

Druckluftherzeugung und -aufbereitung zum Strahlen von festem Kohlendioxid

Was ist Druckluft ?

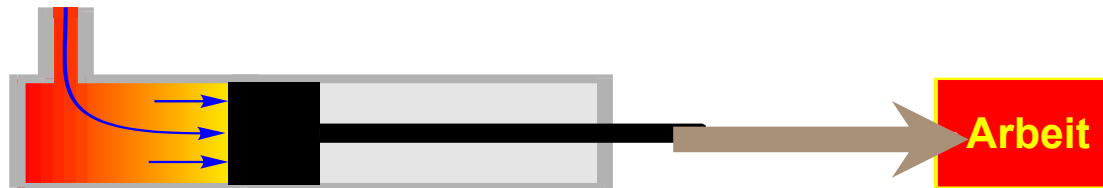
DRUCKLUFT ist verdichtete atmosphärische Luft.

Dies bedeutet :

gespeicherte Energie.

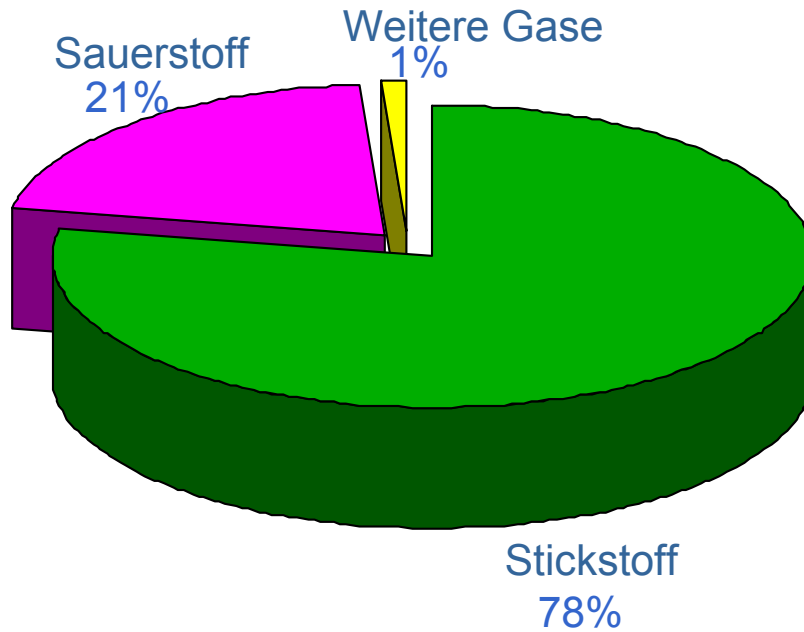
Wenn sich die Druckluft wieder entspannt,
wird diese Energie als **ARBEIT** nutzbar gemacht.

Druckenergie



EXPANSION

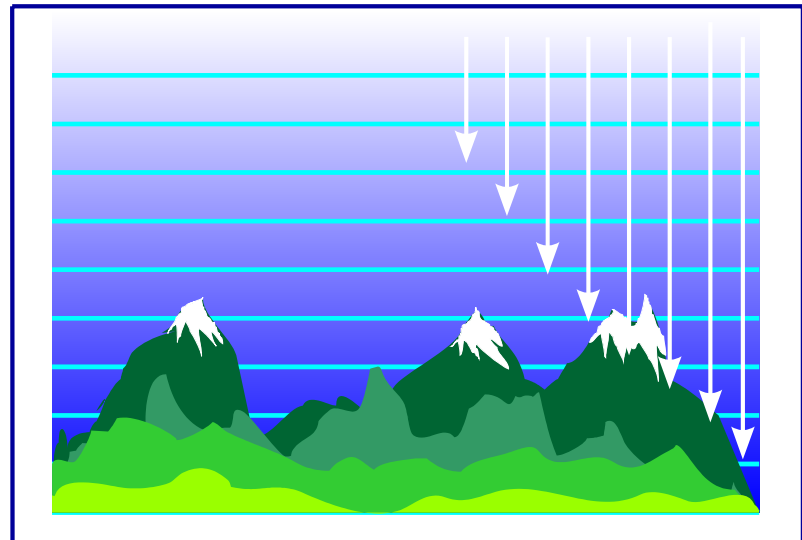
Zusammensetzung atmosphärischer Luft



Atmosphärischer Luftdruck

... wird erzeugt durch das Gewicht der Lufthülle. Er hängt ab von der DICHTE der Luft und von der Höhe:

Der Normaldruck in Meereshöhe beträgt 1,013 bar entsprechend 760 mmHg (Torr)



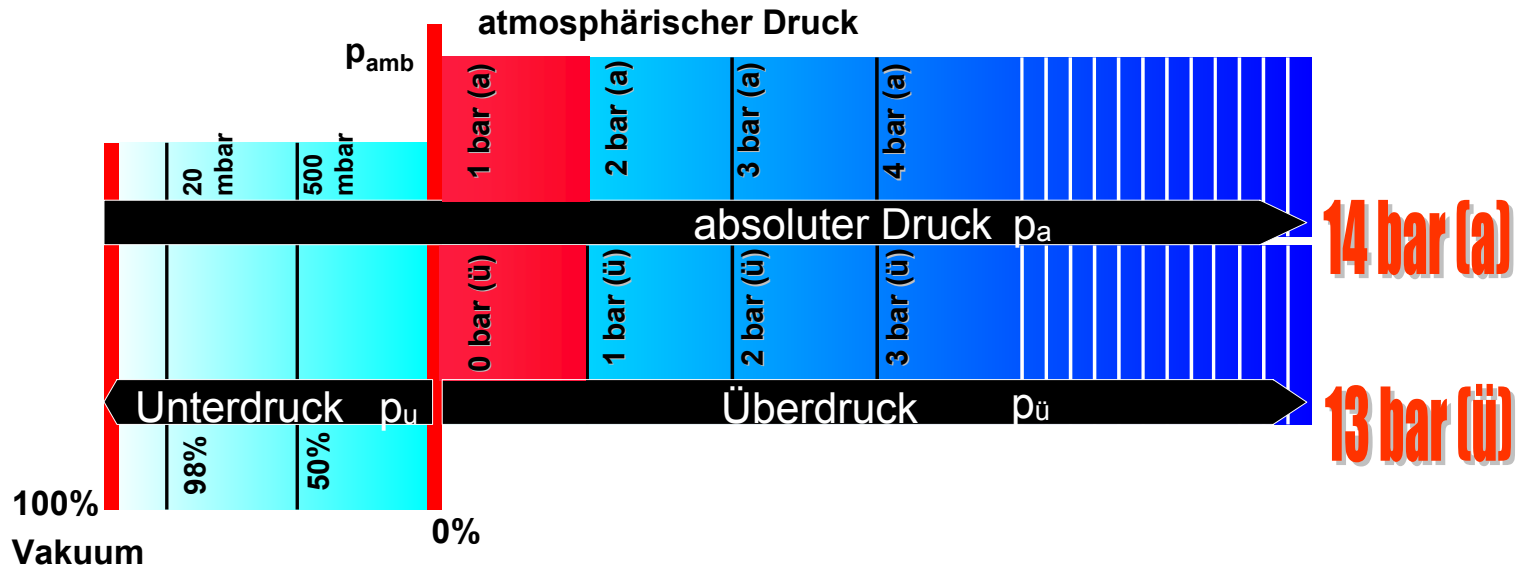
Druckbereiche

Absoluter Druck ...

... ist der vom absoluten Nullpunkt aus gemessene Druck. Er wird für alle theoretischen Betrachtungen, sowie in der Vakuum- und in der Gebläsetechnik benötigt.

Überdruck ...

... ist die praxisgerechte Bezugsgröße und wird vom atmosphärischen Druck aus bestimmt.



Definition des Druckes

Allgemein gilt:

$$\text{Druck (p)} = \frac{\text{Kraft (F)}}{\text{Fläche (A)}}$$

Dimensionen:

$$1 \text{ Pascal (Pa)} = \frac{1 \text{ Newton (N)}}{1 \text{ m}^2 \text{ (A)}}$$

Wieviel sind/ist ...

$$10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

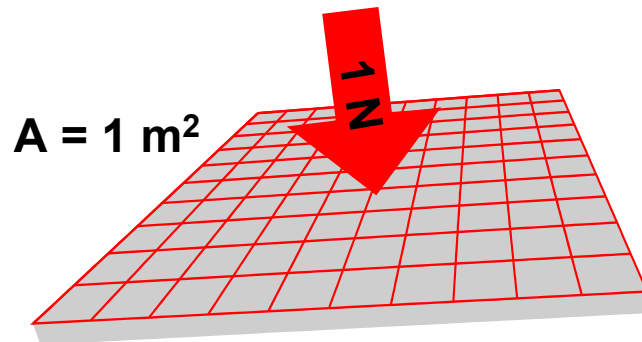
$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ hPa} = 0,001 \text{ bar}$$

$$\begin{array}{l} \text{Überdruck} \\ 1 \text{ bar} \end{array} = 14,5 \text{ psi(g)}$$

$$1 \text{ bar} = 10197 \text{ mmWS}$$

$$1 \text{ bar} = 750,062 \text{ Torr}$$



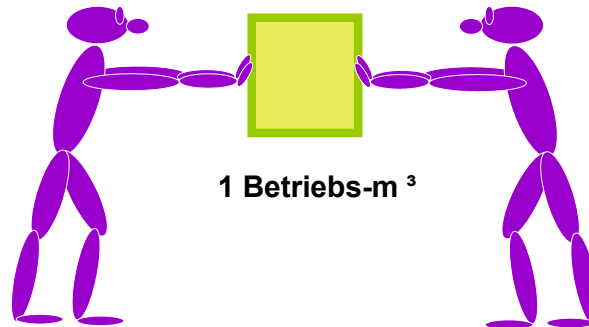
Volumenangaben

	Temperatur	Luftdruck	relative Luftfeuchte	Luftdichte
DIN 1343 (physikalischer Normzustand - Nm ³) Theoretische Physik	0°C = 273,15K	1,01325 bar	0%	1,294 kg/m ³
DIN 1945 ISO 1217 Branchenspezifische Vereinbarung	20°C = 293,15K	1,0 bar	0%	
Volumen bezogen auf Umgebungs- zustand (Normal- zustand)	Umgebungs- temperatur	Umgebungs- luftdruck	Umgebungs- luftfeuchte	variabel
Volumen bezogen auf Betriebszustand	Betriebs- temperatur	Betriebs- druck	variabel	variabel

Das Volumen

7 m³
atmosphärisches
Luftvolumen

Umgebungsluftdruck
1 bar (a)



Betriebsdruck
7 bar (a)
= 6 bar (ü)

1 Betriebs-m³

Umrechnung des Volumens bei Umgebungszustand auf das Normvolumen nach DIN 1343

$$V_N = \frac{V_A \times T_N \times (p_A - (F_{rel} \times p_D))}{p_N \times T_A}$$

- V_N = Normvolumen nach DIN 1343
- V_A = Volumen bei Ansaugbedingungen
- T_N = Temperatur nach DIN 1343, $T_N = 273,15\text{K}$
- T_A = Maximale Temperatur am Aufstellungsort in K
- p_N = Luftdruck nach DIN 1343, $p_N = 1,01325$ bar
- p_A = Niedrigster Luftdruck am Aufstellungsort in bar
- F_{rel} = Maximale relative Luftfeuchtigkeit am Aufstellungsort
- p_D = Sättigungsdruck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes in bar, abhängig von der Lufttemperatur

Auszug aus der Tabelle Wasserdampfdruck für Luft (Partialdruck)

**Sättigungsdruck
 p_D (bar) bei Luft-
temperatur t (° C)**

t	p_D
-10	0,00260
-9	0,00280
-8	0,00310
-7	0,00340
-6	0,00370
-5	0,00400
-4	0,00440
-3	0,00480
-2	0,00520
-1	0,00560
0	0,00610
1	0,00640
2	0,00710
3	0,00740
4	0,00810
5	0,00870
6	0,00940
7	0,01000
8	0,01070
9	0,01150

t	p_D
10	0,0123
11	0,0131
12	0,0140
13	0,0150
14	0,0160
15	0,0170
16	0,0182
17	0,0184
18	0,0206
19	0,0220
20	0,0234
21	0,0245
22	0,0264
23	0,0281
24	0,0298
25	0,0317
26	0,0336
27	0,0356
28	0,0378
29	0,0400

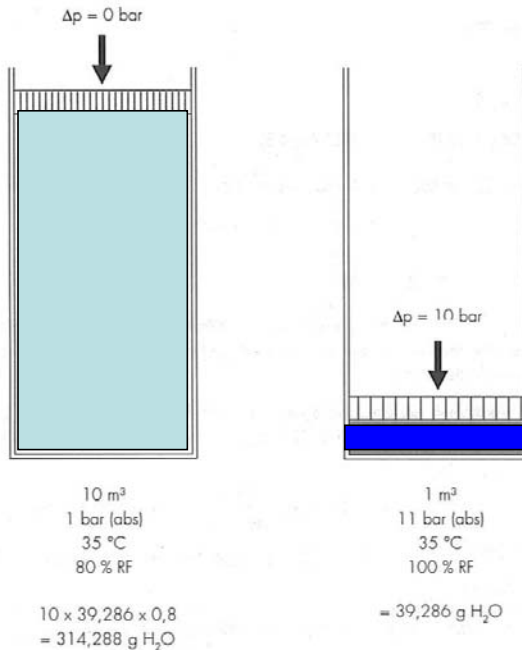
t	p_D
30	0,0424
31	0,0449
32	0,0473
33	0,0503
34	0,0532
35	0,0562
36	0,0594
37	0,0627
38	0,0662
39	0,0699
40	0,0738
41	0,0778
42	0,0820
43	0,0864
44	0,0910
45	0,0968
46	0,1009
47	0,1061
48	0,1116
49	0,1174
50	0,1234

Wassergehalt gesättigter Luft

Taupunkt [°C]	g/m ³	Taupunkt [°C]	g/m ³	Taupunkt [°C]	g/m ³	Taupunkt [°C]	g/m ³
100	588,208	58	118,199	16	13,531	-25	0,550
99	569,071	57	113,130	15	12,739	-26	0,510
98	550,375	56	108,200	14	11,987	-27	0,460
97	532,125	55	103,453	13	11,276	-28	0,410
96	514,401	54	98,883	12	10,600	-29	0,370
95	497,209	53	94,483	11	9,961	-30	0,330
94	480,394	52	90,247	10	9,356	-31	0,301
93	464,119	51	86,173	9	8,784	-32	0,271
92	448,308	50	82,257	8	8,243	-33	0,244
91	432,885	49	78,491	7	7,732	-34	0,220
90	417,935	48	74,871	6	7,246	-35	0,198
89	403,380	47	71,395	5	6,790	-36	0,178
88	389,225	46	68,056	4	6,359	-37	0,160
87	375,471	45	64,848	3	5,953	-38	0,144
86	362,124	44	61,772	2	5,570	-39	0,130
85	340,186	43	58,820	1	5,209	-40	0,117
84	336,660	42	55,989	0	4,868	-41	0,104
83	324,469	41	53,274			-42	0,093
82	311,616	40	50,672	-1	4,487	-43	0,083
81	301,186	39	48,181	-2	4,135	-44	0,075
80	290,017	38	45,593	-3	3,889	-45	0,067
79	279,278	37	43,508	-4	3,513	-46	0,060
78	268,806	36	41,322	-5	3,238	-47	0,054
77	258,827	35	39,286	-6	2,984	-48	0,048
76	248,840	34	37,229	-7	2,751	-49	0,043
75	239,351	33	35,317	-8	2,537	-50	0,038
74	230,142	32	33,490	-9	2,339	-51	0,034
73	221,212	31	31,744	-10	2,156	-52	0,030
72	212,648	30	30,078	-11	1,960	-53	0,027
71	204,286	29	28,488	-12	1,800	-54	0,024
70	196,213	28	26,970	-13	1,650	-55	0,021
69	188,429	27	25,524	-14	1,510	-56	0,019
68	180,855	26	24,143	-15	1,380	-57	0,017
67	173,575	25	22,830	-16	1,270	-58	0,015
66	166,507	24	21,578	-17	1,150	-59	0,013
65	159,654	23	20,386	-18	1,050	-60	0,011
64	153,103	22	19,252	-19	0,960	-65	0,0064
63	146,771	21	18,191	-20	0,880	-70	0,0033
62	140,659	20	17,148	-21	0,800	-75	0,0013
61	134,684	19	16,172	-22	0,730	-80	0,0006
60	129,020	18	15,246	-23	0,660	-85	0,0003
59	123,495	17	14,367	-24	0,600	-90	0,0001

Tabelle 2: Wassergehalt 100 % ig gesättigter Luft

Wasseraufnahmevermögen von Luft in Abhängigkeit vom Volumen und der Temperatur



Da die verdichtete Luft nur noch 39,286 g Wasser binden kann, fällt der Rest von den angesaugten 314,288 g - 39,286 g = 275,002 g als Kondensat an.

Drucktaupunkt / Taupunkt

Die Temperatur bei der die verdichtete Luft / atmosphärische Luft zu 100% gesättigt ist.

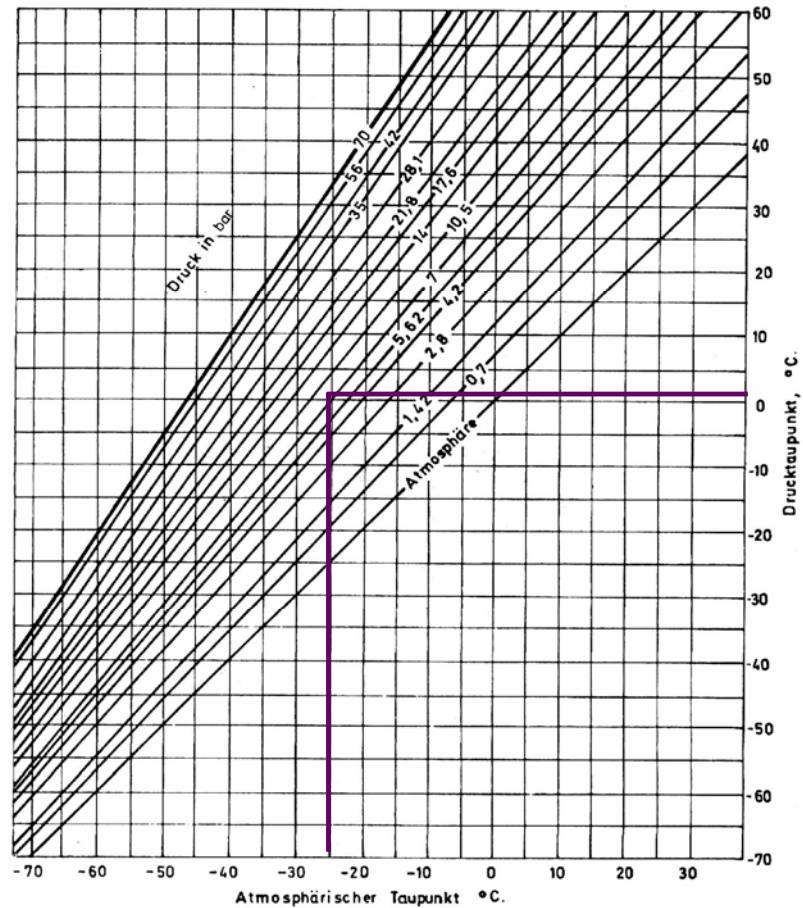
Verdichtete Luft hat ungefähr das gleiche Wasseraufnahmevermögen pro Volumeneinheit wie atmosphärische Luft.

Der Drucktaupunkt entspricht praktisch dem Taupunkt atmosphärischer Luft.

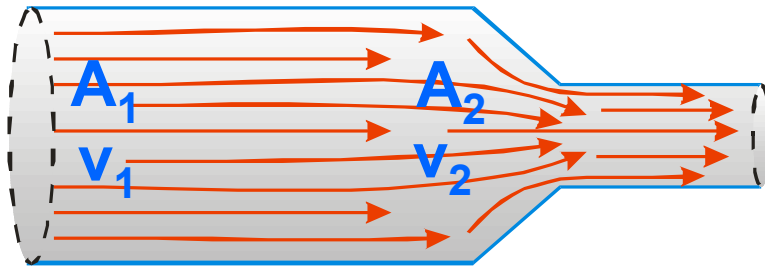
Durch Volumenverkleinerung und Abkühlung unter den Drucktaupunkt fällt Wasserdampf als Kondensat aus.

Drucktaupunkt - atmosphärischer Taupunkt

Beispiel:
Drucktaupunkt: 2-3 ° C.
Betriebsdruck: 7 bar
Atm. Taupunkt: -25 ° C.



Strömungsgeschwindigkeiten in Druckluftrohrleitungen



Es gilt:

$$\dot{V} = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

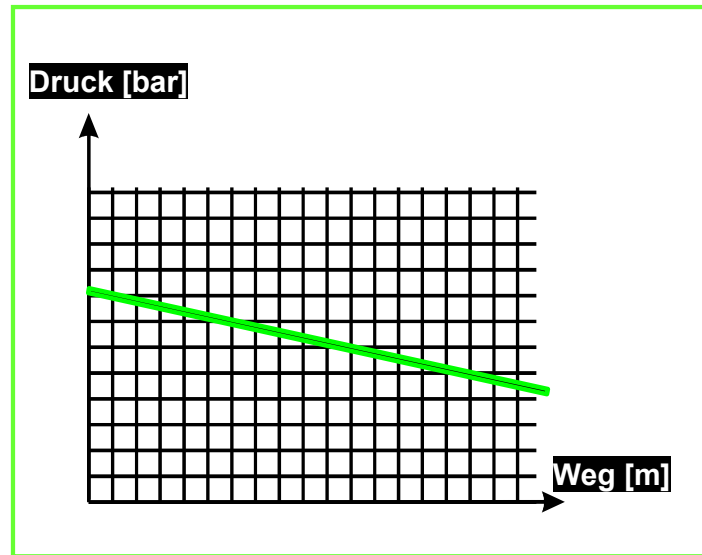
\dot{V}	=	Volumenstrom
v	=	Geschwindigkeit
A	=	Querschnitt

Einflüsse auf den Druckverlauf

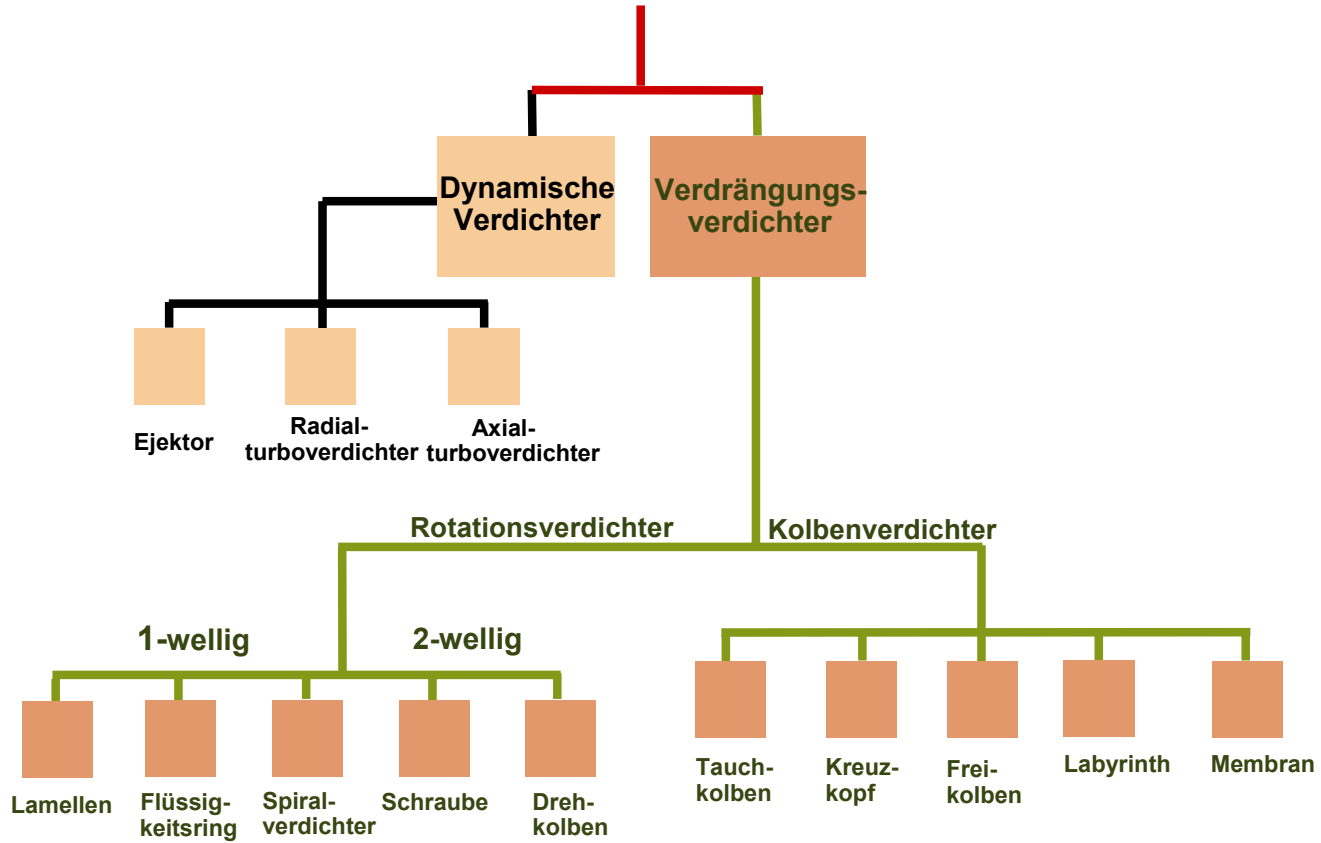
**Druckverlust
ist abhängig von:**

- dem Querschnitt
- der Geschwindigkeit
- der Rohrleitungslänge

**1 bar zusätzlich
erhöht die Energiekosten
um 6 - 10 % im 8 bar Netz**



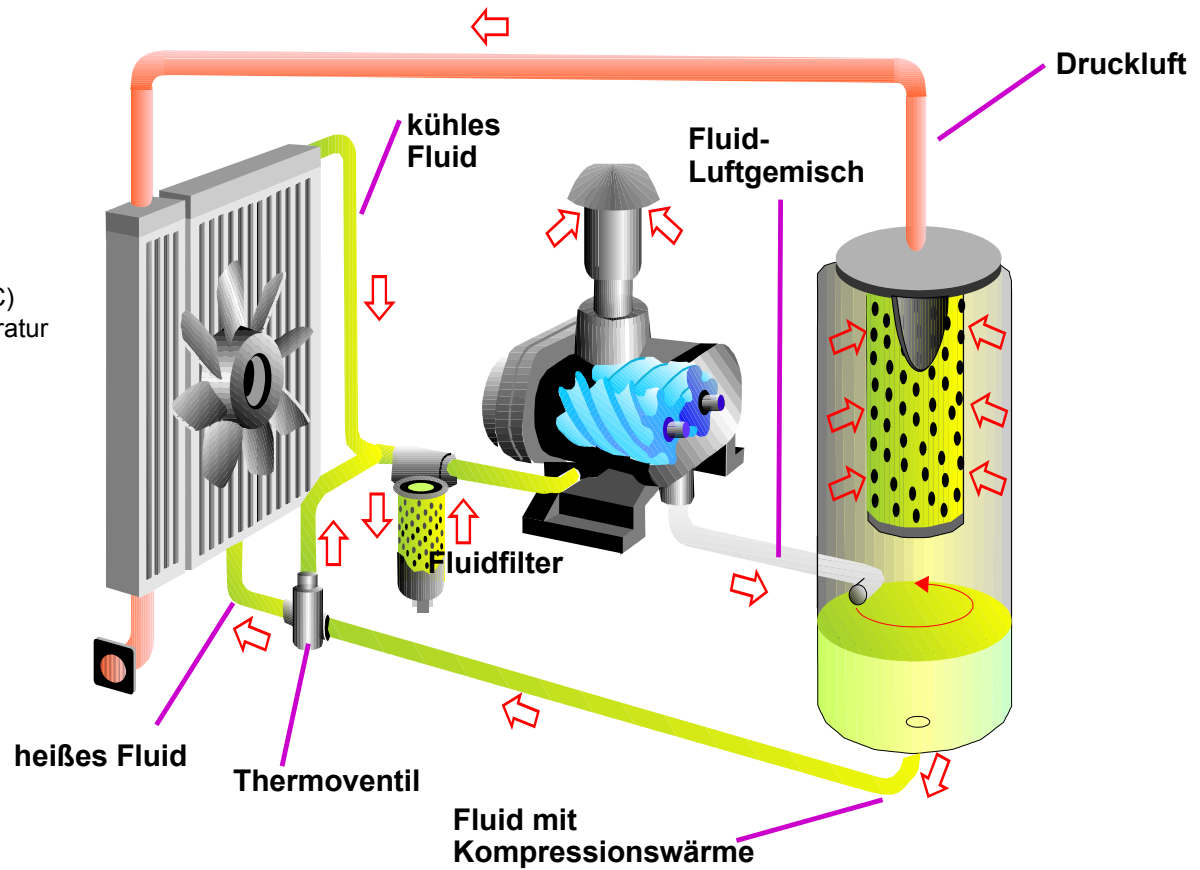
Verdichterbauarten



Schrauben-Kompressoren mit Öleinspritzung

Fluideinspritzung:

- Wärmeabfuhr (75-80°C)
Verdichtungsendtemperatur
- Reinigung der Luft von
Staub, Schwefel ...
- Schmierung und
Abdichtung



Druckluft-Qualitätsklassen

nach ISO 8573-1: 2001 (E)

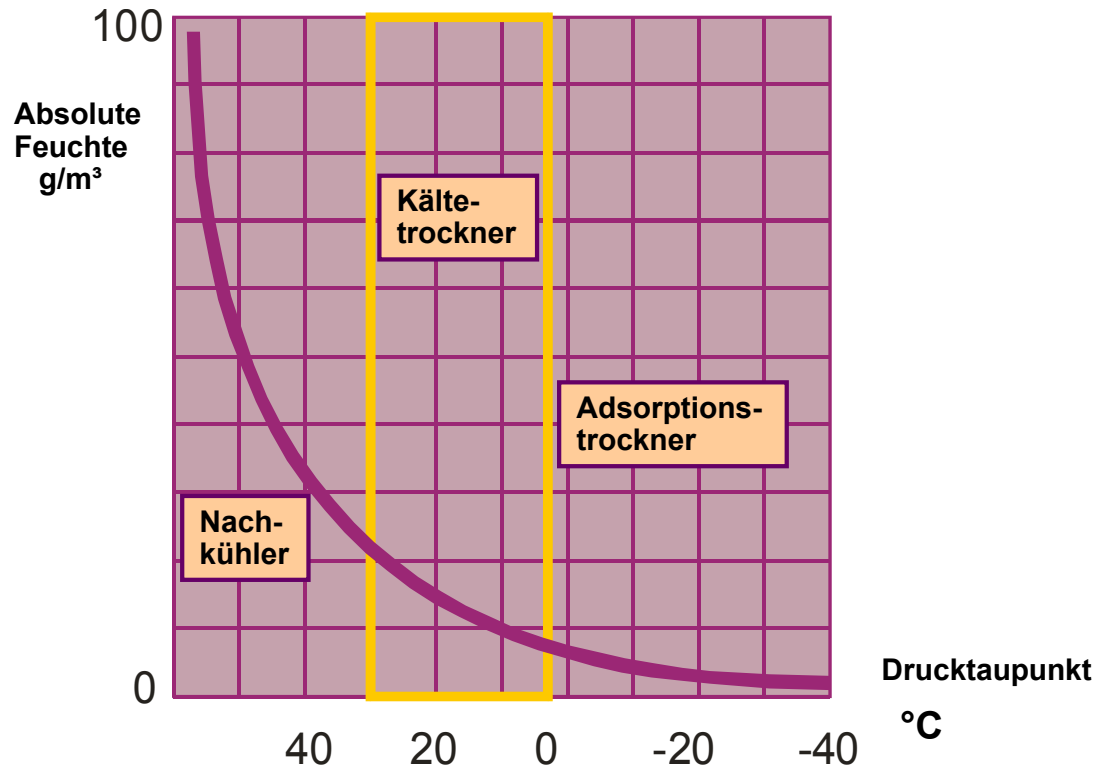
ISO 8573-1 Klasse	Feststoffe / Staub						Feuchtigkeit	Gesamt- Ölgehalt
	max. Teilchenzahl pro m ³ von Partikeln mit d [µm]				µm	mg/m ³	Drucktaupunkt/ (x=Wasseranteil in g/m ³ flüssig)	mg/m ³
	≤ 0,1	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0				
0	nach Betreibervorgabe							
1	-	100	1	0	-	-	≤ -70 °C	≤ 0,01
2	-	100.000	1.000	10	-	-	≤ -40 °C	≤ 0,1
3	-	-	10.000	500	-	-	≤ -20 °C	≤ 1,0
4	-	-	-	1.000	-	-	≤ +3 °C	≤ 5,0
5	-	-	-	20.000	-	-	≤ +7 °C	-
6	-	-	-	-	≤ 5	≤ 5	≤ +10 °C	-
7	-	-	-	-	≤ 40	≤ 10	x ≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	-	0,5 ≤ x ≤ 5,0	-
9	-	-	-	-	-	-	5,0 ≤ x ≤ 10,0	-

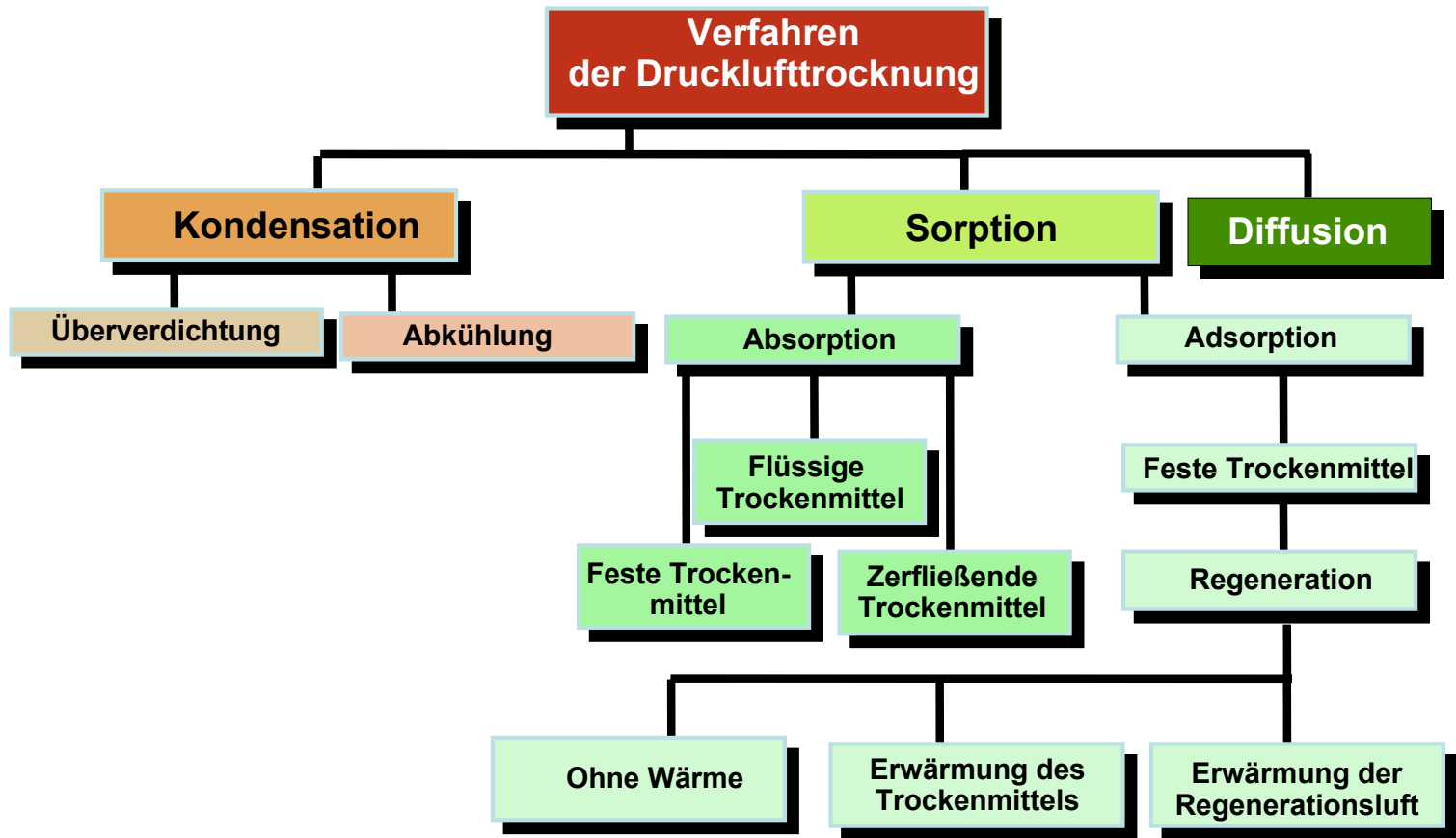
Druckluftqualität

Feuchte / Ölgehalt / feste Verunreinigungen

Beurteilung nach ISO 8573-1	Soll - Zustand abs. (lt. Hersteller)	Soll – Zustand nach ISO	Ist - Zustand (lt. Hersteller)	Ist - Zustand abs. (lt. ISO)
Feuchte /Wassergehalt	< 0,4 g/kg Luft	Klasse 4	größer Klasse 9	max. 50 g/m ³
Ölgehalt	< 0,0075 mg/kg Luft	Klasse 0	Klasse 4	3 mg/m ³
feste Verunreinigungen	nicht definiert	nicht definiert	Kein Grenzwert, da kein Filter vorhanden	

Trocknungsbereiche





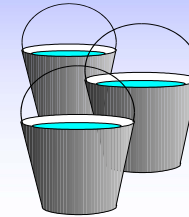
Warum Drucklufttrocknung ?

Unaufbereitete Druckluft	Problem im Druckluftnetz	Probleme bei den Produkten
Schmutz	Korrosion	Verschmutzung
Ölaerosole	Druckverluste	Komponentenverschleiß
Wasserdampf	Verschmutzung	Ausschuß
	Einfrieren	Betriebsausfall
	Wartung	

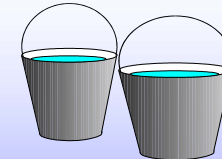
Qualität **Ausfall**

PROBLEM: Kondensatanfall

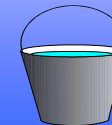
Dieser Kompressor mit einer Liefermenge von 5 m³/min (bezogen auf + 20 ° C., 70 % r. F. und 1 bar absolut) fördert an einem 8-stündigen Arbeitstag rund 30 Liter Wasser in das Druckluftnetz



Von den 30 Litern fallen im Nachkühler rund 20 Liter in Form von Kondensat an (bei 7 bar Betriebsüberdruck und + 30 ° C Austrittstemperatur am Nachkühler)

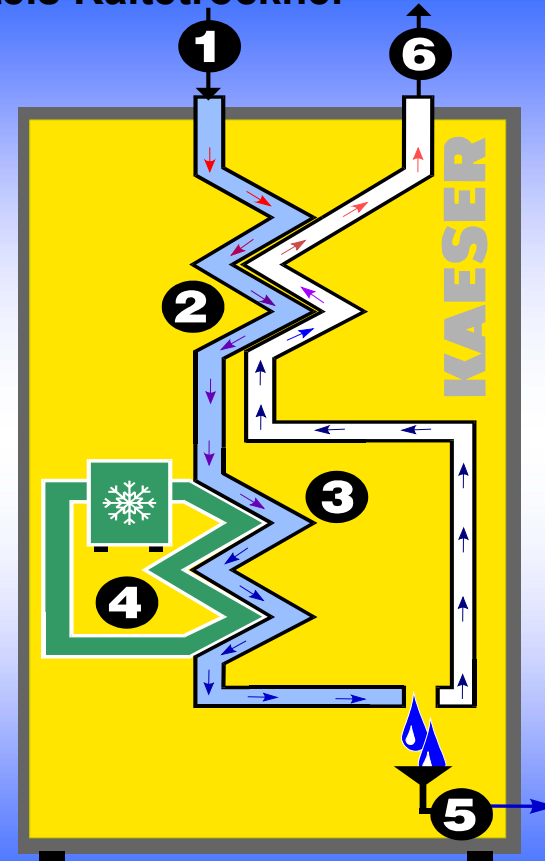


Bei weiterer Abkühlung der Druckluft treten die verbleibenden 10 Liter an jeder beliebigen Stelle des Druckluftnetzes als Kondensat auf. z.B. durch die Berührung mit Kohlendioxid und kalten Anlagenteilen



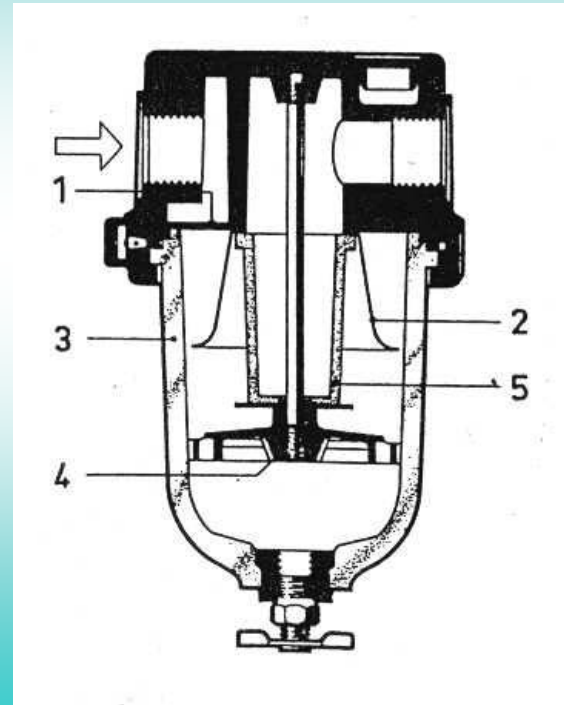
Zweite Kondensatabscheidung mittels Kältetrockner

1. Drucklufteintritt
2. Luft/Luft-Wärmetauscher
3. Kältemittel/Luft-Wärmetauscher
4. Kältekompressor
5. Kondensatabscheidersystem mit automatischem Kondensatableiter
6. Druckluftaustritt

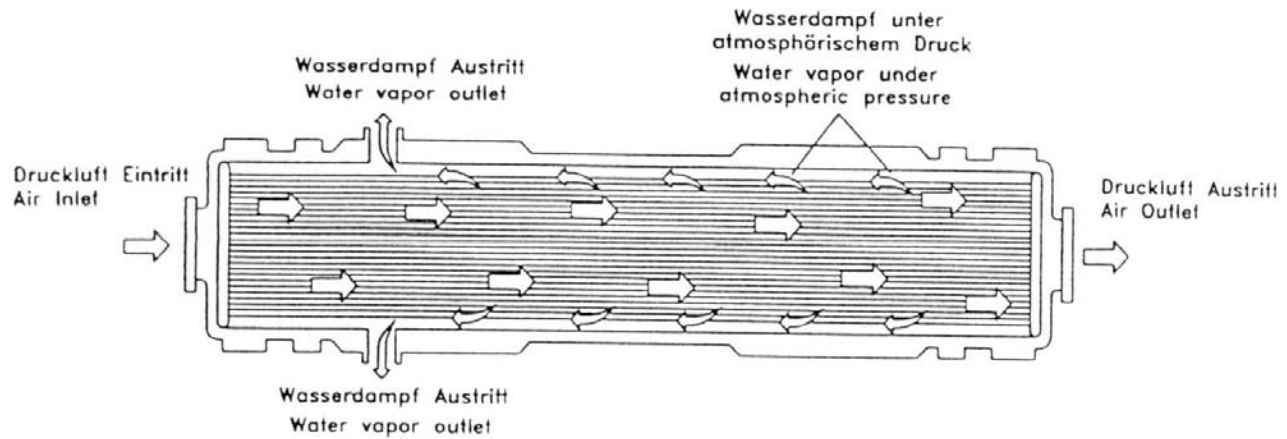


Dritte Kondensatabscheidung mittels Feinfilter

- direkt vor den Verbrauchern eingesetzt
- mechanische Filter
- Drehbewegung
- Prallscheibe
- Kondensatablass (wichtig!)



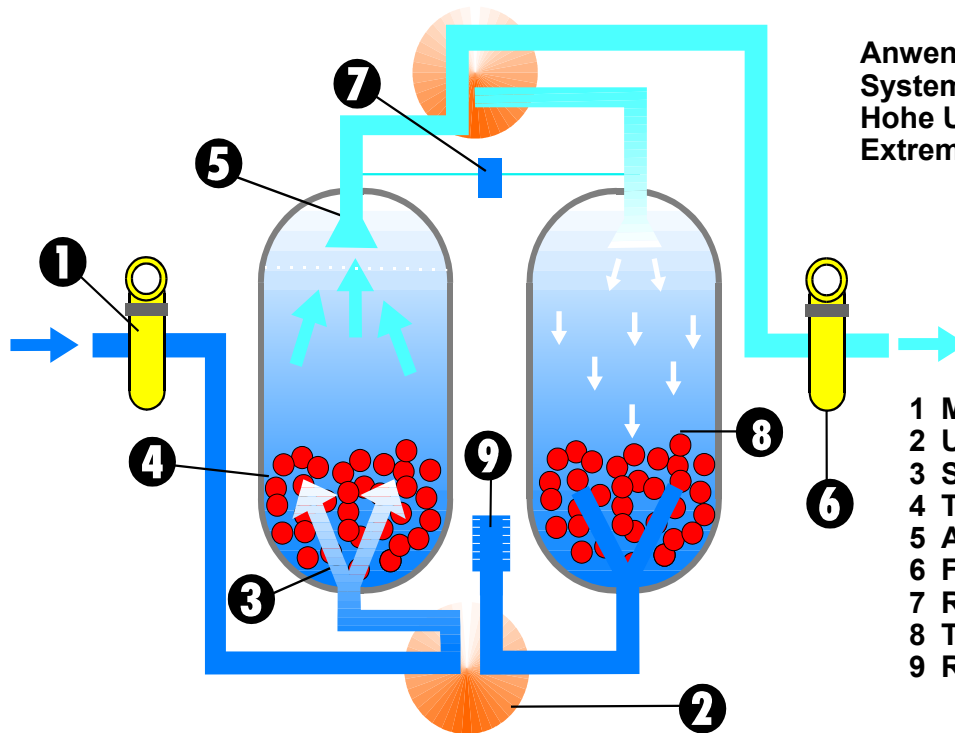
Vierte. Kondensatabscheidung mittels Membrantrockner



Membrantrockner

Fünfte. Kondensatabscheidung mittels Adsorptionstrockner

kaltregeneriert oder warmregeneriert

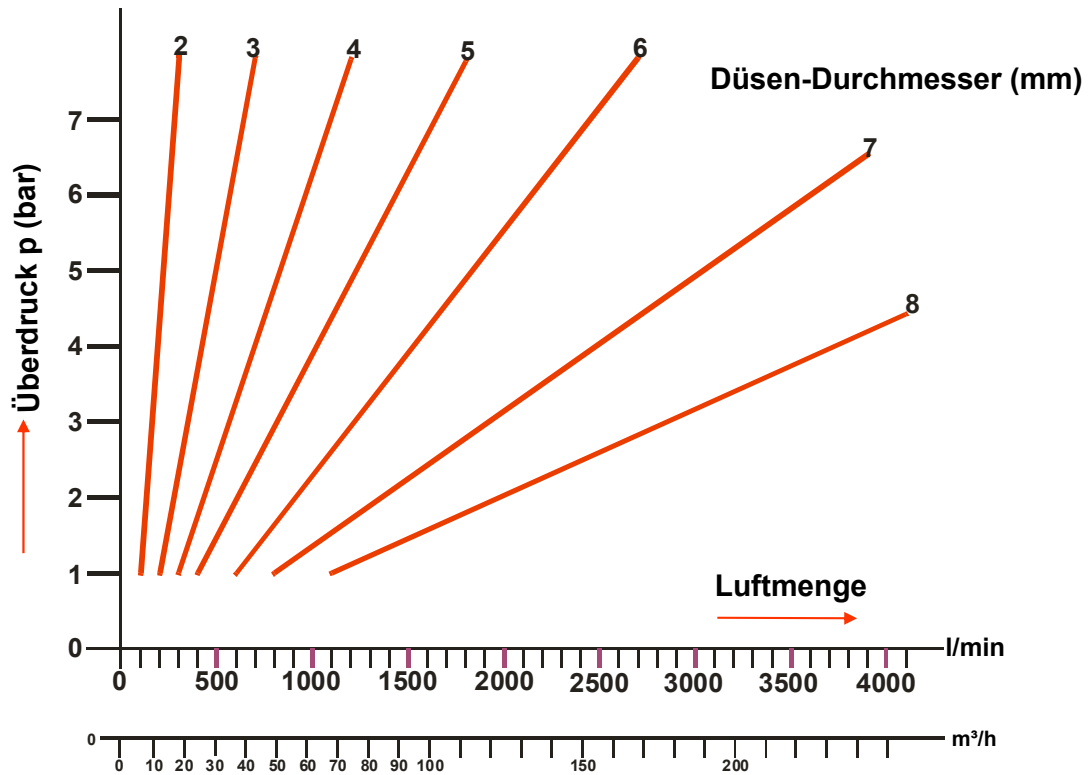


Anwendung:
Systeme sind durch Frost gefährdet.
Hohe Umgebungstemperaturen.
Extreme Luftqualitätsanforderungen.

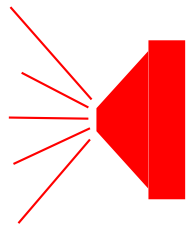
- 1 Mikrofilter (0,01 μm , 0,01 ppm)
- 2 Umschaltventil
- 3 Strömungsverteiler
- 4 Trockenmittelbett: Feuchtadsorption
- 5 Austritts-Diffusor
- 6 Feststofffilter 1 μm
- 7 Regenerationsluftventil
- 8 Trockenmittelbett: Regeneration
- 9 Regenerations-Abblase-Schalldämpfer

Größenbestimmung eines Kompressors

Luftverbrauch von Freistrahldüsen



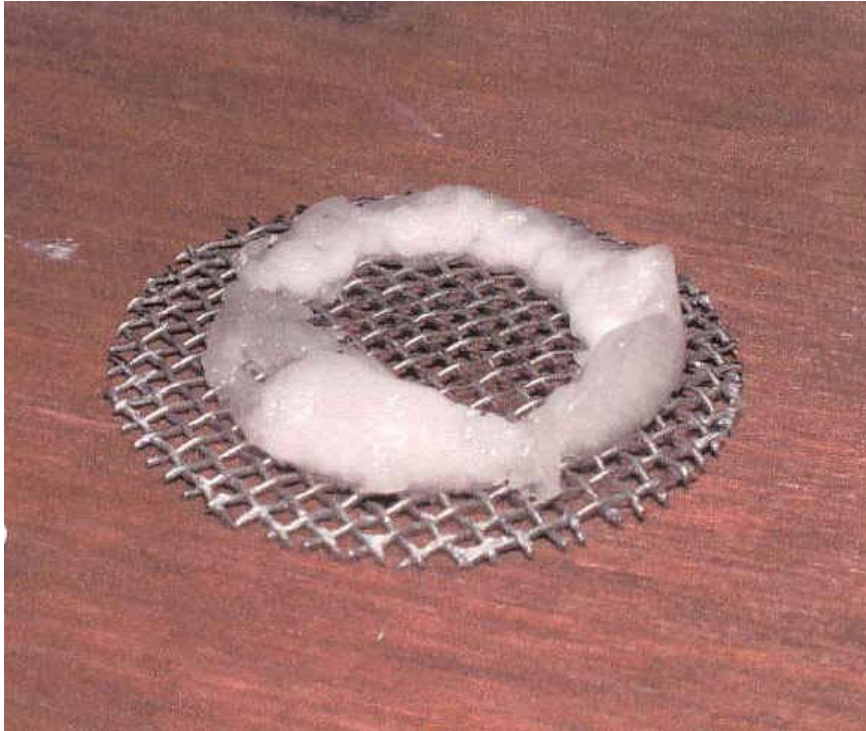
Luftverbrauch von Düsen (l / min)



Düsen Durchmesser (mm)	Betriebsüberdruck (bar)							
	2		4		6		8	10
0,5	8		12		15		20	25
1,0	30		45		65		85	105
1,5	55		90		125		160	200
2,0	100		170		240		310	380
3,0	225		375		520		675	825
4,0	410	330	700	550	980	780	1250	1500
5,0	640	510	1050	850	1500	1200	1870	2300
6,0	900	720	1520	1220	2120	1700	2750	3350
8,0	1250	1000	2700	2150	3770	3000	4800	5850
10,0	1950	1570	4230	3400	5900	4700	7500	9200

Beim Strahlen mit Medium gelten niedrigere Werte!

Kondensatprobleme



Kondensatprobleme



Kondensatprobleme

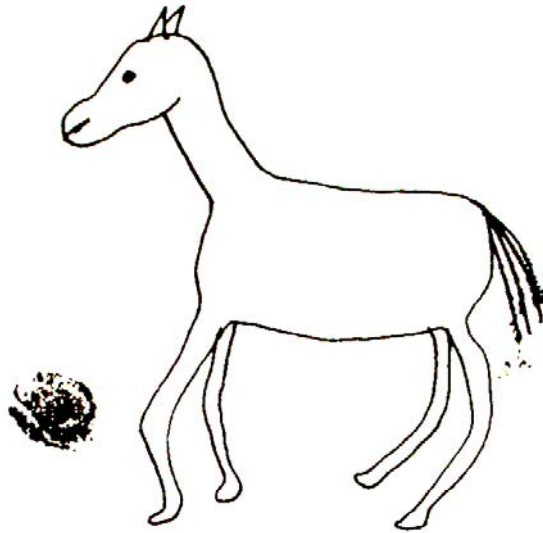


Kondensatprobleme



Kondensatprobleme





Der Ferkel hat vier Beine
an jede Seite einer
und hat er mal keinen
Umfallt

Danke