

Druckminderer

Ventile

Entspannungsstationen

Durchflussmesser

Technik der hochreinen Gase

Anwendungsregeln für korrosive Gase

Umrechnungstabelle

Verträglichkeit Gas - Werkstoffe

Druckminderer für Flaschen der Qualität ALPHAGAZ

Die Druckreduzierventile, allgemein "Druckminderer" genannt, sind Geräte, die den Druck eines Gases auf einen eingependelten Wert absenken. Ferner muss dieser Entspannungsdruck für eine Reihe gegebener Durchflussmengen konstant gehalten werden, auch wenn der Druck der Gasquelle variabel ist (im Fall einer Flasche).

Die Eigenschaften der Druckreduzierventile der Qualität ALPHAGAZ wurden auf Grundlage der Normwerte neu definiert, um den besonderen Anforderungen der Kunden besser gerecht zu werden.

Die ISO-Norm 2503 wurde vom technischen Komitee ISO/TC 44 und den Mitgliedkomitees aus 23 Ländern erstellt. ISO (International Standard Organization) ist die internationale Vereinigung von nationalen Normungsorganisationen.

Eingangs- oder Versorgungsdruck (siehe Kurven auf den folgenden Seiten)

P_1 : Nominaler Eingangsdruck, meistens 200 bar.

P_3 : $2 P_2 + 1$ bar

Eingangsdruck, bei dem die maximale Durchflussmenge und die nachfolgenden Koeffizienten gemessen werden.

P_e : Prüfdruck = $1,5 P_1$

Ausgangs- oder Entspannungsdruck (siehe Kurven auf den folgenden Seiten)

P_2 : normaler Ausgangsdruck (maximal), der dem Nominaldurchfluss entspricht, wenn der Eingangsdruck gleich P_3 ist.

P_4 : Wert des statischen Ausgangsdrucks, der sich durch den Druckanstieg bei der Schliessung ergibt:

$$P_4 \leq 1,3 P_2$$

P_5 : höchster oder niedrigster Wert (je nach Typ des Druckreduzierventils) des dynamischen Ausgangsdrucks, wenn der Versorgungsdruck von P_1 bis P_3 variiert (Flaschenentleerung).

Durchflussmengen (siehe Kurven auf den folgenden Seiten)

Nominales Q: maximale Durchflussmenge für ein gegebenes Gas, im Normalfall Stickstoff, bei einem Eingangsdruck von P_3 und einem Ausgangsdruck von P_2 .

Koeffizienten

R: Druckanstiegskoeffizient für den Ausgangsdruck bei der Schliessung:

$$R = \frac{P_4 - P_2}{P_2}$$

Für die Druckreduzierventile der Qualität ALPHA-GAZ: $R \leq 10\%$ von P_2 (ISO-Norm: $R \leq 30\%$).

I: Ungleichförmigkeitskoeffizient, der die Stabilität während der Entleerung von P_1 bis P_3 anzeigt:

$$I = \frac{P_5 - P_2}{P_2}$$

Für die Druckreduzierventile der Qualität ALPHAGAZ: $R \leq 10\%$ von P_2 (ISO-Norm: $I \leq 30\%$).

f: Zuverlässigkeitskoeffizient (nicht vorhanden in der ISO-Norm):

$$f = \frac{P' - P''}{P}$$

wobei P der gewählte Wert für die Regulierung des Ausgangsdrucks ist und P' sowie P'' die Extremwerte dieses Drucks bei kontinuierlichem oder zeitweiligem Betrieb.

Dieser Koeffizient wird in % des Druckes P drückt, dies bei gleicher Durchflussmenge.

P Eingang = P_3

f = 0,5 % für ein Druckreduzierventil HBS 200

f = 0,1 % für ein Druckreduzierventil DLRS

Verhalten bei Umgebungstemperaturen

Man unterscheidet zwischen den Betriebstemperaturen (normalerweise zwischen -20 °C und $+50\text{ °C}$) und den Lagertemperaturen (von -40 °C bis $+70\text{ °C}$).

Gewisse Produkte wurden speziell für extreme Temperaturen konzipiert. Fragen Sie bei uns nach!

Sicherheitsventile

Alle Hochdruckreduzierventile sind serienmässig mit Sicherheitsventilen ausgestattet, um einen unbeabsichtigten Anstieg des Hinterdrucks zu verhindern.

Der Eichwert ist eingestellt für $P_s = 1,2 P_4$.

Hinweis: Aus Konstruktionsgründen unterscheidet sich der Druck (P_s) bei der Öffnung des Sicherheitsventils vom Druck bei der Schliessung, und zwar ist der Öffnungsdruck in der Regel 10 % höher.

Manometer

Die Reduzierventile sind mit Manometern ausgestattet, deren Messbereich so ausgelegt ist, dass sie mindestens 1,5-mal den maximal zu messenden Eingangs- bzw. Ausgangsdruck aushalten können.

Funktionsprinzip:

P_1 : variabler Vordruck

P_2 : regulierter Sekundärdruck

P_a : Atmosphärendruck

F: Kraft der Entspannungsfeder

f: Kraft der Ventulfeder

S: Fläche der Membrane, des Faltenbalges oder des Kolbens

s_1 : Querschnitt der Sitzbohrung des Ventils

Das Gleichgewicht der auf die Membrane wirkenden Kräfte wird wie folgt ausgedrückt:

$$F + P_a \cdot S = P_2 \cdot S + f + (P_1 - P_2) \cdot s_1$$

Solange P_1 viel grösser als P_2 ist, beträgt der regulierte Sekundärdruck:

$$P_2 = P_a + \frac{F - f}{S} - \frac{s_1}{S} P_1$$

Konsequenzen dieser Gleichung:

1. Einfluss des atmosphärischen Druckes:

Die barometrischen Druckschwankungen wirken sich direkt auf den Sekundärdruck aus.

Der Sekundärdruck kann im allgemeinen nicht unterhalb des Atmosphärendruckes liegen.

Die Evakuierung der Membranaussenseite ($P_a = 0$) ermöglicht:

- die Unabhängigkeit vom Atmosphärendruck. Dieser Aspekt ist bei langen, bzw. wiederholten Arbeitszyklen sehr wichtig;
- das Einstellen von Sekundärdrücken unabhängig vom Atmosphärendruck.

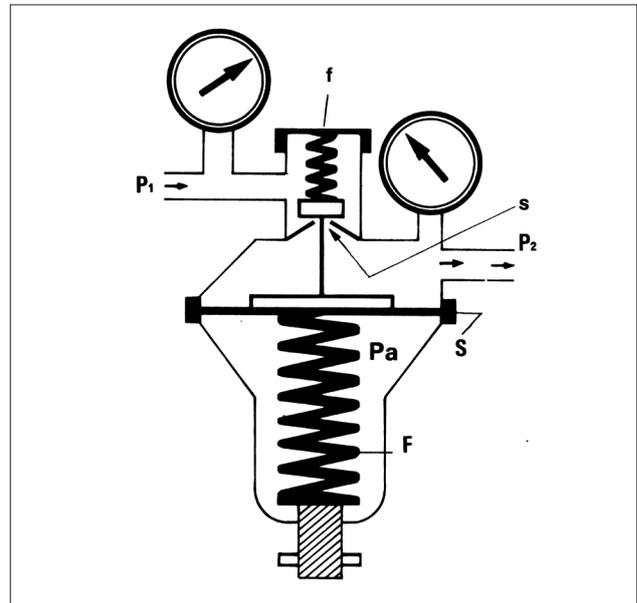
Der Druckminderer-Typen DLRS und DIM erlauben diese Anwendung.

2. Einfluss des Vordruckes – Vorteile der zweistufigen Entspannung:

- Der Sekundärdruck P_2 steigt bei sinkendem Vordruck P_1 .
- Je grösser das Verhältnis zwischen dem Querschnitt der Sitzöffnung und der Membranfläche, um so geringer wird der Einfluss des Vordruckes auf den Sekundärdruck. Je kleiner aber die Sitzöffnung, um so geringer wird die Durchflussleistung.

Bei einem einstufigen Druckminderer ändert sich der Sekundärdruck sehr stark in Abhängigkeit vom Vordruck und der Durchflussleistung.

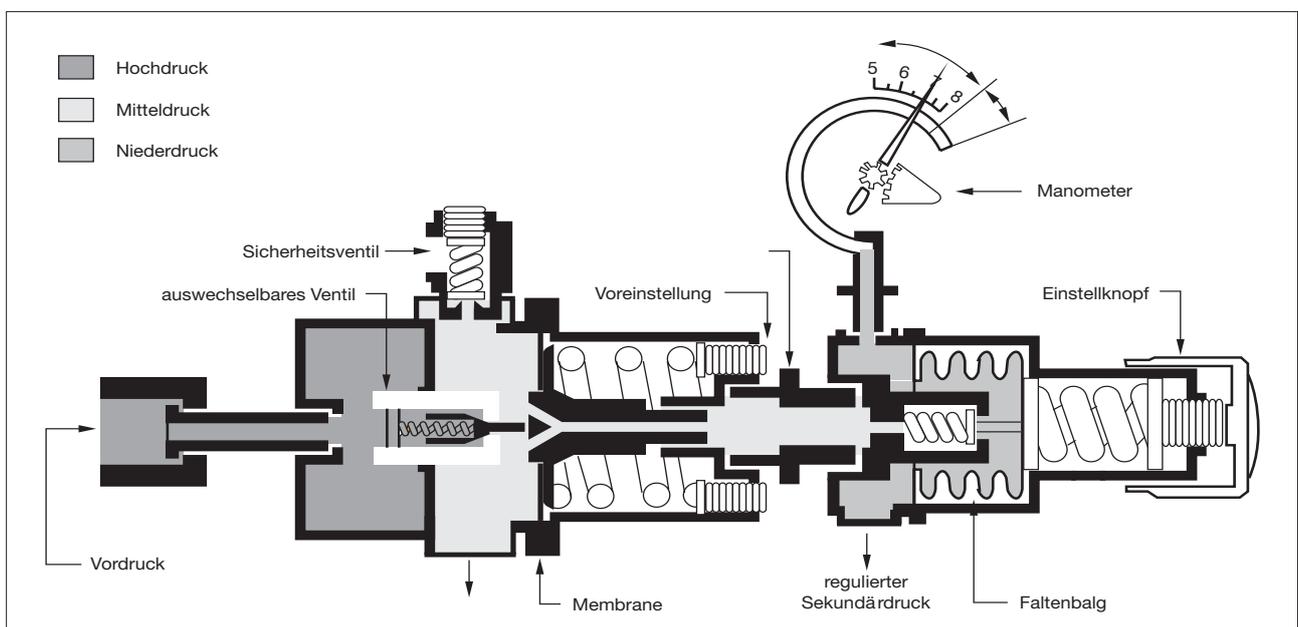
ALPHAGAZ hat für gewisse Geräte die zweistufige Entspannung gewählt. Diese ermöglichen eine sehr gute Regulierung bei grossen Durchflussleistungen und kleinen Dimensionen.



Skizze eines einstufigen Druckminderers

Bemerkung:

Der Druckminderer eignet sich nicht als Absperrorgan. Für diese Funktion sollte sekundärseitig ein Absperrventil angebaut werden.



Skizze eines zweistufigen Druckminderers, Typ HBS

Durchflusskennlinien

Druckregulierung in Funktion des Eingangsdrucks

Druckminderer mit Ventilsitz am Eingangsdruck

1. Einstufige Entspannung bei geringer Durchflussmenge.
2. Einstufige Entspannung bei hoher Durchflussmenge.
3. Zweistufige Entspannung (die Abweichung am Ende der Entleerung entspricht der fehlenden Regulierung der Hochdruckstufe).

Hinweis: Der Druckanstieg während der Entleerung von ALPHAGAZ-Geräten mit einfacher Entspannung liegt 10 % unter dem Hinterdruck. Bei handelsüblichen Druckminderern kann der Anstieg 30 % des Hinterdrucks erreichen.

Schwankung des Ausgangsdrucks in Abhängigkeit von der Durchflussmenge bei konstantem Eingangsdruck

Für den Einstellwert des regulierten Ausgangsdrucks P verzeichnet man bei ansteigender Durchflussmenge einen Druckabfall.

1. Zweistufige Entspannung – grosse Durchflussmenge gute Regulierung.
2. Einstufige Entspannung bei Standarddruckminderern.
3. Einstufige Entspannung in Industriequalität.

Nominale Durchflussmenge

- A. Ein Betriebspunkt
- B. Die nominale Durchflussmenge

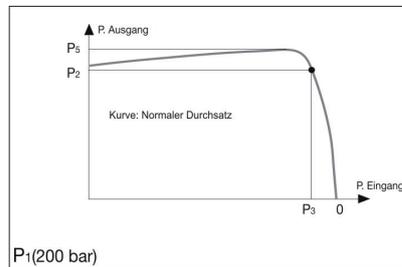
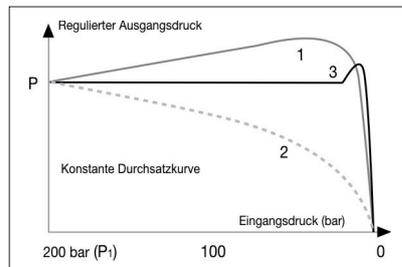
Beispiel: Druckminderer HBS 200-8-3
 $Q_n = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ wenn $P_2 = 8 \text{ bar}$ und $P_3 = 17 \text{ bar}$
 $P_4 \leq 8,8 \text{ bar}$

Wichtig: Im Katalog werden die Durchflussmengen, wenn nicht anders erwähnt, in einer Einheit (m^3/h oder $\text{l}/\text{h} \dots$) angegeben, geltend bei $15 \text{ }^\circ\text{C}$ und $1,013 \text{ bar}$ absolut.

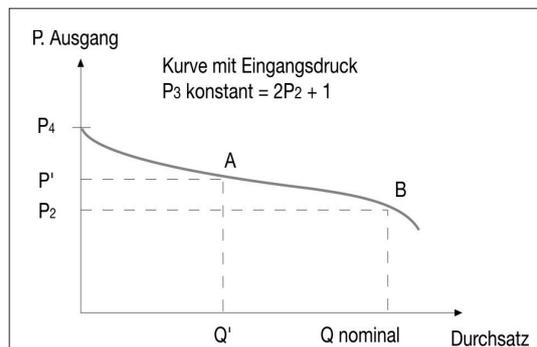
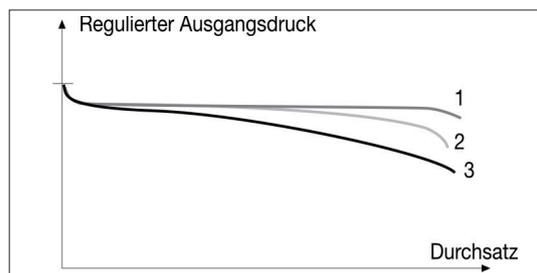
Der absolute Druck ist bezogen auf das absolute Vakuum.

Der relative Druck ist bezogen auf den Umgebungsdruck.

Der absolute Druck (in bar) entspricht dem relativen Druck (in bar) + 1.



Druckverlauf eines Druckminderers mit Ventilsitz in Bezug auf Eingangsdruck (Abnehmender Flaschendruck bei Entleerung)



Erhaltung der Gasreinheit: Membrane oder Faltenbalg

Wenn die Membrane des Reduzierventils aus Elastomer ist, besteht die Gefahr der Gasverunreinigung, indem Luft durch die Membrane tritt und das Gas kontaminiert. Zudem besteht das Risiko, dass Gas selektiv von der Membrane absorbiert wird.

Je grösser die Membrane und je geringer die Durchflussmengen, umso höher ist das Risiko der Gasverunreinigung.

Aus diesem Grund sind alle hochwertigen Druckminderer der Qualität ALPHAGAZ mit einer Membrane oder einem Faltenbalg aus Metall ausgestattet.

Einige Materialien für Reinstgase sind optional mit speziell behandelter Innenoberfläche erhältlich, wodurch das Risiko einer Gasdesorption und eines Partikelaustrittes beseitigt wird.

Montage und Spülen eines Druckminderers

Flaschenmontage

- Anschluss des Druckminderers an die Flasche:

Aus Sicherheitsgründen werden verschiedene, von der Art des Gases oder Gemisches abhängige Verschraubungen zwischen Flaschen und Druckminderern eingesetzt.

Diese Anschlüsse sind nicht verwechselbar, sie entsprechen der Norm SN 219 502 oder NF E 29650 (siehe Gasliste im Kapitel 1).

- Montage des Druckminderers auf der Flasche.

Der Hochdruckanschluss des Druckminderers ist mit einem Kunststoffring ausgerüstet und kann damit von Hand festgezogen werden.

Wenn Flachdichtungen verwendet werden, kann dieser Ring zurückgezogen werden, damit die Sechskantmutter mit einem Gabelschlüssel festgezogen werden kann.

1. Montage der Eingangs- und Abgangsanschlüsse des Druckminderers.
2. Kontrolle der Sauberkeit des Flaschenanschlusses.
3. Rasches Durchspülen des Flaschenventiles (ausgenommen bei Wasserstoff, korrosiven und toxischen Gasen).
4. Ausrichten des Druckminderers auf den Flaschenanschluss und Festziehen von Hand.

Wichtig: Der Gabelschlüssel darf nur bei Flachdichtungen oder schlechtgängigen Gewinden eingesetzt werden.

5. Kontrolle, ob das Handrad der Druckeinstellung am Druckminderer gelöst (herausgeschraubt) ist.
6. Verbinden der Ausgangsverschraubung des Druckminderers mit dem Verbraucher.
7. Für die Inbetriebnahme bitte den Abschnitt «Spülen des Druckminderers» beachten.

Spülen des Druckminderers

Klassisches Vorgehen (Bild 1)

A. Vorgängige Kontrollen:

1. Das Flaschenventil muss geschlossen sein.
2. Sicherstellen, dass
 - der Druckminderer leicht geöffnet ist (Drehen des Handrades um einige Umdrehungen nach rechts),
 - das Spülventil offen ist,
 - das Ventil zum Verbraucher geschlossen ist,
 - die Zuleitung zum Verbraucher unter Druck steht.
3. Flaschenventil leicht öffnen, sofort wieder schliessen und das Gas durch das Spülventil bis zur Nullstellung der Manometer abfließen lassen.
4. Schliessen des Spülventils.

Achtung: Mit brennbaren Gasen ist der Punkt 3 unbedingt durchzuführen, bevor zu B) geschritten wird.

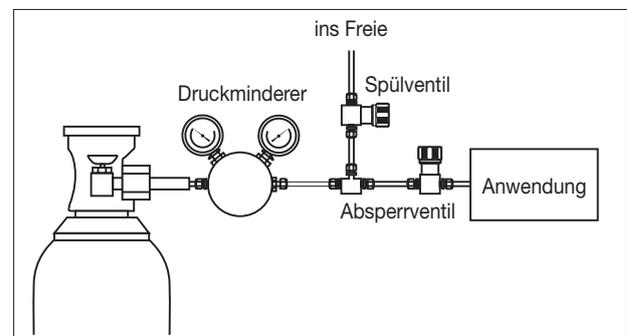
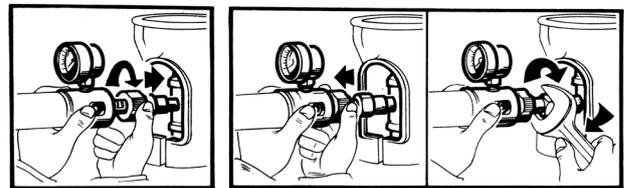


Bild 1

Bemerkung:

Der Druckminderer eignet sich nicht als Absperrorgan. Für diese Funktion sollte sekundärseitig ein Absperrventil angebaut werden.

B. Druckaufbau und Entleerung durch Abgabe an die Umgebungsluft

1. Das Flaschenventil langsam öffnen und sofort wieder schliessen, damit das Gas in der Flasche nicht durch eine Rückdiffusion der im Druckminderer vorhandenen Restluft verunreinigt werden kann. (Der Flaschendruck darf nicht erreicht werden: Druck auf dem Manometer für den Eingangsdruck ablesen.)
2. Ungefähr 1 Minute warten (Verdünnung der Luft im Gas).
3. Das Spülventil öffnen, damit das Gas-Luft-Gemisch entweichen kann, und es dann wieder schliessen. (Der Umgebungsdruck darf nicht erreicht werden: Druck auf dem Manometer für den Ausgangsdruck ablesen).
4. Die Schritte 1-2-3, wie oben beschrieben, 3- bis 5-mal wiederholen.

C. Inbetriebnahme

1. Das Flaschenventil nach und nach öffnen, ohne es in geöffneter Position zu arretieren.
2. Den Entspannungsdruck auf den gewünschten Wert einstellen.
3. Das Betriebsventil langsam öffnen, um Vibrationen und Druckschläge zu vermeiden.
4. Eventuell den Sekundärdruck neu regeln

Varianten

- Vorgängige Spülungen mit Argon (Bild 2)

Vor dem Druckminderer wird ein Spülssystem platziert. Die Schritte A.3 und B.1-B.3 werden mit Argon ausgeführt (HD-Versorgungsventil anstelle des Gases der zu verwendenden Flasche).

- Entleerung unter Vakuum ohne Druckaufbau (Bild 3)
- Wenn das Gas nicht an die Umgebungsluft abgegeben und kein Spülgas verwendet werden kann, muss die Luft durch Erzeugung eines Vakuums entfernt werden. Eine Vakuumpumpe wird in den Entlüftungskreislauf integriert. Nach Durchführung der Schritte A.1, A.2 und A.3 muss während ca. zehn Minuten ein Vakuum

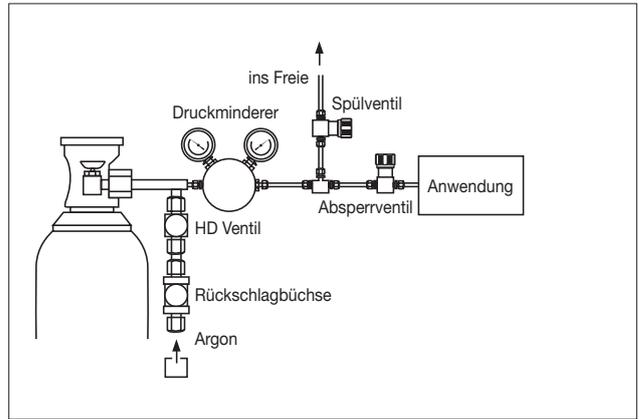


Bild 2

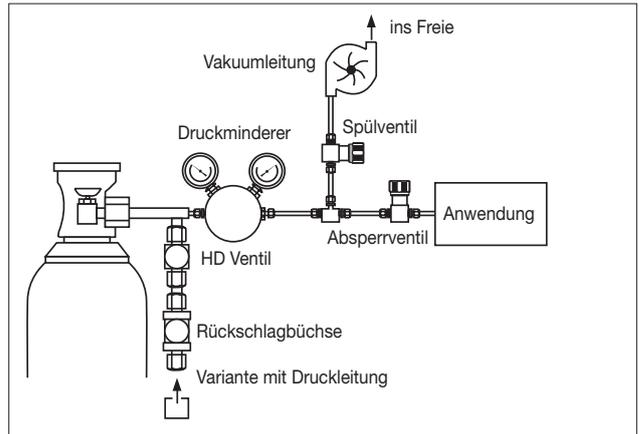


Bild 3

erzeugt und anschliessend bei geschlossenem Entlüftungsventil die Schritte unter Punkt C ausgeführt werden.

- Entleerung unter Vakuum mit Druckaufbau des Argons (Bild 3).

Eine Vakuumpumpe, ein T-Stück und ein HD-Versorgungsventil werden wie auf dem Bild beschrieben platziert. Nach Durchführung der Schritte A.1, A.2 und A.3 ein Vakuum erzeugen und in einem Abstand von ein paar Minuten mehrmals Argon (HD-Versorgungsventil) einströmen lassen.

Zusammenfassung: Die wichtigsten Parameter bei der Auswahl eines Druckminderers

Verwendetes Gas	→ Neutral <input type="checkbox"/> Brennbar <input type="checkbox"/>	Oxidierend <input type="checkbox"/>	Korrosiv <input type="checkbox"/> Toxisch <input type="checkbox"/>
Gasreinheit	→ Ultra rein <input type="checkbox"/> rein <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>	
Eingangsdruck	→ Wert des Eingangsdruckes <input type="text"/> bar	Hochdruck > 50 bar <input type="checkbox"/>	Niederdruck 50 bar <input type="checkbox"/>
Ausgangsdruck	→ Wert des Ausgangsdruckes min. <input type="text"/> bar	Wert des Ausgangsdruckes max. <input type="text"/> bar	Regulierbar <input type="checkbox"/> Fix <input type="checkbox"/>
Durchsatz	→ Wert des Durchsatzes <input type="text"/> ms/h	für Eingangsdruck <input type="text"/> bar	und Ausgangsdruck <input type="text"/> bar
Vakuum	→ Vakuum regulierung <input type="checkbox"/>		Vakuumresistent (Spülung) <input type="checkbox"/>
Regulierung	→ zweistufig <input type="checkbox"/>	einstufig <input type="checkbox"/>	
Material	→ Messing <input type="checkbox"/>	Edelstahl <input type="checkbox"/>	
Sicherheitsventil	→ Nicht kanalisierbar <input type="checkbox"/>	kanalisierbar <input type="checkbox"/>	Automatische Dekompression integriert <input type="checkbox"/>
Eingangsversch.	→ Auf Flaschentyp Verschraubung je nach Gasart <input type="checkbox"/>	auf Flasche mit Spülssystem <input type="checkbox"/>	auf Rohrleitung <input type="checkbox"/>
Ausgangsversch.	→ Klemmringverschraubung auf das Rohr <input type="text"/> mm	Andere <input type="checkbox"/>	

Ventile der Qualität ALPHAGAZ

Für Hightech-Anwendungen, die eine Gasversorgung mit hohem Reinheitsgrad benötigen, ist die Wahl der geeigneten Ventile äusserst wichtig.

Die Hauptaufgaben der Ventile sind:

- *Erhaltung der Gasreinheit*

Durch die Verwendung von Ventilen mit Faltenbalg und Metallmembrane wird die Gasreinheit erhalten. Für ultrareine Gase empfiehlt es sich, Ventile aus Edelstahl zu verwenden.

- *Transfer korrosiver und toxischer Gase*

Die Ventile mit Faltenbalg und Metallmembrane sind dafür sehr gut geeignet. Man muss jedoch speziell auf die Qualität der Materialien achten, die mit dem Gas in Kontakt kommen: Membrane, Faltenbalg, Dichtungen, Ventilsitz, Klappe...

- *Hochdruckversorgung von Gasen*

Bei gewissen Gasen unter hohem Druck muss auf die Bauweise der Ventile geachtet werden. Zum Beispiel dürfen Kugelhähne mit Vierteldrehung für Sauerstoff bei einem Druck von über 20 bar nicht verwendet werden.

- *Die Leitungsabspernung gewährleisten oder die Durchflussmenge regulieren*

Die Membranventile ("Absperrventile" genannt) eignen sich sehr gut, um Gasversorgungen zu unterbrechen. Zur präzisen Regulierung der Durchflussmengen wählt man vorzugsweise Nadelventile (auch "Dosierventile" genannt).

- *Erreichen einer bestimmten Gasdurchflussmenge*

All diesen Ventilen ist ein Koeffizient K_v für die Durchflussmenge zugeordnet (gemäss der Norm NF 29 - 312), mit dem die maximale Durchflussmenge oder der Druckverlust evaluiert werden kann.

Die Durchflussmenge wird anhand der folgenden Formel berechnet:

$$Q = 547 K_v \sqrt{\frac{P_1 (P_1 - P_2)}{\rho_0 T_1}}$$

Q = Gasdurchfluss in m^3/h bei 1,013 bar und 15 °C

P_1 = Eingangsdruck in bar absolut

P_2 = Ausgangsdruck in bar absolut (Druck in bar absolut = Druck in bar relativ +1)

ρ_0 = Gasdichte in kg/m^3 bei 1,013 bar und 0°C (siehe folgende Tabelle)

T_1 = Absolute Eingangstemperatur in $K = 273 + t$ (t in °C)

K_v = Durchflusskoeffizient in Kubikmeter Wasser pro Stunde * (Dichte 1), mit einem Druckverlust von 1 bar

(das angelsächsische C_v steht mit K_v in folgender Beziehung: $C_v = 1,16 K_v$)

Gas	Volumen (kg/m^3 bei 0°C, 1,013 bar)
Acetylen	1,17
Luft	1,293
Ammoniak	0,76
Argon	1,78
Stickstoff	1,26
Kohlendioxid	1,98
Helium	0,19
Wasserstoff	0,085
Methan	0,71
Sauerstoff	1,43
Propan	1,98
Distickstoffoxid	1,98
Treten	1,86

* Der Koeffizient K_v zu m^3/h Wasser ist gleich 0,06 mal der K_v in liter/min. Wasser.

Damit die Durchflussmenge konstant bleibt, braucht es:

- einen konstanten Vor- oder Eingangsdruck. Dieser kann durch den Einsatz eines hochwertigen Druckminderers vor dem Ventil erreicht werden;
- einen konstanten Hinter- oder Ausgangsdruck, was bedingt, dass der Druckverlust vor dem Ventil konstant ist;
- einen konstanten Durchgangsquerschnitt, Kennzeichen eines hochwertigen Ventils;
- eine konstante Temperatur.

Der absolute Druck ist bezogen auf das absolute Vakuum.

Der relative (oder effektive Druck) ist bezogen auf den Umgebungsdruck

Der absolute Druck (in bar) entspricht dem relativen Druck (in bar) +1.

Zusammenfassung: Die wichtigsten Parameter bei der Auswahl eines Ventils

Verwendetes Gas	→ Neutral	<input type="checkbox"/>	Oxidierend	<input type="checkbox"/>	Korrosiv	<input type="checkbox"/>	Toxisch	<input type="checkbox"/>
Gasreinheit	→ Ultrarein	<input type="checkbox"/>	Rein	<input type="checkbox"/>	Industriell	<input type="checkbox"/>		
Eingangsdruck	→ Wert des Eingangsdruckes	<input type="text" value="bar"/>	Hochdruck > 50 bar	<input type="checkbox"/>	Niederdruck ≤ 50 bar	<input type="checkbox"/>		
Ausgangsdruck	→ Wert des Ausgangsdruckes	<input type="text" value="bar"/>						
Durchsatz	→ Wert des Durchsatzes	<input type="text" value="m³/h"/>	Wert des Kv	<input type="text"/>	Unterbrechung des Durchsatzes	<input type="checkbox"/>	Regulierung des Durchsatzes	<input type="checkbox"/>
Regulierungssystem	→ Manuelle Umdrehung	<input type="checkbox"/>	Manuelle 1/4 Drehung	<input type="checkbox"/>	Pneumatisch	<input type="checkbox"/>	Elektrisch	<input type="checkbox"/>
Material	→ Messing	<input type="checkbox"/>	Edelstahl	<input type="checkbox"/>				
Verschraubung	→ Eingang Klemmring	<input type="text" value="mm"/>	Ausgang Klemmring	<input type="text" value="mm"/>				

Ventilspülung

Die Ventile sind Bestandteile der Versorgungsanlagen. Für eine effektive Spülung der Ventile sollten die in diesem Kapitel beschriebenen Spültechniken angewandt werden.

Die Gaszentralen der "Qualität ALPHAGAZ"

Diese Gasversorgungssysteme bestehen aus zwei gemeinsamen Rampen, die mit einer oder mehreren Flaschen verbunden sind, sowie einer Entspannungstation, mit der man automatisch von der in Betrieb stehenden Rampe auf die Reserve rampe wechseln kann, wenn das Gas langsam zur Neige geht. Bei den Zentralen ist der Ausgangsdruck des Gases generell kleiner oder gleich 10 bar.

Die Bestandteile der Zentrale sind so konzipiert, dass die Gasqualität erhalten bleibt. Die Ventile und Druckminderer verfügen über eine Metallmembrane oder einen Faltenbalg.

Man unterscheidet zwei Arten von Zentralen:

1. die Zentrale mit automatischer Umschaltung (Schema 1)
2. die Zentrale mit automatischer Umschaltung mit Rückstellung (Schema 2)

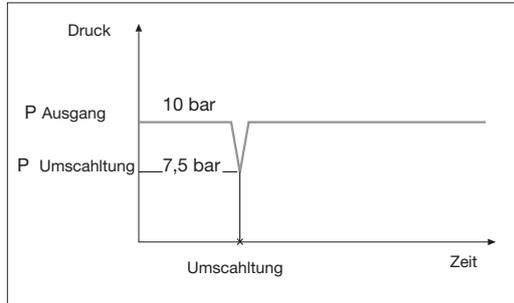
Die erste wechselt automatisch auf die Reservequelle, wenn das Gas der Versorgungsquelle ausgeht; es ist keine manuelle Intervention nötig. Der Ausgangsdruck bleibt konstant (Schema 1).

Die zweite verfügt über denselben Automatismus, jedoch sinkt der Ausgangsdruck bei der Umschaltung um einige bar (2 bis 3 bar bei der Version mit einem Ausgangsdruck von 10 bar). Um den Anfangsdruck wieder herzustellen, muss ein Rückstellungshebel betätigt werden (Schema 2).

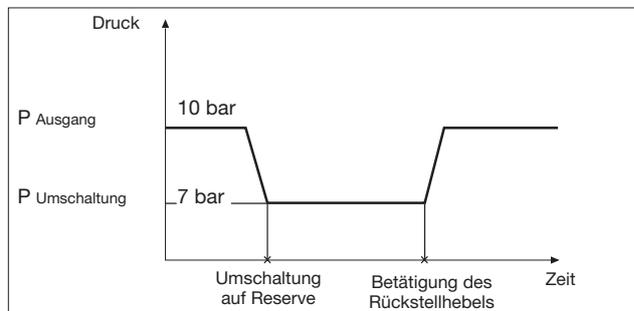
Durchflussleistung der Zentralen

Die nominale Durchflussleistung der Zentralen wird in m³ Stickstoff pro Stunde angegeben, bei einem Eingangsdruck, der 2-mal dem maximalen Ausgangsdruck des Druckminderers der Versorgungsquelle plus 1 bar entspricht.

Die Durchflussmenge hängt von der Anzahl Flaschen (bzw. Bündel) ab, die an die Zentrale angeschlossen sind, aber auch von den physikalischen Eigenschaften des Gases sowie von dessen Eigenschaften in Bezug auf die Gebindeentnahme. Dies gilt für Acetylen und verflüssigte Gase in Flaschen.



Schema 1: Entgegengesetzter Zyklus einer Automatischen Zentrale

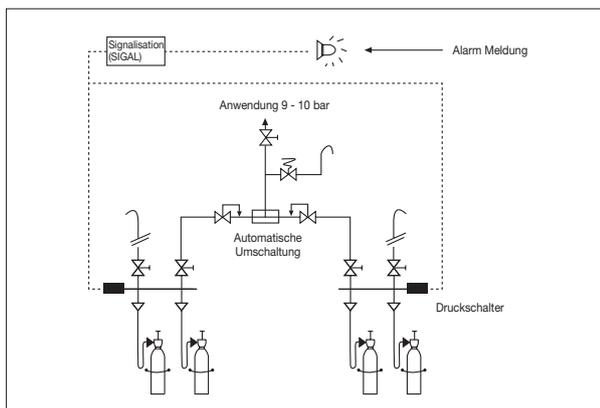


Schema 2: Entgegengesetzter Zyklus einer automatischen Zentrale mit manueller Rückstellung

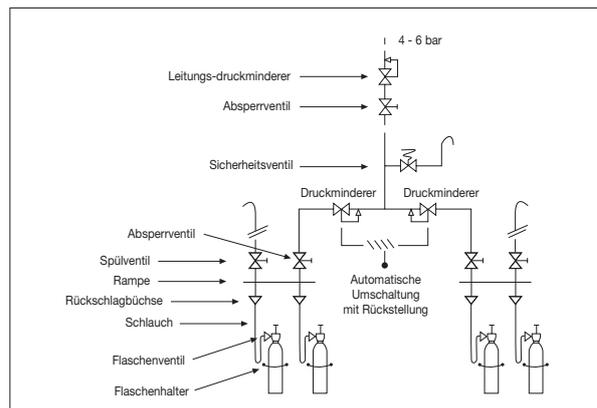
Wichtiger Hinweis:

Auf den beiden Schemen werden die Ausgänge der Sicherheitsventile und der Spülventile zusammengeführt abgeleitet.

Die Ausstattung der Zentralen ermöglicht die Ableitung dieser Entlüftungen, die bei der Versorgung mit Risikogasen (brennbare, korrosive, toxische Gase etc.) zwingend sind.



Prinzip einer automatischen Zentrale



Prinzip der automatischen Zentrale mit manueller Rücksetzung

Die Module

Die Module sind vereinfachte Gaszentralen. Sie bestehen aus einer einzigen Rampe und ermöglichen eine zentrale Gasversorgung mehrerer Verbraucherstellen. Diese Module bieten nicht dieselbe Gasversorgungssicherheit wie die Zentralen, da ein automatisches Umschaltssystem für den Wechsel von der in Betrieb stehenden Versorgungsquelle auf eine Reservequelle fehlt.

Die Signalisierungen

Die Signalisierungen mit Anzeigelampe oder akustischem Alarm sind unverzichtbares Zubehör der Gaszentralen und Module: Sie informieren den Benutzer darüber, dass die Versorgungsquelle zur Neige geht.

Vorteile der Gaszentralen und -module

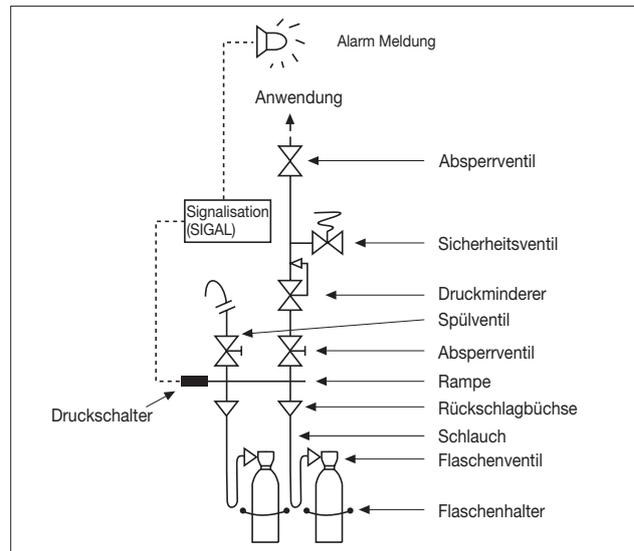
Im Vergleich zur individuellen Flaschenversorgung aller Verbraucherstellen bietet die Gasversorgung durch ein Leitungsnetz folgende Vorteile:

Wirtschaftlichkeit

- Reduktion des Flaschenparks
- Reduktion des Personalaufwands, der durch die Handhabung der Flaschen verursacht wird
- Platzgewinn in den Räumen
- Bessere Nutzung des Flaschenbestands

Sicherheit

- Möglichkeit, die Flaschen in Spezialräumen oder draussen zu lagern
- Weniger Handgriffe und Reduktion der damit verbundenen Risiken



Skizze eines Moduls

- Verbesserung der Sicherheit, da die Flaschen nur von ausgebildetem Personal gehandhabt werden
- Stark vermindertes Risiko eines Gasversorgungsunterbruchs in der Produktion

Flexibilität in der Anwendung

- Einfache Handhabung für den technischen Dienst

Spülung der Gaszentralen und der Module

Die Zentralen sind Bestandteile der Versorgungsanlagen. Für eine effektive Spülung der Zentralen und Module empfehlen wir die in diesem Kapitel beschriebenen Spültechniken anzuwenden.

Zusammenfassung: Die Parameter bei der Auswahl einer Zentrale oder eines Moduls

Verwendetes Gas	→ Neutral <input type="checkbox"/>	Brennbar <input type="checkbox"/>	Oxidierend <input type="checkbox"/>	Korrosiv <input type="checkbox"/>	Toxisch <input type="checkbox"/>
Gasreinheit	→ Ultrarein <input type="checkbox"/>	Rein <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>		
Eingangsdruck	→ Wert des Eingangsdruckes	<input type="text"/>	bar		
Ausgangsdruck	→ Wert des Ausgangsdruckes	<input type="text"/>	bar		
Durchsatz	→ Wert des Durchsatzes (Eingangs- und Ausgangsdruck siehe oben)	<input type="text"/>	m ³ /h		
Funktionalität	→ Manuel <input type="checkbox"/>	Halbautomatische Umschaltung <input type="checkbox"/>	Automatisch <input type="checkbox"/>		
Material	→ Messing <input type="checkbox"/>	Edelstahl <input type="checkbox"/>			
Eingangsanschluss	→ Schlauch <input type="checkbox"/>		Klemmringverschraubung je nach Flaschentyp <input type="checkbox"/>		
Ausgangsanschluss	→ Klemmringverschraubung Ø Rohr	<input type="text"/>	mm	Andere <input type="checkbox"/>	
Option	→ Signalisation (SIGAL)	<input type="checkbox"/>			

Durchflussmesser wie die im Katalog vorgestellten "Dynamal" und "Dynaval" wurden für ein bestimmtes Gas und für genaue Druck- und Temperaturbedingungen geeicht.

Die Gradeinteilungen ergeben für jedes Gas eine Durchflussmenge pro Zeiteinheit, bezogen auf einen Druck von 1,013 bar und eine Temperatur von 20°C.

Werden diese Durchflussmesser unter anderen Bedingungen (Gas, Druck, Temperatur) verwendet, als die Bedingungen, die für die Eichung angegeben sind, so entspricht der reale Durchfluss dem abgelesenen Durchfluss, multipliziert mit dem entsprechenden Korrekturkoeffizienten. Dieser kann anhand der nachfolgend aufgeführten Berechnungsformel errechnet werden.

Korrektur aufgrund der Natur des Gases: C_g

Verwendetes Gas	Koeffizient C_g				
	Kalibriergase des Durchflussmessers				
	Luft	Sauerstoff	Stickstoff	Argon	Wasserstoff
Acetylen	1,05	1,10	1,03	1,23	0,28
Kohlendioxid	0,81	0,85	0,79	0,95	0,21
Argon	0,85	0,90	0,84	1,00	0,22
Stickstoff	1,01	1,07	1,00	1,19	0,27
Butan	0,70	0,73	0,68	0,82	0,18
Ethan	0,98	1,03	0,96	1,14	0,26
Ethylen	1,01	1,07	0,99	1,19	0,27
Helium	2,69	2,83	2,64	3,16	0,71
Wasserstoff	3,81	3,99	3,74	4,46	1,00
Methan	1,34	1,41	1,32	1,58	0,35
Sauerstoff	0,95	1,00	0,93	1,12	0,25
Propan	0,81	0,85	0,79	0,95	0,21
Propylen	0,83	0,87	0,81	0,97	0,22
Distickstoffoxid	0,81	0,85	0,79	0,95	0,21

$$C_g = \sqrt{\frac{d_e}{d_u}}$$

d_e = Dichte des Kalibriergases bezogen auf Luft

d_u = Dichte des verwendeten Gas im Vergleich zu Luft

Korrektur durch den Druck in der Messkammer: C_p

Druck in bar	Koeffizient C_p	
	Typ des Durchflussmessers	
	Dynamal	Dynaval
0	1,00	
0,1	1,05	
0,2	1,09	
0,5	1,22	
0,8	1,34	
1	1,41	0,71
1,5	1,58	0,79
2	1,73	0,87
2,5	1,87	0,94
3	2,00	1,00
3,5	2,12	1,06
4	2,23	1,12
5	2,45	1,22
6	2,64	1,32

$$C_p = \sqrt{\frac{P_r + 1}{P_e + 1}}$$

P_r = Tatsächlicher, relativer Druck in der Messkammer

P_e = Relativer druck bei der Kalibrierung des Durchflussmesser

Der Druck in der Messkammer kann entnommen werden:

- für Dynamal: nach dem Durchflussmesser
- für Dynaval: vor dem Durchflussmesser

Alle Drücke sind in relativen Werten angegeben, das heisst sie werden im Verhältnis zum Umgebungsdruck ausgedrückt.

Korrektur aufgrund der Temperatur in der Messkammer: C_t

Temperatur (°C)	-20	-15	-10	-5	0	5	10
Koeffizient C_t	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02
Temperatur (°C)	15	20	25	30	35	40	50
Koeffizient C_t	1,01	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95

$$C_t = \sqrt{\frac{20+273}{t+273}}$$

t = Temperatur der Gase in Grad Celsius

Der reale Durchfluss entspricht dem abgelesenen Durchfluss, multipliziert mit einem Korrekturkoeffizienten: $C = C_g \times C_p \times C_t$

Anlagen der Gasversorgung durch Rohrleitungen

Druckminderer, Ventile, Zentralen und Module sind die grundlegenden Elemente von Installationen für die Gasversorgung. Die Qualitäten der verschiedenen Materialien reichen nicht aus um die hochreinen Gase von der Flasche bis zum Gebrauchsort zu befördern. Es müssen besondere Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, bei dem Bau der Anlagen, bei der Wahl der Verbindungen, Rohrleitungen und bei der Inbetriebnahme der Anlage.

Wichtigste Ursachen der Gasverschmutzung

Luft in der Installation

Vor der Inbetriebnahme einer Installation oder beim Flaschenwechsel befindet sich Luft im System. Lange Leitungen und viele Toträume (beispielsweise Manometerfedern) erschweren das Spülen (Bild 1). Die Durchfluss-Spülung einer Installation kann Stunden dauern.

Mangelnde Dichtheit der Installation

Wenn eine Installation nicht perfekt dicht ist (poröses Material), kann Gas austreten. Gleichzeitig gelangt aber auch Luft in das System, auch wenn dieses unter einem höheren Druck als die Atmosphäre steht. Dieses erstaunliche Phänomen wird «Retrodiffusion» genannt und entsteht durch die molekulare Diffusion eines Niederdruck-Gasgemisches in ein Gas unter höherem Druck. (Bild 2)

Die Retrodiffusion kann durch den Vergleich der Partialdrücke der einzelnen Gase in den getrennten Systemen erklärt werden. Für den Anwender äussert sie sich in der Qualitätsverminderung des Gases, die mit sinkendem oder diskontinuierlichem Gasverbrauch stärker wird.

In einem dichten Metallrohr wird keine Gasverschmutzung festgestellt. Dagegen führt bereits eine Pore von 20 μ sowie die Anwendung von Polymeren und Elastomeren zu mehr oder weniger starken Gasverunreinigungen.

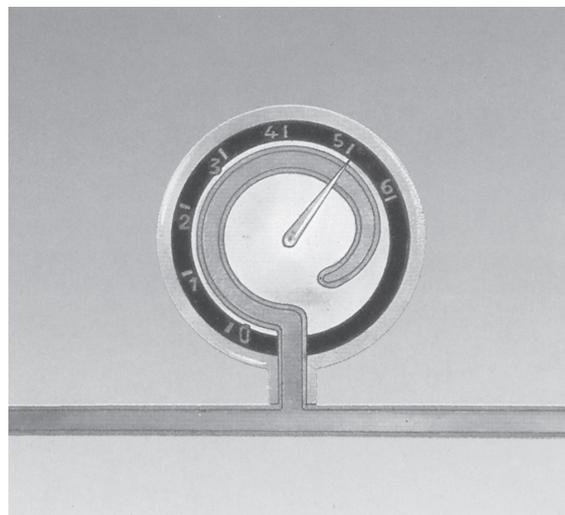


Bild 1

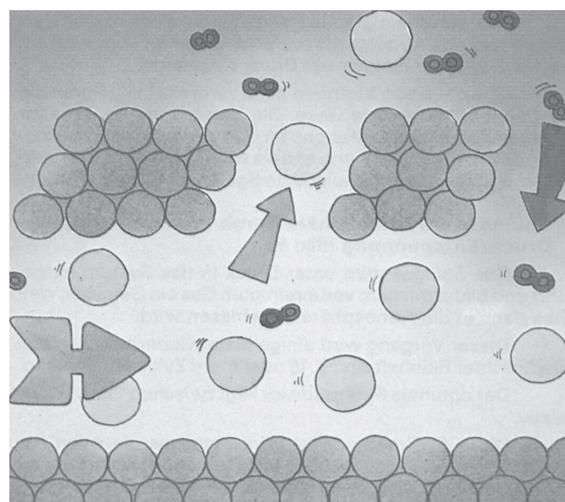


Bild 2

Verunreinigung durch Luftsauerstoff von reinem Argon in einem Rohr von: Länge 1 m, \varnothing 6 mm Durchflussmenge 5 l/h

Art des Materials	(Richtwert in ppm)
Mylar	0,02
Nylon 6	0,05
Kel-F	0,6
Perbunan	5,3
Neopren	6,9
Polyethylen	11
Teflon (PTFE)	13
Polyvinyl	27
Naturgummi	40
Edelstahl	0
Kupfer	0
Metallrohr mit 20 μ Pore	20

Selektive Molekularadsorption von Gasen und nachfolgende Desorption an den Innenwänden von Installationen

An einer Fläche können verschiedene Interaktionen mit Gas auftreten: physikalische oder chemische Adsorption, Desorption...; gewisse Moleküle, wie beispielsweise die des Wassers, besitzen die Eigenschaft, von den berührten Oberflächen adsorbiert zu werden. Als Folge davon tritt bei Reingasinstrumenten eine Desorption und damit eine Verunreinigung des Gases auf (Bild 3), die sehr lange anhalten kann. Die Mehrzahl der Kunststoffe desorbieren.

Mangelnde Sauberkeit der Innenflächen von Installationen

Gewisse Substanzen mit hohen Dampfdrücken, wie Öle, Fette, gewisse Kunststoffe... verunreinigen die Reingase, mit welchen sie in Kontakt kommen.

Partikel-Verunreinigung

Die dynamische Wirkung des Gases (Durchfluss...) zusammen mit anderen Phänomenen, wie Vibrationen, Oberflächenreibung, kann zu Ablösungen von mehr oder weniger stark haftenden Oberflächenpartikeln führen.

Lösungen zur Vermeidung von Gasverunreinigungen

Spültechnik

Das Ziel des Spülens ist die Entfernung von Luft und allen Restverunreinigungen aus Installationen vor der Inbetriebnahme, nach dem Flaschenwechsel und nach jeder Kontaminierung.

Vor dem Spülen muss die Installation perfekt dicht und sauber sein. Die Spülgase müssen extrem rein sein: Stickstoff ist weit verbreitet aber Argon und Helium haben eine bessere Wirkung. Je höher die Unreinheit desto wichtiger ist die Entlüftung. Man unterscheidet mehrere Spültechniken:

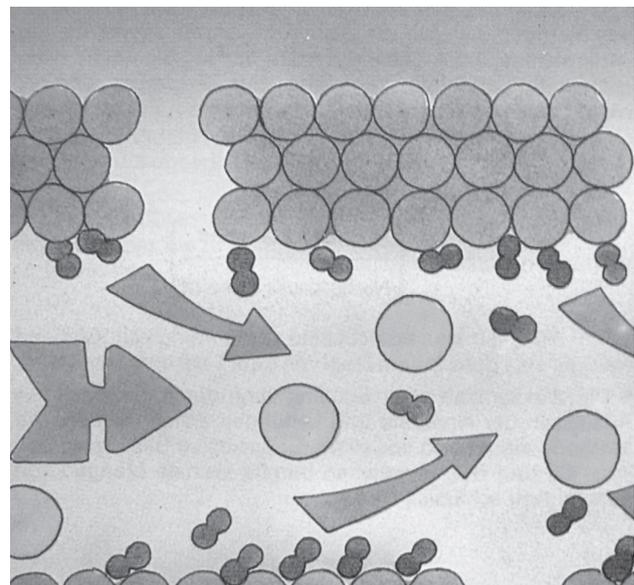


Bild 3

a) Verdrängungsspülen oder Kolbeneffekt

Das Spülgas fließt gleichförmig durch das System und verdrängt das verunreinigte Gas durch Kolbenwirkung. Der Abfluss geschieht unter Atmosphärendruck, ohne nennenswerten Verdünnungseffekt. Diese Methode eignet sich vor allem für das Spülen grosser Volumina (Gastanks, Gasometer...)

b) Kontinuierliches Spülen (Bild 4)

Das verunreinigte Gas wird durch einen kontinuierlichen Fluss eines Spülgases entfernt. Üblicherweise wird ein inertes Gas unter einigen bar Druck eingesetzt. Obwohl diese Methode sehr verbreitet ist, eignet sie sich nicht für hochreine Gase. Die Versorgung dauert sehr lange, benötigt grosse Mengen an Gas und zeigt oft unbefriedigende Wirkung. Nur wenn andere Methoden nicht anwendbar sind, sollte das kontinuierliche Spülen eingesetzt werden.

c) Spülen in die Atmosphäre durch Wechselwirkung Druck/Entspannung (Bild 5)

Das Spülgas wird unter Druck in das System eingeführt und bildet mit dem verunreinigten Gas ein Gemisch, welches dann in die Atmosphäre abgeblasen wird. Dieser Vorgang wird einige Male wiederholt: Je nach gewünschter Reinheit sind 5,10 oder mehr Zyklen notwendig. Der optimale Spülgasdruck liegt zwischen 1 und 10 bar relativ. Diese Spülmethode ist wirksamer als die oben beschriebene hinsichtlich der Schnelligkeit und Restverunreinigung. Sie eignet sich besonders für komplexe Systeme mit Toträumen (Druckminderer...).

d) Spülen durch Wechselwirkung Druck/Entspannung mit Evakuierung

Es handelt sich um eine Variante der oben beschriebenen Methode, die sich vor allem für Systeme eignet, die nur unter kleinen Druck gesetzt werden dürfen. Sie ist die wirksamste Spülmethode, kann aber nur eingesetzt werden, wenn das System vakuumfest und mit einem Evakuierungsanschluss versehen ist. Hohe Vakua sind nicht notwendig.

Bemerkungen:

$$\text{Verdünnungsfaktor} = \left(\frac{\text{Hochdruck absolut}}{\text{Niederdruck absolut}} \right)^{\text{Anzahl Zyklen}}$$

Beispiel: Man erreicht eine Verdünnung von 100 % auf weniger als 1 ppm, indem 8mal von 6 auf 1 bar entspannt wird.

- Die Wirksamkeit einer Spülung kann durch gleichzeitiges Ausheizen der Apparate und Leitungen erzielt werden. Die Methode eignet sich vor allem für korrosive Gase (zum Beispiel Cl_2 und HCl) in welchen bereits kleinste Mengen von Feuchtigkeit schädlich sind.

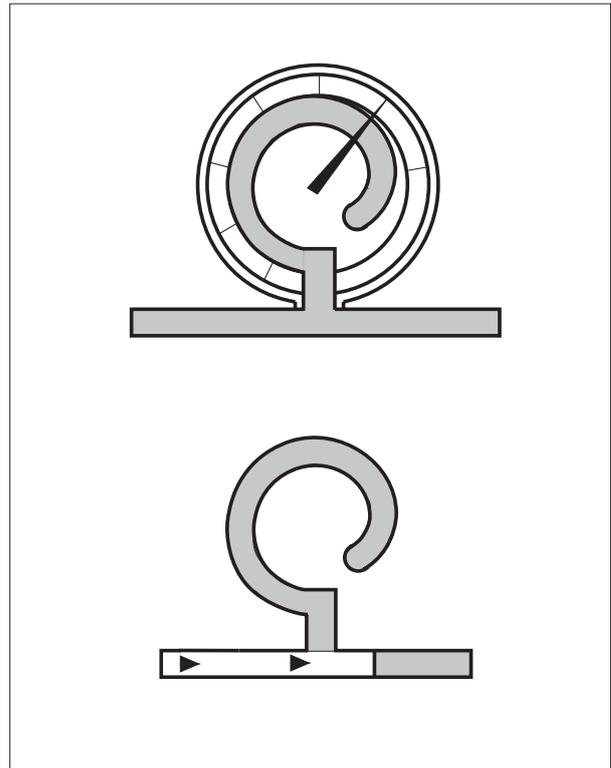


Bild 4

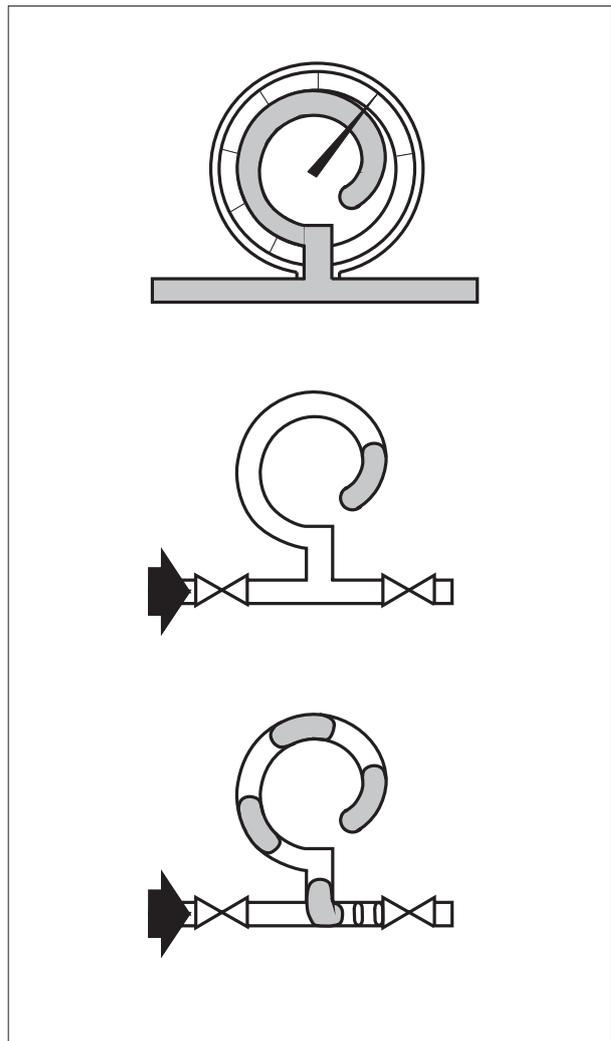


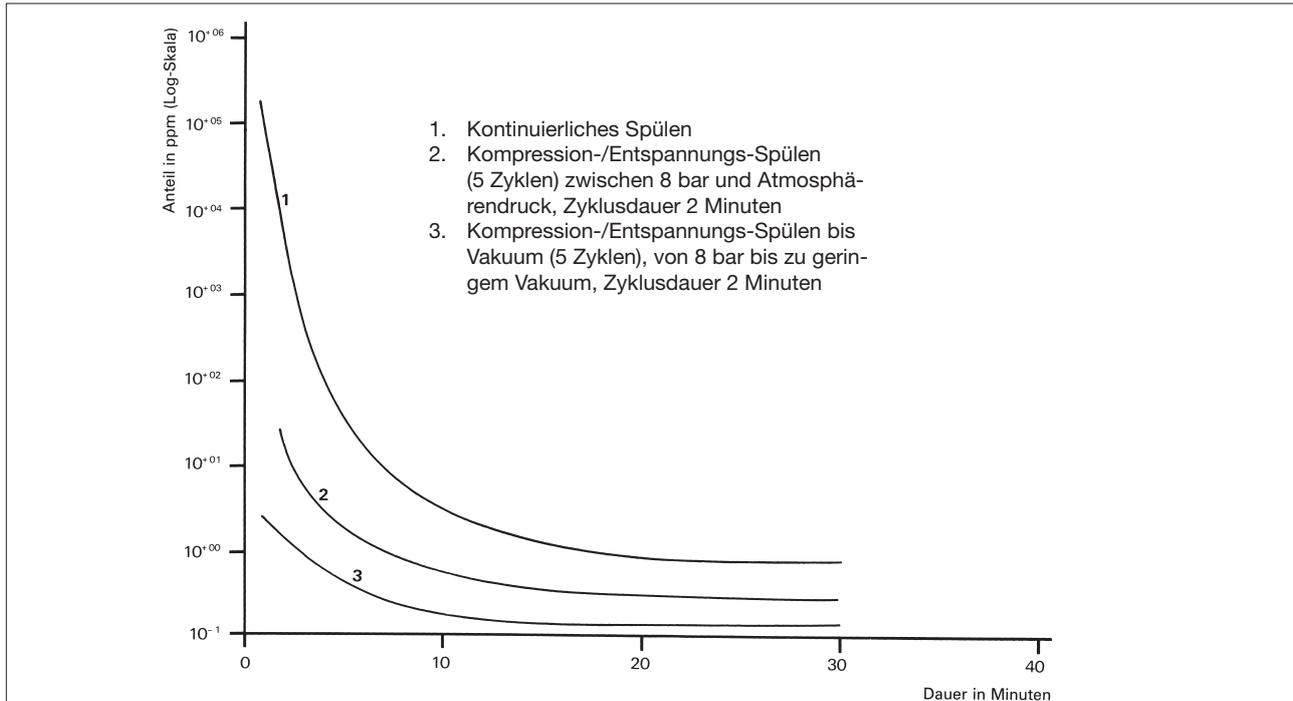
Bild 5

Vergleich der verschiedenen Methoden

Die in unseren Forschungszentren durchgeführten Versuche ermöglichen den Vergleich der verschiedenen Spülmethoden von Installationen.

Die Anzahl der Kompression-/Entspannungs-Spülzyklen (oft sind es mehr als 10) ist abhängig vom System, von der Art der Gasverunreinigung und von der gewünschten Gasreinheit. Es ist unbedingt notwendig, ein sehr trockenes Spülgas einzusetzen und nach jedem Zyklus solange abzuwarten, bis sich ein Gleichgewicht zwischen dem Spülgas und der Restfeuchtigkeit eingestellt hat.

Unter der Voraussetzung, dass das Gleichgewicht nach 2 Minuten erreicht wird und dass für die Spülung 15 Zyklen notwendig sind, dauert das Spülen eines Systems über 30 Minuten. Der Ersatz einer Flasche (Wechsel vom Aktiv-Gas zu Spülgas und danach von Luft zu Aktiv-Gas) dauert demnach mehr als eine Stunde. Daraus geht hervor, dass die Automatisierung des Vorganges viele Vorteile mit sich bringt, wie beispielsweise die perfekte Reproduzierbarkeit.



Spülen einer Rohrleitung mit Stickstoff. Durchsatz 0,2 l/min- Druck 8 bar - Temp. 20°C.

Die Wahl von nicht kontaminierendem Material

Gewisse technische Vorkehrungen ermöglichen den Einsatz von Material mit minimaler Kontaminationsgefahr an Gasen und Partikeln:

- Faltenbälge und Membranen aus Edelstahl (Bild 6).
- Stumpfschweißen (butt welding nicht «Socket-Welding») von Anschlüssen oder demontierbare VCR-Kupplungen.
- Behandlung der mechanischen Oberflächen mit geeigneten chemischen oder elektrochemischen Verfahren. Die Oberflächenbehandlung verbessert die mikroskopische Ebenheit und vermindert damit die Reaktionsfähigkeit infolge der Oberflächenverkleinerung.
- Wahl nicht kontaminierender Materials: insbesondere sind gewisse Kunststoffe zu vermeiden.
- Verkleinerung der Toträume (elektronische Manometer sind den Bourdonrohr-Manometern weit überlegen).
- Drehteile sind zu vermeiden (Beispielsweise in Ventilen).
- Genaue Leckkontrolle (10E⁻⁹ mbar l/s He).
- Äusserer Aspekt des Materials und seine Verpackung.
- Verschluss des Materials gegenüber der Atmosphäre.
- Zusammenbau des hochklassigen Materials in Reinräumen der Klasse 100.

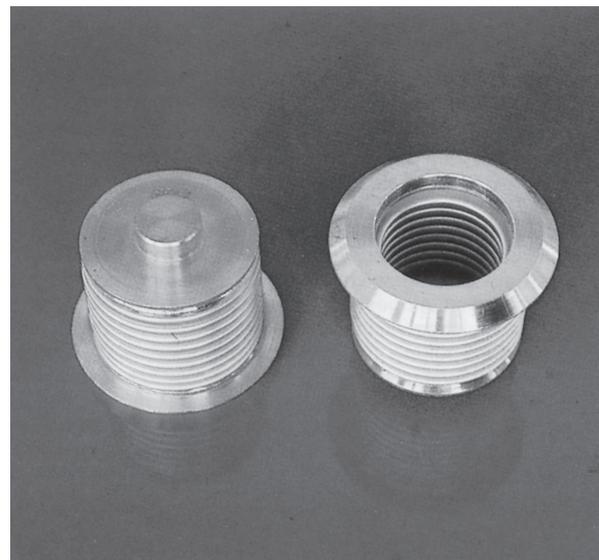


Bild 6

Sorgfältige Planung und Installation von Reingasleitungen

Leitungen für hochreine Gase können nur durch Spezialisten geplant und installiert werden.

Dazu einige grundlegende Ratschläge:

- Die Art, Qualität und Behandlung des Rohrleitungsmaterials muss der Anwendung angepasst sein (Passivierung, Elektropolitur).
- Die Anzahl der demontierbaren Verbindungen muss auf ein Minimum beschränkt werden.
- Die Qualität der Schweissverbindungen ist von höchster Wichtigkeit und bedingt den Einsatz kompetenter Schweisser und geeigneter Schweissverfahren (Orbitalschweissung unter Schutzgas).
- Kleine Toträume.
- Bestimmung der Leitungsdurchmesser: je kleiner der Durchmesser, um so kleiner die gasförmigen Verunreinigungen – je grösser der Durchmesser, um so kleiner die Partikelverschmutzung.
- Sorgfältige Lecktests vor der Inbetriebnahme. Diese Tests werden mit Helium oder aber unter Vakuum, mit Hilfe von Massenspektrometern durchgeführt. Um von einer «hochreinen Installation» sprechen zu können, müssen die Leckagen an den einzelnen Kontrollstellen (Schweissungen, Anschlüssen...) geringer als 10^{-8} mbar $^1/s$ (He) sein.
- Montage von Baugruppen in Reinnräumen der Klasse 100.

Zusammenfassung:

	Wichtigste Verschmutzungsursachen in Installationen	CARBAGAS-Lösungen
Gelegentliche Verunreinigung	Luft und ihre Verunreinigungen in der Installation: <ul style="list-style-type: none">• vor Inbetriebnahme• bei Flaschenwechsel	Wirksame Spültechnik durch: <ul style="list-style-type: none">• gutes Installationskonzept (kleine Toträume, Spül-T's . . .);• spezielle Spülprozedere (Automatisierung);• kompetentes, geschultes Personal.
Permanente Verunreinigung	Retrodiffusion mangels genügender Dichtheit: <ul style="list-style-type: none">• poröses Material• undichte Anschlüsse Mangelnde Sauberkeit oder ungeeignetes Material mit den Folgen: <ul style="list-style-type: none">• physikalische oder chemische Gas-Adsorption oder -Desorption• Partikelverschmutzung durch das Material oder bei seiner Montage	Einsatz von dichtem, nicht verunreinigendem Material: Metall-Faltenbeläge und -Membranen Reinraum-Montage und hermetische Verpackung... Wahl der Art und Qualität des mit dem Gas in Berührung kommenden Materials, um das Desorptionsrisiko auf ein Minimum zu reduzieren. Sorgfältige Planung und Installation der Leitungen: orbitale Stumpfschweissung unter Argonschutz, Lecktest unter Helium-Druck. Dichte, demontierbare Anschlüsse mit Metalldichtungen, sorgfältige Wartung (Filterwechsel . . .). Geeignete Behandlung der inneren Oberflächen des Materials und der Leitungen: Passivierung, Elektropolierung...

Wichtigste Gase

HF - SO₂ - NH₃ - HBr - HCl - Cl₂ - SiH₂Cl₂ - BCl₃ - SiF₄ - BF₃ - F₂ - NO - NO₂.

Diese Gase haben die Eigenschaft, viele Stoffe chemisch anzugreifen: Metalle, Kunststoffe...

Wenn sie sehr trocken sind, wirken sie bei Raumtemperatur oft nicht korrosiv, werden aber schon bei geringster Feuchtigkeit (einige ppm) sehr aggressiv. Sie sind ebenfalls toxisch.

Um die Lebensdauer der in der Installation verwendeten Werkstoffe zu verlängern und die Umweltsicherheit zu garantieren (Leckagen), müssen zwei Bedingungen erfüllt werden:

1. Jede Spur von Feuchtigkeit ist zu vermeiden (Wasserrestgehalt < 5 ppm): dies erfordert vor der Inbetriebnahme und bei jedem Flaschenwechsel eine sorgfältige Spülung.
2. Eine perfekte Dichtigkeit (1 bis 3x10⁻⁹ mbar l/s Helium) als Folge einer sehr sorgfältigen Realisierung der Installation.

Spülen

Anwendung einer Spülmethode

Spülgas: trockener Stickstoff, Argon oder Gemische Stickstoff-Helium, Argon-Helium (Wassergehalt < 2 ppm).

Spültechnik: Verdünnungsmethode oder Kompression/Entspannungsmethode.

Konzept des Versorgungssystems

Ventilierte Gasschränke: Wir empfehlen, Flaschen und Entspannungsstationen in ventilerten Schränken unterzubringen, wenn der MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) des Produktes unter 5 ppm liegt. Bei höheren MAK-Werten ist die Anwendung in einer ventilerten Kapelle vorzusehen.

Armaturenwahl (Ventile, Druckminderer):

Wir empfehlen die Verwendung von Armaturen mit Edelstahlfaltenbälgen oder -Membranen; bei deren Bruch müssen die Gase durch einen besonderen Anschluss nach aussen, oder besser noch in eine Neutralisierungseinrichtung abgeführt werden.

Spezielle Armaturen von ALPHAGAZ sind mit doppelten Dichtungen versehen (Beispiel: Ventile C4).

Werkstoffwahl: Die Werkstoffe müssen mit dem eingesetzten Gas stets kompatibel sein.

Es sollten geeignete Stahlsorten ausgewählt werden: der Typ 316L erleichtert beispielsweise das Schweißen und reduziert das Risiko des Aufkohlens.

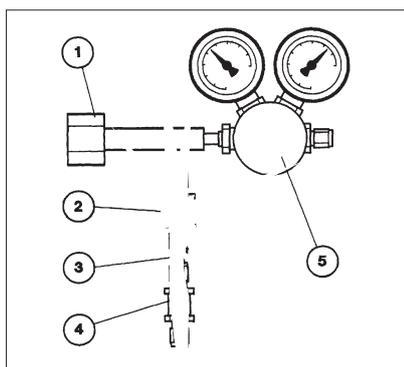
Schweiss-Stellen: Korrosive Gase können Schweiss-Stellen oder Glühzonen angreifen (Spaltkorrosion); deshalb ist eine sehr sorgfältige Schweissung besonders wichtig.

Demontierbare Anschlüsse: Die metallisch flachdichtenden Anschlüsse (z.B. Typ VCR) sind vorzuziehen; sie können aus verschiedenen Werkstoffen bestehen (Nickel, Inconel...).

Ausheizen: Die Vorteile des Spülens von Installationen mit inerten Gasen bei höheren Temperaturen, sowohl bei der Inbetriebnahme wie nach Stillsetzungen, ist augenfällig: die Spülzeit wird reduziert und die Wirksamkeit verbessert.

Bemerkung:

Bei der Anwendung von korrosiven Gasen unter höherem Druck (beispielsweise HCl) darf der Druckminderer nicht als Absperrorgan verwendet werden. Das Absperrern des Gases sollte üblicherweise an der Einspeisung (im allgemeinen an der Flasche) vorgenommen werden.



Druckminderer DIM auf ein Spülsystem montiert

1. Flaschenanschluss
2. Absperrventil Spülgas
3. Rohrleitungsanschluss
4. Rückschlagbüchse
5. Druckminderer

Nützliche Umrechnungsfaktoren

Damit Sie die gebräuchlichsten Masseinheiten rasch umwandeln und vom angelsächsischen ins metrische System gelangen können:

Länge	1 Fuss (ft) = 0,3048 m 1 Zoll (in) = 2,540 cm 1 Meile (mi) = 1,6093 km 1 Å = 10 ⁻¹⁰ m 1 μ = 10 ⁻⁶ m
Oberfläche	1 Quadratfuss (ft ²) = 9,2903 dm ² 1 Quadratzoll (in ²) = 6,4516 cm ²
Volumen	1 Kubikfuss (ft ³) = 28,3166 Liter 1 Kubikzoll (in ³) = 16,3871 cm ³ 1 US Gallone = 3,7854 Liter
Masse	1 Pfund (Lb) = 0,4536 kg
Druck	1 bar = 0,986923 atm = 750,08 mm Hg oder torr 1 bar = 100 kPa = 14,504 PSI 1 kg/cm ² = 0,981 bar = 0,987 atm = 736 mm Hg 1 Atm = 1,013 bar = 1,033 kg/cm ² = 760 mm Hg 1 Pfund pro Zoll ² (psi oder Lb/in ²) = 70,306 g/cm ³
Energie	1 cal = 4,18 J 1 Fg = -1 kcal 1 Btu = 1005 J
Temperatur	$^{\circ}\text{C} = \frac{(\text{F} - 32)}{1,8} = \text{K} - 273,15$

Tabelle für die Entsprechung von Masse-Flüssigvolumen-Gasvolumen

	kg	litre	m ³
Argon	1 1,393 1,691	0,72 1 1,20	0,59 0,83 1
Wasserstoff	1 0,071 0,085	14,1 1 1,20	11,74 0,83 1
Stickstoff	1 0,808 1,185	1,24 1 1,47	0,84 0,68 1
Helium	1 0,125 0,169	8 1 1,35	5,92 0,74 1
Sauerstoff	1 1,141 1,354	0,88 1 1,176	0,74 0,85 1
Neon	1 1,21 0,85	0,83 1 0,70	1,17 1,42 1
Kohlendioxid	1 1,178 1,874	0,85 1 0,628	0,53 1,590 1
Propan	1 0,505 1,830	1,98 1 3,624	0,55 0,276 1
Ammoniak	1 0,678 0,731	1,47 1 1,078	1,37 0,927 1

	Kupfer	Messing	Aluminium	Stahl	Edelstahl	Hastelloy	Monel	Kel-F	Neopren	Nylon	Viton	Teflon	Ethylen-Propylen	Silikon
Acetylen	*	∩	•	•				∩	*	∩	∩	•	•	•
Ammoniak	*	*	∩	∩	•	•	•	•	∩	•	•	*	•	∩
Argon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	∩
Arsenwasserstoff	*	∩	*	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Bortrichlorid			*	•					∩			•		
Bortrifluorid	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩					
Bromwasserstoff	*	*	∩	•				•	*	∩	•			
1,3-Butadien	•	•	•	•	•	•	•	•	∩	•	∩	•		
n-Butan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
1-Buten	•	•	•	•	•	•	•	•	∩			•		
cis-2-Buten	•	•	•	•	•	•	•	•	∩			•		
trans-2-Buten	•	•	•	•	•	•	•	•	∩			•		
1-Butin	•	•	•	•	•	•	•	•	∩			•		
Carbonylsulfid			•					•	•	•	•			
Chlor	*	*	*	∩	•	•	•	*	∩					
Chlorwasserstoff	*	*	*	∩	•	∩	∩	∩			∩	∩		
Deuterium	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		∩
Diboran	•	•	∩	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Dichlorsilan	*	*	*	∩	∩	•	•	•	*	∩	•			
Distickstoffoxid (Lachgas)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	*	•	•	
Ethan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Ethylen	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Ethylenoxid	*	*	•											
Helium	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		∩
iso-Butan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
iso-Buten	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Kohlendioxid	∩	∩	∩	∩	•			•	•	•	*	•		∩
Kohlenmonoxid	•	•	•	∩	•			•	*	•	•	•		
Krypton	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Methan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Neon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Phosphorwasserstoff	*	∩	*	•				•	•	•	•	•		
Propadien	•	•	•	•	•	•	•	∩	∩	∩	∩	•		
Propan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Propen (Propylen)	•	•	•	•	•	•	•	•	∩	∩	∩	•	•	
Sauerstoff	•	•	•	•	•	•	•	•	*	∩	∩	∩		
Schwefeldioxid	*	*	∩	∩	•	•	•	•	•	•	•	•		
Schwefelhexafluorid	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Schwefelwasserstoff	*	*	•	•				•	•	•	•	•		
Siliciumwasserstoff	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Stickstoff	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	∩
Stickstoffdioxid	*	*	*	∩	•			•	•	•	•	•		∩
Stickstoffmonoxid	*	*	*	∩	∩	•		∩				•		
Stickstofftrifluorid	∩			∩	•			•				•		
Tetrafluormethan	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Wasserstoff	•	•	•	•	•	•	•	∩	•	•	•	∩	•	∩
Wolframhexafluorid	∩		∩	∩	•			•				•		
Xenon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

- Verträglich
- ∩ Unter bestimmten Voraussetzungen verträglich
- * Unverträglich

