

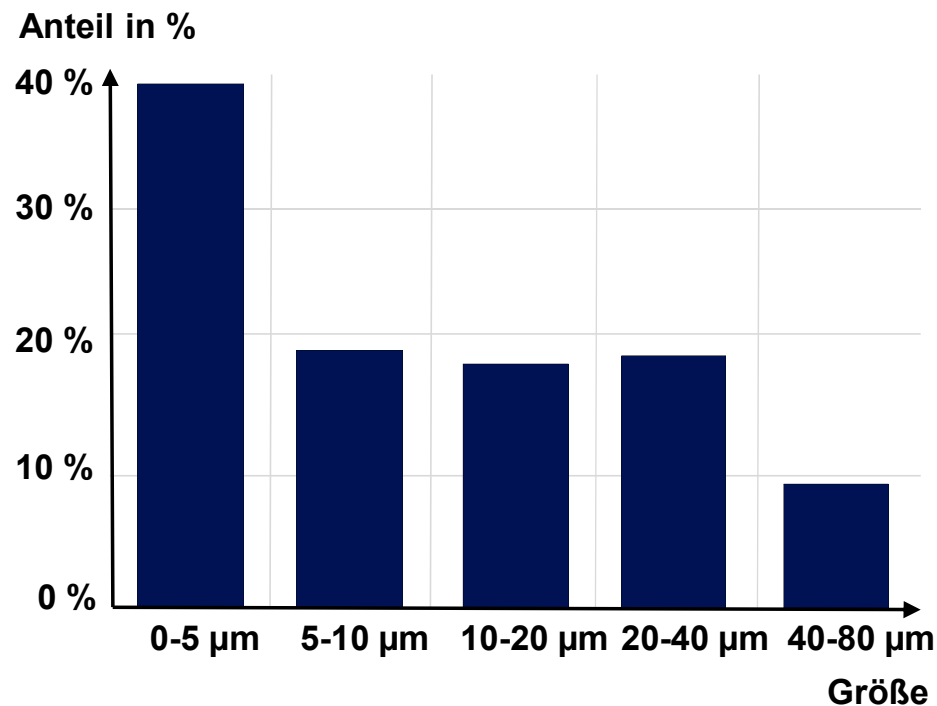
3. Druckluft aufbereiten



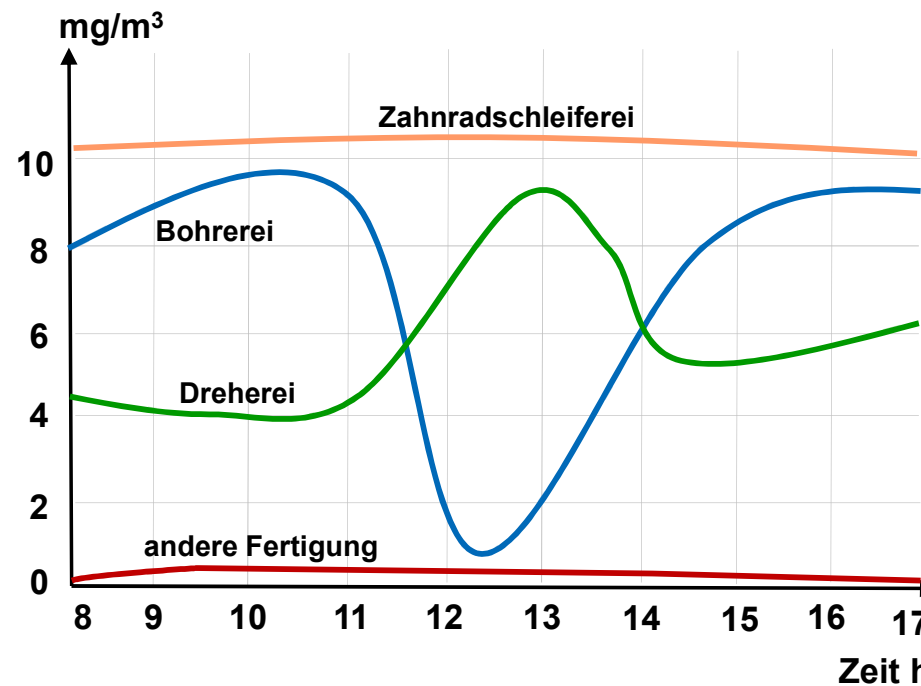
3.1 Verunreinigungen in der Umgebungsluft

... sind immer vorhanden

Feststoffpartikel in der Luft



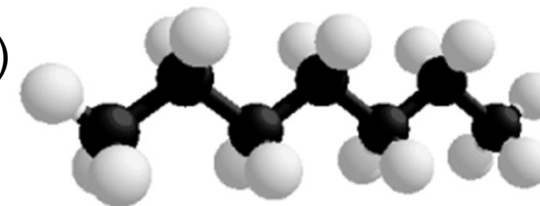
Ölnebelkonzentration



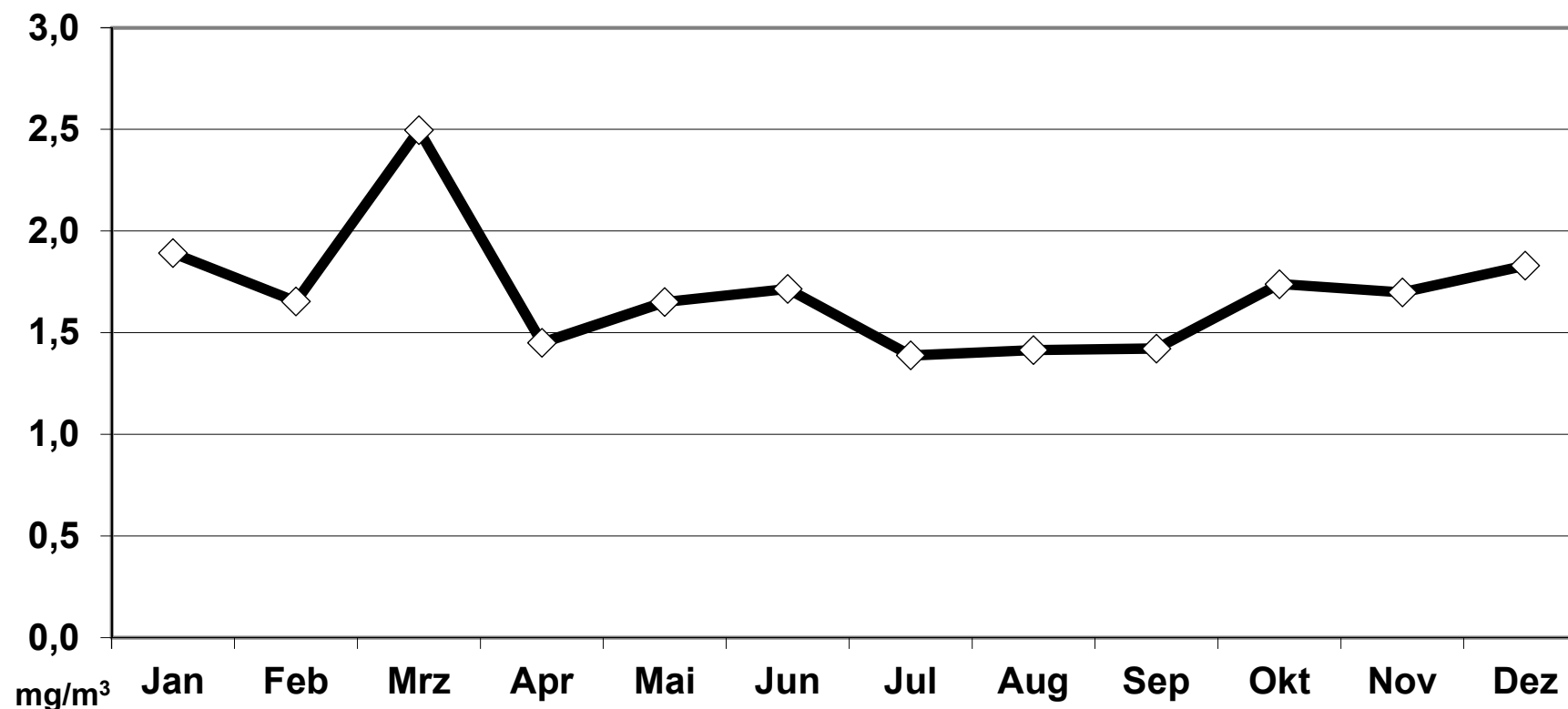
3.1 Verunreinigungen in der Umgebungsluft

Kohlenwasserstoffe C_mH_n

Kohlenwasserstoff-Gehalt der Luft (inkl. Methan CH_4)



Messort: Ludwigshafen - Mitte
max. Halbstunden-Mittelwerte in mg/m^3

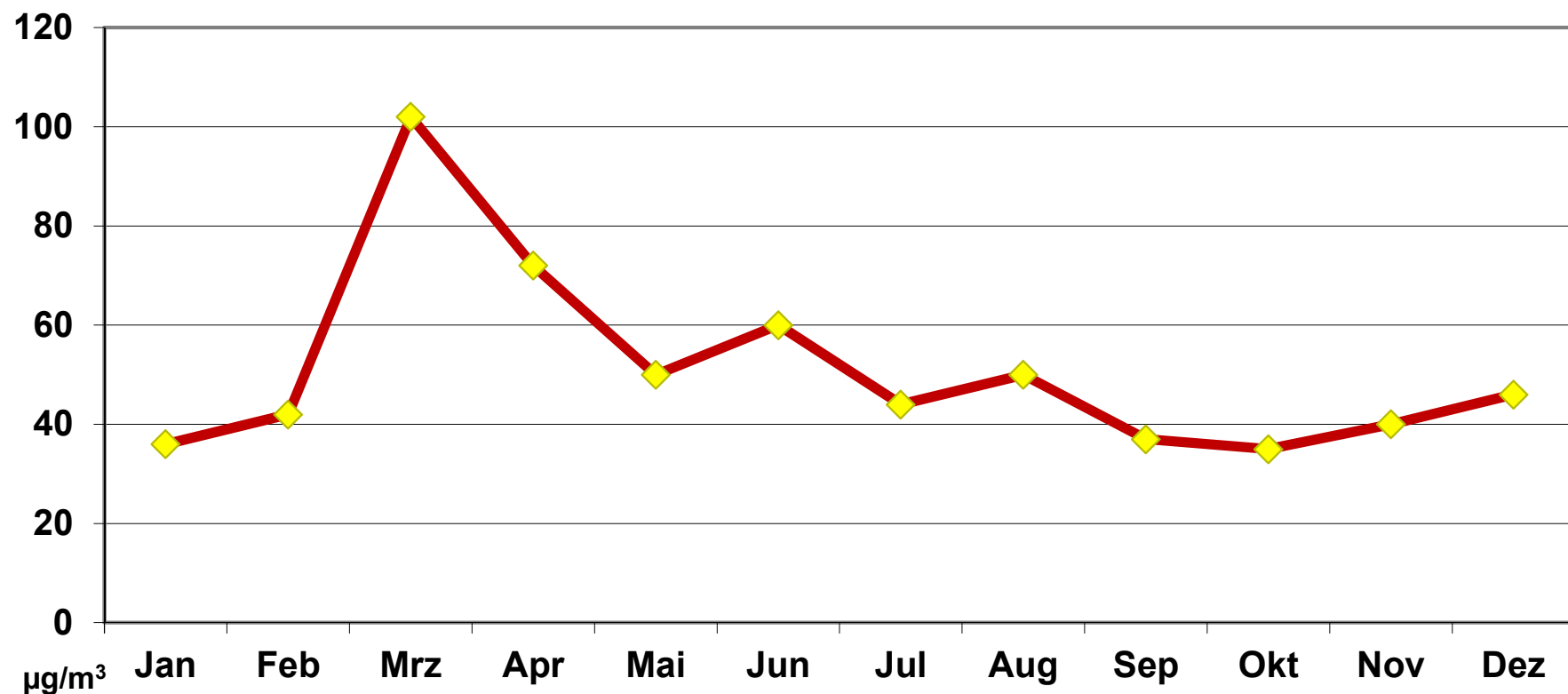
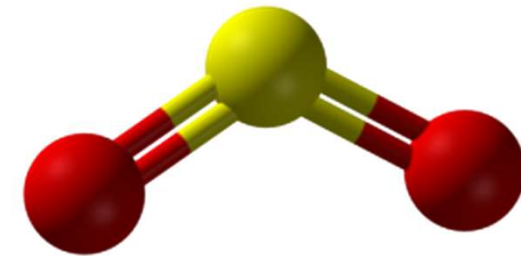


3.1 Verunreinigungen in der Umgebungsluft

Schwefeldioxid SO₂

SO₂-Gehalt der Luft

Messort: Ludwigshafen - Mitte
max. Halbstunden-Mittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

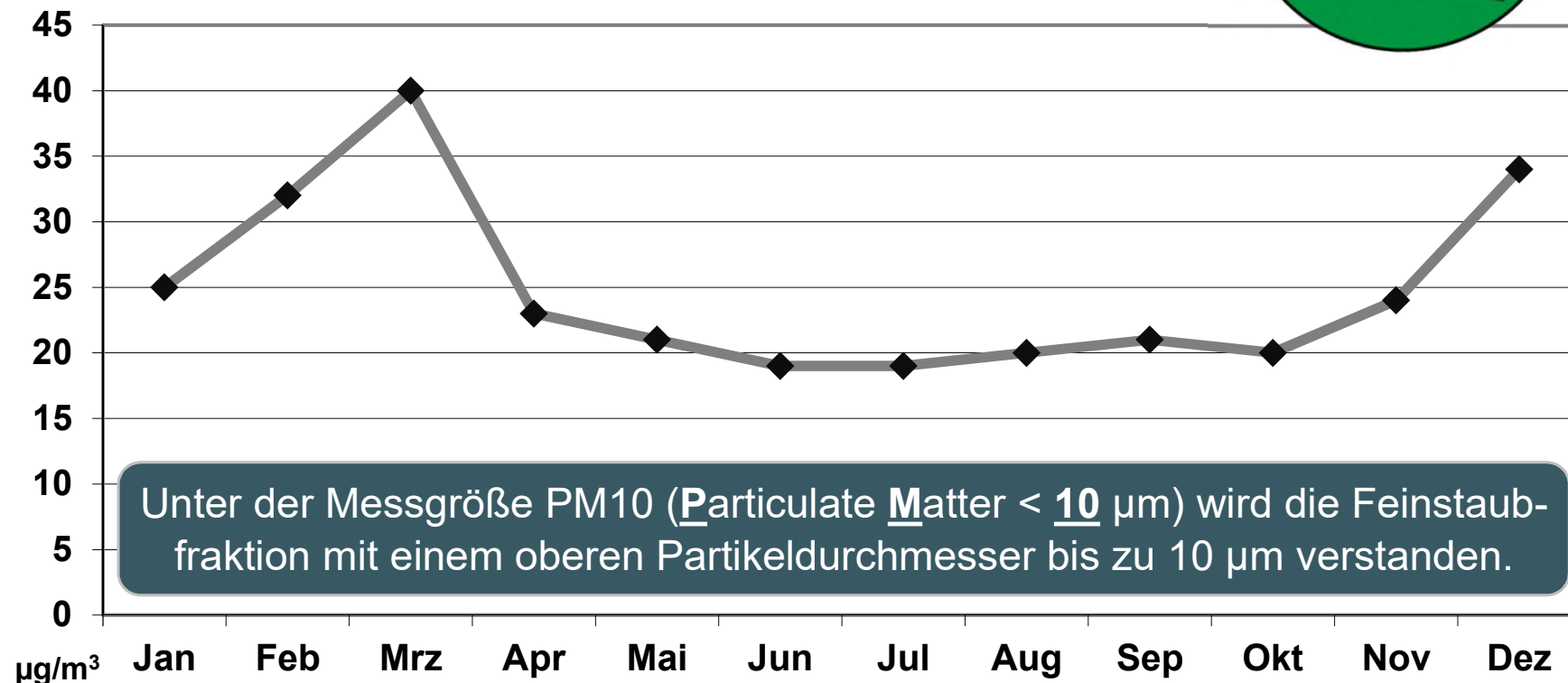


3.1 Verunreinigungen in der Umgebungsluft

Feinstaub PM10

PM10-Feinstaub-Gehalt der Luft

Messort: Ludwigshafen - Mitte
Monatsmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Unter der Messgröße PM10 (Particulate Matter < 10 μm) wird die Feinstaubfraktion mit einem oberen Partikeldurchmesser bis zu 10 μm verstanden.



3.2 Druckluftqualität

nach ISO 8573-1 (2010)

für Feststoffe/Staub, Wasser, Öl

Partikel			
Klasse	max. Partikelzahl je m ³ einer Partikelgröße d in µm *)		
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0
0	z. B. für Reinstluft- und Reinraumtechnik nach Rücksprache mit KAESER möglich		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	nicht definiert	≤ 90.000	≤ 1.000
4	nicht definiert	nicht definiert	≤ 10.000
5	nicht definiert	nicht definiert	≤ 100.000
Klasse	Partikel Konzentration C _p in mg/m ³ *)		
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

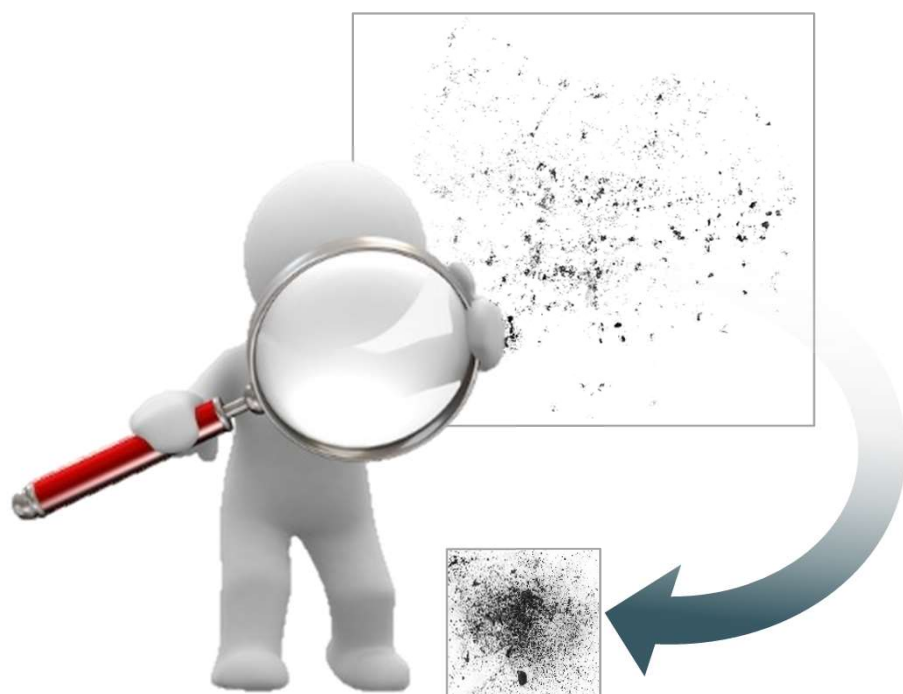
Wasser	
Klasse	Drucktaupunkt, in °C
0	z. B. für Reinstluft- und Reinraumtechnik nach Rücksprache mit KAESER möglich
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Klasse	Konzentration flüssiger Wasseranteil C _w in g/m ³ 1)
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Öl	
Klasse	Gesamtöl-Konzentration (flüssig, aerosol + gasförmig) [mg/m ³] 1)
0	z. B. für Reinstluft- und Reinraumtechnik nach Rücksprache mit KAESER möglich
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

3.2 Druckluftqualität

Druckluft sollte immer aufbereitet werden

Durch die Verdichtung konzentrieren sich Verunreinigungen auf ein Vielfaches.



... verdichtet auf 7 bar (ü)

Die Folgen schlecht aufbereiteter Druckluft: Druckverluste, Korrosion, Einfrieren, beschädigte Druckluftwerkzeuge und im schlimmsten Fall: **Betriebsausfall**



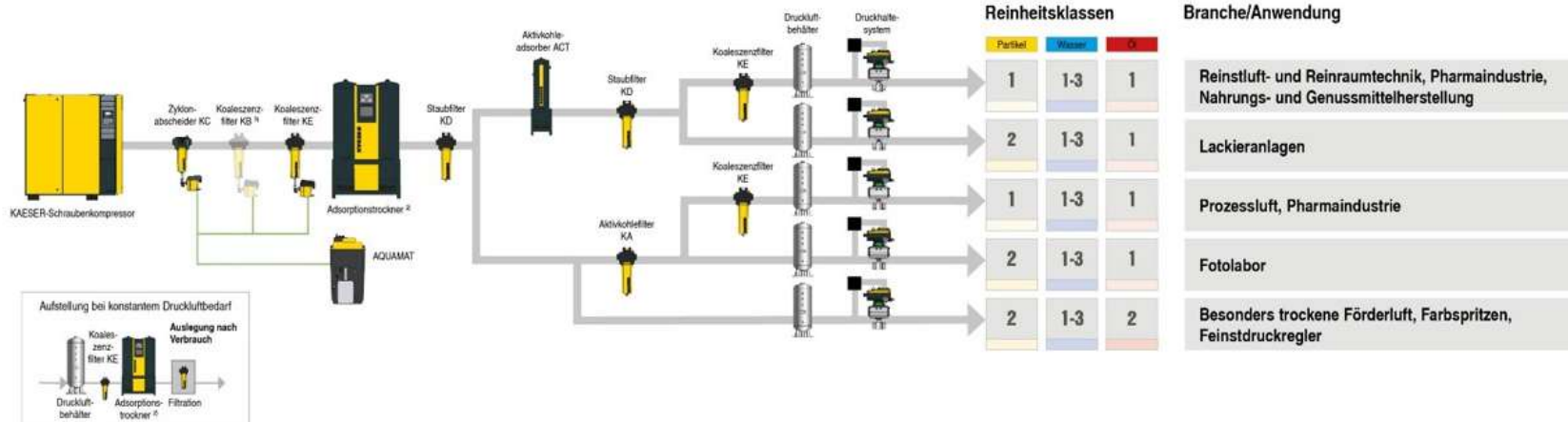
Bild: BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



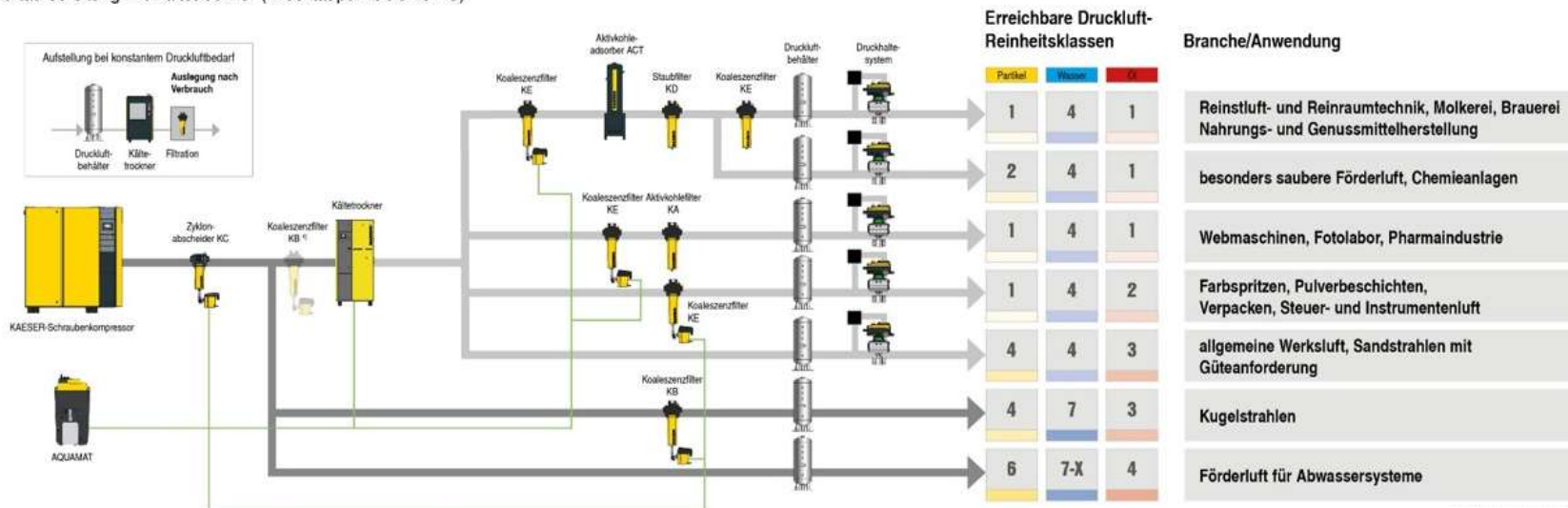
3.2 Druckluftqualität

Aufbereitungsgrade, nach ISO 8573-1 (2010)

Druckluftaufbereitung mit Adsorptionstrockner (Drucktaupunkt bis -70 °C, z.B. bei frostgefährdeten Anwendungen)



Druckluftaufbereitung mit Kältetrockner (Drucktaupunkt bis +3 °C)



3.3 Feuchte und Kondensat

Kondensatanfall in einem Druckluft-Kältetrockner

Tabelle: Wassergehalt bei entsprechendem Taupunkt

Taupunkt	g/m ³	Taupunkt	g/m ³
+100	588,208	+8	8,342
+90	417,935	+6	7,246
+80	290,017	+4	6,359
+70	196,213	+3	5,953
+60	129,020	+2	5,570
+50	82,257	+0	4,868
+45	64,848	-10	2,156
+40	50,672	-20	0,88
+35	39,286	-30	0,33
+30	30,078	-40	0,117
+25	22,830	-50	0,038
+20	17,148	-60	0,011
+10	9,356	-70	0,0033

Den vom Trockner bewirkten Wasserentzug der Luft Δx in (g/m³) berechnen und mit dem Volumenstrom des Kompressors multiplizieren.



3.3 Feuchte und Kondensat

Beispiel: Kondensatmenge in der Druckluftstation

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, sofern kein Kältetrockner verwendet wird.

Folgen: kostspielige Wartungen, Reparaturen und Störungen in der Produktion

3.3 Feuchte und Kondensat

Warum ist Drucklufttrocknung so wichtig?

Probleme im Druckluftnetz:

- Korrosion
- Verschmutzung
- Einfrieren

mögliche
Folgen

- Druckverluste
- Wartungskosten

Probleme bei den Produkten:

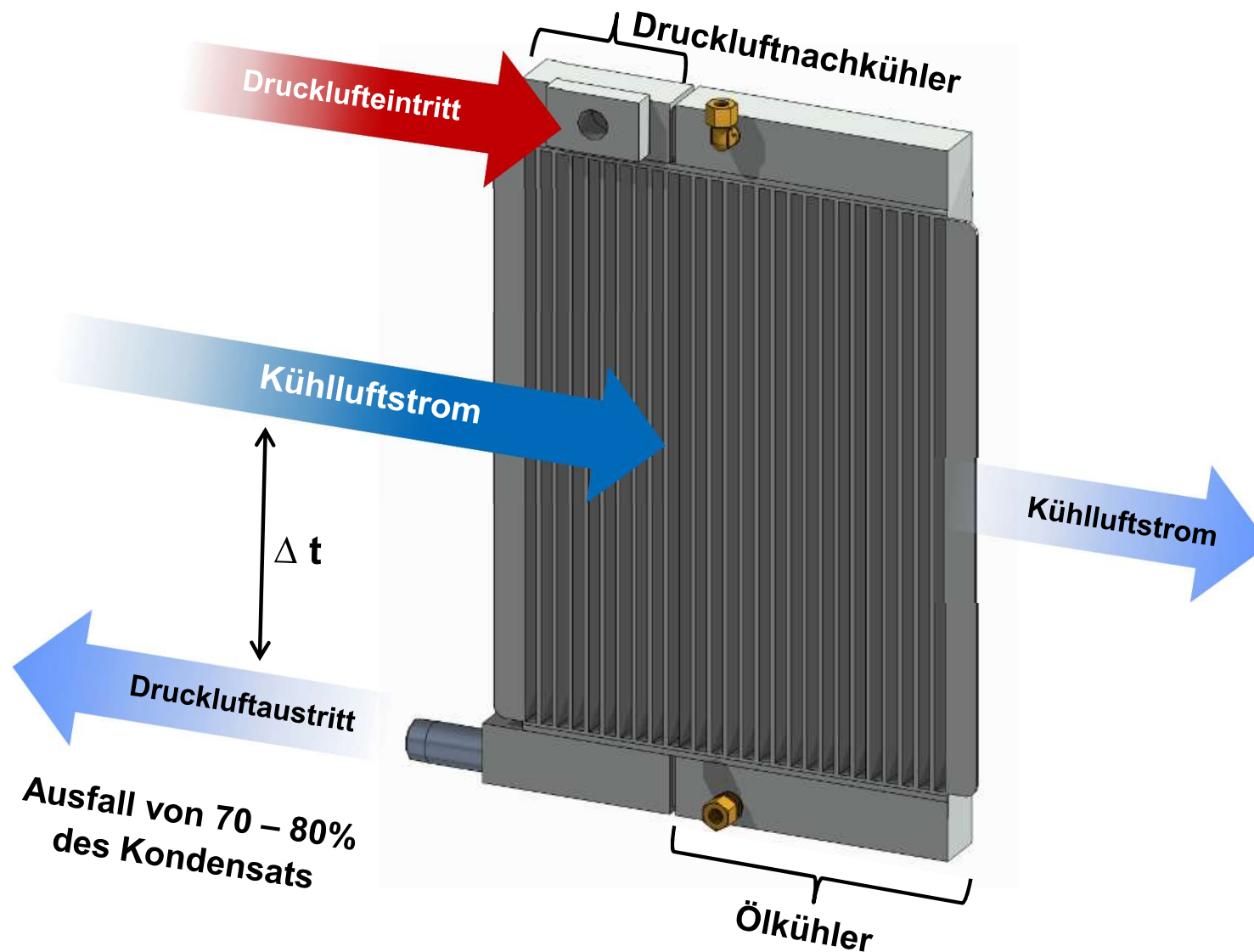
- Verschmutzung
- Werkzeugverschleiß
- Ausschuss
- Betriebsausfall



Kondensat und Verunreinigungen in der Luft können die zuverlässigen Funktionen des Druckluftnetzes und der Werkzeuge beeinträchtigen.

3.4 Nachkühlung

Kombinierter Öl- und Druckluftnachkühler in Schraubenkompressoren



3.5 Mechanische Vorabscheidung

Vorabscheidung durch Zyklonabscheider

Funktion:

Wassertröpfchen und Schmutzpartikel werden durch Fliehkraft nach außen geschleudert und abgeschieden.

Abscheidegrad:

bis 99 %

bei 7 bar, 20 °C im Bereich 20 – 100 %
Volumenstrom

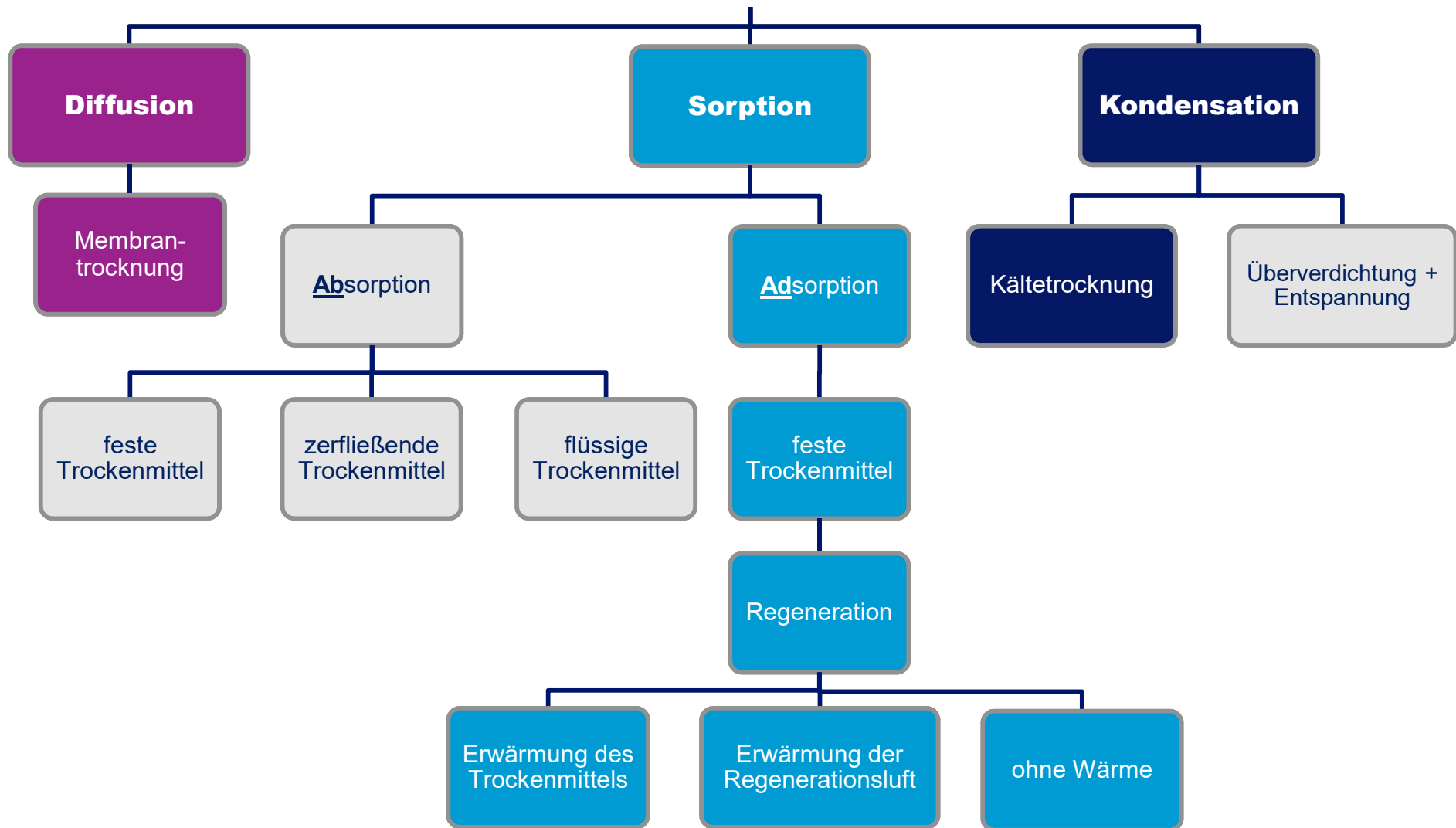
Druckabfall:

Kleiner 0,1 bar bei Nennvolumenstrom



3.6 Trocknungsmethoden

Verfahren der Drucklufttrocknung



3.6 Kondensation: Kältetrocknung

Aktuell gängige Kältemittel

Kältemittel (Bestandteile/Formel)	Treibhauspotential (GWP=Global Warming Potential)
R-507	3 990
R-404A	3 922
R-452A	2 140
R-407A	2 107
R-410A	2 088
R-407F	1 825
R-407C	1 774
R-134a	1 430
R-513A	631



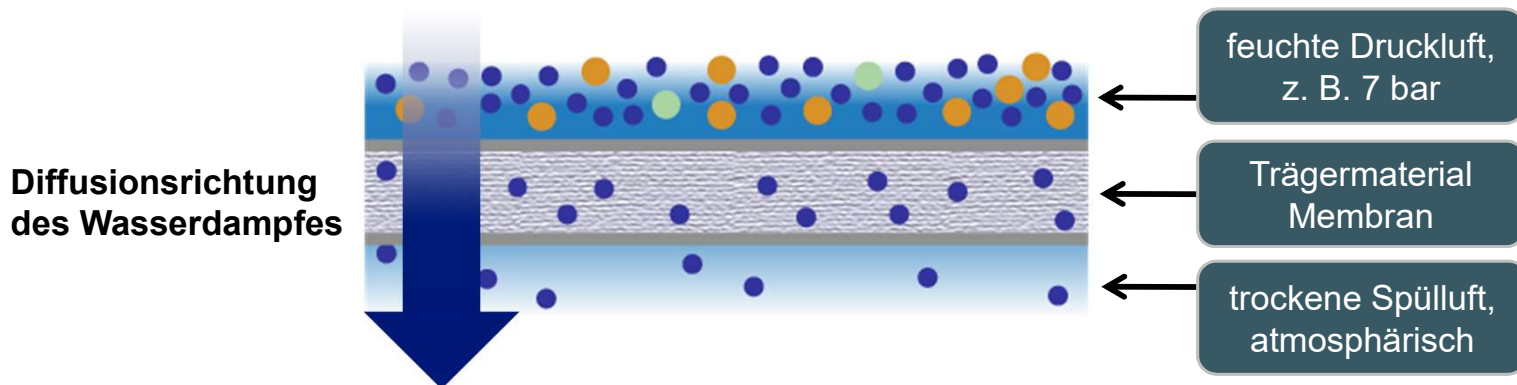
KAESER
Kältemittel

3.6 Diffusion: Membrantrocknung

Aufbau und Funktionsweise

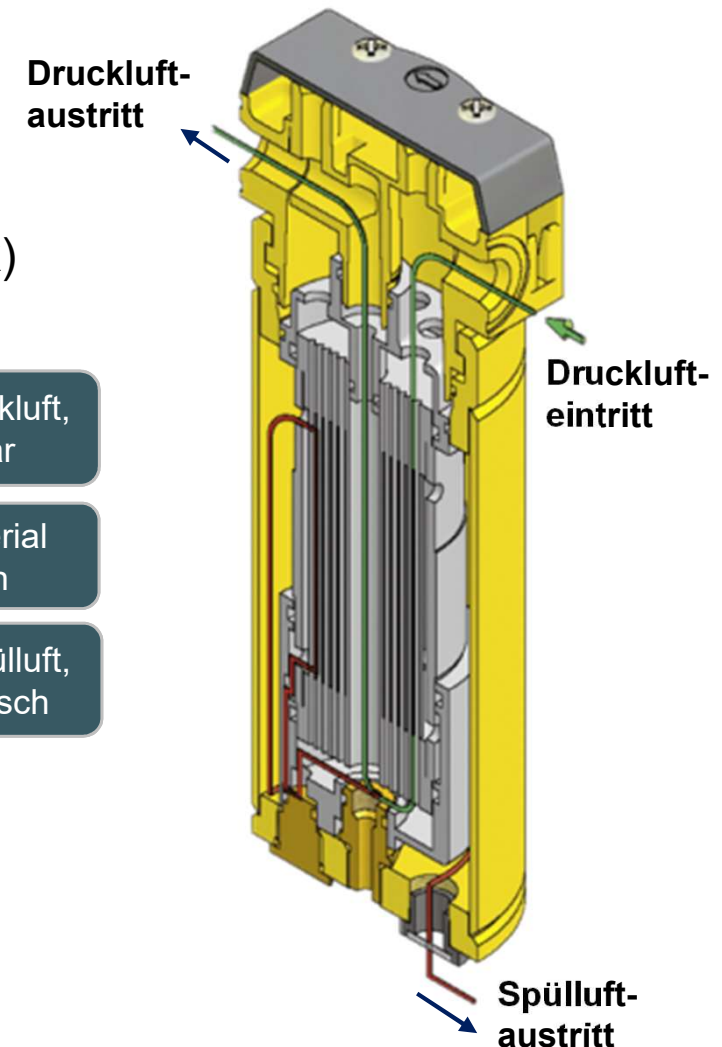
Funktion:

Die Wassermoleküle diffundieren durch die Membran von der höheren zur niedrigeren Konzentration (Partialdruck) und werden abgeschieden.



- direkt in die vorhandene Druckluftleitung einbaubar
- arbeitet ohne Einfluss der Umgebungstemperatur
- kann im Freien sowie in Gebäuden installiert werden
- Achtung: vorgeschalteter Filter erforderlich

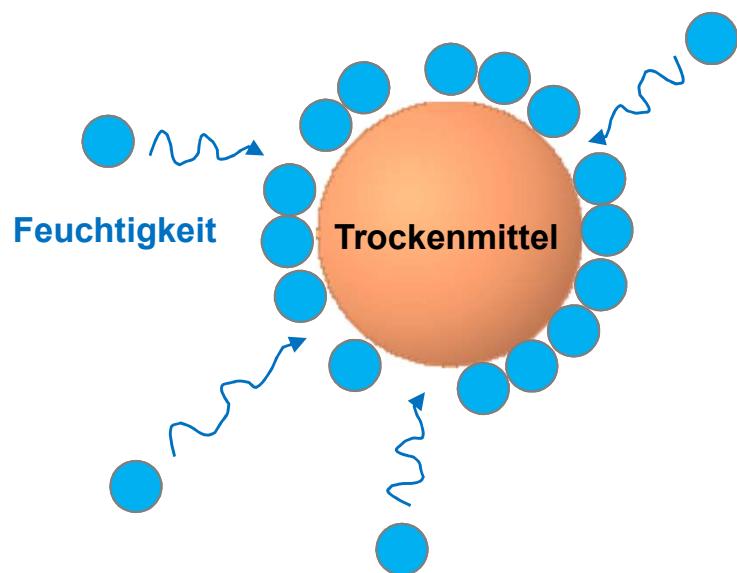
Erreichbare Drucktaupunkte (DTP): +3 bis -40 °C



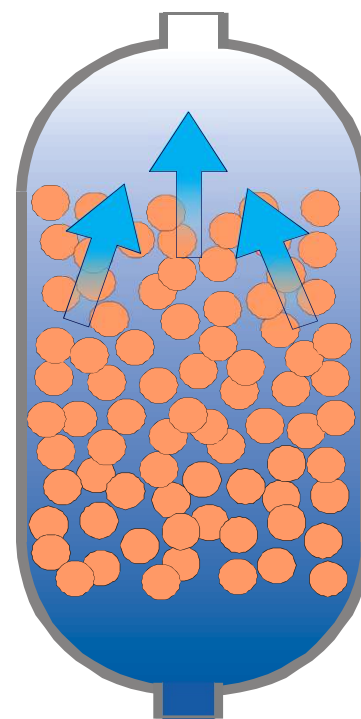
3.6 Sorption: Adsorptionstrocknung

Funktionsweise

- **Physikalischer Vorgang**, bei dem Wasserdampf an Trockenmittel gebunden wird.
- Das Trockenmittel muss immer wieder regeneriert werden (Desorption).
- In zwei Behältern wird abwechselnd getrocknet und regeneriert.



Zyklus:
„Adsorption“
= trocknen



● Trockenmittel



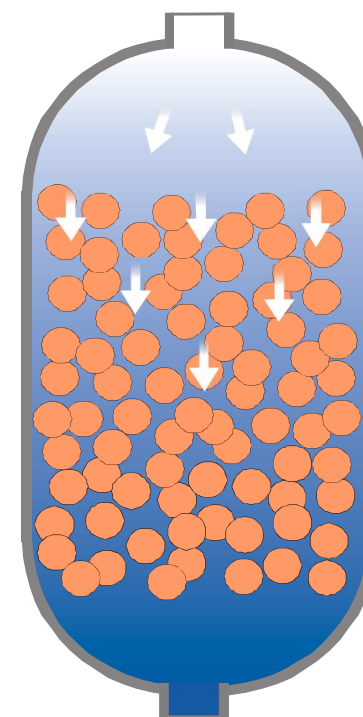
getrocknete
Druckluft



Regenerationsluft



Zyklus:
„Desorption“
= regenerieren



Erreichbare **Drucktaupunkte (DTP): -20 bis -70 °C**

3.6 Trocknungsmethoden

nach Drucktaupunkten

Trocknungsverfahren	Drucktaupunkt °C	Typische spezifische Leistungsaufnahme kW / (m ³ /min) **)
Kältetrockner	+ 3	0,1
HYBRITEC	+ 3 / - 40 *) - 40	0,2 0,3
warmregenerierender Adsorptionstrockner	- 40	0,5 – 0,6
kaltregenerierender Adsorptionstrockner	+ 3 - 40	1,4 – 1,6

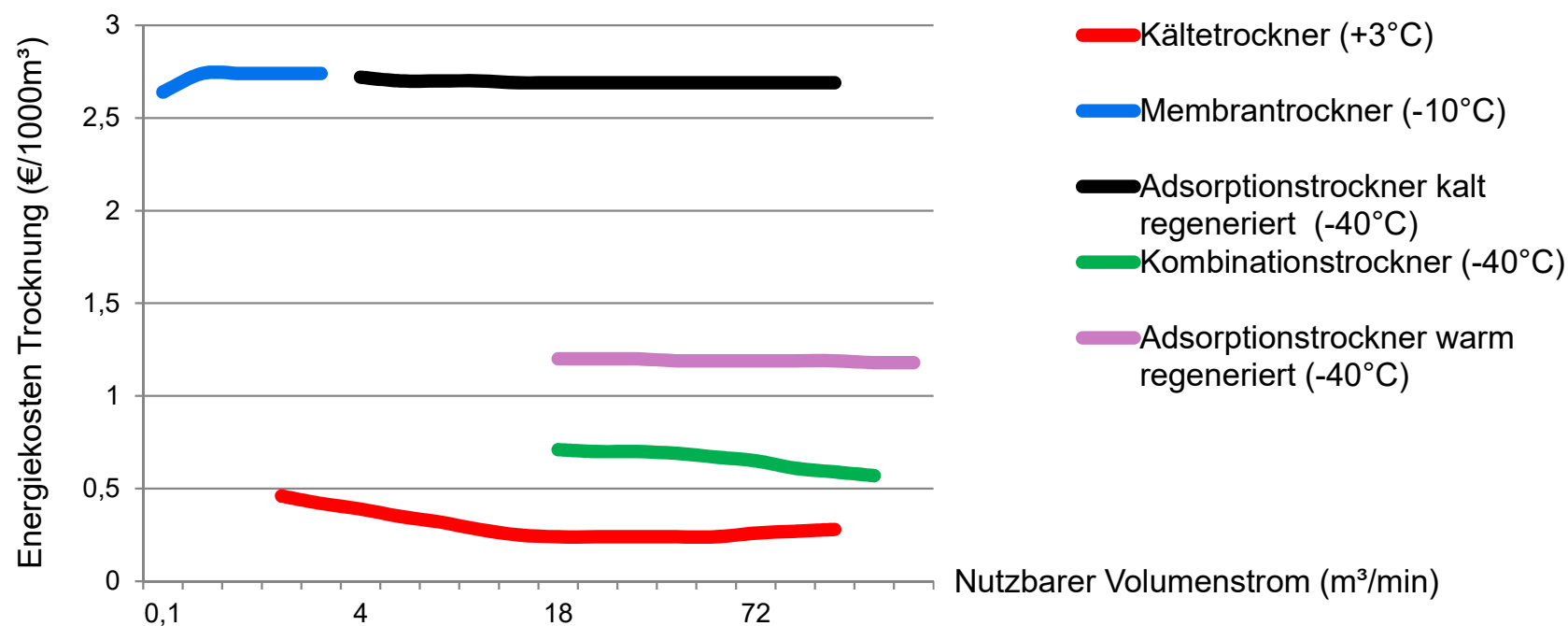
*) DTP – 40 °C für 1/3 der Betriebszeit **) bei ISO 7153 Option A

Drucktaupunkt DTP nur so **niedrig wählen** wie nötig.
Das spart Energie.



3.6 Trocknungsmethoden

Spezifische Kosten der Drucklufttrocknung



Berechnung mit durchschnittlicher spezifischer Leistung des Kompressors 6,5 kW/(m³/min) bei 7 bar; Umgebungstemperatur 25 °C; Energiekosten 0,15 €/kWh

Die richtige Auswahl des **Trockners** und des **Drucktaupunkts** entscheidet über die **Kosten**. **Niedrigere Betriebskosten** amortisieren höhere Investitionen.

Zusammenfassung Druckluft aufbereiten

- Für **bestimmte Druckluftqualitäten** ist immer eine **Druckluftaufbereitung notwendig**, unabhängig von der Verdichterbauart.
- **Jede Anwendung** hat **eigene Anforderungen** an die Druckluftqualität.
- Die **wichtigste** Reinigung stellt die **Drucklufttrocknung** dar (z. B. Kältetrockner).
- **Drucktaupunkt** immer **nach Notwendigkeit** wählen (Kosten- Energieaufwand).
- **Filter** richtig auslegen und **regelmäßig warten**.
- Für „technisch ölfreie“ Druckluft wird immer eine Aktivkohlestufe benötigt.

