



Vakuumpumpe und Vakuumsysteme

SICHERHEITSHANDBUCH

Copyright-Hinweis

©Edwards Limited 2019. Alle Rechte vorbehalten.

Inhalt

1. Einführung	5
1.1 Umfang dieser Publikation.	5
1.2 Explosionsgefahren.	5
2. Das Auftreten von Gefahren	7
2.1 Aufbau.	7
2.2 Bauweise.	7
2.3 Betrieb/Inbetriebnahme.	8
2.4 Wartung/Außerbetriebnahme.	8
3. Chemische Gefahrenquellen	9
3.1 Chemische Reaktionen und Explosionen.	9
3.1.1 Homogene Reaktionen.	9
3.1.2 Heterogene Reaktionen.	9
3.2 Probleme bei nicht normalen Reaktionen.	9
3.3 Explosionsgefahren.	10
3.3.1 Oxidantien.	10
3.3.2 Zündfähige/explosive Materialien.	11
3.3.3 Pyrophore Materialien.	11
3.3.4 Natriumazid.	12
3.4 Giftige oder korrosive Materialien.	12
3.4.1 Giftige Materialien.	12
3.4.2 Korrosive Materialien.	13
3.5 Zusammenfassung - chemische Gefahrenquellen.	14
4. Physikalische Gefahrenquellen	15
4.1 Arten von Überdruckgefahren.	15
4.2 Überdruck im Pumpenauslass.	15
4.3 Schutz gegen Überdruck am Auslass.	15
4.4 Überdruck im Einlass.	16
4.4.1 Versorgung verdichteter Gase und Gegendruck.	16
4.4.2 Inkorrektter Betrieb der Pumpe.	17
4.5 Zusammenfassung - physikalische Gefahrenquellen.	17
5. Gefahrenanalyse	18
6. Systemaufbau	19
6.1 Nenndruckwerte in einem System.	19
6.2 Eliminierung statischer Volumina.	19
6.3 Abgasabsaugsystem.	20
6.4 Quellen potenziell gefährlicher Gas- oder Dampfgemische.	20

6.5 Vermeidung der zündfähigen Zone.	21
6.6 Ebenen der Systemintegrität.	24
6.7 Verwendung von Flammensperren-Schutzsystemen.	24
6.8 Zündquellen.	25
6.9 Zusammenfassung - Systemaufbau.	26
7. Die Wahl der richtigen Geräte.	28
7.1 Öligedichtete Drehschieber- und Kolbenpumpen.	29
7.2 Trockenlaufende Pumpen von Edwards.	29
7.3 Leitungsentwurf.	29
7.3.1 Faltenbälge.	29
7.3.2 Wellschläuche.	30
7.3.3 Ankerpunkte.	30
7.3.4 Dichtungen.	30
7.4 Physikalischer Überdruckschutz.	30
7.4.1 Druckentlastung.	31
7.4.2 Überdruckalarm/Auslösung.	31
7.4.3 Druckregler.	31
7.4.4 Flammensperren.	31
7.5 Spülsysteme.	32
7.6 Zusammenfassung - die Wahl der richtigen Geräte.	32
8. Betriebsverfahren und Schulung.	33
9. Zusammenfassung.	34

Edwards Ltd lehnt jegliche Haftung und Garantie im Zusammenhang mit der Korrektheit, Praxistauglichkeit, Sicherheit und den Ergebnissen der in diesem Dokument beschriebenen Informationen, Vorgehensweisen bzw. ihrer Anwendung ab. Edwards Ltd übernimmt keinerlei Haftung für Verluste oder Schäden, die durch die Nutzung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder durch eventuell inkorrekte oder unvollständige Informationen entstehen könnten. Beachten Sie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen lediglich allgemeiner Natur sind. Zwar kann Edwards Hinweise zu den potenziellen Gefahrenquellen im Zusammenhang mit der Verwendung gefährlicher Materialien geben, es obliegt jedoch der Verantwortung des Endbenutzers, eine Risikobewertung/Gefahrenanalyse speziell für seinen Betrieb und seine Umgebung durchzuführen, um die behördlichen Vorschriften einzuhalten.

1. Einführung

1.1 Umfang dieser Publikation

Dieses Dokument enthält Sicherheitsinformationen im Zusammenhang mit Der Spezifikation, der Konstruktion, dem Betrieb und der Wartung von Vakuumpumpen und Vakuumsystemen.

Das Dokument identifiziert die potenziellen Gefahren, die auftreten können, und bietet Anleitungen, die dazu dienen sollen, Gefahren für die Sicherheit zu minimieren und in gefährlichen Situationen angemessen zu reagieren.

Dieses Dokument sollte von allen Personen gelesen werden, die mit der Spezifikation, Konstruktion, Installation, Bedienung oder Wartung von Vakuumpumpen oder Vakuumsystemen befasst sind. Wir empfehlen, dazu die folgenden Dokumente zu lesen:

- Die mit Ihren Geräten mitgelieferten Betriebsanleitungen
- Von den Lieferanten Ihrer Prozessgase und Chemikalien bereitgestellte Informationen
- Informationen Ihrer Sicherheitsabteilung.



WARNUNG:

Die Nichtbeachtung der in diesem Handbuch und der relevanten Pumpenbetriebsanleitung gegebenen Sicherheitsanweisungen kann zu ernsthaften Verletzungen oder Todesfällen führen.

Wenn Sie weitere Informationen hinsichtlich der Eignung von Edwards-Produkten für Ihre Prozessanwendung bzw. zu Sicherheitsaspekten Ihrer Vakuumpumpen oder Vakuumsysteme benötigen, wenden Sie sich an Ihren Lieferanten oder an Edwards.

1.2 Explosionsgefahren

Hinweis:

Edwards bietet Pumpen an, die der ATEX-Richtlinie der EU für Geräte in potenziell zündfähigen Atmosphären entsprechen.

Unerwartete Explosionen werden in jedem Fall durch Abweichungen von den Sicherheitsrichtlinien verursacht. Dennoch waren einige Explosion äußerst heftig und hätten zu ernsthaften Verletzungen oder Todesfällen führen können.

Typische Ursachen für plötzlich auftretende Brüche und Risse in Komponenten von Vakuumsystemen sind die Entzündung zündfähiger Materialien und die Blockierung des Pumpenauslasses. Zur Vermeidung von Gefahren sollten Sie auf die folgenden Punkte achten, um den sicheren Betrieb Ihrer Vakuumpumpen und -systeme zu gewährleisten.

- Sofern Ihr System nicht für die Verpumpung von Materialien in Konzentrationen gedacht ist, die zu Zündungen in der Vakuumpumpe führen können, müssen Sie sicherstellen, dass Gemische aus entzündlichen Stoffen und Oxidantien außerhalb des zündfähigen Bereichs bleiben. Eine Möglichkeit dazu ist die Verwendung eines inerten Spülgases. Siehe [Vermeidung der zündfähigen Zone](#) auf Seite 21.
- Achten Sie darauf, dass es während des Betriebs zu keinen Blockierungen des Auslasses kommt, entweder durch mechanische Komponenten (etwa Ventile oder

Blindstopfen) oder durch Ablagerungen von Prozessmaterialien oder Nebenprodukten in Leitungen, Filtern oder anderen Bestandteilen des Auslasses (es sei denn, Ihr System ist für den Umgang damit ausgelegt).

- Verwenden Sie ausschließlich PFPE(Perfluorpolyether)-Öle an den Stellen der Pumpenmechanismen, die hohen Konzentrationen von Sauerstoff oder anderen Oxidantien ausgesetzt sind. Andere als „nicht zündfähig“ verkaufte Öle sind möglicherweise nur bei Konzentrationen von Oxidantien von weniger als 30 % (Vol.) verwendbar.
- Achten Sie darauf, dass in einem absichtlich geschlossenen und isolierten Vakuumsystem kein Überdruck auftreten kann, etwa durch einen Fehler im Druckregler oder im Spülungssteuersystem.
- Wenn das verpumpte Produkt heftig mit Wasser reagieren kann, wird empfohlen, ein anderes Kühlmittel als Wasser (beispielsweise Wärmetransportmedium) im Kühlkreislauf zu verwenden. Wenden Sie sich gegebenenfalls an Edwards.

2. Das Auftreten von Gefahren

Gefahren können in allen Phasen der Lebensdauer eines Systems auftreten. Diese Phasen sind:

- Aufbau
- Bauweise
- Betrieb/Inbetriebnahme
- Wartung/Außerbetriebnahme.

Die Arten von Problemen, die in den einzelnen Phasen auftreten können, werden nachfolgend erläutert. Sie müssen jedoch in allen Fällen daran denken, dass Sie die Gefahren im System nur dann minimieren können, wenn Sie die einzelnen Bestandteile des Systems und den Prozess gut kennen und verstehen. In Zweifelsfällen müssen Sie Ihre Lieferanten um weitere Informationen bitten.

2.1 Aufbau

Wenn Sie Ihr System entwerfen, müssen Sie die korrekten Geräte für Ihre Anwendung auswählen. Bedenken Sie dabei Folgendes:

- die technischen Spezifikationen der Geräte
- die für die Konstruktion der Geräte verwendeten Materialien
- die Betriebsverbrauchsmaterialien, die mit den Geräten verwendet werden (wie etwa Schmiermittel oder Betriebsflüssigkeiten)
- die Prozessbedingungen und -materialien.

Sie müssen auch die allgemeine Eignung der Geräte für Ihre Anwendung bedenken und sicherstellen, dass diese stets im Rahmen der angegebenen Betriebsbedingungen verwendet werden.

Sie müssen Entwurfsprozeduren einrichten, um sicherzustellen, dass Entwurfsfehler auf ein Minimum reduziert werden können. Solche Verfahren sollten eine unabhängige Prüfung der Entwurfsberechnungen und Konsultationen zu Entwurfsparametern enthalten.

Zur Prüfung Ihres Entwurfs muss stets eine Gefahrenanalyse gehören. Sie können viele potenzielle Gefahrenquellen ausschließen, wenn Sie die Verwendung der Geräte in Ihrem System sorgfältig prüfen.

2.2 Bauweise

Reduzieren Sie die Möglichkeit des Auftretens von Gefahren in der Konstruktionsphase durch den Einsatz erfahrenen und qualifizierten Personals und geeigneter Verfahren zur Qualitätssicherung. Fachpersonal kann die korrekten Komponenten für die Montage identifizieren und fehlerhafte oder schlecht gefertigte Komponenten und Geräte erkennen. Qualitätssicherungsverfahren helfen dabei, fehlerhafte Arbeiten zu erkennen und zu korrigieren, und stellen sicher, dass die Entwurfsspezifikationen strikt eingehalten werden.

Das Personal muss sehr sorgfältig vorgehen und alle Sicherheitsmaßnahmen bei der Installation neuer Geräte in einem System beachten, in dem giftige, korrosive, zündfähige, erstickende, pyrophore oder andere gefährliche Substanzen verpumpt oder produziert wurden oder noch vorhanden sein können.

Elektrische Geräte müssen von qualifiziertem Fachpersonal im Einklang mit allen einschlägigen landesweit und lokal gültigen Elektrovorschriften installiert werden.

2.3 Betrieb/Inbetriebnahme

Während des Betriebs können Gefahren durch Ausfälle von Geräten oder Komponenten durch Verschleiß, unsachgemäße Verwendung oder mangelhafte Wartung auftreten. Reduzieren Sie solche Gefahren durch gründliche Schulungen zur Verwendung (und Wartung) der Geräte. Wo nötig, konsultieren Sie die von Edwards und Ihren anderen Lieferanten in Form von Betriebsanleitungen, Schulungen und After Sales-Service bereitgestellten Informationen.

2.4 Wartung/Außerbetriebnahme

Um zu verhindern, dass Personal mit gefährlichen Stoffen in Berührung kommt, ist äußerste Sorgfalt erforderlich. Bei der Wartung eines Systems, in dem giftige, korrosive, zündfähige, pyrophore, erstickende oder andere gefährliche Substanzen verpumpt oder produziert wurden, müssen alle Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden.

Möglicherweise sollte auch ein genauer Wartungsplan eingerichtet werden; denken Sie auch an die sichere Entsorgung von Komponenten, die mit gefährlichen Substanzen verunreinigt sein könnten. Sie müssen für alle Geräte die in den Betriebsanleitungen gegebenen Wartungshinweise befolgen, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. In der Regel gelten für ATEX-Systeme zusätzliche Anforderungen.

3. Chemische Gefahrenquellen

3.1 Chemische Reaktionen und Explosionen

Sie müssen sorgfältig alle potenziellen chemischen Reaktionen bedenken, die bei normaler Verwendung, bei unsachgemäßer Verwendung und in Fehlersituationen an allen Punkten Ihres Vakuumsystems auftreten können. Insbesondere müssen Sie dabei an Reaktionen denken, an denen Gase und Dämpfe beteiligt sind und die zu Explosionen führen können. Die Erfahrung zeigt, dass Explosionen dann auftreten können, wenn die beteiligten Materialien vom Systemkonstrukteur nicht berücksichtigt und bei denen die Möglichkeit des Ausfalls der beteiligten Geräte nicht gebührend in Rechnung gestellt wurde.

3.1.1 Homogene Reaktionen

Homogene Reaktionen treten in der Gasphase zwischen zwei oder mehreren Arten von Gasmolekülen auf. Gasverbrennungsreaktionen sind normalerweise Reaktionen dieser Art. Beispielsweise ist unserer Kenntnis nach die Reaktion zwischen Silan (SiH_4) und Sauerstoff (O_2) immer homogen. Wenn solche Reaktionen in einem Fertigungsprozess auftreten, müssen Sie daher sehr sorgfältig den Prozessdruck und die Konzentrationen der Reagenzien prüfen, um exzessive Reaktionsraten zu vermeiden.

3.1.2 Heterogene Reaktionen

Heterogene Reaktionen erfordern eine feste Oberfläche. Manche Gasmoleküle reagieren nur, wenn sie von einer Oberfläche aufgenommen werden, nicht jedoch in der Gasphase bei niedrigem Druck. Diese Art von Reaktion ist ideal für bestimmte Prozesse geeignet, da sie die Auswirkungen von Reaktionen minimiert, die in der Prozesskammer auftreten, die Partikelbildung verringert und die Wahrscheinlichkeit von Kontaminationen reduziert.

Die meisten heterogenen Reaktionen werden bei höherem Druck homogen, normalerweise deutlich unterhalb des Atmosphärendrucks. Dies bedeutet, dass die Reaktionsweise der Gase in Prozesskammern nicht notwendigerweise mit der Reaktionsweise bei der Komprimierung durch eine Vakuumpumpe korreliert.

3.2 Probleme bei nicht normalen Reaktionen

Anormale Reaktionen können auftreten, wenn Chemikalien in Kontakt mit Gasen oder Materialien kommen, deren Auftreten der Systemkonstrukteur nicht erwartet hat. Hierzu kann es beispielsweise kommen, wenn ein Leck vorhanden ist, das den Eintritt atmosphärischer Gase in das System oder den Austritt giftiger, zündfähiger, explosiver oder anderer gefährlicher Gase aus dem System in die Atmosphäre erlaubt.

Um solche Reaktionen zu vermeiden, muss eine Leckdichtheit von höchstens $1 \times 10^{-3} \text{ mbar l s}^{-1}$ ($1 \times 10^{-1} \text{ Pa l s}^{-1}$) in Ihrem System gewahrt sein. Hochvakuumanwendungen erfordern typischerweise eine Leckdichtheit von höchstens $1 \times 10^{-5} \text{ mbar l s}^{-1}$ ($1 \times 10^{-3} \text{ Pa l s}^{-1}$). Darüber hinaus müssen Sie dafür sorgen, dass alle Ventile in Ihrem System leckdicht sind.

Gase, die normalerweise während des Prozesszyklus nicht miteinander in Kontakt geraten, können sich im Pumpsystem und in Abgasleitungen mischen.

Es ist möglich, dass Wasserdampf oder Reinigungslösungen nach Routinewartungsarbeiten in der Prozesskammer vorhanden sind. Dies kann der Fall sein, nachdem die Prozesskammer

gewaschen und gereinigt wurde. Wasserdampf kann auch aus Abgasleitungen und Abgasabscheidern in das System gelangen.

Wenn für die Spülung von Prozessablagerungen aus dem Vakuumsystem Lösungsmittel verwendet werden, muss darauf geachtet werden, dass das verwendete Lösungsmittel mit allen Prozessmaterialien in dem Vakuumsystem kompatibel ist.

3.3 Explosionsgefahren

Die Quellen von Explosionsgefahren können allgemein in die folgenden Kategorien unterteilt werden:

- Oxidantien
- Zündfähige/explosive Materialien
- Pyrophore Materialien
- Natriumazid.

Beachten Sie, dass Lieferanten von Prozessmaterialien in den Ländern der Europäischen Union und einigen anderen Ländern gesetzlich verpflichtet sind, die physikalischen und chemischen Daten der von ihnen verkauften Materialien zu veröffentlichen (normalerweise auf Materialsicherheitsdatenblättern). Zu den Daten für ein Material müssen, falls anwendbar, Informationen über die obere und untere Explosivitätsgrenze, die physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften des Materials sowie alle mit seiner Verwendung verbundenen Gesundheitsrisiken gehören. Lesen Sie sich diese Informationen gut durch.

3.3.1 Oxidantien

Oxidantien wie Sauerstoff (O_2), Ozon (O_3), Fluor (F_2), Stickstofftrifluorid (NF_3) oder Wolframhexafluorid (WF_6) werden oft in Vakuumsystemen verpumpt. Oxidantien reagieren schnell mit verschiedenen Stoffen und Materialien und die Reaktion setzt häufig Hitze und einen erhöhten Gasdruck frei. Die daraus potenziell resultierenden Gefahren sind Feuer und Überdruck in der Pumpe und/oder im Abgassystem.

Zum sicheren Verpumpen dieser Gase müssen Sie die Sicherheitshinweise des Gaslieferanten sowie die folgenden Empfehlungen beachten:

- Verwenden Sie immer ein PFPE(Perfluorpolyether)-Schmiermittel in Pumpen, die zum Verpumpen von Sauerstoff in Konzentrationen von mehr als 25 % (Vol.) in einem Inertgas verwendet werden.
- Verwenden Sie PFPE-Schmiermittel in Pumpen, die zum Verpumpen von Gasen verwendet werden, in denen der Prozentsatz des Sauerstoffs normalerweise unter 25 % des Volumens liegt, aber bei Störfällen über 25 % ansteigen kann. Wenn andere Oxidantien außer Sauerstoff verpumpt werden, konsultieren Sie den Lieferanten des Schmiermittels hinsichtlich der empfohlenen Konzentrationen.
- PFPE-Schmiermittel sind die bevorzugten Schmiermittel, Kohlenwasserstoff-Schmiermittel können jedoch verwendet werden, wenn eine geeignete Inertgas-Spülung verwendet wird, um sicherzustellen, dass das Gas keinen gefährlichen Konzentrationen des Oxidanten ausgesetzt ist.

Unter normalen Bedingungen kommt es nicht vor, dass PFPE-Schmiermittel in einer ölgedichteten Drehschieber- oder einer Kolbenpumpenschmierbüchse bzw. einem Getriebekasten oxidiert oder zusammenbricht, dies reduziert daher die Explosionsgefahr.

Beachten Sie, dass die thermische Zersetzung von PFPE-Schmiermitteln bei oder oberhalb einer Temperatur von 290° C bei Vorhandensein von Luft oder Ferrometallen auftreten kann.

Die thermische Zersetzungstemperatur sinkt jedoch auf 260° C, wenn Titan, Magnesium, Aluminium oder ihre Legierungen vorhanden sind.

Wenn Sie in ölgedichteten Drehschieber- oder Kolbenvakuumpumpen keine PFPE-Schmiermittel verwenden möchten, können Sie die Oxidantien mithilfe eines Inertgases (etwa Trockenstickstoff) auf eine sichere Konzentration verdünnen. Diese Vorgehensweise ist allerdings nur bei niedrigen Durchsätzen der gasförmigen Oxidantien möglich. Sie müssen in Ihrem System Sicherheitsvorkehrungen installieren, um sicherzustellen, dass der minimale Durchsatz des inerten Verdünnungsgases für die Reduzierung der Konzentration der Oxidantien auf einen sicheren Wert immer verfügbar ist und dass der Oxidantiendurchsatz den maximal zulässigen Durchsatzwert niemals überschreitet. Sie müssen Ihr System so gestalten, dass der Fluss der Oxidantien sofort angehalten wird, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind.

Wir empfehlen Ihnen, für die Verpumpung von Oxidantien trockenlaufende Pumpen von Edwards zu verwenden (siehe [trockenlaufende Pumpen von Edwards](#) auf Seite 29). Trockenlaufende Pumpen haben keine Dichtungsflüssigkeiten im Schöpfraum; dies reduziert die Explosionsgefahr deutlich, wenn Sie mit einer trockenlaufenden Pumpe Oxidantien verpumpen. Edwards empfiehlt eine Inertgasspülung für die Lager und den Getriebekasten, wenn ein auf Kohlenwasserstoffen basierendes Schmiermittel verwendet wird.

3.3.2 Zündfähige/explosive Materialien

Viele Gase und Staubmaterialien, wie Wasserstoff (H₂), Acetylen (C₂H₂), Propan (C₃H₈) und fein verdünnter Siliziumdioxidstaub, sind in bestimmten Konzentrationen in einem Oxidanten zündfähig und/oder explosiv, wenn eine Zündquelle vorhanden ist. Eine Zündquelle kann etwa durch einen örtlich begrenzten Aufbau von Wärme entstehen. Dies wird im Abschnitt [Zündquellen](#) auf Seite 25 besprochen.

Sie können die Explosionsgefahr vermeiden, indem Sie sicherstellen, dass die Konzentration des potenziell zündfähigen Gemischs außerhalb der zündfähigen Zone gehalten wird. Weitere Einzelheiten dazu finden Sie im Abschnitt [Vermeidung der zündfähigen Zone](#) auf Seite 21.

Eine weitere Möglichkeit zur Senkung der Explosionsgefahr ist das Ausschalten potenzieller Zündquellen. Weitere Einzelheiten dazu finden Sie im Abschnitt [Zündquellen](#) auf Seite 25.

Wo es nicht möglich ist, die zündfähige Zone zu vermeiden, müssen Sie sicherstellen, dass die Geräte so konstruiert sind, dass alle Explosionen verhindert werden oder so begrenzt bleiben, dass die Geräte nicht zerbrechen und keine Flammen in die externe Atmosphäre gelangen können. Die Verwendung von Flammensperren wird im Abschnitt [Verwendung von Flammensperren-Schutzsystemen](#) auf Seite 24 erläutert. Wenn die externe Atmosphäre Ihres Vakuumsystems gefährlich ist, müssen Sie sicherstellen, dass alle Geräte dafür geeignet sind.

In der Europäischen Union regelt die ATEX-Richtlinie eindeutig das Design von Geräten, die in potenziell zündfähigen Atmosphären verwendet werden.

Wo es möglich ist, das Verpumpen potenziell zündfähiger Atmosphären unter allen Umständen zu vermeiden, können alle Arten von Edwards-Vakuumpumpen zum Verpumpen zündfähiger Dämpfe oder Gase verwendet werden.

3.3.3 Pyrophore Materialien

Unter den meisten Bedingungen reagieren pyrophore Gase wie Silan (SiH₄) und Phosphin (PH₃) oder pyrophore Stäube unter Atmosphärendruck spontan mit der Luft; es kann daher zu Entzündungen kommen, wenn diese Gase mit der Luft oder anderen Oxidantien in Berührung kommen und der Druck hoch genug ist, um die Entzündung zu unterstützen. Dies

kann geschehen, wenn Luft in das System gelangt oder wenn die Abgase des Systems mit der Atmosphäre in Berührung kommen. Die Wärme der Reaktion zwischen einem Oxidanten und einem pyrophoren Gas kann eine Zündquelle für explosive Materialien darstellen.

Wenn Abgase aus verschiedenen Prozessen durch ein gemeinsames Absaugsystem entlüftet werden, kann dies zu Entzündungen oder Explosionen führen. Es ist daher wichtig, dass Sie unabhängige Absaugsysteme verwenden, wenn Sie pyrophore Materialien verpumpen.

Prozesse, die Phosphor verwenden, können zur Kondensation von festem Phosphor im Vakuumsystem oder im Auslass führen. In Anwesenheit von Luft und selbst bei geringer mechanischer Agitation (etwa durch die Aktivierung eines Ventils oder die durch eine Druckdifferenz ausgelöste Drehung der Pumpe) kann sich Phosphor spontan entzünden und toxische Gase freisetzen. Es wird empfohlen, die Pumpen mit einer Inertgasspülung und einer Mindesttemperatur zu betreiben, um die Kondensation von Phosphor auf ein Minimum zu begrenzen.

PFPE-Schmiermittel können Prozessgase absorbieren, die, im Falle pyrophorer Materialien, zu einer lokalen Zündung führen können, wenn das Schmiermittel der Luft ausgesetzt ist. Diese Gefahr kann besonders bei Wartungsarbeiten präsent sein, oder wenn Oxidantien nach einem pyrophoren Gas oder Staub durch das System gepumpt werden. Sie können diese Gefahr reduzieren, wenn Sie trockenlaufende Edwards-Pumpen verwenden, die keine Schmiermittel im Schöpfraum enthalten. Sie müssen sicherstellen, dass alle pyrophoren Stoffe vor der Belüftung oder der Handhabung passiviert wurden.

3.3.4 Natriumazid

Natriumazid wird gelegentlich bei der Vorbereitung von Produkten für die Gefriertrocknung oder in anderen Fertigungsprozessen verwendet. Natriumazid kann Stickstoffwasserstoffsäure freisetzen. Stickstoffwasserstoffsäuredämpfe können mit Schwermetallen zu instabilen Metallaziden reagieren. Diese Azide können spontan explodieren.

Zu diesen Schwermetallen gehören:

• Barium	• Cadmium	• Caesium
• Kalzium	• Kupfer	• Blei
• Lithium	• Mangan	• Kalium
• Rubidium	• Silber	• Natrium
• Strontium	• Zinn	• Zink
• Kupfer- und Zink-Legierungen (wie etwa Messing)		

Messing, Kupfer, Aluminium, Zinn und Zink werden häufig in vielen Komponenten von Vakuumpumpen, Zubehörteilen und Rohren verwendet. Wenn Ihr Prozesssystem Natriumazid verwendet oder produziert, müssen Sie sicherstellen, dass der Gaspfad in Ihrem System keine Schwermetalle enthält.

3.4 Giftige oder korrosive Materialien

In vielen Vakuumanwendungen kommt es zur Verarbeitung oder Verwendung giftiger oder korrosiver Materialien, wofür besondere Vorgehensweisen erforderlich sind.

3.4.1 Giftige Materialien

Giftige Materialien sind naturgemäß gesundheitsgefährdend. Die Natur der jeweiligen Gefahr ist jedoch spezifisch für das Material und seine relative Konzentration. Sie müssen die

Richtlinien für den korrekten Umgang, die der Lieferant des Materials zur Verfügung stellt, sowie alle geltenden gesetzlichen Bestimmungen beachten.

Darüber hinaus sollten Sie die folgenden Punkte beachten:

- **Gasverdünnung** - Es gibt Einrichtungen, die die Verdünnung giftiger Prozessgase beim Durchgang durch die Vakuumpumpe und in den Auslass ermöglichen. Damit können Sie die Konzentration unter dem toxischen Grenzwert halten. Wir empfehlen, die Verdünnungsgasversorgung zu überwachen, damit ein Alarm ausgelöst wird, wenn die Versorgung ausfällt. Konsultieren Sie besonders bei ölgedichteten Pumpen die Betriebsanleitung der Pumpe für eventuell benötigte Ölrückführungs-Kits.
- **Lecksuche** - Vakuumsysteme von Edwards sind allgemein mit einer Leckdichtheit von $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹) konstruiert. Die Leckdichtheit des angrenzenden Systems kann jedoch nicht garantiert werden. Sie müssen ein geeignetes Verfahren zur Lecksuche verwenden (etwa Heliummassenspektrometrie), um die Integrität des Vakuum- und des Abgassystems zu sichern.
- **Wellendichtung (trockenlaufende Edwards-Pumpen)** - Viele trockenlaufende Vakuumpumpen verwenden ein Gasspülungssystem, um sicherzustellen, dass Prozessgase nicht in das Getriebe und die Lager und damit möglicherweise in die das Vakuumsystem umgebende Atmosphäre eindringen. Beim Umgang mit giftigen Materialien müssen Sie die Integrität dieser Gasversorgung sicherstellen. Es müssen nicht entlüftende Regler in Kombination mit einem Rückschlagventil verwendet werden, wie unter [Druckregler](#) auf Seite 31 erläutert.
- **Wellendichtung (andere Edwards-Pumpen)** - Ölgeflutete Wellendichtungsstrukturen (z. B. mechanische EH-Rootspumpen oder EM-Drehschieberpumpen) minimieren das Risiko von Prozessgaslecks (oder des Eindringens von Luft) und können eine visuelle Warnung (bei Öllecks oder sinkendem Ölstand) ausgeben, bevor eine Gefahrensituation entsteht. Andere Dichtungsstrukturen bieten möglicherweise keine ausreichende Warnung vor einem Ausfall.
- **Magnetantriebe** - Wenn eine vollständig hermetische Versiegelung erforderlich ist, können trockenlaufende EDP-Vakuumpumpen von Edwards mit einem Magnetantrieb ausgeliefert werden, der ein Keramikgefäß enthält, das eine Wellendichtung an der Motoreingangswelle überflüssig macht.

Wenn Druckentlastungsventile oder Bruchscheiben für die Entlastung von Überdruck verwendet werden, achten Sie darauf, dass diese sicher in ein geeignetes Abgassystem entlüftet werden, um Vergiftungsgefahren zu vermeiden.

Wenn Sie kontaminierte Vakuumausrüstung zum Kundendienst oder zur Wartung an Edwards zurückgeben, müssen Sie die jeweilige Vorgehensweise (Formular HS1) befolgen und die in der mit den Geräten mitgelieferten Betriebsanleitung bereitgestellte Erklärung (Formular HS2) ausfüllen.

3.4.2 Korrosive Materialien

Beachten Sie beim Verpumpen korrosiver Materialien mit Edwards-Vakuumpumpen die folgenden Punkte:

- **Eindringen von Feuchtigkeit** - Achten Sie besonders darauf, das Eindringen feuchter Luft zu verhindern; dies kann korrosive Effekte verstärken. Zum Ausschaltvorgang sollte eine Inertspülung gehören, um korrosive Stoffe vor dem Ausschalten aus dem System zu spülen.

- **Verdünnung** - Verwenden Sie ein geeignetes Verdünnungsgas, um die Kondensation korrosiver Dämpfe und die dadurch verursachte Korrosion zu verhindern.
- **Temperatur** - Erhöhen Sie die Temperatur der Pumpe und der Abgasleitung, um die Kondensation von Wasserdampf zu verhindern; dies hilft, die Korrosion zu begrenzen. In manchen Fällen können höhere Temperaturen die Korrosion auch verstärken, siehe folgender Abschnitt.
- **Korrosion von Sicherheitseinrichtungen** - Wenn sicherheitskritische Einrichtungen (wie etwa Flammensperrenelemente, Temperatursensoren u. dgl.) durch korrosive Produkte im Prozessgasstrom beschädigt werden können, müssen deren Produktionsmaterialien so ausgewählt werden, dass diese Gefahr beseitigt wird.
- **Phasenänderungen** - Ungeplante Phasenänderungen können Kondensation verursachen. Zur Vermeidung dieser Gefahr ist es erforderlich, alle Änderungen von Temperatur und Druck zu berücksichtigen.
- **Ungeplante Reaktionen** - Ungeplante chemische Reaktionen können zur Bildung korrosiver Produkte führen. Achten Sie sorgfältig auf das Risiko übergreifender Kontaminierungen, wenn Geräte für verschiedene Zwecke eingesetzt werden.

Einige korrosive Materialien, wie etwa Fluor, Chlor, andere Halogene oder Halide sowie oxidierende Stoffe wie Ozon oder reduzierende Stoffe wie Wasserstoffsulfid können ebenfalls die Materialien angreifen, mit denen sie in Kontakt kommen, ohne dass dazu eine Flüssigkeit vorhanden sein muss. In diesen Fällen sollte der Teildruck des korrosiven Materials durch Verwendung eines geeigneten Verdünnungsgases minimiert werden. Die Konstruktionsmaterialien des Vakuumsystems und des Pumpenmodells sollten so ausgewählt werden, dass sie mit dem jeweiligen Gas in den erwarteten Konzentrationen kompatibel sind. Hohe Temperaturen können die Korrosion beschleunigen und sollten daher minimiert werden, sofern dies der jeweilige Prozess zulässt. Überprüfen Sie die Wartungsintervalle, um die Auswirkungen korrosiver Materialien auf das System zu berücksichtigen.

3.5 Zusammenfassung - chemische Gefahrenquellen

- Bedenken Sie alle möglichen chemischen Reaktionen in Ihrem System.
- Kalkulieren Sie anomale chemische Reaktionen ein, einschließlich solcher, die bei Störfällen auftreten.
- Verwenden Sie die Material Sicherheitsdatenblätter, wenn Sie die potenziellen Gefahrenquellen im Zusammenhang mit Ihren Prozessmaterialien bestimmen.
- Wenden Sie Verdünnungstechniken an, um Reaktionen mit Oxidantien und zündfähigen Materialien zu minimieren.
- In der EU müssen Sie eine ATEX-Vakuumpumpe mit den jeweiligen Zertifizierungen verwenden, wenn eine zündfähige Zone angegeben ist. Für alle anderen Regionen empfiehlt Edwards nach Möglichkeit die Verwendung von Pumpen, die im Rahmen der ATEX-Richtlinie zertifiziert wurden.
- Verwenden Sie die richtigen Schmiermittel in Ihrer Pumpe, wenn Sie Oxidantien verpumpen, und erwägen Sie die Verwendung einer trockenlaufenden Pumpe.
- Verwenden Sie keine Schwermetalle im Gaspfad Ihres Prozesssystems, wenn Ihr Prozess Natriumazid verwendet oder produziert.
- Gehen Sie beim Umgang mit giftigen, korrosiven oder instabilen Materialien besonders sorgfältig vor.

4. Physikalische Gefahrenquellen

4.1 Arten von Überdruckgefahren

Ein Überdruck bei Komponenten des Vakuumsystems kann aus folgenden Ursachen resultieren:

- Einleitung von unter Hochdruck stehendem Gas in das System
- Kompression von Gas durch das System
- Plötzlicher Anstieg der Temperatur flüchtiger Gase im System
- Eine Phasenänderung, die zur Zersetzung eines Feststoffes führt
- Reaktion im Vakuumsystem
- Blockierte Abgasleitung.

Weitere Ursachen sind möglich.

4.2 Überdruck im Pumpenauslass

Eine typische Ursache für Überdruck in der Abgasleitung ist eine Blockierung oder Verstopfung des Abgassystems. Dies kann zum Ausfall der Pumpe oder anderer Komponenten des Systems führen.

Vakuumpumpen sind Kompressoren, die speziell dafür ausgelegt sind, mit hohen Auslass-zu-Einlass-Druckverhältnissen zu arbeiten.

Zusätzlich zum durch den Betrieb der Pumpe verursachten potenziellen Überdruck kann auch die Einleitung eines verdichteten Gases (wie etwa eines Spül- oder Verdünnungsgases) zum Überdruck im System führen, wenn das Abgassystem blockiert ist.

Wenn eine Pumpe mit auslasseitigen Flammensperren oder anderen Vorrichtungen wie Filtern oder Kondensatoren ausgestattet ist, ist es sehr wichtig, dass der Abgasgegendruck nicht den Höchstwert überschreitet, der in der Betriebsanleitung des Vakuumsystems angegeben ist. Verwenden Sie ein geeignetes Wartungsprogramm, um sicherzustellen, dass keine Prozessablagerungen das Abgassystem und die Flammensperre blockieren. Wenn dies nicht praktikabel ist, kann ein Drucksensor zwischen Pumpe und Flammensperre dazu dienen, Blockierungen zu erkennen. Ähnliche Überlegungen gelten für andere Abgasvorrichtungen, wie etwa Filter oder Kondensatoren.

Sublimierungen oder Phasenänderungen können zu Blockierungen der Prozessrohrleitungen durch Feststoffablagerungen und damit zu Überdruckgefahren führen.

Konsultieren Sie die mit Ihrem Vakuumpumpensystem mitgelieferte Betriebsanleitung für die maximalen und empfohlenen kontinuierlichen Gegendruckwerte aller Ihrer Abgaskomponenten, einschließlich der Vakuumpumpe. Konstruieren Sie das Abgassystem so, dass diese Einschränkungen eingehalten werden können.

Die Grenzwerte für den Dauerbetrieb finden Sie in der Betriebsanleitung der Pumpe.

4.3 Schutz gegen Überdruck am Auslass

Allgemein wird empfohlen, die Pumpen so zu betreiben, dass die Abgase in ein frei entlüftetes Abgassystem geleitet werden. Ihr Abgassystem kann jedoch Komponenten enthalten, die eine Blockierung des Systems verursachen können. Wenn dies der Fall ist,

müssen Sie auch geeignete Maßnahmen zum Schutz gegen Überdruck treffen. Solche Methoden sind u. a.:

Komponente	Schutzmethode
Ventil in der Abgasleitung	Konstruieren Sie das Ventil so, dass es beim Betrieb der Pumpe immer offen ist.
	Verwendung einer Druckentlastungsbypass.
Abgasabscheider	Verwendung einer Druckentlastungsbypass.
	Verwenden Sie einen Drucküberwacher, und verbinden Sie diesen so mit der Pumpe, dass diese ausgeschaltet wird, wenn der Abgasdruck zu hoch ist.
Flammensperre	Messung des Abgasdrucks.
	Differenzdruckmessung
Ölnebelfilter	Verwenden Sie eine Druckentlastungsvorrichtung.

Zusammenfassung: Wenn sich der Druck im Abgassystem dem maximal zulässigen Druck nähert:

- Reduzieren Sie den Druck durch ein Gerät im Gaspfad parallel zur Blockierung.
- Reduzieren Sie den Druck an der Quelle. Halten Sie die Pumpe an, oder stoppen Sie jegliche Versorgung verdichteter Gase.

4.4 Überdruck im Einlass

4.4.1 Versorgung verdichteter Gase und Gegendruck

Es geschieht häufig, dass der erforderliche Nenndruck der Leitung zwischen Pumpe und Vakuumsystem unterschätzt wird, da angenommen wird, dass diese Leitung keinem Druck über Atmosphärendruck ausgesetzt ist. In Wirklichkeit gilt dies nur unter normalen Betriebsbedingungen. Sie sollten den erforderlichen Nenndruck schätzen, um durch anomale Bedingungen oder Störfälle entstehende höhere Druckwerte einzukalkulieren.

Eine häufige Ursache für Überdruck in Pumpeneinlassleitungen ist das Einleiten verdichteter Gase (etwa von Spülgasen), wenn die Pumpe nicht in Betrieb ist. Wenn die Komponenten in der Einlassleitung nicht für die daraus resultierenden Druckwerte geeignet sind, bricht die Leitung, und Prozessgase treten aus dem System aus. Ein Rückstrom von Gasen aus dem System in eine Prozesskammer, die dem resultierenden Druck selbst nicht standhalten kann, führt ebenfalls zu Brüchen und Lecks.

Wenn Sie eine Versorgung verdichteter Gase an Ihr System über Druckregler anschließen, die so ausgelegt sind, dass sie einen Fluss mit niedrigem Druck gewährleisten, achten Sie darauf, dass der Druck den Nennwerten des Systems entspricht.

Die häufig verwendeten nicht entlüftenden Druckregler führen dazu, dass der Druck im System bis zum Druck der Gasversorgung zum Regler steigt, wenn kein Prozessgas durch das System strömt. Sie müssen daher eines der folgenden zwei Verfahren verwenden, um Überdruck zu vermeiden:

- Reduzieren des Drucks, Ermöglichung der Umgehung der Pumpe durch die Gase und des Abströmens in einen frei entlüfteten Auslass
- Überwachung des Systemdrucks und Verwendung eines positiven Verschlussventils zur Absperrung der Versorgung verdichteten Gases bei voreingestelltem Druck.

4.4.2 Inkorrekter Betrieb der Pumpe

Besondere Vorsicht ist angebracht, bis sichergestellt ist, dass die Pumpe korrekt funktioniert.

Wenn die Rotationsrichtung der Pumpe falsch ist und die Pumpe mit blockiertem Einlass betrieben wird, entsteht hoher Druck in der Einlassleitung. Dies kann zu Brüchen und Rissen in der Pumpe, der Leitung und/oder von Komponenten der Leitung führen.

Verwenden Sie immer eine lose durch Schrauben am Pumpeneinlass gesicherte Blindplatte, bis Sie sicher sind, dass die Drehrichtung der Pumpe korrekt ist.

Der Betrieb bei höheren Drehzahlen kann zum Bruch der Pumpe führen. Betreiben Sie die Pumpe nicht mit Drehzahlen oberhalb der maximalen Nenndrehzahl; dies ist besonders wichtig, wenn Frequenzumrichter für die Geschwindigkeitskontrolle verwendet werden.

4.5 Zusammenfassung - physikalische Gefahrenquellen

- Achten Sie bei Sicherheitsberechnungen darauf, die sicheren Arbeitsdruckwerte für alle Komponenten des Systems zu berücksichtigen.
- Stellen Sie sicher, dass der Pumpenauslass nicht blockiert oder verstopft werden kann.
- Wenn ein hohes Risiko für Druckwerte oberhalb der Nenndruckwerte in irgendeinem Teil Ihres Vakuumsystems besteht, sollte Ihr System korrekt positionierte Druckmessvorrichtungen enthalten. Diese müssen mit Ihrem Steuersystem verbunden sein, damit das System in einen sicheren Zustand versetzt wird, wenn ein Überdruck festgestellt wird.
- Berücksichtigen Sie anormale Bedingungen und Störfälle bei der Bestimmung des erforderlichen Nenndrucks für die Komponenten des Vakuumsystems und der Pumpe.
- Achten Sie darauf, die korrekte Art von Druckentlastungsvorrichtung zu verwenden, die für Ihre Anwendung geeignet ist.
- Stellen Sie sicher, dass die Versorgung verdichteter Gase angemessen reguliert und überwacht ist. Schalten Sie diese Versorgungen aus, wenn die Pumpe ausgeschaltet wird.
- Achten Sie nach Möglichkeit darauf, dass der Versorgungsdruck zu allen regulierten Spülungen geringer ist als der maximale statische Druck des Systems. Achten Sie andernfalls darauf, dass beim Ausfall einer Komponente eine Druckentlastung möglich ist.

5. Gefahrenanalyse

Die Techniken der Gefahrenanalyse bieten ein strukturiertes Konzept für die Identifizierung und Analyse der Gefahren in einem System bei normaler Verwendung sowie der Gefahren, die unter Fehler- und Ausfallbedingungen auftreten können. Solche Techniken sind ein wichtiger Schritt zum Gefahrenmanagement; in vielen Fällen ist ihre Verwendung gesetzlich vorgeschrieben. Um wirklich effektiv zu sein, muss eine Gefahrenanalyse während der Entwurfsphase eines Systems beginnen und bis zu Betrieb, Installation, Wartung und Außerbetriebnahme fortgesetzt werden.

Eine detaillierte Untersuchung von Gefahrenanalyseverfahren kann in dieser Veröffentlichung nicht geleistet werden. Es gibt jedoch andernorts zahlreiche Beschreibungen von Gefahrenanalyseverfahren. Ein Beispiel für ein in der chemischen Industrie häufig angewandetes Verfahren ist HAZOP (Hazard and Operability Study). Dies ist ein Verfahren zur Gefahrenanalyse, bei dem es um die Identifizierung potenzieller Gefahrenquellen und Betriebsprobleme geht.

Typischerweise liefern Gefahrenanalysen Informationen zu den Arten der Gefahren, ihrem Schweregrad und der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens. Anhand dieser Informationen können Sie entscheiden, wie Sie die Auswirkungen solcher Gefahren am besten auf ein akzeptables Niveau senken. Je nach Quelle einer Gefahr kann es möglich sein, sie vollständig auszuschließen, ihren Schweregrad zu mildern oder die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens zu senken. Es ist jedoch sehr schwer, eine Gefahr vollständig auszuschließen.

Bei Ihrer Entscheidung zum Umgang mit einer Gefahr müssen Sie alle möglichen Auswirkungen berücksichtigen. So kann zum Beispiel eine kleine heiße Oberfläche ein kleineres Risiko für einen Bediener darstellen, da sie eine Brandverletzung verursachen kann. Um die Gefahr solcher Brandverletzungen zu verringern, könnte der Systemkonstrukteur eine visuelle Warnung vor der heißen Oberfläche anbringen oder diese gegen Berührungen schützen. Die Gefahrenanalyse des Systems könnte aber auch ergeben, dass diese heiße Oberfläche eine Zündquelle für zündfähige Dämpfe ist; dies könnte zu einer Explosion oder zur Freisetzung einer Giftgaswolke führen. Zur Senkung der Zündgefahr muss der Konstrukteur dann die Temperatur der heißen Oberfläche senken oder dafür sorgen, dass keine zündfähigen Dämpfe damit in Berührung kommen.

6. Systemaufbau

6.1 Nenndruckwerte in einem System

Wie im Abschnitt Physikalische Gefahrenquellen Physikalische Gefahrenquellen [Physikalische Gefahrenquellen](#) auf Seite 15 erläutert, sind Leitungen und Komponenten von Vakuumsystemen für Innendruckwerte unterhalb des Atmosphärendrucks ausgelegt. In der Praxis ist es jedoch zumeist erforderlich, das System auch für Innendruckwerte oberhalb des Atmosphärendrucks zu konstruieren. Wenn nötig, müssen Sie Druckentlastungsvorrichtungen verwenden, um Überdruck zu vermeiden.

Es ist wichtig, die Einlassleitungen und andere Einlasskomponenten nicht als die schwächsten Bestandteile des Systems zu konstruieren, weil etwa angenommen wird, dass sie immer, auch bei Störfällen, unter Vakuum stehen.

Abgassysteme müssen immer so konstruiert werden, dass sie im Betrieb den geringstmöglichen Gegendruck auf die Pumpe ausüben. Es ist jedoch erforderlich, dass Sie Ihr Abgassystem mit einem angemessenen Nenndruck konstruieren; es muss für Druckwerte, die von der Pumpe und durch die Einleitung verdichteter Gase in das System entstehen, sowie für die Verwendung mit den genutzten Einrichtungen zum Schutz vor Überdruck geeignet sein.

Denken Sie bei Ihrer Gefahrenanalyse stets an die folgenden Punkte:

- Externe Einlässe, wie etwa Inertgasanschlüsse
- Isolierung und Beugung von allen möglichen Quellen, besonders in Abgasleitungen
- Reaktionen zwischen Prozessgasen.

Beachten Sie: Wenn ein Behälter eine flüchtige Flüssigkeit enthält und vom Rest des Systems isoliert werden kann, kann externe Hitze (etwa durch ein Feuer) zu einem internen Druck führen, der den Nenndruck des Behälters übersteigt. In diesem Fall sollten Sie überlegen, ob eine geeignete Druckentlastung erforderlich ist.

6.2 Eliminierung statischer Volumina

Ein stagnierendes Volumen ist ein Volumen in einer Vakuumleitung oder einer Komponente, das nicht dem Strom von Gas ausgesetzt ist. Beispiele dafür sind der Getriebekasten einer mechanischen Roots-pumpe oder die Messröhre eines Instruments. Mit Ventilen versehene Rohrleitungen oder Stickstoffgaseinlassleitungen können ebenfalls zu statischen Volumina werden, wenn sie isoliert sind.

Sie müssen statische Volumina berücksichtigen, wenn Sie die Mischung und Reaktion von Prozessgasen bedenken, die normalerweise nicht in der Prozesskammer anwesend sind. Leitungen, Pumpen und Prozesskammern transportieren Gase normalerweise linear, wobei ein Gas oder Gasgemisch auf das andere folgt. Auf diese lineare Weise transportierte Gase vermischen sich normalerweise nicht, sofern die Geschwindigkeit des Abgases nicht durch eine Blockierung oder Verengung reduziert wird. Ein statisches Volumen wird nicht gespült und kann durch Prozessgase aufgefüllt werden, wenn der Druck im System steigt oder fällt. Auf diese Weise können Gase, die in einer Phase des Prozesses das System durchströmen, aufgehalten werden. Diese können dann mit Gasen aus einer nachfolgenden Phase des Prozesses reagieren. Eine gründliche Entleerung der Kammer zwischen den Einleitungen inkompatibler Gase hilft, Explosionen zu vermeiden.

Gehen Sie besonders sorgfältig vor, wenn Sie die gegenseitige Kontamination in statischen Volumina berücksichtigen, insbesondere wenn die Gase potenziell explosiv sind. Insbesondere müssen Sie an die Gefahr der Anreicherung in Filtern, Abscheidern und anderen Komponenten denken. Verwenden Sie nach Möglichkeit äußerst integrale, kontinuierliche Ströme inerte Spülgase, um die Gefahr der gegenseitigen Kontamination der Gase auf ein Minimum zu reduzieren.

Beim Verpumpen zündfähiger Gase können sich statische Volumina mit potenziell explosiven Gasen oder Dämpfen füllen, die durch normales Spülen nicht entfernt werden können. Wenn dazu noch eine Zündquelle vorhanden sein könnte, sollten Sie eine gesonderte Spülung der statischen Volumina in Erwägung ziehen.

6.3 Abgasabsaugsystem

Es ist wichtig, stets die korrekten Abgasabsaugsystem für Ihren Prozess zu verwenden. Wie bereits erwähnt, muss das Absaugsystem so konstruiert sein, dass es den Betriebsdruckwerten standhalten kann und, wenn gefährliche Materialien produziert oder verarbeitet werden, ausreichend leckdicht sein, um die Prozessmaterialien und ihre Nebenprodukte sicher einzuschließen und gefährliche Emissionen in die Atmosphäre zu verhindern.

6.4 Quellen potenziell gefährlicher Gas- oder Dampfgemische

Wenn ein zündfähiges Gas oder ein zündfähiger Dampf mit der geeigneten Konzentration von Sauerstoff oder anderen Oxidantien vermischt wird, bildet sich ein potenziell explosives Gemisch, das bei Vorhandensein einer Zündquelle entzündet wird.

Zwar ist es normalerweise bekannt, ob ein verpumptes Material potenziell explosiv ist, es gibt jedoch nach unserer Erfahrung Fälle, in denen Bedingungen, die bei der Konstruktion des Prozesses nicht berücksichtigt wurden, zu einer potenziell explosiven Mischung führen. Sie müssen alle möglichen Prozessbedingungen und Quellen für potenziell explosive Mischungen identifizieren, die durch Ihre Anlagen produziert werden könnten. Nachfolgend finden Sie einige Beispiele aus der Erfahrung von Edwards, die Liste ist aber keinesfalls vollständig:

- **Gegenseitige Kontamination** - Wenn eine Vakuumpumpe für verschiedene Zwecke eingesetzt wird, kann es sein, dass ihre Verwendung für ein einzelnes Material sicher ist; wenn sie aber nicht vor der Verwendung mit einem anderen Material gespült wird, kann eine gegenseitige Kontamination der Materialien mit unerwarteten Reaktionen die Folge sein.
- **Reinigungsflüssigkeiten** - Eine Anwendung mag als ungefährlich gelten, aber die Verwendung zündfähiger Reinigungsflüssigkeiten und die anschließende Trocknung durch Evakuierung über die Vakuumpumpe kann zu potenziell explosiven Mischungen führen.
- **Unerwartete Materialien** - Bei „Hausvakuum“-Anwendungen, bei denen die Vakuumpumpe verwendet wird, um ein verteiltes Vakuumsystem bereitzustellen, kann es vorkommen, dass zündfähige Materialien verpumpt werden, die bei der Konstruktion des Systems nicht berücksichtigt wurden. Diese Materialien können Selbstentzündungstemperaturen haben, die unter den internen Temperaturen oder der Temperaturlauslegung der Vakuumpumpe liegen.
- **Gelöste Dämpfe** - Diese können während des Prozessbetriebs entstehen; achten Sie sorgfältig darauf, die korrekte interne Temperaturlauslegung für Ihren Prozess zu wählen. In der Regel wird dies auf dem Markt für chemische Prozesse von den ATEX-Anforderungen abgedeckt.

- **Luftlecks** - Das unbeabsichtigte Eindringen von Luft oder Oxidantien in ein System kann die Konzentration eines zündfähigen Gases oder Dampfes ändern und zu einer potenziell explosiven Mischung führen.
- **Zündfähige Sperrflüssigkeiten** - Wenn eine zündfähige Flüssigkeit als Sperrflüssigkeit in einer Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe verwendet wird, führt das Eindringen von Luft zu einer potenziell explosiven Mischung.
- **Kondensierte Prozessmaterialien** - Wenn die Möglichkeit besteht, dass zündfähiges Material in Ihrem System kondensiert, müssen Sie berücksichtigen, dass dieses mit Oxidantien aus anderen Prozessschritten oder mit der Luft (etwa in der Abgasleitung) reagiert. Dies kann durch eine geeignete Temperatur oder eine Teildrucksteuerung verhindert werden.

6.5 Vermeidung der zündfähigen Zone

Ein zündfähiges Material führt nur dann zu einer potenziell zündfähigen Atmosphäre, wenn es mit Luft oder Sauerstoff oder einem anderen Oxidanten kombiniert ist und seine Konzentration zwischen dem unteren Flammpunkt LFL (Lower Flammability Limit, auch LEL Lower Explosion Limit) und dem oberen Flammpunkt UFL (Upper Flammability Limit, auch UEL Upper Explosion Limit) liegt. Beachten Sie, dass sich die meisten Daten in der Literatur auf Entzündbarkeitsgrenzen in der Luft beziehen, d. h. wenn Sauerstoff das Oxidationsmittel ist. Alle weiteren Informationen unten basieren auf dieser Annahme.

Für eine potenziell explosive Mischung muss dazu die Sauerstoffkonzentration oberhalb der minimalen Sauerstoffkonzentration MOC (Minimum Oxygen Concentration, auch LOC Limiting Oxygen Concentration) liegen. Der MOC(LOC)-Wert liegt für die meisten zündfähigen Gase bei 5 % (Vol.) oder darüber. (Hinweis: Dies gilt nicht für pyrophore Materialien, die besondere Vorsichtsmaßnahmen erfordern.)

Es gibt verschiedene Vorgehensweisen zur Vermeidung des Betriebs mit Gasgemischen in der zündfähigen Zone. Die Auswahl hängt vom Ergebnis der Sicherheitsprüfung (Gefahrenanalyse) für den Prozess und das Pumpsystem ab:

- **Halten der Konzentration des zündfähigen Gases unter dem LFL(LEL)-Wert**
Um das Risiko des versehentlichen Eindringens des zündfähigen Gases in die zündfähige Zone zu minimieren, sollte ein Sicherheitsgrenzwert für den Betrieb unterhalb des LFL(LEL)-Werts verwendet werden.
Der Benutzer sollte auf der Grundlage einer Risikobewertung einen Sicherheitsgrenzwert festlegen. Einige Autoritäten schlagen vor, die Konzentration stets unter 25 % LFL (LEL) zu halten.
Die am häufigsten verwendete Methode, um die Konzentration unterhalb des LFL(LEL)-Werts zu halten, besteht in der Verdünnung durch ein inertes Spülgas (etwa Stickstoff), das in die Pumpeneinlass- und/oder Spülanschlüsse eingeleitet wird. Die erforderliche Integrität des Verdünnungssystems und die eventuell erforderlichen Alarmer oder Interlocks hängen von der Gefahrenzone ab, die bei Ausfall des Verdünnungssystems entsteht.

Hinweis:

Sorgen Sie für geeignete Sicherheitsmaßnahmen, um Erstickungsgefahr zu vermeiden.

- **Halten der Sauerstoffkonzentration unterhalb des MOC- (LOC) Werts**
Diese Vorgehensweise erfordert die Überwachung der Sauerstoffkonzentration der verpumpten Gase, um den sicheren Betrieb zu gewährleisten. Zur Minimierung des Risikos eines versehentlichen Eindringens des zündfähigen Gases in die zündfähige

Zone sollte ein Sicherheitsgrenzwert für den Betrieb unterhalb des MOC(LOC)-Werts verwendet werden. Verfügbare Branchenstandards geben an, dass eine kontinuierlich überwachte Sauerstoffkonzentration mehr als 2 Volumenprozentpunkte unterhalb des niedrigsten veröffentlichten MOC(LOC)-Werts für das Gasgemisch gehalten werden soll. Sofern der MOC(LOC)-Wert unter 5 % liegt, muss die Sauerstoffkonzentration unterhalb von 60 % des MOC(LOC)-Werts gehalten werden. Wenn die Überwachung lediglich in Form routinemäßiger Prüfungen des Sauerstoffgehalts erfolgt, sollte der Sauerstoffgehalt niemals über 60 % des niedrigsten bekannten MOC(LOC)-Werts liegen, sofern der MOC(LOC)-Wert nicht unter 5 % liegt; in diesem Fall muss die Sauerstoffkonzentration unter 40 % des MOC(LOC)-Werts gehalten werden.

Die bevorzugte Methode für die Wahrung des Sauerstoffgehalts unterhalb des niedrigsten bekannten MOC(LOC)-Werts besteht im rigorosen Ausschluss von Luft und Sauerstoff aus dem Prozess und dem Pumpensystem, zusammen mit der Spülung des verpumpten Gases mit einem inerten Spülgas (z. B. Stickstoff), das bei Bedarf über den Pumpeneinlass und/oder die Spülanschlüsse eingeleitet wird. Die erforderliche Integrität der Maßnahmen zum Ausschluss von Luft/Sauerstoff und die eventuell erforderlichen Alarme oder Interlocks hängen von der Gefahrenzone ab, die bei Ausfall der Ausschluss- und Verdünnungssysteme entsteht.

Maßnahmen, die normalerweise getroffen werden, um Luft rigoros aus dem Prozess und dem Pumpensystem auszuschließen, werden am Ende dieses Abschnitts erläutert.

- **Halten der Konzentration der zündfähigen Gase oberhalb des UFL(UEL)-Werts**

Wenn die Konzentrationen der zündfähigen Gase sehr hoch sind, kann es sinnvoller sein, den Betrieb über dem UFL(UEL)-Wert zu halten. Um das Risiko eines versehentlichen Gelangens in die zündfähige Zone zu vermeiden, sollte ein Sicherheitsgrenzwert für den Betrieb oberhalb des UFL(UEL)-Werts verwendet werden. Es wird empfohlen, den restlichen Sauerstoffgehalt im Gas bei unter 60 % des absoluten Sauerstoffgehalts zu halten, der normalerweise bei der UFL(UEL)-Konzentration des zündfähigen Gases vorhanden ist.

Die bevorzugte Methode zum Halten des Sauerstoffgehalts unterhalb dieser Sicherheitsgrenze besteht im rigorosen Ausschluss von Luft und Sauerstoff aus dem Prozess und dem Pumpensystem. Die Verdünnung des verpumpten Gases mit einem inerten Spülgas (wie etwa

Stickstoff) oder mit einem weiteren zündfähigen Gas („Padding-Gas“), eingeleitet in den Pumpeneinlass und/oder die Spülanschlüsse, kann ebenfalls erforderlich sein. Die erforderliche Integrität der Maßnahmen zum Ausschluss von Luft, der Spülgaseinleitungssysteme und die eventuell erforderlichen Alarme oder Interlocks hängen von der Gefahrenzone ab, die bei Ausfall der Ausschluss- und Verdünnungssysteme entsteht.

- **Halten der Konzentration des zündfähigen Gases unterhalb des minimalen Explosionsdrucks**

Jedes zündfähige Material hat einen Mindestdruck, unterhalb dessen eine Explosion nicht möglich ist. Wenn der Druck am Einlass der Vakuumpumpe sicher unterhalb dieses Werts gehalten werden kann, können sich Zündungen, die in der Vakuumpumpe beginnen, nicht zum Einlass hin ausbreiten. Es müssen jedoch Vorsichtsmaßnahmen für den Abgasauslass der Vakuumpumpe getroffen werden. Typische Maßnahmen zum rigorosen Ausschluss von Luft aus dem Prozess und dem Pumpsystem sind etwa:

- **Behebung des Eindringens von Luft**

Verwenden Sie einen Lecksucher oder führen Sie einen Druckanstiegstest durch. Bevor zündfähige Materialien in die Prozesskammer gelangen, kann ein Test durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass sich die Luft(Sauerstoff)-Leckage in das Vakuumsystem innerhalb akzeptabler Grenzwerte befindet.

Zur Durchführung eines Druckanstiegstests wird die leere Prozesskammer auf einen Druck knapp unter dem normalen Betriebsdruck gebracht und dann von der Vakuumpumpe isoliert. Der Druck in der Prozesskammer wird dann über einen festen Zeitraum hinweg aufgezeichnet. Wenn das Volumen der Prozesskammer und das maximal zulässige Eindringen von Luft bekannt sind, ist es möglich, den maximal zulässigen Druckanstieg über einen festen Zeitraum hinweg zu berechnen. Wenn dieser Grenzwert überschritten wird, muss die Quelle der Luft-(Sauerstoff-)Leckage in die Prozesskammer verschlossen werden; der Test muss dann erfolgreich wiederholt werden, bevor zündfähige Materialien in die Prozesskammer eingelassen werden.

In manchen Fällen kann die Fähigkeit des Vakuumsystems zum Erreichen eines guten Basisdrucks als Hinweis auf die Leckdichtheit verwendet werden.

- **Entfernen Sie vor dem Start des Prozesses alle Luft aus dem System**
Bevor zündfähiges Gas in den Prozess eindringen kann, muss das System vollständig entleert und/oder mit Inertgas (wie etwa Stickstoff) gespült werden, um die Luft vollständig aus dem System zu beseitigen. Wiederholen Sie diese Prozedur zur Beseitigung aller zündfähigen Gase am Ende des Prozesses, bevor das System endgültig zur Luft ventiliert wird.
- **Für trockenlaufende Vakuumpumpen**
Stellen Sie sicher, dass unter keinen Umständen Wellendichtungsgas mit Luft vermischt werden kann und dass alle Gasballastanschlüsse versiegelt sind oder nur zum Einleiten von Inertgas verwendet werden.
- **Für Nassvakuumpumpen (d. h. ölgedichtete Drehkolben- oder Drehschieberpumpen)**
Halten Sie die Wellendichtungen stets im Einklang mit den Anweisungen des Herstellers und verwenden Sie ein gepumptes, unter Druck stehendes Ölschmiersystem mit einem Alarm beim Verlust von Öldruck. Dieses System kann externes Zubehör für die Bereitstellung von gefiltertem und unter Druck stehendem Schmieröl enthalten, das über einen Druckschalter verfügt. Achten Sie darauf, dass alle Gasballastanschlüsse versiegelt sind oder nur zur Einleitung von Inertgas verwendet werden. Sorgen Sie für die angemessene Inertgasspülung für die Schmierbüchse, um vor dem Start des Prozesses alle Luft zu entfernen.
- **Für Vakuum-Rootspumpen**
Halten Sie die Haupt-Antriebswellendichtung stets im Einklang mit den Anweisungen des Herstellers und sorgen Sie dafür, dass alle Spül- oder „Lüftungs“-Anschlüsse nur zum Einleiten von Inertgas verwendet werden können.
- **Rückstrom**
Stellen Sie sicher, dass die Prozeduren und Vorrichtungen das System gegen jeglichen umgekehrten Luftstrom schützen, der durch einen Pumpenfehler ausgelöst werden könnte. Stellen Sie sicher, dass alle verpumpten zündfähigen Gase an der abschließenden Entlüftung des Pumpenauslasses sicher entsorgt werden. Achten Sie darauf, dass in der Abgasleitung keine zündfähigen Gasmische entstehen; sorgen Sie dazu für eine geeignete Inertgasspülung der Leitung zu Beginn und Ende des Prozesses, der das zündfähige Gas verwendet, und verwenden Sie eine ausreichende Inertgasspülung während des Betriebs, um turbulente Rückmischungen mit Luft im Auslass zu verhindern.

6.6 Ebenen der Systemintegrität

Schutzverfahren durch Verdünnung mit Inertgas wurden bereits in vorherigen Abschnitten besprochen. Das Prinzip dabei besteht darin, dass Sie ein Inertgas (normalerweise Stickstoff) mit Ihren Prozessgasen mischen, um diese auf eine Konzentration zu verdünnen, bei der keine Explosionen oder Reaktionen auftreten können. Wenn Sie die Gasverdünnung als primäres Sicherheitssystem zum Schutz gegen Explosionen verwenden, benötigen Sie möglicherweise ein hoch integriertes Alarm- und Verriegelungssystem, um den Betrieb des Systems zu verhindern, wenn das Gasverdünnungssystem nicht funktioniert. Berücksichtigen Sie die Integrität des Gasverdünnungssystems während der Risikoprüfung (Gefahrenanalyse); diese hängt von den internen Zonen (d. h. der Risikoebene) ab, die entstehen, wenn das Verdünnungssystem ausfällt. Gehen Sie bei dieser Risikoprüfung immer nach den aktuellsten empfohlenen Verfahrensweisen vor, um die erforderliche Systemintegrität festzustellen.

Wenn zum Beispiel ein Verdünnungssystem verwendet wird, um die Konzentration eines zündfähigen Gases außerhalb des zündfähigen Bereichs zu halten und ein Ausfall der Verdünnung dazu führen würde, dass das verpumpte Gas dauerhaft oder für längere Zeit (typischerweise nach ATEX-Zone 0 für mehr als 50 % der Zeit) in der zündfähigen Zone wäre, muss das Verdünnungssystem eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- Es muss auch bei selten vorkommenden Fehlfunktionen ausfallsicher sein.
- Es muss bei zwei gleichzeitig auftretenden Fehlern sicher sein.
- Es muss aus zwei unabhängigen Verdünnungszufuhrsystemen bestehen.

Alternativ gilt: Wenn das Ergebnis des Ausfalls des Verdünnungssystems darin bestünde, dass sich das verpumpte Gas gelegentlich (typischerweise gemäß ATEX-Zone-1-Bedingung) in der zündfähigen Zone befinden würde, muss das Verdünnungssystem eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- Es muss auch bei einer erwarteten Fehlfunktion ausfallsicher sein.
- Es muss bei Vorliegen eines Fehlers sicher sein.

Wenn es unwahrscheinlich ist, dass das verpumpte Gas als Ergebnis des Ausfalls des Verdünnungssystems in die zündfähige Zone gerät, oder wenn dies nur für kurze Zeit geschehen kann (typischerweise gemäß ATEX-Zone-2-Bedingung), muss das Verdünnungssystem im Normalbetrieb sicher sein.

6.7 Verwendung von Flammensperren-Schutzsystemen

Wenn das Gemisch aus verpumpten Gasen und Dämpfen dauerhaft oder für längere Zeit zündfähig ist (d. h. Zone-0-Bedingung) (siehe [Vermeidung der zündfähigen Zone](#) auf Seite 21) und die Gefahr besteht, dass eine Zündquelle (siehe [Zündquellen](#) auf Seite 25) im Normalbetrieb oder bei einer vorhersehbaren Fehlfunktion aktiv wird, müssen Sie Ihrer Primärpumpe Flammensperren hinzufügen (siehe auch Flammensperren-Schutzsystemen [Flammensperren](#) auf Seite 31). Für die Verwendung bestimmter Flammensperren mit Edwards-Vakuumpumpen wurden Zertifizierungen von Dritten eingeholt, die deren Fähigkeit dokumentieren, die Ausbreitung von Flammen entlang den Prozessrohrleitungen oder in der Umgebungsatmosphäre zu verhindern.

Wenn ein zündfähiges Gemisch für einen längeren Zeitraum vorhanden ist, muss ein genehmigter und getesteter Temperaturgeber an der Einlass-Flammensperre installiert werden, um einen kontinuierlichen Brand erkennen zu können. Wenn ein kontinuierlicher Brand erkannt wird, muss die Pumpe ausgeschaltet und von der Brennstoffquelle isoliert werden. Bitte wenden Sie sich an Edwards für eine Beratung zu genehmigten Flammensperren und Temperaturgebern. Zum thermischen Schutz der Flammensperre und

der Pumpe bei seltenen Fehlfunktionen (Zone 0) der Pumpe muss ein Abgastemperaturgeber im Abgasauslass der Pumpe installiert werden. Ausschaltpunkte hängen vom jeweiligen Pumpsystem ab. Konsultieren Sie das relevante ATEX-Handbuch für die Pumpe.

Wenn der Temperaturgeber am Einlass oder Auslass seinen maximalen Grenzwert erreicht, was einen Störfall darstellt, müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden. Diese sind von der jeweiligen Anwendung abhängig, können jedoch Folgendes umfassen:

- **Anhalten der Brennstoffzufuhr** - Durch Schließen eines Ventils am Einlass der Vakuumpumpe wird die Zufuhr von Brennstoff in die Vakuumpumpe angehalten
- **Anhalten der Zündquelle** - Anhalten der Vakuumpumpe durch Abschalten der Stromversorgung des Motors
- **Neutralisierung des Brandbereichs** - Die schnelle Einleitung von Inertgas in den Brandbereich (typischerweise, jedoch nicht immer, im Abgassammelrohr der Pumpe) löscht die Flamme. Beachten Sie, dass sich eine Flamme erneut entzünden kann, wenn die Zündquelle nicht entfernt wird.

6.8 Zündquellen

Wenn Vakuumpumpen zum Verpumpen zündfähiger Gemische verwendet werden, müssen Sie alle möglichen Zündquellen berücksichtigen. Nachfolgend finden Sie einige Bereiche, die Sie im Rahmen allgemeiner Prüfungen berücksichtigen sollten. Je nach Ihrem Prozess können Sie dabei einige oder alle Zündquellen vermeiden. Wenn Sie aufgrund Ihrer Prozessbedingungen oder der Systemanforderungen eine Zündquelle nicht vermeiden können, müssen Sie Ihr System entsprechend einrichten.

Hinweis:

Einige Edwards-Pumpen sind von einem Drittanbieter dafür zertifiziert, dass (bei korrekter Anwendung) eine interne Explosion eingedämmt bleibt.

- **Mechanischer Kontakt**- Der mechanische Kontakt zwischen rotierenden und stationären Teilen in der Vakuumpumpe und im Vakuumsystem kann eine Zündquelle darstellen. Alle Vakuumpumpen von Edwards sind so entworfen und gebaut, dass die korrekten Laufzwischenräume innerhalb der Pumpe unter allen Betriebsbedingungen erhalten bleiben. Um diese Zündquelle zu vermeiden, ist es wichtig, Ablagerungen von Material auf den Innenflächen des Geräts zu vermeiden bzw. die Pumpe zu reinigen. Die Lager müssen in gutem Zustand gehalten werden, ausreichend geschmiert sein und mit einem geeigneten Spülgas gespült werden, um den Kontakt mit Prozessgasen zu verhindern. Der empfohlene Wartungsplan für die Lager muss eingehalten werden, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten.
- **Eindringen von Partikeln**- In alle Pumpenmechanismen können potenziell Partikel eindringen, die durch den Prozess entstehen oder aus dem Systemfertigungsprozess resultieren. Wenn diese zwischen eine sich bewegende und eine statische Oberfläche geraten, kann dadurch Reibungswärme entstehen. Ein geeignetes Ansaugsieb oder ein Filter verhindert das Eindringen von Partikeln in die Vakuumpumpe bzw. reduziert deren Größe und Volumen auf sichere Werte. Achten Sie auf die sorgfältige Wartung des Ansaugsiebs.
- **Staubaufbau** - Der Aufbau zusammengedrückt feinen Staubes in internen Zwischenräumen kann vorkommen, wenn ein Pumpenmechanismus mit einem staubgenerierenden Prozess verbunden ist. Selbst bei Verwendung von Ansaug-Staubfiltern können immer noch kleine Staubpartikel in die Pumpe eindringen. Bei kleinen Abmessungsveränderungen aufgrund thermischer Prozesse kann

zusammengepresster Staub mit sich bewegenden Oberflächen in Berührung kommen und dort Reibungswärme verursachen.

- **Kompressionswärme (Selbstentzündung)** - Die interne Kompressionswärme in einem Kompressor muss im Zusammenhang mit der Selbstentzündungstemperatur aller verpumpten Gase und Dämpfe berücksichtigt werden. Sie müssen sicherstellen, dass die Temperaturklassifikation der verpumpten Gase zumindest entspricht.
- **Heiße Oberflächen** - Wenn zündfähige Gase oder Dämpfe mit heißen Oberflächen in Berührung kommen können, kann es zu einer Entzündung kommen, wenn die Selbstentzündungstemperatur überschritten wird. Hinweis: Pumpen und Flammensperren von Edwards sollten nicht thermisch isoliert werden, wenn dies zu internen (und externen) erhöhten Oberflächentemperaturen und dadurch zu Selbstentzündungen führen könnte.
- **Externe Wärme** - Externe Wärme kann etwa bei einem Brand in der unmittelbaren Umgebung der Vakuumausrüstung auftreten. In solchen Fällen kann es zu einem internen Druck, der den maximalen statischen Druck des Systems überschreitet, sowie zu Temperaturen über der Selbstentzündungstemperatur kommen. Dies sollte im Rahmen der Systemgefahrenanalyse berücksichtigt werden.
- **Strom heißer Prozessgase** - Hohe Einlassgastemperaturen können dazu führen, dass die Temperatur interner (oder externer) Oberflächen die Selbstentzündungstemperatur der verpumpten Materialien überschreitet. Hohe Temperaturen des Einlassgases können auch zum Festlaufen von Rotor oder Stator führen. Konsultieren Sie die Betriebsanleitung Ihrer Vakuumpumpe für die maximal zulässigen internen Gastemperaturen. Wenden Sie sich für weitere Informationen an Edwards.
- **Katalytische Reaktion** - Das Vorhandensein bestimmter Metalle kann zu katalytischen Zündungen führen. Alle Konstruktionsmaterialien in dem Vakuumsystem müssen hinsichtlich ihrer potenziellen katalytischen Interaktionen mit den verpumpten Gasen oder Dämpfen untersucht werden.
- **Pyrophore Reaktion** - Die Wärme durch das Eindringen von Luft oder Oxidantien verursachter Entzündungen pyrophorer Materialien kann eine Zündquelle für eventuell vorhandene zündfähige Materialien sein. Siehe [Pyrophore Materialien](#) auf Seite 11.
- **Statische Elektrizität** - Unter bestimmten Bedingungen kann sich in isolierten Komponenten statische Elektrizität aufbauen, die dann in Form eines Funkens zur Erde entladen wird. Die Möglichkeit des Aufbaus statischer Elektrizität muss beim Entwurf des Systems berücksichtigt werden.
- **Blitz** - Unter freiem Himmel kann ein Blitzeinschlag die für eine Zündung erforderliche Energie liefern. Diese Gefahr muss beim Entwurf des Systems berücksichtigt werden.

6.9 Zusammenfassung - Systemaufbau

Für den Entwurf sicherer Vakuumpumpensysteme müssen die folgenden Punkte berücksichtigt werden. Je nach Ihrer Anwendungen kommen noch weitere Aspekte in Betracht.

- Wenn gefährliche Materialien verpumpt werden, muss das System so konstruiert sein, dass es beim Ausfall in einen sicheren Zustand übergeht.
- Verwenden Sie PFPE(Perfluorpolyether)-Schmiermittel in Pumpen, die Oxidantien verpumpen.
- Wenn Sie mit Inertgasen die Konzentration des zündfähigen Gases unter den Explosions- bzw. Entzündungsgrenzwert oder unter den unteren

Oxidantiengrenzwert senken, müssen Sie die Integrität der Gasversorgung sicherstellen.

- Die Konzentration kann auch oberhalb des oberen Explosions- bzw. Entzündungsgrenzwerts gehalten werden; dann müssen jedoch geeignete Maßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass die Konzentration nicht so abfallen kann, dass der zündfähige Bereich erreicht wird.
- Prüfen Sie die Systeme und Geräte vor dem Gebrauch, um die Leckdichtheit sicherzustellen.
- Verdünnen Sie pyrophore Gase mit Inertgasen auf sichere Konzentrationen, bevor sie in die Atmosphäre gelangen oder sich mit oxidierenden Gasen mischen.
- Natriumazid und Schwermetalle dürfen an keinem Punkt des Gaspfades in Ihrem System miteinander in Berührung kommen.
- Der maximale Druck des Systems darf niemals die Sicherheitsgrenzwerte der einzelnen Teile des Systems überschreiten.
- Berücksichtigen Sie immer die Sicherheitsinformationen zu den Substanzen, die Sie verpumpen wollen.
- Erwägen Sie die Verwendung trockenlaufender Pumpen anstatt ölgedichteter Drehschieber- oder Kolbenpumpen, wenn im Zusammenhang mit dem Öl im Schöpfraum Gefahren bestehen.
- Wenn Vakuumpumpen von Edwards zum Verpumpen potenziell zündfähiger Gemische verwendet werden, müssen Sie alle möglichen Zündquellen sowie die Folgen eventueller Explosionen berücksichtigen.

7. Die Wahl der richtigen Geräte

Um sicherzugehen, dass Sie für Ihre Anwendung die richtigen Geräte auswählen, müssen Sie die Grenzwerte berücksichtigen, innerhalb derer das System betrieben werden soll. Die technischen Daten der Geräte von Edwards finden Sie in unserem Produktkatalog, in den Marketingveröffentlichungen sowie in den Betriebsanleitungen der Geräte. In den meisten Fällen können Sie auf Anfrage weitere Informationen erhalten. Bei Fragen und weiterem Beratungsbedarf wenden Sie sich bitte an Edwards.

Beachten Sie beim Entwurf Ihres Vakuumsystems die relevanten mechanischen Pumpenparameter, zum Beispiel:

- Maximaler statischer Druck (Einlass und Auslass)
- Maximaler Betriebseinlassdruck
- Maximaler Betriebsabgasdruck
- Leitwert der Einlass- und Auslasskomponenten
- Druckspezifikation der anderen an der Pumpe angebrachten Komponenten
- Drucküberwachung im Falle einer Blockierung der Abgasleitung.

Bei ölgedichteten Drehschieber- und Kolbenpumpen müssen Sie auch Folgendes berücksichtigen:

- Gasballastdurchfluss
- Schmierbüchsenpülfluss
- Gase und Dämpfe, die sich in der Schmierbüchse verfangen
- Gase und Dämpfe, die von dem Öl in der Schmierbüchse absorbiert werden.

Der maximale statische Druck ist der maximale Druck, dem ein Einlass- oder Auslassanschluss einer Pumpe ausgesetzt werden kann, wenn die Pumpe nicht in Betrieb ist. Der Druck hängt von der mechanischen Konstruktion der Pumpe ab.

Ölgedichtete Drehschieber- und Kolbenpumpen sind für den Betrieb mit Einlassdruckwerten bei oder unterhalb des Atmosphärendrucks ausgelegt; obwohl der maximale statische Nennndruck über dem Atmosphärendruck liegen kann, darf der maximale Einlassdruck der Pumpe im Betrieb den Atmosphärendruck nicht übersteigen. Einige Hersteller begrenzen den kontinuierlichen Einlassdruck ihrer Pumpen auf Werte unterhalb des Atmosphärendrucks. Der maximale Einlassdruck einer Pumpe im Betrieb wird als maximaler Betriebsdruck bezeichnet.

Der Grund dafür, dass der maximale Betriebsdruck begrenzt ist, steht nicht notwendigerweise im Zusammenhang mit der mechanischen Integrität der Pumpe. Der maximale Druck ist normalerweise proportional zur Nennleistung der Pumpe bei hohem Einlassdruckwerten und steht in Verbindung mit der potenziellen Gefahr einer Überhitzung der mechanischen Komponenten der Pumpe oder des Elektromotors.

Aus ähnlichen Gründen empfehlen wir, den Auslassdruck Ihrer Vakuumpumpe so niedrig wie möglich zu halten (typischerweise bei oder unter 0,15 bar gemessen, $1,15 \times 10^5$ Pa, für den Dauerbetrieb). Pumpen sind für den Betrieb mit unbehinderten Auslässen ausgelegt, und ein Auslassdruck von 0,15 bar gemessen ($1,15 \times 10^5$ Pa) ist normalerweise ausreichend, um Abgase durch das Abgasabsaugsystem und die Behandlungsgeräte zu leiten.

7.1 Ölgedichtete Drehschieber- und Kolbenpumpen

Zu den ölgedichteten Drehschieberpumpen von Edwards gehören die Drehschieberpumpen der Serien E1M, E2M, ES und RV sowie die Stokes Microvac-Serie ölgedichteter Kolbenpumpen. Allgemein sind alle Vakuumpumpen für den Betrieb mit Einlassdruckwerten unterhalb des Atmosphärendrucks und bei freier Entlüftung des Pumpenauslasses in die Atmosphäre ausgelegt.

Ölgedichtete Drehschieber- und Kolbenpumpen sind positive Verdrängungskompressoren, die sehr hohe Abgasdruckwerte generieren können, wenn der Auslass blockiert oder nicht frei ist. In diesen Fällen kann der Druck den sicheren statischen Druck der Schmierbüchse der Pumpe und in vielen Fällen auch den sicheren statischen Druck stromabwärts gelegener Teile des Systems (wie etwa von Polypropylenabscheidern oder Vakuum-O-Ring-Verbindungen) übersteigen. Daher empfiehlt Edwards ausdrücklich, einen Abgasdrucksensor hoher Integrität in der Pumpenabgasleitung anzubringen.

Um ein sicheres Verdünnungsniveau zu erreichen, kann der Gasballast durch eine Schmierbüchsenpülung (wo dies möglich ist) erweitert werden, die mit der Schmierbüchse an der Pumpe verbunden ist. Eine Erhöhung des Gasballast- und des Schmierbüchsenpülflusses erhöht die Ölmenge, die zum Abgassystem transportiert wird.

Alle ölgedichteten Edwards-Pumpen verfügen über erhebliche Schmierbüchsen volumina, in denen zündfähige oder explosive Gasgemische zurückbleiben können. Das Öl in der Schmierbüchse kann Dämpfe oder gasförmige Nebenprodukte effektiv absorbieren oder kondensieren. Die im Öl enthaltenen Dämpfe und Gase können pyrophor oder giftig sein. Sie müssen daher spezielle Prozeduren einrichten, um die Sicherheit bei allen Wartungsarbeiten zu gewährleisten.

7.2 Trockenlaufende Pumpen von Edwards

Der maximale Betriebsdruck wird durch die gleichen Faktoren begrenzt, die auch für ölgedichtete Pumpen relevant sind (d. h. von der potenziellen Gefahr einer Überhitzung der mechanischen Komponenten der Pumpe oder des Elektromotors).

Trockenlaufende Pumpen von Edwards sind Kompressoren mit positiver Verdrängung, die hohe Abgasdruckwerte generieren können. Wenn die Pumpen in ein System integriert werden, in dem der Prozess feste Nebenprodukte generieren kann (wodurch es zu Blockierungen in der Abgasleitung kommen könnte), empfiehlt Edwards ausdrücklich die Anbringung eines Abgasdruckmessgeräts mit hoher Integrität. Konsultieren Sie die Betriebsanleitung der Pumpe für die Betriebsdruckwerte, auf die die Schalter eingestellt werden sollten.

Trockenlaufende Pumpen von Edwards verfügen über eine hohe Gasballastdurchsatz-Kapazität. In den Pumpenmechanismus kann ein Verdünnungsgas wie Stickstoff eingeleitet werden, um die Reaktionsunterdrückung zu optimieren. Die Gasspülflusswerte finden Sie in der Betriebsanleitung der Pumpe.

7.3 Leitungsentwurf

7.3.1 Faltenbälge

Faltenbälge sind kurze, dünnwandige Komponenten mit tiefen Falten. Sie werden verwendet, um die Übertragung von Vibrationen von einer Pumpe auf Ihr Vakuumsystem zu reduzieren.

Installieren Sie Faltenbälge immer in gerader Linie, wobei beide Enden fest versiegelt sind. Bei korrekter Installation halten die Faltenbälge einem kleinen positiven internen Druck stand (weitere Einzelheiten finden Sie in der Betriebsanleitung zu Ihren Faltenbälgen). Verwenden Sie keine Faltenbälge an Auslässen trockenlaufender Pumpen; verwenden Sie stattdessen umflochtene flexible Elemente (vgl. Flexible Elemente/Wellschläuche [Wellschläuche](#) auf Seite 30).

Berücksichtigen Sie bei Anwendungen mit intensiver Beanspruchung die Möglichkeit der Materialermüdung der Faltenbälge.

7.3.2 Wellschläuche

Wellschläuche verfügen über einen dickeren Wandabschnitt und flachere Falten als Faltenbälge. Wellschläuche sind gut für die Verbindung von Vakuumsystemkomponenten geeignet und helfen dabei, kleinere Bewegungen oder mangelnde Ausrichtungen in starren Vakuumsystemen auszugleichen. Wellschläuche können daher auch relativ scharf gebogen werden, ohne ihre Position zu verlieren.

Wellschläuche sind für die Installation in statischen Systemen gedacht. Sie sind nicht für wiederholtes Biegen geeignet, was schnell zu Materialermüdungen führen kann.

Wenn Sie Wellschläuche verwenden, verwenden Sie die geringstmögliche Länge und vermeiden Sie unnötige Biegungen. Bei Anwendungen, bei denen hohe Abgasdruckwerte auftreten können, sollten flexible Elemente mit Metallgeflecht eingesetzt werden.

Flexible Elemente mit Metallgeflecht sind Faltenbälge mit einer äußeren Schutzschicht aus verwobenem Edelstahlgeflecht. Wenn Sie ein flexibles Element mit Metallgeflecht installieren, müssen Sie dabei den minimalen Biegeradius berücksichtigen, der in der Betriebsanleitung zu den flexiblen Elementen mit Metallgeflecht angegeben ist.

7.3.3 Ankerpunkte

Leitungen und Leitungskomponenten müssen korrekt verankert werden. Wenn Sie etwa Faltenbälge nicht korrekt verankern, reduzieren diese nicht die Vibrationen von der Pumpe, was zu Materialermüdung in den Leitungen führen kann.

7.3.4 Dichtungen

Wo die Möglichkeit besteht, dass positive Druckwerte in Teilen des Vakuumsystems (auch unter Fehlerbedingungen) auftreten, müssen Sie geeignete Versiegelungen und Materialien verwenden, die dem erwarteten Vakuum und den positiven Druckwerten standhalten können.

7.4 Physikalischer Überdruckschutz

Wie bereits erwähnt, kann Überdruck durch Einengungen oder Blockierungen im System oder in einer seiner Komponenten verursacht werden. Der Grund für den Überdruck kann der Strom verdichteten Gases von der Pumpe oder von externen Quellen (wie etwa für ein Verdünnungssystem) sein. Es gibt zwei Hauptverfahren zum Schutz des Systems gegen Überdruck: Druckentlastung und Überdruckalarm/-auslösung, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

7.4.1 Druckentlastung

Sie können Berstscheiben oder Druckentlastungsventile verwenden, um Überdruck zu beseitigen. Der Betriebsdruck des Geräts muss unterhalb des Nenndrucks des Systems liegen. Sie müssen diese Geräte über geeignete Leitungen mit einem Bereich verbinden, in dem Ihre Prozessgase sicher freigesetzt werden können und in dem keine Entlüftungseinschränkungen bestehen. Wenn Ihr Prozess zu festen Nebenprodukten führt, müssen die Druckentlastungsvorrichtungen regelmäßig geprüft werden, um sicherzustellen, dass sie nicht blockiert oder eingengt sind. Bei der Konstruktion solcher Schutzvorrichtungen müssen die Auswirkungen von Druckpulsierungen auf die Lebensdauer der Berstscheibe bzw. des Ventils berücksichtigt werden.

7.4.2 Überdruckalarm/Auslösung

Dieses Schutzverfahren wird von Edwards häufig verwendet. Es wird für alle Systeme empfohlen, ist aber möglicherweise nicht für Systeme geeignet, die feste Nebenprodukte produzieren.

7.4.3 Druckregler

Es gibt zwei Hauptarten von Druckreglern: entlüftende und nicht entlüftende Regler.

Entlüftende Regler entlüften Gas in die Atmosphäre oder zu einer separaten Entlüftungsleitung zur Wahrung eines konstanten Auslassdrucks unter Nicht-Fluss-Bedingungen. Entlüftende Regler werden vor allem dort eingesetzt, wo die Integrität der Leitungen von äußerster Wichtigkeit ist.

Nicht entlüftende Regler können nur einen konstanten Auslassdruck unter Fluss-Bedingungen wahren.

Unter Nicht-Fluss-Bedingungen kann der Auslassdruck mancher Regler bis zum Niveau des Versorgungsdrucks steigen. Die Anstiegsrate hängt von den Eigenschaften des Reglers und dem Volumen, mit dem sein Auslass verbunden ist, ab. Der Anstieg kann innerhalb weniger Minuten oder über mehrere Monate hinweg erfolgen.

Druckregler sind nicht als Absperrventile konstruiert und müssen zusammen mit einem geeigneten Isolationsgerät (etwa einem Magnetventil) verwendet werden, wenn die Isolierung erforderlich ist. Andernfalls müssen Sie Maßnahmen für die sichere Entlüftung von Überdrucken treffen.

7.4.4 Flammensperren

Flammensperren sind keine Hilfsmittel zur Vermeidung von Explosionen. Sie dienen dazu, die Ausbreitung von Flammen entlang einer Leitung oder Führung zu verhindern (siehe Abschnitt [Verwendung von Flammensperren-Schutzsystemen](#) auf Seite 24). Flammensperren haben eine große Oberfläche und kleine Leitwertlücken zur Flammenfront und ersticken so die Flammen. Flammensperren sind normalerweise nur für Systeme geeignet, die für saubere Gase oder Dämpfe verwendet werden.

Die Explosionsenergie von Gasgemischen nimmt mit dem Druck zu. Die meisten Flammensperren sind zum Schutz von Bereichen konstruiert, in denen der interne Druck den Atmosphärendruck nicht übersteigt. Sie müssen sicherstellen, dass der Betriebsdruck im Abgasabsaugsystem, das zur Flammensperre führt, den maximalen Betriebsdruck nicht überschreitet. Bei der Verwendung mit trockenlaufenden Vakuumpumpen für die chemische Industrie von Edwards zertifizierten Sperren konsultieren Sie bitte die ATEX-

Betriebsanleitung für die maximal zulässigen Druckwerte. Hierbei müssen Sie auch den maximal zulässigen Gegendruck Ihrer Vakuumpumpe berücksichtigen.

Flammensperren entfernen die Verbrennungshitze von der Flammenfront, weshalb für sie eine maximale sichere Betriebstemperatur gilt. Diese Temperatur darf nicht durch eine Begleitheizung, Isolierung oder die Temperatur des Gasstroms überschritten werden.

Die Fähigkeit einer Flammensperre zum Sperren einer Flamme hängt von der Geschwindigkeit der Flammenfront ab, die wiederum von ihrem Abstand zur Zündquelle abhängt. Bei Verwendung mit chemischen Vakuumpumpen von Edwards sollte sie eng mit Einlass und Auslass verbunden sein. Die Verwendung von Krümmer- und T-Stücken zwischen Pumpe und Flammensperre ist für manche Pumpen unter bestimmten Bedingungen zulässig. Wenden Sie sich gegebenenfalls an Edwards.

7.5 Spülsysteme

Die Geräte können mit Inertgasspülsystemen ausgestattet werden, um Prozessgase zu entfernen, die nach dem Ende eines Prozesszyklus eventuell im System verbleiben.

Die korrekte Anwendung einer Spülung kann sicherstellen, dass korrosive Produkte entfernt werden, so dass diese die Pumpe oder, wichtiger noch, Schutzsysteme wie Flammensperren nicht beschädigen können. Darüber hinaus stellt das Entfernen der Prozessgase sicher, dass keine unerwünschten und potenziell gefährlichen chemischen Reaktionen zwischen in verschiedenen Prozesszyklen verwendeten Materialien auftreten.

7.6 Zusammenfassung - die Wahl der richtigen Geräte

- Wählen Sie den korrekten Gerätetyp für Ihre Anwendung.
- Bringen Sie alle geeigneten Sicherheitsvorrichtungen an, um bei Fehlern die Sicherheit garantieren zu können.
- Eliminieren Sie statische Volumina.
- Achten Sie darauf, dass das System angemessen kontrolliert und geregelt wird.
- Verwenden Sie, wo sinnvoll, Druckentlastungsvorrichtungen.
- Verwenden Sie, wo sinnvoll, Flammensperren.
- Prüfen Sie Systeme und Geräte vor der Verwendung auf Lecks.

8. Betriebsverfahren und Schulung

Die Betriebssicherheit der Geräte erfordert eine gute Schulung, klare und knappe Anweisungen und regelmäßige Wartung. Es ist sehr wichtig, dass alle Personen, die mit Vakuumrüstung umgehen, angemessen geschult und qualifiziert sind und, wo nötig, bei der Arbeit überwacht werden.

Wenn Sie sich hinsichtlich des Betriebs oder der Sicherheit von Edwards-Geräten nicht vollständig sicher sind, können Sie sich jederzeit an uns wenden.

9. Zusammenfassung

- Führen Sie eine Gefahrenanalyse durch, um alle Gefahren zu identifizieren und nach Möglichkeit auszuschalten oder zumindest zu begrenzen. Dies muss für den Entwurf, die Konstruktion, die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Wartung und die Außerbetriebnahme von Vakuumsystemen geschehen.
- Bedenken Sie alle möglichen chemischen Reaktionen in Ihrem System. Kalkulieren Sie anomale chemische Reaktionen ein, einschließlich solcher, die bei Störfällen auftreten.
- Verwenden Sie die Material- und Sicherheitsdatenblätter, wenn Sie die potenziellen Gefahrenquellen im Zusammenhang mit Ihren Prozessmaterialien bestimmen (beispielsweise die Selbstentzündung).
- Wenden Sie Verdünnungstechniken an, um Reaktionen mit Oxidantien und zündfähigen Materialien zu minimieren.
- Verwenden Sie das richtige Schmiermittel in Ihrer Pumpe, wenn Sie oxidierende oder pyrophore Materialien verpumpen.
- Verwenden Sie keine Schwermetalle im Gaspfad Ihres Pumpensystems, wenn Ihr Prozess Natriumazid produziert oder verwendet.
- Achten Sie bei Sicherheitsberechnungen darauf, die sicheren Arbeitsdruckwerte für alle Komponenten des Systems zu berücksichtigen. Berücksichtigen Sie auch anomale Bedingungen und Störfälle.
- Stellen Sie sicher, dass Sie die richtige Art von Druckentlastungsvorrichtungen verwenden, und dass diese für Ihre Anwendung geeignet sind.
- Sorgen Sie dafür, dass Auslässe nicht blockiert werden können.
- Stellen Sie sicher, dass Verdünnungsgase korrekt reguliert und überwacht werden.
- Wenn gefährliche Materialien verpumpt werden, muss das System so konstruiert sein, dass es beim Ausfall in einen sicheren Zustand übergeht.
- Verwenden Sie PFPE(Perfluorpolyether)-Öle und -Schmiermittel, wenn Sie Oxidantien verpumpen.
- Verwenden Sie ein Inertgas zur Verdünnung zündfähiger und pyrophorer Gase auf sichere Konzentrationen oder stellen Sie sicher, dass das System oberhalb der Entzündungs-/Explosionsgrenzwerte bleibt; berücksichtigen Sie dabei alle einschlägigen Sicherheitsfaktoren unter allen Prozessbedingungen, einschließlich Fehlerbedingungen.
- Der Maximaldruck des Systems darf nicht den maximalen Nenndruck irgendeines einzelnen Teils des Systems überschreiten.
- Erwägen Sie die Verwendung trockenlaufender Pumpen anstatt ölgedichteter Pumpen, wenn im Zusammenhang mit dem Öl im Schöpfraum Gefahren bestehen.
- Eliminieren Sie statische Volumina.
- Achten Sie darauf, dass das System angemessen kontrolliert und geregelt wird.
- Verwenden Sie, wo sinnvoll, Flammensperren.
- Prüfen Sie Systeme und Geräte vor der Verwendung auf Lecks.

