

## Sicherheitsinformationen

# Sicherheit von Vakuumpumpen und Pumpsystemen



# Sicherheitsinformationen

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>Einführung</b> .....	<b>3</b>
<b>Gefährliche Prozessgase</b> .....	<b>4</b>
Entflammbare Gase/Dämpfe .....	4
Korrosive Prozessgase .....	6
Selbstentzündliche Gase, Stäube und Pulver .....	7
Giftige Materialien.....	7
Explosivstoffe .....	8
Oxidantien .....	8
<b>Vakuumsystemkonstruktion</b> .....	<b>10</b>
Dichtigkeit .....	10
Eindringen atmosphärischer Luft durch Lecks .....	10
Eindringen von Wasser durch Lecks in das Vakuumsystem .....	10
Rücksaugung von Auspuffgasen .....	10
Überdruck .....	11
Überdruck im Vakuumsystem .....	11
Blockierung des Auspuffs.....	11
Überdrücke von Spülgassystemen.....	11
Auslegungsdruck.....	12
Temperatur .....	12
Temperaturwechselbeanspruchung .....	12
Heiße Oberflächen .....	12
Umgebungsbetriebstemperaturbereich .....	13
Beheizte Auspuffleitungen.....	13
Auslegungstemperatur .....	13
Chemische Reaktionen .....	13
Vor-/nachgeschaltete Spülgaseinleitung.....	13
Überkreuz-Verunreinigung .....	13
Zustandsänderung .....	14
Allgemeine Anwendung .....	14
Rückströmung von Auspuffgasen .....	14
Bildung von Ablagerungen in der Verrohrung .....	14
Einsatz von Frequenzwandlern – Verwendung von Passwörtern.....	15
Normale Betriebsgrenzen – Normale Betriebsgrenzen nicht überschreiten ....	15
Position des Einlassventils .....	15
Beheizte Fallen.....	15
Kühlfallen.....	15
Kondensatoren .....	16
<b>Vakuumsystembetrieb</b> .....	<b>17</b>
<b>Vakuumsystemwartung</b> .....	<b>18</b>
<b>Vakuumsystemmodifikationen</b> .....	<b>19</b>

# Sicherheitsinformationen

## Einführung

Vakuumpumpen und Vakuumpumpensysteme von Leybold werden seit vielen Jahren sicher und ohne Probleme betrieben. Jedoch hat sich aufgrund des vermehrten Einsatzes von gefährlichen Chemieprozessen mit der Zeit die Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher Zustände vergrößert.

Leybold hat umfassende Erfahrungen hinsichtlich der sicherheitsbezogenen Spezifikation, Konstruktion, Betrieb und Wartung von Vakuumsystemen gewonnen; in diesem Dokument sind diese Erfahrungen zum Vorteil der Anwender von Vakuumpumpen und Pumpsystemen von Leybold niedergelegt.

Dieses Dokument wurde zum Lesen für alle erstellt, die mit der Spezifikation, der Konstruktion, dem Betrieb und der Wartung von Vakuumsystemen befasst sind, und sollte in Verbindung mit anderen wichtigen Informationen wie:

- Pumpengebrauchsanleitung
- Systemgebrauchsanleitung
- HAZOP (PAAG) Analyse
- Datenblätter
- Allgemeine Standards, Maschinenrichtlinie,

etc. verwendet werden.

Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen können nicht als eine vollständige Liste betrachtet werden; stattdessen dient dieses Dokument zur Kommunikation von vorhersehbaren Gefahren, von denen Leybold Kenntnis hat. Es ist daher unabdingbar, dass jeder Benutzer von Vakuumeinrichtungen seine eigene Gefahren-/Risikoanalyse durchführt, um die Einhaltung der Anforderungen der entsprechenden Regelungen nachzuweisen.

Die Struktur dieses Dokumentes betrachtet die Sicherheit in folgenden Bereichen:

- Gefährliche Prozessgase
- Vakuumsystemkonstruktion
- Vakuumsysteminstallation
- Vakuumsystembetrieb
- Vakuumsystemwartung
- Modifikation von Vakuumsystemen

Alle diese Bereiche sind sorgfältig zu betrachten, um das Risiko zu minimieren.

Wenn Sie zusätzliche Informationen zur Sicherheit von Systemen von Leybold benötigen, wenden Sie sich bitte an Ihren Lieferanten oder Leybold.

# Sicherheitsinformationen

## Gefährliche Prozessgase

Ein gefährlicher Prozess kann über ein Gas definiert werden, welches in eine oder mehrere der nachstehend aufgeführten Kategorien fällt:

- Entflammbar
- Korrosiv
- Selbst-entzündlich
- Radioaktiv
- Giftig
- Explosiv
- Oxidierend

Aufgrund ihrer Gefahrennatur ist es wichtig, die Eigenschaften und die Art und Weise, wie diese Gase die Sicherheit des Vakuumsystems beeinflussen, zu betrachten: Normalerweise wird diese Art von Prozessgasen mit Ihrem Vakuumlieferanten im Rahmen der Spezifizierung eines Vakuumsystems besprochen; jedoch wird nachstehend ein Überblick über einige der Gefahren gegeben.

**Hinweis:** Die Reaktion von ungefährlichen Prozessgasen innerhalb eines Vakuumsystems kann manchmal zur Erzeugung von Reaktionsprodukten führen, die dann als gefährlich betrachtet werden müssen.

## Entflammbare Gase/Dämpfe

Entflammbare Gase/Dämpfe sind Gase/Dämpfe die, wenn diese mit einer bestimmten Luftmenge oder einem Oxidationsmittel vermischt werden, eine explosive Mischung erzeugen, wobei jedoch nicht alle Konzentrationen eine Gefahr darstellen.

Die gefährlichen Konzentrationen fallen innerhalb des Entflammbarkeitsbereiches<sup>1</sup> und werden allgemein als „potentiell explosive Atmosphären“ bezeichnet aufgrund der Tatsache, dass sich diese zünden lassen, und so eine Explosion herbeigeführt wird.

Entsprechend den Vorgaben der ATEX (frz. "ATmosphère EXplosible") Richtlinie zum Explosionschutz ("ATEX 114" bzw. 2014/34/EU) besteht die bevorzugte Methode zum Erreichen der Sicherheit entflammbarer Gase darin, deren Konzentration in der Luft nicht in den Entflammbarkeitsbereich fallen zulassen. Dadurch wird sichergestellt, dass diese für den Fall, dass eine Zündquelle auftritt, nicht brennen können. Daher sind eine oder mehrere der nachstehend beschriebenen Maßnahmen erforderlich:

### **Betrieb unterhalb der unteren Entflammbarkeitsgrenze (UEG)**

Die untere Entflammbarkeitsgrenze lässt sich normalerweise dem SDB<sup>2</sup> entnehmen, welches von den Lieferanten des Gases oder Dampfes veröffentlicht wird; dies ist die minimale Luft-/Oxidationsmittel-Konzentration, bei der eine entflammbare Gasmischung gezündet werden könnte und so zu einer Flamme oder Explosion führt.

**Um eine potentiell explosive Atmosphäre zu vermeiden, und für die Einrichtung eines Sicherheitsspielraums ist es erforderlich, eine Verdünnung mit einem inerten Gas zu erzeugen, bis die Brennstoff/Luft- (oder Oxidationsmittel-) Konzentration 25 % der Konzentration bei der unteren Entflammbarkeitsgrenze beträgt.**

Dies ist eine bevorzugte Betriebsweise, da die Wirkung eines Luftlecks in einem Vakuumsystem nur die entflammbaren Gase/Dämpfe weiter verdünnt; jedoch ist es erforderlich, das Inertgas-system als sicherheitskritisch zu betrachten.

<sup>1</sup> Der Entflammbarkeitsbereich ist der Bereich der Brennstoff-/Luft-Konzentration zwischen der oberen Entflammbarkeitsgrenze und der unteren Entflammbarkeitsgrenze. Mischungen innerhalb dieses Bereiches brennen oder explodieren bei Kontakt mit einer Zündquelle.

<sup>2</sup>Sicherheitsdatenblatt

## Sicherheitsinformationen

### ***Betrieb oberhalb der oberen Entflammbarkeitsgrenze (OEG)***

Die obere Entflammbarkeitsgrenze lässt sich normalerweise dem SDB entnehmen, welches von den Lieferanten des Gases oder Dampfes veröffentlicht wird; dies ist die maximale Luft-/Oxidationsmittel-Konzentration, bei der eine entflammbare Gasmischung gezündet werden könnte und so zu einer Flamme oder Explosion führt.

**Um eine potentiell explosive Atmosphäre zu vermeiden, und für die Einrichtung eines Sicherheitsspielraums ist es erforderlich, die Luft-/ Oxidationsmittel-Konzentration auf 60 % der Luft/Oxidationsmittel-Konzentration der oberen Entflammbarkeitsgrenze für Luft/Brennstoff zu begrenzen.**

Diese Betriebsart erfordert die sorgfältige Kontrolle über Luftlecks im Prozessbehälter, der Verrohrung und dem Vakuumsystem; zusätzlich ist es erforderlich, die zufällige Einströmung von Luft aufgrund von Betriebs- oder Wartungsaktivitäten, wie dem Öffnen von Ventilen oder dem Austauschen von Inertgas-Flaschen, zu berücksichtigen.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass der Einsatz einer Inertgasspülung nicht erforderlich ist, wodurch sich die Abgasbehandlung des Prozessgases vereinfacht, beziehungsweise diese erst ermöglicht wird und sich dadurch Kosten sparen lassen.

### ***Betrieb unterhalb der minimalen Sauerstoffkonzentration***

Die minimale Sauerstoffkonzentration ist die Sauerstoffkonzentration, bei der eine potentiell explosive Atmosphäre noch existieren kann. Bei Sauerstoffkonzentrationen unterhalb dieses Wertes sind entflammbare Mischungen nicht in der Lage, einen Brand oder eine Explosion aufrechtzuerhalten.

**Um eine potentiell explosive Atmosphäre zu vermeiden, und für die Einrichtung eines Sicherheitsspielraumes ist es erforderlich, die Sauerstoffkonzentration auf 60 % der minimalen Sauerstoffkonzentration zu begrenzen.**

Auch diese Betriebsart erfordert die sorgfältige Kontrolle über Luftlecks im Prozessbehälter, der Verrohrung und dem Vakuumsystem; zusätzlich ist es erforderlich, die zufällige Einströmung von Luft aufgrund von Betriebs- oder Wartungsaktivitäten, wie dem Öffnen von Ventilen oder dem Austauschen von Inertgas-Flaschen, zu berücksichtigen.

# Sicherheitsinformationen

## Korrosive Prozessgase

Korrosive Gase sind in der Lage, das Vakuumsystem zu beschädigen und Gefahrensituationen herbeizuführen.

Alle korrosiven Materialien sollten identifiziert werden, und deren Kompatibilität mit den Materialien in einem Vakuumsystem ist zu bestätigen; jedoch ist es wichtig, folgendes zu beachten:

Korrosion beruht auf physikalischen, chemischen oder elektrochemischen Reaktionen

- Die am häufigsten vorkommende Korrosion ist die der metallischen Korrosion, die auf einer elektrochemischen Reaktion beruht und einen Elektrolyten voraussetzt; dies bedeutet normalerweise das Vorhandensein von Wasser. Wenn das korrosive Material anhydrid [wasserfrei] ist, kann eine Reaktion nicht stattfinden.
- Bestimmte Chemikalien, wie zum Beispiel Halogene oder organische Säuren, können mit dem Material der Pumpe auch ohne das Vorhandensein von Wasser reagieren und Reaktionsprodukte erzeugen, die aus den Ionen des gepumpten Materials und dem korrosiven Gas bestehen. Abhängig von der Art des Materials sind die Reaktionsprodukte in der Lage, sich in Schichten abzulagern, welche dann eine weitere Reaktion verhindern/minimieren können. Einige der Reaktionsprodukte, wie zum Beispiel  $\text{AlCl}_3$  oder  $\text{SiF}_4$ , weisen einen relativ hohen Dampfdruck auf und verlassen die Pumpe über den Gasstrom. Unter solchen Bedingungen wird das Material der Pumpe mit der Zeit abgetragen und somit die Pumpe zerstört.
- Stark oxidierend wirkende Materialien, wie  $\text{NF}_3$  oder Fluor, können mit organischem Material, welches in der Pumpe verwendet wird, reagieren und diese Bauteile zerstören. Solche Materialien sind Dichtungen, Schmieröl etc.
- Solange korrosive Materialien in der Dampfphase verbleiben, kann normalerweise keine Korrosion stattfinden.
- Chemische oder physikalische Reaktionen können auf Polymer- und Keramik-Materialien stattfinden.

### ***Zur Vermeidung von Korrosion können folgende Maßnahmen durchgeführt werden:***

Die Zugabe eines Spülgases durch den Gasballasteinlass oder am Auspuff der Pumpe kann sicherstellen, dass korrosive Gase in der Dampfphase verbleiben.

Wenn Pumpen abgeschaltet werden, ist die Beibehaltung eines kleinen Spülgasdurchflusses (zum Beispiel zum Spülen der Wellendichtung) empfehlenswert, um korrosive Materialien aus der Pumpe auszuspülen und das Einströmen feuchter Luft aus der Auspuffleitung zu verhindern. Zusätzlich verhindert die Installation eines Rückschlagventils in der Auspuffleitung bei der Pumpe das Rückströmen von Feuchtigkeit beim Abschalten der Pumpe. Dies ist beim Einsatz von Feuchtwäschern im Rahmen der weiteren Abgasbehandlung sehr empfehlenswert.

Kalte Oberflächen und Oberflächen, die hohen Drücken ausgesetzt sind, bei denen die Wahrscheinlichkeit einer Kondensation sehr hoch ist, können einer Korrosion ausgesetzt sein. Das höchste Risiko besteht daher in der Auspuffleitung, insbesondere wenn diese Leitung durch einen kalten Ort (das heißt draußen) geführt wird. Daher ist bei der Spezifizierung der Abgasleitung diese so auszulegen, dass eine gefährliche Korrosion vermieden wird. Dichtungsmaterialien sollten sorgfältig ausgewählt werden, um deren Kompatibilität mit den korrosiven Materialien sicherzustellen.

Der Einsatz von Aluminium oder Aluminiumlegierungen wird für Pumpen, die Halogenen ausgesetzt sind, nicht empfohlen. Um eine Reaktion zwischen dem Material der Pumpe und den Halogenen oder Säuren zu vermeiden, wird üblicherweise der Schöpfraum beschichtet.

Die Verwendung von Kupfer oder Messing in Kontakt mit den Prozessgasen wird nicht empfohlen.

## Sicherheitsinformationen

Zum Pumpen von korrosiven Gasen oder starken Oxidantien durch ölgedichtete Pumpen oder durch Pumpen mit fettgeschmierten Lagern im Vakuum, wird PFPE empfohlen, um eine Ölverschlechterung zu verhindern.

### **Selbstentzündliche Gase, Stäube und Pulver**

Ein selbstentzündliches Gas zündet spontan bei Kontakt mit Luft; es ist gewissermaßen ein entflammbares Gas mit einer oberen Entflammbarkeitsgrenze von 100 %.

Jedoch sind nicht nur Gase selbstentzündlich. Auch Stäube und Pulver können selbstentzündlich sein, insbesondere Metallstäube und Pulver, die sich durch Sublimation in der Vakuumkammer gebildet haben. Diese Stäube haben keine schützende Oxidschicht gebildet und neigen daher zur Selbstentzündung, sobald sie in Kontakt mit Luft geraten.

Staub kann auch als Absorber für entflammbare und selbstentzündliche Prozessgase dienen. Die Staub-Adsorptionsrate wird durch hohe Drücke, niedrige Temperaturen und große Oberflächen erhöht.

Bei der Handhabung von selbstentzündlichen Gasen, Stäuben oder Ablagerungen ist es wichtig, die Möglichkeit von Luftlecks auszuschließen, welche eine gefährliche Reaktion auslösen könnten. Kleine Luftlecks reagieren mit dem selbstentzündlichen Gas, führen jedoch möglicherweise nicht zu einer gefährlichen Situation; die zulässige Leckgröße ist abhängig von der jeweiligen Anwendung zu berechnen, und ein geeigneter Sicherheitsspielraum ist zu bestimmen.

Entflammbare Stäube und Pulver sammeln sich in Filtern an oder bilden einfach Schichten in der Verrohrung, und sobald sie in Kontakt mit der Atmosphäre gelangen, besteht die große Wahrscheinlichkeit einer heftigen exothermen Reaktion. Es sind Maßnahmen vorzusehen, die sicherstellen, dass während des Normalbetriebs, während Wartungsarbeiten und im Fehlerfall der Zufluss von Luft ausgeschlossen wird. Wenn die Systeme auf Atmosphärendruck belüftet werden müssen, wird empfohlen, Stickstoff zum Belüften einzusetzen und wenn das Vakuumsystem zerlegt werden soll, ist der Einsatz von Schutzkleidung für den Fall einer ungeplanten Reaktion vorzusehen. Hinweis: Alle gefährlichen Materialien sollten sorgfältig identifiziert werden, um eine geeignete Handlungsstrategie festzulegen.

Vor dem Öffnen des Pumpsystems und bevor Luft eingelassen wird, ist es empfehlenswert, das Pumpsystem mit einem Spülgas zu betreiben, um adsorbierte Gase von möglicherweise vorhandenen Staubschichten zu trennen. Eine kontrollierte Oxidation durch Pumpen von Sauerstoff in niedriger Konzentration kann zum Entfernen selbstentzündlicher Gase innerhalb des Staubes sowie zur Oxidation des Staubes eingesetzt werden. Hier ist mit äußerster Vorsicht vorzugehen, da die Gefahr besteht, dass nur das Material an der Oberfläche reagiert, wohingegen der größere Teil der Staubschicht das absorbierte Gas zurückhält.

Der Einsatz von Wasser- oder Ölbädern in die die Vakuumsystemkomponenten nach deren Ausbau eingetaucht werden, kann höchst effektiv sein; jedoch ist der Sicherheitsaspekt einer solchen Vorgehensweise in Abhängigkeit von der spezifischen Anwendung zu berücksichtigen.

Andere Materialien, wie Silizium und Polysilizium, können instabile Ablagerungen innerhalb von Vakuumsystemen bilden, wobei diese Materialien auf der Grenze zwischen selbstentzündlich und explosiv sind. Siehe Abschnitt „Explosivstoffe“.

## Sicherheitsinformationen

### Giftige Materialien

Viele Prozessgase und Dämpfe können für Menschen und die Umwelt giftig sein, und daher ist es wichtig, die Sicherheit dieser Materialien zu betrachten.

Vakuumsysteme sind ein ausgezeichnetes Mittel zur Handhabung giftiger Materialien, da ein Leck auf der Vakuumseite nur Luft von der Atmosphäre ziehen wird und giftige Prozessgase nicht entweichen können. Die Situation stellt sich etwas anders dar, sobald man die Auspuffleitung des Vakuumsystems betrachtet. Hier ist der Druck in der Nähe des Atmosphärendrucks oder gerade darüber, und ein Leck führt zum Entweichen jeglicher gepumpter giftiger Gase.

Der erste Schritt besteht darin, das giftige Gas durch Zugabe eines verdünnenden Gases auf ein Niveau unter dem zulässigen Expositionsniveau zu verdünnen.

Falls eine Verdünnung nicht durchführbar oder möglich ist, dann ist es empfehlenswert, die Konstruktion der Auspuffleitung sorgfältig zu betrachten, um sicherzustellen, dass die Konstruktion keinerlei Lecks enthält. Der Einsatz einer standardmäßigen Vakuumverrohrung, wie zum Beispiel ISO-KF oder ISO-K, wird empfohlen aufgrund der Tatsache, dass diese entsprechend den Vakuumstandards dicht konstruiert worden sind.

Der Auspuff des Vakuumsystems ist sorgfältig zu betrachten, da es möglicherweise nicht möglich ist, giftige Materialien direkt in die Atmosphäre zu entlassen. In diesem Fall wird empfohlen, sich von einer Firma, die sich mit der Abgasnachbehandlung befasst, beraten zu lassen, um einen sicheren Weg zu finden, wie der Abgasstrom entsorgt werden kann.

Wo giftige Gase gepumpt wurden, besteht die hohe Wahrscheinlichkeit, dass die internen Oberflächen oder eingeschlossene interne Volumen giftiges Material enthalten. Bevor Pumpen oder Bauteile, die in Kontakt mit giftigen Gasen gekommen sind, entfernt werden, wird die Spülung dieser Bauteile empfohlen, um alle gefährlichen Gase zu entfernen. Hinweis: Alle gefährlichen Materialien sind sorgfältig zu identifizieren, und eine entsprechende Handhabungsstrategie ist festzulegen.

Beim Entfernen der Pumpe sind alle Vakuumflansche abzudichten; Teile, die nicht abgedichtet werden können, sind in luftdichten Behältern zu lagern. Wenn eine Pumpe zu Wartungszwecken auseinandergenommen wird, ist es wichtig, diese an eine Serviceeinrichtung zu schicken, wo spezielle Dekontaminationseinrichtungen verfügbar sind



# Sicherheitsinformationen

## Explosivstoffe

Explosivstoffe können ohne Kontakt mit Luft oder einem Oxidationsmittel reagieren. Diese sind daher besonders gefährlich zu pumpen.

Explosive Polysilizium-Feststoffe können in Vakuumsystemen erzeugt werden und sammeln sich auf horizontal angeordneten Oberflächen an. Normalerweise wird die Menge an gebildetem Material regelmäßig durch einen Ätzschritt mit einem starken Oxidationsmittel wie  $\text{NF}_3$  oder  $\text{SF}_6$  minimiert. Dies stellt sicher, dass in der Vakuumkammer nur geringere Substanzmengen vorhanden sind, und somit verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Gefahrenereignisses. Hier ist besonders die Konstruktion des Vakuumsystems zu beachten, um Volumen zu vermeiden, in denen sich Polysiliziumablagerungen bilden können, welche jedoch nicht durch das Ätzgas effektiv ausgespült werden können. Ein typisches Beispiel einer solchen Konstruktion sind horizontal angeordnete Bälge, wo sich in den Wellen die Ablagerungen bilden können und wo das Ätzgas nur die kleinen exponierten Oberflächen abätzen kann.

Die Lösung hier besteht darin, entweder den Einsatz von Bälgen zu vermeiden oder diese vertikal einzubauen.

## Oxidantien

Diese Materialien sind in der Lage, mit einer Vielzahl von anderen Materialien in einem Vakuumsystem zu reagieren, einschließlich Elastomere, wie O-Ringe, Polymere und Öle, und verursachen somit potentiell gefährliche Bedingungen. Typische Oxidantien können  $\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ , etc. sein.

Die tatsächliche Auswirkung dieser Oxidantien hängt vom Druck und der Temperatur des Gases ab; beides beeinflusst die Reaktionsrate. So wie die Reaktionsrate sich erhöht, so erhöht sich das Potenzial für einen möglichen Überdruck oder ein Feuer. Im Zusammenhang mit Oxidantien sind nachstehend aufgeführte Richtlinien zu beachten:

- Bei Sauerstoffkonzentrationen über 25 Volumenprozent ist es unabdingbar, PFPE Schmiermittel und chemisch widerstandsfähige Polymere für die Bauteile wie O-Ringe, Pumpenschaufeln etc. einzusetzen. Für das Pumpen von reinem Sauerstoff ist der Einsatz einer Pumpe, die speziell für Sauerstoff qualifiziert ist, unabdingbar.
- Falls keinerlei PFPE Öl verfügbar ist, dann ist der Einsatz einer Inertgasverdünnung erforderlich, um die Konzentration des Oxidationsmittels auf ein sicheres Niveau zu verringern.

# Sicherheitsinformationen

## Vakuumsystemkonstruktion

### Dichtigkeit

#### ***Eindringen atmosphärischer Luft durch Lecks***

Vakuumsysteme, die gefährliche Prozessgase pumpen, sind sorgfältig hinsichtlich der Folgen über Lecks eindringende Luft zu bewerten. Es wird empfohlen, eine Risikoanalyse durchzuführen, um die Höhe des Risikos zu bestimmen; dabei sind Normalbetrieb, Fehlerzustände und Wartungsverfahren zu berücksichtigen. Typische Probleme sind:

- Reaktionen mit selbst-entzündlichen Gasen
- Verlagerung von entflammenden Gasen und Dämpfen in den Entflammbarkeitsbereich
- Korrosion aufgrund des Eindringens von Luftfeuchtigkeit
- Unerwünschte Reaktionen mit den Prozessgasen

Kein Vakuumsystem ist 100 % dicht, es existiert immer ein gewisser Luftleckanteil, selbst in Ultrahochvakuumsystemen. Wo das Fehlen der Dichtigkeit zu Sicherheitsproblemen führen kann, sollten Berechnungen durchgeführt werden, um festzustellen, welches Dichtheitsniveau erforderlich ist, um einen sicheren Zustand sicherzustellen.

Falls die Bereitstellung eines dichten Systems sicherheitskritisch ist, dann sollte das Leistungsniveau des Vakuumsystems berechnet werden, um die Höhe des Risikos abschätzen zu können.

Wo Dichtheit zur Vermeidung von Gefahrensituationen unabdingbar ist, ist die regelmäßige Überprüfung erforderlich, um sicherzustellen, dass das System dicht bleibt. Hier sind insbesondere Wartungsaktivitäten zu berücksichtigen, wo versehentliche Luftlecks und mögliche Gefahrensituationen auftreten können.

Hinweis: In den Fällen, wo die Dichtigkeit eines Systems sicherheitskritisch ist, es jedoch nicht möglich ist, das erforderliche Sicherheitsniveau durch konstruktive Maßnahmen zu erreichen, wird die Verdünnung der Prozessgase durch ein Inertgas empfohlen, um die Prozessgase unterhalb der Sicherheitsgrenze zu bringen.

#### ***Eindringen von Wasser durch Lecks in das Vakuumsystem***

In den Fällen, wo Prozessgas und Dämpfe gepumpt werden, die bei Kontakt mit Wasser zu einer Gefahrensituation führen können, ist es erforderlich, die Dichtigkeit des Kühlwassersystems zu betrachten.

#### ***Rücksaugung von Auspuffgasen***

Wenn eine Vakuumpumpe mit am Einlass vorhandenem Vakuum abgeschaltet wird, erfolgt eine Rücksaugung von Auspuffgasen aus der Auspuffverrohrung, beziehungsweise dem Auspuffsystem. Wenn dieses Gas Luft/Sauerstoff enthält, besteht die Gefahr unerwünschter Reaktionen mit den Prozessgasen oder Ablagerungen innerhalb der Pumpe. In den Fällen, wo diese Gefahr besteht, sollte der Auspuff der Vakuumpumpe mit einem Rückschlagventil ausgestattet werden, um so die Rückströmung von Auspuffgasen zu verringern. Zusätzlich stellt der Einsatz einer Stickstoffspülung sicher, dass bei Stillstand der Pumpe keinerlei Luft in das Vakuumsystem eindringen kann.

# Sicherheitsinformationen

## Überdruck

### **Überdruck im Vakuumsystem**

Vakuumsysteme werden normalerweise für Drücke im Bereich von knapp über Atmosphärendruck bis zum vollen Vakuum ausgelegt und betrieben. Sie sind nicht für hohe Drücke ausgelegt und es ist daher Sorge zu tragen, dass Bedingungen vermieden werden, die zu gefährlichen Überdruckzuständen führen könnten. Dabei sind folgende Bereiche zu berücksichtigen:

### **Blockierung des Auspuffs**

Es bestehen mehrere Möglichkeiten, wie der Auspuff eines Vakuumsystems blockiert wird, wodurch ein Überdruck entsteht. Die offensichtlichste ist der Einbau eines Ventils in die Auspuffleitung, so dass, falls das Ventil nicht öffnet, die Vakuumpumpe einen Druck erzeugt, der zu einer gefährlichen Überdrucksituation führt. In den Fällen, wo ein Ventil für den Betrieb unabdingbar ist, ist dieses Ventil sorgfältig in den Betrieb der Vakuumpumpe zu integrieren.

Die Bildung von Prozessablagerungen in der Auspuffleitung kann auch zu Überdrucksituationen führen, wenn die Pumpe bei einem hohen Gasdurchsatz betrieben wird. Dies führt normalerweise zu einer Abschaltung der Vakuumpumpe aufgrund eines überhöhten Motorstroms, jedoch ist es immer noch unter bestimmten Umständen möglich, dass die Vakuumpumpe einen nennenswerten gefährlichen Überdruck erzeugt. Die Möglichkeit des Aufbaus von Prozessablagerungen im Auspuffsystem des Vakuumsystems sollte betrachtet werden, und wo solche Prozessablagerungen unvermeidbar sind, sollte eine Form der Drucküberwachung verwendet werden, um Überdrucksituationen zu erfassen. Ferner sollte beachtet werden, dass eine Verunreinigung des eigentlichen Drucksensors durch verunreinigende Prozessablagerungen zu verhindern ist.

In manchen Anwendungen ist der Einsatz eines Temperaturmanagements für die Pumpe und/oder der Auspuffverrohrung möglich, um Blockaden zu vermeiden. Ein solches Management würde in Verbindung mit Prozess-Nebenprodukten mit hohen Dampfdrücken zum Einsatz kommen.

### **Überdrücke von Spülgassystemen**

Üblicherweise werden Vakuumsysteme mit Spülgassystemen ausgestattet, um das zuverlässige Pumpen von Prozessgasen zu unterstützen sowie gefährliche chemische Reaktionen zu unterbinden. Zwar kann eine solche Spülgasfunktion sehr nützlich sein, jedoch erzeugen diese ihre eigene Überdruckgefahr bei unzureichender Auslegung.

Das Spülgas befindet sich in einem Spülgastank oder einer Spülgasflasche und erreicht das Vakuumsystem bei einem Einlassdruck irgendwo zwischen 2 bar absolut und 10 bar absolut. In den meisten Fällen ist es erforderlich, diesen Druck durch die Verwendung eines Druckreglers zu verringern. Ein Druckregler verringert den angelegten Gasdruck auf den gewünschten Druck normalerweise im Bereich zwischen 0,1 bar absolut und 1 bar absolut.

In den Fällen, wo das Spülgas in ein offenes System eingelassen wird, funktionieren diese geregelten Spülgassysteme gut. Falls es sich jedoch bei dem System um ein geschlossenes System handelt oder um ein System, welches durch das Schließen eines Ventils geschlossen wird, dann besteht die Gefahr einer Überdrucksituation.

Es gibt zwei Druckreglertypen: der eine nennt sich „ausblasender“ Regler, wohingegen der andere als „nicht ausblasender“ Regler bezeichnet wird; diese arbeiten auf unterschiedliche Weise und können ihn eigene Gefahren erzeugen.

Der ausblasende Regler regelt den Druck in einem geschlossenen System über das Ablassen des Überdrucks zur Atmosphäre. Dies ist normalerweise eine gute Eigenschaft. Jedoch darf nicht vergessen werden, dass der Überdruck in Form von gefährlichem Prozessgas vorhanden sein könnte.

Der nicht-ausblasende Regler ist für den Einsatz an einem offenen System ausgelegt und dieser reduziert im Falle einer Überdrucksituation den Druck nicht. Wenn ein nicht-ausblasender Regler in

## Sicherheitsinformationen

Verbindung mit einem geschlossenen System betrieben wird, dann ergibt sich mit der Zeit ein kleines Gasleck von der Einlass-Seite des Reglers in Richtung System; dies führt dazu, dass mit der Zeit das System mit dem Druck, der dem Einlassdruck entspricht, beaufschlagt wird. Da die meisten offenen Vakuumsysteme die Möglichkeit aufweisen, im Fehlerfall zu einem geschlossenen System zu werden, besteht die Notwendigkeit, das Risiko einer solchen Einrichtung zu berücksichtigen.

Eine Lösung besteht darin, einen ausblasenden Regler mit einem Rückschlagventil zwischen dem Regler und dem Vakuumsystem auszustatten. Der Regler stellt sicher, dass der Druck auf der Systemseite auf den gewünschten Druck geregelt wird, wohingegen das Rückschlagventil die Rückströmung des Gases aus dem System in Richtung Regler verhindert. Rückschlagventile sind für Druckdifferenzen bis zu 25 mbar verfügbar und minimieren dadurch den Druckabfall. Es sollte nicht vergessen werden, wo im Vakuumsystem noch andere Druckquellen vorhanden sind. Diese sollten dann unabhängig betrachtet werden, da der ausblasende Regler diesen Überdruck nicht ablassen kann.

Wenn Überdruckventile verwendet werden, ist es wichtig, die Gasart, die ausgeblasen wird, zu berücksichtigen und wohin das Gas ausgeblasen wird. Bei unzureichender Berücksichtigung besteht die Gefahr, das gefährliche Gase in die Umgebungsatmosphäre ausgeblasen werden.

### ***Auslegungsdruck***

Der Auslegungsdruck eines Vakuumsystems ist sorgfältig zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass das Vakuumsystem den maximalen Drücken während des normalen Betriebes und auch bei Fehlerzuständen standhalten kann. Das Vakuumsystem umfasst die gesamte Vakuum-Verrohrung zur Vakuumpumpe und auch die Auspuff-Verrohrung zur Atmosphäre (oder einer geeigneten Abgas-Nachbehandlung). Normalerweise wird das System so spezifiziert, dass es dem „vollen Vakuum“ standhalten kann, jedoch wird die Überdruckfähigkeit des Systems häufig übersehen.

Die Überdruckfähigkeit des Vakuumsystems sollte normalerweise auf einen Druck von 0,5 bar absolut beschränkt werden, um in Europa nicht unter die Regelungen von druckbeaufschlagten Einrichtungen zu fallen. In diesem Fall sollten möglicherweise vorhandene Druckregler auch auf diesen Druck eingestellt werden.

In den Fällen, wo von einem System erwartet wird, dass es einer internen Explosion standhält, ist es üblich einen Systemauslegungsdruck von 10,0 bar absolut anzunehmen. Jedoch ist es bei diesem Druck üblich, dass die örtlichen Regelungen für Druckbehälter, sowohl für das Vakuumsystem, als auch für die Verrohrung einzuhalten sind.

# Sicherheitsinformationen

## Temperatur

### **Temperaturwechselbeanspruchung**

In den Fällen, wo Einrichtungen Temperaturzyklen unterliegen (das heißt, zum Beispiel aufgrund normaler Vakuumabpumpzyklen) ist es wichtig zu erkennen, dass solche Temperaturzyklen dazu führen können, dass sich Befestigungsmittel und Fittings lösen können, falls diese nicht mithilfe von Dichtmitteln oder mechanischen Einrichtungen festgesetzt wurden. Wo die Gefahr von Temperaturzyklen besteht und wo in der Folge die Gefahr besteht, dass sich Befestigungsmittel lösen könnten und so eine Gefahrensituation herbeigeführt werden könnte, dann sollte die Dichtigkeit dieser Befestigungsmittel regelmäßig überprüft werden.

### **Heiße Oberflächen**

Vakuumsysteme und Vakuumpumpen weisen häufig heiße Oberflächen aufgrund der Natur des Prozesses auf. In einigen Prozessen ist es zum Beispiel erforderlich, die Auspuffleitungen zu beheizen, um eine Kondensation von gefährlichen Gasen zu vermeiden. Wo heiße Oberflächen über 70 °C entstehen, wird empfohlen, ein entsprechendes Warnetikett an der heißen Oberfläche anzubringen. Überschreitet die Temperatur 100 °C dann ist es erforderlich, dass diese Oberfläche durch eine Form von Schutz geschützt wird, um so die Möglichkeit eines Kontaktes auszuschließen.

### **Umgebungsbetriebstemperaturbereich**

Vakuumsysteme werden normalerweise für eine maximale Umgebungsbetriebstemperatur von 40 °C ausgelegt. Bei höheren Temperaturen besteht die Möglichkeit, dass Elastomerdichtungen sich überhitzen könnten mit der Folge möglicher Lecks und der möglichen Herbeiführung von gefährlichen Zersetzungsprodukten. Hier ist sorgfältig vorzugehen, um Gefahren im Zusammenhang mit hohen Umgebungsbetriebstemperaturen zu verstehen.

Niedrige Umgebungstemperaturen können auch Gefahren herbeiführen aufgrund der Versprödung der Elastomermaterialien wie O-Ringe und die Kondensation von Prozess-Nebenprodukten, die zur Bildung von gefährlichen Flüssigkeiten führen können. Eine Gefahrenanalyse sollte die minimale Auslegungstemperatur der Vakuumeinrichtungen und die Möglichkeit, dass Prozess-Nebenprodukte kondensieren können, berücksichtigen.

### **Beheizte Auspuffleitungen**

Auspuffleitungen sollten in den Fällen verwendet werden, wo die Gefahr besteht, dass Prozessgas kondensiert oder sich in den Auspuffleitungen verfestigt, wodurch eine Blockade, Korrosion oder Explosionen ausgelöst werden können. Bei beheizten Auspuffleitungen ist es wichtig, die Sicherheit eines solchen Systems zu betrachten, insbesondere auch die Fehlerbedingungen wo die Temperatur unkontrolliert ansteigen könnte, und so die Elastomerdichtungen innerhalb der Verrohrung überhitzt werden.

### **Auslegungstemperatur**

Wenn ein Behälter oder eine Verrohrung für einen Druck ausgelegt ist, ist es erforderlich, die maximale Auslegungstemperatur bis zu dem Druck, für den der Behälter oder die Verrohrung spezifiziert sind, festzulegen. Niemals ein System oberhalb seiner maximalen Auslegungstemperatur betreiben.

# Sicherheitsinformationen

## Chemische Reaktionen

### ***Vor-/nachgeschaltete Spülgaseinleitung***

Zur Vermeidung von unerwünschten chemischen Reaktionen ist es üblich, die Vakuumpumpen mit einem inerten Spülgas 15 Minuten vor und nach dem Einlass des Prozessgases zu spülen. Eine Spülung vor dem Prozess entfernt alle Spuren atmosphärischen Sauerstoffs und Wasser, wohingegen eine Spülung nach dem Prozess die Prozessrestgase entfernt.

### ***Überkreuz-Verunreinigung***

Vakuumsysteme werden häufig auf Anwendungen geschaltet, in denen unterschiedliche Prozessgase verwendet werden. Dies kann deswegen erfolgen, weil Einrichtungen für eine andere Anwendung wiederverwendet werden sollen oder auch durch unterschiedliche Prozess-Schritte einer bestimmten Anwendung.

In allen diesen Fällen ist es erforderlich, die Möglichkeit einer Überkreuz-Verunreinigung zwischen Prozessgasen/Dämpfen/Materialien des einen Prozesses mit den Prozessgasen/Dämpfen/Materialien des anderen Prozesses zu berücksichtigen. In manchen Fällen besteht die Gefahr gefährlicher Reaktionen zwischen zwei Materialien, die normalerweise, wenn sie einzeln abgepumpt werden, keinerlei Gefahr darstellen.

In den Fällen, wo gefährliche Reaktionen auftreten können, ist die Spülung mit einem inerten Gas zwischen den Prozess-Schritten für ca. 15 Minuten üblich. Dieses entfernt das erste Material bevor das zweite Material gepumpt wird; jedoch ist zu berücksichtigen, dass in einem Vakuumsystem die Gefahr besteht, dass Prozessgase eingeschlossen werden, die während des Spülschrittes praktisch nicht effektiv entfernt werden. In den Fällen, wo eine gefährliche Reaktion auftreten könnte, ist die Konstruktion des Vakuumsystems und die Erkennung von eingeschlossenen Volumina sorgfältig zu berücksichtigen.

### ***Zustandsänderung***

Ein Vakuumsystem dient zur Erhöhung des Druckes von gepumpten Gasen und Dämpfen von Vakuumdruck auf Atmosphärendruck, wobei im Verlaufe dieses Vorganges die Materialien möglicherweise ihren Zustand in Richtung einer Flüssigkeit oder sogar eines Feststoffes ändern können. Materialien, die eine Zustandsänderung durchlaufen haben, sind möglicherweise gefährlich, indem diese Verrohrungen blockieren, zu Korrosion führen und möglicherweise entflammbare Materialien bilden. Normalerweise erfolgt die Zustandsänderung, wenn der Druck innerhalb der trockenen Pumpe sich dem Atmosphärendruck annähert; jedoch ist es unter sehr kalten Umgebungsbedingungen möglich, dass die Materialien schon in der Vorvakuumpumpenleitung zur Vakuumpumpe einer Zustandsänderung unterliegen.

In den Fällen, wo dies möglicherweise zu einer Gefahrensituation führen könnte, wird es empfohlen, entweder eine Zusatzheizung zu verwenden oder eine Spülung mit trockenem inerten Spülgas vorzusehen.

Falls sich in der Vorvakuumleitung feste Partikel bilden, besteht die Gefahr der Bildung von Ablagerungen auf den Wänden, die nach einiger Zeit abfallen und in die Pumpe gelangen – siehe Abschnitt „Bildung von Ablagerungen in der Verrohrung“.

Wenn es wünschenswert ist, das Material wiederzugewinnen, dann wird die Installation eines Kondensators und Auffangbehälters (Vorlage) im Vakuumsystem empfohlen, wo diese Materialien dann sicher gesammelt werden können.

### ***Rückströmung von Auspuffgasen***

Wenn eine Vakuumpumpe bei am Einlass vorhandenem Vakuum abgeschaltet wird, erfolgt eine Rückströmung von Auspuffgasen aus der Auspuff-Verrohrung beziehungsweise dem Auspuffsystem. Wenn dieses Gas Luft/Sauerstoff enthält, könnten unerwünschte Reaktionen mit dem Prozessgas oder

## Sicherheitsinformationen

internen Ablagerungen erfolgen. In den Fällen, wo diese Möglichkeit besteht, wird die Ausstattung des Auspuffs der Vakuumpumpe mit einem Rückschlagventil empfohlen, um die Rückströmung von Auspuffgasen zu verringern. Der zusätzliche Einsatz einer Stickstoffspülung für die Vakuumpumpe stellt sicher, dass die Möglichkeit des Eindringens von Luft in das Vakuumsystem ausgeschlossen wird.

### **Allgemeine Anwendung:**

#### ***Bildung von Ablagerungen in der Verrohrung***

Bei einigen Anwendungen bilden sich möglicherweise Ablagerungen in der Vorvakuumleitung des Vakuumsystems. Eine solche Anwendung wäre zum Beispiel die Bildung von Siliziumschichten nach einem Abscheidungsschritt bei der Herstellung von Halbleitern. Diese festen Ablagerungen bilden sich in der Dampfphase und bilden Schichten, von denen mehrere Gefahren ausgehen.

- Bei dicker werdenden Schichten besteht die Möglichkeit, dass Teile davon abplatzen und in Richtung der Vakuumpumpe transportiert werden. In manchen Fällen kann die Vakuumpumpe durch solche Schichten beschädigt werden und in seltenen Fällen ist es möglich, dass die Schichten zu erheblichen mechanischen Schäden bis hin zu Rissen im Pumpengehäuse führen.
- Die Schichten lagern sich unter Vakuumbedingungen ab und weisen häufig daher keinerlei schützende Oxidschichten auf, die einen Abbrand bei Kontakt mit Sauerstoff verhindern könnten.
- Der Aufbau erheblicher Schichten kann zu Blockaden in den Vorvakuumumpfenleitungen führen, mit einhergehendem Vakuumleistungsverlust.

In den Fällen, wo Prozessablagerungen von den Wänden der Vorvakuumumpfenleitungen abplatzen könnten, ist der Einbau eines toten Arms in der Vorvakuumumpfenleitung empfehlenswert, um die größten Partikel abzufangen. Zusätzlich sollte ein Filter, bestehend aus einem Metallsieb, senkrecht neben dem toten Arm oder ein Zyklonseparator installiert werden, um einen Übertrag von Partikeln in die Pumpe hinein zu verhindern.

In den Fällen, wo Prozessablagerungen möglicherweise von gefährlicher Natur sind, ist es wichtig, dass der Betreiber des Vakuumsystems eine Risikoanalyse durchführt, um eine sichere Art und Weise der Handhabung dieser Materialien sicherzustellen.

#### ***Einsatz von Frequenzwandlern – Verwendung von Passwörtern***

Frequenzwandler werden häufig eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit eines Vakuumsystems zu verbessern. Jedoch ist bei der richtigen Einstellung der maximalen Drehzahl einige Sorgfalt aufzuwenden.

Viele Frequenzwandler sind in der Lage, eine maximale Ausgangsdrehzahl von bis zu 200 Hz zu erzeugen, eine Drehzahl, die in Verbindung mit dem richtigen Motor möglicherweise zu Drehzahlen von 12000 Umdrehungen/min führen könnte. Da die meisten Vakuumpumpen bei Drehzahlen zwischen 3000 Umdrehungen/min und 6000 Umdrehungen/min arbeiten, besteht eine erhebliche Gefahr, wenn der Frequenzwandler versehentlich auf eine andere höhere Drehzahl programmiert wird.

Es wird in den Fällen wo Frequenzwandler eingesetzt werden, empfohlen, die maximale Drehzahl in der Parameterliste durch ein Passwort zu schützen. Dies hilft dabei, eine versehentliche Einstellung des Parameters für die maximale Drehzahl zu vermeiden.

#### ***Normale Betriebsgrenzen – Normale Betriebsgrenzen nicht überschreiten***

Ein Vakuumsystem besteht aus vielen Bauteilen. Unter allen Umständen müssen diese Bauteile so ausgewählt und betrieben werden, dass sie innerhalb ihrer konstruktiven Betriebsgrenzen betrieben werden. Wird dieses nicht beachtet, dann ist mit unerwarteten Ausfällen rechnen.

## Sicherheitsinformationen

### ***Position des Einlassventils***

Das Einlassventil, welches zwischen dem Vakuumsystem und der Prozesskammer angeordnet ist, wird häufig dazu verwendet, das Vakuumsystem während Wartungsarbeiten abzutrennen. Es ist wichtig, dass sich dieses Ventil während Wartungsarbeiten in der richtigen Position befindet.

In den Fällen, wo die Position dieses Ventils sicherheitskritisch ist, wird empfohlen, dieses als Teil einer Sicherheitsanalyse zu berücksichtigen, um sichere Bedienungsverfahren festzulegen.

### ***Beheizte Fallen***

Der Einsatz von beheizten Fallen dient dazu, Prozessgase abzufangen beziehungsweise reagieren zu lassen, bevor diese die Vakuumpumpe erreichen. Solche Fallen weisen ihre eigenen Gefahren auf. Die Hauptgefahr geht von den Temperaturen aus, da normalerweise diese Fallen mit internen Temperaturen von mehreren 100 °C betrieben werden. Diese hohen Temperaturen erreichen normalerweise die externen Oberflächen nicht, jedoch besteht für benachbarte Komponenten wie Elastomer O-Ringe etc. die Gefahr, dass diese thermisch beschädigt werden. Daher muss man bei der Spezifizierung einer beheizten Falle besondere Sorgfalt walten lassen.

### ***Kühlfallen***

Beim Einsatz einer Stickstoffkühlfalle zur Kondensation von Materialien, die bei Atmosphärendruck normalerweise gas- oder dampfförmig vorliegen, ist es wichtig, die Konsequenzen einer unbeabsichtigten Erwärmung zu berücksichtigen. Wenn flüssige Gase und Dämpfe erwärmt werden, erzeugen diese große Gas/Dampf-Volumina, die, sofern diese in ein geschlossenes System abgelassen werden, zu einem gefährlichen Überdruck führen können. Es sind daher sorgfältige Überlegungen anzustellen, wie das System belüftet wird, um die Möglichkeit eines gefährlichen Überdrucks auszuschließen.

### ***Kondensatoren***

Kondensatoren bieten eine sehr effektive Art und Weise, Dämpfe aus einem Prozessgasstrom zu entfernen. Jedoch ist es wichtig, die Möglichkeit einer Blockade im Kondensator zu berücksichtigen. Normalerweise wird ein Kondensator zusammen mit einem darunter befindlichen und geeigneten Auffangbehälter (Vorlage) verwendet, in dem die Flüssigkeit sich ansammeln kann; dieser würde dann mit einer Niveauanzeige ausgerüstet, um den Zeitpunkt zur Leerung der Vorlage anzuzeigen. Wird die Vorlage nicht geleert, besteht die Gefahr, dass Flüssigkeit überläuft, in die Vakuumpumpe gelangt mit der Gefahr, dass nach und nach die Auspuffleitung blockiert wird.



# Sicherheitsinformationen

## Vakuumsystembetrieb

Die Sicherheit eines Vakuumsystems hängt wesentlich von seiner Konstruktion ab. Jedoch zeigt die Erfahrung, dass der richtige Betrieb des Systems genauso wichtig ist, insbesondere bei Berücksichtigung der Möglichkeiten einer Fehlbedienung oder von Ausfällen.

Es ist hier nicht möglich, eine vollständige Liste aller Gefahren zu geben, die in Verbindung mit jeglichen spezifischen Vakuumsystemen auftreten können; eine solche Gefahrenliste sollte von dem End-Anwender durch die Durchführung einer geeigneten Risikoanalyse erstellt werden.

Es ist besonders wichtig, dass eine detaillierte Verfahrensanweisung erstellt wird, die nicht nur den Normalbetrieb abdeckt, sondern die auch das Verhalten im Falle von Wartungsschritten oder Ausfällen berücksichtigt. Häufig führen gerade diese geplanten Vorgänge zu unerwarteten Gefahren mit der Möglichkeit einer Beschädigung oder gar der Verletzung.

Nachstehend einige Beispiele, die als Anhaltspunkt hinsichtlich der Art von unerwarteten Gefahren dienen können:

- Ein Prozess zur Erzeugung von reinem Metallpulver innerhalb eines Vakuumsystems wird mit einer Stickstoffspülung betrieben, um sicherzustellen, dass die Atmosphäre innerhalb des Vakuumsystems frei von Sauerstoff ist. Während einer Prozess-Störung wird es erforderlich, die Kammer zu öffnen, um einige beschädigte Bauteile auszutauschen. Dies erfordert nur wenige Minuten, während derer die Vakuumpumpe von der Kammer über das Trennventil am Einlass abgetrennt ist. Nach Beendigung des Wartungsschrittes wird die Kammer abgedichtet und dann mithilfe der Prozesspumpe abgepumpt. Unglücklicherweise enthält die Kammer nun Atmosphärenluft, und die nun einströmende Luft führt zu einer Zündung der reaktiven Metallpulver.
- In Verbindung mit einer Ofenanwendung werden Prozessmaterialien über ein Filter in der Auspuffleitung extrahiert, die regelmäßig gereinigt werden muss. Aufgrund von Produktionszwängen wurde der Reinigungsschritt ausgelassen, und das Filter blockierte mit der Zeit, wodurch der in der Auspuffleitung entstehende Überdruck zu einer Abschaltung der Vakuumpumpe führte. Dieses wäre normalerweise ein sicherer Betriebszustand, wenn der Prozessbediener dann nicht versucht hätte, die Pumpe durch dauerhafte Betätigung der grünen Starttaste, unter Umgehung des Temperaturschutzes der Pumpe, wieder in Betrieb zu nehmen. Die Folge davon war, dass die Vakuumpumpe einen überhöhten Gegendruck aufbaute, der dann zu einer Explosion des Filters führte.
- In einer Chemieanlage wurde eine Vakuumpumpe mit einem Auspuffkondensator ausgestattet, um korrosive Nebenprodukte abzufangen, bevor diese in die Auspuffleitung gelangten. Ein Teil des Betriebsverfahrens bestand darin, die Vorlage zu leeren, sobald der Niveauschalter angezeigt hatte, dass die Vorlage voll war. Die Auspuffleitung mündete in eine gemeinsame Auspuffleitung, in der normalerweise Atmosphärendruck herrschte. Jedoch war aufgrund eines Ausfalls der Druck in dieser Leitung höher. Als der Bediener die Vorlage zur Entleerung öffnete, spritzte die korrosive bzw. ätzende Flüssigkeit unter Druck heraus und bespritzte den Bediener vollständig – mit ersten Folgen.

# Sicherheitsinformationen

## Vakuumsystemwartung

Alle Vakuumsysteme bedürfen zu einem bestimmten Zeitpunkt einer Wartung, wobei die Qualität dieser Wartung eine wesentliche Auswirkung auf die Sicherheit des Systems haben kann. Die Gefahrenanalyse sollte die Einzelheiten des Wartungsverfahrens berücksichtigen, um sicherzustellen, dass die Wartung zu keinerlei Gefahrensituationen führt. Einige Punkte, die zu berücksichtigen sind, sind nachstehend aufgeführt:

- Das Innere des Vakuumsystems könnte mit Prozessmaterialien verunreinigt sein, die eine Gesundheitsgefahr darstellen.
- Besondere Materialien, wie PFPE-Öle sind möglicherweise für den Einsatz im Hinblick auf das Prozessgas ausgewählt worden. Wenn diese Materialien im Rahmen einer Wartung ausgetauscht werden, dann besteht die Möglichkeit, dass eine neue Gefahrensituation entsteht.
- Pumpen, die unerwartet stoppen, können gefährliche Prozessgase enthalten. In solchen Fällen kann die Durchführung von besonderen Verfahren erforderlich sein, um die Mitarbeiter beim Entfernen der Pumpe zu schützen.
- Eine Überdrucksituation innerhalb eines Vakuumsystems wird möglicherweise nicht erkannt, bis ein Bauteil entfernt wird, und es unter Druck abschert.
- Bevor mit Wartungsarbeiten an dem Vakuumsystem begonnen wird, müssen elektrische Geräte zuverlässig von allen Spannungsversorgungen getrennt werden.
- Die Auswirkung von Reinigungslösemitteln auf das Vakuumsystem ist zu berücksichtigen, insbesondere wenn diese korrosiv oder entflammbar sind.

**Eine vollständige Gefahrenanalyse sollte durchgeführt werden, einschließlich aller Wartungsverfahren.**

**Keine Wartung durchführen, ohne vorher die möglichen Risiken und die erforderliche Schutzausrüstung betrachtet zu haben.**

# Sicherheitsinformationen

## Vakuumsystemmodifikationen

Vakuumsysteme werden normalerweise für einen bestimmten Zweck ausgelegt, und es ist üblich, eine Gefahrenanalyse im Hinblick auf eine bestimmte Anwendung durchzuführen.

Wenn ein Vakuumsystem für einen anderen Zweck verwendet wird oder wenn andere Prozessgase abgepumpt werden als ursprünglich vorgesehen, dann ist die ursprüngliche Gefahrenanalyse nicht länger gültig, und es besteht die Möglichkeit des Auftretens einer unerwarteten Gefahr.

**Immer wenn ein Vakuumsystem modifiziert wird oder wenn die Prozessgase sich in irgendeiner Form ändern, muss eine erneute Gefahrenanalyse durchgeführt werden.**

# Vertriebs- und Servicenetz

## Deutschland

### Leybold GmbH

Sales, Service, Support Center (3SC)  
Bonner Straße 498  
D-50968 Köln  
T: +49-(0)221-347 1234  
F: +49-(0)221-347 31234  
sales@leybold.com  
www.leybold.com

### Leybold GmbH VB Nord

Niederlassung Berlin  
Industriestraße 10b  
D-12099 Berlin  
T: +49-(0)30-435 609 0  
F: +49-(0)30-435 609 10  
sales.bn@leybold.com

### Leybold GmbH VB Süd

Niederlassung München  
Karl-Hammerschmidt-Straße 34  
D-85609 Aschheim-Dornach  
T: +49-(0)89-357 33 9-10  
F: +49-(0)89-357 33 9-33  
sales.mn@leybold.com  
service.mn@leybold.com

### Leybold Dresden GmbH Service Competence Center

Zur Wetterwarte 50, Haus 304  
D-01109 Dresden  
Service:  
T: +49-(0)351-88 55 00  
F: +49-(0)351-88 55 041  
info.dr@leybold.com

## Europa

### Belgien

### Leybold Nederland B.V. Belgisch bijkantoor

Leuvensesteenweg 542-9A  
B-1930 Zaventem  
Sales:  
T: +32-2-711 00 83  
F: +32-2-720 83 38  
sales.zv@leybold.com  
Service:  
T: +32-2-711 00 82  
F: +32-2-720 83 38  
service.zv@leybold.com

### Frankreich

### Leybold France S.A.S.

Parc du Technopolis, Bâtiment Beta  
3, Avenue du Canada  
F-91940 Les Ulis cedex  
Sales und Service:  
T: +33-1-69 82 48 00  
F: +33-1-69 07 57 38  
info.ctb@leybold.com  
sales.ctb@leybold.com

### Leybold France S.A.S.

Valence Factory  
640, Rue A. Bergès  
B.P. 107  
F-26501 Bourg-lès-Valence Cedex  
T: +33-4-75 82 33 00  
F: +33-4-75 82 92 69  
marketing.vc@leybold.com

## Großbritannien

### Leybold UK LTD.

Unit 9  
Silverglade Business Park  
Leatherhead Road  
Chessington  
Surrey (London)  
KT9 2QL  
Sales:  
T: +44-13-7273 7300  
F: +44-13-7273 7301  
sales.ln@leybold.com  
Service:  
T: +44-13-7273 7320  
F: +44-13-7273 7303  
service.ln@leybold.com

### Italien

### Leybold Italia S.r.l.

Via Trasimeno 8  
I-20128 Mailand  
Sales:  
T: +39-02-27 22 31  
F: +39-02-27 20 96 41  
sales.mi@leybold.com  
Service:  
T: +39-02-27 22 31  
F: +39-02-27 22 32 17  
service.mi@leybold.com

### Niederlande

### Leybold Nederland B.V.

Floridadreef 102  
NL-3565 AM Utrecht  
Sales und Service:  
T: +31-(30) 242 63 30  
F: +31-(30) 242 63 31  
sales.ut@leybold.com  
service.ut@leybold.com

### Schweiz

### Leybold Schweiz AG, Pfäffikon

Churerstrasse 120  
CH-8808 Pfäffikon  
Lager- und Lieferanschrift:  
Riedthofstrasse 214  
CH-8105 Regensdorf  
Sales:  
T: +41-44-308 40 50  
F: +41-44-302 43 73  
sales.zh@leybold.com  
Service:  
T: +41-44-308 40 62  
F: +41-44-308 40 60  
service.zh@leybold.com

### Spanien

### Leybold Spain, S.A.

C/. Huelva, 7  
E-08940 Cornellà de Llobregat  
(Barcelona)  
Sales:  
T: +34-93-666 43 11  
F: +34-93-666 43 70  
sales.ba@leybold.com  
Service:  
T: +34-93-666 46 13  
F: +34-93-685 43 70  
service.ba@leybold.com

## Amerika

### USA

### Leybold USA Inc.

5700 Mellon Road  
USA-Export, PA 15632  
T: +1-724-327-5700  
F: +1-724-325-3577  
info.ex@leybold.com  
Sales:  
T: +1-724-327-5700  
F: +1-724-333-1217  
Service:  
T: +1-724-327-5700  
F: +1-724-325-3577

### Brasilien

### Leybold do Brasil Ltda.

Rod. Vice-Prefeito Hermenegildo Tonolli,  
nº. 4413 - 6B  
Distrito Industrial  
CEP 13.213-086 Jundiaí - SP  
Sales und Service:  
T: +55 11 3395 3180  
F: +55 11 99467 5934  
sales.ju@leybold.com  
service.ju@leybold.com

## Asien

### Volksrepublik China

### Leybold (Tianjin) International Trade Co. Ltd.

Beichen Economic  
Development Area (BEDA),  
No. 8 Western Shuangchen Road  
Tianjin 300400  
China  
Sales und Service:  
T: +86-22-2697 0808  
F: +86-22-2697 4061  
F: +86-22-2697 2017  
sales.tj@leybold.com  
service.tj@leybold.com

### Indien

### Leybold India Pvt Ltd.

No. 82(P), 4th Phase  
K.I.A.D.B. Plot  
Bommasandra Industrial Area  
Bangalore - 560 099  
Indien  
Sales und Service:  
T: +91-80-2783 9925  
F: +91-80-2783 9926  
sales.bgl@leybold.com  
service.bgl@leybold.com

### Japan

### Leybold Japan Co., Ltd.

Headquarters  
Shin-Yokohama A.K.Bldg., 4th floor  
3-23-3, Shin-Yokohama  
Kohoku-ku, Yokohama-shi  
Kanawaga 222-0033  
Japan  
Sales:  
T: +81-45-471-3330  
F: +81-45-471-3323  
sales.yh@leybold.com

### Leybold Japan Co., Ltd.

Tsukuba Technical Service Center  
1959, Kami-yokoba  
Tsukuba-shi, Ibaraki-shi 305-0854  
Japan  
Service:  
T: +81-29 839 5480  
F: +81-29 839 5485  
service.iik@leybold.com

### Malaysia

### Leybold Malaysia Leybold Singapore Pte Ltd.

No. 1 Jalan Hi-Tech 2/6  
Kulim Hi-Tech Park  
Kulim, Kedah Darul  
Aman 09000  
Malaysia  
Sales und Service:  
T: +604 4020 222  
F: +604 4020 221  
sales.ku@leybold.com  
service.ku@leybold.com

### Süd Korea

### Leybold Korea Ltd.

3F. Jellzone 2 Tower  
Jeongja-dong 159-4  
Bundang-gu Sungnam-si  
Gyeonggi-do  
Bundang 463-384, Korea  
Sales:  
T: +82-31 785 1367  
F: +82-31 785 1359  
sales.bd@leybold.com  
Service:  
623-7, Upsung-Dong  
Cheonan-Si  
Chungcheongnam-Do  
Korea 330-290  
T: +82-41 589 3035  
F: +82-41 588 0166  
service.cn@leybold.com

### Singapur

### Leybold Singapore Pte Ltd.

8 Commonwealth Lane #01-01  
Singapore 149555  
Singapore  
Sales und Service:  
T: +65-6303 7030  
F: +65-6773 0039  
sales.sg@leybold.com  
service.sg@leybold.com

### Taiwan

### Leybold Taiwan Ltd.

No 416-1, Sec. 3  
Chunghsin Rd., Chutung  
Hsinchu County 310  
Taiwan, R.O.C.  
Sales und Service:  
T: +886-3-500 1688  
F: +886-3-583 3999  
sales.hc@leybold.com  
service.hc@leybold.com

## Headquarter

### Leybold GmbH

Bonner Straße 498  
D-50968 Köln  
T: +49-(0)221-347-0  
F: +49-(0)221-347-1250  
info@leybold.com



www.leybold.com