

Anlagensicherheit

Schutzkonzepte verfahrenstechnischer Anlagen



R 002

Stand: Juli 2024 (Vollständige Überarbeitung der Ausgabe 7/2014)

Inhaltsverzeichnis dieses Ausdrucks

Titel	3
VISION ZERO	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Merkmale verfahrenstechnischer Anlagen	5
3 Erstellung eines Schutzkonzeptes	5
3.1 Vorgehensweise und Grundlagen	6
3.2 Aspekte eines Schutzkonzeptes	7
3.3 Realisierung eines ganzheitlichen Schutzkonzeptes mittels Schutzebenen	7
3.4 Einbindung von Bauteilen in verfahrenstechnische Anlagen	8
3.5 Ablauf zur Erstellung eines Schutzkonzeptes	10
3.5.1 Ermittlung der grundsätzlichen Sicherheitsanforderungen	11
3.5.2 Festlegung des sicherheitstechnischen Grundkonzeptes	11
3.5.3 Erstellung des sicherheitstechnischen Anlagenkonzeptes	12
3.5.4 Sicherheitstechnische Detailplanung	12
3.5.5 Realisierung des Schutzkonzeptes – Betriebsfreigabe	13
3.5.6 Betreiben der verfahrenstechnischen Anlage	13
4 Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen des Schutzkonzeptes ..	13
4.1 Auslegung sicherheitsrelevanter Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen	13
4.2 Anforderungen an PLT-Sicherheitseinrichtungen in verfahrenstechnischen Anlagen	14
4.3 Berücksichtigung von Schadensszenarien außerhalb des Aufstellungsbereichs von Maschinen oder Apparaten	15
5 Nachweis der Sicherheit verfahrenstechnischer Anlagen	16
Anhang 1: - Beispiele zur Absicherung chemischer Reaktionen im betrieblichen Maßstab	17
Anhang 2: Literaturverzeichnis	26
Bildnachweis	30
Sonstiges	31

Die vorliegende Schrift konzentriert sich auf wesentliche Punkte einzelner Vorschriften und Regeln. Sie nennt deswegen nicht alle im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen. Seit Erscheinen der Schrift können sich darüber hinaus der Stand der Technik und die Rechtsgrundlagen geändert haben.

Diese Schrift wurde sorgfältig erstellt. Dies befreit nicht von der Pflicht und Verantwortung, die Angaben auf Vollständigkeit, Aktualität und Richtigkeit selbst zu überprüfen.

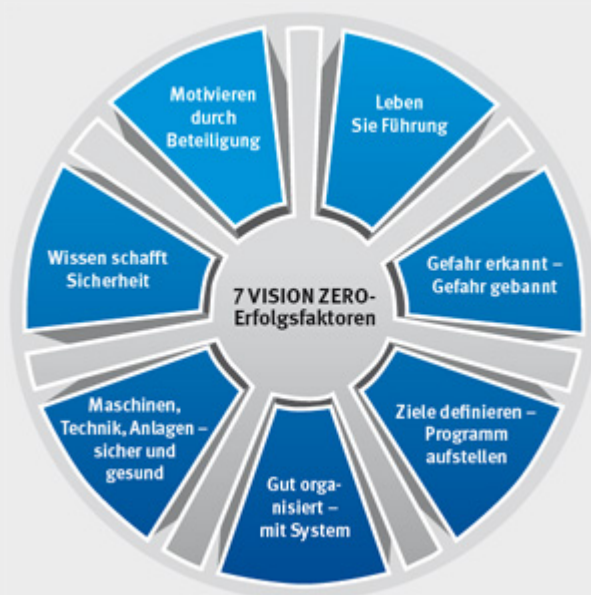
Das Arbeitsschutzgesetz spricht vom Arbeitgeber, das Sozialgesetzbuch VII und die Unfallverhütungsvorschriften der Unfallversicherungsträger vom Unternehmer. Beide Begriffe sind nicht völlig identisch, weil Unternehmerinnen oder Unternehmer nicht notwendigerweise Beschäftigte haben. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Thematik ergeben sich daraus keine relevanten Unterschiede, sodass „die Unternehmerin und der Unternehmer“ verwendet wird.

VISION ZERO

VISION ZERO.

NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Die **VISION ZERO** ist die Vision einer Welt ohne Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Erkrankungen. Höchste Priorität hat dabei die Vermeidung tödlicher und schwerer Arbeitsunfälle sowie Berufskrankheiten. Eine umfassende Präventionskultur hat die VISION ZERO zum Ziel.



Nähere Informationen zur VISION ZERO-Präventionsstrategie finden Sie unter www.bgrci.de/praevention/vision-zero.

In dieser Schrift besonders angesprochener Erfolgsfaktor:
„Maschinen, Technik, Anlagen – sicher und gesund“

1 Anwendungsbereich

Verfahrenstechnische Anlagen gelten nach Betriebsicherheitsverordnung (BetrSichV)¹ als Arbeitsmittel, für deren Betrieb bestimmte Anforderungen erfüllt werden müssen.

¹ Siehe Anhang 2 Nr. 11

Die Empfehlung für Betriebssicherheit „Beschaffung von Arbeitsmitteln“ (EmpfBS 1113)² erläutert, wie der Arbeitgeber bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln vorgehen kann. Dabei wird verdeutlicht, dass sich verfahrenstechnische Anlagen aufgrund ihrer Komplexität von einfachen Arbeitsmitteln unterscheiden. Hier geht es insbesondere auch darum, den verfahrenstechnischen Prozess so zu gestalten, dass der sichere Betrieb der Anlage gewährleistet ist.

In der TRBS 1111 „Gefährdungsbeurteilung“³ wird für die Auswahl und Verknüpfung technischer, organisatorischer und personenbezogener Schutzmaßnahmen der Begriff „Schutzkonzept“ verwendet. Diese Schrift beschreibt – in Anlehnung an Anhang 2 zur EmpfBS 1113 – die wesentlichen Schritte zur Erstellung und Realisierung eines solchen Schutzkonzeptes für verfahrenstechnische Anlagen.

2 Merkmale verfahrenstechnischer Anlagen

Verfahrenstechnische Anlagen dienen zur chemischen, physikalischen oder biologischen Umwandlung von Stoffen. Sie umfassen in der Regel eine Vielzahl von Bauteilen (beispielsweise Rohrleitungen, Pumpen, Behälter, Mischorgane und Armaturen) sowie ihre sicherheitstechnische Ausrüstung (beispielsweise Einrichtungen der Prozessleittechnik und Druckentlastungseinrichtungen).

Aufgrund der vielfältigen Eigenschaften der gehandhabten Stoffe, der physikalisch-chemischen Prozessbedingungen sowie der Wechselwirkungen zwischen den Anlagenbestandteilen können sich verschiedenartige Gefährdungen ergeben. Dies gilt insbesondere für Anlagen, in denen entzündbare oder wassergefährdende Stoffe in großen Mengen gehandhabt oder chemische Stoffumwandlungen unter Freisetzung von Reaktionswärme und gasförmiger Reaktionsprodukte durchgeführt werden.

Wenn von diesen Anlagen Gefahren für Menschen, Umwelt und Sachgüter ausgehen können, welche über den Aufstellungsbereich der Anlage hinauswirken, müssen in der Regel neben der Betriebssicherheitsverordnung weitere Rechtsvorschriften für Errichtung und Betrieb beachtet werden. Dazu zählen unter anderem:

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)⁴ mit den zugehörigen Verordnungen (z. B. Störfall-Verordnung – 12. BImSchV⁵),
- das Wasserhaushaltsgesetz (WHG)⁶ mit den zugehörigen Verordnungen (z. B. AwSV⁷),
- länderspezifische Bauordnungen inklusive vorbeugender Brandschutz⁸,
- die Industrie-Emissions-Richtlinie (Richtlinie 2010/75/EU)⁹.

3 Erstellung eines Schutzkonzeptes

2 Siehe Anhang 2 Nr. 17
3 Siehe Anhang 2 Nr. 18
4 Siehe Anhang 2 Nr. 4
5 Siehe Anhang 2 Nr. 12
6 Siehe Anhang 2 Nr. 5
7 Siehe Anhang 2 Nr. 13
8 Siehe Anhang 2 Nr. 28
9 Siehe Anhang 2 Nr. 1

3.1 Vorgehensweise und Grundlagen

Grundvoraussetzung für den sicheren Betrieb einer verfahrenstechnischen Anlage ist die Sicherheit des Prozesses. Diese ist bereits bei der Planung und der Beschaffung verfahrenstechnischer Anlagen zu berücksichtigen. Daher ist es erforderlich, dass die an der Planung Beteiligten

- eine systematische sicherheitstechnische Betrachtung des Prozesses vornehmen,
- die Anforderungen an die Anlagenbestandteile entsprechend spezifizieren und
- insbesondere die Schnittstellen berücksichtigen, die sich durch den Zusammenbau der einzelnen Anlagenbestandteile ergeben.

Für die systematische sicherheitstechnische Betrachtung werden bestimmte Methoden angewendet, mit deren Hilfe mögliche Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb aufgedeckt und geeignete Maßnahmen zur Verhinderung solcher Anlagenzustände festgelegt werden. Eine weit verbreitete Vorgehensweise hierfür ist das PAAG/HAZOP-Verfahren¹⁰. Dabei werden unter Anwendung sogenannter Leitworte mögliche Abweichungen und Störungen des Prozesses „prognostiziert“, deren Ursachen und Auswirkungen analysiert und angemessene Gegenmaßnahmen festgelegt.

Die betriebliche Erfahrung der Beschäftigten sollte hierbei einbezogen werden.

Für Anlagen, die unter die Störfallverordnung fallen, hat der Betreiber vor Inbetriebnahme ein schriftliches Konzept zur Verhinderung von Störfällen auszuarbeiten beziehungsweise einen Sicherheitsbericht zu erstellen. Darin soll unter anderem dargelegt werden, welche Risiken von Störfällen ausgehen und welche Maßnahmen zur Verhinderung des Eintritts und zur Begrenzung der Auswirkungen vorgesehen sind. Diese Maßnahmen sind in das Schutzkonzept der Anlage zu integrieren.

Bei der Erstellung des Schutzkonzeptes sind Gefahrenquellen und Gefährdungen zu ermitteln und zu beurteilen, die sich unter anderem ergeben aus:

- den gehandhabten Stoffen (insbesondere Gefahrstoffen im Sinne der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)¹¹, den Prozessen, Tätigkeiten und Arbeitsabläufen sowie den physikalisch-chemischen Wechselwirkungen),
- den Bauteilen der Anlage und ihrer Verbindungen (beispielsweise Rohrleitungen, Armaturen, Apparate,
- den Emissionen beziehungsweise Immissionen und den damit einhergehenden Auswirkungen auf den Arbeitsplatz und die Umwelt (Luft, Wasser, Boden, Abfall),
- der Einbindung der verfahrenstechnischen Anlage in die Infrastruktur (dazu zählen auch die Arbeitsstätten im Sinne der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)¹², beispielsweise Betriebsstätten, Arbeitsbereiche, Verkehrswege, weiterhin Hilfsenergien sowie andere Anlagen und Einrichtungen, beispielsweise zur Ver- und Entsorgung),
- der externen Netzanbindungen für Energien und Medien,
- der Umgebung (insbesondere klimatische Verhältnisse, Wind- und Schneelasten, Hochwasser, Erdbeben und andere Naturereignisse, weiterhin Lage zu Naturschutz- und Wohngebieten),
- möglichen Eingriffen Unbefugter (diese umfassen den Zugang, Zutritt oder Zugriff, einschließlich Cyberangriffen und Drohnen).

10 PAAG: Prognose von Abweichungen, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen. HAZOP: Hazard and Operability. Siehe Anhang 2 Nr. 50

11 Siehe Anhang 2 Nr. 14

12 Siehe Anhang 2 Nr. 15

3.2 Aspekte eines Schutzkonzeptes

Ein Schutzkonzept berücksichtigt die Gefährdungen von Beschäftigten und anderen Personen sowie gegebenenfalls darüber hinaus die Gefahren für Allgemeinheit, Umwelt und Sachwerte (insbesondere bei Anlagen, die unter die Störfallverordnung fallen). Dieses Schutzkonzept verantwortet der Unternehmer beziehungsweise die Unternehmerin, wobei unter anderem folgende Aspekte zu berücksichtigen sind:

- Auswahl des jeweiligen Verfahrens (beispielsweise Herstellungsprozess) und Festlegung der sicherheitsrelevanten Prozessparameter (beispielsweise Druck oder Temperatur) unter Berücksichtigung der
 - Eigenschaften der beteiligten Stoffe (beispielsweise Reaktivität, Toxizität oder Brennbarkeit),
 - Mengen der eingesetzten Stoffe und
 - Exothermie der Reaktionen,
- besondere Anforderungen an den Explosionsschutz, auch bei nicht atmosphärischen Bedingungen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, ob gefährliche explosionsfähige Gemische und wirksame Zündquellen zeitgleich auftreten können,
- beanspruchungsgerechte Auslegung und Absicherung von Anlagen beziehungsweise Bauteilen (beispielsweise druckfeste Auslegung von Behältern, konstruktiver Explosionsschutz, Druckentlastungseinrichtungen oder schwingungsarme Verlegung),
- Wechselwirkungen, beispielsweise
 - an der Schnittstelle Mensch-Maschine (Normalbetrieb, Instandhaltung, Fehlbedienung),
 - Störungen in der Energieversorgung einschließlich der Hilfssysteme (beispielsweise Ausfall der Kühlung),
- Auswirkungen von Ereignissen, die sich über die Anlagengrenzen hinaus auswirken können:
 - Emissionen,
 - Brände und Explosionen,
 - Druckwellen und Trümmerflug.

Das Schutzkonzept muss über die gesamte Lebensdauer der verfahrenstechnischen Anlage regelmäßig geprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden.

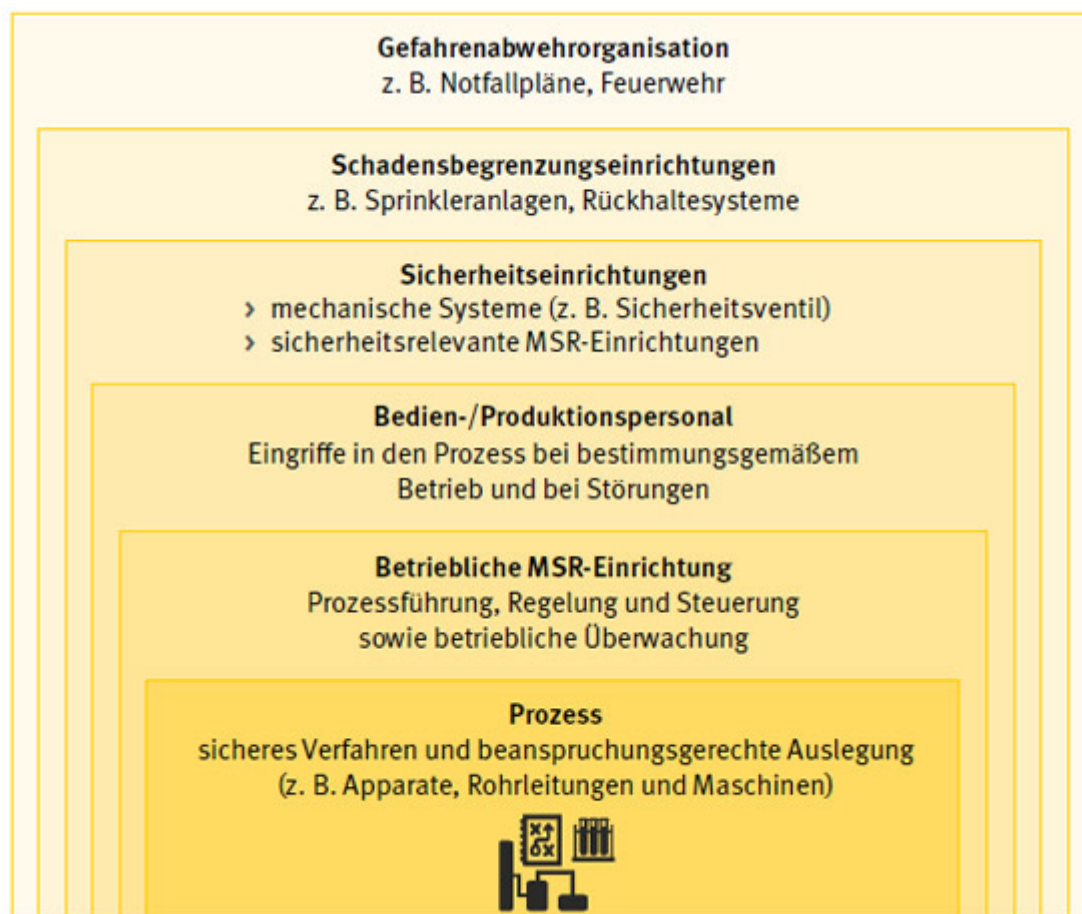
Unterliegt die verfahrenstechnische Anlage noch weiteren Rechtsvorschriften, sind die daraus resultierenden Anforderungen bei der sicherheitstechnischen Auslegung zusätzlich zu berücksichtigen.

3.3 Realisierung eines ganzheitlichen Schutzkonzeptes mittels Schutzebenen

Bei der Realisierung eines Schutzkonzeptes sind zunächst Maßnahmen vorzusehen, die den bestimmungsgemäßen Betrieb sicherstellen und Gefahren eines möglichen nicht bestimmungsgemäßen Betriebs verhindern beziehungsweise minimieren.

Da potenzielle Auswirkungen von Störungen und Ereignissen in einer verfahrenstechnischen Anlage weit über den Aufstellungsbereich eines einzelnen Arbeitsmittels hinauswirken können, müssen im Rahmen des Schutzkonzeptes auch Maßnahmen getroffen werden, die zur Begrenzung solcher Auswirkungen dienen. Daher wird das Schutzkonzept für die verfahrenstechnische Anlage in der Regel auf mehreren voneinander unabhängigen Schutzebenen aufgebaut (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Schutzebenen einer verfahrenstechnischen Anlage



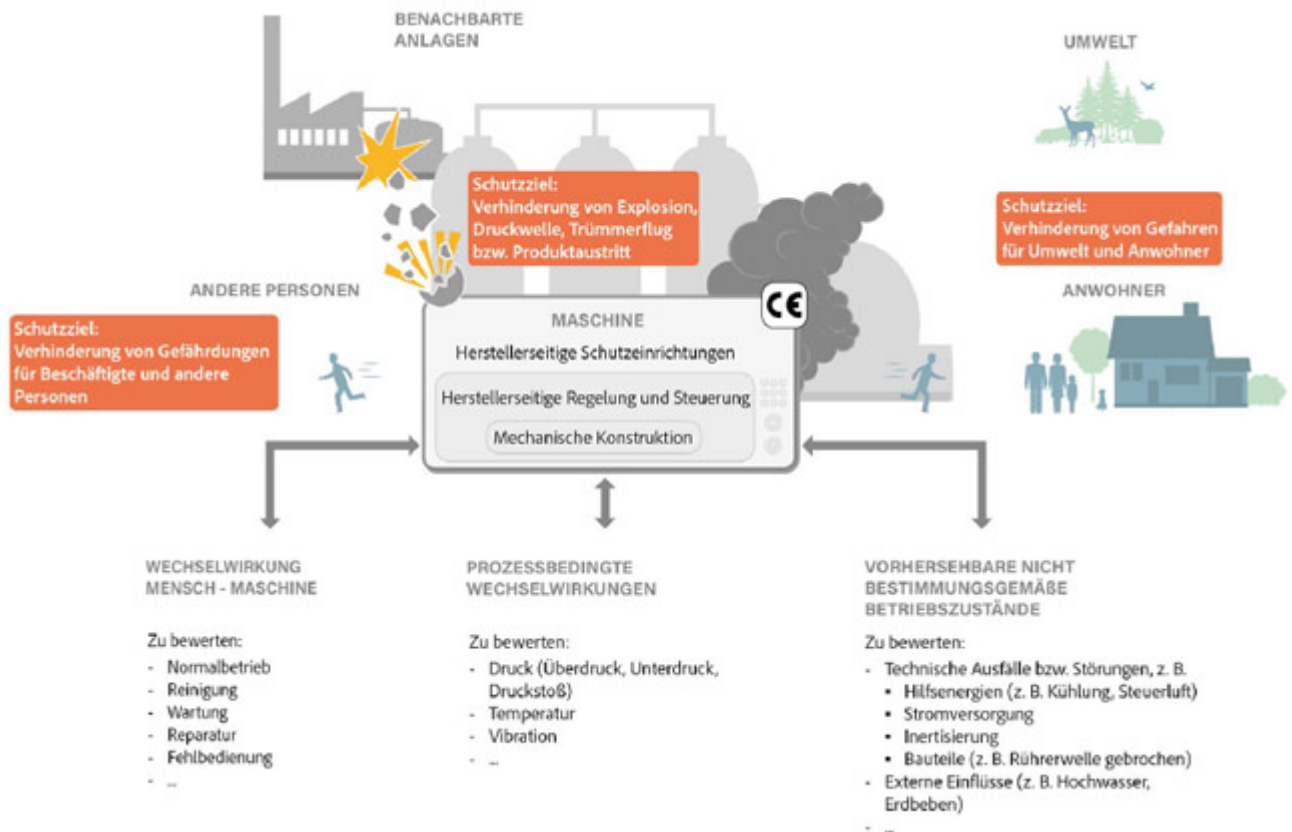
In Abhängigkeit der beim Betrieb der verfahrenstechnischen Anlage auftretenden Gefährdungen sind typischerweise folgende Schutzebenen vorgesehen:

1. sicheres Verfahren und beanspruchungsgerechte Auslegung,
2. Betriebseinrichtungen zur Prozessführung, wie beispielsweise ein Prozessleitsystem oder ein Rezeptursteuerungssystem,
3. qualifiziertes und unterwiesenes Personal, das im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei auftretenden Abweichungen gemäß Betriebsanweisungen handelt,
4. Sicherheitseinrichtungen zur Verhinderung unzulässiger oder instabiler Betriebszustände, einschließlich Notabschaltungen oder Notentlastungen zur Verhinderung eines Schadenseintritts,
5. Schadensbegrenzungseinrichtungen sowie eine Gefahrenabwehrorganisation, wenn der Schadenseintritt nicht verhindert, sondern nur die Schadensauswirkung vermindert werden kann.

3.4 Einbindung von Bauteilen in verfahrenstechnische Anlagen

Bei der Einbindung von Bauteilen (beispielsweise Maschinen) in verfahrenstechnische Anlagen müssen die Wechselwirkungen zwischen den Bauteilen und dem verfahrenstechnischen Prozess sowie den benachbarten Anlagenteilen bewertet werden (Abbildung 2).

Abbildung 2: Wechselwirkungen von Maschinen in verfahrenstechnischen Anlagen (beispielhafte Darstellung in Anlehnung an EmpfBS 1113)



Der Maschinenhersteller muss die von der Maschine ausgehende Risiken und die Wechselwirkung Mensch-Maschine bewerten (siehe Abbildung 2). Dabei kann er den Gestaltungsleitsätzen der angewandten Normen folgen (beispielsweise DIN EN ISO 12100¹³ beziehungsweise auf den Anwendungsfall zutreffenden Typ-C-Normen). Er muss die Maschine basierend auf der Risikobeurteilung konstruieren und bauen und kann dann die Konformität für sein Produkt entsprechend der Vorgaben der RL 2006/42/EG¹⁴ erklären. Bei den spezifischen Gefährdungen an der Schnittstelle der Maschine zum verfahrenstechnischen Prozess sind zusätzliche Aspekte zu bewerten und dementsprechend sicherheitstechnisch relevante Beschaffenheitsanforderungen festzulegen:

- Prozessbedingte Wechselwirkungen (beispielsweise Druck oder Temperatur) mit der Prozessanlage beim bestimmungsgemäßen Betrieb,
- vorhersehbare, nicht bestimmungsgemäße Betriebszustände, beispielsweise infolge technischer Ausfälle beziehungsweise Störungen oder externer Einflüsse.

Die Auswahl geeigneter Maschinen erfolgt im Rahmen der Anlagenplanung unter Berücksichtigung der festgelegten Sicherheitsanforderungen:

- Bei Maschinen, welche die erforderlichen Sicherheitsanforderungen bereits erfüllen, ist eine Integration in die verfahrenstechnische Anlage möglich. Gegebenenfalls sind für die Einbindung im Rahmen der Anlagensicherheit zusätzliche prozesstechnische/betriebliche Maßnahmen erforderlich, die vom Arbeitgeber im Schutzkonzept festgelegt werden.
- Bei Maschinen, welche gemäß dem Schutzkonzept des Arbeitgebers prozessspezifisch konstruiert oder sicherheitstechnisch angepasst werden müssen, ist der Maschinenhersteller auf Informationen des Arbeitgebers angewiesen. In der Regel ist eine gemeinsame Betrachtung sinnvoll, in der alle spezifischen Anforderungen festgelegt werden.

13 Siehe Anhang 2 Nr. 39

14 Siehe Anhang 2 Nr. 2

Bei der Verwendung von Maschinen in verfahrenstechnischen Anlagen werden außerhalb des Lieferumfanges liegende Risiken in der Regel nicht vom Hersteller betrachtet. Dazu zählen Einwirkungen auf:

- benachbarte Anlagen,
- andere Personen,
- Anwohner,
- Umwelt.

Für Ereignisse, die über den Aufstellungsbereich des Apparats oder der Maschine hinauswirken, kommt in der Regel eine unternehmensspezifische Methode der Risikobewertung zur Anwendung (beispielsweise Risikomatrix oder Risikograph¹⁵). Die erforderlichen Schutzmaßnahmen werden zwischen den beteiligten Akteuren abgestimmt und dann fallbezogen vom Arbeitgeber oder von dem Maschinenhersteller umgesetzt.

Dies gilt insbesondere für die Fälle, in denen aufgrund der potenziellen Schadensschwere ein möglicher Produktaustritt (beispielsweise durch Leckage) oder Trümmerflug (beispielsweise bei Turbomaschinen) eine ernste Gefahr im Sinne der StörfallV¹⁶ oder anderer Regelwerke bewirken würden.

Wechselwirkungen an den Schnittstellen zwischen Anlage und Maschine (beispielsweise bei der Steuerung oder der Einbindung in die Infrastruktur) sowie Gefährdungen, die möglicherweise über den Aufstellungsbereich der Maschine hinausgehen, sind im Rahmen einer gemeinsamen Betrachtung der Gefährdungsbeurteilung des Arbeitgebers und der Risikobeurteilung des Maschinenherstellers abzuklären. Dabei ist festzulegen, welche der resultierenden Maßnahmen im Lieferumfang des Herstellers liegen und welche Maßnahmen und Beistellungen im Einzelfall durch den Arbeitgeber erbracht werden. Dies sollte in einer gemeinsam verfassten schriftlichen Notiz sowie einer Referenz in den mitgeltenden technischen Unterlagen dokumentiert werden.

Falls erforderlich, kann die Aushändigung der Herstellerrisikobeurteilung zwischen Hersteller und Arbeitgeber vertraglich vereinbart werden, ein gesetzlicher Anspruch besteht jedoch nicht.

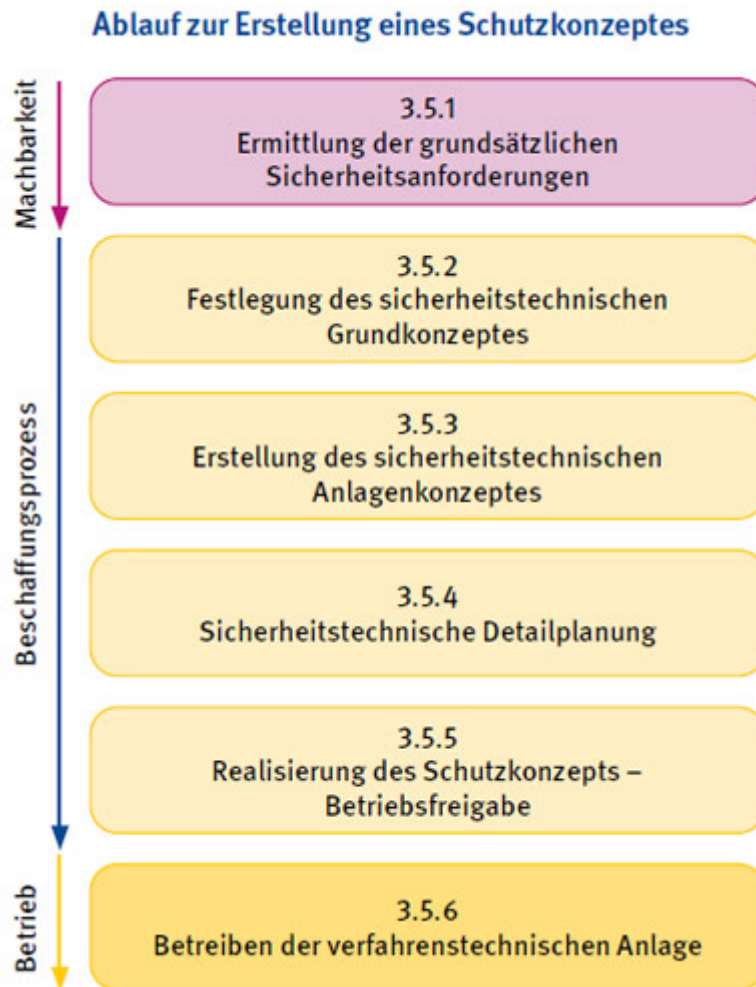
3.5 Ablauf zur Erstellung eines Schutzkonzeptes

Die Erstellung eines Schutzkonzeptes für eine verfahrenstechnische Anlage ist ein iterativer Prozess, an dem Spezialisten der verschiedenen Fachdisziplinen eingebunden sind. Analysen, Beurteilungen und Maßnahmen werden entsprechend dem Planungs- und Baufortschritt verfeinert, ergänzt und fortgeschrieben. Die Erstellung eines Schutzkonzeptes kann beispielhaft in folgenden Schritten erfolgen (Abbildung 3).

15 Siehe Anhang 2 Nr. 46–50

16 Siehe Anhang 2 Nr. 12

Abbildung 3: Darstellung der Schritte von der Planung bis zum Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage mit den entsprechenden sicherheitstechnischen Zusammenhängen (beispielhafte Darstellung in Anlehnung an EmpfBS 1113¹⁷)



3.5.1 Ermittlung der grundsätzlichen Sicherheitsanforderungen

Die Erstellung des Schutzkonzeptes beginnt unter der Berücksichtigung der jeweiligen Standortbedingungen (beispielsweise umweltrechtliche Anforderungen, Brandschutz, Infrastruktur) sowie firmenspezifischen Sicherheitsstrategien mit der Festlegung des Verfahrens sowie der erforderlichen Einsatzstoffe und Mengenbilanzen. Identifizierung potenzieller Gefahren im Zusammenhang mit dem Prozess und der Anlage sowie Klären von Fragen rund um die Behördengenehmigung.

3.5.2 Festlegung des sicherheitstechnischen Grundkonzeptes

Basierend auf den zu handhabenden Stoffen, Prozessen und Reaktionen werden die Betriebsparameter unter Berücksichtigung der Sicherheit für Mensch und Umwelt sowie der Vermeidung und Entsorgung von Abfällen festgelegt. Validierung der Sicherheit hinsichtlich der ermittelten Betriebsparameter für die ausgewählten

Prozesse, Stoffe und Reaktionen, Überprüfung des Umweltschutzkonzeptes und der Strategie zur Erlangung von behördlichen Genehmigungen.

3.5.3 Erstellung des sicherheitstechnischen Anlagenkonzeptes

Im nächsten Schritt erfolgt die Erstellung des sicherheitstechnischen Anlagenkonzeptes. Basierend auf den Betriebs- und Auslegungsparametern werden dabei:

- für alle Bauteile und Funktionseinheiten der verfahrenstechnischen Anlage und deren Schnittstellen die Gefährdungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb sowie für vorhersehbare Betriebsstörungen ermittelt (siehe hierzu TRBS 1111¹⁸ sowie gegebenenfalls auch StörfallV¹⁹), die sich durch die Verbindung der Bestandteile, deren Zusammenwirken, dem Stoff- und Energiefluss sowie dem Prozess einschließlich der Reaktionen und Wechselwirkungen von Stoffen (siehe hierzu TRAS 410²⁰) innerhalb oder außerhalb der Anlage sicherheitsrelevant auswirken können,
- alle mit diesen Gefährdungen verbundenen Risiken abgeschätzt und bewertet,
- die notwendigen Maßnahmen festgelegt, um nicht tolerierbare Risiken angemessen zu mindern. Dazu gehört unter anderem die Festlegung der sicherheitstechnisch relevanten Anforderungen beispielsweise bezüglich Druckanlagen (siehe hierzu TRBS 2141²¹) oder Explosionsschutz (siehe hierzu TRGS 720²² ff.).

3.5.4 Sicherheitstechnische Detailplanung

Im Rahmen der sicherheitstechnischen Detailplanung erfolgt die Umsetzung der festgelegten Sicherheitsanforderungen sowie die Spezifikation und Auswahl der Bauteile und Funktionseinheiten, welche die geforderten sicherheitstechnischen Beschaffenheitsanforderungen erfüllen. Dabei ist zu beachten, dass das Schutzkonzept die Eignung und Funktionsfähigkeit der verfahrenstechnischen Anlage für den sicheren Betrieb berücksichtigt.

Bei der Auswahl und Spezifikation ist es zweckmäßig, die verfahrenstechnische Anlage abgeleitet aus den verfahrenstechnischen Prozessschritten in Funktionseinheiten (beispielsweise Rohrleitungen, Apparate) zu gliedern. Dabei kann es zweckmäßig sein, den Umfang der Funktionseinheiten entsprechend den anzuwendenden Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union und anderen Rechtsvorschriften abzugrenzen, um die daraus resultierenden Schutzziele sowie formalen Anforderungen zu erfüllen.

Hinweis: Je nach Anwendungsbereich der Rechtsvorschriften können sich die Grenzen der zu betrachtenden Funktionseinheiten unterscheiden und auch vom Lieferumfang eines Herstellers abweichen. So stimmen beispielsweise die Grenzen einer Maschine nicht zwangsläufig mit dem Liefer- und Leistungsumfang überein.

Es empfiehlt sich, den Umfang der Funktionseinheiten frühzeitig gemeinsam mit den Lieferanten so festzulegen, dass die Verantwortlichkeiten für die Erfüllung der rechtlichen Anforderungen eindeutig zugeordnet sind. Bei einer verfahrenstechnischen Anlage handelt es sich in der Regel nicht um eine Gesamtheit von Maschinen.

Bei der Spezifikation und Auswahl der Bauteile und Funktionseinheiten sind die Gefährdungen, die sich aus deren Verwendung und durch deren Einbindung in die verfahrenstechnische Anlage ergeben können, zu berücksichtigen und gegebenenfalls mit dem Hersteller abzustimmen.

Hierbei sind auch die Auswirkungen auf das sicherheitstechnische Anlagenkonzept, die Aspekte der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes sowie Herstellerhinweise (beispielsweise Montage- und Bedienungsanleitung) zur sicheren Verwendung zu berücksichtigen.

18 Siehe Anhang 2 Nr. 18

19 Siehe Anhang 2 Nr. 12

20 Siehe Anhang 2 Nr. 29

21 Siehe Anhang 2 Nr. 19

22 Siehe Anhang 2 Nr. 21–27

3.5.5 Realisierung des Schutzkonzepts – Betriebsfreigabe

Nach der Montage der Anlage erfolgt im nächsten Schritt vor der Inbetriebsetzung ein Abgleich, ob das Schutzkonzept korrekt umgesetzt wurde. Werden dabei Abweichungen oder Mängel festgestellt, müssen diese unterteilt werden in solche, die vor Inbetriebnahme behoben werden müssen und diejenigen, die nach der Inbetriebnahme abgeschlossen werden können.

3.5.6 Betreiben der verfahrenstechnischen Anlage

Mit dem Abschluss der Errichtung endet das Inverkehrbringen der einzelnen Bauteile und Funktionseinheiten und die Inbetriebnahme der verfahrenstechnischen Anlage kann erfolgen. Zudem sind die betrieblichen Wartungs- und Prüfkonzpte zu erstellen und umzusetzen.

Bei nachträglichen Änderungen an bestehenden Anlagen, beispielsweise der Einbindung zusätzlicher Apparate oder Maschinen, ist die Auswirkung auf das bestehende Schutzkonzept zu beurteilen und eine Aktualisierung beziehungsweise Anpassung der bestehenden Sicherheitsbetrachtung beziehungsweise Risikobeurteilung vorzunehmen. Eine erneute Beurteilung bereits bestehender Gefährdungen ist nicht erforderlich, sofern keine Gründe zur Überprüfung vorliegen.

4 Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen des Schutzkonzepts

4.1 Auslegung sicherheitsrelevanter Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen

Das Schutzkonzept einer verfahrenstechnischen Anlage bestehen in der Regel aus mehreren unabhängigen Schutzebenen (siehe Abbildung 1). Als technische Schutzmaßnahmen kommen in diesem Zusammenhang häufig auch sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen (MSR-Einrichtungen) gemäß TRBS 1115²³ zur Anwendung.

Die Auslegung sicherheitsrelevanter MSR-Einrichtungen erfolgt auf Basis branchenspezifischer technischer Normen und Richtlinien, die den Stand der Technik beschreiben. In verfahrenstechnischen Anlagen sind häufig mehrere Rechtsbereiche gleichzeitig anzuwenden, so dass unterschiedliche Anforderungen für die Auslegung sicherheitsrelevanter MSR-Einrichtungen gleichzeitig zu erfüllen sind.

Die Ausstattung von Maschinen mit sicherheitsrelevanten MSR-Einrichtungen im Anwendungsbereich des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG)²⁴ beziehungsweise der 9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (9. ProdSV)²⁵ erfolgt in der Regel auf Basis der zur Maschinenrichtlinie (Richtlinie 2006/42/EG)²⁶ harmonisierten Normen DIN EN ISO 13849-1/2²⁷ oder DIN EN IEC 62061²⁸. Diese berücksichtigen die für Maschinen charakteristischen Gefährdungen und Betriebsweisen. Für einige Maschinengattungen stehen zudem

23 Siehe Anhang 2 Nr. 20

24 Siehe Anhang 2 Nr. 6

25 Siehe Anhang 2 Nr. 16

26 Siehe Anhang 2 Nr. 2

27 Siehe Anhang 2 Nr. 43–44

28 Siehe Anhang 2 Nr. 45

Produktnormen (Typ-C-Normen) zur Verfügung, welche detaillierte Vorgaben hinsichtlich MSR-Einrichtungen enthalten. Diese reduzieren in der Regel im Wesentlichen Gefährdungen, welche sich auf den Bediener beziehungsweise den unmittelbaren Aufstellungsbereich der Maschine beschränken.

Zur Absicherung verfahrenstechnischer Anlagen, insbesondere in der chemischen, pharmazeutischen und petrochemischen Industrie, werden sicherheitsrelevante MSR-Einrichtungen häufig nach DIN EN 61511 (VDE 0810)²⁹ beziehungsweise VDI/VDE 2180³⁰ ausgelegt. Beide Normen verwenden als Synonym zu „sicherheitsrelevante MSR-Einrichtung“ den Begriff „PLT-Sicherheitseinrichtung.“ Sie berücksichtigen die für prozesstechnische Anlagen charakteristischen mehrstufigen unabhängigen Schutzebenen sowie Betriebsweisen, was auch den Anforderungen der Störfall-Verordnung entspricht (siehe hierzu KAS-55 „Leitfaden Mindestangaben im Sicherheitsbericht“³¹).

Der Stand der Technik für sicherheitsrelevante MSR-Einrichtungen für den Explosionsschutz wird in der TRGS 725³² definiert.

4.2 Anforderungen an PLT-Sicherheitseinrichtungen in verfahrenstechnischen Anlagen

Eine Reihe von Anforderungen aus der DIN EN 61511³³ orientieren sich an der Normung im Bereich Qualitätssicherung. Beispiele dafür sind:

- Der Sicherheitslebenszyklus einer Anlage.
- Managementanforderungen. Diese beschäftigen sich insbesondere mit der Auswahl, Schulung und Verantwortung des Personals, das Tätigkeiten im Bereich der Anlagensicherung durchführt.
- Das Konzept der Sicherheitsbetrachtungen, in denen abhängig vom Prozessrisiko die Anforderungen an die Schutzeinrichtungen festgelegt werden.
- Das so genannte „Vier-Augen-Prinzip“, nach dem an für die Anlagensicherheit wesentlichen Tätigkeiten mindestens eine weitere, von der Projektbearbeitung unabhängige Person zu beteiligen ist.
- Die Durchführung von Audits.

Solche Standard-Anforderungen werden in der Regel über ein funktionierendes Qualitätssicherungssystem sowie vorhandene Standards zu Planung, Betrieb und Instandhaltung von PLT-Schutzeinrichtungen abgedeckt.

Für die einzelnen PLT-Sicherheitseinrichtungen gelten darüber hinaus nach verschiedenen Regelwerken unter anderen folgende Anforderungen:

- Technische Maßnahmen
 - Die Funktion der Sicherheitseinrichtung hat Vorrang vor anderen Einrichtungen und Funktionen.
 - Wenn eine Sicherheitseinrichtung ausgelöst hat, darf das Quittieren des Alarms nicht zum selbsttätigen Fortführen des Betriebs der Anlage führen.
 - Die PLT-Sicherheitseinrichtung ist von PLT-Betriebseinrichtungen insoweit unabhängig, dass bei Ausfällen von PLT-Betriebseinrichtungen die Funktion der PLT-Sicherheitseinrichtung erhalten bleibt.
 - Gemeinsame Komponenten für PLT-Sicherheitseinrichtungen und PLT-Betriebseinrichtungen sind nach den Maßstäben für PLT-Sicherheitseinrichtungen auszulegen und zu betreiben.

29 Siehe Anhang 2 Nr. 40–42

30 Siehe Anhang 2 Nr. 46–49

31 Siehe Anhang 2 Nr. 30

32 Siehe Anhang 2 Nr. 26

33 Siehe Anhang 2 Nr. 40–42

- Kennzeichnung
 - Alle wichtigen Komponenten der PLT-Sicherheitseinrichtung sind in der Dokumentation, vor Ort, im Schaltraum und in der Messwarte als PLT-Sicherheitseinrichtung zu kennzeichnen (Abbildung 4).

Abbildung 4: Kennzeichnung von PLT-Sicherheitseinrichtungen



- Organisatorische Maßnahmen
 - Vor der Erstinbetriebnahme der PLT-Sicherheitseinrichtungen sind Funktionsprüfungen durchzuführen und zu dokumentieren. Zusätzlich werden die Planung und gegebenenfalls die Anwendersoftware entsprechend des Sicherheitslebenszyklus geprüft.
 - PLT-Sicherheitseinrichtungen sind regelmäßig auf äußerlich erkennbare Mängel oder Schaden zu prüfen.
 - PLT-Sicherheitseinrichtungen sind regelmäßig auf ihre Funktion zu prüfen. Die Prüfung ist zu dokumentieren.

4.3 Berücksichtigung von Schadensszenarien außerhalb des Aufstellungsbereichs von Maschinen oder Apparaten

Für betriebliche Gefährdungen wie beispielsweise Prozessstörungen oder äußere Einflüsse (siehe Abbildung 2) sind unterschiedliche Schadensszenarien denkbar. Bei Ereignissen, die über den Aufstellungsbereich einer Maschine oder eines Apparats hinauswirken, beispielsweise aufgrund eines Prozessgasaustritts durch Versagen einer Wellendichtung an einem Verdichter oder infolge einer Leckage, sind unterschiedliche Schadensszenarien denkbar. Diese sind unter anderem abhängig von den Eigenschaften des austretenden Mediums (beispielsweise toxisch oder der entzündbar) und den Umgebungsbedingungen. Diesbezügliche Szenarien sind einzelfallbezogen zu bewerten.

Der sichere Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen kann daher nicht ausschließlich aus den Beschaffenheitsanforderungen einzelner Produkte, beispielsweise Maschinen oder Apparate gemäß der zutreffenden EU-Binnenmarktrichtlinien wie der Druckgeräte-Richtlinie (Richtlinie 2014/68/EU)³⁴ oder der Maschinenrichtlinie (Richtlinie 2006/42/EG)³⁵, gewährleistet werden.

Im Rahmen der Risikobeurteilung sind über die jeweilige Harmonisierungsrechtsvorschrift der Union die Risiken bei bestimmungsgemäßer Verwendung und bei vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlanwendung bis zur Liefergrenze adressiert. Daher müssen insbesondere die Wechselwirkungen ermittelt und berücksichtigt werden. Das erfordert eine Festlegung durch den Arbeitgeber und den Hersteller der einzelnen Produkte, welche sicherheitsrelevanten MSR-Einrichtungen die Maschine oder der Apparat herstellereitig mitbringt und welche zusätzlichen Schutzmaßnahmen durch die Einbindung in die verfahrenstechnische Anlage erforderlich werden.

Auch wenn Sicherheitsfunktionen unterschiedlicher PLT-Sicherheitseinrichtungen in einer gemeinsamen sicherheitsgerichteten Steuerung realisiert sind, bedeutet dies nicht, dass ein sicherheitstechnischer Zusammenhang in der Anlage besteht. Auch die jeweilige räumliche Anordnung beziehungsweise Aufteilung der Steuerungen (beispielsweise dezentral vor Ort oder in einem zentralen Schaltraum) spielt diesbezüglich keine Rolle.³⁶

³⁴ Siehe Anhang 2 Nr. 3

³⁵ Siehe Anhang 2 Nr. 2

5 Nachweis der Sicherheit verfahrenstechnischer Anlagen

Damit eine verfahrenstechnische Anlage rechtskonform in Betrieb gehen kann, ist nachzuweisen, dass diese dem Stand der Technik und den gesetzlichen Vorschriften entspricht. Der Nachweis besteht aus einem Bündel von Einzel-Nachweisen, welche die Einhaltung der jeweiligen gesetzlichen sicherheitsrelevanten Anforderungen nach Art und Aufbau der Anlage bestätigen (siehe Abbildung 5).

Für verfahrenstechnische Anlagen sind auf der linken Seite beispielhaft Rechtsgrundlagen und ihre Schutzziele aufgeführt, aus denen die sicherheitsrelevanten Anforderungen für das Schutzkonzept abgeleitet wurden. Art, Verantwortlichkeit und Adressat der jeweiligen Nachweise ist in der anzuwendenden Rechtsgrundlage vorgeschrieben. Mögliche Nachweise zur Bestätigung, dass die ermittelten sicherheitsrelevanten Anforderungen erfüllt wurden, können der rechten Seite der Abbildung entnommen werden.

Die zutreffenden Gesetze und Verordnungen enthalten zum Teil auch Anforderungen zur Dokumentation (beispielsweise Explosionsschutzkonzept, Brandschutzkonzept, Sicherheitsbetrachtung, Gefährdungsbeurteilung). Dabei kann der Arbeitgeber die geforderten Dokumentationen auch zusammenfassen oder mit Verweisen arbeiten.

Aufgrund der Vielfalt der gesetzlichen Anforderungen ist der häufig geäußerte Wunsch, die Sicherheit der verfahrenstechnischen Anlagen mit einem einzelnen Dokument nachzuweisen, nicht möglich.

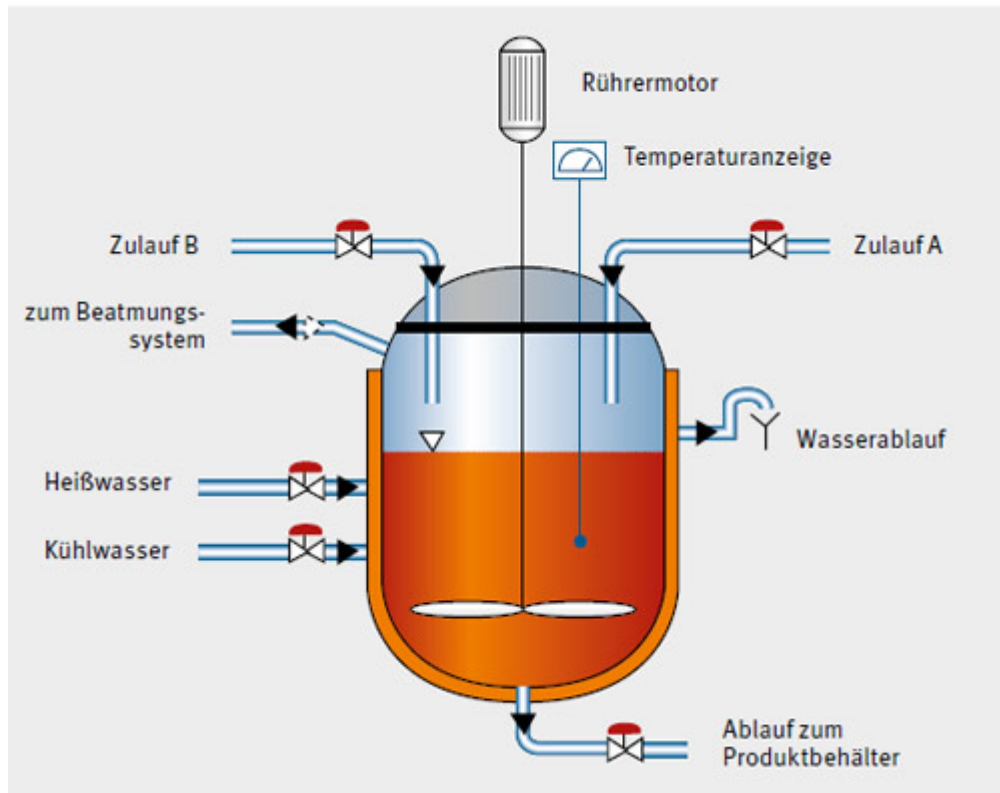
Abbildung 5: Nachweis der Einhaltung der sicherheitsrelevanten Anforderungen verfahrenstechnischer Anlagen

Rechtsgrundlage Schutzziel		Errichtung einer verfahrenstechnischen Anlage		Erforderlicher Nachweis vor der ersten Inbetriebnahme der Anlage
BImSchG Umweltschutz	▶	Schutzkonzept Ermittlung und Realisierung aller sicherheitsrelevanten Anforderungen	▶	Nachweis der Erfüllung der Anforderungen der BImSchG-Genehmigung (ggf. auch Anforderungen gemäß StörfallV)
BauGB Verkehrssicherungspflicht inkl. Brandschutz	▶		▶	Nachweis der Erfüllung der Anforderungen der Baugenehmigung (sofern nicht in BImSchG-Genehmigung enthalten) › z. B. Berichte der Prüfsachverständigen
ProdSG Einsatz sicherer Produkte	▶		▶	Nachweise der Erfüllung der Anforderungen der EU-Harmonisierungsrechtsvorschriften für Produkte i.S.d. ProdSG › Konformitätsnachweis für Anlagenbestandteile, z. B. Maschinen, Druckgeräte und elektrische Betriebsmittel
EMVG Einsatz sicherer Betriebsmittel	▶		▶	Nachweise der Erfüllung der Anforderungen der EU-Harmonisierungsrechtsvorschriften für Betriebsmittel i.S.d. EMVG › Konformitätsnachweise für Geräte
WHG Gewässerschutz	▶		▶	Nachweise der Erfüllung der Anforderungen der wasserrechtlichen Genehmigung › z. B. Prüfberichte der Sachverständigen gemäß AwSV
ArbSchG Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten	▶		▶	Erfüllung der Anforderungen der zutreffenden Verordnungen zum ArbSchG, z. B. › Gefährdungsbeurteilung (ArbStättV, BetrSichV, GefStoffV) › Explosionsschutzdokument gemäß GefStoffV › Prüfung vor Inbetriebnahme gemäß BetrSichV
ÜAnIG sicherer Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen	▶		▶	Nachweise der Erfüllung der Anforderungen an den sicheren Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen
Weitere Rechtsgrundlagen	▶		▶	Weitere Nachweise

Anhang 1: Beispiele zur Absicherung chemischer Reaktionen im betrieblichen Maßstab

Zur Verdeutlichung der Erstellung eines Schutzkonzeptes werden in diesem Anhang die wesentlichen Schritte für die Beurteilung des Gefahrenpotentials einer exothermen chemischen Reaktion und für die Entscheidungsfindung über Art und Umfang der erforderlichen Maßnahmen anhand dreier Beispiele aus der TRAS 410³⁷ dargestellt.

Abbildung 6: Reaktionskessel (schematisch)



Gefahrenpotential

Die Reaktion sei in allen Fällen exotherm, die jeweilige Reaktionswärme Q_R bekannt, der adiabatische Temperaturanstieg betrage jeweils $\Delta T_{AD} > 50 \text{ K}$.

Unterhalb von $60 \text{ }^\circ\text{C}$ beginnt die Reaktion „einzuschlafen“, so dass mit unerwünschter Akkumulation der Reaktanden zu rechnen ist („Depotbildung“). Bei erneutem Anspringen der Reaktion wären hohe Reaktionsleistungen zu erwarten. Aus DTA- und kalorischen Messungen³⁸ ist bekannt, dass sich das Endprodukt oberhalb der Grenztemperatur T_{exo} ³⁹ stark exotherm in einem unkontrollierten Reaktionsablauf zersetzt:

$C \rightarrow$ Zersetzungsprodukte

Dabei findet eine starke Gasentwicklung statt, die die Auslegungsgrenzen des Behälters überschreiten würde:

$$(dM dt^{-1})_{\text{Zersetzung}} > (dM dt^{-1})_{\text{max. Auslegung}}$$

Die jeweiligen Temperaturen T_{exo} wurden entsprechend den Messergebnissen festgelegt und liegen deutlich oberhalb $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Wegen der Verknüpfung von T_{exo} mit der Gasentwicklung muss hier die Auslegungsgrenze hinsichtlich der Temperatur ($T_{\text{max. Auslegung}}$) gleich T_{exo} gesetzt werden.

Normalbetrieb

Die Untersuchungen der Ausgangskomponenten A und B zeigen Exothermien und Gasentwicklung erst oberhalb von $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Diese liegen energetisch bei 300 Jg^{-1} , so dass explosive Eigenschaften oder Deflagrationsfähigkeit nicht zu erwarten sind.

38 Siehe Anhang 2 Nr. 32

39 Die Grenztemperatur (T_{exo}) bezeichnet die maximal zulässige Temperatur, bei der ein Stoff oder Reaktionsgemisch gerade noch gefahrlos gehandhabt werden kann. Siehe Anhang 2 Nr. 29

Untersuchungen der Reaktionsmischungen zu unterschiedlichen zeitlichen Phasen der Reaktion zeigen keine Notwendigkeit, T_{exo} herabzusetzen, und bestätigen die Reaktionswärme des gewünschten Prozesses.

Die Stoffe A und B sowie die Reaktionsgemische haben unterhalb von T_{exo} einen vernachlässigbaren Dampfdruck. Das in Fall 2 verwendete Lösemittel D ist für die betrachtete Reaktion chemisch inert, hat einen hohen Siedepunkt T_S über 180 °C und ist bis über 200 °C thermisch stabil.

Eine signifikante Gasentwicklung ist somit nur in Verbindung mit der Zersetzungsreaktion des Stoffes C zu erwarten; für den Normalbetrieb sind alle möglicherweise entstehenden Dampf-/Gasmengen mit der vorhandenen Ausrüstung beherrschbar.

Aus verfahrenstechnischen Gründen und hier insbesondere wegen des relativ hohen adiabatischen Temperaturanstiegs ΔT_{ad} von mehr als 50 K müssen Wärmeabfuhrleistung und Reaktionsleistung aufeinander abgestimmt sein. Die Kühlleistung ist daher so gewählt, dass die bei der vorgesehenen Dosiergeschwindigkeit frei werdende Reaktionswärme bei der Solltemperatur abgeführt wird.

Der Normalbetrieb kann somit als sicher betrachtet werden (entspricht Schutzebene „Prozess“ in Abbildung 1).

Abweichungen (Störungen)

An den drei Beispielen, für die die oben genannten Bedingungen gleichermaßen gelten, die sich aber hinsichtlich einiger Reaktions- und Verfahrensdaten unterscheiden, werden jeweils folgende Störungen betrachtet, die das Temperaturniveau in Richtung T_{exo} verschieben können:

- Abweichungen in den Reaktionsbedingungen
 - zu hohe Reaktionstemperatur
 - zu niedrige Reaktionstemperatur (führt zu verzögertem Reaktionsstart und damit zu Akkumulation mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung)
 - nur halbe Einsatzmenge der Komponente D
- Abweichungen im anlagentechnischen Betrieb
 - Ausfall des Rührers (führt zu Akkumulation mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung)
 - Kühlungsausfall zu Beginn der Reaktion

Daten und Informationen zur Beurteilung

Fall 1

Reaktion: $A_1 + B_1 \rightarrow C_1$

Stoff/Reaktion	Daten und Informationen
A ₁	Reinstoff; thermisch stabil bis oberhalb T_{exo}
B ₁	Reinstoff; thermisch stabil bis oberhalb T_{exo}
C ₁	$T_{\text{exo}} = 180 \text{ °C}$; $(dM dt^{-1})_{\text{Zersetzung}} > (dM dt^{-1})_{\text{max. Auslegung}}$
$A_1 + B_1 \rightarrow C_1$	Spontane Reaktion bei 80 °C; $T_{\text{exo}} = 180 \text{ °C}$; $\Delta T_{\text{ad}} = 75 \text{ K}$

Fall 2

Die Komponente B₂ ist in vorgegebener Menge des Lösemittels D gelöst

Reaktion: $A_2 + B_2 \xrightarrow{D} C_2$

Stoff/Reaktion	Daten und Informationen
A ₂	Reinstoff; thermisch stabil bis oberhalb T _{exo}
B ₂	Lösung in D; thermisch stabil bis oberhalb T _{exo}
C ₂	T _{exo} = 180 °C; (dM dt ⁻¹) _{Zersetzung} > (dM dt ⁻¹) _{max.} Auslegung
D	chemisch inert; T _s > 180 °C; thermisch stabil bis über 200 °C
$A_2 + B_2 \xrightarrow{D} C_2$	Spontane Reaktion bei 80 °C; T _{exo} = 180 °C; ΔT _{ad} = 75 K

Fall 3

Reaktion: A₃ + B₃ → C₃

Stoff/Reaktion	Daten und Informationen
A ₃	Reinstoff; thermisch stabil bis oberhalb T _{exo}
B ₃	Reinstoff; thermisch stabil bis oberhalb T _{exo}
C ₃	T _{exo} = 120 °C; (dM dt ⁻¹) _{Zersetzung} > (dM dt ⁻¹) _{max.} Auslegung
A ₃ + B ₃ → C ₃	Spontane Reaktion bei 80 °C; T _{exo} = 120 °C; ΔT _{ad} = 225 K

Beurteilung der Störungen

Die Auswirkungen der betrachteten Störungen und ihre daraus resultierende Bewertung sind im Folgenden tabellarisch beschrieben. Den Ausführungen ist zu entnehmen, dass in Fall 1 keine zusätzlichen Maßnahmen, in Fall 2 einfache zusätzliche Maßnahmen und in Fall 3 hoch verfügbare (hier als Beispiel redundante) zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind.

Fall 1 (T_{exo} = 190 °C)

Abweichung	Auswirkung	Bewertung	Mögliche Gegenmaßnahmen
Temperatur zu hoch	Die maximal mögliche Heiztemperatur beträgt wegen des offenen Wasserkreislaufs 95 °C. Durch die äußere Beheizung kann T_{exo} somit nicht erreicht werden.	Auslegungsgrenzen T_{max} und $(dM dt^{-1})_{\text{max}}$ werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Temperatur zu niedrig	Verzögerter Reaktionsstart, Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$. Mit $T_p < 80$ °C und $\Delta T_{\text{ad}} = 75$ K bleibt das System jedoch unterhalb T_{exo} .	Auslegungsgrenzen T_{max} und $(dM dt^{-1})_{\text{max}}$ werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Zu wenig Lösemittel	Die Störung ist nicht relevant, da kein Lösemittel benötigt wird.		
Ausfall des Rührers	Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$ Mit $T_p 80$ °C und $\Delta T_{\text{ad}} = 75$ K bleibt das System unterhalb T_{exo} .	Auslegungsgrenzen T_{max} und $(dM dt^{-1})_{\text{max}}$ werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Ausfall der Kühlung (zu Beginn der Reaktion)	Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$ Mit $T_p < 80$ °C und $\Delta T_{\text{ad}} = 75$ K bleibt das System jedoch unterhalb T_{exo} .	Auslegungsgrenzen T_{max} und $(dM dt^{-1})_{\text{max}}$ werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.

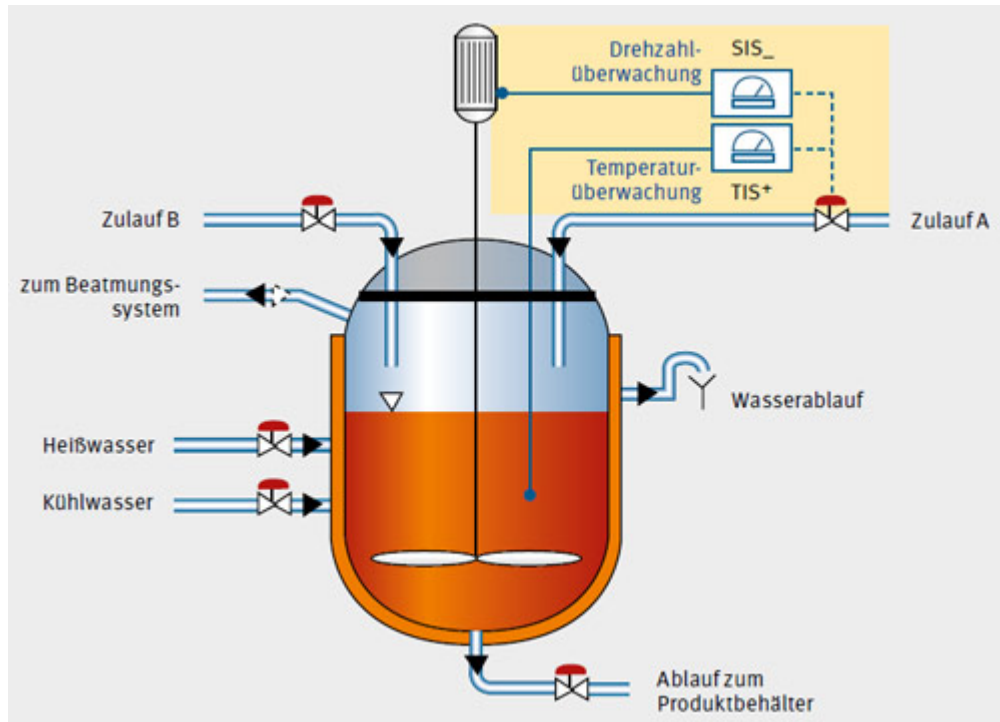
In Fall 1 ist die in Abbildung 6 dargestellte Ausrüstung des Reaktionskessels sicherheitstechnisch ausreichend.

Fall 2 ($T_{\text{exo}} = 180$ °C)

Abweichung	Auswirkung	Bewertung	Mögliche Gegenmaßnahmen
Temperatur zu hoch	Die maximal mögliche Heiztemperatur beträgt wegen des offenen Wasserkreislaufs 95 °C. Durch die äußere Beheizung kann T_{exo} somit nicht erreicht werden.	Auslegungsgrenzen werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Temperatur zu niedrig	Verzögerter Reaktionsstart, Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$. Mit $T_p < 80 \text{ °C}$ und $\Delta T_{\text{ad}} = 75 \text{ K}$ bleibt das System jedoch unterhalb T_{exo} .	Auslegungsgrenzen werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Zu wenig Lösemittel	Im Falle der nur halben Lösemittelmenge D bleibt T_{exo} unverändert bei 180 °C, die adiabatische Temperaturerhöhung steigt jedoch unter Berücksichtigung der verminderten Menge von D und damit der geänderten Gesamtwärmekapazität der Reaktionsmischung auf $\Delta T_{\text{ad}} = 112 \text{ K}$. Ebenso erhöht sich die Reaktionsleistung, sie kann jedoch immer noch durch die Reaktorkühlung sicher abgeführt werden ($\Delta T_{\text{Störung}} = \text{ca. } 17 \text{ K}$). Somit bleibt das System auch im Falle dieser Störung unterhalb T_{exo} .	Sicherheitstechnisch nur kritisch bei gleichzeitigem Auftreten eines zweiten unabhängigen Fehlers (z. B. „Ausfall des Rührers“ oder „Ausfall der Kühlung zu Beginn der Reaktion“).	Aus Betrachtung der Fehlerkombinationen: Sicherstellung der korrekten Menge D durch eine geeignete organisatorische Maßnahme (Sicherheitsrelevante Betriebsanweisung).
Ausfall des Rührers	Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$ Mit $T_p 80 \text{ °C}$ und $\Delta T_{\text{ad}} = 75 \text{ K}$ bleibt das System unterhalb T_{exo} .	Sicherheitstechnisch nur kritisch bei gleichzeitigem Auftreten eines zweiten unabhängigen Fehlers (z. B. „zu wenig Lösemittel“).	Aus Betrachtung der Fehlerkombinationen: Einfache Verriegelung des Einlaufventils der Komponente A ₂ mit der Rührerfunktion (Ventil schließt bei stehendem Rührer), SIS ₋
Ausfall der Kühlung (zu Beginn der Reaktion)	Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Maximal erreichbare Temperatur: $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$ Mit $T_p < 80 \text{ °C}$ und $\Delta T_{\text{ad}} = 75 \text{ K}$ bleibt das System jedoch unterhalb T_{exo} .	Sicherheitstechnisch nur kritisch bei gleichzeitigem Auftreten eines zweiten unabhängigen Fehlers (z. B. „zu wenig Lösemittel“).	Aus Betrachtung der Fehlerkombinationen: Einfache Verriegelung des Einlaufventils der Komponente A ₂ mit der Temperaturüberwachung im Reaktor (Ventil schließt bei Erreichen einer Maximaltemperatur von z. B. 100 °C), TIS+

Die sich aus dieser Gefahrendiskussion ergebende zusätzliche Ausrüstung des Reaktionskessels ist in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7: Ausrüstung des Reaktionskessels (schematisch), Fall 2



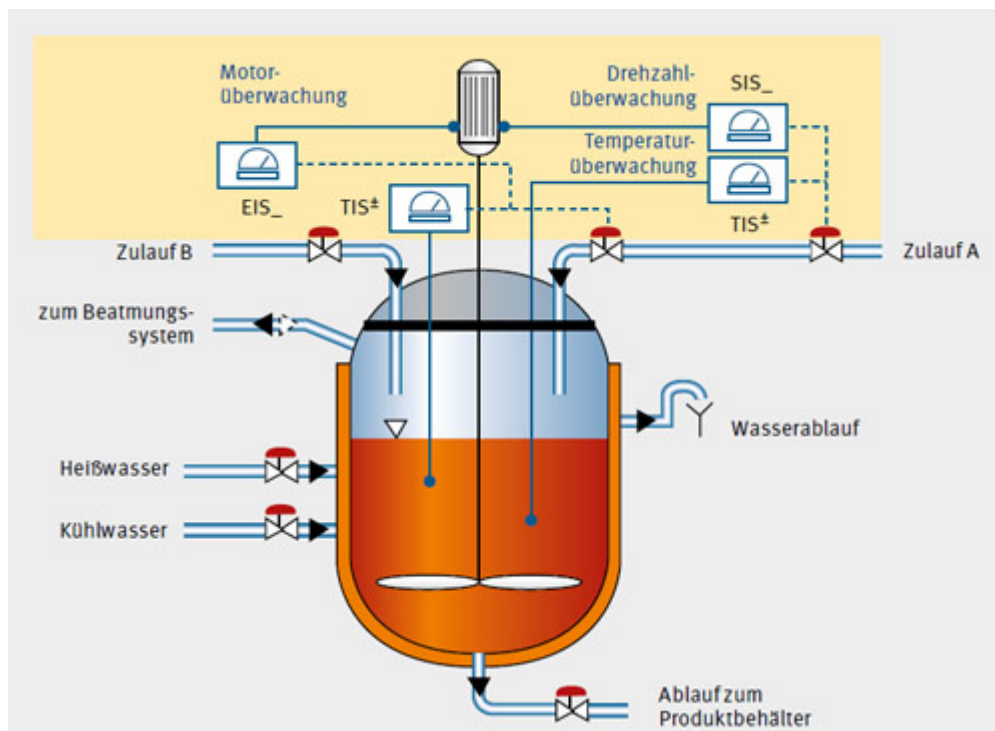
Fall 3 ($T_{\text{exo}} = 120 \text{ °C}$)

Abweichung	Auswirkung	Bewertung	Mögliche Gegenmaßnahmen
Temperatur zu hoch	Die maximal mögliche Heiztemperatur beträgt wegen des offenen Wasserkreislaufs 95 °C. Durch die äußere Beheizung kann T_{exo} somit nicht erreicht werden.	Auslegungsgrenzen werden nicht überschritten. Sicherheitstechnisch unkritisch.	Keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.
Temperatur zu niedrig	Verzögerter Reaktionsstart, Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Die maximal erreichbare Temperatur kann nun mit $T_p + \Delta T_{\text{ad}}$ (auch für $T_p < 80 \text{ °C}$) T_{exo} überschreiten. Selbst bei vorhandener Kühlung würden 160 °C erreicht.	Auslegungsgrenzen werden überschritten. Behälterversagen mit Stofffreisetzung möglich.	Temperaturmessung mit Zulaufsperrung (Dosierung der Komponente A3) bei Unterschreiten einer Mindesttemperatur im Kessel, TIS ₋ , in redundanter Ausführung
Zu wenig Lösemittel	Die Störung ist nicht relevant, da kein Lösemittel benötigt wird.		
Ausfall des Rührers	Akkumulation der Reaktanden mit nachfolgender erhöhter Reaktionsleistung. Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt. Mit $T_p 80 \text{ °C}$ und $\Delta T_{\text{ad}} = 225 \text{ K}$ wird T_{exo} überschritten.	Auslegungsgrenzen werden überschritten. Behälterversagen mit Stofffreisetzung möglich.	Drehzahlüberwachung des Rührers mit Zulaufsperrung (Dosierung der Komponente A3), SIS ₋ , und Überwachung des Rührmotors mit Zulaufsperrung (Dosierung der Komponente A3), EIS ₋ (diversitäre Redundanz)
Ausfall der Kühlung (zu Beginn der Reaktion)	Die Reaktionsleistung kann nicht mehr vollständig durch die Kühlung abgeführt werden, so dass die Temperatur über Solltemperatur steigt Mit $T_p < 80 \text{ °C}$ und $\Delta T_{\text{ad}} = 225 \text{ K}$ wird T_{exo} überschritten.	Auslegungsgrenzen werden überschritten. Behälterversagen mit Stofffreisetzung möglich.	Temperaturmessung mit Zulaufsperrung (Dosierung der Komponente A3) bei Überschreitung einer Maximaltemperatur im Kessel, TIS ⁺ , in redundanter Ausführung

Die sich aus dieser Gefahrendiskussion ergebende zusätzliche Ausrüstung des Reaktionskessels ist in Abbildung 8 dargestellt.

Die Besonderheit dieses Falles liegt in der relativ hohen Reaktionswärme mit gleichzeitig niedriger Grenztemperatur T_{exo} . Eine alternative sicherheitstechnische Lösung wäre eine gezielte Einflussnahme auf diese beiden Größen, z. B. durch eine Umstellung auf eine vollkontinuierliche Betriebsweise (Strömungsreaktor mit Umpumpung unter Zuhilfenahme von Lösemittel). Wegen der kurzen Verweilzeiten und des Verdünnungseffektes würde sich sowohl die Grenztemperatur T_{exo} zu höheren Werten verschieben, als auch die adiabatische Temperaturerhöhung ΔT_{ad} verringern. Eine solche Verfahrens- und Anlagenänderung macht in jedem Falle die iterative sicherheitstechnische Bewertung der Reaktion erforderlich; andere Maßnahmen können notwendig werden.

Abbildung 8: Ausrüstung des Reaktionskessels (schematisch), Fall 3



Anhang 2: Literaturverzeichnis

Verbindliche Rechtsnormen sind Gesetze, Verordnungen und der Normtext von Unfallverhütungsvorschriften. Abweichungen sind nur mit einer Genehmigung der zuständigen Behörde beziehungsweise des zuständigen Unfallversicherungsträgers (zum Beispiel Berufsgenossenschaft) erlaubt. Voraussetzung für die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung ist, dass die Ersatzmaßnahme ein mindestens ebenso hohes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Von Technischen Regeln zu Verordnungen, Durchführungsanweisungen von Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften) und DGUV Regeln kann abgewichen werden, wenn in der Gefährdungsbeurteilung dokumentiert ist, dass die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Keine verbindlichen Rechtsnormen sind DGUV Informationen, Merkblätter, DIN-/VDE-Normen. Sie gelten als wichtige Bewertungsmaßstäbe und Regeln der Technik, von denen abgewichen werden kann, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Fundstellen im Internet

Die Schriften der BG RCI sowie ein umfangreicher Teil des staatlichen Vorschriften- und Regelwerkes und dem der gesetzlichen Unfallversicherungsträger (rund 1 700 Titel) sind im Kompendium Arbeitsschutz der BG RCI verfügbar. Die Nutzung des Kompendiums im Internet ist kostenpflichtig. Ein kostenfreier, zeitlich begrenzter Probezugang wird angeboten.

Weitere Informationen unter www.kompendium-as.de.

Detailinformationen zu Schriften und Medien der BG RCI sowie Bestellung siehe medienshop.bgrci.de

Zahlreiche Merkblätter, Anhänge und Vordrucke aus Merkblättern und DGUV Regeln sowie ergänzende Arbeitshilfen stehen im Downloadcenter Prävention unter downloadcenter.bgrci.de kostenfrei zur Verfügung.

Unfallverhütungsvorschriften, DGUV Regeln, DGUV Grundsätze und viele DGUV Informationen sind auf der Homepage der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) unter publikationen.dguv.de zu finden.

1 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Veröffentlichungen der Europäischen Union im Amtsblatt der Europäischen Union,

Bezugsquelle: Bundesanzeiger-Verlag, Postfach 10 05 34, 50445 Köln,

Freier Download unter eur-lex.europa.eu/de/index.htm (EU-Recht).

Freier Download unter www.gesetze-im-internet.de (nationale Gesetze und Verordnungen) beziehungsweise www.baua.de (Technische Regeln) beziehungsweise www.kas-bmu.de/tras.html (TRAS und KAS).

- (1) Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung).
- (2) Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).
- (3) Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt.
- (4) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). Ausgabedatum: 15.03.1974. Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013; zuletzt geändert durch Art. 11 Abs. 3 G v. 26.7.2023.
- (5) Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG). Ausgabedatum: 31.07.2009, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023.
- (6) Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG). Ausgabedatum: 27.07.2021. vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146, 3147), zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 146) geändert.
- (7) Baugesetzbuch (BauGB). Ausgabedatum: 23.06.1960. Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394) geändert worden ist.
- (8) Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz – EMVG). Ausgabedatum: 14.12.2016. Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz vom 14. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2879), das zuletzt durch Artikel 51 des Gesetzes vom 23. Juni 2021 (BGBl. I S. 1858) geändert worden ist.
- (9) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG). Ausgabedatum: 07.08.1996. Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 31. Mai 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 140) geändert worden ist.
- (10) Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen (ÜAnlG). Ausgabedatum: 27.07. 2021. Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146, 3162).

- (11) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). Ausgabedatum: 03.02.2015. Ersetzt V 805-3-9 v. 27.9.2002; zuletzt geändert durch Art. 7 G v. 27.7.2021.
 - (12) Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV). Ausgabedatum: 26.04.2000. Neugefasst durch Bek. v. 15.3.2017; zuletzt geändert durch Art. 107 V v. 19.6.2020.
 - (13) Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV). Ausgabedatum: 18.04.2017. Geändert durch Art. 256 V v. 19.6.2020; §§ 57 bis 60 treten gem. § 73 Satz 1 dieser V am 22.4.2017 in Kraft; ersetzt V 753-13-1 v. 31.3.2010 I 377 (WasgefStAnIV).
 - (14) Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV). Ausgabedatum: 26.11.2010. Vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644); zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115).
 - (15) Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV). Ausgabedatum: 12.08.2004. Vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179); zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334).
 - (16) Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV). Ausgabedatum: 12.05.1993. Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), die zuletzt durch Artikel 23 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146) geändert worden ist.
 - (17) EmpfBS 1113: Beschaffung von Arbeitsmitteln.
 - (18) TRBS 1111: Gefährdungsbeurteilung.
 - (19) TRBS 2141: Gefährdungen durch Dampf und Druck.
 - (20) TRBS 1115: Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen.
 - (21) TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines.
 - (22) TRGS 721: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung der Explosionsgefährdung.
 - (23) TRGS 722: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische.
 - (24) TRGS 723: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische.
 - (25) TRGS 724: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß.
 - (26) TRGS 725: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen.
 - (27) TRGS 727: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen.
 - (28) TRGS 800: Brandschutzmaßnahmen.
-

(29) TRAS 410: Erkennen und Beherrschen exothermer chemischer Reaktionen.

(30) KAS 55: Leitfaden Mindestangaben im Sicherheitsbericht.

2 Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften), DGUV Regeln, DGUV Grundsätze, DGUV Informationen, Merkblätter und sonstige Schriften der Unfallversicherungsträger

Bezugsquellen: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de oder Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg, www.jedermann.de, verkauf@jedermann.de und unter www.exinfo.de, Seiten-ID: #MAMS
Mitgliedsbetriebe der BG RCI können die folgenden Schriften (bis zur nächsten Bezugsquellenangabe) in einer der Betriebsgröße angemessenen Anzahl kostenlos beziehen.

(31) Merkblatt R 001: Exotherme chemische Reaktionen – Grundlagen.

(32) Merkblatt R 003: Sicherheitstechnische Kenngrößen – Ermitteln und Bewerten (DGUV Information 213-065).

(33) Merkblatt R 003e: Safety Characteristics – Measurement and Evaluation (DGUV Information 213-066).

(34) Merkblatt R 004: Thermische Sicherheit chemischer Prozesse (DGUV Information 213-067).

(35) Merkblatt R 005: Übertragung chemischer Synthesen vom Labor bis in den Betrieb.

(36) Merkblatt R 007: Lehren aus Ereignissen – Sicherheitstechnische Erkenntnisse für die Bewertung chemischer Reaktionen und thermisch sensibler Stoffe.

(37) Merkblatt R 008: Polyreaktionen und polymerisationsfähige Systeme (DGUV Information 213-097).

(38) Merkblatt R 009: Reaktionen mit Ethylenoxid und andere Alkoxylierungen.

3 Normen

Bezugsquellen: DIN Media GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin; dinmedia.de
beziehungsweise VDE Verlag GmbH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin, www.vde-verlag.de

(39) DIN EN ISO 12100:2011-03: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung.

(40) DIN EN 61511-1/VDE 0810-1:2019-02: Funktionale Sicherheit – PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie – Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Anforderungen an Systeme, Hardware und Anwendungsprogrammierung.

(41) DIN EN 61511-2/VDE 0810-2:2019-02: Funktionale Sicherheit – PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie – Teil 2: Anleitungen zur Anwendung von IEC 61511-1 (IEC 61511-2:2016).

- (42) DIN EN 61511-3/VDE 0810-3:2019-02: Funktionale Sicherheit – PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie – Teil 3: Anleitung für die Bestimmung der erforderlichen Sicherheits-Integritätslevel (IEC 61511-3:2016).
- (43) DIN EN ISO 13849-1:2023-05: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze.
- (44) DIN EN ISO 13849-2:2013-02: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung.
- (45) DIN EN IEC 62061/VDE 0113-50:2023-02: Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener Steuerungssysteme.
- (46) VDI/VDE 2180 Blatt 1:2019-04: Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Einführung, Begriffe, Konzeption.
- (47) VDI/VDE 2180 Blatt 2:2019-09: Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Planung, Errichtung und Betrieb von PLT-Sicherheitsfunktionen.
- (48) VDI/VDE 2180 Blatt 3:2019-09: Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Nachweis der Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall (PFD).
- (49) VDI/VDE 2180 Blatt 4:2021-01: Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Mechanische Komponenten in PLT-Sicherheitseinrichtungen.

4 Andere Schriften und Medien

Bezugsquellen: Medienshop der BG RCI, medienshop.bgrci.de, Schriften der IVSS beziehungsweise Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Mainzer Landstraße 55 60329 Frankfurt am Main, www.vci.de

- (50) ISSA-01: Das PAAG-/HAZOP-Verfahren und weitere praxisbewährte Methoden.
- (51) VCI: Leitfaden zur Anwendung der Maschinenverordnung in Anlagen der chemisch-pharmazeutischen Industrie.

Bildnachweis

Die in dieser Schrift verwendeten Bilder dienen nur der Veranschaulichung. Eine Produktempfehlung seitens der BG RCI wird damit ausdrücklich nicht beabsichtigt.

Abbildungen wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Titelbild:
Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co KG
55216 Ingelheim

Abbildungen 1, 2, 3 und 5:
In Anlehnung an EmpfBS 1113

Abbildungen 6, 7 und 8:
In Anlehnung an TRAS 410

Die übrigen Abbildungen entstammen Unterlagen der BG RCI.

Ausgabe 7/2024 (Vollständige Überarbeitung der Ausgabe 7/2014)

Diese Schrift können Sie über den Medienshop
unter medienshop.bgrci.de beziehen.

Haben Sie zu dieser Schrift Fragen, Anregungen, Kritik?
Dann nehmen Sie bitte mit uns Kontakt auf.

- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie,
Prävention, Grundsatzfragen und Information, Medien
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
- E-Mail: medien@bgrci.de
- Kontaktformular: www.bgrci.de/kontakt-schriften