

5. Druckluftaufbereitung

5.1 Warum Druckluftaufbereitung ?

Moderne Produktionstechnik braucht Druckluft. Die Vielfalt der Anwendungen reicht von der nicht aufbereiteten Blasluft bis zur absolut trockenen, ölfreien und sterilen Druckluft.

Die in unserer Umgebungsluft vorhandenen Verunreinigungen sind mit dem bloßen Auge meist nicht sichtbar. Trotzdem können sie die zuverlässigen Funktionen des Druckluftnetzes und der Verbraucher beeinträchtigen und die Qualität der Produkte mindern.

1 m³ Umgebungsluft enthält eine Vielzahl von Verunreinigungen wie z.B. :

- Bis zu 180 Millionen Schmutzpartikel.
Größe zwischen 0,01 und 100 µm.
- 5 – 40 g/m³ Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit.
- 0,01 bis 0,03 mg/m³ Öl in Form von Mineralölaerosolen und unverbrannten Kohlenwasserstoffen.
- Spuren von Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Quecksilber, Eisen.

Kompressoren saugen die Umgebungsluft und damit die Luftverunreinigungen an und konzentrieren sie auf ein Vielfaches. Bei einer Verdichtung auf 10 bar_ü (10 bar Überdruck = 11 bar absolut) erhöht sich die Konzentration der Schmutzpartikel auf das 11fache. In 1 m³ Druckluft befinden sich dann bis zu 2 Milliarden Schmutzpartikel. Dabei gelangen noch zusätzlich Schmieröl und Abriebteilchen aus dem Kompressor in die Druckluft.

Richtige Druckluftaufbereitung hat Vorteile :

- Erhöhte Lebensdauer der nachgeschalteten Druckluft-Verbraucher.
- Verbesserte, konstante Qualität der Erzeugnisse.
- Kondensat- und rostfreie Druckluftleitungen.
- Weniger Betriebsstörungen.
- Rohrleitungen ohne Kondensatsammler.
- Geringer Wartungsaufwand.
- Geringere Druckverluste durch Leckage und Strömungswiderstände.
- Weniger Energieverbrauch durch geringere Druckverluste.

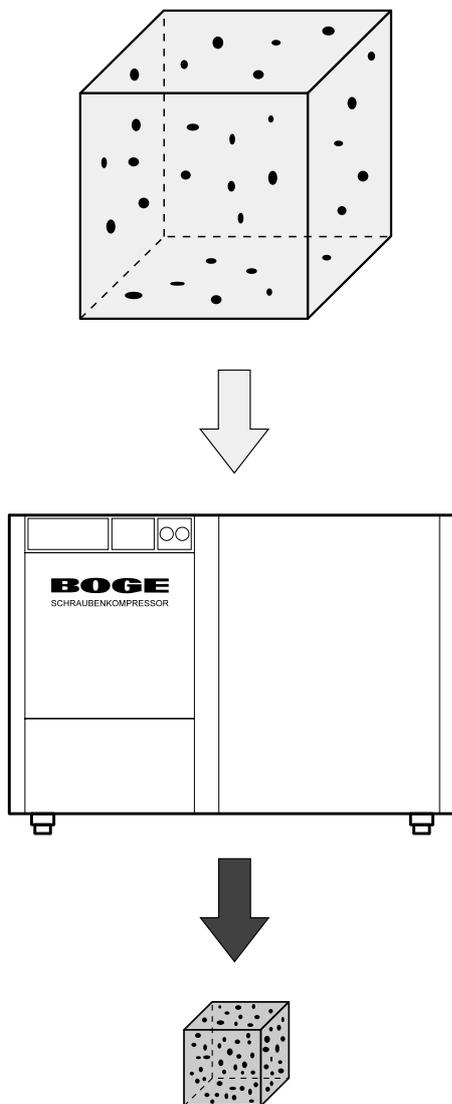


Bild 5.1 :
Konzentration von Luftverunreinigungen
bei der Verdichtung

5.1.2 Planungshinweise

BOGE empfiehlt für die verschiedenen Anwendungsbereiche der Druckluft die Aufbereitung entsprechend der Auflistung auf dieser Seite.

Anwendungsgebiet der Druckluft	Qualitätsklassen DIN ISO 8573-1**)			Druckluftzeuger	Zyklonabscheider *)	Vorfilter	Kältetrockner	Microfilter	Membrantrockner	Adsorptionstrockner	Vorfilter	Aktivkohlefilter	Aktivkohleabsorber	Sterilfilter	
	Öl	Partikel	Wasser												
allgemeine Brauchluft Blasluft	—	—	—	BOGE-Schrauben- und Kolbenkompressoren											
Sandstrahlen Einfache Lackierarbeiten	—	3	—												
Allgemeine Werksluft Förderluft Einfaches Farbspritzen Sandstrahlen mit erhöhten Qualitätsanforderungen	5	3	4												
Druckluftwerkzeuge Steuerluft Meß- und Regeltechnik Farbspritzen Konditionierung Fluidicelemente	1	1	4												
Dentallabor Fotolabor	1	1	4												
Atemluft Instrumentenluft Pneumatik Farbspritzen mit erhöhten Qualitätsanforderungen Oberflächentechnik	1	1	1-3												
Medizintechnik Förderluft mit erhöhten Qualitätsanforderungen Nahrungs- und Genußmittelindustrie	1	1	3-4												
Brauereien Molkereien Pharmazeutische Industrie	1	1	1-3												

*) Der Zyklonabscheider kann unter bestimmten Voraussetzungen entfallen.

***) DIN ISO 8573-1; 1991

5.1.3 Folgen schlechter Aufbereitung

Bleiben die Verunreinigungen und das Wasser aus der Umgebungsluft in der Druckluft, kann das unangenehme Folgen haben. Das betrifft sowohl das Leitungsnetz, als auch die Verbraucher. Teilweise leiden auch die Produkte unter schlechter Druckluftqualität. In manchen Einsatzbereichen ist der Einsatz von Druckluft ohne entsprechende Aufbereitung gefährlich und gesundheitsschädlich.

Festkörperpartikel in der Druckluft

- Verschleißwirkung in Pneumatikanlagen.
Staub und andere Partikel führen zu Abrieb. Wenn Partikel mit Schmieröl- oder Fett eine Schleifpaste bilden, wird diese Wirkung noch verstärkt.
- Gesundheitsschädliche Partikel.
- chemisch aggressive Partikel.

Öl in der Druckluft

- Alt- und Fremddöl in der Pneumatikanlage.
Verharztes Öl kann zu Durchmesserreduzierung und Blockaden in Rohrleitungen führen. Das hat erhöhten Strömungswiderstand zur Folge.
- Ölfreie Druckluft.
In der pneumatischen Förderung kann Öl das Fördergut verkleben und so zu Verstopfungen führen.
In der Nahrungs- und Genußmittelindustrie, sowie in der Pharmazeutischen Industrie **muß** die Druckluft aus gesundheitlichen Gründen ölfrei sein.

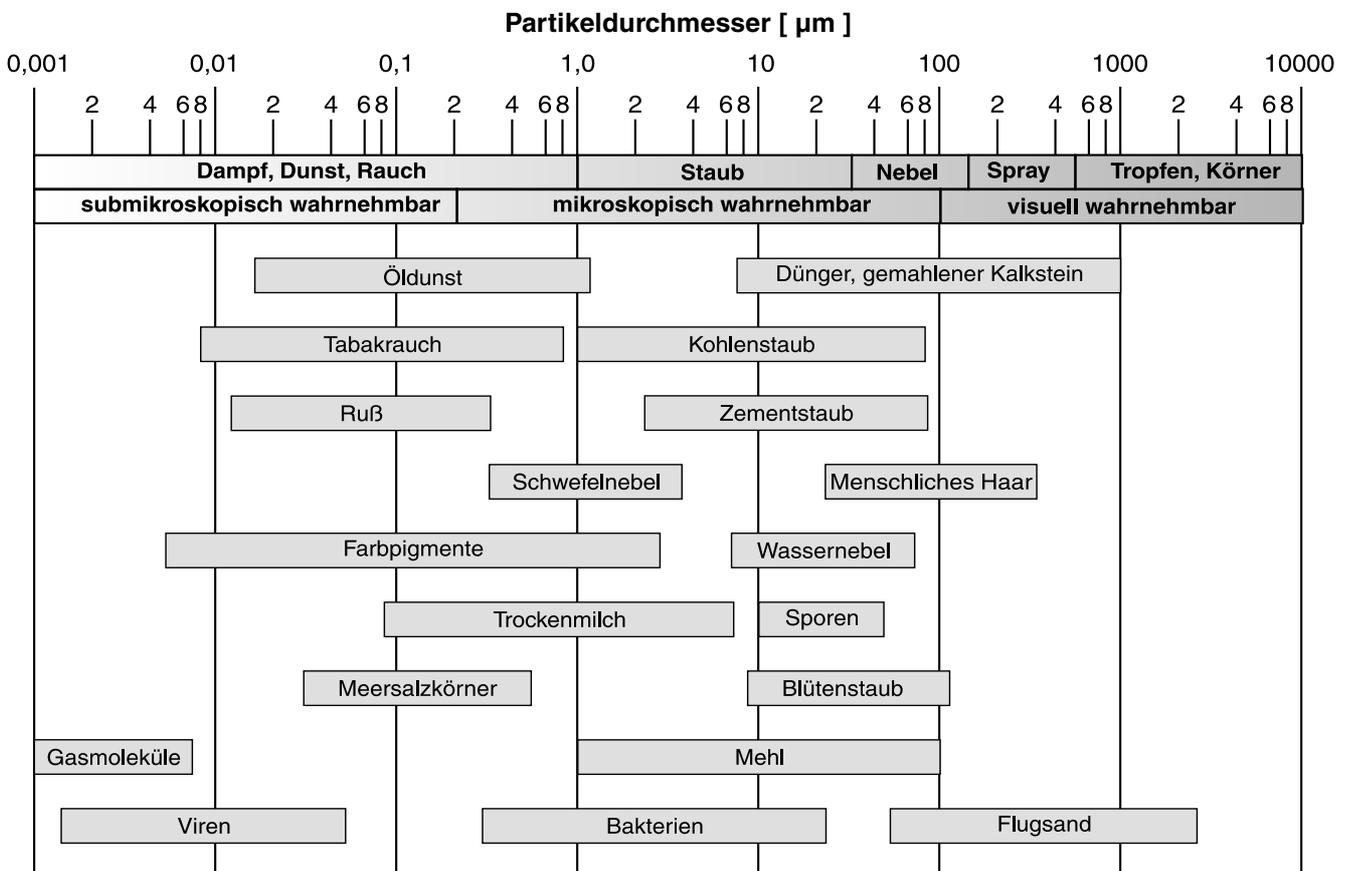
Wasser in der Druckluft

- Korrosion in der Pneumatikanlage.
Rost entsteht in den Leitungen und Funktionselementen und führt zu Leckagen.
- Unterbrechen von Schmierfilmen.
Unterbrochene Schmierfilme führen zu mechanischen Defekten.
- Bildung von elektrischen Elementen.
Wenn verschiedene Metalle mit Wasser in Berührung kommen, können elektrische Elemente entstehen.
- Eisbildung im Druckluftnetz.
Bei niedrigen Temperaturen kann das Wasser im Druckluftnetz gefrieren und dort Frostschäden, Durchmesserreduzierung und Blockaden verursachen.

5.1.4 Luftverunreinigungen

In unserer Umgebungsluft sind Schmutzpartikel vorhanden, die mit bloßem Auge nicht zu sehen sind. Einen allgemeinen Überblick über die Art, Größe und Konzentration dieser Schmutzpartikel enthält dieses Kapitel.

Konzentration von Partikeln in der Umgebungsluft	Grenzwerte [mg/m ³]	Durchschnittswert [mg/m ³]
 Auf dem Land	5 - 50	15
 In der Stadt	10 - 100	30
 Im Industriegebiet	20 - 500	100
 In großen Fabrikanlagen	50 - 900	200



5.2 Wasser in der Druckluft

5.2.1 Luftfeuchtigkeit

In der atmosphärischen Luft befinden sich immer gewisse Mengen Wasserdampf. Der Gehalt schwankt zeitlich und örtlich und wird als Luftfeuchtigkeit (Feuchte) bezeichnet. Bei jeder Temperatur kann ein bestimmtes Luftvolumen nur eine Höchstmenge Wasserdampf enthalten. Meist enthält die Umgebungsluft jedoch nicht die maximale Menge Wasserdampf.

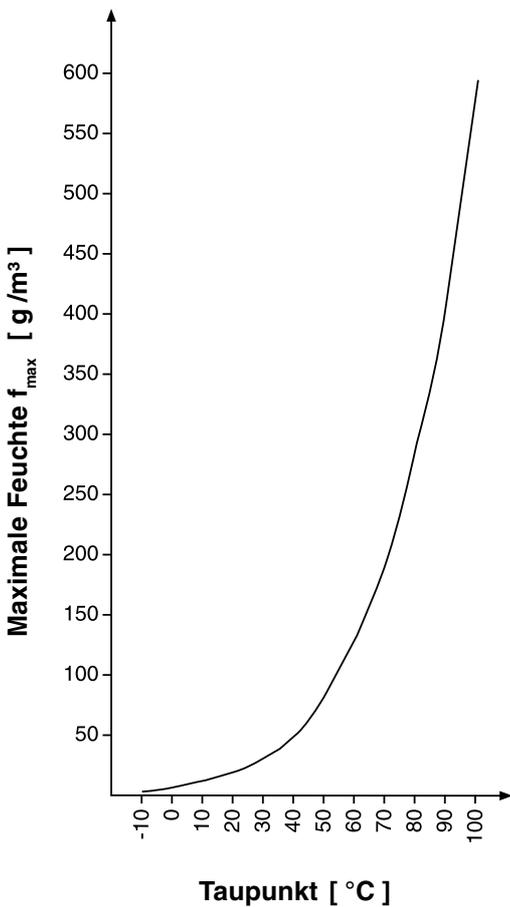


Bild 5.2 :
Maximale Feuchte
in Abhängigkeit vom Taupunkt

Maximale Feuchte f_{\max} [g/m³]

Unter der maximalen Feuchte f_{\max} (Sättigungsmenge) versteht man die maximale Menge Wasserdampf, die 1 m³ Luft bei einer bestimmten Temperatur enthalten kann. Die maximale Feuchte ist druckunabhängig.

Absolute Feuchte f [g/m³]

Unter der absoluten Feuchte f versteht man die in 1 m³ Luft tatsächlich enthaltene Menge Wasserdampf.

Relative Feuchte φ [%]

Unter der relativen Feuchte φ versteht man das Verhältnis der absoluten zur maximalen Feuchte.

$$\varphi = \frac{f}{f_{\max}} \times 100 \%$$

- φ = relative Feuchte [%]
- f = absolute Feuchte [g/m³]
- f_{\max} = maximale Feuchte [g/m³]

Da die maximale Feuchte f_{\max} temperaturabhängig ist, ändert sich mit der Temperatur die relative Feuchte, auch wenn die absolute Feuchte konstant bleibt. Bei einer Abkühlung bis zum Taupunkt steigt die relative Feuchte auf 100 %.

5.2.2 Taupunkte

Atmosphärischer Taupunkt [°C]

Unter atmosphärischem Taupunkt versteht man die Temperatur, auf die **atmosphärische** Luft (1 bar_{abs}) abgekühlt werden kann, ohne daß Wasser ausfällt.

Der atmosphärische Taupunkt ist für Druckluftsysteme von untergeordneter Bedeutung.

Drucktaupunkt [°C]

Unter dem Drucktaupunkt versteht man die Temperatur, auf die **verdichtete** Luft abgekühlt werden kann, ohne daß Kondensat ausfällt. Der Drucktaupunkt ist abhängig vom Verdichtungs-Enddruck. Bei sinkendem Druck sinkt auch der Drucktaupunkt.

5.2.3 Wassergehalt der Luft

Die folgende Tabelle gibt die maximale Feuchte der Luft bei einem bestimmten Taupunkt an :

Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]	Taupunkt [°C]	max. Feuchte [g/m ³]
+100°	588,208	+76°	248,840	+52°	90,247	+28°	26,970	+4°	6,359	-19°	0,960	-43°	0,083
+99°	569,071	+75°	239,351	+51°	86,173	+27°	25,524	+3°	5,953	-20°	0,880	-44°	0,075
+98°	550,375	+74°	230,142	+50°	82,257	+26°	24,143	+2°	5,570	-21°	0,800	-45°	0,067
+97°	532,125	+73°	221,212	+49°	78,491	+25°	22,830	+1°	5,209	-22°	0,730	-46°	0,060
+96°	514,401	+72°	212,648	+48°	74,871	+24°	21,578			-23°	0,660	-47°	0,054
+95°	497,209	+71°	204,286	+47°	71,395	+23°	20,386	0°	4,868	-24°	0,600	-48°	0,048
+94°	480,394	+70°	196,213	+46°	68,056	+22°	19,252	-1°	4,487	-25°	0,550	-49°	0,043
+93°	464,119	+69°	188,429	+45°	64,848	+21°	18,191	-2°	4,135	-26°	0,510	-50°	0,038
+92°	448,308	+68°	180,855	+44°	61,772	+20°	17,148	-3°	3,889	-27°	0,460	-51°	0,034
+91°	432,885	+67°	173,575	+43°	58,820	+19°	16,172	-4°	3,513	-28°	0,410	-52°	0,030
+90°	417,935	+66°	166,507	+42°	55,989	+18°	15,246	-5°	3,238	-29°	0,370	-53°	0,027
+89°	403,380	+65°	159,654	+41°	53,274	+17°	14,367	-6°	2,984	-30°	0,330	-54°	0,024
+88°	389,225	+64°	153,103	+40°	50,672	+16°	13,531	-7°	2,751	-31°	0,301	-55°	0,021
+87°	375,471	+63°	146,771	+39°	48,181	+15°	12,739	-8°	2,537	-32°	0,271	-56°	0,019
+86°	362,124	+62°	140,659	+38°	45,593	+14°	11,987	-9°	2,339	-33°	0,244	-57°	0,017
+85°	340,186	+61°	134,684	+37°	43,508	+13°	11,276	-10°	2,156	-34°	0,220	-58°	0,015
+84°	336,660	+60°	129,020	+36°	41,322	+12°	10,600	-11°	1,960	-35°	0,198	-59°	0,013
+83°	324,469	+59°	123,495	+35°	39,286	+11°	9,961	-12°	1,800	-36°	0,178	-60°	0,010
+82°	311,616	+58°	118,199	+34°	37,229	+10°	9,356	-13°	1,650	-37°	0,160	-65°	0,00640
+81°	301,186	+57°	113,130	+33°	35,317	+9°	8,784	-14°	1,510	-38°	0,144	-70°	0,00330
+80°	290,017	+56°	108,200	+32°	33,490	+8°	8,234	-15°	1,380	-39°	0,130	-75°	0,00130
+79°	279,278	+55°	103,453	+31°	31,744	+7°	7,732	-16°	1,270	-40°	0,117	-80°	0,00060
+78°	268,806	+54°	98,883	+30°	30,078	+6°	7,246	-17°	1,150	-41°	0,104	-85°	0,00025
+77°	258,827	+53°	94,483	+29°	28,488	+5°	6,790	-18°	1,050	-42°	0,093	-90°	0,00010

Druckluftaufbereitung

5.2.4 Kondensatmenge bei Komprimierung

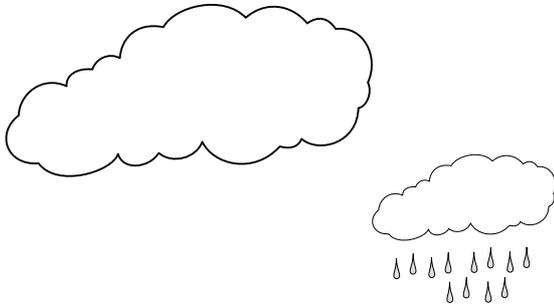
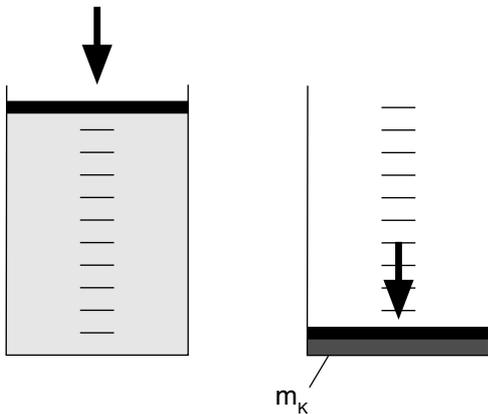


Bild 5.3 :
Ein nasser Schwamm wird zusammengedrückt

Luft enthält immer Wasser in Form von Dampf. Da Luft im Gegensatz zu Wasser komprimierbar ist, fällt bei der Verdichtung das Wasser in Form von Kondensat aus. Die maximale Feuchte der Luft ist temperatur- und volumenabhängig. Sie ist nicht mengenabhängig.

Die Umgebungsluft kann man sich als feuchten Schwamm vorstellen. Er kann im entspannten Zustand eine bestimmte Menge Wasser aufnehmen. Drückt man diesen Schwamm zusammen, läuft ein Teil des Wassers heraus. Ein Rest Wasser wird auch bei starkem Druck im Schwamm zurückbleiben. Ähnlich verhält es sich mit komprimierter Luft.

Das folgende Beispiel verdeutlicht, mit welcher Kondensatmenge m_k bei der Komprimierung von Luft zu rechnen ist. Ausgangslage ist ein schwüler Sommertag mit 35°C und 80 % Luftfeuchtigkeit.



- $V_1 = 6,5 \text{ m}^3$
- $V_2 = 0,59 \text{ m}^3$
- $p_1 = 0 \text{ bar}_u = 1 \text{ bar}_{abs}$
- $p_2 = 10 \text{ bar}_u = 11 \text{ bar}_{abs}$
- $T = 35^\circ \text{ C}$
- $T = 35^\circ \text{ C}$
- $\phi_1 = 80 \%$
- $\phi_2 = 100 \%$
- $f_{max} = 39,286 \text{ g/m}^3$

$$m_k = \frac{V_1 \times f_{max1} \times \phi_1}{100} - \frac{V_2 \times f_{max1} \times \phi_2}{100}$$

$$m_k = \frac{6,5 \times 39,286 \times 80}{100} - \frac{0,59 \times 39,286 \times 100}{100}$$

$$m_k = \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%} - \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%}$$

$$m_k = 181,108 \text{ g}$$

Bild 5.4 :
Kondensatausfall bei Verdichtung

- m_k = Ausgefallenes Kondensat [g]
- V_1 = Volumen bei 0 bar_u [m³]
- V_2 = Volumen bei 10 bar_u [m³]
- f_{max1} = maximale Feuchte bei 35°C [g/m³]
- ϕ_1 = relative Feuchte von V_1 [%]
- ϕ_2 = relative Feuchte von V_2 [%]

Da aus der komprimierten Luft nur das Wasser ausfällt, das nicht gespeichert werden kann, steigt die relative Luftfeuchtigkeit ϕ der verdichteten Luft auf 100 %.

Bei der Komprimierung von 6,5 m³ Luft auf 10 bar Überdruck fallen bei konstanter Temperatur 181,108 g Wasser als Kondensat aus.

5.2.5 Beispiel zur Kondensatmengenberechnung

Ein Beispiel zeigt die Kondensatmenge m_{K1} , die tatsächlich bei der Verdichtung von Luft anfällt. Dabei fällt das Kondensat an mehreren Stellen der Kompressorstation zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus.

Der Kondensatanfall eines Schraubenkompressors mit einer Liefermenge $\dot{V} = 2720 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einem Verdichtungsdruck von $p_0 = 10,5 \text{ bar}$ wird hier ermittelt. Dem Verdichter nachgeschaltet sind ein Druckluftbehälter und ein Kälte-Drucklufttrockner.

Die Umgebungsluft enthält bei diesen Bedingungen eine bestimmte Menge Wasser :

Umgebungsluft

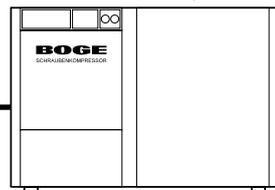
$$\begin{aligned} p_1 &= 1 \text{ bar}_{\text{abs}} \\ T_1 &= 33^\circ \text{ C} \\ \varphi_1 &= 80 \% \\ f_{\text{max } 1} &= 35,317 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

$$\dot{V}_1 = 2720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\begin{aligned} m_w &= \dot{V}_1 \times f_{\text{max } 1} \times \varphi_1 / 100 \\ \text{g/h} &= \text{m}^3/\text{h} \times \text{g/m}^3 \times \%/\% \\ m_w &= 2720 \times 35,317 \times 80/100 \\ m_w &= 76849,79 \text{ g/h} \hat{=} 76,85 \text{ l/h} \end{aligned}$$

Kompressor

$$\begin{aligned} p_2 &= 11,5 \text{ bar}_{\text{abs}} \\ T_2 &= 40^\circ \text{ C} \\ \varphi_2 &= 100 \% \\ f_{\text{max } 2} &= 50,672 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

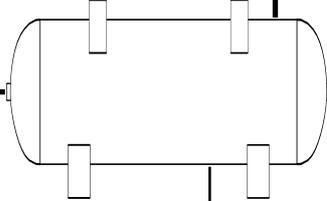


$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_1}{P_2} = 236,5 \text{ Bm}^3/\text{h}$$

Bei der **Verdichtung** selbst steigt die Temperatur über den Drucktaupunkt der verdichteten Luft. Es fällt also noch keine Feuchtigkeit aus. Im Nachkühler des Kompressors wird die verdichtete Luft auf $T_2 = 40^\circ \text{C}$ abgekühlt. Das erste Kondensat fällt aus und wird in den Druckluftbehälter mitgerissen. Dort beruhigt sich der Volumenstrom und die Wassertropfchen setzen sich ab. Hier sammelt sich eine beträchtliche Menge Kondensat :

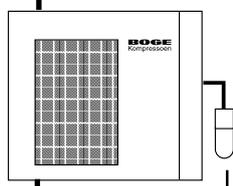
$$\begin{aligned} m_{K1} &= m_w - (\dot{V}_2 \times f_{\text{max } 2} \times \varphi_2 / 100) \\ m_{K1} &= 76849,79 - (236,5 \times 50,672 \times 100/100) \\ m_{K1} &= 64865,86 \text{ g/h} \hat{=} 64,87 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\dot{V} = 236,5 \text{ m}^3/\text{h}$$



Kälte-Drucklufttrockner

$$\begin{aligned} p_3 &= 11,5 \text{ bar}_{\text{abs}} \\ T_3 &= 3^\circ \text{ C} \\ \varphi_3 &= 100 \% \\ f_{\text{max } 3} &= 5,953 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$



$$\dot{V}_2 = 236,5 \text{ Bm}^3/\text{h}$$

Anschließend wird die Druckluft im **Kälte-Drucklufttrockner** auf eine Temperatur abgekühlt, die einem Drucktaupunkt von 3°C entspricht. Das Kondensat fällt im Trockner an und wird abgeleitet.

$$\begin{aligned} m_{K2} &= (\dot{V}_2 \times f_{\text{max } 2}) - (\dot{V}_2 \times f_{\text{max } 3}) \\ m_{K2} &= (236,5 \times 50,672) - (236,5 \times 5,953) \\ m_{K2} &= 10576,04 \text{ g/h} \hat{=} 10,58 \text{ l/h} \end{aligned}$$

Bild 5.5 : Kondensatanfall bei der Verdichtung mit Trockner

Aus der Addition der einzelnen Kondensatströme ergibt sich die Kondensatmenge, die von der Kondensataufbereitung bewältigt werden muß.

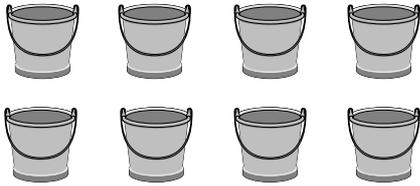


Bild 5.6 :
In einer Stunde fallen ca. acht 10 l Eimer
Kondensat an.

$$\text{Kondensatmenge } m_K = m_{K1} + m_{K2}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondensatmenge } m_K &= 75441,9 \quad \text{g/h} \\ &= 75,4 \quad \text{l/h} \end{aligned}$$

Bei Dreischichtbetrieb mit einer Auslastung von 100 % läuft der Kompressor 24 Std. täglich. Das bedeutet bei unveränderten Grundvoraussetzungen:

$$\begin{aligned} \text{Kondensatmenge } m_{KT} &= 1810605,6 \quad \text{g/T} \\ &= 1810,6 \quad \text{l/T} \end{aligned}$$

In einem Jahr fällt dann folgende Menge an Kondensat an:

$$\begin{aligned} \text{Kondensatmenge } m_{KJ} &= 659060438 \quad \text{g/J} \\ &= 659060 \quad \text{l/J} \end{aligned}$$

5.2.6 Kondensatmenge an einem schwülen Sommertag

Die Druckluftqualität muß bei **veränderten Umgebungsbedingungen** immer gleich bleiben. D.h., daß der Drucktaupunkt der verdichteten Druckluft auch an einem schwülen Sommertag mit 40°C Lufttemperatur und 90 % Luftfeuchtigkeit bei 3°C liegen muß.

$$\begin{aligned} \text{Liefermenge } \dot{V}_1 &= 2720 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Ansaugdruck } p_1 &= 1 \text{ bar}_{\text{abs}} \\ \text{Ansaugtemperatur } T_1 &= 40^\circ \text{ C} \\ \text{Relative Feuchte } \varphi_1 &= 90 \% \\ \text{Drucktaupunkt } T_3 &= 2^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

Unter diesen Bedingungen fällt bei gleicher Druckluftqualität eine sehr viel größere Menge Kondensat an.

$$\text{Kondensatmenge } m_K = 122,6 \quad \text{l/h}$$

Bei Dreischichtbetrieb mit einer Auslastung von 100 % läuft der Kompressor 24 Std. täglich. Das bedeutet bei unveränderten Grundvoraussetzungen:

$$\text{Kondensatmenge } m_{KT} = 2943,3 \quad \text{l/T}$$

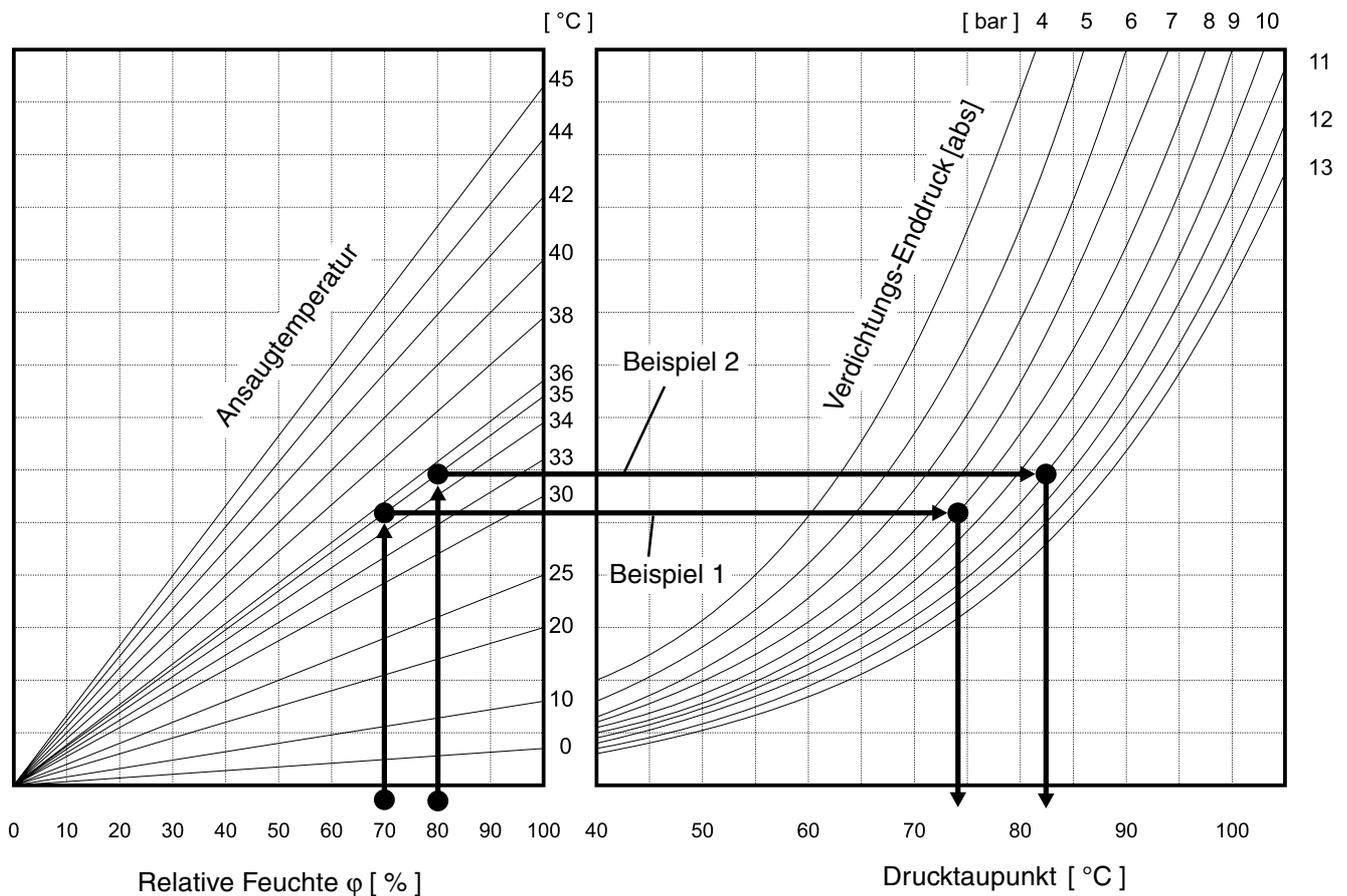
In einem Jahr fällt dann folgende Menge an Kondensat an:

$$\text{Kondensatmenge } m_{KJ} = 1071358 \quad \text{l/J}$$

5.2.7 Drucktaupunktermittlung

Unter dem Drucktaupunkt versteht man die Temperatur, auf die **verdichtete** Luft abgekühlt werden kann, ohne daß Kondensat ausfällt. Der Drucktaupunkt ist abhängig vom Verdichtungs-Enddruck. Bei sinkendem Druck fällt auch der Drucktaupunkt.

Zur Ermittlung des Drucktaupunktes der Druckluft nach der Verdichtung werden folgende Diagramme herangezogen:



Beispiel 1

Angesaugte Luft

- relative Luftfeuchtigkeit $\varphi = 70\%$
- Ansaugtemperatur $T = 35^\circ\text{C}$

Verdichtete Luft

- Verdichtungs-Enddruck $p_{\text{abs}} = 8\text{ bar}$
- ⇒ Der Drucktaupunkt liegt bei ca. 73°C

Beispiel 2

Angesaugte Luft

- relative Luftfeuchtigkeit $\varphi = 80\%$
- Ansaugtemperatur $T = 35^\circ\text{C}$

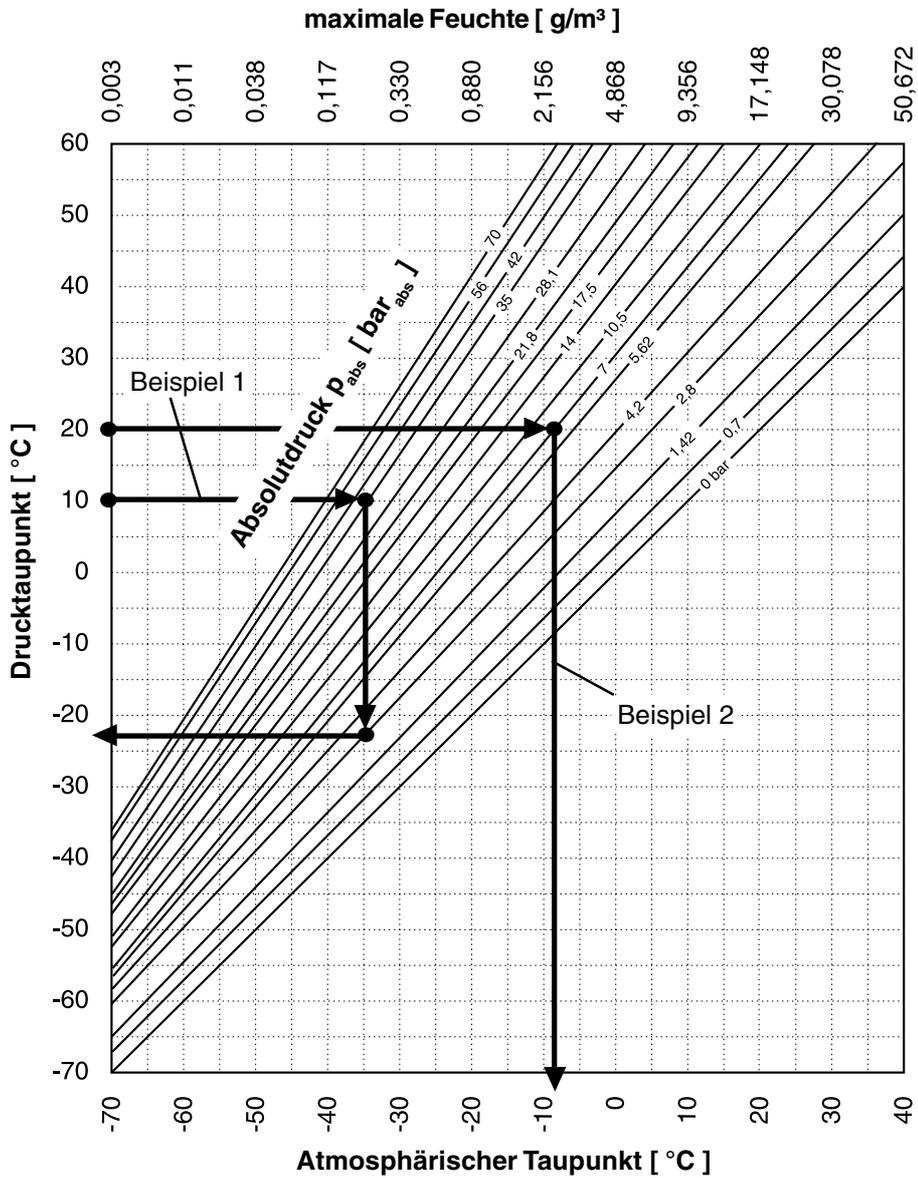
Verdichtete Luft

- Verdichtungs-Enddruck $p_{\text{abs}} = 10\text{ bar}$
- ⇒ Der Drucktaupunkt liegt bei ca. 82°C

Druckluftaufbereitung

5.2.8 Drucktaupunkt nach der Entspannung

Wenn Druckluft entspannt, sinkt der Drucktaupunkt. Zur Ermittlung des neuen Drucktaupunktes, bzw. des atmosphärischen Taupunktes nach der Entspannung wird folgendes Diagramm benutzt:



Beispiel 1

Druckluft

- $p_{abs} = 35$ bar Luftdruck
- Drucktaupunkt 10°C

entspannte Druckluft

- $p_{abs} = 2,8$ bar Luftdruck

⇒ Der neue Drucktaupunkt liegt bei ca. -22°C

Beispiel 2

Druckluft

- $p_{abs} = 7$ bar Luftdruck
- Drucktaupunkt 20°C

entspannte Druckluft

- atmosphärischer Luftdruck $p_{abs} = 1$ bar

⇒ Der atmosphärische Taupunkt liegt bei ca. -8°C

5.3 Druckluftqualität

5.3.1 Qualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1

Die Druckluft-Qualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1 erleichtern dem Anwender die Definition seiner Anforderungen und die Auswahl der Aufbereitungskomponenten. Die Norm basiert auf den Herstellerangaben, die erlaubte Grenzwerte bezüglich der Druckluftreinheit für ihre Anlagen und Maschinen ermittelt haben.

Die Norm DIN ISO 8573-1 definiert die Qualitätsklassen der Druckluft bezüglich:

Ölgehalt

Festlegung der Restmenge an Aerosolen und Kohlenwasserstoffen, die in der Druckluft enthalten sein dürfen.

Partikelgröße und Dichte

Festlegung von Größe und Konzentration der Feststoffteilchen, die noch in der Druckluft enthalten sein dürfen.

Drucktaupunkt

Festlegung der Temperatur, auf die man die **verdichtete** Luft abkühlen kann, ohne daß der in ihr enthaltene Wasserdampf kondensiert. Der Drucktaupunkt verändert sich mit dem Luftdruck.

Verunreinigungen und Qualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1; 2001

Klasse	Feststoffverunreinigungen				Feuchtigkeit Max. Drucktaupunkt	Max. Ölgehalt mg/m ³
	Max. Teilchenzahl pro m ³					
	Max. Partikelgröße in µm					
	< = 0,1	0,1 < d < = 0,5	0,5 < d < = 1,0	1,0 < d < = 5,0		
0	Nach Betreibervorgabe					
1	n.A.	100	1	0	< = -70°C	< = 0,01 mg/m ³
2	n.A.	100.000	1.000	10	< = -40°C	< = 0,1 mg/m ³
3	n.A.	n.A.	10.000	500	< = -20°C	< = 1 mg/m ³
4	n.A.	n.A.	n.A.	1.000	< = + 3°C	< = 5 mg/m ³
5	n.A.	n.A.	n.A.	20.000	< = + 7°C	-
6	-	-	-	-	< = +10°C	-
	Klassen 6 und 7 werden nach maximaler Teilchengröße und maximaler Teilchendichte definiert. Klasse 6: d < = 5 µm und Dichte < = 5 mg/m ³ Klasse 7: d < = 40 µm und Dichte < = 10 mg/m ³				Klassen 7 bis 9 werden nach ihrem Gehalt an flüssigem Wasser definiert. Klasse 7: C _v < = 5 mg/m ³ Klasse 8: 0,5 g/m ³ < C _v < = 5 mg/m ³ Klasse 9: 5 g/m ³ < C _v < = 10 mg/m ³	

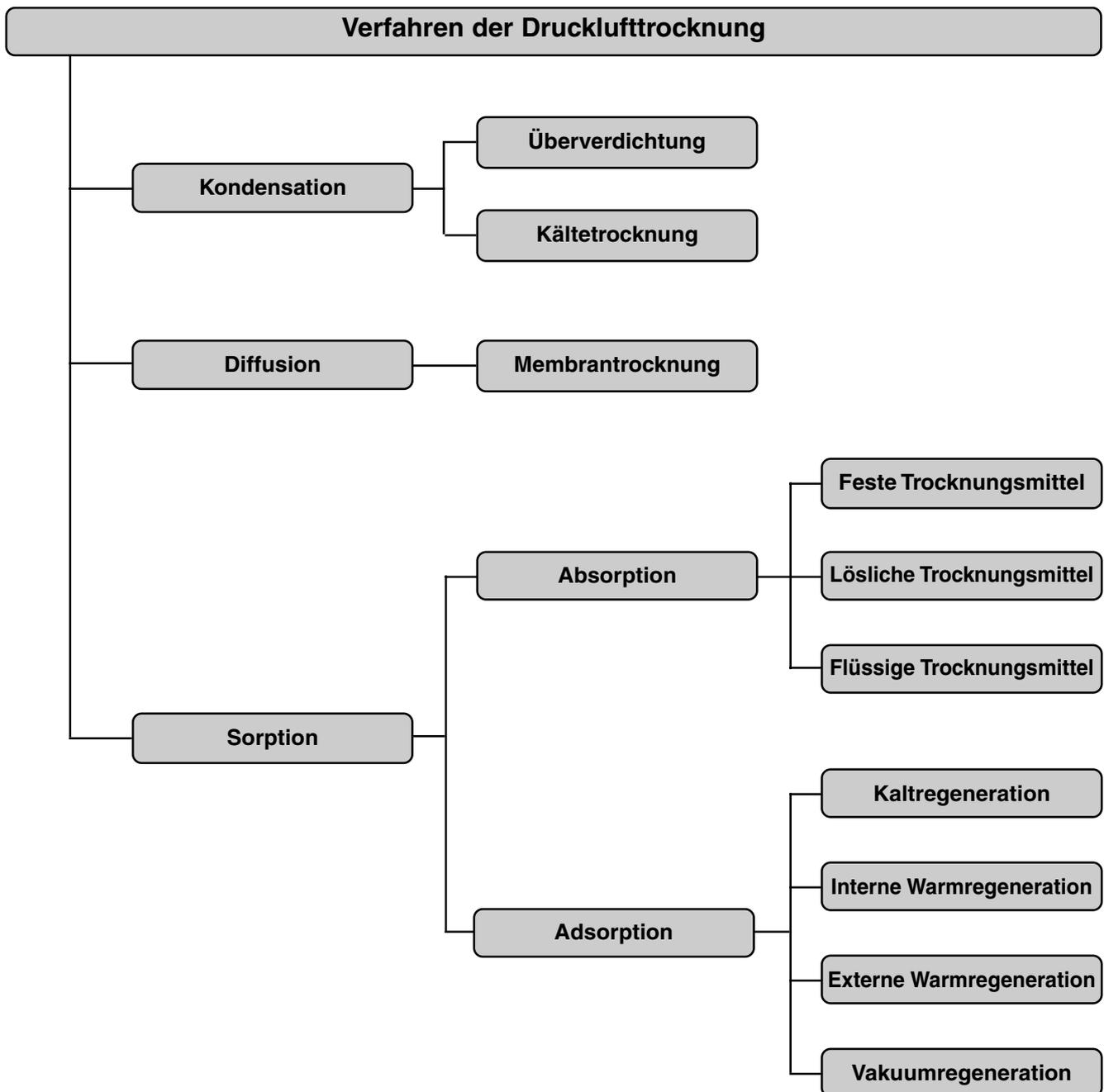
5.4 Trocknungsmethoden

In der Übersicht sind die Trocknungsmethoden für Druckluft entsprechend ihrem Arbeitsprinzip aufgeteilt. Grundsätzlich wird zwischen der Kondensation, der Sorption und der Diffusion unterschieden.

Kondensation ist die Wasserabscheidung durch die Unterschreitung des Taupunkts.

Sorption ist die Trocknung durch Feuchtigkeitsentzug.

Diffusion ist die Trocknung durch Molekültransfer.



5.4.1 Betriebsbedingungen

Die Durchflußleistung eines Trockner bezieht sich auf den Ansaugzustand der Luft bei der Verdichtung durch einen Kompressor nach PN2 CPTC2, ISO 1217 (DIN 1945 Teil 1).

- Ansaugdruck $p = 0 \text{ bar}_{\bar{u}} \triangleq 1 \text{ bar}_{\text{abs}}$
- Ansaugtemperatur $T_0 = 293 \text{ K} \triangleq 20^\circ\text{C}$

Trockner werden nach DIN ISO 7183 auf bestimmte Betriebsbedingungen ausgelegt. Die für den Trockner angegebenen Leistungsdaten sind nur unter diesen Bedingungen richtig :

- Betriebsdruck $p = 7 \text{ bar}_{\bar{u}} \triangleq 8 \text{ bar}_{\text{abs}}$
- Umgebungstemperatur $t_U = 298 \text{ K} \triangleq 25^\circ\text{C}$
- Eintrittstemperatur $t_{\text{Ein}} = 308 \text{ K} \triangleq 35^\circ\text{C}$

Soll ein Trockner unter anderen Betriebsbedingungen genutzt werden, sind entsprechende Umrechnungsfaktoren zu berücksichtigen. Diese Faktoren unterscheiden sich bei den verschiedenen Trocknungsverfahren.

Beispiel für die Auslegung eines Kälte-Drucklufttrockners

Umrechnungsfaktoren für Betriebsdruck und Umgebungstemperatur :

Betriebsdruck p [$\text{bar}_{\bar{u}}$]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
Faktor f	0,62	0,72	0,81	0,89	0,94	1	1,04	1,06	1,09	1,1	1,12	1,15	1,17

Umgebungstemperatur t_U [$^\circ\text{C}$]	25	30	35	40	43
Faktor t	1,00	0,92	0,85	0,79	0,75

Ein BOGE-Kälte-Drucklufttrockner Modell D8 hat eine Durchflußleistung L von $45 \text{ m}^3/\text{h}$. Er soll bei einer durchschnittlichen Umgebungstemperatur von $t_U = 40^\circ\text{C}$ und einem Betriebsdruck von $p = 10 \text{ bar}_{\bar{u}}$ betrieben werden.

$$L = 45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p = 10 \text{ bar}_{\bar{u}} \Rightarrow f = 1,09$$

$$t_U = 40^\circ\text{C} \Rightarrow t = 0,79$$

$$L_A = L \times f \times t$$

$$L_A = 45 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,09 \times 0,79$$

$$L_A = 38,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L_A = \text{Angepaßte Durchflußleistung [m}^3/\text{h]}$$

$$L = \text{Durchflußleistung [m}^3/\text{h]}$$

$$f = \text{Umrechnungsfaktor für } p = 10 \text{ bar}_{\bar{u}}$$

$$t = \text{Umrechnungsfaktor für } t_U = 40^\circ\text{C}$$

Der Kälte-Drucklufttrockner hat bei geänderten Betriebsbedingungen eine Durchflußleistung von $38,75 \text{ m}^3/\text{h}$.

Druckluftaufbereitung

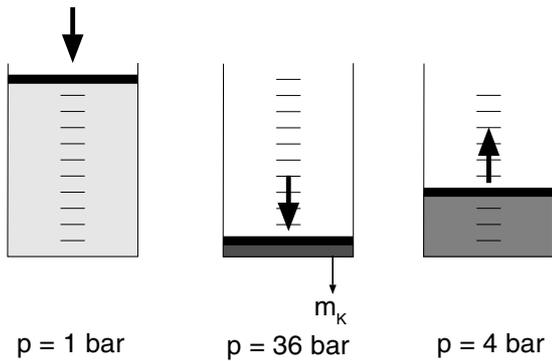
5.4.2 Kondensation durch Überverdichtung

Bei der Überverdichtung wird die Luft weit über den benötigten Druck hinaus komprimiert, anschließend abgekühlt und auf den Betriebsdruck entspannt.

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _g]	Volumenstrom [m ³ /h]	Eintrittstemperatur [°C]
ca. -70°C	Kompressor abhängig	Kompressor abhängig	-

Funktionsprinzip

Die Luft kann mit zunehmendem Druck und damit abnehmendem Volumen immer weniger Wasser speichern. Bei der Vorverdichtung auf einen hohen Druck scheidet viel Kondensat aus. Dieses Kondensat wird abgeleitet. Die absolute Feuchte der Luft nimmt ab. Wird die Druckluft nun entspannt, sinkt die relative Feuchte und damit der Drucktaupunkt.



Beispiel :

Druckluft wird auf 36 bar vorverdichtet. Dabei beträgt der Drucktaupunkt 10°C. Das Kondensat scheidet aus. Nach der Entspannung auf 4 bar hat die Druckluft einen neuen Drucktaupunkt von ca. -18°C.

Eigenschaften

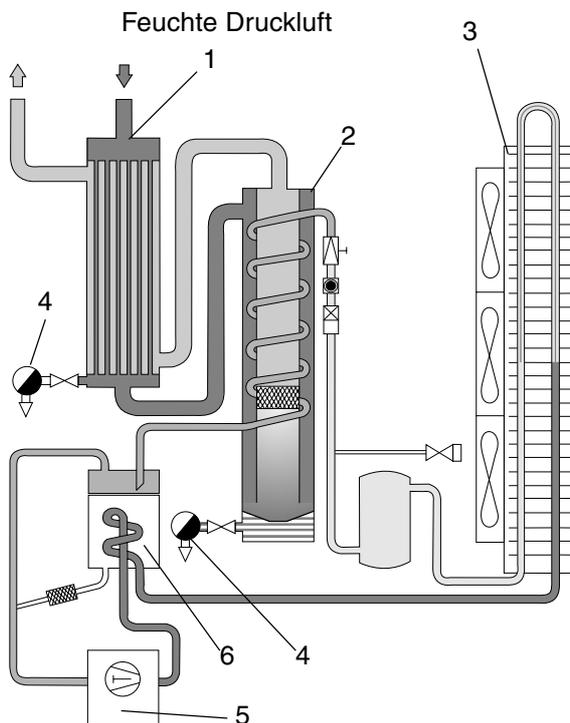
- Einfaches Verfahren mit kontinuierlichem Volumenstrom.
- Keine aufwendige Kühl- und Trocknungsanlagen.
- Wirtschaftlich nur für kleine Liefermengen.
- Sehr hoher Energieverbrauch.

Bild 5.7 : Überverdichtung mit anschließender Entspannung

5.4.3 Kondensation durch Kältetrocknung

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _ü]	Durchflußleistung [m³/h]	Eintrittstemperatur [°C]
bis +2°C	bis 210	11-35 000	bis +60°C

Trockene Druckluft



- 1 = Luft/Luft Wärmeaustauscher
- 2 = Luft/Kältemittel Wärmeaustauscher
- 3 = Kältemittel/Luft Wärmeaustauscher
- 4 = Kondensatableiter
- 5 = Kältekompressor
- 6 = Ausdampfer

Bild 5.8 :
Funktionsschema eines Kälte-Drucklufttrockners

Bei sinkenden Temperaturen verringert sich die Fähigkeit der Luft, Wasser mit sich zu führen. Um den Feuchtegehalt zu verringern, kann Druckluft in einem Kältetrockner abgekühlt werden.

Die Kältetrocknung ist ein Vorgang, bei dem die Druckluft durch ein Kältemittel in einem Wärmeaustauscher gekühlt wird. Dabei scheidet der in der Druckluft enthaltene Wasserdampf in Form von Kondensat aus. Die ausfallende Kondensatmenge steigt mit der Differenz zwischen der Drucklufteintritts- und Austrittstemperatur.

Funktionsprinzip

Die Kältetrocknung läuft in zwei Phasen ab. Das geschieht zur Verbesserung des Wirkungsgrades und zur optimalen Nutzung der zugeführten Kälte.

1. Phase

In einem Luft / Luft- Wärmeaustauscher kühlt die bereits durch den Kältetrockner geströmte Druckluft die neu einströmende Luft. Hier fallen 70 % des enthaltenen Wasserdampfes als Kondensat aus.

2. Phase

Die Druckluft durchströmt einen Kältemittel / Luft- Wärmeaustauscher und kühlt fast bis zum Gefrierpunkt ab. Das ausgefallene Kondensat wird vor der Wiedererwärmung in der ersten Kühlphase abgeleitet.

Eigenschaften

- Hohe Wirtschaftlichkeit.
Für ca. 90 % aller Anwendungsfälle für Trockner ist die Kältetrocknung das wirtschaftlichste Verfahren.
- Abscheidung von Fremdstoffen.
Nahezu 100 % aller Feststoffpartikel und Wassertröpfchen, die größer als 3 µm sind, werden abgeschieden.
- Geringer Druckverlust im Trockner.
Der Druckabfall Δp durch den Trockner liegt bei ca. 0,2 bar.

Druckluftaufbereitung

5.4.4 Diffusion durch Membrantrocknung

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _g]	Durchflußleistung [m³/h]	Eintrittstemperatur [°C]
0 bis -20°C	5 -12,5	11 - 130	2° bis 60°C

Das Prinzip des Membrantrockners beruht auf der Tatsache, daß Wasser eine speziell beschichtete Hohlfaser über 20000 mal schneller durchdringt als Luft.

Der Membrantrockner besteht aus einem Bündel von tausenden beschichteter Hohlfasermembranen. Diese Hohlfasern sind aus einem festen, temperatur- und druckbeständigen Kunststoff hergestellt. Ihre Innenoberfläche ist mit einer ultradünnen (weniger als eine Lichtwellenlänge) Schicht eines zweiten Kunststoffes beschichtet. Die Hohlfasern (Membranen) sind in ein Rohr eingearbeitet, wobei der Innenkanal der Fasern am Ende offen ist.

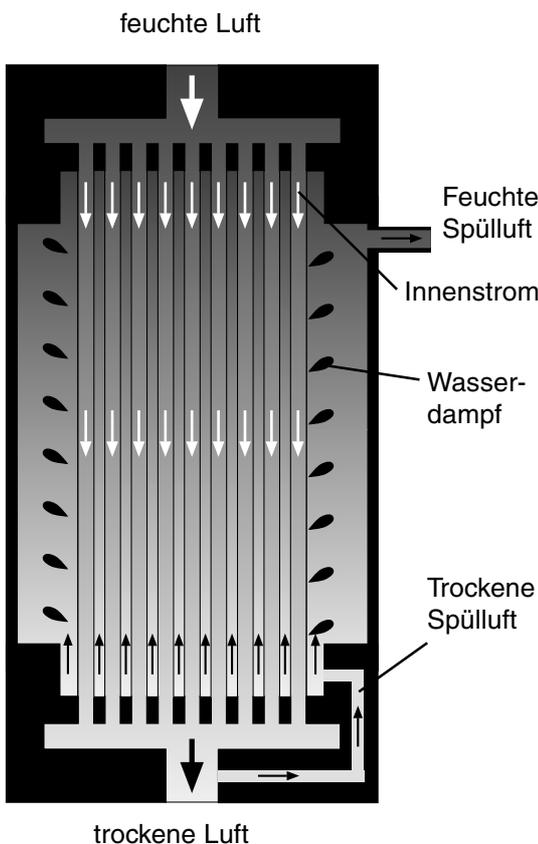


Bild 5.9 :
Prinzipdarstellung eines Membrantrockners

Funktionsprinzip

Die feuchte Druckluft durchströmt das Innere der Hohlfasern (Innenstrom). Der in der Druckluft enthaltene Wasserdampf dringt dabei durch den beschichteten Mantel der Hohlfasern nach außen. Dazu ist ein Konzentrationsgefälle des Wasserdampfes zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Hohlfaser nötig.

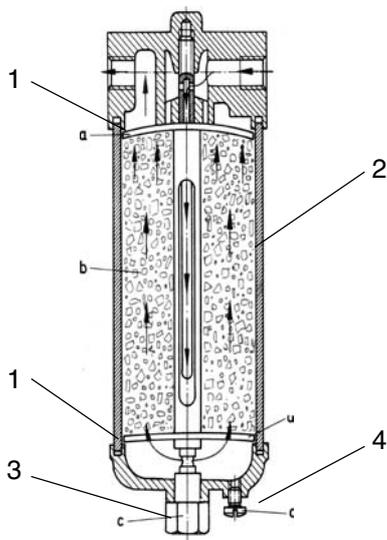
Vom getrockneten Hauptvolumenstrom des Kompressors wird ein Spülluftstrom abgezweigt und entspannt. Da die maximale Luftfeuchtigkeit volumenabhängig ist, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit. Die Spülluft wird sehr trocken. Der trockene Spülluftstrom umfließt die Hohlfasern und sorgt für das nötige Konzentrationsgefälle des Wasserdampfes. Der Spülluftstrom kann ungefiltert ins Freie entweichen. Bei dieser Trocknungsfläche fällt kein flüssiges Kondensat an. Die Feuchtigkeit wird mit der Spülluft in Form von Wasserdampf abgeführt.

Eigenschaften

- Geringe Partikelbelastung der Luft.
Dem Membrantrockner muß immer ein Filter vorgeschaltet werden, der Partikel bis zu einer Größe von 0,01 µm ausfiltert. Bei einer Installation direkt hinter dem Kompressor ist dem Filter ein Zyklonabscheider vorzuschalten.
- Geringer Druckverlust im Trockner.
Der Druckabfall Δp durch den Trockner liegt bei max. 0,2 bar.
- Kompakte Bauweise.
Der Trockner kann als Teilstück der Rohrleitung installiert werden.
- Kein Wartungsaufwand.
Im Trockner gibt es keine beweglichen Teile.
- Kein Kondensatausfall bei der Trocknung
- Keine zusätzlichen Energiekosten.
- Geräuschfrei.
- Kein FCKW.
- Keine beweglichen Teile.
- Kein Motor.

5.4.5 Sorption durch Absorption

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _ü]	Durchflußleistung [m ³ /h]	Eintrittstemperatur [°C]
Eintrittstemperatur abhängig	–	–	bis 30°C



- 1 = Sieb
- 2 = Festes Trocknungsmittel
- 3 = Deckel
- 4 = Kondensatablaß

Bild 5.10 :
Absorptionstrockner mit festem Trocknungsmittel

Bei der Absorptionstrocknung wird der Wasserdampf durch eine chemische Reaktion mit einem hygroskopischen Trocknungsmittel ausgeschieden. Da die Absorptionsfähigkeit des Trocknungsmittels mit der Zeit nachläßt, ist eine periodische Erneuerung notwendig.

Zu unterscheiden sind dabei 3 unterschiedliche Trocknungsmitteltypen. Die löslichen Trocknungsmittel verflüssigen sich mit fortschreitender Absorption. Die festen und flüssigen Trocknungsmittel reagieren mit dem Wasserdampf, ohne ihren Aggregatzustand zu verändern.

Trocknungsmittel		
Fest	Löslich	Flüssig
dehydrierte Kreide	Lithiumchlorid	Schwefelsäure
übersaures Magnesiumsalz	Kalziumchlorid	Phosphorsäure
		Glyzerin
		Triäthylenglykol

Funktionsprinzip

Bei der Absorption durchströmt die Druckluft von unten nach oben ein Trocknungsmittelbett. Dabei gibt sie einen Teil des Wasserdampfes an das Trocknungsmittel ab. Ein Ableiter führt das anfallende Kondensat aus einem Bodenbehälter ab. Der Drucktaupunkt wird um 8 – 12 % gesenkt.

Beispiel

Druckluft gelangt mit einer Eintrittstemperatur von +30°C in einen Trockner, der mit Kalziumchlorid arbeitet. Hier erreicht man einen Drucktaupunkt zwischen 18 und 22°C.

Eigenschaften

- niedrige Eintrittstemperatur.
Hohe Temperaturen weichen das Trocknungsmittel auf und backen es zusammen.
- Stark korrosive Wirkung der Trocknungsmittel.
Die getrocknete Druckluft kann Trocknungsmittel ins Druckluftnetz mitreißen. Dort verursacht es erhebliche Schäden.
- Keine Zufuhr von Fremdenergie.

Aufgrund ihrer Eigenschaften konnte sich die Absorptionstrocknung nur in Randbereichen der Drucklufttechnik etablieren. Zu nennen wäre z.B. die Druckluftaufbereitung in Laboratorien.

Druckluftaufbereitung

5.4.6 Sorption durch Adsorption

Die Trocknung der Druckluft durch Adsorption ist ein rein physikalischer Vorgang. Die Luftfeuchtigkeit wird durch Adhäsionskräfte (unausgeglichene molekulare Anziehungskräfte) an das Trocknungsmittel gebunden. An der inneren und äußeren Oberfläche des Adsorptionsmittels lagert sich der Wasserdampf an, ohne daß eine chemische Verbindung stattfindet.

Das Adsorptionsmittel hat eine offene Porenstruktur und eine große innere Oberfläche. Die gebräuchlichsten Adsorptionsmittel sind Aluminiumoxid, Silicagel, Aktivkohle und Molekularsiebe. Für die verschiedenen Regenerationsverfahren werden unterschiedliche Adsorptionsmittel eingesetzt.

Adsorptionsmittel	Eigenschaften der Adsorptionsmittel *)			
	erreichbarer Drucktaupunkt [°C]	Eintritts- temperatur [°C]	Regenerations- temperatur [°C]	Oberfläche [m ² /g]
Silicagel (SiO ₂), roh	- 50	+ 50	120 - 180	500 - 800
Silicagel (SiO ₂), kugelförmig	- 50	+ 50	120 - 180	200 - 300
Aktiviertes Aluminiumoxyd (Al ₂ O ₃)	- 60	+ 40	175 - 315	230 - 380
Molekularsiebe (Na, AlO ₂ , SiO ₂)	- 90	+ 140	200 - 350	750 - 800

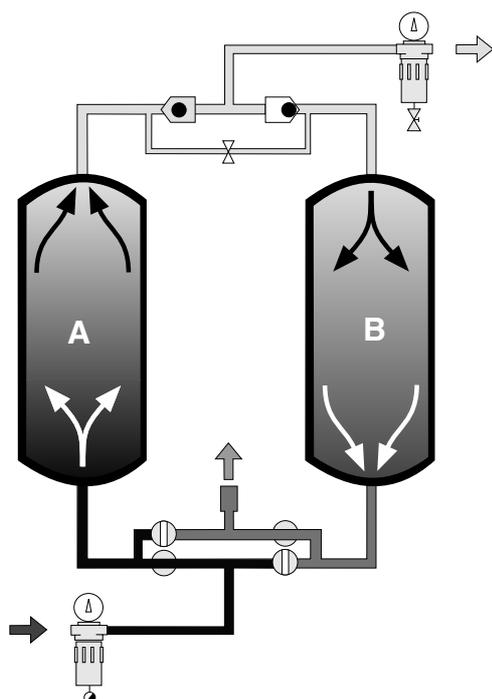
*) Die Eigenschaften der Adsorptionsmittel ändern sich mit dem Druck und der Temperatur des zu trocknenden Gases

Funktionsprinzip

Während des Trocknungsvorganges strömt die feuchte Druckluft durch den Adsorptionsmittelbehälter. Der Wasserdampf wird gebunden und die Druckluft dadurch getrocknet. Dieser Prozeß erzeugt Wärme. Wenn die Adhäsionskräfte durch Wasseranlagerungen ausgeglichen sind, muß das Adsorptionsmittel regeneriert werden. D.h., Wasser muß dem Adsorptionsmittel wieder entzogen werden. Aus diesem Grund müssen bei kontinuierlichem Betrieb zwei parallel geschaltete Trocknungsbehälter vorhanden sein. Der aktive Behälter **A** trocknet die Druckluft, während sie der inaktive Behälter **B** drucklos regeneriert.

Zur Regenerierung des Adsorptionsmittels werden im wesentlichen folgende Verfahren genutzt :

- die Kaltregeneration
- die interne Warmregeneration
- die externen Warmregeneration
- die Vakuumregeneration

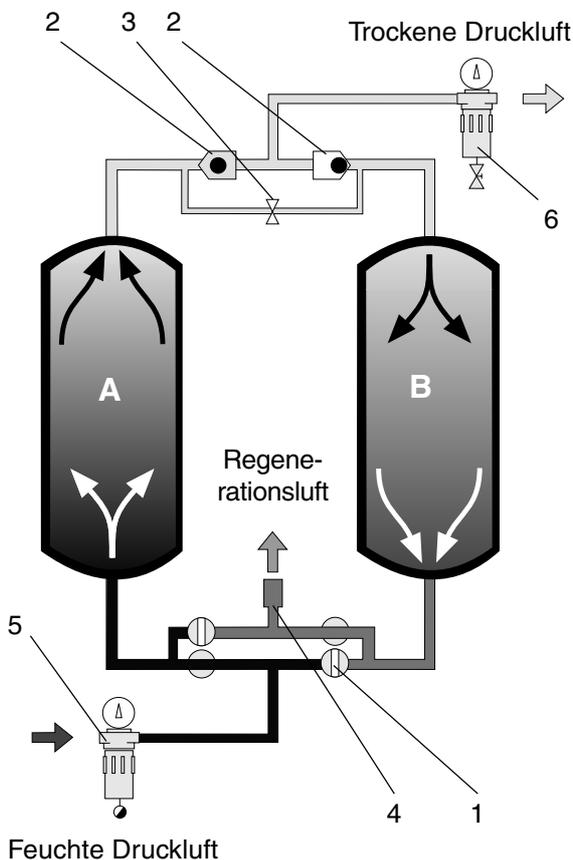


5.4.6.1 Kaltregeneration

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _ü]	Durchflußleistung [m³/h]	Eintrittstemperatur [°C]
bis -70°C	4 - 16	4 - 5600	bis +60°C



Bild 5.11 :
Adsorptionsmittel nach 5 min Trocknungszeit



- 1 = Ventilblock
- 2 = Rückschlagventil
- 3 = Lochblende
- 4 = Austrittsventil
- 5 = Vorfilter
- 6 = Nachfilter

Bild 5.12 :
Funktionsschema eines Adsorptionstrockners,
kaltregenerierend

Bei der Kaltregeneration liegen die Trocknungs- und Regenerationszeiten bei ca. 5 min. Aus diesem Grund lagert sich die Feuchte nur an die äußere Oberfläche des Trocknungsmittels an.

Kaltregenerierende Adsorptionstrockner arbeiten nach dem Prinzip des Druckwechselverfahrens. Bei ihnen erfolgt die Desorption (Regenerierung) ohne zusätzliche Wärmezufuhr. Es wird ein Teil des getrockneten Volumenstromes abgezweigt. Dieser Teilstrom entspannt auf einen Druck kurz über 1 bar und ist dadurch extrem trocken. Diese trockene Luft strömt anschließend durch den zu regenerierenden Trocknungsbehälter **B**. Dabei nimmt sie die im Trocknungsmittel gespeicherte Feuchtigkeit auf und führt sie über ein Austrittsventil ins Freie.

Eigenschaften

- **Wirtschaftlicher Einsatz bei kleineren Anlagen mit geringen Volumenströmen.**
- Einfacher Aufbau des Trockners.
- Einsetzbar bei hohen Umgebungstemperaturen.
- Geringes Trocknungsmittelvolumen. Trocknungs- und Regenerationszeiten ca. 5 Minuten.
- Hohe Betriebskosten. Die Regenerationsluft wird dem Druckluftsystem entnommen und kann nicht weiter genutzt werden.
- Regeneration ohne Zufuhr von Fremdenergie.
- Der prozentuale Anteil der Regenerationsluft an der Liefermenge des Kompressors sinkt bei höherem Verdichtungsdruck.

Verdichtungsdruck [bar _{abs}]	Regenerationsluftanteil [%]	
	Drucktaupunkt -25° bis -40°C	Drucktaupunkt -40° bis -100°C
5	25,83	27,14
7	17,22	18,1
10	11,49	12,07
15	7,39	7,77
20	5,46	5,47

Diese Werte sind physikalisch festgelegt und können nicht unterschritten werden. Sie ergeben sich aus dem Zusammenhang zwischen der Luftfeuchte und der Druckluftentspannung.

- Vorfiltrierung der Eintrittsluft. Ein Vorfilter befreit die Druckluft weitgehend von Ölanteilen, Wassertropfen und Schmutzpartikeln.
- Nachfiltrierung der getrockneten Druckluft. Aus dem Trocknungsbehälter mitgerissenes Trocknungsmittel muß wieder aus der Druckluft ausgefiltert werden.

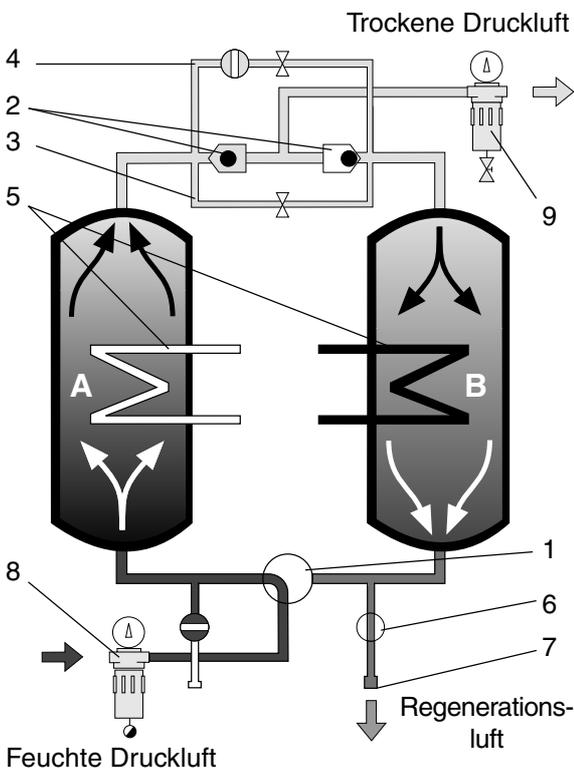
Druckluftaufbereitung

5.4.6.2 Interne Warmregeneration

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _a]	Durchflußleistung [m ³ /h]	Eintrittstemperatur [°C]
bis -40°C	2 - 16	200 - 5600	bis +50°C



Bild 5.13 :
Adsorptionsmittel nach 6 - 8 Std. Trocknungszeit



- 1 = Ventilblock
- 2 = Rückschlagventil
- 3 = Umgehungsleitung mit Lochblende **1. Phase**
- 4 = Umgehungsleitung mit Lochblende **2. Phase**
- 5 = Heizung
- 6 = Absperrventil
- 7 = Austrittsventil
- 8 = Vorfilter
- 9 = Nachfilter

Bild 5.14 :
Funktionsschema eines Adsorptionstrockners,
intern warmregenerierend

Bei der Warmregeneration liegen die Trocknungs- und Regenerierungszeiten bei 6 – 8 Std. Während der langen Trocknungsperiode lagert sich die Feuchte an den inneren und äußeren Oberflächen des Adsorptionsmittels an. Um diesen Prozeß umzukehren, muß von außen Wärme zugeführt werden. Bei Überschreiten der Regenerationstemperatur des Trocknungsmittels durch Wärmezufuhr, überwinden die auftretenden Oberflächenenergien die Adhäsionskräfte des Trocknungsmittels und das Wasser verdampft. Ein geringer Regenerationsluftstrom führt die Feuchtigkeit ab.

Die Regenerationstemperatur ist vom Drucktaupunkt der Regenerationsluft abhängig. Je tiefer er liegt, desto niedriger ist die Regenerationstemperatur des Trockners.

Bei der **internen Regeneration** wird die Wärme direkt von einer Heizung im Trocknungsbehälter auf das Adsorptionsmittel übertragen. Sie läuft in zwei Phasen ab:

1. Phase

Der Trocknungsbehälter **B** wird langsam durch die interne Heizung auf die notwendige Regenerationstemperatur erwärmt. Ist die Regenerationstemperatur überschritten, löst sich die Feuchtigkeit vom Adsorptionsmittel. Durch eine Umgehungsleitung werden ca. 2 – 3 % des getrockneten Druckluftstroms aus dem Kompressor entspannt und mit leichtem Überdruck durch den Trocknungsbehälter **B** geleitet. Dieser Regenerationsluftstrom nimmt den Wasserdampf auf und transportiert ihn über ein Austrittsventil ins Freie.

2. Phase

In einer Kühlphase sinkt die Betriebstemperatur wieder auf die Temperatur des Trocknungsbettes. Zu diesem Zweck öffnet eine zweite Umgehungsleitung. Dann werden ca. 5 % der Liefermenge des Kompressors durch den Trocknungsbehälter **B** geleitet. Die interne Heizung arbeitet zu diesem Zeitpunkt nicht mehr.

Eigenschaften

- **Wirtschaftlicher Einsatz bei hohen Volumenströmen.**
- Einfacher Aufbau des Trockners.
- Es wird wenig getrocknete Druckluft benötigt um den Trockner zu regenerieren.
- Vorfiltrierung der Eintrittsluft. Ein Vorfilter befreit die Druckluft weitgehend von Ölteilen, Wassertropfen und Schmutzpartikeln.
- Nachfiltrierung der getrockneten Druckluft. Aus dem Trocknungsbehälter mitgerissenes Trocknungsmittel muß wieder aus der Druckluft ausgefiltert werden.

5.4.6.3 Externe Warmregeneration

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _ü]	Durchflußleistung [m³/h]	Eintrittstemperatur [°C]
bis -40°C	2 - 16	500 - 15000	bis +50°C

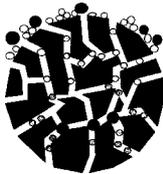
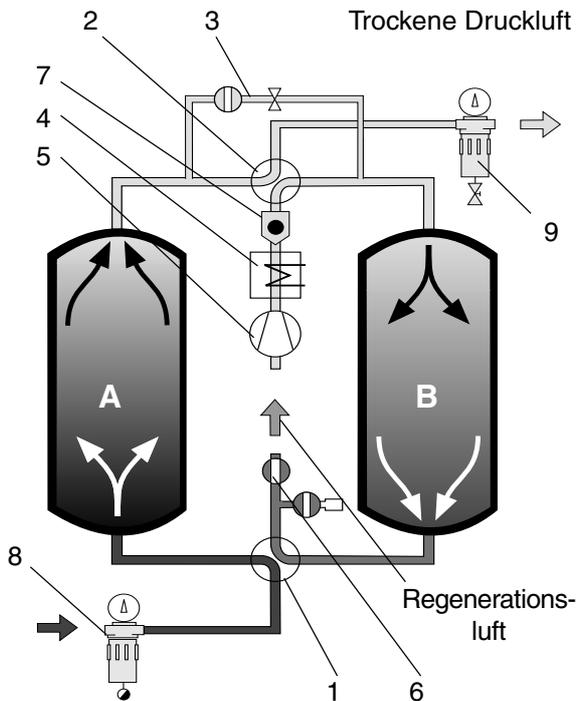


Bild 5.15 :
Adsorptionsmittel nach 6 - 8 Std. Trocknungszeit



Feuchte Druckluft

- 1 = Unterer Ventilblock
- 2 = Oberer Ventilblock
- 3 = Umgehungsleitung mit Lochblende **3. Phase**
- 4 = Heizregister
- 5 = Gebläse
- 6 = Absperrventil
- 7 = Rückschlagventil
- 8 = Vorfilter
- 9 = Nachfilter

Bild 5.16 :
Funktionsschema eines Adsorptionstrockners,
extern warmregenerierend

Bei der Warmregeneration liegen die Trocknungs- und Regenerierungszeiten bei 6 - 8 Std. Während der langen Trocknungsperiode lagert sich die Feuchte an den inneren und äußeren Oberflächen des Adsorptionsmittels an. Um diesen Prozeß umzukehren muß, von außen Wärme zugeführt werden. Bei Überschreiten der Regenerationstemperatur des Trocknungsmittels durch Wärmezufuhr, überwinden die auftretenden Oberflächenenergien die Adhäsionskräfte des Trocknungsmittels und das Wasser verdampft. Ein Regenerationsluftstrom führt die Feuchtigkeit ab.

Die Regenerationstemperatur ist vom Drucktaupunkt der Regenerationsluft abhängig. Je tiefer er liegt, desto niedriger ist die Regenerationstemperatur des Trockners.

Bei der **externen Regeneration** wird Umgebungsluft durch ein Gebläse angesaugt und in einem Heizregister erhitzt. Sie findet in drei Phasen statt:

1. Phase

Der Trocknungsbehälter **B** wird langsam durch den heißen Luftstrom auf die notwendige Regenerationstemperatur erwärmt. Ist die Regenerationstemperatur erreicht, löst sich das Wasser vom Adsorptionsmittel. Das Gebläse pumpt weiter heiße Regenerationsluft durch den Trocknerbehälter **B**. Dieser Regenerationsluftstrom nimmt den Wasserdampf auf und transportiert ihn über ein Austrittsventil ins Freie.

2. Phase

In einer Kühlphase sinkt die Betriebstemperatur wieder auf die Temperatur des Trocknungsbehälters **B**. Zu diesem Zweck wird das Heizregister des Gebläses abgeschaltet und kalte Umgebungsluft durch den Trocknerbehälter geleitet.

3. Phase

Am Ende der Kühlung fließt trockene, entspannte Druckluft aus dem Kompressor durch den Trocknungsbehälter, damit die Umgebungsluft den Trockner nicht wieder mit Feuchtigkeit belastet.

Eigenschaften

- **Wirtschaftlicher Einsatz bei hohen Volumenströmen**
- Höhere Regenerierungstemperaturen ermöglichen einen niedrigeren Drucktaupunkt.
- Geringer zusätzlicher Druckluftverbrauch. Die Regenerationsluft wird nur zu einem kleinen Teil aus dem Druckluftsystem entnommen.
- Vorfiltrierung der Eintrittsluft. Ein Vorfilter befreit die Druckluft weitgehend von Ölteilen, Wassertropfen und Schmutzpartikeln.
- Nachfiltrierung der getrockneten Druckluft. Aus dem Trocknungsbehälter mitgerissenes Trocknungsmittel muß wieder aus der Druckluft ausgefiltert werden.

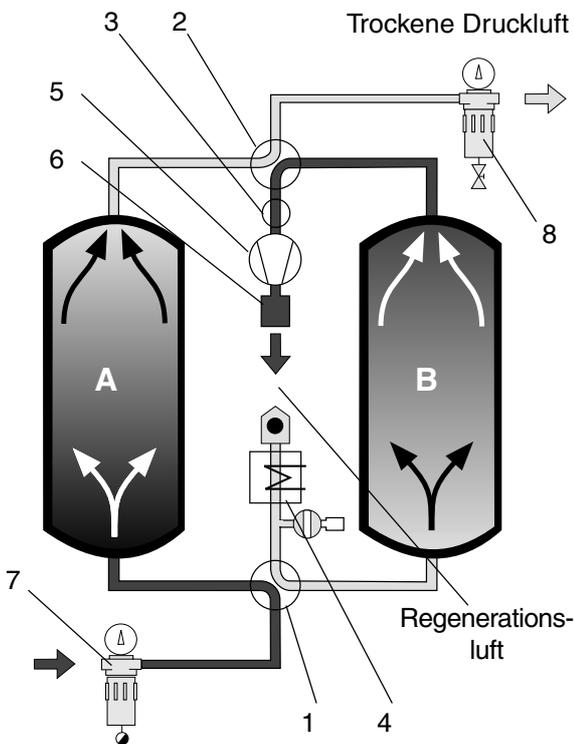
Druckluftaufbereitung

5.4.6.4 Vakuumregeneration

Drucktaupunkt [°C]	Betriebsdruck [bar _ü]	Durchflußleistung [m ³ /h]	Eintrittstemperatur [°C]
bis -80°C	4 - 16 bar	400 - 7 400	bis +40°C



Bild 5.17 :
Adsorptionsmittel nach 6 - 8 Std. Trocknungszeit



Feuchte Druckluft

- 1 = Unterer Ventilblock
- 2 = Oberer Ventilblock
- 3 = Absperrventil
- 4 = Heizregister
- 5 = Gebläse
- 6 = Schalldämpfer
- 7 = Vorfilter
- 8 = Nachfilter

Bild 5.18 :
Funktionsschema eines Adsorptionstrockners,
Vakuumregenerierend

Die Vakuumregeneration ist eine Variante der externen Warmregeneration. Wie bei der Warmregeneration liegen die Trocknungs- und Regenerierungszeiten bei 6 - 8 Std. Während der langen Trocknungsperiode lagert sich die Feuchte an den inneren und äußeren Oberflächen des Adsorptionsmittels an. Um diesen Prozeß umzukehren, muß von außen Wärme zugeführt werden. Bei Überschreiten der Regenerationstemperatur des Trocknungsmittels durch Wärmezufuhr, überwinden die auftretenden Oberflächenenergien die Adhäsionskräfte des Trocknungsmittels und das Wasser verdampft. Ein Regenerationsluftstrom führt die Feuchtigkeit ab.

Die Regenerationstemperatur ist vom Drucktaupunkt der Regenerationsluft abhängig. Je tiefer er liegt, desto niedriger ist die Regenerationstemperatur des Trockners.

Bei der **Vakuumregeneration** wird Umgebungsluft mit Unterdruck durch den Trocknungsbehälter gesaugt. Dieser Luftstrom erhitzt extern. Die Vakuumregeneration läuft in zwei Phasen ab.

1. Phase

Eine Vakuumpumpe saugt Umgebungsluft an. In einem Heizregister wird dieser Luftstrom erhitzt und durch den Trocknungsbehälter gesaugt. Ist die Regenerationstemperatur erreicht, löst sich das Wasser vom Adsorptionsmittel. Der Regenerationsluftstrom nimmt den Wasserdampf auf. Anschließend wird er ins Freie abgeführt.

2. Phase

In einer Kühlphase sinkt die Betriebstemperatur wieder auf die Temperatur des Trocknungsbehälters. Zu diesem Zweck wird das Heizregister abgeschaltet und die kalte Umgebungsluft durch den Trocknungsbehälter gesaugt.

Eigenschaften

- **Wirtschaftlicher Einsatz bei hohen Volumenströmen**
- Kein zusätzlicher Druckluftverbrauch.
Es wird keine Druckluft zur Regeneration aus dem System entnommen.
- Hohe Standzeiten des Trockenmittels.
Die thermische Belastung des Trockenmittels ist gering.
- Energiekosteneinsparung durch niedrigere Regenerationstemperatur.
- Vorfiltrierung der Eintrittsluft.
Ein Vorfilter befreit die Druckluft weitgehend von Ölanteilen, Wassertropfen und Schmutzpartikeln.
- Nachfiltrierung der getrockneten Druckluft.
Aus dem Trocknungsbehälter mitgerissenes Trocknungsmittel muß wieder aus der Druckluft ausgefiltert werden.

5.4.7 Anordnung des Kälte-Drucklufttrockners

Für die Anordnung eines Kälte-Drucklufttrockners in einer Kompressorstation gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Die Installation des Trockners **vor** oder **hinter** dem Druckluftbehälter. Eine generelle Festlegung kann man nicht treffen, da beide Varianten Vor- und Nachteile bei bestimmten Anwendungskonstellationen haben.

5.4.7.1 Trockner vor dem Druckluftbehälter

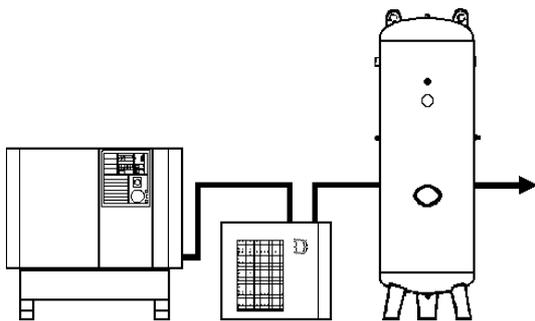


Bild 5.19 :
Trockner vor dem Druckluftbehälter

Vorteile :

- Getrocknete Luft im Druckluftbehälter.
Es gibt keinen Kondensatausfall im Druckluftbehälter.
- Gleichbleibende Druckluftqualität.
Auch bei schlagartiger, hoher Druckluftentnahme bleibt der Drucktaupunkt der Druckluft unverändert.

Nachteile :

- Große Dimensionierung des Trockners.
Der Trockner muß nach der effektiven Gesamtliefermenge des vorgeschalteten Kompressors ausgelegt werden. Bei niedrigem Verbrauch ist der Trockner oft überdimensioniert.
- Trocknung pulsierender Druckluft.
Besonders Kolbenkompressoren liefern bauartbedingt einen pulsierenden Luftstrom. Das belastet den Trockner.
- Hohe Druckluft-Eintrittstemperatur.
Die Druckluft kommt direkt vom Nachkühler des Kompressors.
- Trocknung eines Teilluftstroms ist nicht möglich.
- Große Kondensatmenge.
Die gesamte Kondensatmenge beaufschlagt den Trockner.
- Bei Kompressor-Mehrfachanlagen muß jeden Kompressor ein Trockner nachgeschaltet werden.

Fazit

Die Anordnung des Trockners vor dem Druckbehälter ist dann zu empfehlen, wenn oft mit plötzlichen Bedarfsspitzen zu rechnen ist und die Druckluftqualität nicht leiden darf.

5.4.7.2 Trockner hinter dem Druckluftbehälter

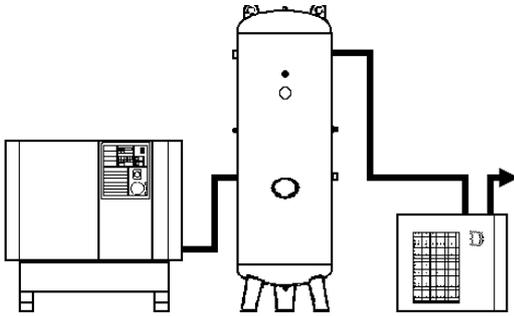


Bild 5.20 :
Trockner hinter dem Druckluftbehälter

Vorteile :

- Günstige Dimensionierung des Trockners.
Der Trockner kann nach dem tatsächlichen Druckluftverbrauch, oder einem zu trocknenden Teilstrom der Druckluft dimensioniert werden.
- Trocknung eines beruhigten Volumenstromes.
- Niedrige Druckluft-Eintrittstemperatur.
Die Druckluft hat Gelegenheit, sich im Druckluftbehälter weiter abzukühlen.
- Kleine Kondensatmengen.
Die ausgefallenen Kondensattröpfchen sammeln sich im Druckluftbehälter und belasten den Rest des Systems nicht.

Nachteile :

- Kondensat im Druckluftbehälter.
Feuchtigkeit im Druckluftbehälter führt zu Korrosion.
- Überlastung des Trockners.
Bei schlagartiger, hoher Druckluftentnahme wird der Trockner überlastet. Der Drucktaupunkt der Druckluft steigt.

Fazit

Für die Installation des Trockners hinter dem Druckluftbehälter sprechen besonders wirtschaftliche Gründe. Es kann üblicherweise ein kleinerer Trockner gewählt werden. Er ist besser ausgelastet.

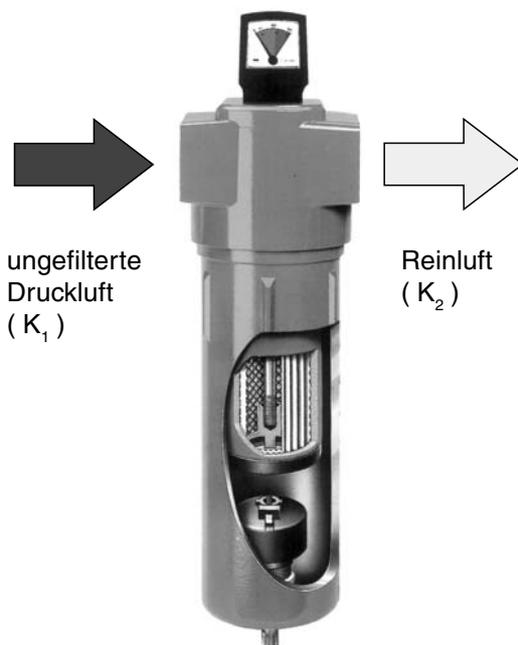
5.5 Druckluftfilter

5.5.1 Grundbegriffe der Filtertechnik

Für die Beurteilung und das Betreiben von Filtern ist es notwendig, bestimmte Größen und Faktoren zu definieren und zu erklären.

5.5.1.1 Filterabscheidegrad η [%]

Der Filterabscheidegrad η gibt den Konzentrationsunterschied der Schmutzpartikel **vor** und **nach** dem Filter an. Er wird vielfach auch als Wirkungsgrad bezeichnet. Der Filterabscheidegrad η ist ein Maß für die Wirksamkeit des Filters. Dabei muß immer die minimale Korngröße [μm] angegeben werden, die der Filter noch ausfiltern kann.



$$\eta = 100 - \left[\frac{K_2}{K_1} \times 100 \right]$$

K_1 = Konzentration der Schmutzpartikel **vor** dem Filter.

K_2 = Konzentration der Schmutzpartikel **nach** dem Filter.

η = Filterabscheidegrad [%]

Die Konzentration wird meist in Gewichtsanteilen pro Volumeneinheit [g/m^3] der Druckluft gemessen. Bei schwächeren Konzentrationen bestimmt man die Konzentration meist durch Auszählen der Teilchen pro Volumeneinheit [Z/cm^3]. Besonders bei der Bestimmung des Abscheidegrades von Hochleistungsfiltern werden fast immer die Teilchen pro Volumeneinheit ermittelt. Um die Gewichtsanteile pro Volumeneinheit in ausreichender Genauigkeit zu ermitteln, wäre der Meßaufwand unverhältnismäßig hoch.

Bild 5.21 :
BOGE Vorfilter, Baureihe V
 $\eta = 99,99\%$ bezogen auf $3\ \mu\text{m}$

Beispiel

Druckluft ist vor der Filterung mit einer Partikelkonzentration von $K_1 = 30\ \text{mg}/\text{m}^3$ belastet. Die Reinluft nach dem Filter hat noch eine Partikelkonzentration von $K_2 = 0,003\ \text{mg}/\text{m}^3$ bei Partikelgrößen über $3\ \mu\text{m}$.

$$\eta = 100 - \left[\frac{0,003}{30} \times 100 \right]$$

$$\eta = 99,99\%$$

Der Filter hat einen prozentualen Abscheidegrad von $99,99\%$ bezogen auf $3\ \mu\text{m}$.

Druckluftaufbereitung

5.5.1.2 Druckabfall Δp

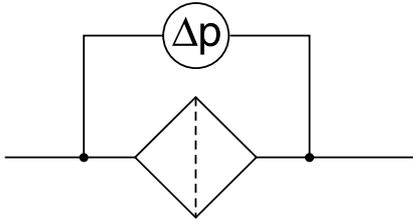


Bild 5.22 :
Allgemeiner Filter mit Δp Meßgerät

Der Druckabfall Δp ist der strömungstechnisch bedingte Druckunterschied **vor** und **nach** dem Filter. Der Druckabfall Δp im Filter wächst durch Anlagern von Staub- und Schmutzpartikeln im Filterelement mit der Zeit an.

- Δp_0 ist der Druckabfall für neue Filterelemente. Er liegt je nach Filterart zwischen 0,02 und 0,2 bar.
- Der wirtschaftlich vertretbare Grenzwert für den Druckabfall Δp liegt bei ca. 0,6 bar.

Um den Druckabfall im Filter festzustellen wird in die meisten Filter ein Druck-Differenzmeßgerät eingebaut.

Überschreitet der Druckabfall Δp den Grenzwert ist eine Reinigung des Filters oder ein Austausch des Filterelements notwendig.

5.5.1.3 Betriebsdruck

Der maximale Volumenstrom eines Filters bezieht sich immer auf den Normdruck $p_{\bar{u}} = 7$ bar. Bei verändertem Druck ändert sich die maximale Durchflußmenge des Filters. Die Änderung der Durchflußmenge läßt sich mit Hilfe der entsprechenden Umrechnungsfaktoren **f** leicht ermitteln.

Druck [bar _ü]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faktor f	0,25	0,38	0,5	0,65	0,75	0,88	1	1,13	1,25	1,38	1,5	1,63	1,75	1,88	2

Beispiel

Ein BOGE-Vorfilter V50 mit einer nominalen Leistung von 300 m³/h beim Normdruck $p_{\bar{u}} = 7$ bar soll bei $p_{\bar{u}} = 10$ bar betrieben werden.

$$L_7 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p_{\bar{u}} = 10 \text{ bar} \quad \Rightarrow \quad f = 1,38$$

$$L_{10} = L_7 \times f$$

$$L_{10} = 300 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,38$$

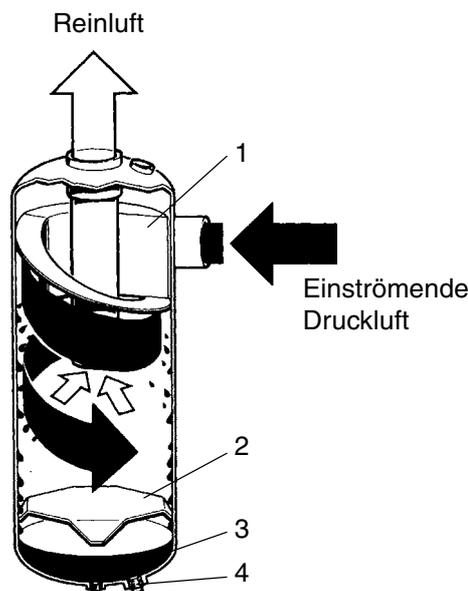
$$L_{10} = 414 \text{ m}^3/\text{h}$$

- L_{10} = effektive Leistung bei $p_{\bar{u}} = 10$ bar [m³/h]
- L_7 = effektive Leistung bei $p_{\bar{u}} = 7$ bar [m³/h]
- f = Umrechnungsfaktor für $p_{\bar{u}} = 10$ bar

Der Filter hat bei einem Druck von $p_{\bar{u}} = 10$ bar eine effektive Leistung von nominal 414 m³/h.

5.5.2 Zyklonabscheider

Druck-differenz Δp [bar]	Abscheide-grad [%]	Partikel-größe [μm]	Restöl-gehalt [mg/m^3]
> 0,05 bar	95 %	> 50 μm	unbeein-flußt



- 1 = Wirbeleinsatz
- 2 = Prallscheibe
- 3 = Sammelraum
- 4 = Kondensatablaß

Bild 5.23 :
Zyklonabscheider

Die Druckluft enthält nach dem Austritt aus dem Kompressor neben dem Wasser in Form von Wasserdampf auch Wasserkondensattröpfchen. Diese Wassertröpfchen entstehen während des Verdichtungs Vorganges durch das Absinken der Speicherkapazität der Luft bei Volumenverkleinerung.

Dieses Wasser setzt sich normalerweise im Druckluftbehälter ab. Von dort wird das Kondensat abgeleitet.

Funktionsprinzip

Der Zyklonabscheider arbeitet nach dem Massenträgheitsprinzip. Er besteht aus einem Wirbeleinsatz und einem Auffangbehälter. Der Wirbeleinsatz ist so gestaltet, daß er die Druckluft in eine Drehbewegung versetzt. Feste und flüssige Bestandteile der Luft werden durch ihre eigene Massenträgheit nach außen gegen die Behälterinnenwand geschleudert. Dadurch scheiden schwere Schmutzteile und Wassertröpfchen aus. Die ausgeschiedenen Fremdstoffe fließen an einer Prallscheibe vorbei in den Sammelbehälter. Die Prallscheibe verhindert, daß der Luftstrom die abgeschiedene Flüssigkeit wieder mitreißt.

Aus dem Sammelraum kann das Kondensat automatisch oder von Hand abgelassen und fachgerecht entsorgt oder wiederaufbereitet werden.

Eigenschaften

- Nahezu vollständiges Abscheiden von Wassertröpfchen.
- Ausfiltern von schweren Staub- und Schmutzpartikeln.
- Das Abscheidevermögen der Zyklonabscheider hängt von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft ab. Je höher die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto höher der Abscheidegrad. Allerdings steigt mit der Strömungsgeschwindigkeit auch der Druckverlust im Abscheider.

Anwendungsgebiete

- Kein Druckluftbehälter im Rohrleitungsnetz.
- Große Entfernungen zwischen Kompressor und Behälter. Wenn der Druckluftbehälter weit vom Kompressor entfernt ist, dann ist die Installation eines Zyklonabscheiders direkt hinter dem Kompressor sinnvoll. Er verhindert einen unnötigen „Wassertransport“ in der Rohrleitung.
- Steigleitungen zwischen Druckluftbehälter und Kompressor. Die Leitung zwischen Kompressor und Druckluftbehälter geht senkrecht nach oben. Bei Kompressorstillstand fließt Kondenswasser zurück in den Kompressor. In diesem Fall ist die Installation eines Zyklonabscheiders direkt nach dem Kompressor sinnvoll.

Druckluftaufbereitung

5.5.3 Vorfilter

Druck-differenz Δp [bar]	Abscheide-grad [%]	Partikel-größe [μm]	Restöl-gehalt [mg/m^3]
> 0,03 bar	99,99 %	> 3 μm	unbeein-flußt

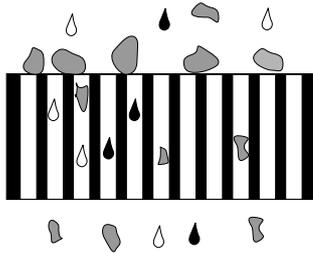


Bild 5.24 :
Filtrationsmechanismus der Oberflächenfilter



Bild 5.25 :
BOGE Vorfilter, Baureihe V

Vorfilter filtern feste Verunreinigungen bis zu einer Partikelgröße von ca. 3 μm aus der Druckluft während sie Öl und Feuchte nur in sehr geringem Maß ausfiltern. Vorfilter entlasten bei sehr staubhaltiger Luft Hochleistungsfilter und Trockner. Sind die Anforderungen an die Qualität der Druckluft gering, kann auf feinere Filter verzichtet werden.

Funktionsprinzip

Vorfilter arbeiten nach dem Prinzip der Oberflächenfiltration. Sie haben eine reine Siebwirkung. Die Porengröße gibt dabei die Partikelgröße an, die gerade noch ausgefiltert werden kann. Die Verunreinigungen bleiben nur an der äußeren Oberfläche der Filterelemente zurück. Gebräuchliche Materialien für Filterelemente sind:

- Sinterbronze.
- Hochmolekulares Polyäthylen.
- Sinterkeramik.
- Bronze oder Messingdraht (grobe Filtrierung).
- gefaltete Zellulose-Papiereinsätze.

Das Filterelement wird von **außen** nach **innen** durchströmt. Eine umgekehrte Strömungsrichtung würde die abgeschiedenen Partikel im Inneren des Filterelements aufbauen. Die ansteigende Feststoffansammlung würde die wirksame Filterfläche zusetzen.

Eigenschaften

- Regenerierbar.
Da die Partikelabscheidung der Vorfilter nur auf der Oberfläche des Filterelements stattfindet, ist das Reinigen der Filterelemente möglich.

5.5.4 Microfilter

Druck-differenz Δp [bar]	Abscheide-grad [%]	Partikel-größe [μm]	Restöl-gehalt [mg/m^3]
> 0,1 bar	99,9999 %	> 0,01 μm	> 0,01

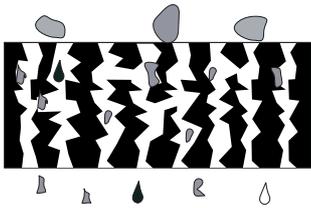


Bild 5.26 :
Filtrationsmechanismus der Tiefenfilter

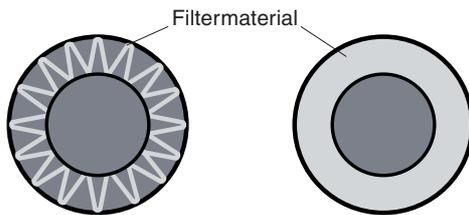


Bild 5.27 :
Plissiertes und gewickeltes Filtermaterial



Bild 5.28 :
BOGE-Microfilter, Baureihe F

Microfilter kommen zum Einsatz, wenn hohe Ansprüche an die Qualität der Druckluft gestellt werden. Sie liefern technisch ölfreie Druckluft. Microfilter reduzieren den Restöl-Gehalt der Druckluft auf $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sie filtern Schmutzpartikel mit einem Abscheidegrad von 99,9999 % bezogen auf $0,01 \mu\text{m}$ aus.

Funktionsprinzip

Microfilter, auch Koaleszenz- oder Hochleistungsfilter genannt, sind Tiefenfilter. Sie filtern die Wasser- und Öl-Kondensatphase in Form von feinen und feinsten Tröpfchen aus der Druckluft.

Der Tiefenfilter ist ein Faservlies, das aus einem Gewirr von feinsten Einzelfasern besteht. Die Fasern sind zufällig miteinander verschlungen und bilden so eine poröse Struktur. Zwischen den Fasern bildet sich ein labyrinthisches System aus Gängen und Öffnungen. Dieses System weist Strömungskanäle auf, die teilweise weitaus größer sind als die auszuscheidenden Partikel. Die Partikelabscheidung erfolgt während des gesamten Weges, den die Druckluft durch das Filterelement zurücklegt.

Die Microfilter arbeiten mit plissiertem Filtermaterial. Dadurch vergrößert sich die effektive Filterfläche im Vergleich zu gewickelten Filtern um ca. $\frac{1}{3}$. Der Druckabfall Δp wird ebenfalls erheblich reduziert. Daraus entstehen Vorteile :

- Erhöhte Durchflußleistung.
- Geringerer Energieverlust.
- Längere Standzeiten.

Ein Tiefenfilter wird von **innen** nach **außen** durchströmt. Die Flüssigkeitsphase aus Öl und Wasser lagert sich beim Durchströmen des Filters am Faservlies an. Die Luftströmung treibt dann das Kondensat und die größer werdenden Tropfen weiter durch den Filter nach außen. Ein Teil des Kondensat verläßt durch diesen Effekt das Filterelement wieder. Der Schwerkraft folgend sammelt sich das Kondensat im Sammelraum des Filters.

Die Standzeiten des Filtern nehmen zu, denn das ausgefilterte Kondensat belastet das Element bei dieser Strömungsrichtung nicht mehr.

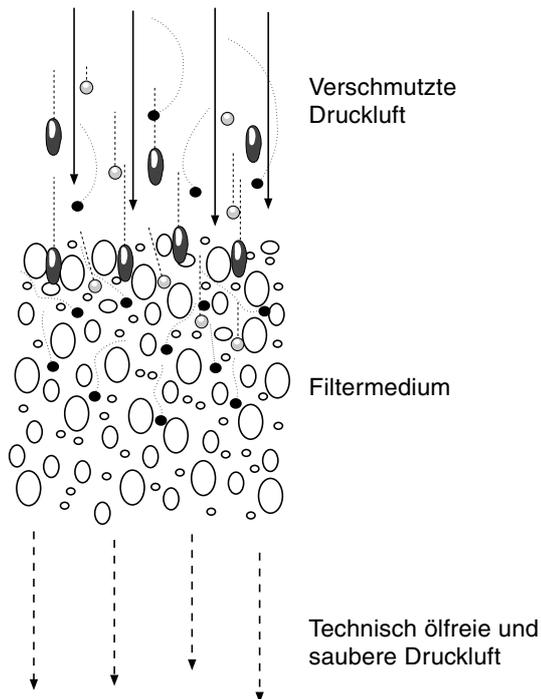


Bild 5.29
Mechanismen der Tiefenfiltration

Filtermechanismen

Um das Abscheiden feinsten Teilchen zu erreichen, wirken drei entscheidende Mechanismen zusammen.

- Direkte Berührung.
Größere Teilchen und Tropfen treffen direkt auf Fasern des Filtermaterials und werden gebunden.
- Aufprall.
Teilchen und Tropfen treffen auf die willkürlich gelagerten Fasern des Filtermaterials. Dort prallen sie ab, werden aus der Strömungsbahn geleitet und von der nächsten Faser absorbiert.
- Diffusion.
Kleine und kleinste Partikel koalieren im Strömungsfeld und schließen sich aufgrund der Brown'schen Molekularbewegung zu immer größer werdenden Partikeln zusammen. Diese Partikel scheiden dann aus.

Am weitesten verbreitet in der Hochleistungsfiltertechnik ist Borsilikatfasermaterial in Form von Glasfaserschichten. Es dient als Material für den Tiefenfilter. Darüber hinaus findet man :

- Metallfasern.
- Kunststofffasern.

Eigenschaften

- Abscheidung von Öl in der Flüssigphase.
Man findet Kohlenwasserstoffe in zwei Aggregatzuständen in der Druckluft: - gasförmig als Öldampf.
- flüssig in Form von Tropfen.
Die Öltropfen filtert ein Hochleistungsfilter zu nahezu 100 % aus. Der Öldampf kann nicht ausgefiltert werden.
- Niedrige Betriebstemperaturen.
Der Abscheidegrad des Filters sinkt mit steigender Betriebstemperatur. Ein Teil der Öltropfen verdampft und durchdringt den Filter. Bei einem Temperaturanstieg von +20° auf +30°C strömt bereits die 5fache Ölmenge durch den Filter.
- Recyclbar.
Die zum Einsatz kommenden Materialien sind nach umweltpolitischen Gesichtspunkten ausgewählt.

5.5.5 Aktivkohlefilter

Druckdifferenz Δp [bar]	Abscheidegrad [%]	Partikelgröße [μm]	Restölgehalt [mg/m^3]
> 0,02 bar	99,9999	0,01	> 0,005



Bild 5.30 :
BOGE-Filterkombination, Baureihe AF
Ein Aktivkohlefilter mit vorgeschaltetem Microfilter

Nach dem Einsatz von Hochleistungsfiltern und Trocknern enthält die technisch ölfreie Druckluft immer noch Kohlenwasserstoffe, sowie diverse Geruchs- und Geschmacksstoffe.

Es gibt zahlreiche Druckluftanwendungen, bei denen diese Rückstände zu Produktionsstörungen, Qualitätsbeeinträchtigungen und Geruchsbelästigungen führen würden.

Ein Aktivkohlefilter entfernt die Kohlenwasserstoffdämpfe aus der Druckluft. Der Restöl-Gehalt kann bis auf $0,005 \text{ mg}/\text{m}^3$ reduziert werden. Die Druckluftqualität ist besser als für Atemluft gefordert. Die auskondensierten Öltröpfchen scheidet bereits der vorgeschaltete Filter (BOGE-Microfilter Baureihe F) aus.

Funktionsprinzip

Die Filterung der Druckluft durch Adsorption ist ein rein physikalischer Vorgang. Die Kohlenwasserstoffe werden durch Adhäsionskräfte (unausgeglichene molekulare Anziehungskräfte) an die Aktivkohle gebunden. Dabei kommt es zu keiner chemischen Verbindung.

Die getrocknete und vorgefilterte Druckluft wird durch ein plisieretes Aktivkohle-Filterelement geleitet. Das Erscheinungsbild dieses Filterelements gleicht dem des Microfilters. Wie dort wird die Druckluft von innen nach außen durch das Filterelement geleitet.

Eigenschaften

- Vorfilterung.
Einem Aktivkohle-Filter muß immer ein Hochleistungsfilter und ein Trockner vorgeschaltet sein. Verunreinigte Druckluft zerstört das Adsorbat und reduziert die Filterwirkung.
- Keine Regenerierung.
Die Aktivkohlefüllung läßt sich nicht regenerieren. Je nach Sättigungsgrad muß sie ausgetauscht werden.
- Standzeiten.
Das Filterelement eines Aktivkohlefilteres muß nach ca. 300 - 400 Betriebsstunden ersetzt werden.

Anwendungsgebiete

- Nahrungsmittel- und Genußmittelindustrie.
- Pharmazeutische Industrie.
- Chemischen Industrie.
- Oberflächenbearbeitung.
- Medizintechnik.

5.5.6 Aktivkohle-Adsorber

Druckdifferenz Δp [bar]	Abscheidegrad [%]	Partikelgröße [μm]	Restölgehalt [mg/m^3]
> 0,1 bar	–	–	> 0,003

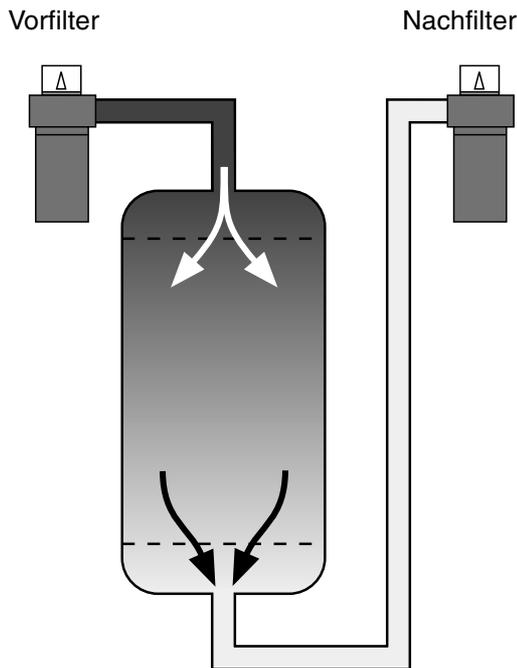


Bild 5.31 :
Funktionsschema eines
BOGE-Aktivkohle-Adsorbers Typ DC

Nach dem Einsatz von Hochleistungsfiltern und Trocknern enthält die technisch ölfreie Druckluft immer noch Kohlenwasserstoffe, sowie diverse Geruchs- und Geschmacksstoffe. Es gibt zahlreiche Druckluftanwendungen, bei denen diese Rückstände zu Produktionsstörungen, Qualitätsbeeinträchtigungen und Geruchsbelästigungen führen würden.

Ein Aktivkohle-Adsorber entfernt die Kohlenwasserstoffdämpfe aus der Druckluft. Der Restöl-Gehalt kann bis auf $0,003 \text{ mg}/\text{m}^3$ reduziert werden. Die Druckluftqualität ist besser als für Atemluft gefordert. Die auskondensierten Öltröpfchen scheidet bereits der vorgeschaltete Filter (BOGE-Microfilter Baureihe F) aus.

Funktionsprinzip

Die Filterung der Druckluft durch Adsorption ist ein rein physikalischer Vorgang. Die Kohlenwasserstoffe werden durch Adhäsionskräfte (unausgeglichene molekulare Anziehungskräfte) an die Aktivkohle gebunden. Dabei kommt es zu keiner chemischen Verbindung.

Die getrocknete und gefilterte Druckluft wird durch einen Diffusor ins lose aufgeschüttete Aktivkohlebett geleitet. Der Diffusor verteilt die Druckluft gleichmäßig über das gesamte Aktivkohlebett. Das ermöglicht lange Kontaktzeiten und eine optimale Ausnutzung des Adsorptionsmittel. Nach dem Adsorberbett passiert die Druckluft einen Austrittskollektor und verläßt den Aktivkohle -Adsorber.

Eigenschaften

- Vorfilterung.
Einem Aktivkohle-Adsorber muß immer ein Hochleistungsfilter und ein Trockner vorgeschaltet sein. Verunreinigte Druckluft zerstört das Adsorbat und reduziert die Filterwirkung.
- Nachfilterung.
Aus Sicherheitsgründen sollte dem Adsorber ein Hochleistungsfilter nachgeschaltet werden. Die Druckluft reißt feinste Kohlenstaubteilchen (kleiner $1 \mu\text{m}$) aus dem Aktivkohlebett mit.
- Keine Regenerierung.
Die Aktivkohlefüllung läßt sich nicht regenerieren. Bei Sättigung muß die Aktivkohle ausgetauscht werden.
- Hohe Standzeiten.
Die Aktivkohlefüllung muß erst nach 8000 - 10000 Betriebsstunden ersetzt werden.

Anwendungsgebiete

- Wie Aktivkohlefilter.

5.5.7 Sterilfilter

Druck-differenz Δp [bar]	Abscheide-grad [%]	Partikel-größe [μm]	Restöl-gehalt [mg/m^3]
> 0,09 bar	99,9999	0,01	–



Bild 5.32 :
BOGE-Sterilfilter, Baureihe ST

Lebende Organismen wie Bakterien, Bakteriophagen und Viren stellen in vielen Bereichen ein großes gesundheitliches Problem dar. Sterilfilter erzeugen 100 % sterile und keimfreie Druckluft.

Funktionsprinzip

Der vorgereinigte Luftstrom wird von außen nach innen durch das Filterelement geleitet. Das Filterelement setzt sich aus zwei Filterstufen zusammen. Im Vorfilter werden Mikroorganismen bis zu einer Größe von $1 \mu\text{m}$ festgehalten. Die zweite Filterstufe besteht aus einem chemisch und biologisch neutralen, dreidimensionalen Mikrofaservlies aus Borsilikat. Hier werden die restlichen Organismen ausgefiltert. Ein Edelstahlkäfig fixiert die Filterelemente.

Die Filter sind bis zu 100 mal zu reinigen und zu sterilisieren. Zu diesem Zweck werden sie gedämpft. Dabei strömt bis zu $+200^\circ\text{C}$ heißer Dampf durch den Filter. Der Dampf kann von beiden Seiten durch den Filter geschickt werden. Eine Sterilisation durch andere Medien ist ebenfalls denkbar.

- Heißwasser
- Heiße Luft
- Gas (ethylene Oxide, Formaldehyd)
- H_2O_2

Eigenschaften

- Edelmateriale.
Alle Metallbestandteile des Filters sind aus hochlegiertem Edelstahl. Edelstahl bietet Mikroorganismen keinen Nährboden und kann weder korrodieren noch verrotten.
- Resistent.
Das Filtermedium ist inaktiv und beständig gegen Chemikalien und hohe Temperaturen. Bakterien können nicht an- oder durchwachsen.
- Kurze sterile Kontaktentfernungen.
Ein Sterilfilter sollte direkt am Endverbraucher installiert werden.

Anwendungsgebiete

- Nahrungsmittel- und Genußmittelindustrie.
- Pharmazeutische Industrie.
- Chemische Industrie.
- Verpackungsindustrie.
- Medizintechnik.