

Priorisierung von Asset Managementaktivitäten für chemische Anlagenausrüstungen: Aussagen aus Ereignisstatistiken

Prioritizing Asset Management Activities for Chemical Plants: Learning from Event Statistics

Andreas Kroll

Verbesserungsmöglichkeiten des Betriebs chemischer Anlagen sind oft zahlreicher und umfangreicher als die zur Entwicklung und Umsetzung zur Verfügung stehenden Ressourcen. Dies macht eine Priorisierung der Alternativen wünschenswert. Ein im Beitrag untersuchter Teilaspekt einer solchen Priorisierung ist die Vermeidung von unerwünschten Ereignissen. Zur Identifizierung und Gewichtung von möglichen Angriffspunkten erfolgte eine Auswertung von Ereignisstatistiken für die chemische Industrie. Insbesondere wurden Statistiken von Versicherern, Risikoberatern und Störfallmeldestellen analysiert. Es zeigt sich, dass Mineralölraffination und Chlor-Alkali-Produktion interessante Zielbranchen sind. Rohre und Rohrleitungen sowie Tanks führen die Liste der verursachenden Anlagenkomponenten an. Korrosion spielt eine wichtige Rolle bei den Ursachen. Etwa ein Viertel der Ereignisse tritt im Nichtnormalbetrieb auf. Menschliche Bedienfehler sind im Durchschnitt am teuersten und verursachen ungefähr ein Viertel aller Störungen. Einige mögliche Beiträge insbesondere der Automatisierungs- und Informationstechnologie zur Verbesserung der Situation werden beschrieben.

Opportunities for improved operations of chemical plants often exceed available resources and time for development and realization by number and scope. For this reason, a prioritization of the alternatives is desirable. This contribution investigates incident and loss statistics of the chemical industries in order to address one aspect of such a prioritization. In particular, statistics of insurers, risk consultants, and incident reporting authorities were evaluated. Oil refineries and Chlorine-Alkali production turned out to be interesting target industries. Pipes and piping, as well as tanks lead the record of primary causing equipment. Corrosion plays a major role. A quarter of the incidents occurs during abnormal operations. Operational failures of humans are most expensive in average and cause about a quarter of all incidents. Some possible contributions of automation and information technology for improving the situation are described.

Schlagwörter: Asset Management, chemische Industrie, Ereignis-/Schadensstatistiken

Keywords: Asset management, chemical industries, incident/loss statistics

1 Einführung

Zu den zentralen Aspekten des „Asset Managements“ im Bereich der Prozessindustrie, also der Erhaltung und Steigerung des Wertes einer Anlage, gehören Wirtschaftlichkeit, Umweltschutz und Sicherheit von Anlagen [1]. Die

möglichen Maßnahmen sind im konkreten Fall typischerweise zahl- und umfangreicher als die zur Entwicklung und Umsetzung verfügbaren Ressourcen und die zur Verfügung stehende Zeit. Dies gilt gleichermaßen für Nutzer als auch für Hersteller von Asset Management-Werkzeugen und -Diensten. Eine Priorisierung der Alternativen ist

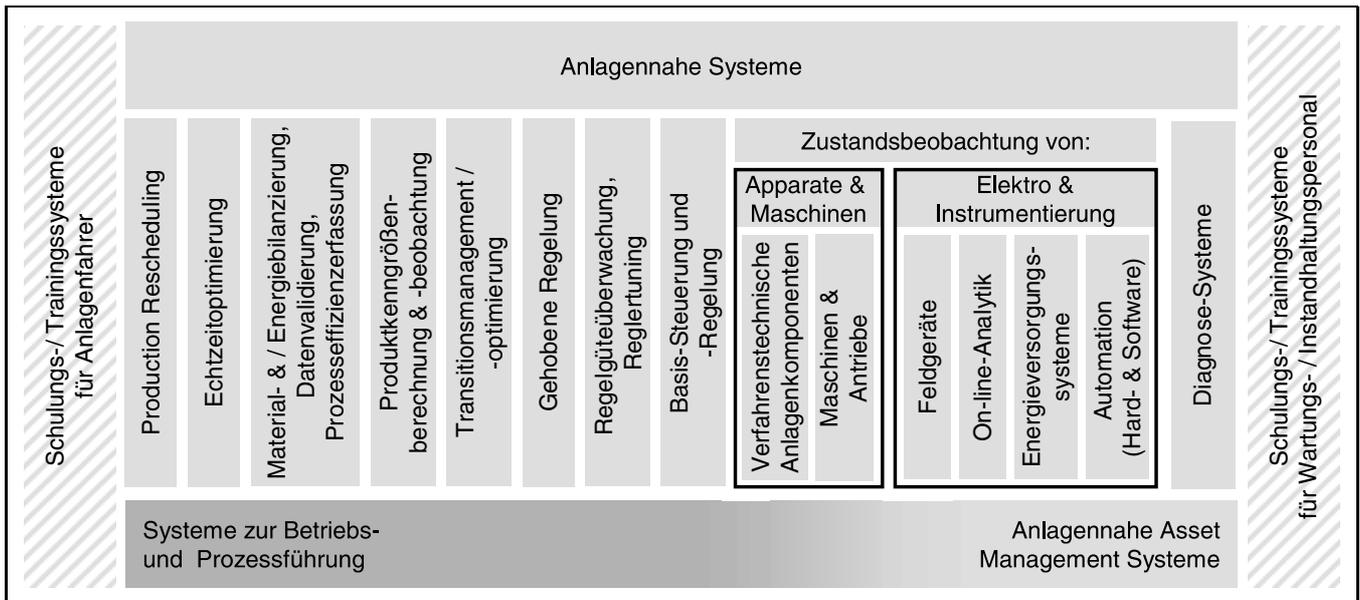


Bild 1: Einige Beispiele für anlagennahe Systeme.

wünschenswert. Hierzu können verschiedene Kriterien verwendet werden, wie die Vermeidung von Schäden an Menschen, Umwelt und Material sowie die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs.

Bei Auswahlentscheidungen bezüglich Asset Management-Maßnahmen spielt häufig ein wirtschaftlicherer Betrieb einer Anlage eine zentrale Rolle. Bei den anlagennahen Systemen gibt es einen fließenden Übergang zwischen Werkzeugen für Betriebs- und Prozessführung einerseits und für anlagennahes Asset Management andererseits (Bild 1). Beispiele sind gehobene Regelung (z. B. [2]), Echtzeitoptimierung (z. B. [3]), Beobachtung und Tuning der Basisregelung (z. B. [4]), Wartungstrigger (z. B. für verschmutzte Wärmetauscher [5]) oder auch Informationsintegration und Zustandsüberwachung/Eigendiagnose von Feldgeräten (z. B. [6; 7]).

Der vorliegende Beitrag verfolgt eine andere Idee: Un erwünschte Ereignisse¹ in Anlagen werden untersucht, um aus ihnen Angriffspunkte und Prioritäten für Asset Management-Werkzeuge und -Dienste zu ermitteln. Dazu wird untersucht, bei welchen Prozesstypen vergleichsweise viele Ereignisse auftreten, welche Ausrüstungskomponenten oft primär beteiligt sind und was die wichtigsten Ereignisursachen sind. Dies liefert z. B. Anhaltspunkte, wofür Asset-Monitore entwickelt und eingesetzt werden sollten. Bei der finalen Entscheidung sind weitere Kriterien zu berücksichtigen, wie Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, aber auch die besondere Situation beim Hersteller und beim Nutzer von Asset-Management-Werkzeugen und -Diensten. Ein weiteres Ziel des Aufsatzes liegt in der Zusammenstellung belastbarer quantitativer Informationen. Dazu wurden

¹ Der Begriff „Ereignis“ wird im Beitrag als Sammelbegriff für je nach Quelle unterschiedliche Begriffe wie z. B. „Schadens-, Ausfall- oder Störereignis“ oder „Unfall“ verwendet. „Arbeitsunfälle“ wie z. B. der Absturz einer Person beim Auf-/Absteigen auf einer Leiter stehen nicht im Fokus des Beitrags.

als Informationsquellen Statistiken von international tätigen Versicherern, von Risikoberatern und von Störungs-/ Störfallmeldestellen zusammengetragen und ausgewertet.

Der vorliegende Beitrag richtet sich an Personen mit besonderem Interesse am Thema (technisches) Asset Management. Der Branchenfokus liegt auf den „chemischen Industrien“ im weiteren Sinne und schließt Mineralölraffination, petrochemische Anlagen usw. mit ein. Ansätze, Assets durch Änderungen der Anlage oder des Verfahrens zu verbessern, werden nicht betrachtet. Für Anbieter von Asset Management-Werkzeugen und -Diensten ist der Vergleich verschiedener Branchen und Angriffspunkte interessant. Anlagenbetreiber erhalten Informationen zur Einordnung ihrer Anlage in den Industriekontext.

Im folgenden Abschnitt werden Ereignisstatistiken nach verschiedenen Kriterien analysiert. Der dritte Abschnitt fasst die Analysen zusammen. Empfehlungen werden im vierten Abschnitt abgeleitet.

2 Analyse der Ereignisstatistiken

Durch die Auswertung verschiedener Quellen wird im Folgenden ein Gesamtbild der Verteilung, Ursachen und Folgekosten von Ereignissen zusammengesetzt – es gibt keine einzelne öffentlich zugängliche Datenquelle mit allen erforderlichen Informationen.

2.1 Datenquellen und Vereinfachungen der Auswertung

Als Informationsquellen diente insbesondere Material von (Rück-) Versicherern, Risikoberatern und Meldestellen für meldepflichtige Ereignisse.

Die Statistiken der Versicherer und Risikoberater sind staatenübergreifend, die Datenbanken der Meldestellen sind

dagegen meist schwerpunktmäßig national orientiert. Statistiken von Versicherern und Risikoberatern liefern im Gegensatz zu denen der Meldestellen wirtschaftliche Daten. Nichtversicherte Schäden, Ereignisse ohne wirtschaftlichen Schaden oder Unfälle werden nicht erfasst. Meldestellenstatistiken liefern detailliertere Daten zu beteiligten Stoffen und Umweltauswirkungen. Sie erfassen naturgemäß nur meldepflichtige Ereignisse. Folglich ist die Auswertung von Quellen verschiedener Herkunft notwendig, um ein Gesamtbild zeichnen zu können². Die einzelnen Statistiken verwenden aber unterschiedliche Kategorien und Definitionen. Auch gibt es nationale Abweichungen bei der Erfassung von Ereignissen. So ist ein direkter Vergleich z. B. verschiedener Quellen oder Länder im Allgemeinen nicht möglich. Allianz, Gerling und MunichRe haben ab ca. 1990 keine Aktualisierung ihrer Statistiken mehr veröffentlicht. Marsh Risk Consultants aktualisieren ihre Daten alle 1 bis 2 Jahre. Es sei angemerkt, dass die Verfügbarkeit geeigneter Statistiken bei vielen weiteren Organisationen (erfolglos) geprüft wurde.

Wegen der begrenzten Datenbasis können keine statistisch abgesicherten Aussagen abgeleitet werden, wohl aber Tendenzen. Die Quellen mitteln zum Teil über Branchen oder über Regionen. Sie differenzieren also nicht nach Unternehmensstandards. So werden Aspekte vernachlässigt wie beispielsweise:

- regional unterschiedliche Alters- und Größen- (Kapazitäts-) Niveaus der Anlagenparks,
- regionale und firmenspezifische Unterschiede bei technischen Standards, Normen, Arbeitsrichtlinien sowie Personalsituation (wie Fluktuation, Qualifikation oder Outsourcing) und
- regional unterschiedliche Zusammensetzung der Industrien.

² Rasmussen [8: S. 42] berichtet, dass die verschiedenen verfügbaren Datenbanken nur eine geringe Überlappung haben, nämlich ca. 20% für schwere Zwischenfälle mit Gefahrstoffen in der EU.

Zur Vereinfachung der Auswertung wird nicht auf Ereignisketten („Domino“-Effekte) oder Mehrfachursachen eingegangen. Da das Ziel des Beitrags aber im Erkennen und Bewerten von *Trends und Schwerpunkten* und nicht in Detailanalysen liegt, lassen sich trotz dieser Einschränkungen zielführende Aussagen ableiten. Als weiterführende Literatur sei für Fallbeschreibungen z. B. auf [9], für detaillierte Einzelfallbeschreibungen z. B. auf [10] und für Ursachenkettens z. B. auf [11] verwiesen.

2.2 Schadenskosten nach Branche/Prozesstyp

Die chemische Industrie wies z. B. 1998 in den USA im Vergleich mit einigen anderen Branchen die niedrigste Unfallrate (gemäß „OSHA incident rate“) auf [12: S. 8]. Dafür erweisen sich dort Schäden als die vergleichsweise teuersten, wie Bild 2 zeigt (weltweite Millionenschadensfälle betrachtet [11]). Ein Herauslösen der Versicherungsrisikokategorien 311 für Mineralö Raffination und 312 für petrochemische Anlagen in Bild 2 zeigt, dass in diesen beiden Branchen die durchschnittlichen Millionenschäden deutlich teurer sind als die der umfassenderen Risikoklasse 3 der chemischen Industrie.

Eine Besonderheit der chemischen Industrie liegt in den häufig vorhandenen großen Mengen an flüchtigen, gefährlichen und leicht entzündlichen Stoffen. Gerade im Bereich der petrochemischen Anlagen oder der Mineralö Raffination können zeitlich und räumlich ausgedehnte (schwierig zu löschende) Feuer auftreten. Wenn in integrierten Anlagen zentrale Systeme z. B. zur Hilfsstoffversorgung oder zur Entsorgung betroffen sind, kann ein örtlich sehr begrenzter Zwischenfall dennoch zum Abfahren einer ganzen Anlage führen. Bei enger Stoffintegration kann der Ausfall einer Einheit das Abfahren von

³ Nur Schäden zu Lande sind berücksichtigt, ausschließlich Bergbau. Die ausgewertete Statistik ist zwar 10 Jahre alt, aber es darf vermutet werden, dass die qualitativen Verhältnisse auch heute noch gelten.

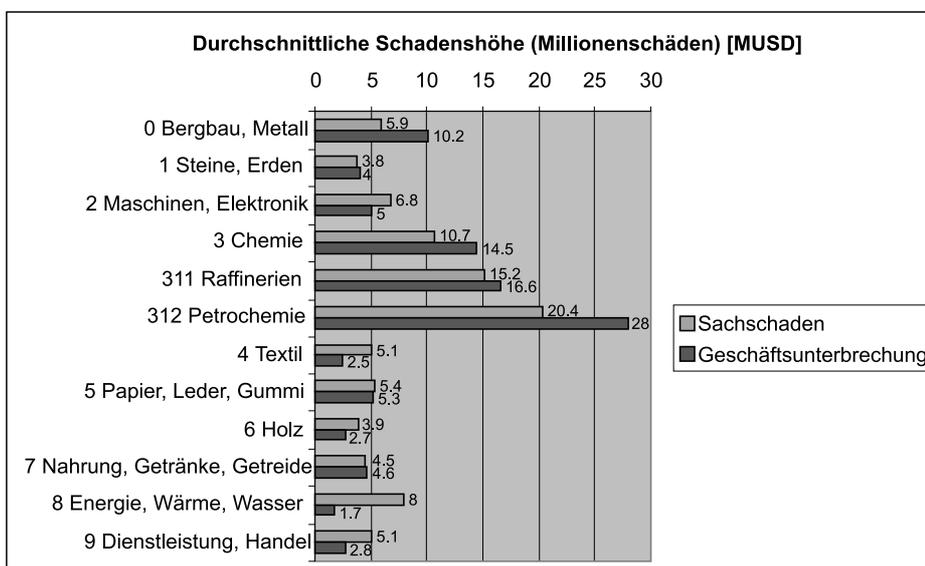


Bild 2: Durchschnittliche Schäden nach Versicherungsrisikoklasse (Kennziffer und Titel im Bild vermerkt) mit einzelner Ausweisung von Sachschäden und Schäden durch Geschäftsunterbrechung. Weltweite Millionenschäden wurden ausgewertet. Die Datenbasis bilden 2700 Schadensfälle ab 1984 [11].³

Tabelle 1: Schadenskosten für einige Anlantentypen (Schadenswerte wurden bei Marsh [9] zuvor auf den 2002-Wert hochgerechnet, bei MunichRe [11] erfolgte keine Wertkorrektur).⁴

Anlantentyp	Nur größte Schäden 1972–2001 von Marsh [9]				Alle Schäden 1981–1989 von MunichRe [11]			
	Insgesamt [MUSD]	[%]	Anzahl	Ø [MUSD]	Insgesamt [MUSD]	[%]	Anzahl	Ø [MUSD]
Mineralölraffination	4958	47,0	49	101	2172	29,0	626	3,47
Petrochemie	4072	38,5	33	123	4151	55,4	482	8,61
Produktion/Gasanlage	1170	11,1	10	117	883	11,8	214	4,13
Terminals	363	3,4	8	45	282	3,8	140	2,01
Summe	10 563	100	100	–	7488	100	1462	–

vor- und/oder nachgelagerten Anlagen erfordern, weil Einsatzstoffe fehlen oder nicht abgenommene Zwischenprodukte nur in begrenztem Umfang gelagert werden können. Da viele nachgelagerte Betriebe von Produkten petrochemischer Anlagen und Mineralölraffinerien abhängen, hat deren Ausfall eine große Wirkung. Diese Situation führt dazu, dass in der chemischen Industrie Schäden durch Betriebsunterbrechung die Sachschäden üblicherweise deutlich übersteigen: In einer Auswertung von 1870 Schadensfällen in der chemischen Industrie im Zeitraum 1981–1989 [11] je nach Branche um einen Faktor 2 bis 5.

Zur Ergänzung vergleicht Tabelle 1 die in zwei Quellen genannten Schadenskosten für einige Branchen und nennt zu den durchschnittlichen auch die gesamten Schadenskosten. Mineralölraffination und Petrochemie weisen mit Abstand die höchsten Gesamtkosten auf. Im Vorgriff auf den nächsten Abschnitt sei bemerkt, dass bei Terminals/Verteilung zwar eine sehr hohe Anzahl an Schadensfällen zu verzeichnen ist, die durchschnittlichen Schadenskosten aber relativ niedrig ausfallen. Andersherum steht der relativ kleinen Anzahl an Schäden in Gasanlagen eine sehr hohe durchschnittliche Schadenshöhe gegenüber.

⁴ Aus [11] wurde hier eine andere Datenbasis als für Bild 2 ausgewertet, die nicht nur Millionenschäden, sondern alle Schäden enthält.

2.3 Ereignishäufigkeiten nach Branche/Prozesstyp

Im Folgenden wird untersucht, welche Branchen in den Prozessindustrien hohe Ereignishäufigkeiten aufweisen. Dies ist für eine Priorisierung von prozessspezifischen Lösungen interessant. Hierzu werden spezifische und absolute Häufigkeiten betrachtet.

Belke [13] und Kleindorfer *et al.* [14] haben 15 000 gemeldete Ereignisse im Zeitraum Mitte 1994 bis Mitte 1999 in den Prozessindustrien der USA ausgewertet. Bild 3 zeigt die absoluten und spezifischen Ereignishäufigkeiten für einige Branchen.

Nach absoluten Ereigniszahlen betrachtet führt die Mineralölraffination in den USA die Ereignishäufigkeitsstatistik mit 192 Unfällen im Betrachtungszeitraum an. Da aber auch die Anzahl der Prozesse mit 1609 sehr hoch ist, liegt die spezifische Häufigkeit (Unfälle pro Prozess und Jahr) mit 0,024 dagegen nur im Mittelfeld. Auch in der EU

⁵ Prozess: Nach [13] ist ein Prozess ein Teil einer Einrichtung, der mindestens eine meldepflichtige Chemikalie enthält. Eine Einrichtung enthält oft mehrere Prozesse. Prozesse, die mehrere Chemikalien enthalten, werden entsprechend mehrfach gezählt. Eine Anlage kann mehrere „Prozesse“ enthalten. Die prozesszentrische Betrachtung wurde vorgenommen, weil die Analyse nach Chemikalien im Vordergrund steht. In der ausgewerteten Datenbank sind 14 828 Anlagen mit 20 210 Prozessen registriert.

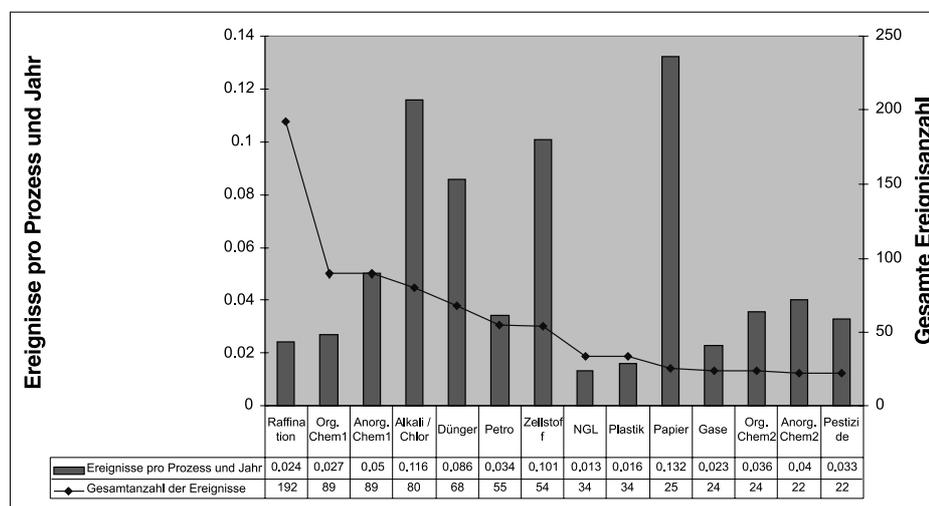


Bild 3: Ereignishäufigkeiten in verschiedenen Prozessindustrien [13]: Die Balken stellen die Unfälle pro Prozess und Jahr dar (linke Skala), die Linie die Gesamtanzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum Mitte 1994–Mitte 1999 (rechte Skala).

führt die Gruppe Mineralölraffination/Petrochemie die Ereignishäufigkeitsstatistik an [15; 16]. Hinzu kommt, dass es weltweit eine große Anzahl von ca. 730 Mineralölraffinerien gibt [17].

In den USA folgen die organischen Basischemikalien auf die Mineralölraffination: Bei Zusammenfassung der beiden zugehörigen Kategorien (NAICS 32519 und 325199) ergeben sich 113 Unfälle (bei 788 Prozessen). Auf die organischen Basischemikalien folgen mit 111 Unfällen (bei 468 Prozessen) dicht die anorganischen. Die Statistik von *Marsh* [9] weist im Zeitraum 1972–2001 sogar mehr Schadensfälle bei Terminals und Verteilung auf als bei der Mineralölraffination (diese Branche wird in [13] nicht einzeln ausgewiesen).

Nach *spezifischen* Häufigkeiten beurteilt führen dagegen in den USA Papiermühlen (Rank 2 mit 0,132) die Statistik an [13]. Es folgen Alkali- und Chlorherstellung (Rank 3 mit 0,116), Zellstoffanlagen (Rank 4 mit 0,101) und die Herstellung stickstoffhaltigen Düngers (Rank 5 mit 0,086). Angemerkt sei, dass es weltweit ca. 650 Chlor-Alkali-Anlagen gibt [18]. In Frankreich dagegen führt die Mineralölraffination mit einer spezifischen Häufigkeit von 0,052 im Vergleich mit einigen anderen Branchen die BARPI-Ereignisstatistik für den Zeitraum 1992–2000 an [19: S. 8]. Zudem liegt bei Auswertung nach involvierten Stoffen Chlor mit 11% bei der europäischen und mit 25% bei der US-amerikanischen Meldestatistik jeweils auf Platz 2 [8; 13]. Dabei ist zu bemerken, dass Chlor nicht nur bei gezielter Herstellung entstehen kann, sondern auch durch ungewollte Reaktion als Nebenprodukt. Ammoniak liegt mit 32% auf Platz 1 bei der US-Statistik, in Europa mit 8% auf Platz 3. In Europa liegen die Kohlenwasserstoffe C₂, C₃ und C₄ auf Platz 1 (16%).

⁶ Rank 1 belegen mit 0,134 Schlachtereien (außer Geflügel).

⁷ Für Frankreich wird die „spezifische Häufigkeit“ als durchschnittliche Anzahl an Ereignissen pro Anlage und Jahr verstanden [19].

In den letzten 15 Jahren ist in den Bereichen Mineralölraffination, Petrochemie, Gasanlagen und Terminals jeweils die absolute Anzahl an Schadensfällen gestiegen, wenn Fünfjahreszeiträume verglichen werden (Bild 4). Die einzige Ausnahme vom Trend stellt die Abnahme der Schadensfälle in der nicht US-amerikanischen Petrochemie im letzten Fünfjahresvergleich dar. Zudem ist bei den durchschnittlichen Schadenshöhen seit Jahren prinzipiell ein steigender Trend zu beobachten [20].

Zusammenfassend sollten folgende Industrieanlagen näher betrachtet werden:

- die Mineralölraffination wegen hoher spezifischer Ereignishäufigkeit, einer sehr großen Zahl relativ ähnlicher Anlagen und durchschnittlich teurer Schäden,
- die Chlor-Alkali-Industrie wegen sehr hoher spezifischer Ereignishäufigkeit und einer großen Anzahl relativ ähnlicher Anlagen und
- Terminals/Verteilung wegen der höchsten absoluten Schadensanzahl, auch wenn die durchschnittlichen Schadenskosten vergleichsweise niedrig sind.

2.4 Schadensursachen nach Anlagenkomponenten

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Rolle verschiedener Anlagenkomponenten bei Schäden für verschiedene Anlagentypen.

Rohre und Rohrleitungen zählen zu den Komponenten, die am häufigsten Schadensfälle verursachen: Die Häufigkeiten liegen um 20% in [21] bei internationaler Datenbasis sowie auch in [22] für das Industriegebiet Rijnmond (Niederlande), siehe Tabelle 2. *Marsh Risk Consultants* nennen für die chemische Industrie sogar 33% [23]. *Drogaris* [15; 16] nennt 46% bei europäischer Datenbasis. In der

⁸ *Marsh Risk Consultants* [21] klassifizieren die „Verluste nach Ausrüstungstyp“, *Blokker und Goos* [22] nach „versagenden Komponenten mit Materialschaden als hauptsächlichem oder als beiträgendem Grund“.

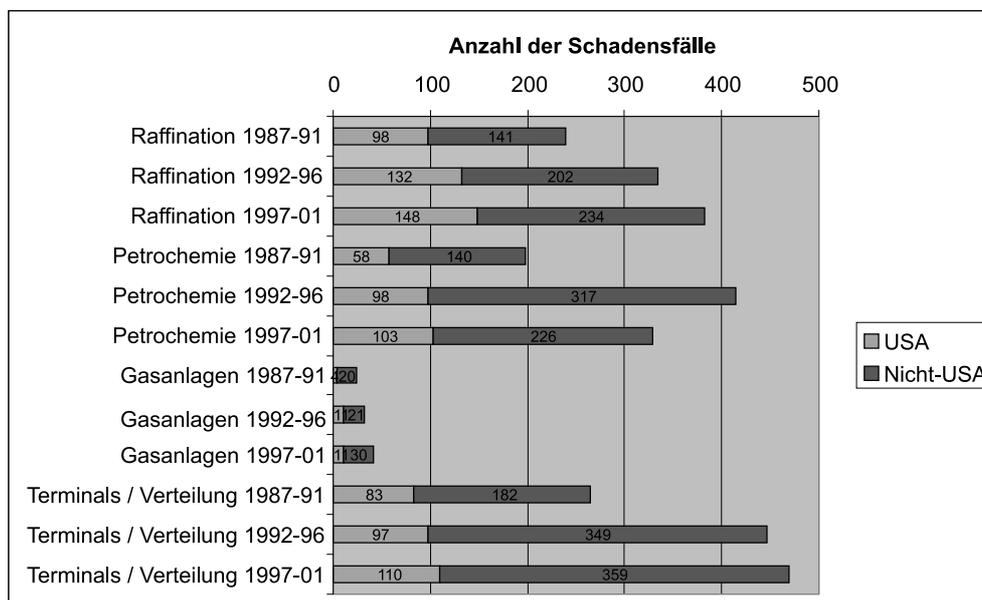


Bild 4: Entwicklung der Schadenshäufigkeiten im Fünfjahresvergleich für verschiedene Branchen [9].

Tabelle 2: Rolle verschiedener Anlagenkomponenten bei Schäden für verschiedene Anlagentypen (k. A.: Keine Angabe).

Anlagentyp		Rohre/Rohrleitungen	Tanks	Behälter	Reaktoren	Wärmetauscher	Öfen/Kessel/Erhitzer	Anzahl der Fälle	Quelle
Raffinerien	Anteil	20%	12%	20%	k. A.	4%	4%	128	[21]
	∅-Verlust	61,6 MUSD	35 MUSD	17,6 MUSD		28,4 MUSD	46,8 MUSD		
Petrochemie	Anteil	5%	6%	18%	20%	k. A.	4%	108	[21]
	∅-Verlust	53,5 MUSD	23,9 MUSD	11,0 MUSD	88,8 MUSD		157,1 MUSD		
Gasanlagen	Anteil	21%	7%	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	14	[21]
	∅-Verlust	98,7 MUSD	17,7 MUSD						
Terminals	Anteil	18%	20,5%	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	39	[21]
	∅-Verlust	53,4 MUSD	33 MUSD						
Prozessindustrie (allg.)	Anteil	21,7% inkl. 6,9% für Ventile	5%	4,6%	3,3%	5,1%	6,6%	1734	[22]

Tabelle 3: Statistik über Schäden während Montage und Inbetriebnahme von Anlagen der chemischen Industrie [28].

Anlagentyp	Rohrleitungen	Säulen, Tanks, Kühltürme	Behälter, Reaktoren	Kessel, Filter, Schalldämpfer	Wärmetauscher	Öfen	Gesamtanzahl der Fälle
Chemieanlagen	10%	9%	18%	9%	14%	14%	304

Auswertung vom TÜV/von Gerling finden sich 47% [24], wobei aber eine allgemein industriell-gewerbliche Datenbasis ausgewertet wurde. Eine Beispielursache stellt Materialschwäche durch Erosionskorrosion oder durch chemische Korrosion dar. Rohrkrümmer sind als Ort hervorzuheben. Ein weiterer Beispielgrund ist der Einsatz unpassender Werkstoffe. Geyer et al. [25] untersuchten 500 Ereignisse, in denen Rohre eine Rolle spielten: Die bekannten direkten Gründe führen Bedienfehler mit 30,9% an. Es folgen Überdruck (20,5%) und Korrosion (15,6%). Insgesamt wird der Anteil menschlichen Irrtums auf 41% beziffert. Die zugrunde liegenden Ursachen liegen am häufigsten im Bereich der Wartung/Instandhaltung (38,7%), gefolgt von Entwurf (26,7%) und Betrieb (13,7%).

Auch Ventile sind häufig die primär verursachende Komponente. Blokter und Goos [22] führen 6,9%, Drogaris [15; 16] führt 11,1% und Garrison [26] 4% der Ereignisse auf sie zurück. Zum Beispiel führten nicht vollständig geschlossene Ventile beim Anfahren zur ungeplanten Mischung von Stoffen und anschließender Explosion. Im Zusammenhang mit Wartungsarbeiten verursachten nicht vollständig geschlossene Ventile einen Stoffaustritt und in Folge ein Ereignis. Eine ähnlich große Bedeutung haben Tanks und Behälter, insbesondere in der Petrochemie. Eine Beispielursache ist das Überfüllen von Tanks, was zur Freisetzung von flüchtigen Dämpfen und dann zur Explosion führen kann. Ein weiteres Beispiel ist das Versagen von Schweißnähten.

Je nach Anlagentyp verursachen allein die zuvor genannten Anlagenkomponenten zwischen 30 und 50% der gesamten Ereignisse. Hieraus ergibt sich die wichtige Schlussfolgerung, dass nicht die komplexen, sondern die einfachen Komponenten zentrale Bedeutung im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit besitzen. Aber auch bezüglich der Schadenshöhe spielen Rohre/Rohrleitungen eine wichtige Rolle, wie die durchschnittlichen Schadenskosten bei Klassifikation der Schäden nach Komponenten in Tabelle 2 zeigen: Bei Mineralölraffinerien und Gasanlagen sind die den Rohren/Rohrleitungen zugeordneten Schäden im Durchschnitt die teuersten (der ausgewiesenen) Schäden. Bei Terminals werden ihnen die zweitteuersten Schäden zugewiesen – nur die Schiffen zugeordneten Verluste waren teurer. Bei Petrochemieanlagen werden Rohren/Rohrleitungen eher moderate Schäden zugeordnet – die teuersten folgen dort aus Öfen und Kolonnen. Dabei spielt die Korrosion eine wichtige Rolle: In [15; 16] zeichnet sie für 6,7% der Fälle, in [8] für 10%, bei der ZEMA [27] für 8% und nur bezüglich Rohrleitungen in [25] für 15,6% der Fälle verantwortlich.

Die Bedeutung der einzelnen Anlagenkomponenten bei der Schadensverursachung unterscheidet sich in den Phasen Bau und Inbetriebnahme von der Phase des Dauerbetriebs. Dies wird beim Vergleich von Tabelle 2 und Tabelle 3 deutlich: Während der Errichtung und Inbetriebnahme entstehen Schäden häufiger an Anlagenkomponenten, die großen Temperaturänderungen ausgesetzt sind bzw. eingefahren werden müssen. Schäden an Rohren/Rohrleitungen dagegen

werden wesentlich durch Abnutzung verursacht und spielen deshalb eine größere Rolle in der Betriebsphase.

2.5 Wartungsaufwendungen nach Anlagenkomponenten

Nachdem die Bedeutung verschiedener Anlagenkomponenten in der Schadensstatistik diskutiert wurde, ist ein Vergleich mit ihrer Bedeutung bei den Wartungsaufwendungen interessant. Laut [23] wurden im Jahr 2002 weltweit 42,9 Milliarden USD für Wartung in der chemische Industrie ausgegeben. Dabei entfielen 40% oder 17,16 Milliarden USD auf Material, der Rest auf Arbeitskosten. Bild 5 zeigt Wartungsaufwendungen bezüglich Material für einige Anlagenausrüstungen: 5% der 17,16 Milliarden USD werden für Rohre/Rohrleitungen, 7% für Ventile und 8% für Behälterinneres verwandt. Insbesondere bei Rohren/Rohrleitungen entsprechen die relativen Wartungsaufwendungen nicht der relativen Bedeutung bei den Schadensursachen. Dabei ist zu beachten, dass die Schadensvermeidung nur ein Kriterium für die Festlegung der Wartungsaufwände ist. Ein anderes Kriterium stellt die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs dar, z. B. das Erkennen und Entfernen von Ablagerungen in Wärmetauschern, die den Wärmeübergang verschlechtern. Die Wartungsaufwendungen für die Instrumentierung stechen hervor. Die Instrumentierung besitzt besondere Bedeutung für die Prozessführung und damit auch für wirtschaftliche und sicherheitstechnische Aspekte des Anlagenbetriebs.

2.6 Bedeutung verschiedener Fehlerursachen

Im Folgenden werden die Fehlerursachen näher untersucht. Da die ausgewerteten Statistiken jeweils andere Kategorien von Fehlerursachen verwenden, lassen sich die verschiede-

nen Ergebnisse nicht direkt miteinander vergleichen. Ein Beispiel für die relative Bedeutung der Fehlerursachen zeigt Bild 6. Zu erkennen ist eine Zunahme des mechanischen Versagens um 6% und eine Abnahme der Bedienfehler um 4%. Es kann vermutet werden, dass die zunehmende Alterung des Anlagenparks zum Wachsen des mechanischen Versagens als Ursache beigetragen hat.

Neben der Häufigkeit sind auch die wirtschaftlichen Folgen von Ereignisursachen wichtig. Aus Bild 7 ist zu erkennen, dass Bedienfehler durchschnittlich zu den teuersten Schäden führen. Nach Häufigkeit und Folgekosten sind also insbesondere mechanisches Versagen und Bedienfehler wichtig. Die durch Bedienfehler verursachten hohen Schadenskosten motivieren zu einer genaueren Betrachtung. Die Auswertung mehrerer Quellen [8; 19; 22; 24; 27–31] bestätigt, dass etwa 20–35% der Ereignisse auf Bedienfehler zurückzuführen sind. Allerdings ist zu bemerken, dass es beim menschlichen Fehlverhalten keine einheitlichen (Unter-) Kategorien gibt, die einen direkten Vergleich der verschiedenen Statistiken ermöglichen würden. Beispiele berichteter Bedienfehler sind:

- Fehler beim Ablesen von Beobachtungselementen
- Vergessen, einen Rührer rechtzeitig einzuschalten, und plötzliche Reaktion großer Stoffmengen bei späterem Einschalten des Rührers
- Verwechslung von Einsatzstoffen oder eine falsche Reihenfolge/ein falscher Zeitpunkt/eine falsche Dosierung bei der Zugabe von Einsatzstoffen
- Inbewegungsetzen eines Kesselwagens während eines Abfüllvorganges.

Neben den Bedienfehlern im engeren Sinne gibt es weitere mögliche Quellen menschlichen Fehlverhaltens, das zu Ereignissen führen kann, wie beispielsweise:

- Organisatorische und prozedurale Fehler, Fehler in Anweisungen,

⁹ Sie schließt in [23] Prozessleittechnik, Regelventile, Stellantriebe, Online-Analysatoren, Applikationssoftware u. a. m. ein.

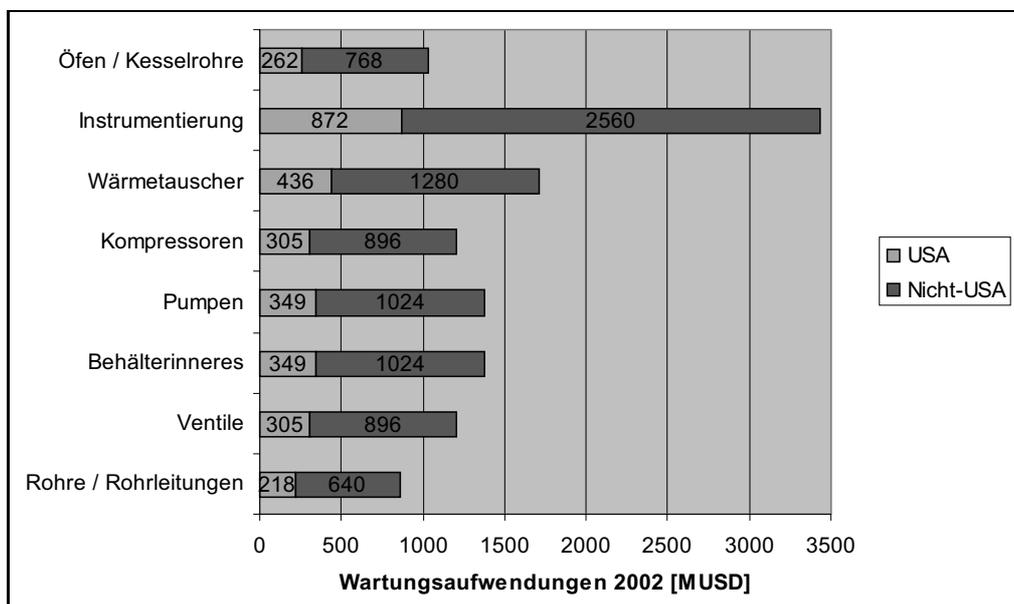


Bild 5: Weltweite Wartungsaufwände im Jahr 2002 für ausgewählte Ausrüstungen [23].

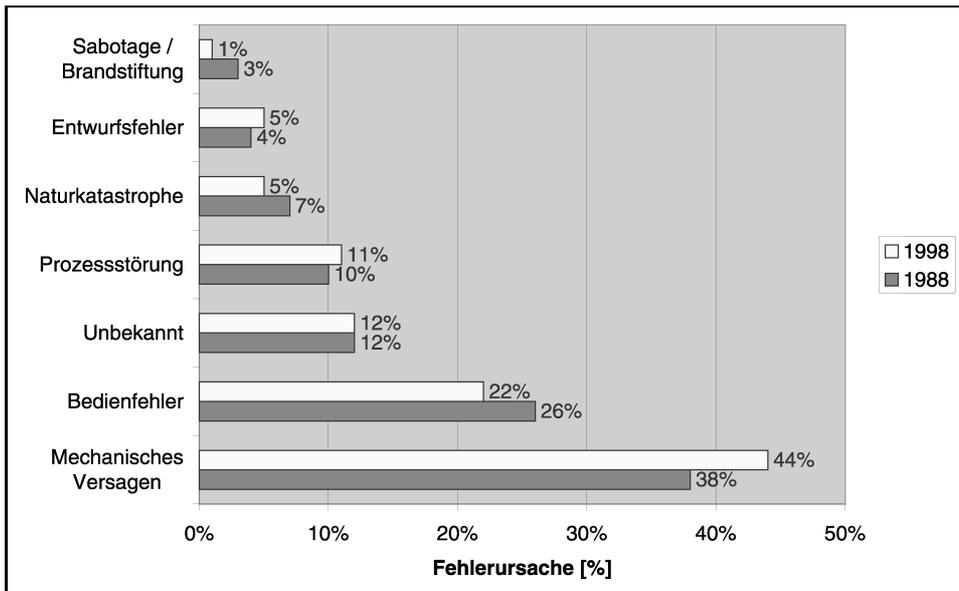


Bild 6: Verteilung der Fehlerursachen in den Jahren 1988 und 1998, 100% ≡ alle Schäden, d. h. 100 Schäden im Jahr 1988 ([26; 31] zitiert nach [12]).

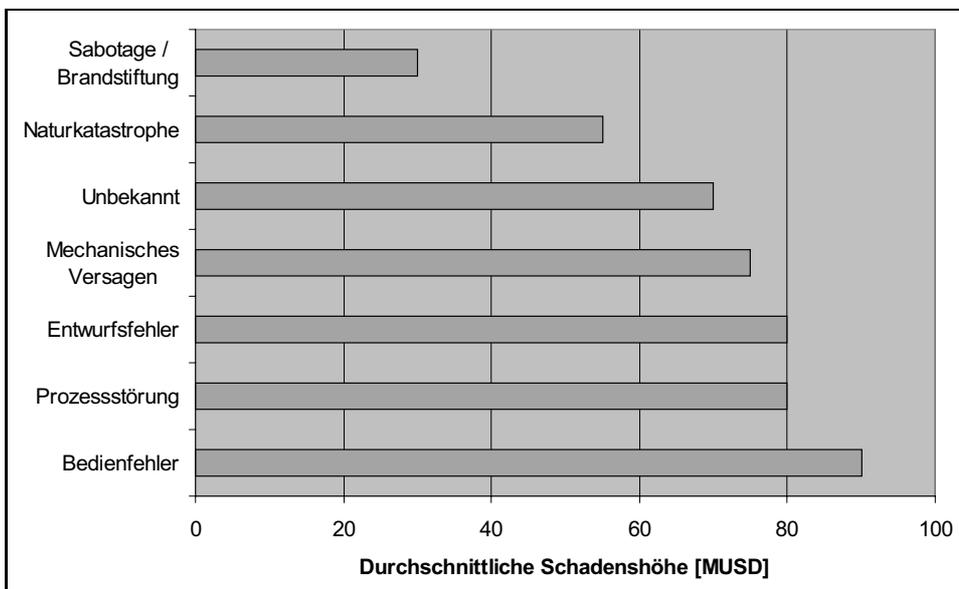


Bild 7: Schadenskosten nach Fehlerursachen in der chemischen Industrie: Bedienfehler sind die durchschnittlich teuersten Schadensursachen (*Marsh Risk Consultants* laut [23]).

- Fehler während Reparatur oder Montage inklusive Schweißen und Schneiden, Umformen, Wärmebehandlung, Verwechslung und
- Kommunikation.

Die Auswertung in [22] weist Bedienfehler mit 60,2% als die häufigste Form menschlichen Fehlverhaltens aus. Für eine quantitative Aufschlüsselung verschiedener Arten menschlichen Fehlverhaltens sei z. B. auf [22] oder [32] verwiesen.

2.7 Bedeutung verschiedener Betriebsvorgänge

Etwa ein Viertel der Ereignisse tritt im Nichtnormalbetrieb auf, obwohl dieser nur einen Bruchteil der Betriebszeit ausmacht: *Blokker und Goos* [22] ordnen 23% der Ereignisse dem Nichtnormalbetrieb zu, *Garrison* [26] 22%, die *ZEMA* [27] 27% und *Rasmussen* [8] sogar 46%. Zum

Nichtnormalbetrieb werden beispielsweise An-/Abfahren, Wartung und Reparatur, Reinigen sowie Be-/Entladen gezählt.

3 Zusammenfassende Bewertung

Durch die Verknüpfung verschiedener Statistiken von Versicherern, Risikoberatern und behördlichen Meldstellen konnte ein Überblick über Kosten, Verteilung und Ursachen von Ereignissen in den chemischen Industrien erstellt werden. Bild 8 skizziert die wichtigsten Ergebnisse.

Im Vergleich mit anderen *Branchen* sticht die chemische Industrie wegen der im Vergleich relativ hohen durchschnittlichen Schadenshöhe hervor. Dies gilt insbesondere für die Mineralölraffination, da es hier *gleichzeitig* hohe durchschnittliche Schadenskosten, eine große Anzahl ähn-

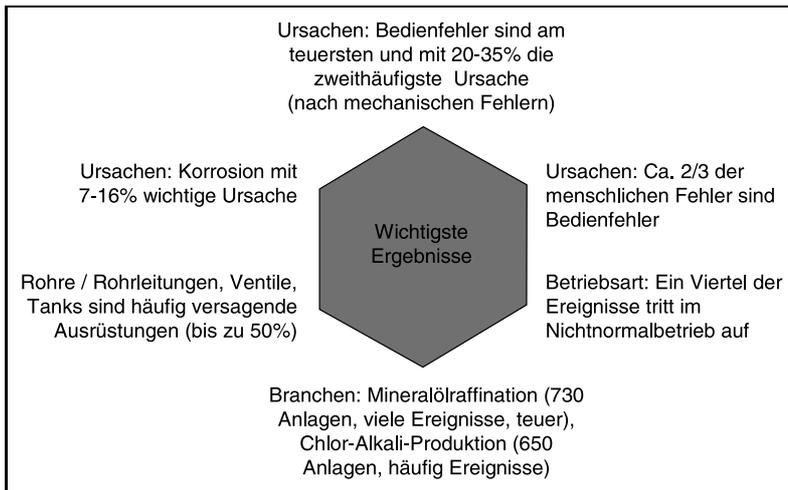


Bild 8: Wesentliche Ergebnisse der Auswertung.

licher Anlagen und viele Ereignisse gibt. Die Lage bei der Chlor-Alkali-Industrie ist ähnlich, aber wirtschaftliche Aussagen fehlen. Bei Anzahl und durchschnittlichen Kosten der Schadensfälle ist in den letzten 15 Jahren eine steigende Tendenz zu beobachten.

Bei der Analyse nach *Anlagenkomponenten* zeigt sich, dass nicht die komplexen, sondern die einfachen Komponenten die Ursachenstatistik anführen: Die Kategorie der Rohre/Rohrleitungen und Ventile sowie die der Tanks/Behälter ist jeweils für ungefähr ein Fünftel der Ereignisse verantwortlich. In der Mineralölraffination verursachen sie insgesamt sogar mehr als 50% der Ereignisse. Erosion und verschiedene Formen der Korrosion spielen hier eine besondere Rolle. Insbesondere steht der Größe des Anteils von Rohren/Rohrleitungen bei den Ereignisursachen keine entsprechende bei den Wartungsaufwendungen gegenüber.

Bei der Analyse der *Ursachen* treten mechanische Fehler/Materialfehler und Bedienfehler hervor. Mechanische Fehler/Materialfehler dominieren mit 30–40% die Statistik. Bedienfehler folgen mit 20–35% auf dem zweiten Platz, verursachen aber im Schnitt die teuersten Schäden. Außerdem sind sie die häufigste Form menschlichen Fehlverhaltens.

Ungefähr ein Viertel der Ereignisse tritt im Nichtnormalbetrieb auf, bei dem manuelle Aktivitäten eine größere Rolle spielen als im Normalbetrieb.

4 Empfehlungen und Ausblick

Die signifikante Rolle von Bedienfehlern als Ereignisursache und die relativ vielen Ereignisse während Nichtnormalbetrieb, bei dem verstärkt manuelle Eingriffe erfolgen, zeigen Verbesserungspotentiale bei der Qualifikation von Anlagenbedienern und bei deren Unterstützung durch Automatisierungs- und Informationstechnologie. Gut ausgebildetes und trainiertes Personal – auch in Kommunikation und Problembewältigung – spielt eine zentrale Rolle bei Betrieb und Wartung von Anlagen. Die traditionellen

Schulungsformen ergänzend (sog. blended learning) kann ein Ausbau des Anteils an computerbasierter Schulung eine effiziente Anpassung an Änderungen der Arbeitsanforderungen von Anlagenbedienern unterstützen: Die Schulungen werden flexibler („learning on demand, just in time, and just in place“); so lassen sich Zeiten geringerer Arbeitsbelastung zur Selbstschulung am Arbeitsplatz verwenden. Zudem können viele Mitarbeiter in kurzer Zeit effizient erreicht werden [33; 34].

Automatisierungs- und Informationstechnologie sind zentrale Werkzeuge, um heutige Betriebsanforderungen an Durchsatz, Ausbeute, Qualität, Reproduzierbarkeit usw. erfüllen zu können. In den letzten Jahren gab es insbesondere wesentliche Fortschritte bei Methoden und Systemen für den Betrieb von Chargenprozessen/Mehrproduktanlagen. Rückmeldungen der Erfahrungen aus deren Einführung in die betriebliche Praxis wären wertvoll. Daraus lässt sich dann ein detaillierter Maßnahmenkatalog ableiten. Angriffspunkte können z. B. verbesserte Konzepte der Mensch-Maschine-Interaktion für Anlagenbediener – vor Ort und im Leitstand – sein. Hierunter fallen auch unausgeschöpfte (und wirtschaftlich realisierbare) Potentiale für systemisches Erkennen von Bedienfehlern. Ein weiteres Beispiel ist die Verbesserung der Bedienerunterstützung beim Nichtnormalbetrieb von Anlagen (z. B. An-/Abfahren oder Produkt-/Typwechsel), in dem relativ viele Ereignisse auftreten. Hier können z. B. Schrittkettensteuerungen oder modellbasiertes Transitionsmanagement Einsatz finden. Diese Beispiele gelten auch in Bezug auf Fließprozesse.

Der verstärkte Einsatz von Automatisierungs- und Informationstechnologie im Bereich der Instandhaltung/Wartung kann zu einer Reduktion von unerwünschten Ereignissen führen. Beispielsweise können drahtlose Handgeräte dem Servicepersonal Informationen zum Zustand von Anlagenkomponenten (z. B. Druck) und Instrumentierung (z. B. Ventilstellungen) vor Ort geben. Das reduziert die Wahrscheinlichkeit, dass z. B. ungewollt unter Druck stehende Rohre getrennt oder Ventile geöffnet werden und ein Stoffaustritt zu einem Ereignis führt. Die Erfassung, Auswertung und Darstellung von Betriebs- und Komponentenzustän-

den (wie die Schaltspielüberwachung von Ventilen) mithilfe der Prozessautomatisierung kann wesentliche Beiträge zum technischen Asset Management liefern.

Korrosions- und Ventilzustandsmonitore sollten entwickelt und an besonders gefährdeten Stellen eingesetzt werden. Konzepte sind zu erarbeiten, wie der Bauteilzustand von Anlagenkomponenten kostengünstig auch bei größeren räumlichen Ausdehnungen überwacht werden kann (z. B. die Wandstärke bei Rohrleitungen). Im Kraftwerksbereich sind bereits Vorarbeiten in diese Richtung erfolgt. Im ersten Schritt kann mit Rohrkrümmern begonnen werden.

Betreiber von Anlagen können ihre eigenen Ereignisstatistiken mit Branchenstatistiken vergleichen, um ihre Status- und Potentialbestimmung zu verbessern. Anlagenspezifische Risikoanalysen erlauben es, maßgeschneiderte Aktivitäten abzuleiten. Reliability-centered Maintenance (RCM) kann z. B. als Methodik Einsatz finden, siehe [35]. Da in diesem Beitrag nur die Ereignisperspektive betrachtet wurde, sollten für eine endgültige Priorisierung und Auswahl von Asset Management-Aktivitäten weitere Kriterien wie die Verringerung von Betriebskosten und die Aufrechterhaltung oder die Verbesserung der Anlagenperformance mit betrachtet werden.

Die vorliegende Arbeit kann die angesprochene Thematik wegen deren Komplexität und Umfang nur anreißen. Zu weiterführenden Untersuchungen wird ermuntert, insbesondere wegen der mittlerweile reichhaltigen öffentlich zugänglichen Informationen. Die verzeichneten Quellen können als Startpunkt dienen.

Danksagung

Der Autor dankt Frau Guimont (BARPI), Herrn Jakszentis (Munich-American RiskPartners), Herrn Kleiber (ZEMA), Frau Muscillo (Community Documentation Centre/JRC), der Allianz und Marsh Property Risk Consulting für das freundlicherweise zur Verfügung gestellte Material. Seinen Kollegen Marco Fahl, Klaus Hütten, Raiko Milanovic, Lothar Schuh, Wilhelm Seebass und Boris Wippermann ist der Autor für die Durchsicht des Manuskriptes dankbar. Dem anonymen Reviewer sei gedankt für Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes.

Literatur

- [1] Namur 2001. Anforderungen an Systeme für Anlagennahes Asset Management. Namur Empfehlung NE 91 vom 01.11.2001.
- [2] Reinig, G., R. Dittmar, und O. Göttmann. 2000. INTERKAMA 1999: Produkte im Bereich Advanced Process Control. Automatisierungstechnische Praxis, H. 4. S. 46–57.
- [3] Abel, O., und J. Birk. 2002. Real Time Optimization of Chemical Processes with Application to Olefins Production. Automatisierungstechnik, H. 12. S. 586–596.
- [4] Dittmar, R., M. Bebar, und G. Reinig. 2003. Control Loop Performance Monitoring: Motivation, Methoden, Anwenderwünsche. Automatisierungstechnische Praxis, H. 4. S. 94–103.
- [5] Koschel, J., U. Müller, und E. Nicklaus. 2000. Asset Management – Zustandserkennung in Produktionsanlagen. Automatisierungstechnische Praxis, H. 12. S. 41–47.
- [6] Niemann, K.-H. 2003. Von der Konfiguration zum Asset Management. GMA Kongress, 3–4 Juni 2003, Baden-Baden. VDI-Berichte Nr. 1756. S. 183–193.
- [7] Müller, J., M. Wollschlaeger, U. Epple, und C. Diedrich. 2003. Asset Management Applikationen mit der Asset Management Box. GMA Kongress, 3–4 Juni 2003, Baden-Baden. VDI-Berichte Nr. 1756. S. 881–892.
- [8] Rasmussen, K. 1996. The experience with the major accident reporting system from 1984 to 1993. Ispara/Italien: MAHB, Institute for systems engineering and informatics, community documentation centre on industrial risk (CD-CIR). Bericht-Nr. EUR 16341 EN.
- [9] Marsh 2003. The 100 Largest Losses 1972–2001: Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries. 20. Auflage, Februar 2003, New York: Marsh.
- [10] HSE 1997. The explosion and fires at the Texaco Refinery Milford Haven, 24 July 1994. Sudbury: HSE books. ISBN: 0-7176-1413-1.
- [11] MunichRe 1991. Losses in the Oil, Petrochemical and Chemical Industries – a report. München: MunichRe.
- [12] Crowl, D.A., und J.F. Louvar. 2002. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, (2nd ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall PTR.
- [13] Belke, J.C. 2000. Chemical accident risks in the U.S. industry – A preliminary analysis of accident risk data from U.S. hazardous chemical facilities. Technical Report. US EPA, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office (CEPPO), Washington D.C. September 25, 2000, <http://www.epa.gov/ceppo/pubs/stockholmpaper.pdf>.
- [14] Kleindorfer, P.R., H. Feldman, und R.A. Lowe. 2000. Accident Epidemiology and the U.S. Chemical Industry: Preliminary Results from RMP*Info. Working Paper 00-01-15. Center for Risk Management and Decision Processes, The Wharton School, Univ. of Pennsylvania, March 6, 2000, <http://opim.wharton.upenn.edu/risk/downloads/00-1-15.pdf>.
- [15] Drogaris, G. 1993a. Learning from major accidents involving dangerous substances. Safety Science 16, 89–113.
- [16] Drogaris, G. 1993b. Major accident reporting system: Lessons learned from accidents notified. Amsterdam: Elsevier, ISBN: 0-444-81665-8.
- [17] Nakamura, D. 2002. Special Worldwide Report: Worldwide refining capacity climbs to highest level ever. Oil & Gas Journal, Dec. 23, 2002.
- [18] World Chlorine Council 2002. The World Chlorine Council and Sustainable Development. April 2002, <http://worldchlorine.com/publications/pdf/report.pdf>.
- [19] Vesseron, P. 2000. Accident Inventory. Report. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, DPPR/SEI/BARPI.
- [20] GDV 2001. Jahrbuch 2001: Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV.
- [21] Marsh 2001. Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries – A Thirty-Year Review: Trends and Analysis. 19. Auflage, Februar 2001, New York: Marsh.
- [22] Blokker, E.F., und D. Goos. 1986. Event Data Collection for the Rijmond Process Industry 5th Int. Symp. „Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries“, Cannes, 1986 VOI II, Lecture 65 Société de Chimie Industrielle, Paris, S. 66-1 bis 66-15.
- [23] Hydrocarbon Processing 2002. HPI Market data 2002. Houston: Hydrocarbon Processing Magazine.
- [24] Eiden, H. 1990. Bauteilschäden: Erfahrungen aus der Sachverständigentätigkeit. Gerling-Institut für Schadensforschung und Schadenverhütung. Schadensstatistik für Zeitraum 1975–1988. Köln: Verlag TÜV Rheinland. ISBN: 3-88585-262-4.
- [25] Geyer, T.A.W., L.J. Bellamy, J.A. Astley, und N.W. Hurst. 1990. Prevent pipe failures due to human errors. CEP, November, S. 66–69.

- [26] Garrison, W.G. 1988: Major fires and explosions analyzed for 30-year period. *Hydrocarbon Processing*, H. 9. S. 115–118.
- [27] ZEMA 1997. Zusammenfassende Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse 1993–1997. Berlin: Zema/Umweltbundesamt, <http://www.umweltbundesamt.de/>.
- [28] Allianz 1984. *Allianz-Handbuch der Schadensverhütung*. 3. Auflage, Berlin, München: Allianz, ISBN 3-18-419089-7.
- [29] Barton, J. und R. Rogers. 1997. *Chemical Reaction Hazards*. (2nd ed.). Rugby: Institution of Chemical Engineers. ISBN:0-85295-341-0.
- [30] Emberly, D. 1996. *Refinery Operators – Competency, Procedures and Best Practice*. Proc. 1996 European Refining Conference, Antwerp/Belgien, 13–14.06.1996.
- [31] Marsh 1998. *Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries – A Thirty year Review*. New York: J & H Marsh & McLennan Inc.
- [32] Reason, J. 1994. *Menschliches Versagen: psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Übersetzung der amerikanischen Originalausgabe von 1992. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. ISBN: 3-86025-098-1.
- [33] Kroll, A. 2003. *Trainingssimulation für die Prozessindustrien: Status, Trends und Ausblick. Teil 1 + 2. Automatisierungstechnische Praxis atp*, Vol. 45, H. 2. S. 50–57 + H. 3. S. 55–60.
- [34] Kroll, A., und M. Nußko. 2004. *Zur computerbasierten Schulung von Anlagenfahrern in der chemischen Industrie (eingereicht)*.
- [35] Moubray, J. 1997. *Reliability-centred Maintenance*. Oxford: Butterworth Heinemann. ISBN: 0-7506-3358-1.

Manuskripteingang: 20. August 2003.



Dr.-Ing. Andreas Kroll leitet die Gruppe Control & Optimization der ABB AG – Forschungszentrum Deutschland. Zu den Forschungsschwerpunkten der Gruppe gehören Methoden und Systeme zur gehobenen Regelung, Prozessführung, Monitoring & Diagnose sowie Produktionsplanung für die Anwendung in den Prozessindustrien.

Adresse: ABB AG – Forschungszentrum Deutschland, Abt. I4: Control & Optimization, Wallstadter Str. 59, 68526 Ladenburg, Tel. (0 62 03) 71-62 52, Fax -62 53, E-Mail: andreas.a.kroll@de.abb.com

Grundlagen



Lothar Litz

Grundlagen der Automatisierungstechnik

2004, 450 Seiten

Ca. € 34,80

ISBN 3-486-27383-3

Das Buch von Lothar Litz ist konzipiert als modernes Werk zur Einführung in die Methoden der Automatisierungstechnik und wendet sich sowohl an Ingenieure als auch an Informatiker. Automatisieren bedeutet immer: rückgekoppelte Systeme beherrschen. Dies betrifft gleichermaßen kontinuierliche und ereignisdiskrete Systeme, Regelungs- und Steuerungssysteme. Deswegen wird beiden die gleiche Aufmerksamkeit geschenkt. Ein eigenes Kapitel ist den immer wichtigeren hybriden Systemen gewidmet, die Aspekte der beiden vorigen Systemklassen vereinigen. Heutige Automatisierungssysteme werden fast ausschließlich mittels Software realisiert. Regelungs- und Steuerungsentwurf bedeutet daher immer auch Softwareentwurf. Diese Sichtweise liegt dem Aufbau des Buches zugrunde. Es behandelt zunächst den Entwurfsprozess und bündelt alle Methoden in diesen ein. Dies gilt insbesondere auch für den ereignisdiskreten Teil, der neuere V&V-Methoden (Verifikation und Validierung) wie z.B. Temporale Logik und Model Checking einbezieht. Das Buch vermittelt den Stoff auf 450 Seiten mit vielen Anwendungsbeispielen und über 50 Übungsaufgaben und -lösungen. Mehrere Applets wurden eigens zur Verdeutlichung des Stoffes erstellt und können über das Internet geladen werden.

Oldenbourg Wissenschaftsverlag

Rosenheimer Straße 145

D-81671 München

Telefon 0 89 / 4 50 51-0

Fax 0 89 / 4 50 51-204

Weitere Informationen zum Buch:

www.oldenbourg-verlag.de

Oldenbourg

