

7.1 Grundlagen (Basics)

7.1.1	Zusammensetzung der trockenen Luft (Composition of dry air)	3
7.1.2	Physikalische Werte trockener Luft (Physical properties of dry air)	3
7.1.3	Stoffwerte Druckluft (Value of compressed air)	4
7.1.4	Örtlicher Luftdruck (Local air pressure)	4
7.1.5	Taupunkt / Wassergehalt der Luft (Dew point / water content of air)	5
7.1.6	Drucktaupunkt (Pressure dew point)	6
7.1.7	Druckluftqualitätsklassen (Air purity classes)	8
7.1.8	Gesetzliche Grundlagen (Safety Regulations)	9
7.1.9	Kompressorenbauarten (Compressor designs)	9
7.1.10	Werkstoffe für Druckluftleitungen (Compressed air piping materials)	10
7.1.11	Bezeichnung des Druckluftnetzes (Designation)	11
7.1.12	Sinnbilder in der Drucklufttechnik (Symbols in the compressed air technology)	13

Dieses Kapitel wurde erstellt unter Mitwirkung von:

Ernst Dunkel, dipl. Energieberater
Dipl. Heizungs- und
Sanitärtechniker TS / VSHL, Thun

Tabellenverzeichnis

Tab.: 1 Zusammensetzung trockener Luft auf Meereshöhe	3
Tab.: 2 Physikalische Werte trockener Luft bei 0 °C und 1013 hPa	3
Tab.: 3 Stoffwerte Druckluft bei 20 °C.....	4
Tab.: 4 Wassergehalt der Luft bei verschiedenen Taupunkttemperaturen	5
Tab.: 5 Klassen nach ISO 8573-1:2010.....	8
Tab.: 6 Beispiel Klasse 1.2.1	8
Tab.: 7 Merkmale / Einsatzbereich	9

7.1.1 Zusammensetzung der trockenen Luft (Composition of dry air)

Die Zusammensetzung von trockener Luft bleibt bis zu einer Höhe von 20'000 m relativ konstant.

Tab.: 1 Zusammensetzung trockener Luft auf Meereshöhe

Bestandteil (Composition)		Vol.-%
Stickstoff (Nitrogen)	N ₂	78.09
Sauerstoff (Oxygen)	O ₂	20.95
Argon	Ar	0.93
Kohlendioxid (Carbon Dioxide)	CO ₂	0.031
Neon	Ne	0.0018
Krypton	Kr	0.0001
Methan (Methane)	CH ₄	0.00015
Helium	He	0.00052
Kohlenmonoxid (Carbon Monoxide)	CO	0.00001
Ozon (Ozone)	O ₃	0.00004
Stickstoffmonoxid (Nitric Oxide)	NO	0.00005
Wasserstoff (Hydrogen)	H ₂	0.00005
Xenon	Xe	0.0000087
	Total	≅100

7.1.2 Physikalische Werte trockener Luft (Physical properties of dry air)

Tab.: 2 Physikalische Werte trockener Luft bei 0 °C und 1013 hPa

Eigenschaft	Stoffwert
Molekular Masse	28.96 kg / kmol
Dichte	1.293 kg / m ³
Dynamische Viskosität	17.22·10 ⁻⁶ Pa·s
Kinematische Viskosität	13.32·10 ⁻⁶ m / s ²
Siedepunkt	-191 bis -194 °C
Gefrierpunkt	-212 bis -216 °C
Gaskonstante R _i	287.1 Ws / kgK
Kritischer Druck	3.78 MPa
Kritische Temperatur	-140.7 °C
Schallgeschwindigkeit	331.5 m / s
Spez. Wärmekapazität	0.361 Wh / m ³ K

7.1.3 Stoffwerte Druckluft (Value of compressed air)

Tab.: 3 Stoffwerte Druckluft bei 20 °C

Druck bar _a	Dichte kg / m ³	Dyn. Viskosität Pa·s·10 ⁻⁵	Kin. Viskosität m ² / ·s·10 ⁻⁶
1	1.204	1.816	15.084
2	2.392	1.819	7.604
3	3.580	1.821	5.086
4	4.768	1.824	3.825
5	5.957	1.826	3.066
6	7.145	1.829	2.560
7	8.333	1.831	2.197
8	9.521	1.833	1.925
9	10.709	1.836	1.714
10	11.897	1.838	1.545
11	13.086	1.841	1.407
12	14.274	1.843	1.291
13	15.462	1.846	1.194

7.1.4 Örtlicher Luftdruck (Local air pressure)

Der Luftdruck kann in Abhängigkeit der Höhe bei konst. Luft-Temperatur und Luftmasse sowie Erdbeschleunigung wie folgt berechnet werden.

$$p_{amb} = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0 - 100}}$$

- p_{amb} = Umgebungsluftdruck in hPa
- p₀ = Luftdruck auf Meereshöhe in hPa
- ρ₀ = Luftdichte auf Meereshöhe = 1.293 kg / m³
- g = Erdbeschleunigung = 9.81 m / s²
- h = Höhe über Meer in m

7.1.5 Taupunkt / Wassergehalt der Luft (Dew point / water content of air)

Der Taupunkt ist diejenige Temperatur, auf die die atmosphärische Luft abgekühlt werden kann, ohne dass Wasser ausgeschieden wird.

Tab.: 4 Wassergehalt der Luft bei verschiedenen Taupunkttemperaturen

Taupunkt °C	Wassergehalt g / m ³	Taupunkt °C	Wassergehalt g / m ³	Taupunkt °C	Wassergehalt g / m ³
-25	0.550	12	10.600	40	50.672
-20	0.880	14	11.987	42	55.989
-15	1.380	16	13.531	45	64.848
-10	2.156	18	15.246	50	82.257
-8	2.537	20	17.148	55	103.453
-6	2.984	22	19.252	60	129.020
-4	3.513	24	21.578	65	159.654
-2	4.135	26	24.143	70	196.213
0	4.868	28	26.970	75	239.351
2	5.570	30	30.078	80	290.017
4	6.359	32	33.490	85	340.186
6	7.246	34	37.229	90	417.935
8	8.243	36	41.322	95	497.209
10	9.356	38	45.593	100	588.208

7.1.6 Drucktaupunkt (Pressure dew point)

Der Drucktaupunkt ist diejenige Temperatur, auf die die verdichtete Druckluft abgekühlt werden kann, ohne dass Kondensat ausfällt. Der Drucktaupunkt ist abhängig vom Verdichtungs-Enddruck.

Abb. 1 Drucktaupunkt nach der Entspannung

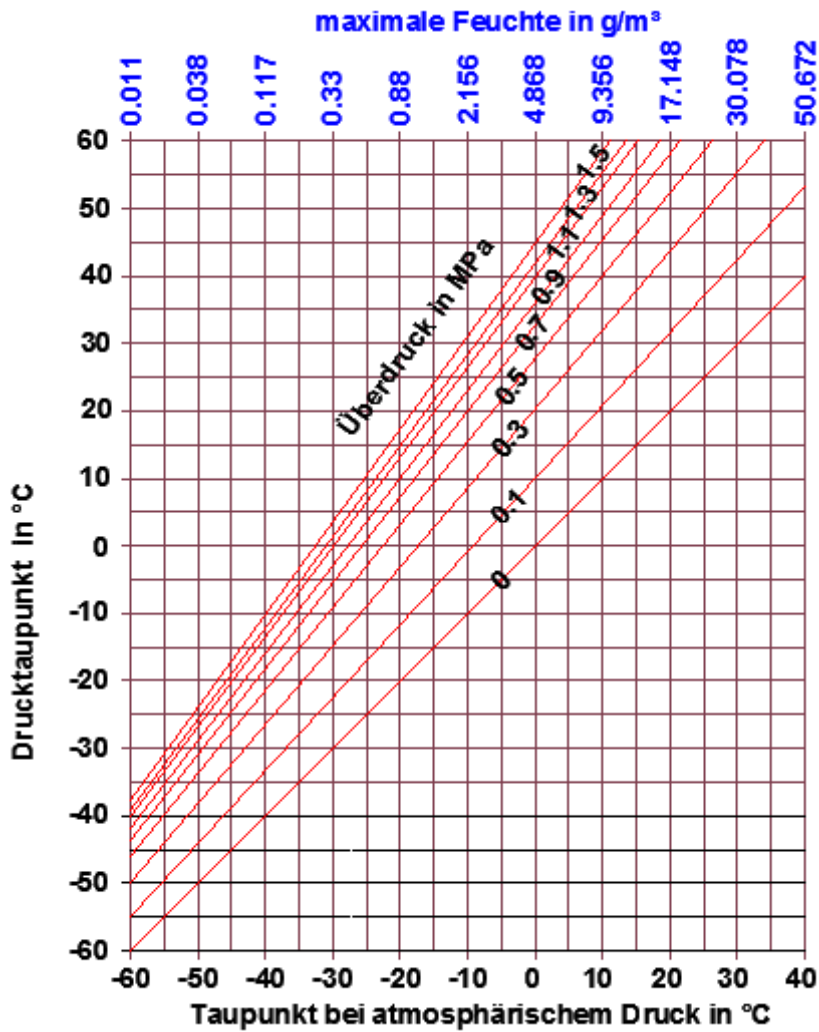
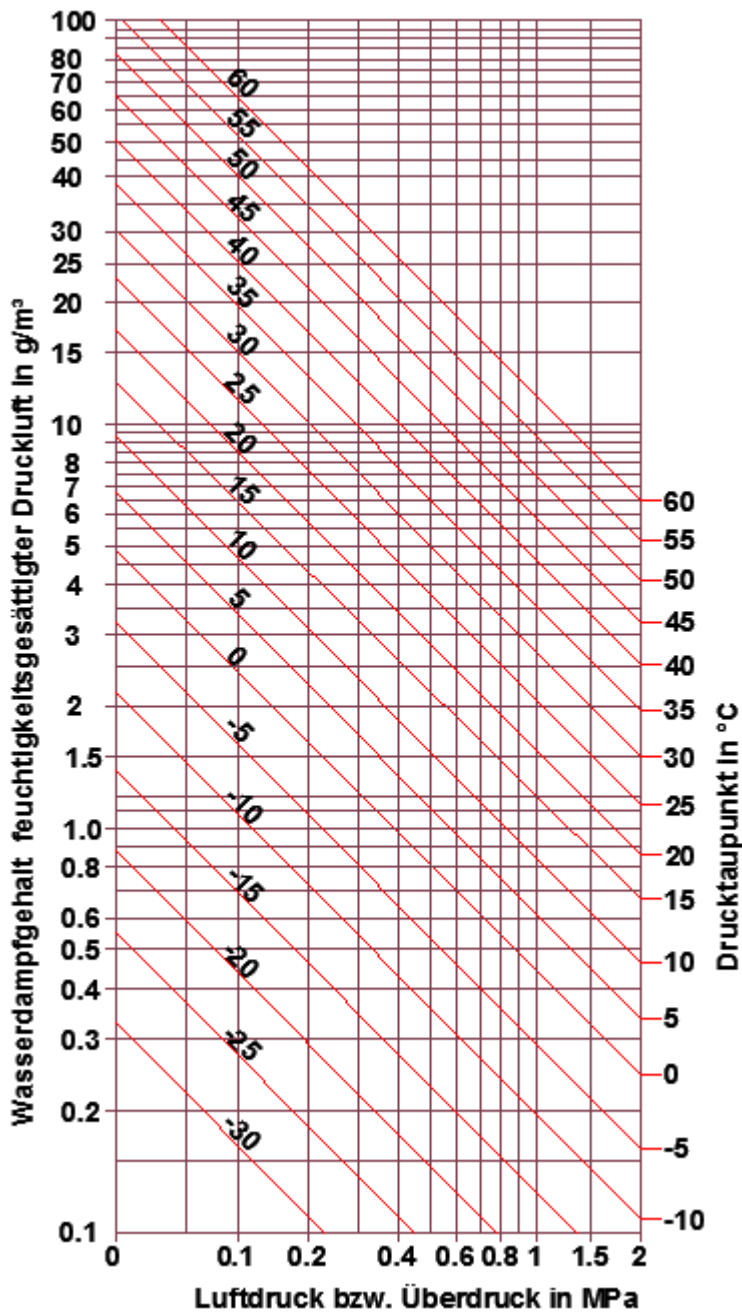


Abb. 2 Wasserdampfgehalt feuchtigkeitsgesättigter Druckluft bei 1013 hPa



7.1.7 Druckluftqualitätsklassen (Air purity classes)

Die Druckluftqualitätsklassen werden in der Norm ISO8573-1:2010 für Druckluftqualität geregelt. Die Norm definiert die Qualitätsklassen der Druckluft bezüglich:

- **Partikel**, Festlegung der max. Anzahl Partikel pro m³ und deren Grösse, die noch in der Druckluft enthalten sein dürfen.
- **Drucktaupunkt, Festlegung der Temperatur.**
- **Ölgehalt**, Festlegung der Restmenge an Aerosolen und Kohlenwasserstoffen, die in der Druckluft enthalten sein dürfen.

Tab.: 5 Klassen nach ISO 8573-1:2010

ISO 8573-1:2010 KLASSE	Feststoffpartikel				Wasser		Öl
	Maximale Anzahl Partikel pro m ³			Massenkonzentration mg / m ³	Drucktaupunkt Dampf	Flüssigkeit in g / m ³	Gesamtanteil Öl (flüssig, Aerosol und Nebel) mg / m ³
	0.1 – 0.5 µm	0.5 – 1 µm	1 – 5 µm				
0	Gemäss Festlegung durch den Gerätenutzer, strengere Anforderungen als Klasse1						
1	≤ 20'000	≤ 400	≤ 10	–	≤ –70 °C	–	0.01
2	≤ 400'000	≤ 6'000	≤ 100	–	≤ –40 °C	–	0.1
3	–	≤ 90'000	≤ 1'000	–	≤ –20 °C	–	1
4	–	–	≤ 10'000	–	≤ +3 °C	–	5
5	–	–	≤ 100'000	–	≤ +7 °C	–	25
6	–	–	–	≤ 5	≤ +10 °C	–	–
7	–	–	–	5 – 10	–	≤ 0.5	–
8	–	–	–	–	–	0.5 – 5	–
9	–	–	–	–	–	5 – 10	–
x	–	–	–	< 10	–	> 10	> 10

Bei der Klasse 0 sind keine Schmutzstoffe zulässig. Ein Kompressor, der Druckluft der Klasse 0 erzeugt, muss trotzdem mit einer Filteranlage im Drucklufttraum und am Anwendungspunkt ausgerüstet werden, damit die Reinheit gemäss Klasse 0 in der Anwendung sichergestellt ist.

Bei der Angabe der erforderlichen Luftreinheit ist stets die Norm anzugeben, gefolgt von der für die einzelnen Schmutzstoffe ausgewählten Reinheitsklasse (bei Bedarf kann für jeden Schmutzstoff eine unterschiedliche Reinheitsklasse angegeben werden).

Beispiel: ISO 8573-1:2010, Klasse 1.2.1

Mit der **Reinheitsklasse 1.2.1** wird für den Betrieb unter den Referenzbedingungen der Norm folgende Luftqualität angegeben:

Tab.: 6 Beispiel Klasse 1.2.1

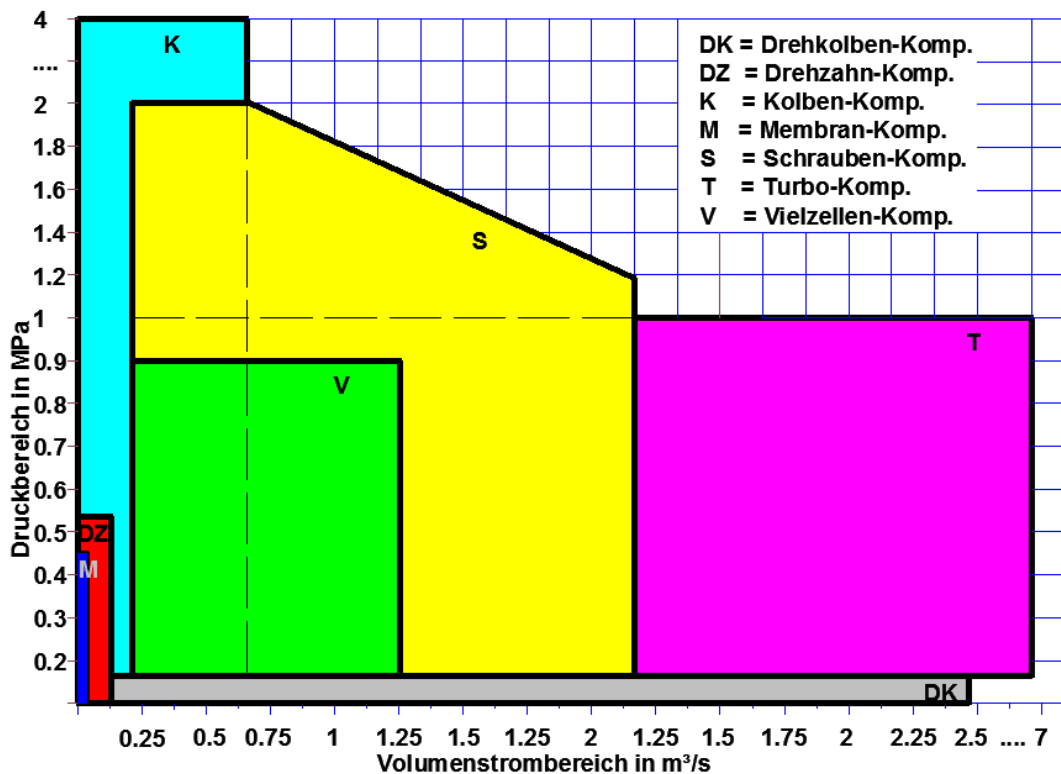
Partikel Klasse 1	Wasser Klasse 2	Öl Klasse 1
Die Partikelanzahl pro Kubikmeter Druckluft darf 20'000 im Bereich 0.1 – 0.5 µm, 400 Partikel im Bereich 0.5 – 1 µm und 10 Partikel im Bereich 1 – 5 µm nicht überschreiten.	Gefordert ist ein Drucktaupunkt (DTP) von –40 °C oder besser. Wasser in flüssiger Form ist nicht zulässig.	Pro Kubikmeter Druckluft sind maximal 0.01 mg Öl zulässig. Bei diesem Wert handelt es sich um den Gesamtgehalt an flüssigem Öl, Ölaerosolen und Önebel.

7.1.8. Gesetzliche Grundlagen (Safety Regulations)

- EKAS Richtlinie 61516 Druckgeräte
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV)
- Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei der Verwendung von Druckgeräten (DGUV)
- Bundesgesetz über die Produktesicherheit (PrSG)
- Verordnung über die Sicherheit von Druckgeräten (Druckgeräteverordnung)
- Verordnung über die Sicherheit von einfachen Druckbehältern (Druckbehälterverordnung)

7.1.9. Kompressorbauarten (Compressor designs)

Abb. 3 Leistungsbereich von Kompressoren



Tab.: 7 Merkmale / Einsatzbereich

Merkmale Kolbenkompressor	Einsatzbereich Kolbenkompressor
<ul style="list-style-type: none"> - verdichtet auf hohe Enddrücke - geeignet für geringste Einschalthäufigkeiten - hohe Verdichtungsendtemperatur - hohe Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> - schwankender Druckluftverbrauch mit Lastspitzen - Spitzenlastmaschinen für häufige Lastwechsel - für Dauerlastanwendungen weniger geeignet - kleine Liefermengen

Merkmale Schraubenkompressor	Einsatzbereich Schraubenkompressor
<ul style="list-style-type: none"> – pulsationsfreier Volumenstrom – für Dauerlauf geeignet – geringer Geräuschpegel – geringer Wartungsaufwand – grosse Liefermengen – wirtschaftlichste Lösung für grosse Liefermengen bei Verdichtungsdrücken von 0.5 bis 1.2 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Einschaltdauer, kontinuierlicher Druckluftverbrauch ohne Lastspitzen, Grundlastmaschinen – Druckniveau zwischen 0.5 und 1.5 MPa. – Schraubenkompressoren sind besonders zum Einsatz bei kontinuierlichem Druckluftverbrauch ohne grosse Lastspitzen vorzusehen – hervorragend geeignet als Grundlast-Maschinen in Kompressorverbund

Merkmale Turbokompressor	Einsatzbereich Turbokompressor
<ul style="list-style-type: none"> – hohe Wirtschaftlichkeit für sehr grosse Druckluftmengen – Pulsationsfreier Volumenstrom – typische Grundlastmaschine im oberen Leistungsbereich – trockenlaufend verdichtete Luft – weitere Stufen möglich – empfindlich gegen verschmutzte Ansaugluft – ruhiger Lauf 	<ul style="list-style-type: none"> – für hohe Drücke nicht gut geeignet – für grosse Liefermengen

7.1.10 Werkstoffe für Druckluftleitungen (Compressed air piping materials)

Für Druckluftnetze können im Prinzip alle üblichen Rohrleitungssysteme welche in der Sanitärtechnik eingesetzt werden verwendet werden, insofern diese für die vorgesehenen Drücke und Temperaturen geeignet sind.

Aluminium-Rohre:

DN 12 bis DN 100, max. Betriebsüberdruck 1.3 MPa bei 23 °C, k = 0.0015 mm

Kunststoff:

max. Betriebsüberdruck 1.3 MPa bei 20 °C, k = 0.0015 mm

Edelstahl- und Kupferrohre zum Pressen:

DN 12 bis DN 100, max. Betriebsüberdruck 1.6 MPa, k = 0.0015 mm

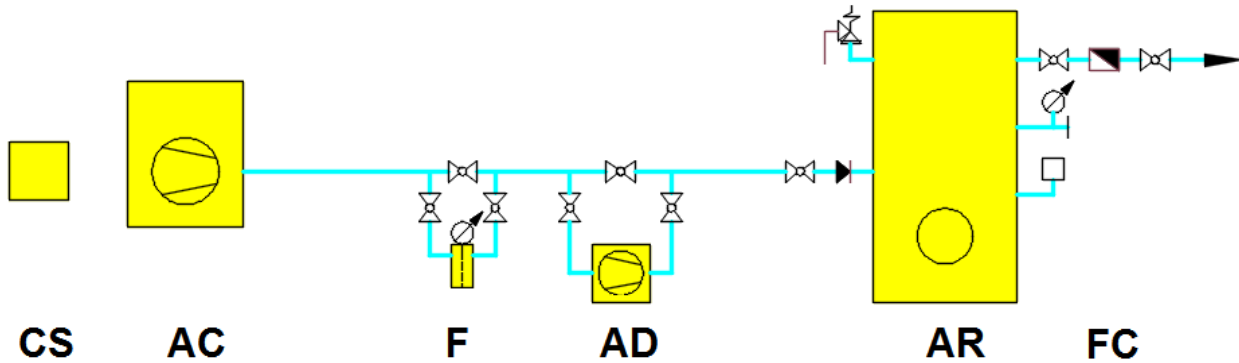
Stahl-Rohre:

Gewinderohre, DN 10 bis DN 50, > DN 50 Siederohre

max. Betriebsüberdruck 1.6 MPa, k = 0.015 mm

7.1.11 Bezeichnung des Druckluftnetzes (Designation)

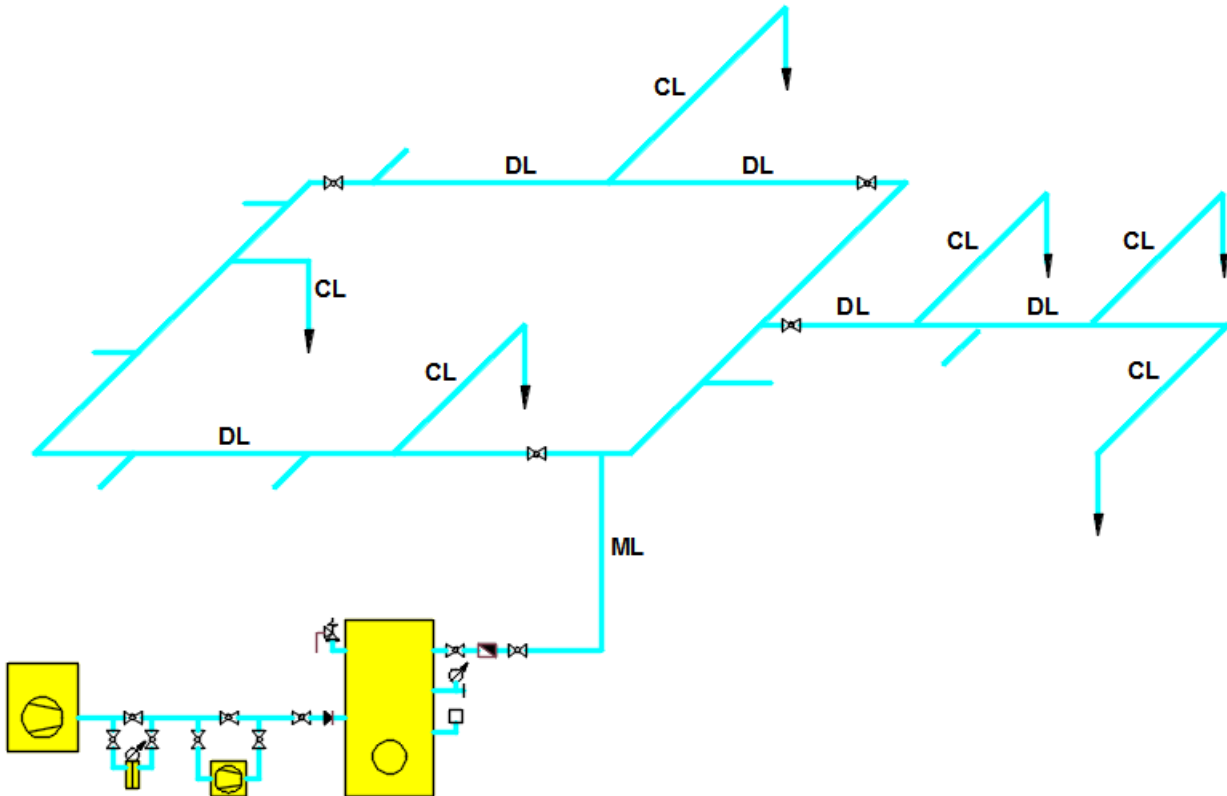
Abb. 4 Druckluftbauteile



Legende:

- CS = Schaltschrank (Control System)
- AC = Druckluftkompressor (Air Compressor)
- F = Filter / Abscheider (Filter / Separator)
- AD = Drucklufttrockner (Air Dryer)
- AR = Druckluftbehälter (Air Receiver)
- FC = Druckluftzähler (Flow Controller)

Abb. 5 Druckluftnetz

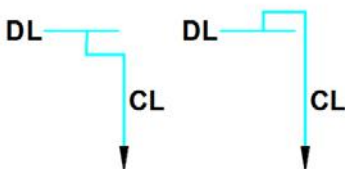


Legende:

- ML = Hauptleitung (Main Line), diese transportiert die Druckluft vom Kompressor zu den Werkstätten.
- DL = Verteilung (Distributor Line), diese transportiert die Druckluft in den Werkstätten zu den Arbeitsplätzen. Wird auch als Ringleitung (Ring Circuit) ausgeführt.
- CL = Anschlussleitung (Connecting Line), ist das letzte Teilstück eines Druckluftnetzes
- FRL = Filter / Druckluftregler / Öler und Anschlusschlauch (Filter, Regulator, Lubricator and Hose)


Der Anschluss an die Verteilung richtet sich nach dem Wassergehalt der Druckluft, d.h., ob ein Drucklufttrockner eingebaut ist oder nicht.

Abb. 6 Anschluss Trocken / Nass



7.1.12 Sinnbilder in der Drucklufttechnik (Symbols in the compressed air technology)

Abb. 7 Sinnbilder in der Drucklufttechnik

	Absperrorgan		Kugelhahn
	Rückflussverhinderer		Sicherheitsventil
	Filter		Abscheider
	Druckluftzähler		
	Druckschalter		Regler
	Motorischer-Stellantrieb		Magnetischer-Stellantrieb
	Pneumatischer-Stellantrieb		Thermischer-Stellantrieb
	Kondensatableiter		
	Manometer		Messstelle Druck
	Thermometer		Messstelle Temperatur
	Motor		
	Ventilator		Pumpe
	Kompressor		Turbokompressor
	Kolbenkompressor		Schraubenkompressor
	Drucklufttrockner		Wärmeübertrager
	Wartungseinheit		Entnahmestelle