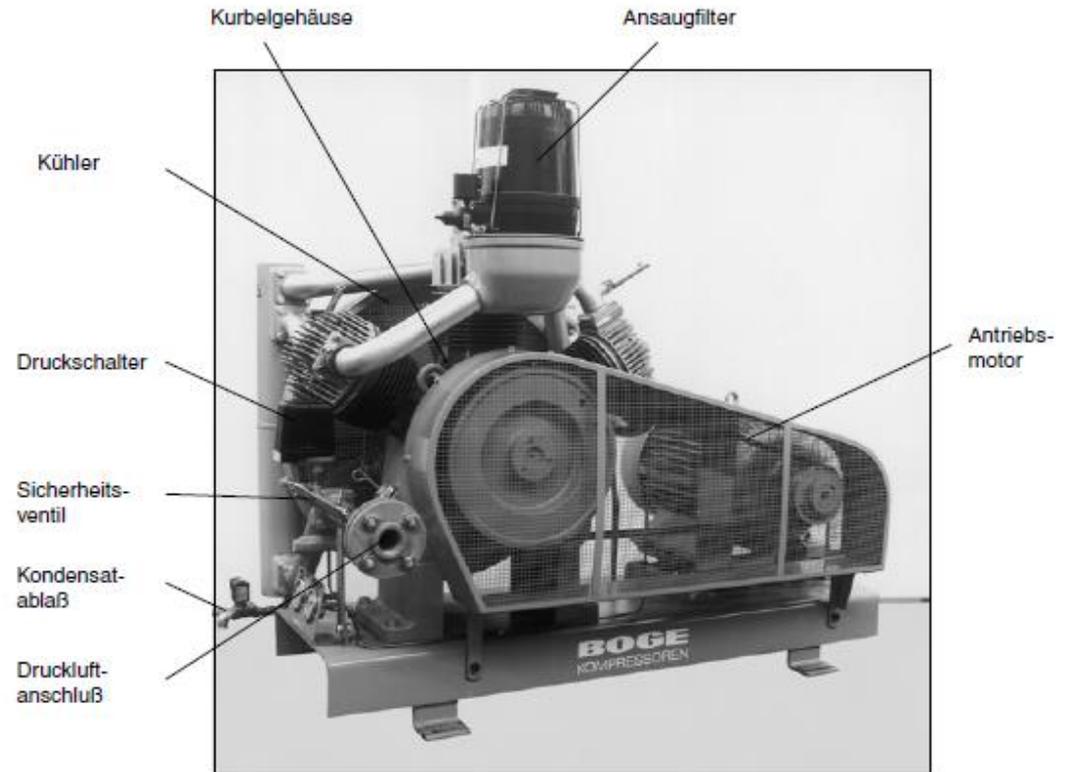
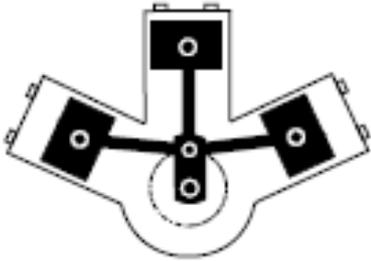


# Drockloftopbereitung

Pol Binsfeld

# Kolbenkompressoren

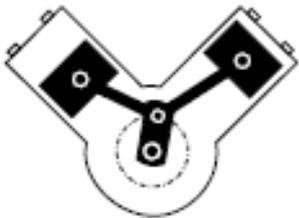




Die Hubkolbenkompressoren werden unterschieden nach der **Zylinderanordnung** in :

### **Stehende Zylinder (vertikale Bauart)**

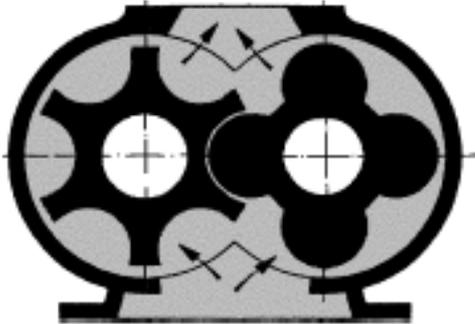
- Keine Belastung des Kolbens bzw. der Pleuellager durch das Pleuengewicht.
- Geringe Grundfläche.



### **Liegende Zylinder (horizontale Bauart)**

- Nur als Mehrzylinderkompressor in Boxer-Bauart.
- Geringe Massenkräfte. Dieser Vorteil macht sich erst bei größeren Leistungen bemerkbar





*Funktionsbild Schraubenkompressorstufe*

## **Schraubenkompressoren ölfrei**

Bei ölfrei verdichtenden Schraubenkompressoren, bei denen die zu verdichtende Luft im Druckraum nicht mit Öl in Berührung kommt, sind die beiden Rotoren durch ein Gleichlaufgetriebe verbunden, so dass sich die Profiloberflächen nicht berühren.



*Schnittbild  
Schraubenkompressorstufe*

## **Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung**

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung wird nur der Hauptläufer angetrieben.

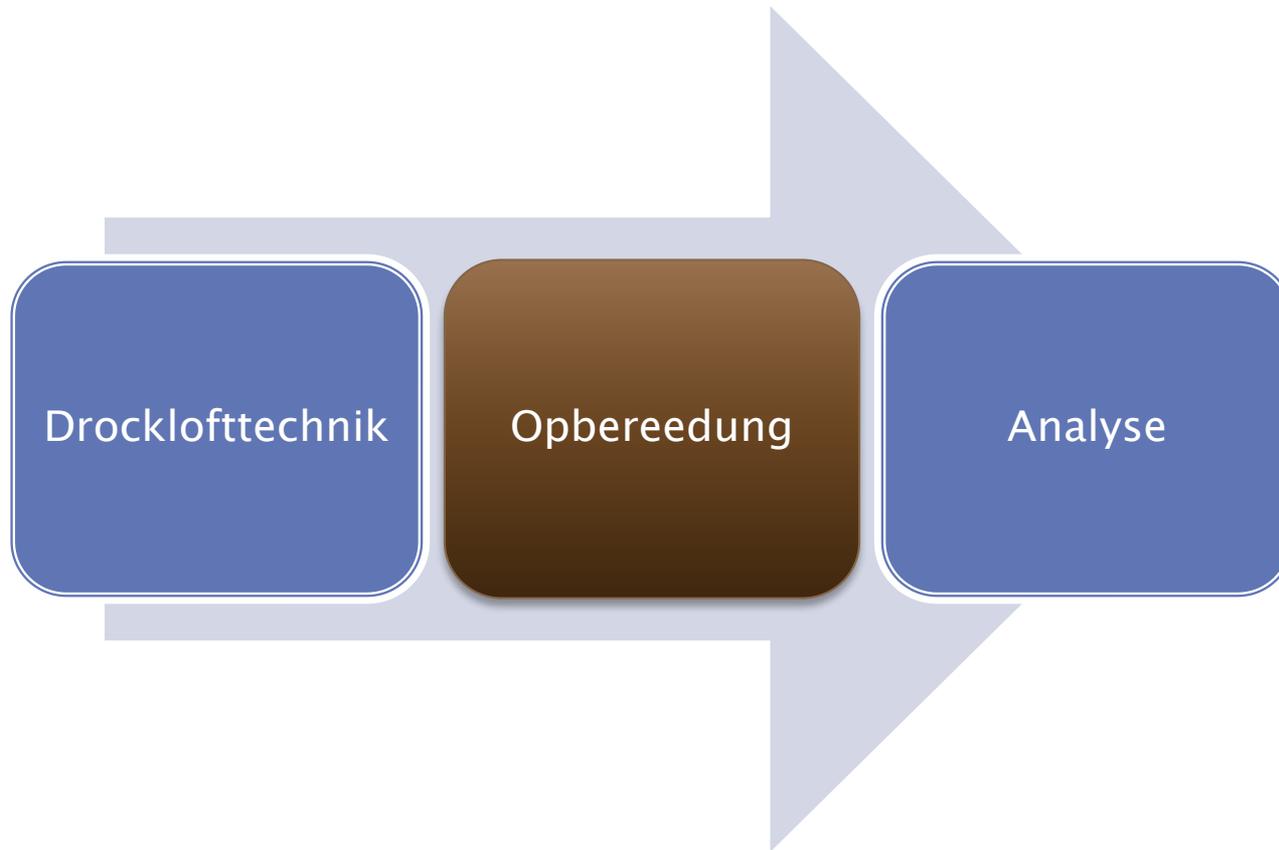
Der Nebenläufer dreht sich berührungsfrei mit.

### **Eigenschaften:**

- Geringe Baugröße.
- Kontinuierliche Luftförderung.
- Niedrige Verdichtungsendtemperatur.

(bei Öleinspritzkühlung)

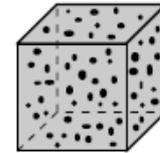
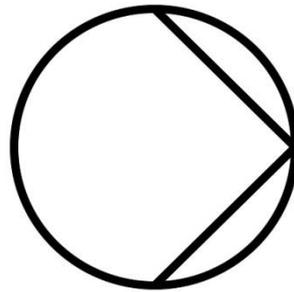
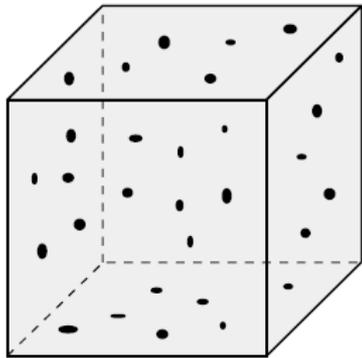
# Programm



# Agenda

- ▶ **Warum Druckluftaufbereitung**
  - Folgen schlechter Aufbereitung
  - Luftverunreinigungen
  - Qualitätsklassen
- ▶ **Wasser in der Druckluft**
  - Definitionen & Grundlagen
  - Trocknungsmethoden
- ▶ **Druckluftfilter**
  - Vorfilter
  - Microfilter
  - Aktivkohlefilter

# Warum Druckluftaufbereitung



# Warum Druckluftaufbereitung



**Faktor x11 an Verunreinigungen**

# Warum Druckluftaufbereitung

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

# Warum Druckluftaufbereitung

1 m<sup>3</sup> Umgebungsluft enthält:

- ▶ Bis zu 180 Millionen Schmutzpartikel.
- ▶ 5 – 40 g/m<sup>3</sup> Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit.
- ▶ 0,01 bis 0,03 mg/ m<sup>3</sup> Öl.
- ▶ Spuren von Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Quecksilber, Eisen.

Bei 10 bar: Faktor x11

## 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.

# Folgen schlechter Aufbereitung



## Öl in der Druckluft:

- ▶ Verharztes Öl kann zu Durchmesserreduzierung und Blockaden in Rohrleitungen führen.
- ▶ 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.
- ▶ Eisbildung im Druckluftnetz.
  - Bei niedrigen Temperaturen kann das Wasser im Druckluftnetz gefrieren und dort Frostschäden, Durchmesserreduzierung und Blockaden verursachen.

# Qualitätsklassen



## nach DIN ISO 8573

Klasse	Feststoffverunreinigungen				Feuchtigkeit	Max. Ölgehalt mg/m <sup>3</sup>
	Max. Teilchenzahl pro m <sup>3</sup>				Max. Drucktaupunkt	
	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 <sup>3</sup>
2	n.A.	100.000	1.000	10	< = -40°C	< = 0,1 mg/m <sup>3</sup>
3	n.A.	n.A.	10.000	500	< = -20°C	< = 1 mg/m <sup>3</sup>
4	n.A.	n.A.	n.A.	1.000	< = + 3°C	< = 5 mg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> Klasse 7: d < = 40 µm und Dichte < = 10 mg/m <sup>3</sup>				Klassen 7 bis 9 werden nach ihrem Gehalt an flüssigem Wasser definiert. Klasse 7: C <sub>w</sub> < = 5 mg/m <sup>3</sup> Klasse 8: 0,5 g/m <sup>3</sup> < C <sub>w</sub> < = 5 mg/m <sup>3</sup> Klasse 9: 5 g/m <sup>3</sup> < C <sub>w</sub> < = 10 mg/m <sup>3</sup>	

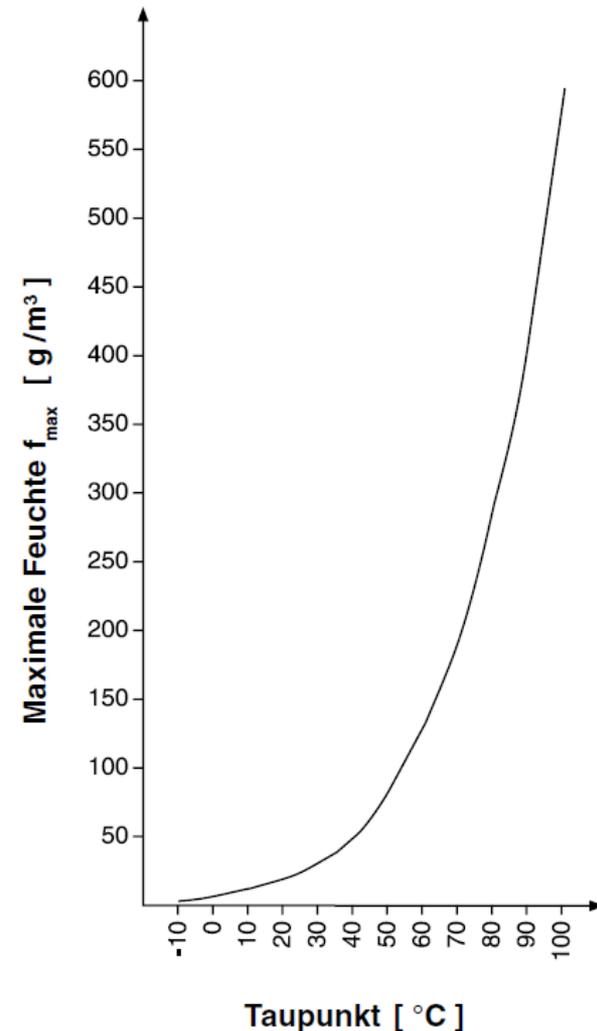
# Wasser in der Druckluft

# Wasser in der Druckluft

- ▶ **Definitionen**
  - Luftfeuchtigkeit
  - Taupunkte
  - Kondensat bei Komprimierung
- ▶ **Trocknungsmethoden**
  - Übersicht der Methoden
  - Methoden Detail
- ▶ **Anordnung**
- ▶ **Dimensionierung**

# 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.



# Luftfeuchtigkeit

## Maximale Feuchte $f_{\max}$ [ g/m<sup>3</sup> ]

- ▶ Unter der maximalen Feuchte  $f_{\max}$  ( Sättigungsmenge ) versteht man die maximale Menge Wasserdampf, die 1 m<sup>3</sup> Luft bei einer bestimmten Temperatur enthalten kann.

# Luftfeuchtigkeit

## Absolute Feuchte $f$ [ g/m<sup>3</sup> ]

- ▶ Unter der absoluten Feuchte  $f$  versteht man die in 1 m<sup>3</sup> Luft tatsächlich enthaltene Menge Wasserdampf.

# Luftfeuchtigkeit

## Relative Feuchte $\varphi$ [ % ]

- ▶ Unter der relativen Feuchte  $\varphi$  versteht man das Verhältnis der absoluten zur maximalen Feuchte.

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

$\varphi$  = relative Feuchte [ % ]  
 $f$  = absolute Feuchte [ g/m<sup>3</sup> ]  
 $f_{\max}$  = maximale Feuchte [ g/m<sup>3</sup> ]

# Taupunkt

## Atmosphärischer Taupunkt [ °C ]

- ▶ die Temperatur, auf die **atmosphärische** Luft ( 1 bar\_abs ) abgekühlt werden kann, ohne dass Wasser ausfällt.
- ▶ ist für Druckluftsysteme von untergeordneter Bedeutung.

# Taupunkt

## Drucktaupunkt [ °C ]

- ▶ 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.

# Taupunkt



## Beispiele:

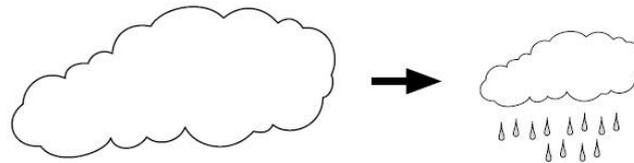
- ▶ 15°C
  - 12,74 g/m<sup>3</sup>
  
- ▶ 45°C
  - 64,85 g/m<sup>3</sup>
  
- ▶ 75°C
  - 239,35 g/m<sup>3</sup>

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

# Kondensat bei Komprimierung



- ▶ 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.

# Kondensat bei Komprimierung

## Rechenbeispiel

- ▶ An einem heißen (35°C) und schwülen (80% Luftfeuchtigkeit) Sommertag sollen 10 m<sup>3</sup> auf 10 bar Überdruck verdichtet werden.
- ▶ Wasseranteil der zu verdichtenden Umgebungsluft:

$$m_1 = V_1 \times f_{\max 1} \times \frac{\varphi_1}{100}$$

$$m_1 = 10 \times 39,29 \times \frac{80}{100}$$

$$m_1 = 314,32 \text{ g}$$

- ▶ Wasseranteil in der Druckluft bei 25°C

$$m_2 = V_2 \times f_{\max 2} \times \frac{\varphi_2}{100}$$

$$m_2 = 1 \times 22,83 \times \frac{100}{100}$$

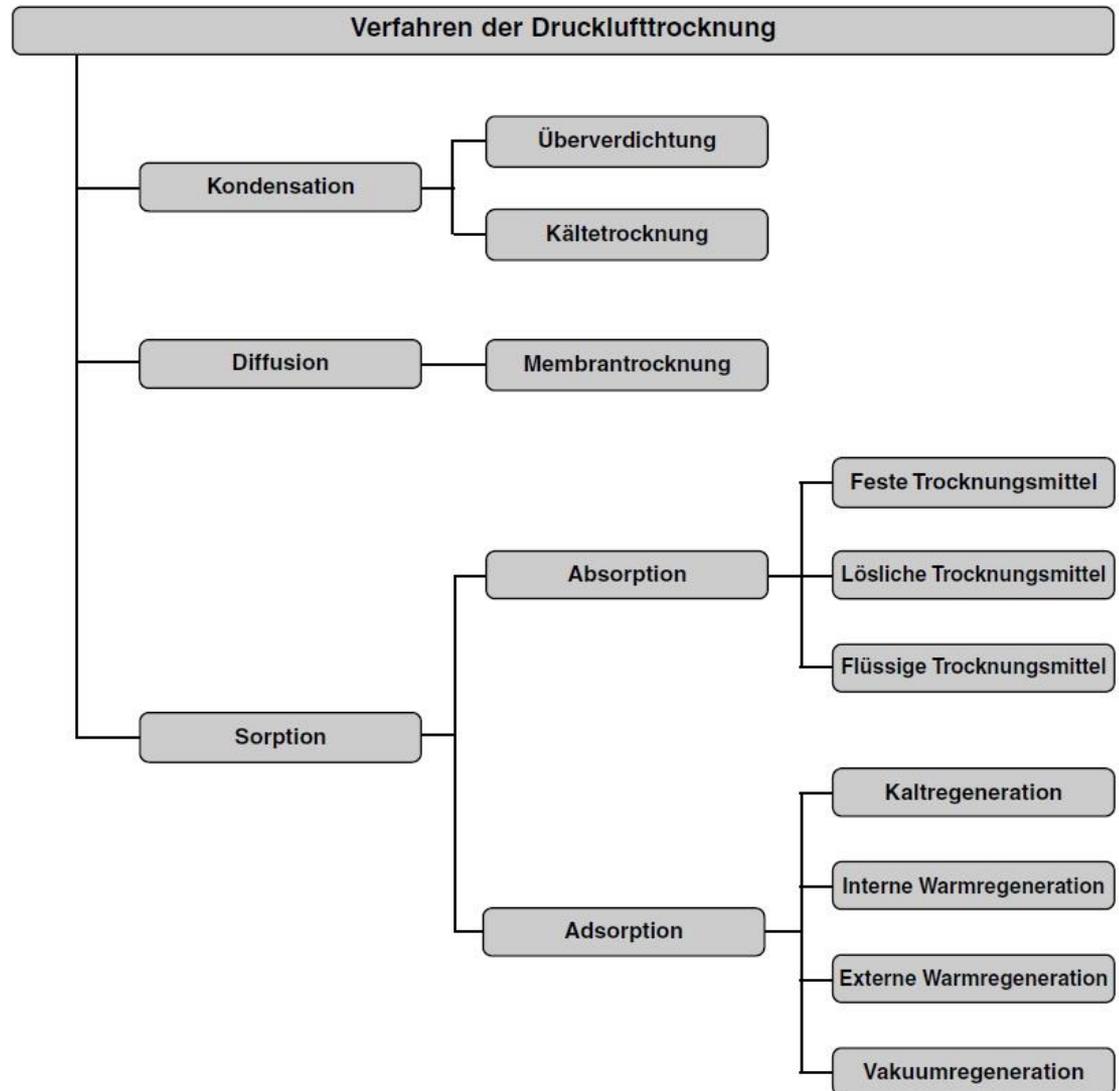
$$m_2 = 22,83 \text{ g}$$

- ▶ Ausgefallenes Kondensat:

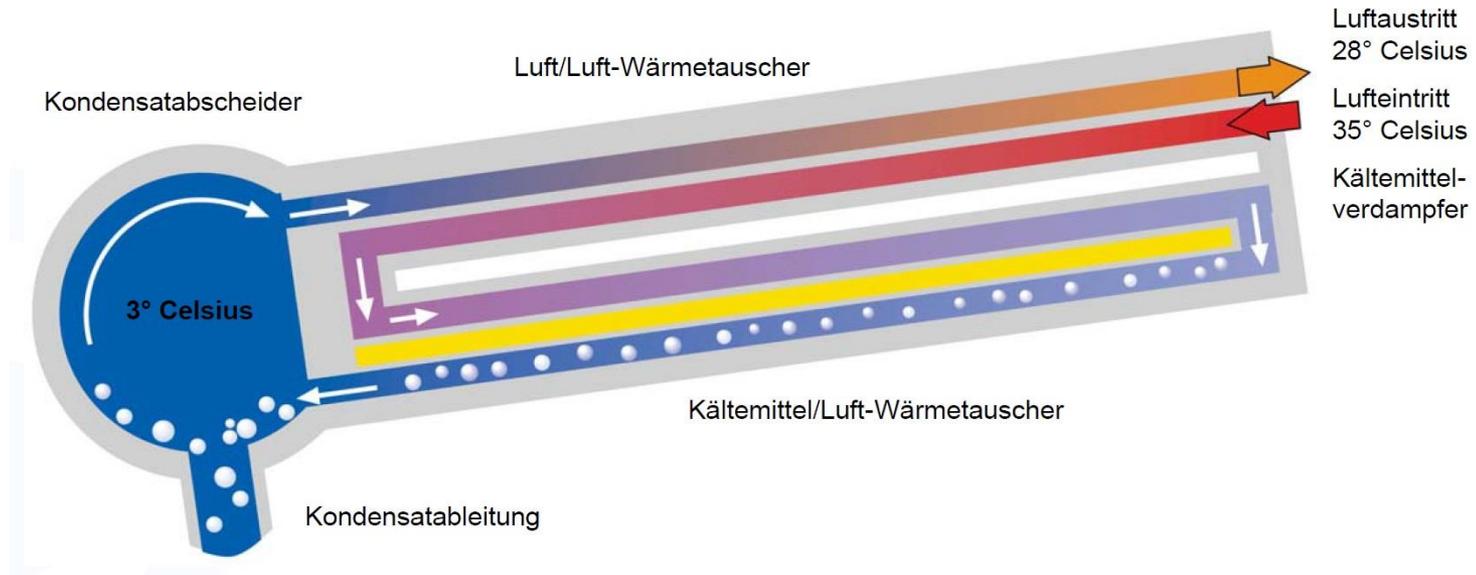
$$m_K = m_1 - m_2 = 314,32 - 22,83 = \mathbf{291,49 \text{ g}}$$

# Trocknungsmethoden

- ▶ **Kondensation**
  - Wasserabscheidung durch die Unterschreitung des Taupunkts.
- ▶ **Diffusion**
  - Trocknung durch Molekültransfer.
- ▶ **Sorption**
  - Trocknung durch Feuchtigkeitsentzug.



# Kondensation durch Kältetrocknung



Druck- taupunkt [ °C ]	Betriebs- druck [ bar <sub>0</sub> ]	Durchfluß- leistung [ m <sup>3</sup> /h ]	Eintritts- temperatur [ °C ]
bis +2°C	bis 210	11-35 000	bis +60°C

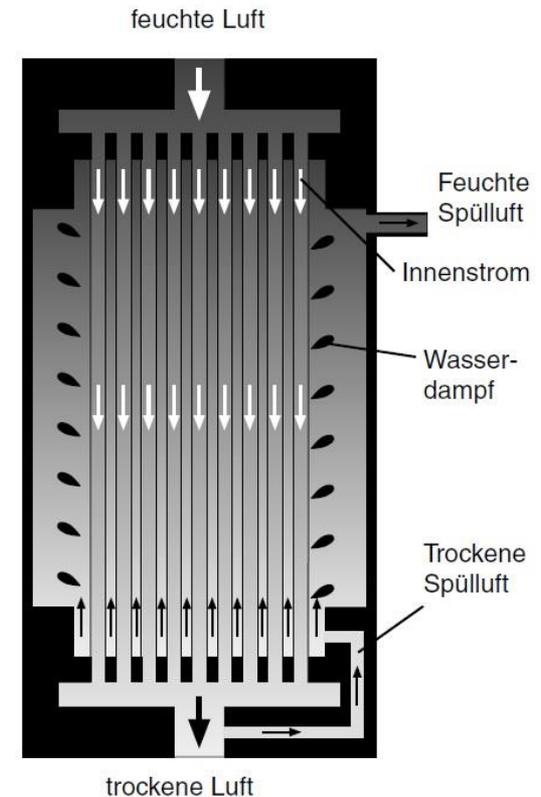
## ► Eigenschaften

- Hohe Wirtschaftlichkeit.
  - +/- 90% aller Anwendungen
- Abscheidung von Fremdstoffen.
- Geringer Druckverlust im Trockner.

# Diffusion durch Membrantrocknung



- ▶ **Eigenschaften**
- ▶ Muss ein Filter vorgeschaltet werden
- ▶ Dem Filter ein Zyklonabscheider vorzuschalten.
- ▶ Geringer Druckverlust im Trockner.
- ▶ Kompakte Bauweise.
- ▶ Kein Wartungsaufwand.
- ▶ Keine beweglichen Teile.
- ▶ Kein Kondensatausfall
- ▶ Keine zusätzlichen Energiekosten.
- ▶ Geräuschfrei.



Drucktaupunkt [ °C ]	Betriebsdruck [ bar <sub>ü</sub> ]	Durchflußleistung [ m <sup>3</sup> /h ]	Eintrittstemperatur [ °C ]
0 bis -20°C	5 - 12,5	11 - 130	2° bis 60°C

# Sorption durch Adsorption



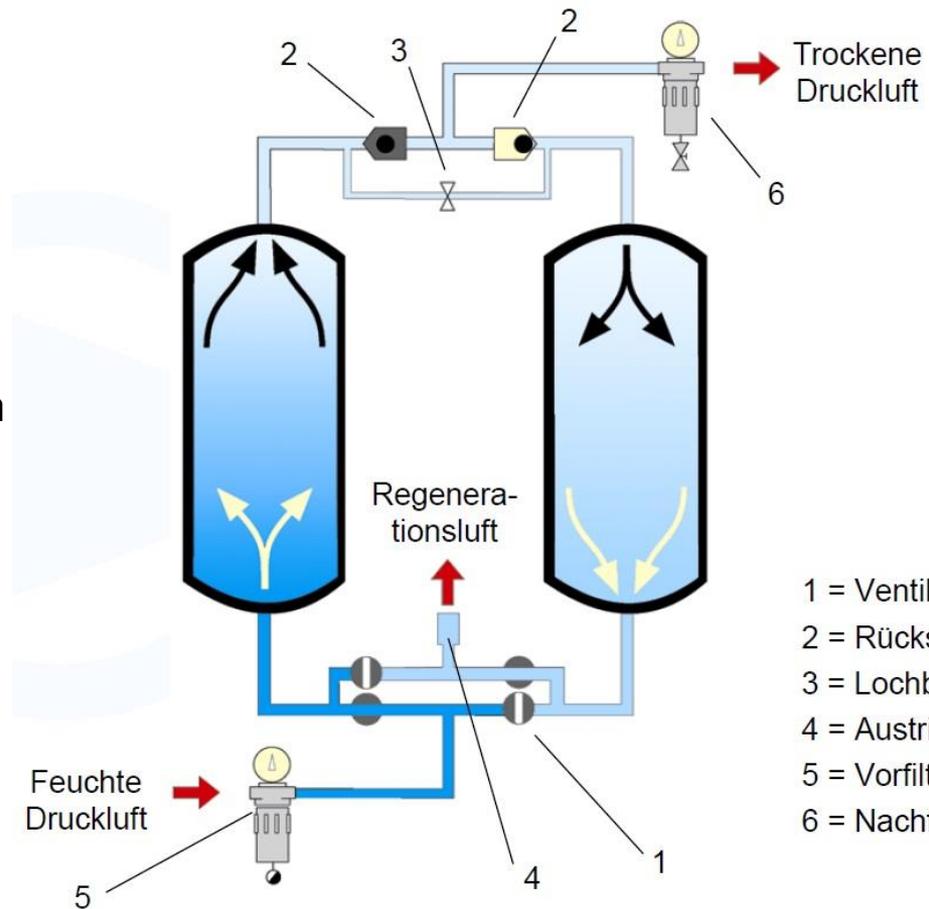
## ▶ Adsorptionstrocknung mit Kaltregeneration

Andere Regenerationstypen :

- interne Warmregeneration
- externen Warmregeneration
- Vakuumregeneration



Adsorptionsmittel  
nach 5 min.  
Trocknungszeit



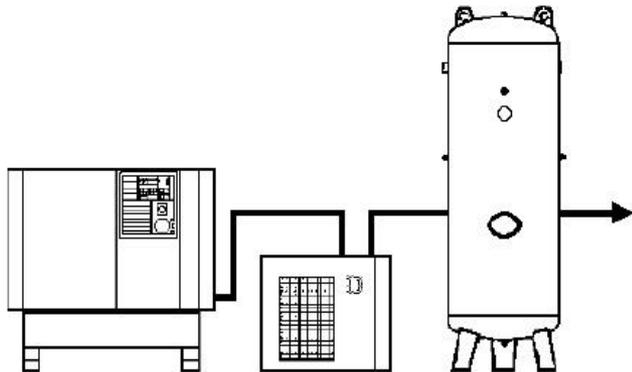
- 1 = Ventilblock
- 2 = Rückschlagventil
- 3 = Lochblende
- 4 = Austrittsventil
- 5 = Vorfilter
- 6 = Nachfilter

Drucktaupunkt [ ° C ]	Betriebsdruck [ bar <sub>0</sub> ]	Durchflußleistung [ m³/h ]	Eintrittstemperatur [ ° C ]
bis - 70° C	4 - 16	4 - 5600	bis + 60° C

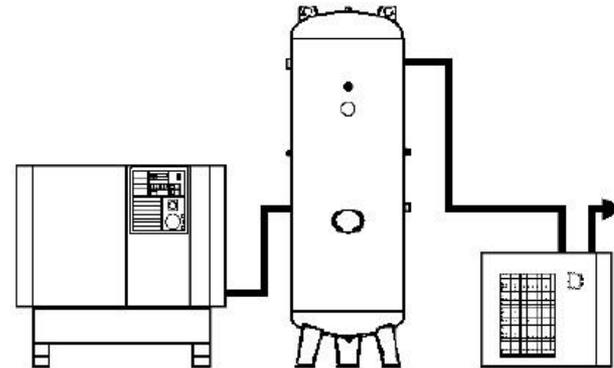
# Anordnung des Drucklufttrockners



**vorgeschaltet**



**nachgeschaltet**



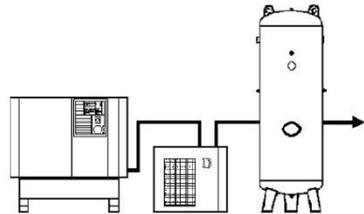
# Anordnung des Drucklufttrockners



## 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.
  - nach der effektiven Gesamtliefermenge des vorgeschalteten Kompressors ausgelegt werden.
- ▶ Bei niedrigem Verbrauch ist der Trockner oft überdimensioniert.
- ▶ pulsierender Druckluft.
  - Besonders Kolbenkompressoren liefern bauartbedingt einen pulsierenden Luftstrom.
- ▶ Hohe Druckluft-Eintrittstemperatur.
- ▶ Trocknung eines Teilluftstroms ist nicht möglich.
- ▶ Bei mehreren Kompressoren muss jeweils ein Trockner nachgeschaltet werden.

# Anordnung des Drucklufttrockners



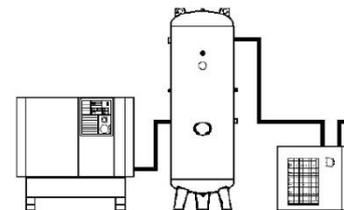
## Trockner nach dem Druckluftbehälter

### 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.
- ▶ Kleine Kondensatmengen.

### 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.



# Betriebsbedingungen

Die Durchflussleistung eines Trockner bezieht sich auf den Ansaugzustand der Luft bei der Verdichtung durch einen Kompressor nach

- ▶ ISO 1217 bzw. DIN 1945 Teil 1
  - Ansaugdruck  $p = 0$  bar
  - Ansaugtemperatur  $T = 20$  °C

Trockner werden auf bestimmte Betriebsbedingungen ausgelegt

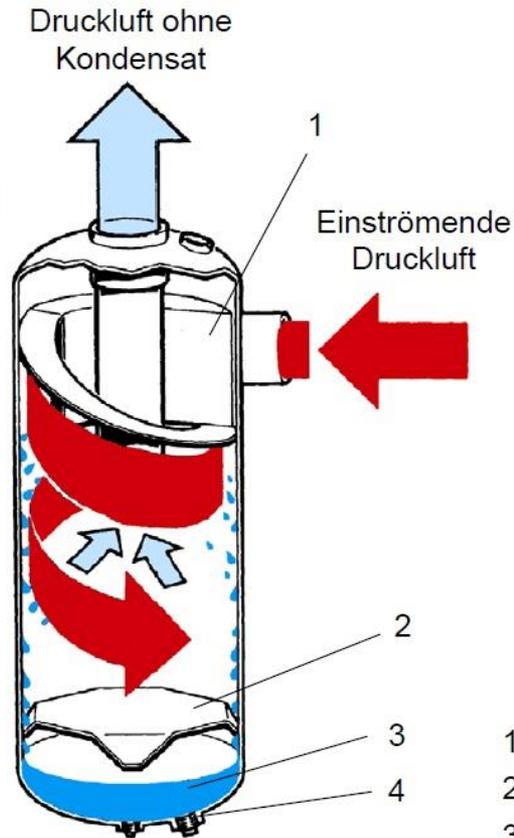
- ▶ DIN ISO 7183
  - Betriebsdruck  $p = 7$  bar
  - Umgebungstemperatur  $t_U = 25$ °C
  - Eintrittstemperatur  $t_{\text{Ein}} = 35$ °C

# Druckluftfilter

# Druckluftfilter

- ▶ **Allgemeines**
  - Filterabscheidegrad
  - Dimensionierung
- ▶ **Vorfilter**
- ▶ **Microfilter**
- ▶ **Aktivkohlefilter**

# Zyklonabscheider



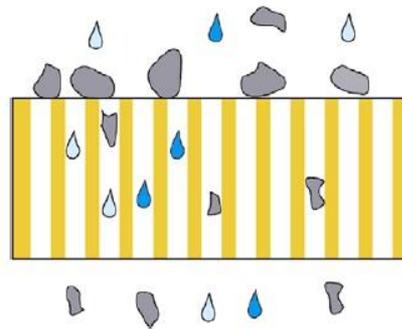
## Anwendungsgebiete

- Große Entfernungen zwischen Kompressor und Behälter
- Steigleitungen zwischen Kompressor und Druckluftbehälter
- Vor dem Drucklufttrockner zur Entlastung

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

Druck-differenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheide-grad [ % ]	Partikel-größe [ $\mu\text{m}$ ]	Restöl-gehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,05 bar	95 %	> 50 $\mu\text{m}$	unbeeinflusst

# Vorfilter



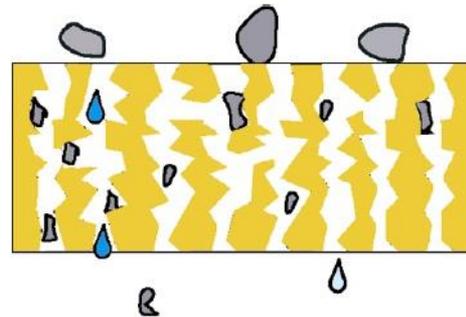
Filtrationsmechanismus  
der Oberflächenfilter

Druck- differenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheide- grad [ % ]	Partikel- größe [ $\mu\text{m}$ ]	Restöl- gehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,03 bar	99,99 %	> 3 $\mu\text{m}$	unbeein- flußt

## Anwendung

Vorfilter entlasten bei verunreinigter Druckluft  
Hochleistungsfilter und Trockner.

# Microfilter



Filtrationsmechanismus  
der Tiefenfilter

Druck- differenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheide- grad [ % ]	Partikel- größe [ $\mu\text{m}$ ]	Restöl- gehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,1 bar	99,9999 %	> 0,01 $\mu\text{m}$	> 0,01

## Anwendung

- Hohe Ansprüche an die Qualität der Druckluft
- Technisch ölfreie Druckluft
- Restöl-Gehalt der Druckluft 0,01  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Schmutzpartikel Abscheidegrad 99,9999 % bezogen auf 0,01  $\mu\text{m}$

# Aktivkohlefilter



Filterkombination,  
Aktivkohlefilter mit vorgeschaltetem Microfilter

## Eigenschaften

- Vorfilterung.  
Dem Aktivkohle-Filter ist immer ein Hochleistungsfilter und ein Trockner vorzuschalten, verunreinigte Druckluft zerstört das Adsorbat und reduziert die Filterwirkung.
- Keine Regenerierung, Aktivkohlefüllung nicht regenerierbar. Austausch je nach Sättigungsgrad.
- Standzeiten: ca. 300 - 400 Betriebsstunden.

## Anwendung

- Nahrungs- und Genußmittel
- Pharmazie
- Chemische Industrie
- Oberflächenbearbeitung
- Medizintechnik

Druck- differenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheide- grad [ % ]	Partikel- größe [ $\mu m$ ]	Restöl- gehalt [ $mg/m^3$ ]
> 0,02 bar	99,9999	0,01	> 0,005

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**

**Fragen ?**