



1. Grundlagen

1.1 Druckluft früher und heute

Anwendungsbeispiele für Druckluft heute

- Baugewerbe
- Bergbau
- Chemische Industrie
- Energiewirtschaft
- Gesundheitswesen
- Handwerksbetriebe
- Holzverarbeitende Industrie
- Kunststoffindustrie
- Nahrungs- und Genussmittelindustrie
- Papierverarbeitende Industrie
- Textilindustrie
- Umwelttechnik
- Metallverarbeitende Industrie
- ...



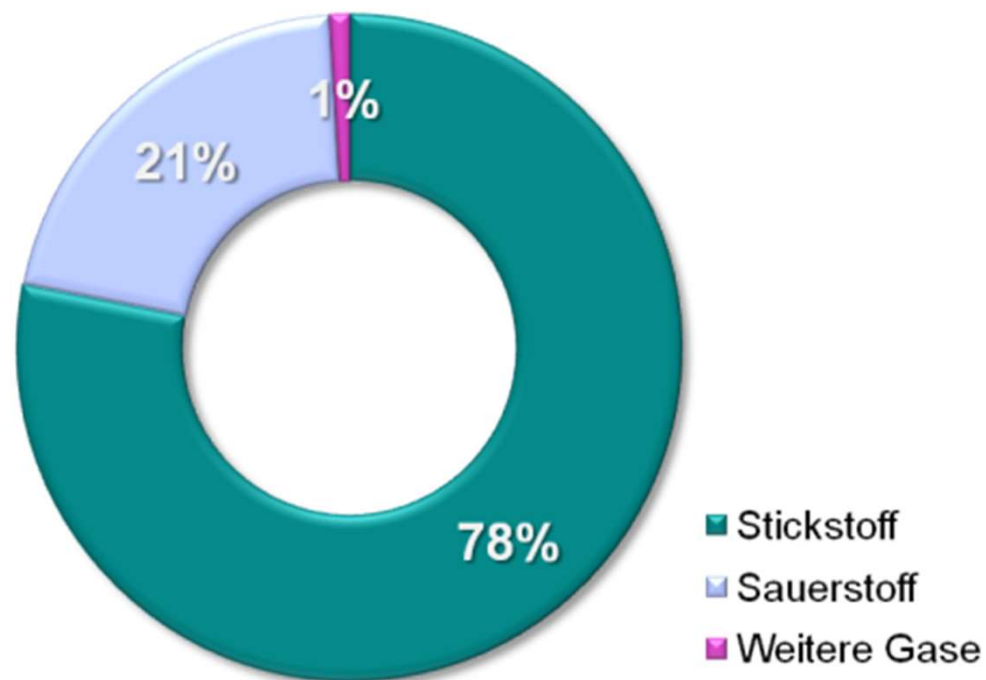
vielseitige Druckluftanwendungen

1.2 Was ist Druckluft?

Von atmosphärischer Luft zur Druckluft

- Luft ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas
- bewegliche Moleküle, die untereinander elastische Stöße ausführen
- Bewegung bewirkt Stoßkräfte, die sich als Druck auswirken
 - je höher die Temperatur, desto schnellere Bewegung der Moleküle
 - der Druck steigt

Molekülstöße auf eine Wand



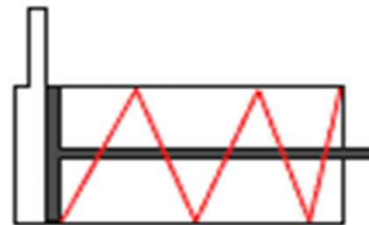
1.2 Was ist Druckluft?

Definition der Druckluft

Druckluft ist:

- verdichtete, atmosphärische Luft
- ein Gasgemisch
- kompressibel
- ein Energieträger

Druckluft



= Arbeit W

Expansion

Wenn sich die Druckluft entspannt, wird diese als Arbeit W nutzbar gemacht.

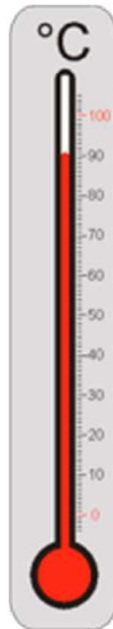
1.3 Physikalische Grundlagen

Temperatur und Wärmekapazität

Temperatur

- kinetische Energie der Moleküle
- absoluter Nullpunkt bei
 $0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$

t bei Angabe in °C
T bei Angabe in K
 $T = t + 273,15$



Wärmekapazität

- Wärmemenge zur Erwärmung eines Stoffes um 1 K

$$Q = m \times c \times (T_2 - T_1)$$

Q = Wärmemenge (kJ)

m = Masse (kg)

c = spezifische Wärmekapazität (kJ/(kg K))

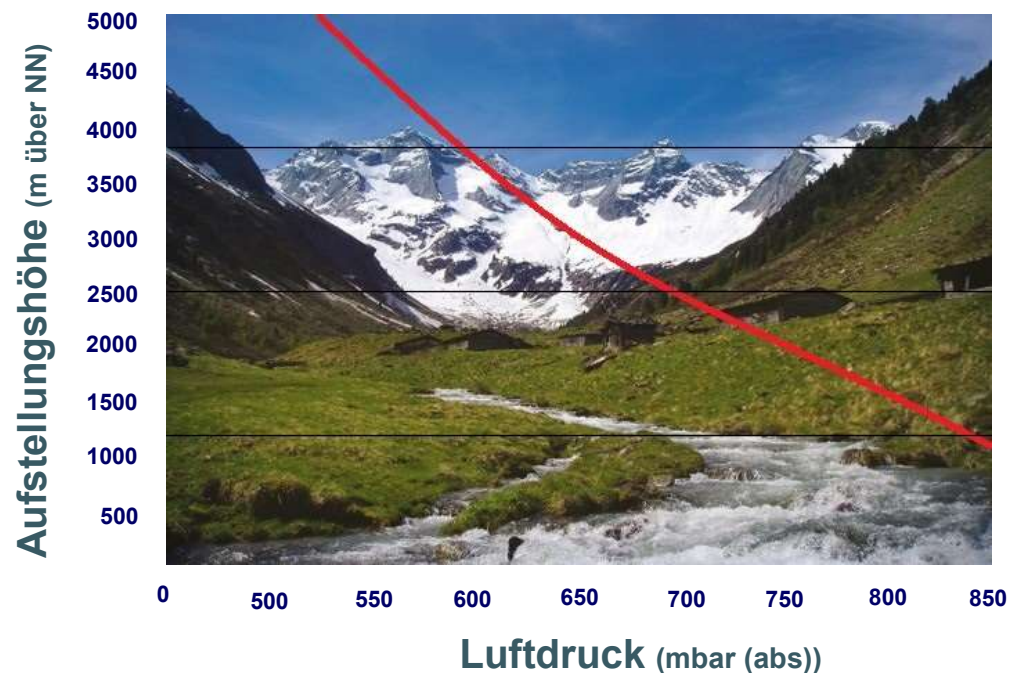
T = Temperatur (K)

1.3 Physikalische Grundlagen

Atmosphärischer Druck

Atmosphärischer Druck wird durch das Gewicht der Lufthülle erzeugt. Er hängt von der **Dichte der Luft** und von der Höhe ab.

Der **Normaldruck** in Meereshöhe beträgt **1,013 bar (absolut)**.



Je 1.000 m Höhenmeter nimmt der absolute Druck um ca. 100 mbar ab.

1.3 Physikalische Grundlagen

Absoluter Druck / Überdruck

Absoluter Druck

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

Überdruck

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



1.3 Physikalische Grundlagen

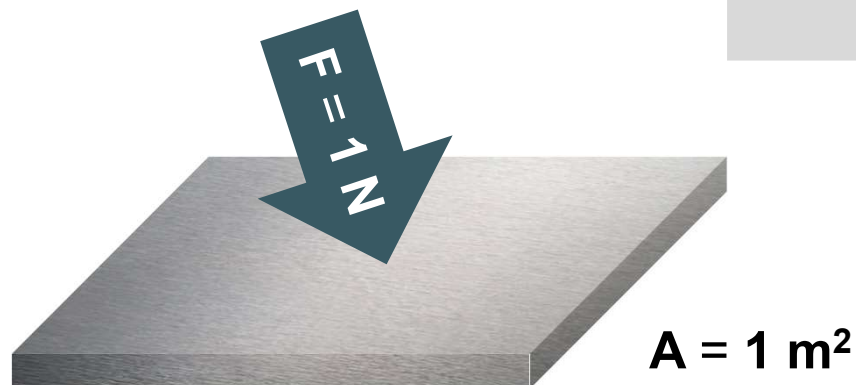
Definition des Drucks

Allgemein gilt:

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$$

Einheiten:

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



Wieviel ist ...

$$10^5 \text{ Pa} = 100.000 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

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

$$100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ bar} = 14,514 \text{ psi}$$

$$1 \text{ bar} = 10.197 \text{ mmWS}$$

(mm Wasser-Säule)

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

$$= 750,062 \text{ mmHg}$$

(mm Quecksilber-Säule)

1.3 Physikalische Grundlagen

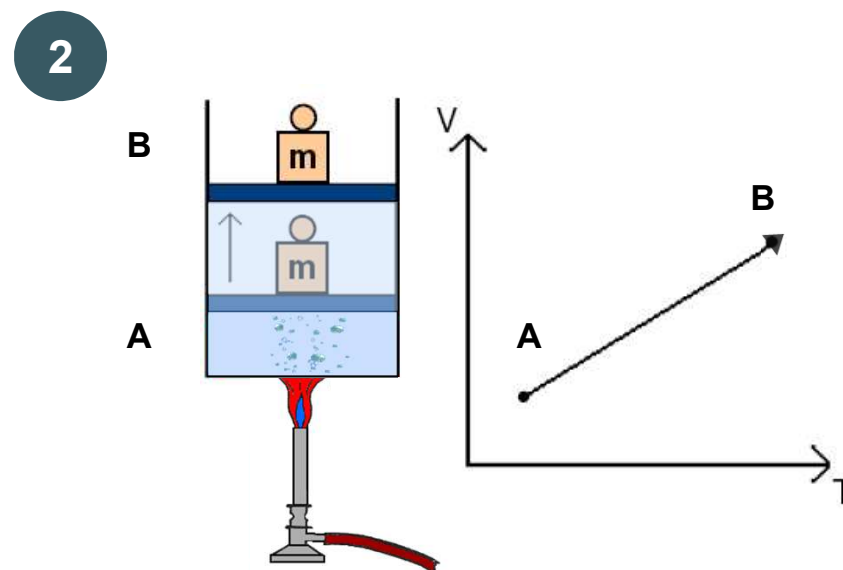
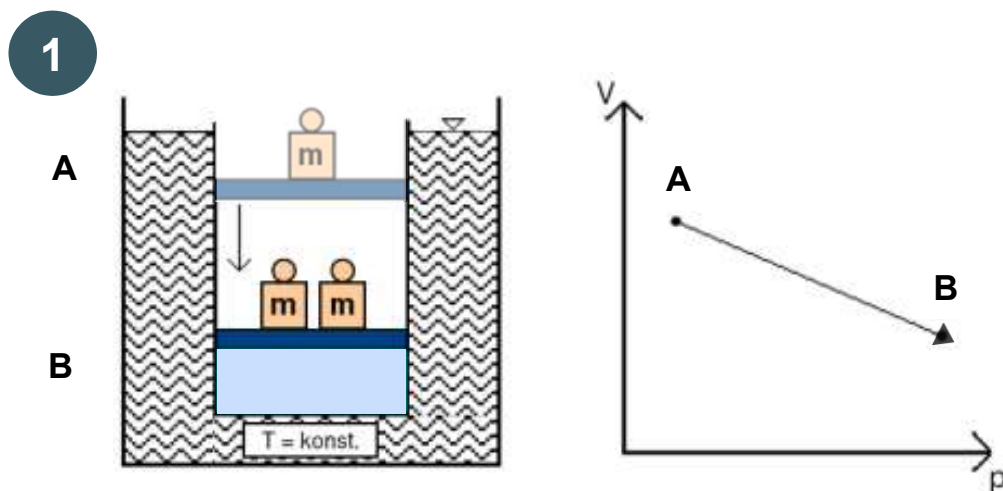
Definition des Volumens

Das **Volumen (V) von Luft** ist die räumliche Ausdehnung (z. B. in m³) abhängig vom Betriebszustand.

Allgemein gilt:

$$V = f(p, T)$$

Es steht in Abhängigkeit von **Druck 1** und **Temperatur 2**.



1.3 Physikalische Grundlagen

Zustandsänderungen idealer Gase

p = Druck (bar)

V = Volumen (m³)

T = Temperatur (K)

$$\frac{p_0 \times V_0}{T_0} = \frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \text{konstant}$$

abgeleitet aus:



Boyle
(1627-1691)

$$p_0 \times V_0 = p_1 \times V_1$$



Gay-Lussac
(1778-1850)

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$$

1.3 Physikalische Grundlagen

Zustandsänderungen idealer Gase - Isotherm

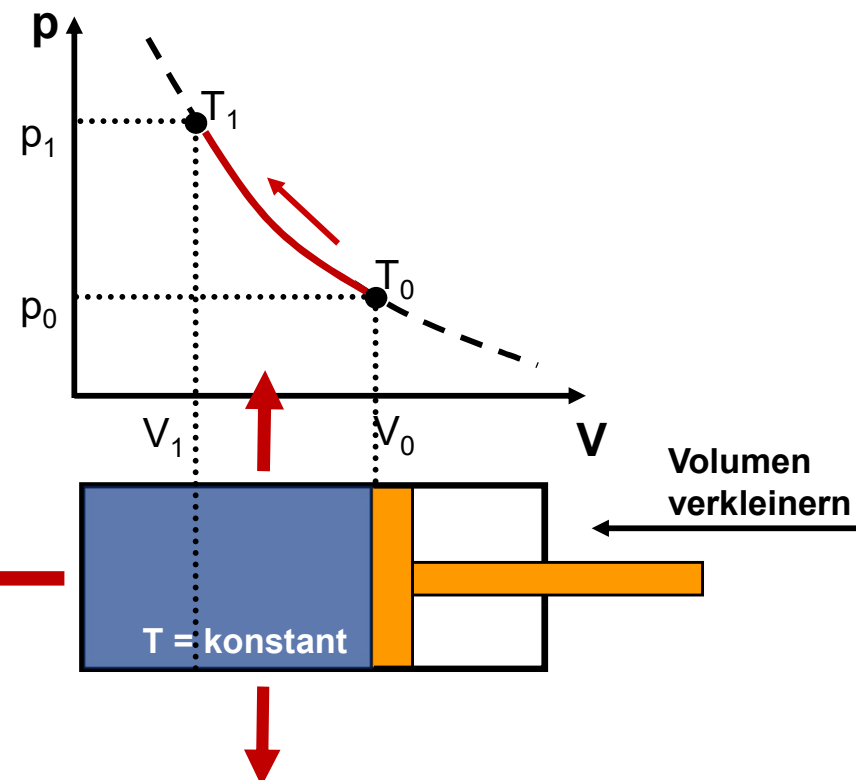
Isotherme Zustandsveränderung

Wird das Volumen bei **konstanter Temperatur** verkleinert, vergrößert sich der Druck.

Isotherm: $T_0 = T_1 = \text{konstant}$

$p_0 \times V_0 = p_1 \times V_1 = \text{konstant}$

Wärmeabfuhr an die Umgebung



1.3 Physikalische Grundlagen

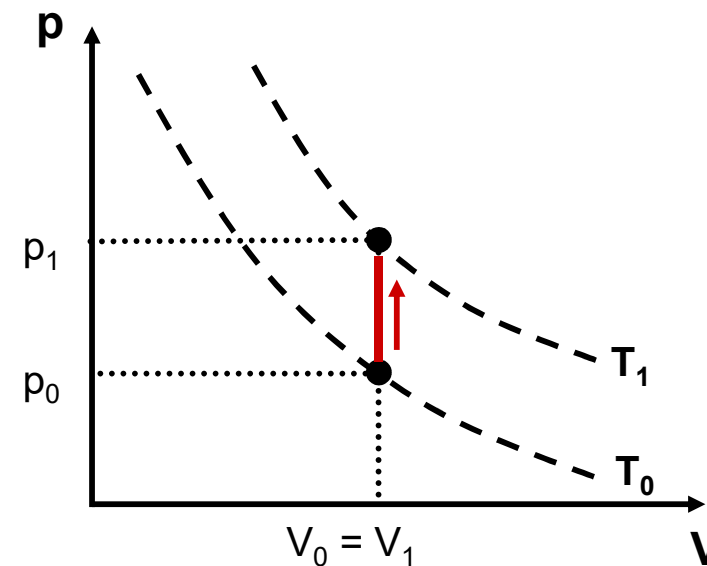
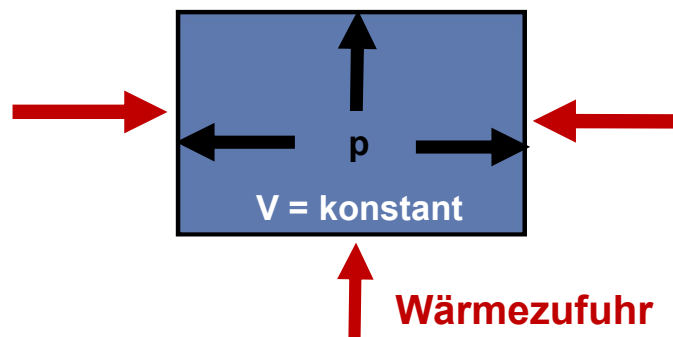
Zustandsänderungen idealer Gase - Isochor

Isochore Zustandsänderung

In einem steifen Gefäß bleibt das **Volumen konstant**.
 Bei Erwärmung erhöht sich der Druck.

Isochor: $V_0 = V_1 = \text{konstant}$

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}$$



1.3 Physikalische Grundlagen

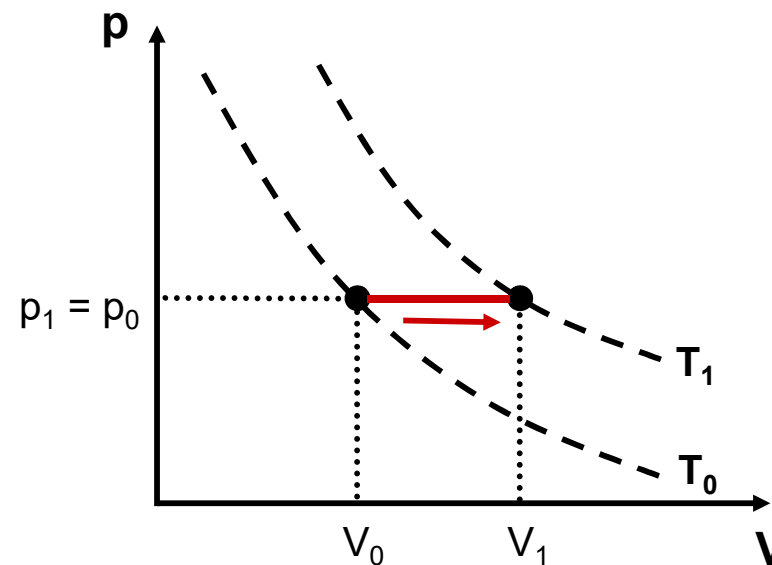
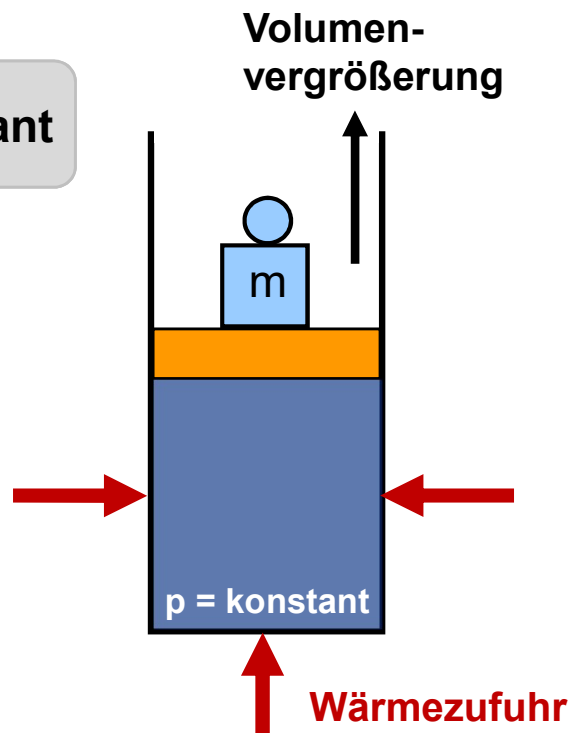
Zustandsänderungen idealer Gase - Isobar

Isobare Zustandsänderung

Wird bei einem **konstanten Druck** Wärme zugeführt, so vergrößert sich das Volumen.

Isobar: $p_0 = p_1 = \text{konstant}$

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0}{T_1}$$



1.3 Physikalische Grundlagen

Zustandsänderungen idealer Gase - Isentrop

Isentrope Zustandsänderung

→ adiabat: kein Wärmeaustausch mit der Umgebung, vollständige Isolation

→ isentrop: reversibel adiabat, d. h. der Prozess ist umkehrbar.

Isentrop: $p_0 < p_1$

$T_0 < T_1$

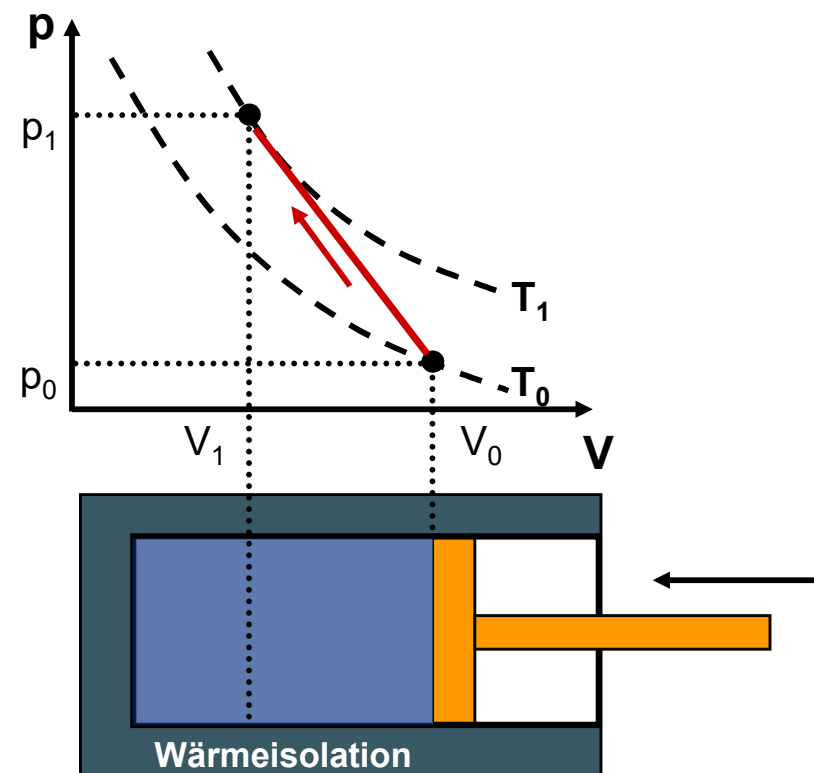
$V_0 > V_1$

$$p_0 \times V_0^{\kappa} = p_1 \times V_1^{\kappa}$$

$$p_0^{1-\kappa} \times T_0^{\kappa} = p_1^{1-\kappa} \times T_1^{\kappa}$$

$$T_0 \times V_0^{1-\kappa} = T_1 \times V_1^{1-\kappa}$$

$$\kappa_{\text{Luft}} = 1,40$$



1.3 Physikalische Grundlagen

Zustandsänderungen idealer Gase - Polytrop

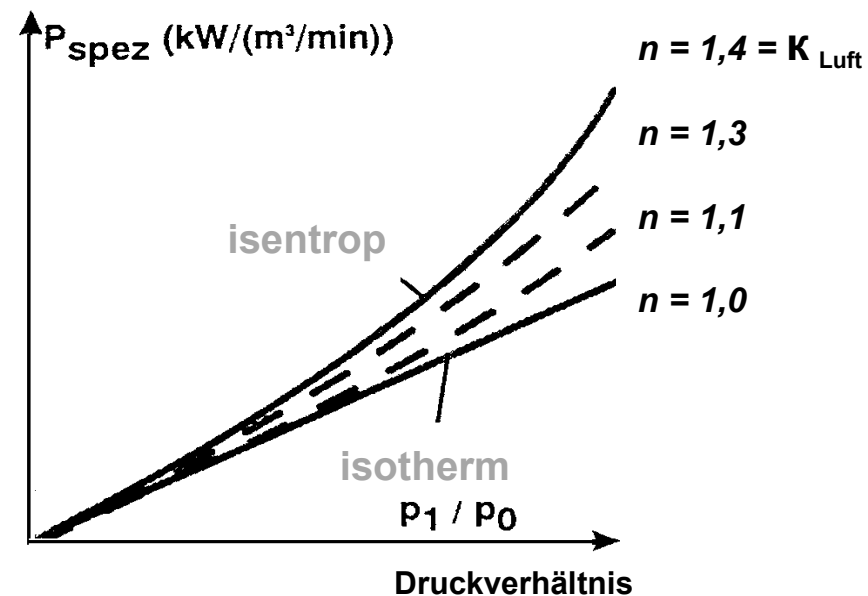
Polytrophe Zustandsänderung

Alle vorangegangenen Zustandsänderungen können als Spezialfälle der polytropen, **allgemeinen Zustandsänderung** betrachtet werden.

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{n-1}$$

mit **n** als Polytropenexponent

- n = 0 isobarer Prozess
- n = 1 isothermer Prozess
- n = κ isentroper Prozess
- n = ∞ isochorer Prozess



1.4 Angaben in der Drucklufttechnik

Normvolumen und Normalvolumen (Volumenstrom)

Normalvolumen V_A

bei Ansaugbedingungen,
 Volumenstrom (Liefermenge)
 nach ISO 1217:2009
 (m³/min)

	Umgebungs- bedingungen	nach ISO 1217:2009
Temperatur:	Umgebung	20 °C → 293,15 K
Druck:	Umgebung	1 bar (absolut)
Luftfeuchtigkeit:	Umgebung	0 % relative Feuchte (Toleranzen +/- 10 K; +/- 0,1 bar)

Normvolumen V_N

gemäß DIN 1343
 (m³/min i. N.)

Temperatur:	0 °C → 273,15 K
Druck:	1,01325 bar (Meereshöhe)
Luftfeuchtigkeit:	0 % relative Feuchte

Normvolumen

gemäß DIN/ISO 2533
 (m³/min i. N.)

Temperatur:	15 °C → 288,15 K
Druck:	1,01325 bar (Meereshöhe)
Luftfeuchtigkeit:	0 % relative Feuchte

Volumenströme von Verdrängungsverdichtern werden in Normalvolumen angegeben!

1.4 Angaben in der Drucklufttechnik

Umrechnung von Normvolumen nach DIN 1343
in Normalvolumen (Volumenstrom)

Normvolumen nach DIN 1343*)

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

Normalvolumen/Volumenstrom

bei gegebenen Umgebungstemperaturen

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

V_N = Normvolumen nach DIN 1343

V_A = Normalvolumen/Volumenstrom (Liefermenge) bei gegebenen Umgebungsbedingungen

T_N = Temperatur nach DIN 1343, $T_N = 273,15$ K

T_A = maximale Temperatur am Aufstellungsort in K

F_{rel} = maximale relative Luftfeuchtigkeit am Aufstellungsort – bei maximaler Temperatur T_A

p_N = Luftdruck nach DIN 1343, $p_N = 1,01325$ bar

p_A = niedrigster Luftdruck am Aufstellungsort in bar

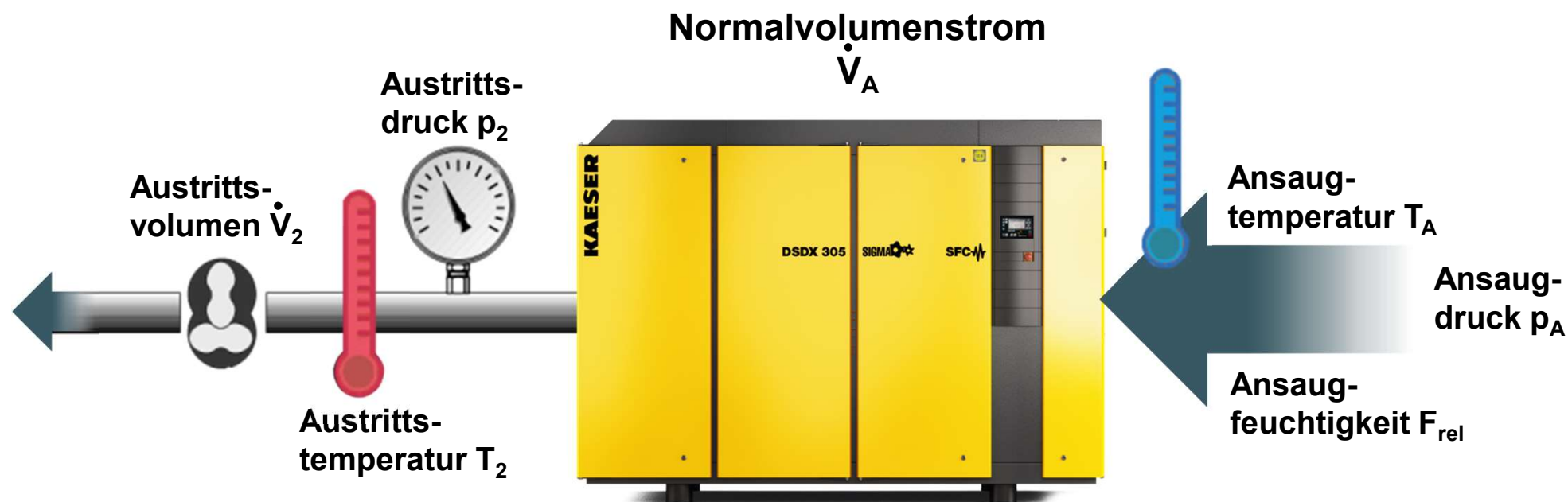
p_D = Sättigungsdruck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs in bar,
abhängig von der Lufttemperatur (s. Tabelle Wasserdampfdruck)

*) **Mit der Dichte des strömenden Gases kann der Massenstrom berechnet werden.**

$$\text{Massenstrom } \dot{m} \text{ (kg/min)} = \dot{V}_N \text{ (m}^3\text{/min i. N.)} \times 1,294 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

1.4 Angaben in der Drucklufttechnik

Volumenstrommessung nach ISO 1217:2009 Annex C für die gesamte Anlage



Rückrechnung

$$\dot{V}_A = \frac{\dot{V}_2 \times p_2 \times T_A}{T_2 \times (p_A - (p_D \times F_{rel}))}$$

Nach ISO 1217:2009 Annex C:

$$T_A = 20 \text{ °C} = 293,15 \text{ K}$$

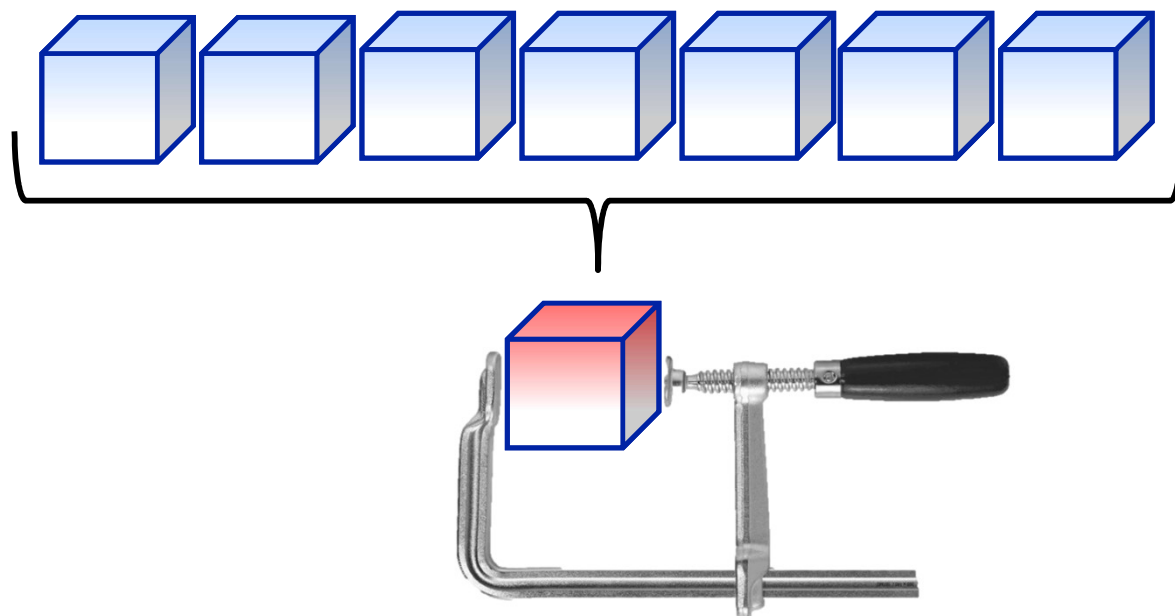
$$p_A = 1 \text{ bar (a)}$$

$$F_{rel} = 0 \text{ \% rel. Feuchte}$$

$$\text{Toleranzen} = \pm 10 \text{ K; } \pm 0,1 \text{ bar}$$

1.4 Angaben in der Drucklufttechnik

Das Betriebsvolumen



7 m³
atmosphärisches
Luftvolumen V₀

1 bar (abs)
Umgebungsluftdruck
p₀



1 Betriebs-m³
V₁

Betriebsdruck p₁
7 bar (abs) = 6 bar (ü)

$$\text{Betriebsvolumen } V_1 = \frac{\text{effektiv angesaugtes Luftvolumen } V_0 \times \text{Ansaugluftdruck } p_0}{\text{Betriebsdruck } p_1}$$

Zusammenfassung Grundlagen

- **Absolutdruck** ist der vom **absoluten Nullpunkt** aus gemessene Druck.
- **Überdruck** ist der **praxisgerechte** Druck, **über dem Umgebungsdruck**.
- **Normvolumen** ist das **Luftvolumen** bei festgesetzten Bedingungen **gemäß DIN/ISO**.
- **Normalvolumen** ist die **praxisgerechte** Einheit **bei Umgebungsbedingungen**.

