunkt.
- Die Verminderung der Reaktionsfähigkeiten des Prozesses oder der beteiligten Stoffe (Attenuation).
Durch die Änderung des physikalischen Zustandes von Stoffen ist es möglich, deren Reaktionsfähigkeit bzw. möglich schädigende Wirkung zu reduzieren (z. B. durch die Verwendung von pastösen oder granulierten Feststoffen anstelle von staubförmigen Produkten und damit die Reduktion der Gefahren eines Gesundheitsschadens oder einer Staubexplosion). Auch die Abmilderung von Verfahrensparametern wie Druck und Temperatur oder Konzentrationen können dazu führen, dass ein gleiches Produktionsergebnis unter weniger gefährlichen Bedingungen erzielt wird. So kann man durch die Handhabung von leichtflüchtigen Substanzen in Lösung mit höhersiedenden Komponenten grundsätzlich deren Dampfdruck senken.
- Die Vereinfachung des Verfahrens (Simplifikation).
Durch geschickte Führung und Gestaltung des Verfahrens können Gefährdungsmöglichkeiten vermieden oder vermindert werden. Beispiele dafür sind die nach physikalischen Gesetzen begrenzten Temperaturen, Drücke oder Wärmeübergänge durch die Verwendung von Energiequellen bzw. Heizmedien auf niedrigem Temperaturniveau oder mit bestimmter maximaler Leistung.
- Die fehlerverzeihende Ausführung von Verfahrensschritten.
So ist bei den häufig stattfindenden Wärmeübertragungsvorgängen z. B. darauf zu achten, dass möglichst keine Stoffströme aneinander vorbeigeführt werden, die bei unerwünschtem Zusammentreffen zu chemischen oder physikalischen Reaktionen mit gefährlicher Stoff- oder Energiefreisetzung führen können. Benötigt man den Wärmeaustausch zwischen miteinander reaktionsfähigen Stoffströmen, so ist die Verwendung von Se-

kundärkreisläufen mit einem unkritischen Wärmeübertragungsmedium der empfohlene Weg.

Auch der Betrieb in großer Entfernung von kritischen Parametern (ein weiter Gut-Bereich) wirkt sich fehlerverzeihend aus.

Leider kann das hohe Ziel, eine Anlage absolut eigensicher auszulegen, in der Realität nie vollständig verwirklicht werden. Vollständige inhärente Sicherheit umschreibt einen Idealzustand, den es anzustreben gilt. Dort hinführende Strategien werden, wie zuvor ausgeführt, in allgemeiner Form beschrieben und helfen bei der Bewertung von Lösungen und Alternativen bei dem Streben, ein Verfahren und sein Sicherheitskonzept zu optimieren.

Nach dem Prinzip der inhärenten Sicherheit müssen deshalb auch Alternativen einer Anlagenplanung ganzheitlich geprüft werden, d. h. alle im bestimmungsgemäßen Betrieb möglichen Zustände, aber auch Störungsszenarien sind zu bewerten, wobei möglichst umfassende Kenntnisse der physikalischen, chemischen und verfahrenstechnischen Randbedingungen des Prozesses vorliegen müssen.

5.3.3 Anlagen

In engem Zusammenhang mit den durchgeführten Verfahrensschritten steht die technische Ausführung der Anlage mit Apparaten, Maschinen, Rohrleitungen, PLT-Technik und anderen Komponenten. Die Prinzipien und Überlegungen der inhärenten Sicherheit sind auch auf die technische Ausführung der Anlage anzuwenden. So liefern Apparate, in denen es durch bestimmte technische Lösungen gelingt, die gewünschten Austauschprozesse zu beschleunigen und auf kleinstem Raum durchzuführen, einen großen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit der Anlage. Der dichte Einschluss von Gefahrstoffen in Anlagenteilen, d. h. die Realisierung eines geschlossenen Systems (mit weitgehender Vermeidung der Exposition von Beschäftigten) gelingt durch die stoff- und verfahrensverträgliche Auswahl von Werkstoffen und Herstellverfahren und durch die Anwendung einiger einfacher und allgemein bekannter Konstruktionsprinzipien. Es kann bei der Handhabung toxischer und leichtflüchtiger Stoffe z. B. die Zahl der abzudichtenden Öffnungen und Flansche möglichst klein gehalten werden. Es ist bei solchen Medien auch überlegenswert, notwendige Abdichtungen von bewegten Teilen wie Rührerwellen, Ventilspindeldurchführungen, Pumpenwellen usw. technisch zu vermeiden oder zu ruhenden Teilen zu verlegen. Beispiele dafür sind Faltenbalgventile oder magnetgekuppelte oder Spaltrohrmotorpumpen.

Das Vermeiden von Fehler- und Schadensmöglichkeiten bei der Anlagenausrüstung wird durch die Konstruktion, Auswahl, Auslegung und Qualität der Bauteile erreicht.

Man kann beispielsweise Rohranschlüsse so gestalten und kennzeichnen, dass eine Falschankuppelung, eine Verwechslung oder der falsche Einbau weitgehend aus-

geschlossen werden kann. Dies beträfe auch die konstruktive Vermeidung von Toträumen oder anderen Ablagerungsmöglichkeiten für schädliche Stoffe.

Bei der Auslegung und dem Bau von Druckbehältern ist es seit langem übliche Praxis und Stand der Technik, mit konservativen Annahmen und Sicherheitsbeiwerten auszuliegen, so dass Druckabweichungen nach oben auslegungsgemäß bis zu einem bestimmten über das normale betriebliche Maß hinausgehenden Maximaldruck verkraftet werden. Auch erfolgt möglichst die Auswahl zäher Werkstoffe, für die gilt: „Leck vor Bruch“ und die bis zum Versagen viel Formänderungsarbeit aufnehmen können.

Es ist selbstverständlich, dass Auslegung, Konstruktion und Auswahl von Anlagenkomponenten und Funktionselementen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik, dem Stand der Technik und guter Ingenieurspraxis erfolgen müssen.

Eine wesentliche Rolle in modernen Chemieanlagen spielt die Prozessleittechnik. Mit der zunehmenden Komplexität verfahrenstechnischer Anlagen werden Sicherheitsaufgaben in erheblichem Maße von der Prozessleittechnik wahrgenommen. Die anspruchsvolle und komplexe Aufgabenstellung der Anlagensicherung mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) benötigt eine klare Konzeption mit einheitlicher Terminologie.

Die Funktionen und Anforderungen der in einer Anlage eingesetzten PLT-Einrichtungen müssen systematisch strukturiert und klar festgelegt werden. Eine Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der PLT setzt eine eindeutige Unterscheidung zwischen sicherheitsrelevanten Aufgabenstellungen und sonstigen betrieblichen Aufgaben (z. B. Erhöhen der Verfügbarkeit) voraus.

Die Einrichtungen der PLT in Anlagen der Verfahrenstechnik werden nach VDI/VDE-Richtlinie 2180 klassifiziert in:

- PLT-Betriebseinrichtungen – sie dienen dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage im Gutbereich. Dazu gehören das Messen, Steuern und Regeln aller hierfür relevanten Prozessgrößen und der dazugehörigen Funktionen wie Registrieren und Protokollieren.
- PLT-Überwachungseinrichtungen – sie sprechen im bestimmungsgemäßen Betrieb einer Anlage an der Grenze zwischen Gutbereich und zulässigem Fehlbereich an. Sie melden zulässige Fehlzustände der Anlage und sollen den Prozess in den Gutbereich zurückführen. Einer Fortführung des Betriebes steht aus Sicherheitsgründen nichts entgegen, erhöhte Aufmerksamkeit ist jedoch erforderlich.
- PLT-Schutzeinrichtungen – deren Funktion besteht darin, einen unzulässigen Fehlzustand der Anlage zu verhindern. Sie müssen daher vor dem Verlassen des zulässigen Fehlbereiches aktiv werden, so dass bis zum Wirksamwerden der Gegenmaßnahmen eine Abwei-

chung der Prozessgröße in den unzulässigen Fehlbereich zuverlässig ausgeschlossen ist.

Als Kriterium für die Einstufung als Schutzeinrichtung gilt, dass bei deren Nichtvorhandensein mit solchen Zuständen der Anlage gerechnet werden muss, die zu Personenschäden, größeren Umweltschäden oder schwerwiegenden Sachschäden führen können. Darin inbegriffen ist auch die „ernste Gefahr“ nach Störfall-Verordnung.

Im Sinne der Störfall-Verordnung sind Schutzeinrichtungen als störfallverhindernde Maßnahmen sicherheitstechnisch bedeutsam. Damit das Ansprechen von PLT-Schutzeinrichtungen möglichst vermieden wird, sind diesen häufig PLT-Überwachungseinrichtungen vorgeschaltet.

Die Klassifizierung hat zum Ziel, die PLT-Einrichtungen anforderungs- und aufgabengerecht auszuliegen und dabei auch einen wirtschaftlich angemessenen Aufwand nicht aus den Augen zu verlieren.

Zudem werden in diesem Sinne klare Abgrenzungen sowohl bei der Planung, Errichtung und Betrieb als auch bei späteren Änderungen ermöglicht.

Der Aufwand für Auswahl, Ausführung und Betrieb von PLT-Einrichtungen und die sich daraus ergebende Verfügbarkeit orientiert sich nach den Aufgaben, Schutzzielen und der Gefährdung. Für PLT-Schutzeinrichtungen sind dabei besonders zu berücksichtigen:

- Art und Ausmaß der möglichen Gefahren, denen mit einer Schutzeinrichtung begegnet werden soll,
- Möglichkeit eines Ausfalles oder einer Fehlfunktion von für die Sicherungsaufgabe bedeutsamen Komponenten,
- Möglichkeit und Auswirkung von für die Sicherheit bedeutsamen Bedienungsfehlern.

Eine hohe Verfügbarkeit von Sicherungseinrichtungen wird erreicht durch:

- Einsatz zuverlässiger Geräte und bewährter Installationstechnik,
- regelmäßige Wartung und Prüfung der Komponenten (mit Sichtkontrolle, Reinigen und vorbeugendem Austausch von Verschleißteilen),
- kurze Fehlererkennungszeiten,
- Einsatz von geschultem Fachpersonal,
- kurze Instandsetzungszeiten.
- Anwendung von Redundanz oder Diversität.

Da PLT-Schutzeinrichtungen und insbesondere Schutz-einrichtungen regelmäßig geprüft werden müssen, um die

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen

erforderliche Verfügbarkeit zu erreichen, sollte schon bei der Ausführung berücksichtigt werden, dass sie leicht und möglichst ohne gravierenden Funktionsausfall prüfbar sind.

Ein grundsätzliches Faktum der Sicherheitstechnik in verfahrenstechnischen Anlagen ist die Tatsache, dass eine inhärente Sicherheit nie vollständig zu realisieren ist. Bei allen Bestrebungen zur Minimierung oder Vermeidung von Gefahren bleibt immer ein Anteil von Restgefahren, die durch additive, d. h. in der Regel anlagentechnische und organisatorische Schutzmaßnahmen beherrscht werden müssen.

Generell lassen sich die Lösungen zur Realisierung sicherer verfahrenstechnischer Anlagen wie folgt hierarchisch gliedern:

- Inhärente Sicherheit,
- passive Schutzmaßnahmen (technisch),
- aktive Schutzmaßnahmen (technisch),
- prozessdurale Schutzmaßnahmen (organisatorisch).

Der Einsatz der additiven Sicherheitsmaßnahmen (technischer und organisatorischer Art) beinhaltet immer auch die Möglichkeit des Versagens. Wie viele Sicherheitsmaßnahmen auch vorgesehen sein mögen, es bleibt immer ein Weg zum letztendlich unerwünschten Ereignis. Dieses wird zwar zunehmend unwahrscheinlicher, aber ist doch nie ganz auszuschließen.

In der Diskussion um den Einsatz von mehrfachen, redundanten Schutzeinrichtungen bzw. Sicherheitsmaßnahmen stellt sich schnell auch die Frage nach einer sinnvollen Lösung der Sicherheitsaufgabenstellung. Das Problem hat technische, rechtliche, wirtschaftliche und ethische Aspekte.

Ein technischer Sachverhalt ist aus der Erfahrung heraus belegbar: Ein zuviel an Sicherheitseinrichtungen (auch PLT-Ausrüstungen) kann auch einen Verlust an Sicherheit bewirken. Dieses dann, wenn das Gesamtsystem zu komplex, schwerfällig und unübersichtlich wird. Insofern liegt das Maximum der erreichbaren Sicherheit nicht unbedingt dort, wo auch die Ausstattung an Sicherheitseinrichtungen maximal ist. Es lässt sich demzufolge häufig ein Optimum im Sicherheitsniveau finden, wo jede weitere Maßnahme zu geringerer Sicherheit und höheren Kosten führen.

Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet ist festzustellen, dass eine unsichere Anlage Kosten durch Störungen, Ausfälle und Schäden verursacht und folglich unwirtschaftlich ist. Wirtschaftlichkeit und Sicherheit laufen darum über lange Strecken hinweg gleichgerichtet.

Erst wenn ein so hohes Sicherheitsniveau erreicht wird, dass jede weitere Maßnahme nur die Absicherung gegen immer unwahrscheinlicher werdende Ereignisse bzw. Gefahren bedeutet, kehrt sich ab einem gewissen Punkt der Trend um. Jeder kleine Zuwachs an Sicherheit wird durch hohe zusätzliche Kosten und auch eine gestiegene Aus-

fallhäufigkeit erkaufte. Es wird der Punkt erreicht, ab dem Verfahren und Anlage schließlich unwirtschaftlich werden.

5.3.4 Organisation

Bei allen Bemühungen um eine Optimierung der Verfahren und der technischen Ausrüstung von Anlagen wird wie heute auch zukünftig das Anlagen-Betriebspersonal und das betriebliche Organisationsumfeld, in dem das Personal tätig wird, einen zentralen Einfluss auf die Sicherheit haben.

Im Rahmen einer Produktion in verfahrenstechnischen Anlagen müssen die unterschiedlichsten organisatorischen und praktischen Arbeitsvorgänge und Abläufe stattfinden:

- Geschäftsprozesse (Aufträge, Beschaffung, Produktabgabe, Schichtbesetzung usw.),
- Überwachung/Betrieb der Anlagen,
- Produktionsvorgaben/Reaktionen darauf,
- Vorgabe von Arbeits-/Handlungsanweisungen,
- Qualifikation und Führung des Personals,
- Training,
- Instandsetzungen,
- Instandhaltung/Prüfungen,
- Behandlung von Änderungen/Modifikationen,
- Entscheidungen und Reaktionen im Störfalle,
- Umgang mit Behörden,
- Erfüllung von Dokumentationspflichten,
- Entwicklung von Verfahren, Planung von Anlagen,
- Montage, Inbetriebnahme, Rückbau von Anlagen.

All diese Vorgänge gilt es festzulegen und die damit verbundenen organisatorischen Abläufe zu regeln. Dazu gilt es, die geeignete Organisation zu schaffen mit

- einer klaren Festlegung der Verantwortlichkeiten,
- einer eindeutigen Beschreibung der Abläufe und Tätigkeiten,
- einer Zeitplanung / Nachverfolgung von Ergebnissen,
- Festlegung der einzusetzenden Arbeitsmittel und Methoden,
- Festlegung zu Qualifikation, Qualifizierung und Training des Personals.

Um bei all diesen Abläufen eine ordnungsgemäße und effektive Funktion der Organisation zu erreichen, muss auch für eine wirksame Koordination und Zusammenarbeit zwischen den Verantwortlichen auf allen Ebenen und allen Abteilungen des Unternehmens gesorgt werden.

Insbesondere vorhandene Fachleute und Beauftragte für unterschiedliche Fragestellungen, wie

- Sachverständige, Sachkundige, befähigte Personen
- Fachingenieure/Planungsingenieure,
- Störfall-/Immissionsschutzbeauftragte,
- Sicherheitsfachkräfte,
- Betriebsärzte,
- Instandhaltungs-/Instandsetzungs-Personal

können ihre Beratungs- und Unterstützungsaufgaben nur erfüllen, wenn sie über relevante Vorhaben und Abläufe im Unternehmen informiert sind und beteiligt wurden.

Um sich auf dem Markt zu behaupten und um auf neue Herausforderungen vorbereitet zu sein, wird es immer wichtiger, die Effektivität der betrieblichen Abläufe zu verbessern. Der Aufbau von Managementsystemen verfolgt dieses Ziel: schlanke, wettbewerbsfähige und schlagkräftige Aufbau- und Ablauforganisationen, die sich flexibel veränderten Bedingungen anpassen.

Dabei haben sich Managementsysteme als nachhaltig wirkendes Instrument zur Prävention und Verbesserung des Arbeitsschutzes und der Anlagensicherheit erwiesen.

Da gerade im Zusammenhang mit verfahrenstechnischen Anlagen die betrieblichen Abläufe sehr eng mit Sicherheitsfragestellungen verbunden sind, bieten sich Lösungen, die integrierte Managementsysteme mit prozessorientierten Ablaufregelungen beinhalten, besonders an.

Für die Ausgestaltung der Anlagensicherheit entstehen durch die Einbindung in ein integriertes Managementsystem eine Reihe von positiven Veränderungen:

- Vorgaben lassen sich leichter umsetzen,
- die Organisation, insbesondere der sicherheitsbedeutsamen Fragestellungen und Abläufe wird transparenter,
- Sicherheit und Gesundheitsschutz, Umweltschutz usw. erhalten eine höhere Bedeutung im täglichen Arbeitsgeschehen,
- eine durch entsprechende Qualifizierung getragene stärkere Eigeninitiative und Selbstverantwortung der Beteiligten stärkt die Organisation,
- die Dokumentation wird umfangreicher und vollständiger, damit auch der Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Regelungen einfacher und die Maßnahmen bewertbar.

Auf nationaler und internationaler Ebene existieren derzeit unterschiedliche Vorgaben und Leitlinien zu Managementsystemen.

Verbindlich für Betriebsbereiche und Anlagen, die in den Geltungsbereich der Störfall-Verordnung fallen, sind mindestens die in Anhang III der Störfall-Verordnung genannten Anforderungen. Im Hinblick auf ein ganzheitliches Managementsystem ist es sinnvoll, die genannten Anforderungen mit den anderen Anforderungen vergleichbarer Managementsysteme (z. B. Qualität, Umweltschutz, Arbeitsschutz) zu verknüpfen und in einem Managementsystem zu realisieren, das allen Anforderungen gerecht wird.

II-5 Ganzheitlicher systematischer Ansatz für sichere Anlagen