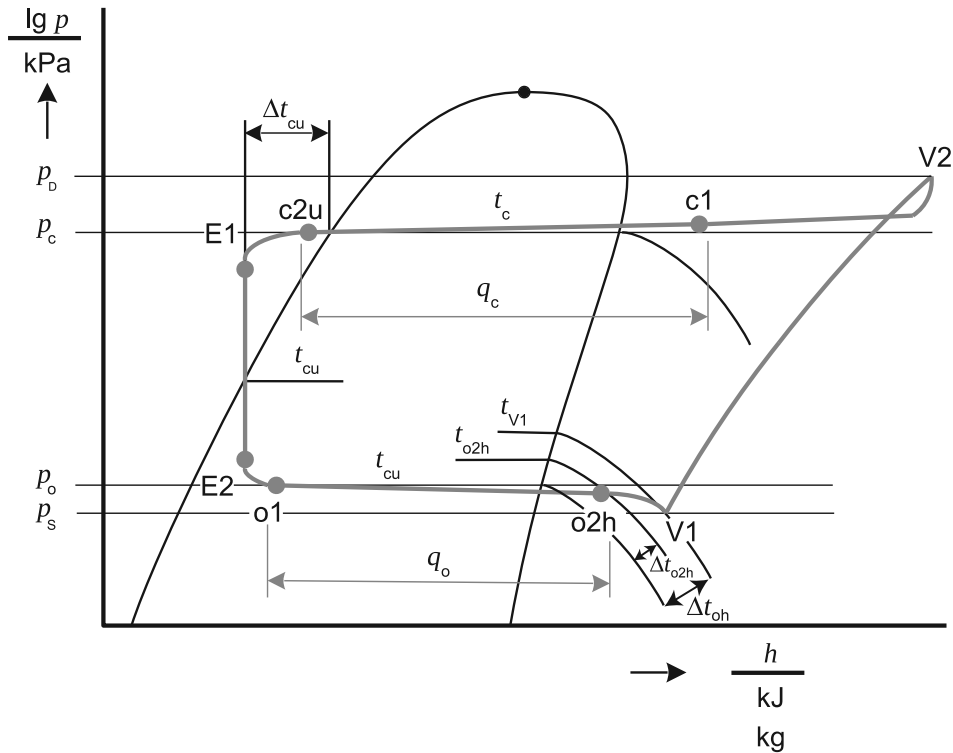


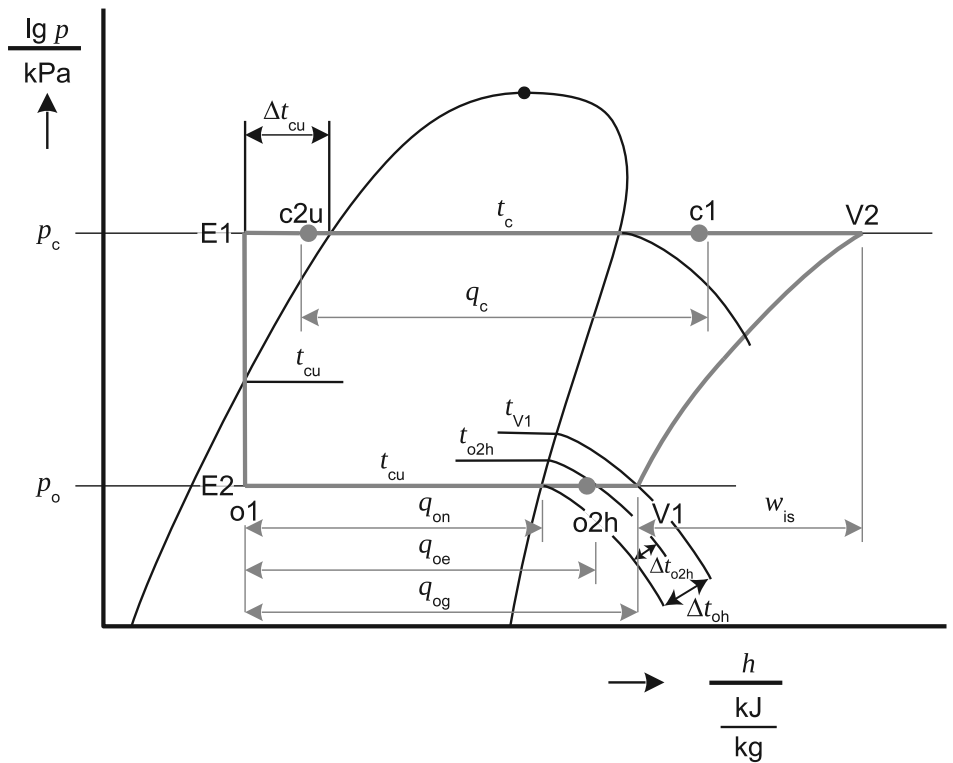
3.7 Kältekreislauf

Normindizes im Kreisprozess (vgl. Tabelle in Teil 8)

Theoretischer Vergleichsprozess



Qualitativer realer Verlauf



3.7.1 Kältemittelmassenstrom

$$\text{Kältemittelmassenstrom} = \frac{\text{Wärmestrom}}{\text{Enthalpiedifferenz}}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}}{\Delta h} \qquad \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} = \text{kW} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}}{q}$$

\dot{m}_R	Kältemittelmassenstrom
\dot{Q}	Wärmestrom
Δh	Enthalpiedifferenz
q	spezifische Wärmemenge

Wärmeaufnahme

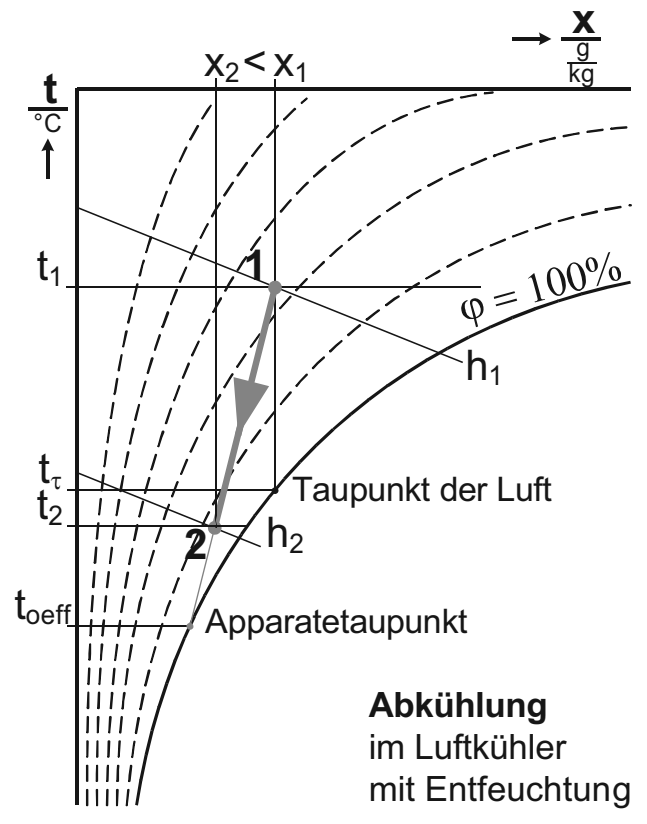
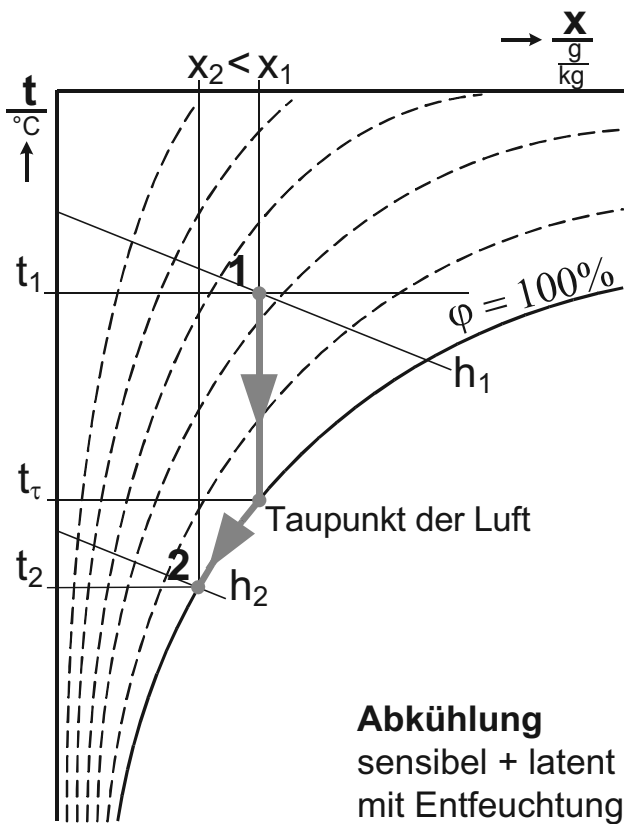
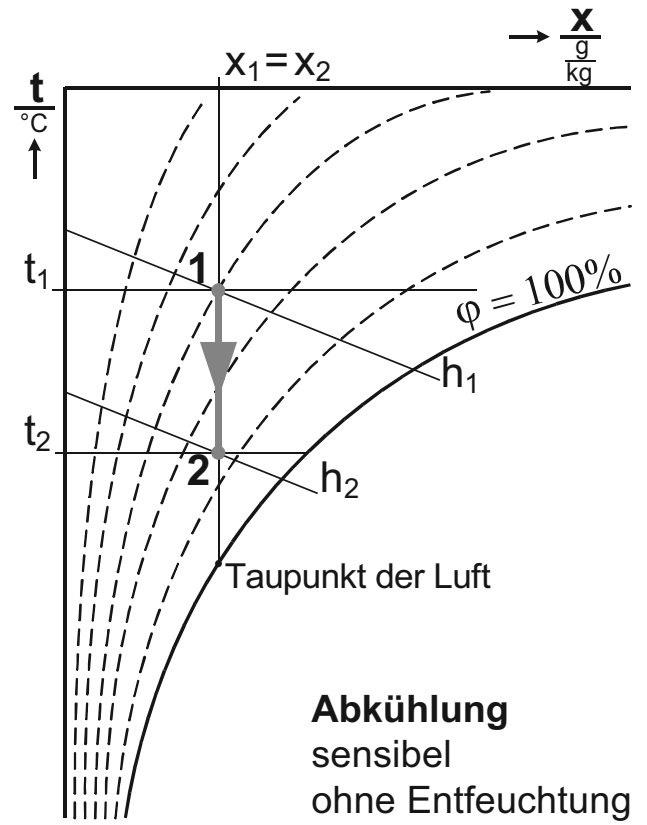
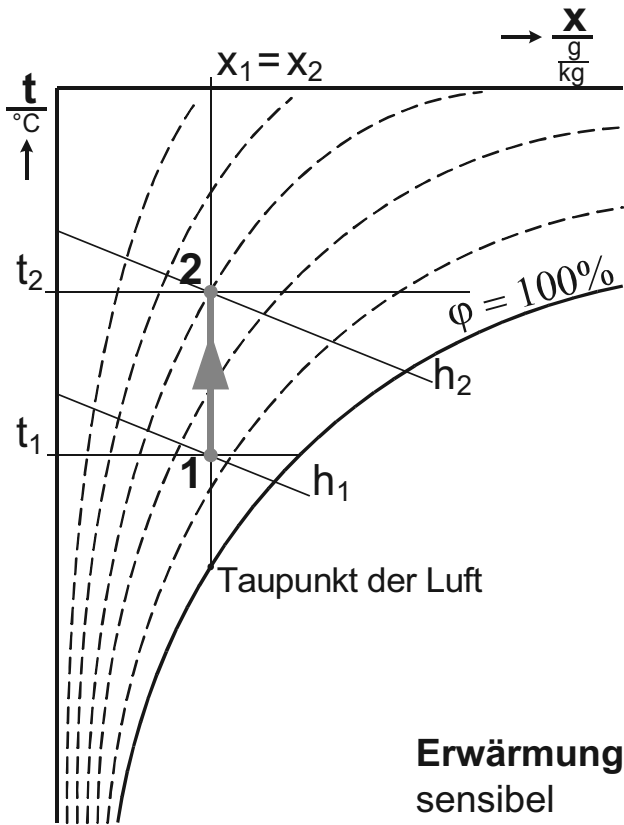
Gesamtkälteleistung

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_{og}}{\Delta h} = \frac{\dot{Q}_{og}}{h_1 - h_{E2}} \qquad \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} = \text{kW} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_{og}}{q_{og}}$$

\dot{Q}_{og}	insgesamt aufgenommener Wärmestrom
h_1	spez. Enthalpie am Verdichtungsbeginn
h_{E2}	spez. Enthalpie am Drosselausgang
q_{og}	spez. Gesamtwärmemenge „spezifische Gesamtkälteleistung“

3.8.2 Zustandsänderungen der feuchten Luft



4.1 Kältebedarf

Transmissionswärme

$$\dot{Q}_E = k \cdot A \cdot \Delta t \cdot \tau$$

$$\frac{Wh}{d} = \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot m^2 \cdot K \cdot \frac{h}{d}$$

k	Wärmedurchgangskoeffizient
A	Fläche
Δt	Temperaturdifferenz
$\tau = 24 \frac{h}{d}$	Zeitfaktor

Luftwechsel

$$\dot{Q}_{LW} = n \cdot \rho_i \cdot V_i \cdot (h_a - h_i)$$

$$\frac{kWs}{d} = \frac{1}{d} \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot m^3 \cdot \frac{kJ}{kg}$$

n	Luftwechselzahl
ρ_i	Dichte der Innenluft
V_i	Innenvolumen
h_a	Enthalpie der Außenluft
h_i	Enthalpie der Innenluft

oder vereinfacht:

$$\dot{Q}_{LW} = n \cdot \rho_L \cdot V_i \cdot c_L \cdot (t_a - t_i)$$

$$\rho_L \approx 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

Standarddichte der Luft (20°C)

$$c_L \approx 1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Wärmekapazität der trockenen Luft

$$t_a, t_i$$

Temperatur der Außenluft, Innenluft

Luftwechselzahl für kleine und mittlere Kühlräume (bis ca. 50m³):

Pluskühlräume, normaler Begang

$$n = \frac{70}{\sqrt{V_i}} \quad \frac{1}{d}$$

Tiefkühlräume; Pluskühlräume, geringer Begang

$$n = \frac{50}{\sqrt{V_i}} \quad \frac{1}{d}$$

Gefrierlagerräume; Obstkühlager

$$n = \frac{30}{\sqrt{V_i}} \quad \frac{1}{d}$$

Warenabkühlung (ohne Gefrieren)

$$\dot{Q}_{WK} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad \frac{\text{kWs}}{d} = \frac{\text{kg}}{d} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K}$$

\dot{m} täglicher Warenaustausch
 c spez. Wärmekapazität
 Δt Temperaturdifferenz zur Nachkühlung

Atmungswärme

$$\dot{Q}_{\text{Atm}} = m \cdot q_{\text{Atm}} \quad \frac{\text{kWs}}{d} = \text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot d}$$

m Belegungsmasse
 Gesamtmasse im Kühlraum
 q_{Atm} spez. Atmungswärme

Personenwärme

$$\dot{Q}_{\text{Pers}} = n \cdot q_{\text{Pers}} \cdot \tau \quad \frac{\text{Wh}}{d} = \text{Pers.} \cdot \frac{\text{W}}{\text{Pers.}} \cdot \frac{\text{h}}{d}$$

n Anzahl der Personen
 q_{Pers} spez. Personenwärme
 τ Begehungszeit

Innendurchmesser Kaltwasserleitungen/Soleleitungen

$$d_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{V}}{w}}$$

$$m = \sqrt{\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}} \text{ Meter}$$

\dot{V}	Volumenstrom
w	Strömungsgeschwindigkeit

Druckverlust in geraden Rohrleitungen

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{1}{2 \cdot v} \cdot w^2$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{1 + \sum l_g}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

λ	Rohrreibungskoeffizient
l	gestreckte Rohrlänge
d_i	Innendurchmesser
ρ	Dichte des Kältemittels
w	Strömungsgeschwindigkeit
v	spez. Volumen des Kältemittels
l_g	gleichwertige Länge eines Einzelwiderstands (Tabelle)

Druckverlust in Einzelwiderständen

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l_g}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

ζ	Widerstandsbeiwert
l_g	gleichwertige Länge

Druckverlust in steigenden und fallenden Rohrleitungen

steigend:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 + \rho \cdot g \cdot h \quad \text{Pa} = \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

fallend

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 - \rho \cdot g \cdot h$$

λ	Rohrreibungskoeffizient
l	gestreckte Rohrlänge
d_i	Innendurchmesser
ρ	Dichte des Kältemittels
w	Strömungsgeschwindigkeit
g	Erdbeschleunigung
h	Höhenunterschied

Kontinuitätsgleichung

$$\dot{V} = A \cdot w \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \text{m}^2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

\dot{V}	Volumenstrom
A	Querschnittsfläche
w	Strömungsgeschwindigkeit

Querschnittsänderung

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

A_1	Querschnittsfläche vor der Änderung
A_2	Querschnittsfläche nach der Änderung
w_1	Strömungsgeschwindigkeit vor ...
w_2	Strömungsgeschwindigkeit nach der Änderung