

**TECHNISCHE GEBÄUDEAUSSTATTUNG**

Dipl.-Ing.

**KLAUS JENS**

VORLESUNGEN ÜBER

**GEBÄUDETECHNIK****KAPITEL:**

- 1 GRUNDLAGEN-1
- 2 WASSER
- 3 WÄRME
- 4 KÄLTE
- 5 LUFT
- 6 INFORMATION
- 7 STROM
- 8 TRANSPORT
- 9 SICHERHEIT
- 10 PROJEKTIERUNG
- 11 ÜBUNGEN
- 12 ENERGIE
- 13 GRUNDLAGEN-2



# GEBÄUDETECHNIK

<i>Kapitel</i>	<i>Seite</i>
<b>04 KÜHLUNG</b>	<b>3</b>
<b>04.1 KÜHLLASTERMITTLUNG</b>	<b>3</b>
04.1.1 Einflussgrößen	3
04.1.2 Begriffsbestimmungen und Gleichungen [23] [24]	5
04.1.3 Beispiel einer überschlägigen Kühlastermittlung für ein Bürogebäude	14
<b>04.2 KÄLTEVERSORGUNG</b>	<b>17</b>
04.2.1 Kältemittel	18
04.2.2 Kompressions-Kälteanlagen	18
04.2.3 Absorptions-Kälteanlagen	20
04.2.4 Peltier-Kälteanlagen	22
04.2.5 Wärmepumpen	22
04.2.6 Fensterklimageschäfte	24
04.2.7 Split-Geräte	25
<b>04.3 RÜCKKÜHLANLAGEN</b>	<b>27</b>
04.3.1 Glycol-Rückkühler	27
04.3.2 Verdunstungsrückkühler	28
04.3.3 Kühltürme	29
04.3.4 Rückkühlwasser - Kühlsole	29
<b>04.4 KÄLTEVERTEILUNG</b>	<b>30</b>
04.4.1 Ventilator-konvektoren ("fan-coils")	30
04.4.2 Kühldecken	32
04.4.3 Kühlbalken	33
04.4.4 Bauteilkühlung	33
<b>04.5 BAULICHE VORKEHRUNGEN</b>	<b>34</b>
04.5.1 Kältemaschinenräume	34
04.5.2 Rückkühlanlagen	35
04.5.3 Installationsschächte und Installationstrassen	36
04.5.4 Gegenüberstellung von Konzeptionen zur Raumkühlung	37
<b>04.6 LITERATURHINWEISE</b>	<b>39</b>

# 04 KÜHLUNG

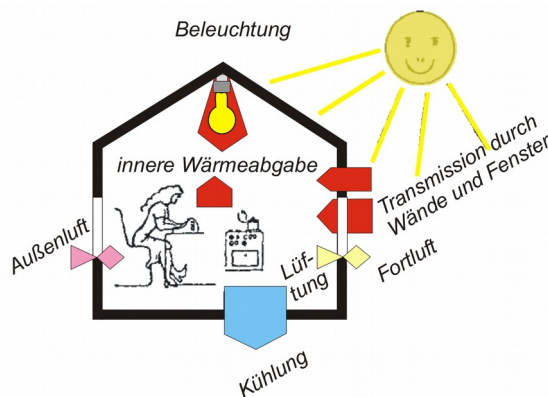
## 04.1 KÜHLLASTERMITTLUNG

Um eine Kälteanlage bemessen zu können ist zunächst jene Kühlleistung zu ermitteln, die auch unter ungünstigsten Betriebsbedingungen ("worst case") zur Aufrechterhaltung der gewünschten Raumtemperaturen in den zu kühlenden Räumen benötigt wird.

Mit "**Nenn-Kühllast**" bezeichnet man den Höchstwert erforderlicher Kühlleistung.

### 04.1.1 Einflussgrößen

Abbildung 04.1: Kühllast – Einflussgrößen [15]



Als Geltungsbereich und Vorgabe für die Durchführung einer Kühllastabschätzung müssen folgende Einflussgrößen bekannt sein:

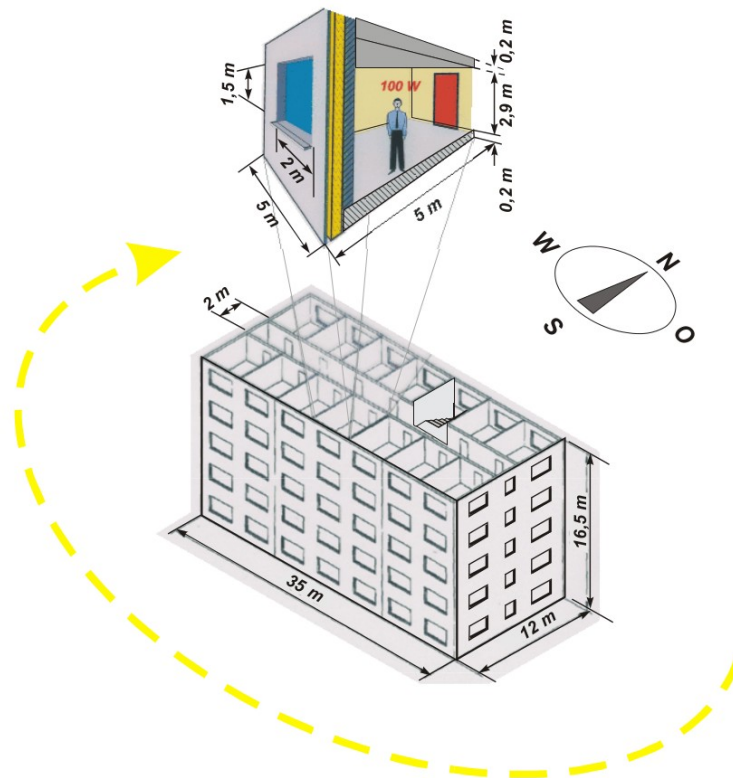
Tabelle 04.1: Einflussgrößen für Kühllastabschätzung oder Kühllastberechnung [15]

Kühllast (Kältebedarf) =		
innere Wärmegewinne <i>Einflussgrößen :</i>	+ äussere Wärmegewinne <i>Einflussgrößen :</i>	+ Lüftungskältebedarf <i>Einflussgrößen :</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Anzahl anwesender Personen</li> <li>o Aktivität anwesender Personen</li> <li>o Intensität der Beleuchtung</li> <li>o Anschlusswerte elektrischer Geräte</li> <li>o Gleichzeitigkeit des Geräteeinsatzes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Außentemperatur</li> <li>o Solare Einstrahlungsintensität</li> <li>o geforderte Raumlufttemperatur</li> <li>o Größe der Bauteile</li> <li>o Wärmedämmung der Bauteile</li> <li>o Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile</li> <li>o Größe der Fensterflächen</li> <li>o Orientierung der Fensterflächen</li> <li>o Durchlassfaktoren von Verglasungen</li> <li>o Durchlassfaktoren des Sonnenschutzes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Außenlufttemperatur</li> <li>o Außenluftfeuchte</li> <li>o geforderte Raumlufttemperatur</li> <li>o geforderte Raumluftfeuchte</li> <li>o geforderte Raumlufterneuerung</li> </ul>

Bei Objekten mit vielen Räumen und unterschiedlichen Orientierungen oder Nutzungen treten die Nennkühllasten der jeweiligen Räume nicht gleichzeitig auf. Die Geräteleistungen von Raumkühlgeräten müssen den Nennkühllasten der betreffenden Räume entsprechen. Die erforderliche Kälteleistung der Kälteversorgungsanlage von Objekten mit vielen Räumen ("Gebäude-Nennkühllast") ist geringer als die Summe der Nennkühllasten aller Räume, weil

die Lastspitzen der unterschiedlichen Räume nicht überall gleichzeitig auftreten. Kälteversorgungsanlagen sind deshalb nur für die **Gebäude-Nennkühllast** auszulegen, um Überdimensionierungen und damit verbundene Investitionskosten zu vermeiden.

**Abbildung 04.2: Auslegungsbeispiel – Bürogebäude**



Mit ÖNORM H 6040 [23] und der technischen Richtlinie VDI 2078 [24] stehen EDV-Programme zur Ermittlung der Kühllast von Räumen und Gebäuden zur Verfügung. Zur Durchführung von Plausibilitätskontrollen oder groben Kühllastabschätzungen eignen sich auch Tabellenwerte, die in den Vorläufern [143] dieser zitierten Richtlinien veröffentlicht worden sind. Die in den nachfolgenden Ausführungen angeführten Tabellenwerte sind diesen "Vorläufern" aufwändiger Rechenprogramme entnommen.

Die **Kühllast eines Raumes** entspricht einem - mit der Zeit veränderlichen - Wärmestrom " $\Phi_i$ ", der aus einem zu kühlenden **Raum (i)** abzuführen ist, um in diesem Raum eine vorgegebene Raumlufttemperatur einhalten zu können.

Die **Gebäude-Kühllast** entspricht jenem Wärmestrom, der zu einem bestimmten Zeitpunkt aus einem zu kühlenden **Gebäude** abzuführen ist, um in den dort gekühlten Räumen die vorgegebenen Raumlufttemperaturen einhalten zu können. Sie bietet keinen Anhaltspunkt für den erforderlichen Jahreskältebedarf eines Gebäudes.

Um eine Kühllast in angemessener Weise ermitteln zu können ist zunächst jener Geltungsbereich festzulegen, für den die Kühllast bestimmt werden soll. Dieser Geltungsbereich betrifft wesentliche Einflussgrößen auf die Ermittlungsergebnisse. Als Vorgabe einer Kühllastabschätzung sind deshalb Rechenwerte und Grenzwerte für die in Tabelle 04.1 angeführten Einflussgrößen zu dokumentieren.

**Die Kühllast ist zeitabhängig** und wird für einen Bemessungsmonat und für eine Bemessungstageszeit als Stundenmittelwert definiert, weil sie sich im zeitlichen Verlauf in Abhängigkeit von der erwähnten Einflussgrößen (Tabelle 04.1) verändert.

#### 04.1.2 Begriffsbestimmungen und Gleichungen [23] [24]

Für Kühllastabschätzungen wurden unter anderem folgende Begriffe definiert:

##### ***Kühllast***

Als Kühllast wird der mit der Zeit veränderliche Wärmestrom  $\Phi$  definiert, der aus einem zu kühlenden Raum (i) abzuführen ist, um in diesem Raum eine vorgegebene Raumlufttemperatur einhalten zu können.

##### ***Nennkühllast***

Höchster Wert der Kühllast eines Raumes (i) im eingeschwungenen Zustand. Die Kälteleistungen von Raumkühlgeräten müssen der Nennkühllast des betreffenden Aufstellungsraumes entsprechen.

##### ***Gebäude-Nennkühllast***

Höchster Wert der Gebäudekühllast im eingeschwungenen Zustand. Die Kälteleistungen von Kälteversorgungsanlagen für Gebäude müssen der Gebäude-Nennkühllast der betreffenden Gebäude entsprechen.

##### ***Dimensionierender Zustand***

Thermischer Zustand des Gebäudes, für den die Kühlanlage ausgelegt wird und für den die sommerlichen Temperaturgänge berechnet werden.

##### ***Nutzungszeitraum***

jene Monate, in welchen die gewünschten raumklimatischen Bedingungen eingehalten werden sollen.

##### ***Sonnenschutzeinrichtung, Sonnenschutz***

parallel oder annähernd parallel zu Verglasungen angeordnete teildurchlässige Bauteile.

*BEISPIELE: Rollläden, Jalousien, Rollos oder Vorhänge.*

##### ***Verschattungseinrichtungen***

Vordächer und sonstige schattenwerfende Vorsprünge sowie Markisen sind nach den Bestimmungen der ÖNORM H 6040 nicht als Sonnenschutzeinrichtungen, sondern als Verschattungseinrichtungen zu bezeichnen.

Verschattungseinrichtungen können sowohl strahlungsundurchlässig als auch teildurchlässig sein

##### ***Innenlufttemperatur, Raumlufttemperatur***

Temperatur der Raumluft

**Innenoberflächentemperatur**

Temperatur der Innenoberfläche eines Umfassungsbauteils sowie der vollständig innerhalb des Raumes liegenden Bauteile oder Einrichtungsgegenstände.

**Operative Temperatur**

Näherungsweise wird die operative Temperatur als Mittelwert aus Innenlufttemperatur und mittlerer Innenoberflächentemperatur ermittelt.

**Solltemperatur**

maximale Temperatur, die für die Auslegung einer Anlage vorgegeben wird und die während des Anlagenbetriebs nicht überschritten werden darf. Hierbei kann es sich um die Innenlufttemperatur oder um die operative Temperatur handeln. Welche der beiden Temperaturen zugrunde gelegt wird, ist in den Angaben zur Auslegung einer Anlage festzulegen.

**Sollfeuchte**

maximale relative Feuchte, die für die Auslegung einer Anlage vorgegeben wird und während des Anlagenbetriebs nicht überschritten werden darf

**Wärmequelle**

Quelle, die Wärme durch Strahlung, Leitung oder/und Konvektion an seine Umgebung abgibt

**Globalstrahlung**

Summe aus Direktstrahlung und Himmelsstrahlung auf die horizontale Ebene

**Kühllast  $\Phi_K(t)$** 

Die Kühllast  $\Phi_K(t)$  lässt sich in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit ( $t$ ) nach folgender Gleichung abschätzen:

$$\Phi_K(t) = \Phi_h(t) + \Phi_e(t) \quad (04.01)$$

$\Phi_K(t)$	zeitabhängige Kühllast	[W]
$\Phi_h(t)$	zeitabhängige innere Kühllasten	[W]
$\Phi_e(t)$	zeitabhängige äußere Kühllasten	[W]

**Innere Kühllast  $\Phi_h(t)$** 

Die innere Kühllast eines Raumes setzt sich aus folgenden Teilkühllasten zusammen:

$$\Phi_K(t) = \Phi_h(t) + \Phi_e(t)$$

$$\Phi_h(t) = \Phi_M(t) + \Phi_B(t) + \Phi_N(t) + \Phi_Z(t) \quad (04.02)$$

$\Phi_h(t)$	zeitabhängige innere Kühllasten	[W]
$\Phi_M(t)$	Wärmeabgabe von Personen	[W]
$\Phi_B(t)$	Beleuchtungswärme	[W]
$\Phi_N(t)$	Wärmeabgabe durch Einrichtungen	[W]
$\Phi_Z(t)$	Wärmeabgabe von Nachbarräumen	[W]

**Wärmeabgabe von Personen  $\Phi_M(t)$** 

Die Wärmeabgabe von Personen ist von deren Aktivitätsgrad abhängig. Die dafür in die Kühllastabschätzung einsetzbaren Rechenwerte sind in Tabelle 01.4 zusammengestellt. Die Höchstzahl gleichzeitig anwesender Personen ist für den Auslegungsfall anzunehmen (und nachvollziehbar zu dokumentieren).

**Beleuchtungswärme  $\Phi_B(t)$** 

Die Wärmeabgabe von Beleuchtungskörpern ist von der Wahl des Beleuchtungskonzeptes, dem Betriebswirkungsgrad und dem Reflexionsverhalten des Raumes abhängig. Sie wird entweder von lichttechnischen Planungsdaten, oder aus Erfahrungswerten abgeleitet. In den Tabellen 04.3 und 13.4 sind dafür grobe Richwerte zusammengestellt.

**Wärmeabgabe durch Einrichtungen  $\Phi_N(t)$** 

Bei Maschinen und Geräten ist anzunehmen, dass die gesamte im Raum umgesetzte Energie als Wärme frei wird. Für den Auslegungsfall ist der anzunehmende Höchstwert der Wärmeabgabe gleichzeitig eingesetzter Maschinen und Geräte festzulegen (und nachvollziehbar zu dokumentieren). Wenn ein Teil dieser Wärmeabgabe durch Absaugung unmittelbar aus dem Raum abgeführt wird, dann ist dieser Wärmeanteil nicht zu berücksichtigen. In Tabelle 04.4 sind dafür grobe Richwerte zusammengestellt.

**Wärmeabgabe von Nachbarräumen  $\Phi_Z(t)$** 

Der Wärmefluss von und zu Nachbarräumen ist von den Bauteilen der Raumumschließungsflächen und den mitunter wechselnden Temperaturunterschieden an den gegenüberliegenden Bauteilseiten abhängig.

$$\Phi_Z(t) = \sum_k A_K \cdot U_K \cdot (\theta_n - \theta_{int}) \quad (04.03)$$

$\Phi_Z(t)$	Wärmeabgabe von Nachbarräumen	[W]	
$A_K$	Fläche des Außenbauteiles "K"	[m <sup>2</sup> ]	
$U_K$	Wärmedurchgangskoeffizient des Außenbauteiles	"K"	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$\theta_n$	Norm-Innentemperatur des Nachbarräumes	[°C]	
$\theta_{int}$	Norm-Innentemperatur des zu kühlenden Raumes	[°C]	

**Äußere Kühllast  $\Phi_e(t)$** 

Die äußere Kühllast eines Raumes setzt sich aus folgenden Teilkühllasten zusammen:

$$\Phi_K(t) = \Phi_h(t) + \Phi_e(t)$$

$$\Phi_e(t) = \Phi_{eS}(t) + \Phi_{eT}(t) + \Phi_{eV}(t) \quad (04.04)$$

$\Phi_e(t)$	äußere Kühllast eines Raumes	[W]	
$\Phi_{eS}(t)$	Wärmezufuhr durch Strahlung über Außenbauteile	[W]	(transparente Bauteile)
$\Phi_{eT}(t)$	Wärmezufuhr durch Transmission über Außenbauteile	[W]	(undurchsichtige Bauteile)
$\Phi_{eV}(t)$	Wärmezufuhr durch Außenluft	[W]	

**Wärmezufuhr durch Strahlung über transparente Außenbauteile  $\Phi_{eS}(t)$** 

Als transparente Bauteile werden im Wesentlichen Fenster einschließlich allfälliger äußerer und innerer Sonnenschutzeinrichtungen berücksichtigt.

$$\Phi_e(t) = \Phi_{eS}(t) + \Phi_{eT}(t) + \Phi_{eV}(t)$$

$$\Phi_{eS}(t) = [A_1 \cdot I_{max} + (A_k - A_1) \cdot I_{diff,max}] \cdot b \cdot s_a \quad (04.05)$$

$\Phi_{eS}(t)$	Wärmezufuhr durch Strahlung über Außenbauteile	[W]
$A_1$	besonnte Fläche des Fensters	[m <sup>2</sup> ]
$A_k$	Gesamtfläche des Fensters	[m <sup>2</sup> ]
$I_{max}$	Maximalwert der Gesamtstrahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_{diff,max}$	Maximalwert der Diffusstrahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
$b$	Durchlassfaktor der Fenster und Sonnenschutzeinrichtung	[ - ]
$s_a$	Kühllastfaktor der äußeren Strahlungslasten	[ - ]

**Anmerkung:**

Überschlägige Höchstwerte von  $\Phi_{eS}(t)$  lassen sich mit jeweiligen Extremwerten der Gesamtstrahlung  $I_{max}$  unter Vernachlässigung beschatteter Fensterflächen mit den Gesamtflächen der Fenster  $A_k$  abschätzen.

Weil die überschlägigen Höchstwerte der Strahlungswärmegewinne von Räumen mit unterschiedlichen Orientierungen nicht gleichzeitig auftreten ergeben sich bei deren Addition höhere Rechenwerte, als jene, welche der Gebäude-Nennkühllast der betreffenden Raumgruppe entsprechen.

**Wärmezufuhr durch Transmission über opake Außenbauteile  $\Phi_{eT}(t)$** 

Bei der Wärmezufuhr durch Transmission über nicht transparente ("opake") Außenbauteile ( $k$ ) wären genau genommen auch Einflüsse direkter und diffuser Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen.

$$\Phi_e(t) = \Phi_{eS}(t) + \Phi_{eT}(t) + \Phi_{eV}(t)$$

$$\Phi_{eT}(t) = \sum_k \dot{A}_k \cdot U_k \cdot (\theta_e - \theta_{int}) \quad (04.06)$$

$\Phi_{eT}(t)$	Wärmezufuhr durch Transmission über Außenbauteile	[W]
$A_k$	Fläche des Außenbauteiles	[m <sup>2</sup> ]
$U_k$	Wärmedurchgangskoeffizient des Außenbauteiles	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$\theta_e$	Norm-Außentemperatur	[°C]
$\theta_{int}$	Norm-Innentemperatur	[°C]

Verschattungen durch Horizontüberhöhung oder vorspringende Bauteile kann man bei vereinfachten Rechenverfahren vernachlässigen. Bei aufwändigen Rechenverfahren [23] wird der Wärmefluss durch Außenbauteile für instationäre Vorgänge ermittelt, wobei der Aufbau der Außenbauteile und die Oberflächentemperaturen an den Außen- und Innenseiten bekannt sein müssen. Die Wärmezufuhr durch Transmission über Bauteile der Raumschließungsflächen erfolgt in analoger Weise (gegenläufig) wie bei der Heizlastermittlung.



**Wärmezufuhr durch Außenluft  $\Phi_{eV}(t)$** 

Wenn die Lüftererneuerung in zu kühlenden Räumen nicht mechanisch über Lüftungs- oder Klimaanlage, sondern natürlich durch Infiltration infolge von Undichtheiten der Gebäudehülle und Winddruckverhältnissen erfolgt, dann kann zur Abschätzung des Lüftungskältebedarfes der Mindestluftvolumenstrom  $V_{\min,i}$  herangezogen werden, der sich mit den in Tabelle 03.4 [100] angeführten Mindestluftwechselzahlen ermitteln lässt. Wenn die Lüftererneuerung über Lüftungs- oder Klimaanlage erfolgt, dann ist der Lüftungskältebedarf im Auslegungsfall mit den von diesen Anlagen geförderten und konditionierten Außenluftvolumenströmen, und nicht mit Mindestluftvolumenströmen zu ermitteln! Mit Mindestluftvolumenströmen lassen sich nur Situationen ohne mechanische Lüftererneuerung bei Stillstand der Lüftungs- oder Klimaanlage abschätzen.

Bei mechanischer Lüftung zu kühlender Räume ohne Luftentfeuchtung wird die "sensible" Wärmezufuhr durch Außenluft nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\Phi_e(t) = \Phi_{eS}(t) + \Phi_{eT}(t) + \Phi_{eV}(t)$$

$$\Phi_{eV}(t) = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_e - \theta_{int}) \quad (04.07)$$

$\Phi_{eV}(t)$	Wärmezufuhr durch Außenluft	[W]	("sensible Wärmezufuhr")
$V$	Außenluftvolumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]	
$\rho$	Dichte der Luft	[kg/m <sup>3</sup> ]	(= ~ 1,20 siehe Abbildung 13.6 [100])
$c_p$	spezifische Wärme der Luft	[Wh/(kgK)]	(= 0,279 siehe Tabelle 01.7 [100])
$\theta_e$	Norm-Außentemperatur	[°C]	
$\theta_{int}$	Norm-Innentemperatur	[°C]	

Mit "sensibel" werden Luftzustandsänderungen bezeichnet, bei denen der absolute Feuchtegehalt der Luft unverändert bleibt. Bei "latenten" Luftzustandsänderungen wird in Gegesatz dazu nur der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft verändert (absolute Luftfeuchtigkeit "x" in Gramm Wasser je kg trockener Luft).

Bei mechanischer Lüftung zu kühlender Räume mit Luftentfeuchtung (sensible und latente Luftzustandsänderung) wird die Wärmezufuhr durch Außenluft nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\Phi_{eV}(t) = V \cdot \rho \cdot (h_e - h_{int}) \quad (04.08)$$

$\Phi_{eV}(t)$	Wärmezufuhr durch Außenluft	[W]	
$V$	Außenluftvolumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]	
$\rho$	Dichte der Luft	[kg/m <sup>3</sup> ]	(= ~ 1,20 siehe Abbildung 13.6 [100])
$h_e$	Enthalpie der Außenluft	[Wh/kg]	
$h_{int}$	Enthalpie der Raumluft	[Wh/kg]	

Rechenwerte zur Enthalpie der Luft sind in Kapitel 13 "Grundlagen 2" [100] angeführt. Nach einem vereinfachten Verfahren lässt sich die Kühllast mit den Gleichungen (04.01) bis (04.07) und den nachfolgend angeführten Tabellenwerten überschlägig ermitteln [15] [23] [24] [143]:

Tabelle 04.2: Außentemperaturverlauf in °C für Wien – Hohe Warte [15] [143]

h	Jän	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	3,5	3,5	8,1	11,9	15,3	17,9	19,7	19,0	16,6	11,5	8,6	5,6
2	3,6	3,3	7,5	11,4	14,6	17,2	18,9	18,4	16,0	11,0	8,6	5,7
3	3,4	3,1	7,1	10,8	14,1	16,8	18,2	18,0	15,6	10,7	8,6	5,7
4	3,5	3,4	6,7	10,4	13,5	16,4	17,8	17,6	15,1	10,6	8,5	5,8
5	3,6	3,3	6,4	10,0	13,3	16,4	17,6	17,3	14,8	10,2	8,4	6,0
6	3,8	3,5	6,1	10,0	14,4	17,5	18,6	17,8	14,7	9,9	8,3	6,0
7	4,0	3,5	6,6	11,5	16,4	19,4	20,8	19,2	15,8	10,2	8,4	5,8
8	4,0	3,8	8,4	13,6	18,3	21,3	22,8	21,1	17,6	11,4	8,9	6,0
9	4,4	5,0	10,8	16,1	20,6	23,5	25,0	23,0	19,6	13,5	9,9	6,4
10	5,4	6,0	13,0	18,2	22,6	25,5	27,0	25,1	21,4	15,5	11,1	7,4
11	6,1	8,3	14,9	20,0	24,1	26,7	28,5	26,9	23,4	17,6	12,6	8,8
12	6,9	9,4	16,7	21,4	25,0	27,7	29,7	28,7	25,0	19,3	13,8	10,1
13	7,2	10,3	17,9	22,1	25,9	28,6	30,5	29,7	26,1	20,2	14,7	10,0
14	7,0	10,7	18,5	22,5	26,5	29,0	31,0	30,5	26,8	20,7	14,9	10,0
15	7,0	11,0	18,5	22,6	26,5	29,0	30,5	30,5	27,0	20,5	14,3	9,7
16	6,5	10,4	18,2	22,1	26,1	28,6	30,3	30,0	26,4	19,7	13,6	9,0
17	5,9	9,7	17,5	21,0	25,4	27,9	29,4	29,0	25,2	18,2	12,4	8,3
18	5,4	8,6	16,2	19,9	24,4	26,4	27,8	27,8	23,8	16,7	11,7	8,0
19	5,0	7,8	14,6	18,3	22,8	25,2	26,5	26,3	21,7	15,7	11,1	7,4
20	4,7	7,2	13,1	17,0	20,9	23,7	25,0	24,6	20,4	14,8	10,7	7,2
21	4,3	6,7	12,1	15,9	19,5	22,3	23,8	23,2	19,5	14,2	10,3	6,8
22	4,0	6,2	11,3	15,1	18,7	21,1	22,9	22,1	18,8	13,6	10,0	6,6
23	3,7	5,8	10,5	14,3	17,9	20,2	21,8	21,1	18,3	13,1	9,7	6,5
24	3,8	5,5	9,8	13,1	17,3	19,5	21,1	20,6	17,6	12,3	9,2	6,5

Diese Tabelle entspricht den "mittleren Tagesgängen" der Tage mit monatlichem Maximum

Tabelle 04.3: Wärmeabgabe durch Beleuchtung [15] [143]

Nennbeleuchtungsstärke lx	Flächenbezogene Anschlussleistung $\Phi_B$	
	Glühlampen [W/m <sup>2</sup> ]	Entladungslampen [W/m <sup>2</sup> ]
2000		40 bis 60
1500		30 bis 60
1000		20 bis 40
750		15 bis 30
500	100 bis 120	10 bis 25
300	60 bis 75	6 bis 18
200	40 bis 50	8 bis 16
100	20 bis 25	4 bis 8

Anmerkung: Glühlampen kommen nur noch selten zum Einsatz. Wärmeabgaben von LED-Lampen sind geringer als Wärmeabgaben von Entladungslampen.  
(Weitere Hinweise dazu in Kapitel 13.4 [100])

Tabelle 04.4: Wärmeabgabe elektrischer Geräte [15]

Gerät	Anschlusswert [W]	Nutzungsdauer [min/h]	Wärmeabgabe $\Phi_N$ (sensibel) [W]
Tischcomputer	120	60	50
Bildschirm/ Terminal	60	60	30
Drucker, Plotter	20 bis 30	15	5 bis 10
Elektroherd	3000	60	1500
	5000	60	2500
Waschmaschine	3000	60	1500
	6000	60	3000
Kühlschrank 100 Liter	100	60	300
Kühlschrank 200 Liter	170	60	500
Bügeleisen	500	60	500
Fernsehgerät	160	60	160
Kaffeemaschine	500	30	180
	3000	30	1200
Toaster	500	30	200
	2000	30	800
Haartrockner	500	30	170
	1000	30	350
Kochplatte	500	30	120
	1000	30	250

Anmerkung: Für den Auslegungsfall ist die Gleichzeitigkeit des Einsatzes zu beachten.

Tabelle 04.5: Tagesgänge der Gesamt- und Diffusstrahlung in W/m<sup>2</sup> [15] [143]

		Ortszeit [ h ]																
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>23.Juli T=4,3</b>																		
norma	0	163	348	539	636	693	723	738	743	738	723	693	636	539	384	163	0	
	<i>0</i>	<i>46</i>	<i>99</i>	<i>124</i>	<i>133</i>	<i>132</i>	<i>126</i>	<i>121</i>	<i>119</i>	<i>121</i>	<i>126</i>	<i>132</i>	<i>133</i>	<i>124</i>	<i>99</i>	<i>46</i>	<i>0</i>	
horiz.	0	24	82	191	324	449	548	609	631	609	548	449	324	191	82	24	0	
	<i>0</i>	<i>22</i>	<i>44</i>	<i>61</i>	<i>73</i>	<i>83</i>	<i>90</i>	<i>94</i>	<i>96</i>	<i>94</i>	<i>90</i>	<i>83</i>	<i>73</i>	<i>61</i>	<i>44</i>	<i>22</i>	<i>0</i>	
NO	0	150	314	357	294	174	98	94	92	88	83	74	64	51	36	18	0	
	<i>0</i>	<i>42</i>	<i>84</i>	<i>98</i>	<i>100</i>	<i>98</i>	<i>96</i>	<i>94</i>	<i>92</i>	<i>88</i>	<i>83</i>	<i>74</i>	<i>64</i>	<i>51</i>	<i>36</i>	<i>18</i>	<i>0</i>	
O	0	147	359	492	528	475	344	180	100	92	84	74	64	51	36	17	0	
	<i>0</i>	<i>42</i>	<i>92</i>	<i>118</i>	<i>128</i>	<i>127</i>	<i>120</i>	<i>110</i>	<i>100</i>	<i>92</i>	<i>84</i>	<i>74</i>	<i>64</i>	<i>51</i>	<i>36</i>	<i>17</i>	<i>0</i>	
SO	0	53	183	327	433	481	466	388	261	137	92	78	65	51	36	17	0	
	<i>0</i>	<i>26</i>	<i>63</i>	<i>94</i>	<i>116</i>	<i>128</i>	<i>132</i>	<i>128</i>	<i>118</i>	<i>106</i>	<i>92</i>	<i>78</i>	<i>65</i>	<i>51</i>	<i>36</i>	<i>17</i>	<i>0</i>	
S	0	17	38	59	98	186	287	359	385	359	287	186	98	59	38	17	0	
	<i>0</i>	<i>17</i>	<i>38</i>	<i>59</i>	<i>80</i>	<i>99</i>	<i>115</i>	<i>125</i>	<i>129</i>	<i>125</i>	<i>115</i>	<i>99</i>	<i>80</i>	<i>59</i>	<i>38</i>	<i>17</i>	<i>0</i>	
SW	0	17	36	51	65	78	92	137	261	388	466	481	433	327	183	53	0	
	<i>0</i>	<i>17</i>	<i>36</i>	<i>51</i>	<i>65</i>	<i>78</i>	<i>92</i>	<i>106</i>	<i>118</i>	<i>128</i>	<i>132</i>	<i>128</i>	<i>116</i>	<i>94</i>	<i>63</i>	<i>26</i>	<i>0</i>	
W	0	17	36	51	64	74	84	92	100	180	344	475	528	492	359	147	0	
	<i>0</i>	<i>17</i>	<i>36</i>	<i>51</i>	<i>64</i>	<i>74</i>	<i>84</i>	<i>92</i>	<i>100</i>	<i>110</i>	<i>120</i>	<i>127</i>	<i>128</i>	<i>118</i>	<i>92</i>	<i>42</i>	<i>0</i>	
NW	0	18	36	51	64	74	83	88	92	94	98	174	294	357	314	150	0	
	<i>0</i>	<i>18</i>	<i>36</i>	<i>51</i>	<i>64</i>	<i>74</i>	<i>83</i>	<i>88</i>	<i>92</i>	<i>94</i>	<i>96</i>	<i>98</i>	<i>100</i>	<i>98</i>	<i>84</i>	<i>42</i>	<i>0</i>	
NO	0	62	77	62	70	78	85	89	90	89	85	78	70	62	77	62	0	
	<i>0</i>	<i>27</i>	<i>50</i>	<i>61</i>	<i>70</i>	<i>78</i>	<i>85</i>	<i>89</i>	<i>90</i>	<i>89</i>	<i>85</i>	<i>78</i>	<i>70</i>	<i>61</i>	<i>50</i>	<i>27</i>	<i>0</i>	

\*) 1. Wert: Gesamtstrahlung, 2. Wert: Diffusstrahlung (kursiv)

Tabelle 04.6: Monatliche Maxima der Gesamtstrahlung [15]

Nördl. Breite 50° Jahreszeit	Monatliche Maxima der Gesamtstrahlung $I_{max}$								$\sim I_{dif,max}$
	Himmelsrichtung <sup>1)</sup>								
	Normal	NO	O	SO	S	SW	W	NW	
W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Jänner	650	45	279	526	612	526	279	45	46
Februar	706	68	373	581	<b>627</b>	581	373	68	59
März	762	179	477	<b>607</b>	599	<b>607</b>	477	179	74
April	<b>780</b>	307	551	570	509	570	551	307	86
Mai	778	384	<b>563</b>	507	400	507	<b>563</b>	384	93
Juni	747	<b>385</b>	533	458	347	458	533	<b>385</b>	<b>97</b>
Juli	743	357	528	481	385	481	528	357	94
August	739	278	508	534	483	534	508	278	87
September	716	154	433	565	563	565	433	154	76
Oktober	705	68	376	581	626	581	376	68	58
November	622	45	259	498	586	498	259	45	45
Dezember	586	38	202	464	561	464	202	38	38

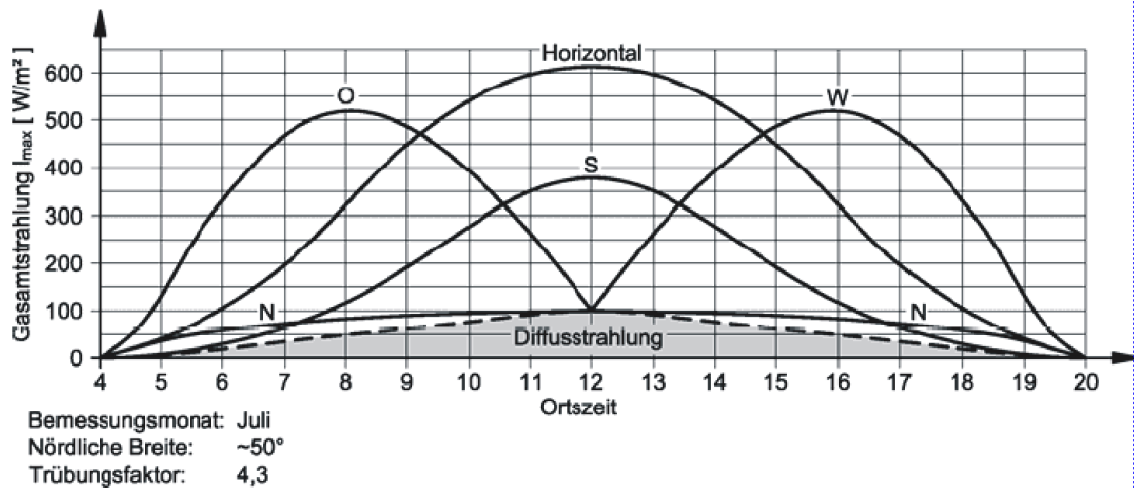
<sup>1)</sup> Maxima bezogen auf Trübungs- Mittelwerte minus Standardabweichung  
<sup>2)</sup> N- Maxima bezogen auf Trübungs- Mittelwerte;  $I_{dif,max}$  entspricht Himmelsrichtung N

Die Strahlungswärmezufuhr durch Glasflächen dominiert in vielen Fällen das Ergebnis von Kühllastabschätzungen. Durch Beschattungseinrichtungen lässt sie sich erheblich abmindern. Die Strahlungswerte „I<sub>max</sub>“ und „I<sub>dif,max</sub>“ sind von der Region, der Trübung der Atmosphäre sowie von der Jahres- und Tageszeit abhängig.

Der Trübungsfaktor "T" nach F. Linke (\*1878, +1944) gibt an, auf welche Art die reale Atmosphäre stärker getrübt ist als eine reine Atmosphäre ("Rayleigh-Atmosphäre"). Der Wert für den Trübungsfaktor: T=4,3 entspricht einer Großstadtatmosphäre. Die Rechenwerte in den Tabellen 04.5 und 04.6 entsprechen einer geografischen nördlichen Breite um ungefähr ~50° .



Abbildung 04.3: Gesamtstrahlungsmaxima auf unterschiedlich orientierte Flächen [15] [08]



Mit dem Durchlassfaktor  $b$  für Fenster und Sonnenschutzvorrichtungen wird jener Anteil der Strahlungsleistung ermittelt, der von außen durch Fenster und Sonnenschutzvorrichtungen nach innen gelangt. Unter anderem wurden dafür die Rechenwerte in Tabelle 04.07 veröffentlicht [15] [24].

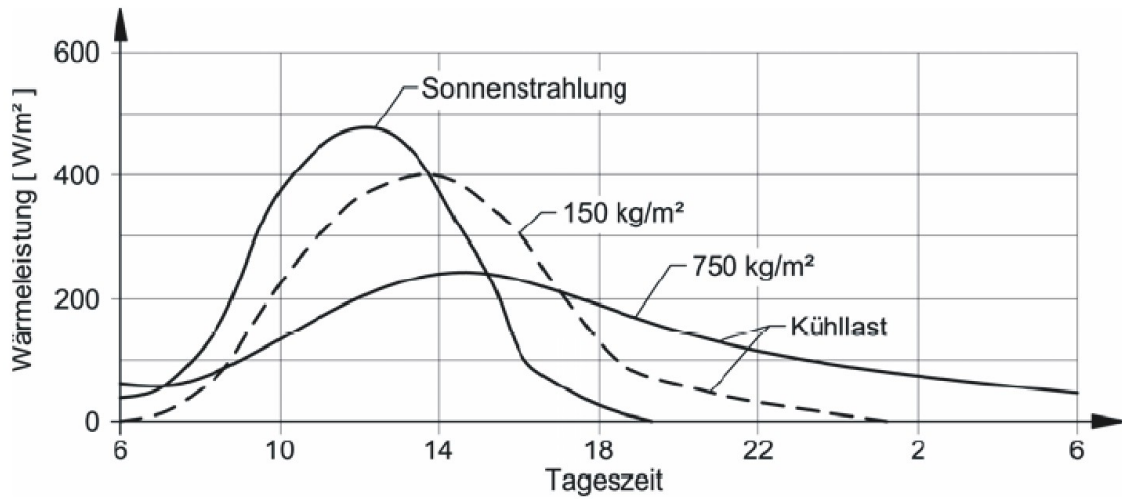
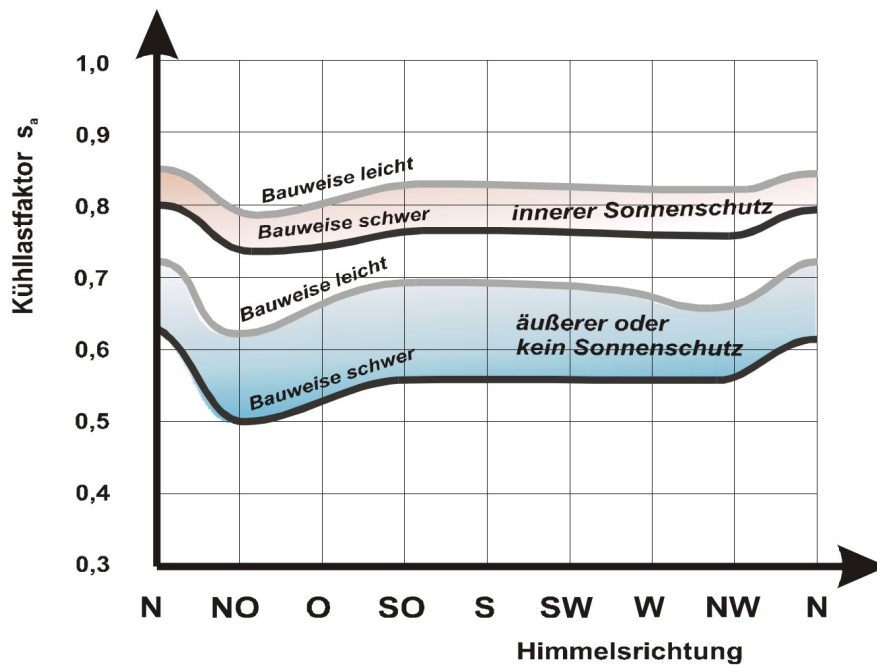
Tabelle 04.7: mittlere Durchlassfaktoren  $b$  für Sonnenstrahlung [15] [24]

Gläser	$b_1$	Sonnenschutzvorrichtung	$b_2$
<b>Tafelglas:</b>		<b>Außen:</b>	
Einfachverglasung	1,10	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,15
Doppelverglasung	1,00	Stoffmarkise, oben u. seitlich ventiliert	0,30
Dreifachverglasung	0,90	Stoffmarkise, oben und seitlich anliegend	0,40
<b>Absorptionsglas:</b>		<b>Zwischen den Scheiben:</b>	
Einfachverglasung	0,75	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,50
Doppelverglasung	0,65	mit unbelüftetem Zwischenraum	
vorgehängte Absorptionsscheibe	0,50		
<b>Reflexionsgl:</b>		<b>Innen:</b>	
Einfachverglasung, Metalloxidbelag	0,65	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,70
Doppelverglasung, Metalloxidbelag	0,55	Vorhänge hell	0,50
Doppelverglasung, Metalloxidbelag	0,45	Kunststofffolien metallisch reflektierend	0,35
<b>Glashohlsteine farblos:</b>			
mit glatter Oberfläche	0,65		
mit strukturierter Oberfläche	0,45		

Bei Kombinationen verschiedener Sonnenschutzanordnungen wird der entsprechende Durchlassfaktor näherungsweise durch Produktbildung der einzelnen Durchlassfaktoren  $b$  errechnet.  
z.B.:  $b_1 = 0,75$  ... für Absorptionsglas-Doppelverglasung  
 $b_2 = 0,50$  ... für Vorhang aus Baumwolle  
 $b = b_1 \cdot b_2 = 0,75 \cdot 0,5 = 0,375$  ... Durchlassfaktor der Kombination

Die bei Sonneneinstrahlung von Bauteilen aufgenommene Wärme wird erst mit zeitlicher Verzögerung in den zu kühlenden Räumen wirksam. Der Speicherfaktor "s" für äußere Strahlungslasten berücksichtigt die zeitliche Verschiebung der Auswirkung von Strahlungswärmegewinnen auf die Kühllast, wenn speicherfähige Massen in Räumen Strahlungswärme aufnehmen, und zeitverzögert an den betreffenden Raum wieder abgeben können.

Abbildung 04.4: Speichermassen [15]

Abbildung 04.5: Kühllastfaktoren  $s_a$  [15]

Bei ausführlicher Durchführung einer Kühllastabschätzung ist für den Kühllastfaktor " $s_a$ " nicht nur die Art der Beschattungseinrichtungen und die Speicherwirksamkeit der Bauteilmassen zu berücksichtigen, sondern auch die Bauteilorientierung sowie die Tageszeit. Mit einem von der Tageszeit abhängigen Speicherfaktor " $s_a$ " ergibt sich rechnerisch eine Möglichkeit zur angemessenen zeitlichen Verteilung der in Innenräume eingebrachten Wärme, die von Außenbauteilen bei Sonneneinstrahlung über wenige Stunden aufgenommen worden ist.

Tabelle 04.8: Kühllastfaktoren  $s_a$  für mittelschwere Bauweise [24]

	Himmelsrichtung																			
	N		NW		W		SW		S		SO		O		NO		horiz.		normal	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0,14	0,26	0,07	0,14	0,07	0,14	0,08	0,15	0,06	0,12	0,05	0,10	0,05	0,09	0,04	0,08	0,08	0,16	0,12	0,23
2	0,12	0,24	0,07	0,12	0,07	0,13	0,07	0,13	0,06	0,00	0,05	0,10	0,04	0,08	0,04	0,08	0,08	0,14	0,11	0,21
3	0,12	0,22	0,06	0,11	0,06	0,12	0,06	0,12	0,05	0,10	0,05	0,09	0,04	0,07	0,04	0,07	0,07	0,13	0,10	0,20
4	0,11	0,20	0,06	0,11	0,06	0,11	0,06	0,11	0,05	0,10	0,04	0,08	0,04	0,07	0,04	0,07	0,06	0,12	0,09	0,18
5	0,66	0,52	0,08	0,11	0,07	0,11	0,08	0,12	0,08	0,11	0,12	0,12	0,25	0,19	0,36	0,19	0,08	0,13	0,26	0,27
6	0,73	0,59	0,11	0,13	0,09	0,12	0,10	0,13	0,11	0,12	0,32	0,24	0,53	0,37	0,67	0,37	0,15	0,16	0,47	0,40
7	0,60	0,53	0,14	0,14	0,11	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,53	0,38	0,71	0,50	0,76	0,50	0,27	0,23	0,62	0,50
8	0,66	0,58	0,16	0,16	0,12	0,13	0,13	0,14	0,21	0,18	0,69	0,50	0,77	0,57	0,65	0,57	0,42	0,33	0,71	0,67
9	0,74	0,64	0,18	0,17	0,13	0,14	0,15	0,15	0,38	0,29	0,78	0,57	0,72	0,56	0,42	0,56	0,57	0,43	0,77	0,63
10	0,81	0,69	0,20	0,18	0,15	0,15	0,17	0,17	0,57	0,42	0,77	0,60	0,56	0,48	0,28	0,48	0,69	0,52	0,82	0,67
11	0,85	0,73	0,21	0,19	0,16	0,15	0,24	0,21	0,72	0,53	0,67	0,56	0,34	0,36	0,27	0,36	0,77	0,59	0,84	0,71
12	0,87	0,76	0,22	0,20	0,17	0,16	0,42	0,32	0,78	0,59	0,50	0,47	0,24	0,29	0,26	0,29	0,81	0,64	0,86	0,73
13	0,88	0,77	0,22	0,20	0,27	0,22	0,61	0,45	0,76	0,60	0,32	0,36	0,22	0,27	0,25	0,27	0,81	0,66	0,87	0,75
14	0,85	0,77	0,23	0,21	0,49	0,36	0,75	0,55	0,64	0,55	0,25	0,31	0,20	0,25	0,24	0,25	0,85	0,64	0,86	0,76
15	0,80	0,75	0,38	0,30	0,68	0,49	0,79	0,61	0,47	0,46	0,22	0,29	0,19	0,24	0,22	0,24	0,65	0,60	0,85	0,77
16	0,74	0,72	0,62	0,45	0,78	0,58	0,75	0,60	0,30	0,35	0,20	0,26	0,17	0,22	0,20	0,23	0,52	0,52	0,81	0,75
17	0,68	0,68	0,77	0,57	0,76	0,59	0,61	0,54	0,22	0,30	0,17	0,24	0,15	0,20	0,17	0,20	0,37	0,43	0,73	0,71
18	0,82	0,76	0,74	0,58	0,62	0,53	0,42	0,43	0,18	0,26	0,14	0,21	0,12	0,18	0,14	0,18	0,24	0,34	0,59	0,63
19	0,78	0,75	0,45	0,43	0,35	0,38	0,22	0,31	0,14	0,22	0,11	0,18	0,10	0,16	0,10	0,16	0,16	0,28	0,38	0,50
20	0,22	0,42	0,12	0,23	0,12	0,24	0,12	0,23	0,10	0,19	0,08	0,16	0,07	0,13	0,07	0,13	0,13	0,24	0,19	0,37
21	0,20	0,37	0,11	0,20	0,11	0,21	0,11	0,21	0,09	0,17	0,08	0,14	0,06	0,12	0,06	0,12	0,12	0,22	0,17	0,33
22	0,18	0,34	0,10	0,18	0,10	0,19	0,10	0,19	0,08	0,16	0,07	0,13	0,06	0,11	0,06	0,11	0,11	0,20	0,16	0,30
23	0,16	0,31	0,09	0,16	0,09	0,17	0,09	0,17	0,08	0,14	0,06	0,12	0,05	0,10	0,05	0,10	0,10	0,18	0,14	0,27
24	0,15	0,28	0,08	0,15	0,08	0,16	0,08	0,16	0,07	0,13	0,06	0,11	0,05	0,09	0,05	0,09	0,09	0,17	0,13	0,25

A...Sonnenschutz innen; B...Sonnenschutz außen

### 04.1.3 Beispiel einer überschlägigen Kühllastermittlung für ein Bürogebäude

Zur Vorbemessung von Kühlgeräten sowie zur Kälteversorgung eines beispielhaft angenommenen Bürogebäudes (Regelgeschoß gemäß Abbildung 04.6) soll im Folgenden nach einem vereinfachten Verfahren eine Kühllastabschätzung [23] [24] vorgenommen werden:

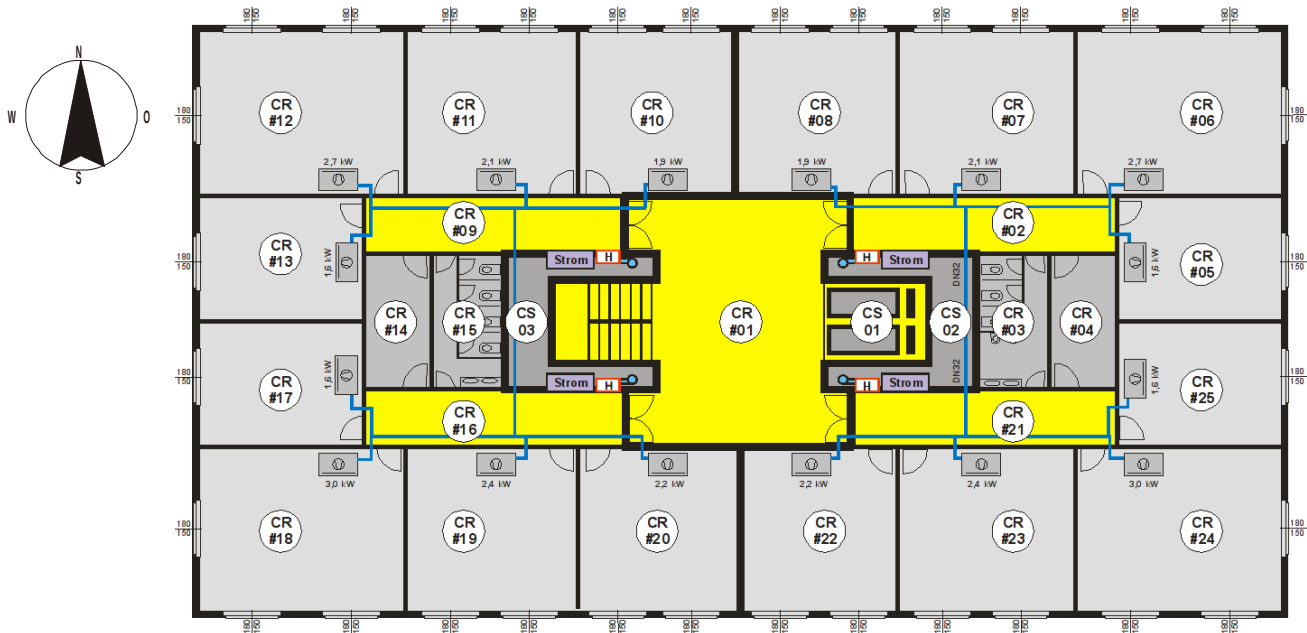
Wesentliche Vereinfachungen bestehen in der Wahl von Kühllastmaxima ohne Rücksicht auf unterschiedliche Monatswerte nach Tabelle 04.06 und unterschiedliche Tageswerte nach Tabelle 04.05. Ferner bleiben bei Flächenermittlungen Wandstärken unberücksichtigt und für Raumhöhen werden die Geschoßhöhen eingesetzt. Berechnungen werden nur für Räume oder Raumgruppen vorgenommen, die sich hinsichtlich Anzahl und Orientierung von Fenstern sowie hinsichtlich ihrer Raumabmessungen unterscheiden.

In weiterer Folge werden die in Abbildung 04.6 angeführten Raumbezeichnungen (CR##) ausgewiesen. Die für die Kühllastabschätzung gewählten Vorgabewerte sind in Tabelle 04.09 zusammengestellt:

Mit diesen Vorgabewerten werden für die in Abbildung 04.6 dargestellten Räume nach den Gleichungen 04.01 bis 04.08 die Kühllastanteile abgeschätzt, und in Tabelle 04.10 zusammengestellt.



Abbildung 04.6: Grundriss Bürogebäude - mit Anordnung von Ventilator-konvektoren



Für das aus 5 nahezu gleichartigen Geschossen bestehende Bürogebäude ergibt sich (unter Vernachlässigung des Umstandes, dass die Kühllastspitzen nicht überall gleichzeitig auftreten) folgende **Abschätzung eines oberen Grenzwertes** der Gebäude-Kühllast:

$$\Phi_K = 5 \cdot 34,960 \text{ kW} = 175 \text{ kW}$$

Tabelle 04.9: Vorgabewerte für Kühllastabschätzung

Bauteile	Code	U W/(m <sup>2</sup> ·K)
Außenwände	AW	0,20
Decken und Dächer	DE	0,40
Fenster und Türen	AF	1,30

Klimadaten		Bemessungsgrundlagen	
Kühlperiode		Sommer	
Außenlufttemperatur	max.	38 °C	Juli
Raumtemperatur	max.	24 °C	

Innere Kühllasten $\Phi_h$	Index	$\phi$ W/m <sup>2</sup>	Gleichzeitigkeit %	Anmerkungen
Geräte	N	10	100	7 bis 18 Uhr Montag bis Samstag
Beleuchtung	B	10	100	8 bis 18 Uhr Montag bis Samstag
Personen	M	10	100	9 bis 18 Uhr Montag bis Samstag
Zusammen		30		

Äußere Kühllasten $\Phi_e$	HR	$I_{\max}$ W/m <sup>2</sup>	Betrachtungszeitraum	Anmerkungen
Gesamtstrahlung max.	N	97	Juni 12 Uhr	für vorwiegende Orientierung
	O	563	Mai 8 Uhr	für vorwiegende Orientierung
	S	599	März 12 Uhr	für vorwiegende Orientierung
	W	563	Mai 16 Uhr	für vorwiegende Orientierung

Sonnenschutz	außen		innen		ausgewählt wurde: außen leicht
	leicht	schwer	leicht	schwer	
Bauweise					
Speicherfaktoren	HR	$s_a$	$s_a$	$s_a$	
	N	0,72	0,62	0,85	0,80
	O	0,67	0,53	0,80	0,74
	S	0,69	0,57	0,83	0,77
W	0,67	0,58	0,83	0,77	gemäß Tabelle 04.08

Durchlassfaktoren		Anmerkungen	
für Verglasung	$b_1$	1,00	für Doppelverglasung gemäß Tabelle 04.07
für Sonnenschutz	$b_2$	0,15	für Außenjalousien

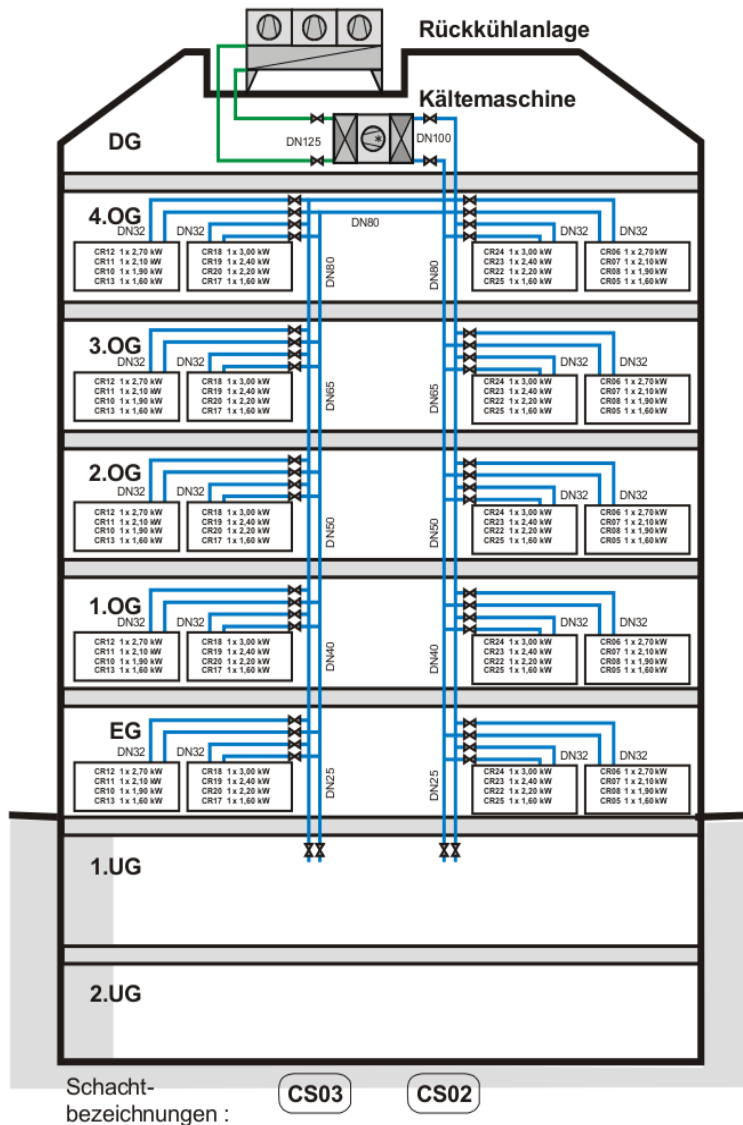
  

Außenluftratzen		Anmerkungen	
Personenbezogene Außenluftrate	30	m <sup>3</sup> /h	Annahme der Projektanten
Belegungsdichte	0,1	1/m <sup>2</sup>	Annahme für Büroräume (gemäß Tabelle 05.03)

Tabelle 04.10: Kühllastabschätzung – Ergebniszusammenstellung

Raumbezeichnung	Grundfläche	Außenwand		Außenfenster mit Orientierung nach				Kühllastanteile				Kühllast			
		Länge	Höhe	N	O	S	W	$\Phi_h$	$\Phi_{eS}$	$\Phi_{eT}$	$\Phi_{eV}$	$\Phi_K$			
Nr.	m <sup>2</sup>	m	m	ST	m <sup>2</sup>	ST	m <sup>2</sup>	ST	m <sup>2</sup>	W	W	W	W	W	
CR05	30,08	4,70	3,50			1	2,7			902	153	88	423	1.566	
CR06	51,20	14,40	3,50	2	2,7	1	2,7			1.536	221	266	720	2.743	
CR07	43,52	6,80	3,50	2	2,7					1.306	57	150	612	2.125	
CR08	37,76	5,90	3,50	2	2,7					1.133	57	141	531	1.862	
CR12	51,20	14,40	3,50	2	2,7				1	2,7	1.536	221	266	720	2.743
CR13	30,08	4,70	3,50						1	2,7	902	164	88	423	1.577
CR18	51,20	14,40	3,50				2	2,7	1	2,7	1.536	514	266	720	3.036
CR19	43,52	6,80	3,50				2	2,7			1.306	349	150	612	2.417
CR20	37,76	5,90	3,50				2	2,7			1.133	349	141	531	2.154
CR24	51,20	14,40	3,50			1	2,7	2	2,7	1.536	514	266	720	3.036	
CR10	analog zu Raum:													1.862	
CR11	37,76	CR08												2.125	
CR17	43,52	CR07												1.577	
CR22	30,08	CR13												2.154	
CR23	37,76	CR20												2.417	
CR25	43,52	CR19												2.154	
CR25	30,08	CR05												1.566	
<b>Geschoß</b>	<b>650,24</b>											<b>34.960</b>			
flächenbezogene Kühllast $\Phi_K = 53,8$ [W/m <sup>2</sup> ]															

Abbildung 04.7: Schema der Kühlwasserverteilung (Strangschema)





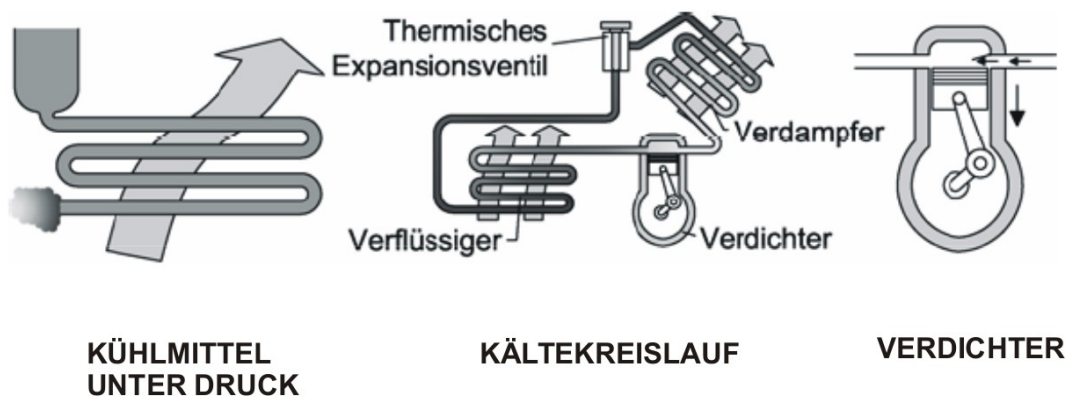
## 04.2 KÄLTEVERSORGUNG

Kälteversorgungsanlagen ermöglichen die Abkühlung von Stoffen unter die Umgebungstemperatur und beinhalten alle dazu erforderlichen Geräte, Bauteile, Steuer- und Regeleinrichtungen.

Handwerker, die mit Druckluftwerkzeugen arbeiten machen die Erfahrung, dass sich ihr Werkzeug immer dann abkühlt, wenn daraus Druckluft entweicht. Ähnliche Erfahrungen können Radfahrer machen, wenn sie Luft aus ihrem Fahrradreifen ausströmen lassen und dabei gleichzeitig das Reifenventil berühren. Wenn man einen Fahrradreifen jedoch mit einer Handpumpe eigenhändig aufpumpt, dann kann man spüren, dass sich die Luftpumpe bei dem Pumpvorgang erwärmt. Mit der vom Radfahrer aufgewendeten Pumpenergie hat man demnach nicht nur den Reifendruck erhöht, sondern auch Wärme erzeugt, die über die Oberfläche der Luftpumpe an die Umgebungsluft abgegeben werden kann.

- Lässt man Luft aus einer Druckluftflasche über Rippenrohre ins Freie entweichen, dann sinkt die Rohroberflächentemperatur (und damit die Temperatur der "Kühlrippen") unter die Umgebungstemperatur.
- Lässt man komprimierter Luft aus einem geschlossenen Hochdruck-Rippenrohrsystem über ein Expansionsventil in ein geschlossenes Niederdruck-Rippenrohrsystem expandieren, dann sinkt die Oberflächentemperatur im Niederdruck-Rippenrohrsystem ebenfalls unter die Umgebungstemperatur.
- Bei Kompression von Luft in einem geschlossenen Hochdruck-Rippenrohrsystem steigt die Oberflächentemperatur im Hochdruck-Rippenrohrsystem über die Umgebungstemperatur.

Abbildung 04.8: Funktionsschema einer Kompressions-Kälteanlage [15]



Die Funktion eines Kaltdampfkompansions-Kälteprozesses ist dem beschriebenen Vorgang ähnlich. Es kommt dabei anstelle von Luft ein Kältemittel zum Einsatz, welches im Anwendungsbereich bei Expansion verdampft, und dessen Dampf nach Kompression kondensiert:

- Bei Expansion und Verdampfung kühlt sich das Kältemittel ab und entzieht seiner Umgebung Verdampfungswärme.
- Bei Kompression und Kondensation erwärmt sich das Kältemittel und gibt Kondensationswärme an seine Umgebung ab.

### 04.2.1 Kältemittel

In Kompressions-Kälteanlagen kamen sogenannte "FCKW-Kältemittel" zum Einsatz (Fluorchlorkohlenwasserstoffe), deren umweltschädigende Wirkung allmählich erkannt wurde. Sowohl die Produktion als auch der Einsatz der umweltschädigenden Chemieprodukte "FCKW's" wurde im Jahr 1987 mit dem "Montreal-Protokoll" der Vereinten Nationen einem Zeitplan entsprechend zunehmend untersagt. Die schädliche Wirkung dieser Stoffe besteht sowohl in der Verursachung einer Auflösung der stratosphärischen Ozonschicht, welche die Erdoberfläche gegen die lebenszerstörende harte Ultraviolettstrahlung der Sonne abschirmt, als auch in einer Förderung des atmosphärischen Treibhauseffektes. Bei der Wahl von Kältemitteln sind neben sicherheitstechnischen Erwägungen auch deren Verfügbarkeit während der vorgesehenen Anlagennutzungsdauer sowie Entwicklungen der Umweltgesetzgebung zu beachten. Eine von zahlreichen Alternativen zu "FCKW's" besteht im Einsatz von Gemischen aus Propan ( $C_3H_8$ ) oder Butan ( $C_4H_{10}$ ) als Kältemittel (Kältemittelbezeichnung: "R290"). Diese Gemische sind in Vergleich mit "FCKW's" brennbar, ansonsten liegen ihre thermodynamischen Eigenschaften als Kältemittel in ähnlich günstigen Bereichen. Bei deren Einsatz als Kältemittel sind Sicherheitsbestimmungen zu beachten, wie sie für den Einsatz von Flüssiggasanlagen (Camping-Gasflaschen) üblich sind.

### 04.2.2 Kompressions-Kälteanlagen

Für die Kälteversorgung gebäudetechnischer Anlagen kommen vorwiegend Kältemittel zum Einsatz, welche bei einer Arbeitstemperatur der kalten Seite (von etwa  $+5^\circ\text{C}$ ) unter Aufnahme von Verdampfungswärme verdampfen (der Verdampfer kühlt). Nach einer Kompression des Kältemittels auf beherrschbare Drücke von etwa 800 kPa (8 bar) erwärmt sich das Kältemittel auf eine Arbeitstemperatur von (etwa  $+45^\circ\text{C}$ ). Im Kondensator wird das verdichtete Kältemittel sodann unter Abgabe von Kondensationswärme verflüssigt (der Kondensator heizt). Die im Verdampfer den zu kühlenden Bereichen entzogene Kälteleistung  $P_0$  wird gemeinsam mit der für die Kältemittelkompression aufgewendeten Antriebsleistung  $P_M$  im Kondensator als Wärmeleistung  $P_C$  abgegeben.

$$P_C = P_0 + P_M \quad (04.09)$$

$P_C$	Kondensationsleistung	[W]
$P_0$	Kälteleistung	[W]
$P_M$	Antriebsleistung	[W]

Als Leistungsziffer  $\epsilon_K$  einer Kälteanlage wird das Verhältnis der erzielten Kälteleistung  $P_0$  zur dafür aufgewendeten Antriebsleistung  $P_M$  bezeichnet. Für Kompressionskältemaschinen in gebäudetechnischen Anlagen liegt diese Leistungsziffer im Größenordnungsbereich von  $\epsilon_K = 3$  bis 4.

$$\epsilon_K = \frac{P_0}{P_M} \quad (04.10)$$

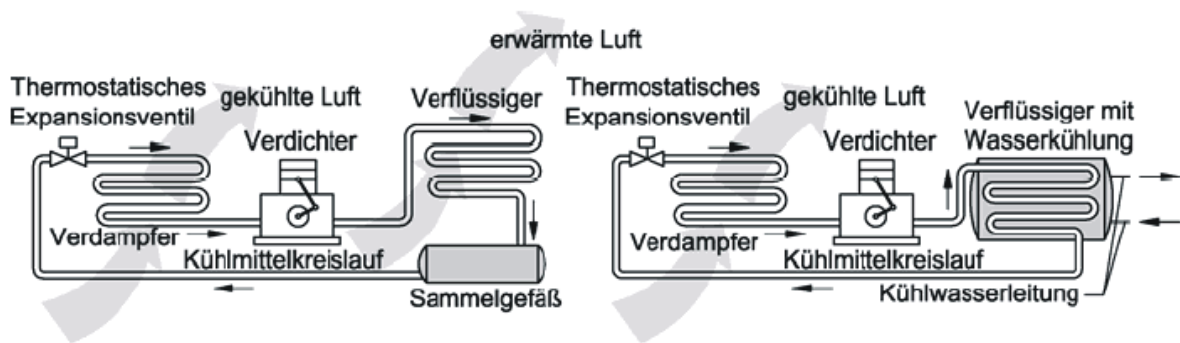
$\epsilon_K$	Leistungsziffer	[-]
$P_0$	Kälteleistung	[W]
$P_M$	Antriebsleistung	[W]

Die Leistungsziffer  $\epsilon_k$  wird englischsprachig auch mit „COP“ (Coefficient Of Performance) oder „EER“ (Energy Efficiency Ratio) bezeichnet.

Kompressions-Kälteanlagen verdichten und entspannen ein Kältemittel in einem geschlossenen Kreislaufsystem. Ein derartiges System besteht aus folgenden wesentlichen Bauteilen:

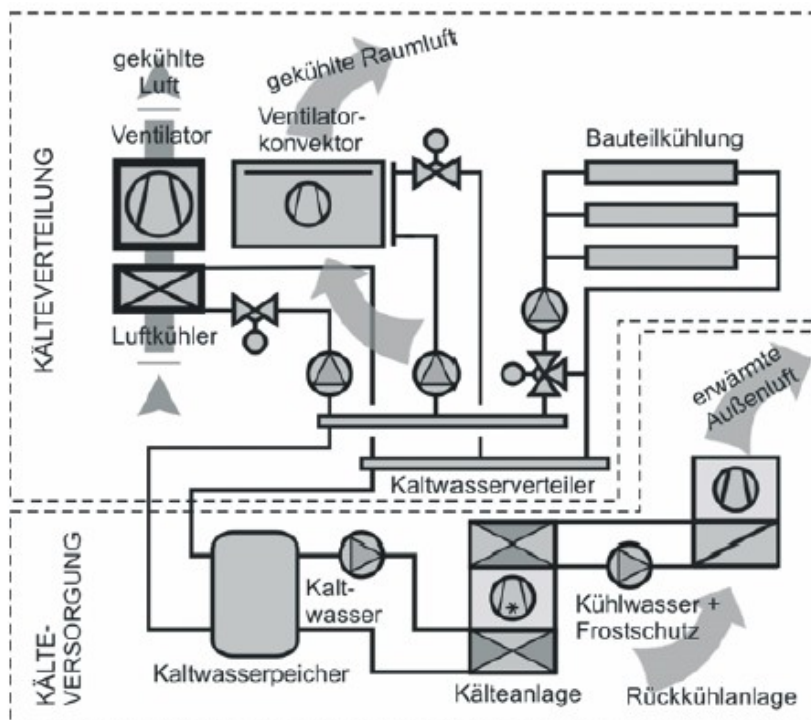
- *Kältemittel-Verdichter* = Kompressor > komprimiert Kältemittel
- *Kältemittel-Verflüssiger* = Kondensator > erwärmt Wärmeträger
- *Kältemittel-Expansionsventil* = Expansionsventil > entspannt Kältemittel
- *Kältemittel-Verdampfer* = Kühler > kühlt Kälte-träger

Abbildung 04.9: Bauteile einer Kompressions-Kälteanlage [15]



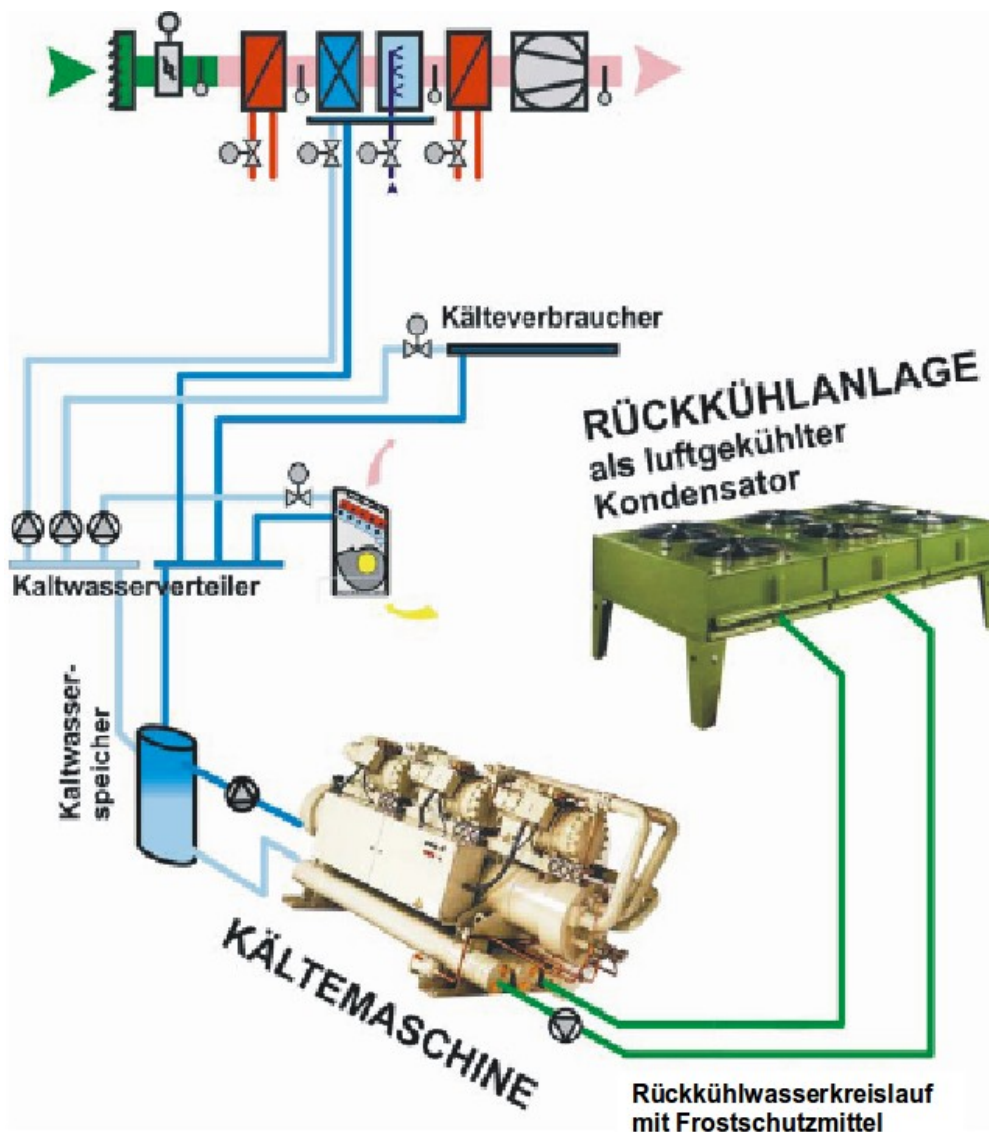
Dem jeweiligen Anwendungsbereich entsprechend kann man den Kühler und den Kondensator sowohl als "Kältemittel-Luft-Wärmetauscher", als auch als "Kältemittel- Wasser-Wärmetauscher" ausbilden.

Abbildung 04.10: Bauteile einer Kompressions-Kälteanlage - Funktionsschema [15]



Bei gebäudetechnischen Anlagen wird meistens Kühlwasser als Kälte­träger eingesetzt, das man mit Kälteanlagen auf eine Vorlauf­temperatur um  $+6^{\circ}\text{C}$  kühlt, in Kühlwasserspeichern speichert und den Kältever­brauchern bedarfsabhängig über Kühlwassersysteme zuführt. Wenn sich die dabei anfallende Kondensationswärme nicht sinnvoll nutzen lässt, dann kann man sie beispielsweise mit luftgekühlten Kondensatoren an die Umge­bung abführen und dabei im Freien Außenluft erwärmen.

Abbildung 04.11: Bauelemente einer Kälteversorgungsanlage [15]



### 04.2.3 Absorptions-Kälteanlagen

Bei Absorptions-Kälteanlagen kommt Wärme zum Einsatz, um Kälte zu erzeugen. Dabei wird sowohl die im Verdampfer entzogene Kälteleistung  $P_0$ , als auch die in Form von Wärme eingesetzte Antriebsleistung  $P_H$  als Wärmeleistung  $P_C$  einem Wärmeträger zugeführt.

$$P_C = P_0 + P_H \quad (04.11)$$

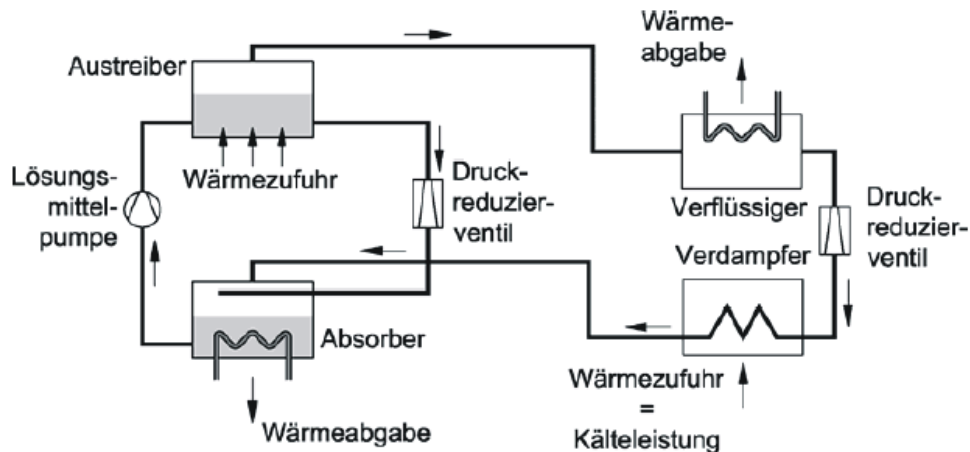
$P_C$	Kondensationsleistung	[W]
$P_0$	Kälteleistung	[W]
$P_H$	Antriebsleistung	[W]

Als Arbeitsstoffpaare kommen vorwiegend folgende Arbeitsstoffpaare zum Einsatz:

- *Wasser/Lithiumbromid* mit Wasser als Kältemittel
- *Ammoniak/Wasser* mit Ammoniak als Kältemittel

Für das Stoffpaar "Ammoniak/Wasser" liegt die maximal zulässige Temperatur im "Ausreiber" bei rund +200°C, darüber besteht die Gefahr chemischer Zersetzung. Von Nachteil ist, dass das Kältemittel Ammoniak giftig ist und mit Luft explosive Gemische bilden kann. Durch seinen intensiven Geruch kommt Ammoniak eine gute Warnwirkung zu. Für das Stoffpaar "Wasser/Lithiumbromid" liegt die maximale Austreibertemperatur bei ca. +160°C. Verdampfertemperaturen unter 0°C sind bei Wasser als Kältemittel nicht möglich.

**Abbildung 04.12: Funktionsschema einer Absorptions-Kälteanlage [15]**



Die beiden Stoffströme der armen und reichen Lösung werden in einem Gegenstrom-Wärmetauscher geführt, damit die kalte "reiche Lösung" durch warme "arme Lösung" vorgewärmt wird und diese gleichzeitig abkühlt. Die Lösungsmittelpumpe, die den Druck des Lösungsmittels vom Verdampfungsdruck  $p_0$  auf den Kondensationsdruck  $p_c$  erhöht, enthält die einzigen beweglichen Teile der Absorptions-Kälteanlage. Bei Einsatz der erwähnten Kältemittel Lithiumbromid oder Ammoniak ergeben sich kaum Umweltprobleme. In Vergleich zu Kompressionskälteanlagen sind die Investitionskosten bei gleicher Kälteleistung höher, und die Leistungszahlen geringer. Bei Absorptionskältemaschinen spricht man allerdings nicht von Leistungszahlen, sondern von einem Wärmeverhältnis " $\zeta_K$ ". Das Wärmeverhältnis von Absorptionskälteanlagen liegt in der Größenordnung von  $\zeta_K = 0,5$  bis  $0,7$ .

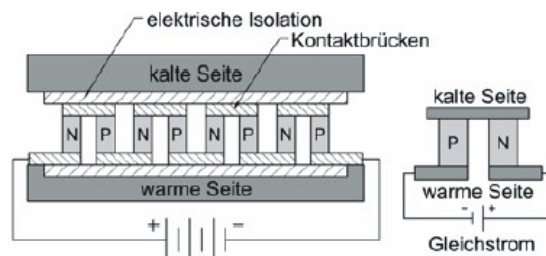
$$\zeta_K = \frac{P_0}{P_H} \quad (04.12)$$

$\zeta_K$	Wärmeverhältnis	[W]
$P_0$	Kälteleistung	[W] Wärmeentzug
$P_H$	Antriebsleistung	[W] Wärmezufuhr

#### 04.2.4 Peltier-Kälteanlagen

Durch Nutzung des bereits 1834 von dem französischen Uhrmacher und Physiker Jean Charles Athanase Peltier (\*1785, +1845) entdeckten Effektes ist Kälteerzeugung auch ohne bewegliche Bauteile und ohne Einsatz von Kältemitteln möglich. Dabei wird eine Gleichspannung an einen Stromkreis gelegt, der aus zwei unterschiedlichen metallischen Leitern besteht. Dadurch kühlt sich eine der Kontaktstellen ab, und die andere Kontaktstelle wird warm. Bei Umpolung verändern die Kontaktstellen auch ihr Temperaturverhalten. Die Wirksamkeit dieses Effektes wurde durch den Einsatz von Halbleitern erheblich gesteigert. Es wird dabei positiv und negativ leitendes Halbleitermaterial ("p- und n-leitend") durch Kupferbrücken zu "Peltierblöcken" in der Weise verbunden, dass alle kalten Kupferbrücken die wärmeaufnehmende, und alle warmen Brücken die wärmeabgebende Seite des Blocks bilden. In Vergleich zu Kompressions- und Absorptionskältemaschinen sind bei gleicher Kälteleistung die Investitionskosten von Peltierblöcken wesentlich höher, und die Leistungsziffern erheblich geringer. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen beschränkt sich deren Einsatz deshalb auf Spezialgebiete, wie auf die Kühlung von Elektronikbauteilen oder auf mobile Kleinkühltruhen. Die Leistungsziffer von Peltierblöcken liegen im Bereich von  $\epsilon_K = 0,1$  bis  $0,2$ .

Abbildung 04.13: Peltier-Element [15]



#### 04.2.5 Wärmepumpen

Als Wärmepumpe bezeichnet man eine Kälteanlage dann, wenn sie vorrangig zur Nutzung der am Kondensator anfallenden Wärmeenergie betrieben wird. Bei den üblichen Leistungsziffern von Kompressions-Wärmepumpen um  $\epsilon_K = 3$  bis  $4$  lässt sich beispielsweise mit dem Einsatz von  $1$  kWh elektrischer Antriebsenergie eine Wärmemenge von  $3$  bis  $4$  kWh nutzbar machen, wenn gleichzeitig durch Kühlung einem Medium eine Wärmemenge von  $2$  bis  $3$  kWh entzogen werden kann.

Mit Wärmepumpen lassen sich verhältnismäßig kalte Wärmequellen wie Grundwasser, Erdreich oder Außenluft für Heizzwecke nutzen. Weil die Leistungsziffern bei Erhöhung der Heizwassertemperaturen abnehmen erfolgt die Wärmeverteilung von Wärmepumpenanlagen vorzugsweise über Niedertemperatur-Heizsysteme mit Heizwasser-Vorlauftemperaturen um ca.  $+50^\circ\text{C}$ . Um zu vermeiden, dass die im Verdampfer zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit im Winter einfriert kann ihr ein Frostschutzmittel beigelegt werden (z.B. Wasser mit  $30\%$  Ethylenglycol).



Abbildung 04.14: Einsatzbeispiel für eine Wärmepumpenanlage zur Heizwassererzeugung [15]

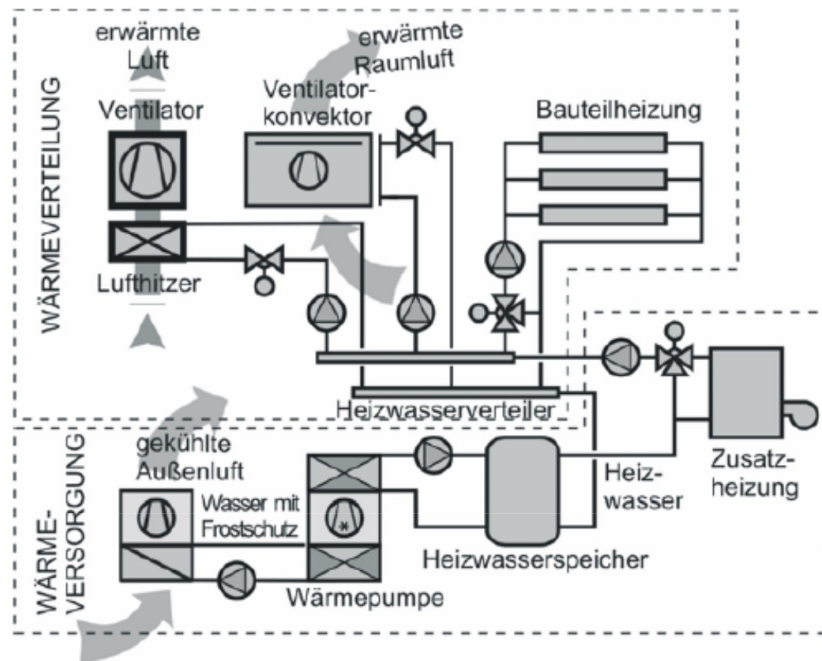


Abbildung 04.15: Bauteile einer Wärmepumpenanlage [15]

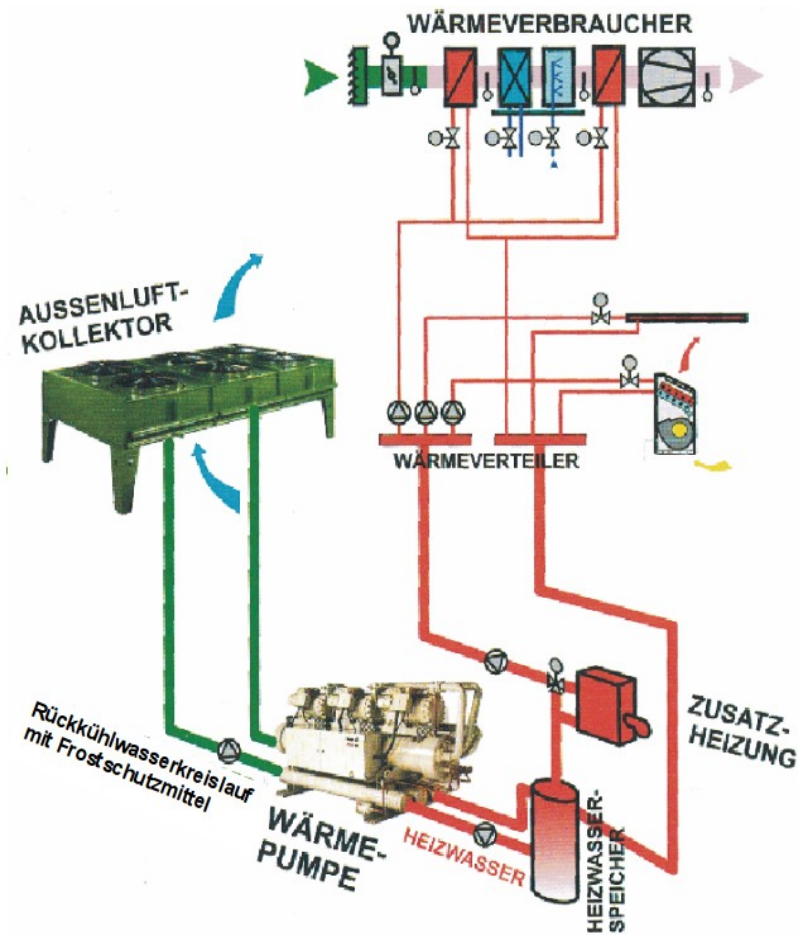
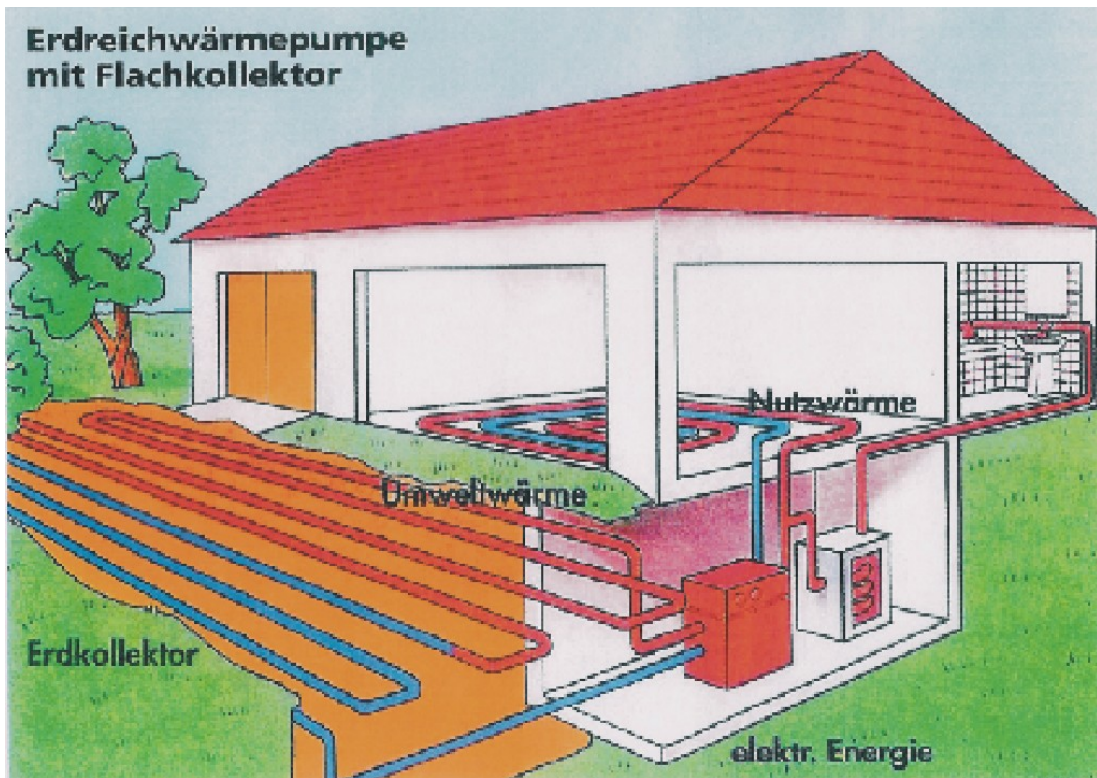


Abbildung 04.16: Wärmepumpe mit Erdreichkollektor [15]

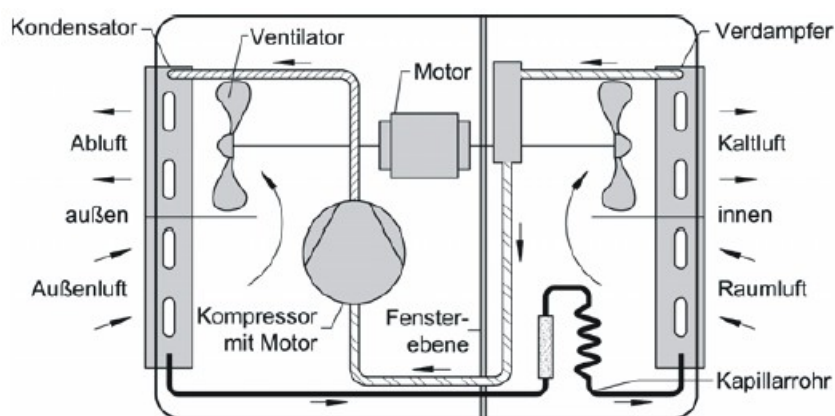


#### 04.2.6 Fensterklimageräte

In Fensterklimageräten sind bereits alle zur Raumluftkühlung erforderlichen Bauteile in kompakter Bauweise in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht.

- Außenluftheritzer (luftgekühlter Kältemittelkondensator) mit Ventilator zur Erwärmung von Außenluft
- Kältemittelkompressor mit Kältemittelverrohrung und Expansionsventil
- Umluftkühler (Kältemittelverdampfer) mit Ventilator zur Kühlung von Raumluft

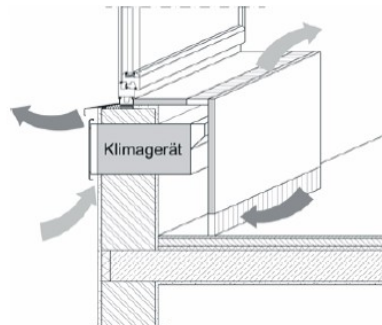
Abbildung 04.17: Fensterklimagerät [15]





Um Außenluft über den luftgekühlten Kältemittelkondensator leiten zu können müssen die Außenluftdurchlässe dieser kompakten Luftkühlgeräte entweder im Freien angeordnet werden, oder über Luftleitungen mit dem Freien verbunden sein. Um Raumluft über den Raumluftkühler leiten zu können müssen sich die Umluftdurchlässe im Raum befinden oder über Luftleitungen mit diesem verbunden sein. Derartig kompakt ausgeführte Luftkühlgeräte werden deshalb vorzugsweise in Fensterflächen oder Wanddurchbrüchen - mit der Kondensatorseite im Freien und mit der Kühlerseite im zu kühlenden Raum - angeordnet.

**Abbildung 04.18: Fensterklimagerät im Parapettbereich[15]**



### 04.2.7 Split-Geräte

In ähnlich kompakter Bauweise werden betriebsfertige Kältesysteme mit allem erforderlichen Zubehör in geteilter Ausführung unter der Bezeichnung "Split-Geräte" angeboten. Sie bestehen aus zwei Geräteteilen, von welchen ein Teil im Freien, und ein Teil im zu kühlenden Raum anzuordnen ist. Sie werden in folgenden Ausführungsvarianten angeboten:

- *Außengerät mit luftgekühltem Kondensator, Ventilator und Kältemittelkompressor, Innengerät mit Umluftkühler und Ventilator, oder*
- *Außengerät mit luftgekühltem Kondensator und Ventilator, Innengerät mit Kältemittelkompressor, Umluftkühler und Ventilator*

Die Kältemittelleitungen zur Verbindung der Außengeräte mit den Innengeräten erfordern keine großen Wanddurchbrüche. Für eine problemlose Installation können diese Leitungen auch bereits mit Kältemittelfüllung und Schnellkupplungen an ihren Enden geliefert werden. Das Kältemittel dient bei diesen Geräten als Wärmeträger zwischen Innen- und Außenteil. Ein Vorteil dieser Konzeption ergibt sich aus dem Umstand, dass das Kältemittel im Anwendungsbereich nicht einfrieren kann und sich deshalb in Vergleich zu anderen Wärmeträgern Vorkehrungen für einen Frostschutz erübrigen. Aus wirtschaftlichen Erwägungen ist man bestrebt, die Kältemittel- Verbindungsleitungen möglichst kurz zu halten. Split-Geräte kommen vorwiegend in Bereichen mit geringem Kühlungsbedarf zum Einsatz, für welche sich eine zentrale Kälteversorgungsanlage nicht lohnt.

Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Innengeräte an ein gemeinsames Außengerät anzuschließen, oder als "Multi-Split-Anlagen" mehrere Innen- und Außengeräte mit gemeinsamen Kältemittelleitungen zu verbinden.

Abbildung 04.19: Split-Geräteanordnung [15]

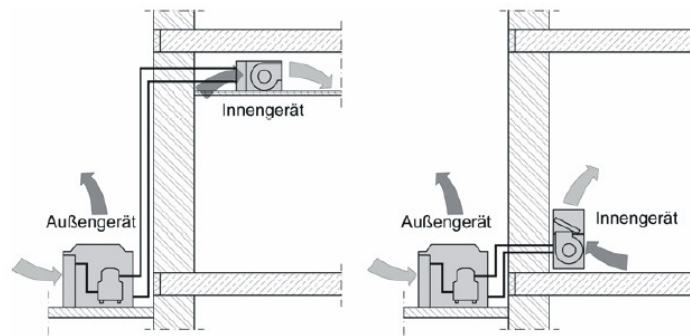
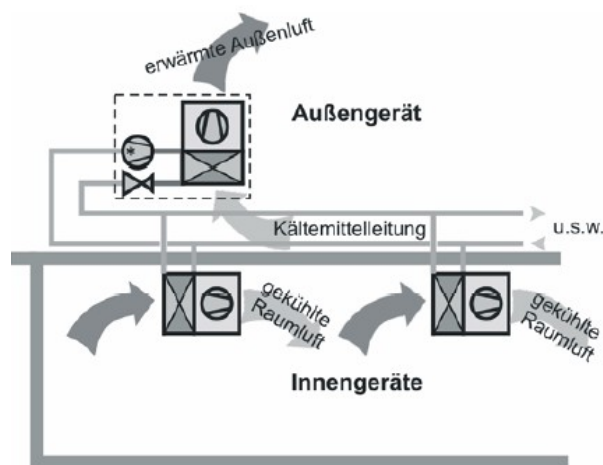
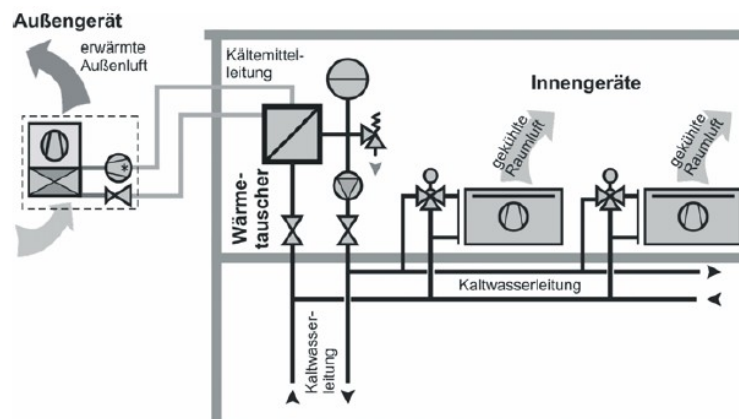


Abbildung 04.20: Multi-Split-Geräte – Prinzipschema [15]



Für im Freien angeordnete, Kältemittel-führende Rohrleitungen besteht im Winter keine Gefahr des Einfrierens. In Vergleich zu Wasser erfordert der Einsatz von Kältemitteln als Wärme- oder Kälteträger höhere Anschaffungs- und Entsorgungskosten. Man ist deshalb bestrebt, Kältemittelleitungen nur bis in die frostfreien Gebäudebereiche zu führen und dort mit Wärmeaustauschern den Energieinhalt des Kältemittels auf ein Heiz- oder Kühlwassersystem zu übertragen.

Abbildung 04.21: Kältemittel-Wasser-Wärmetauscher [15]



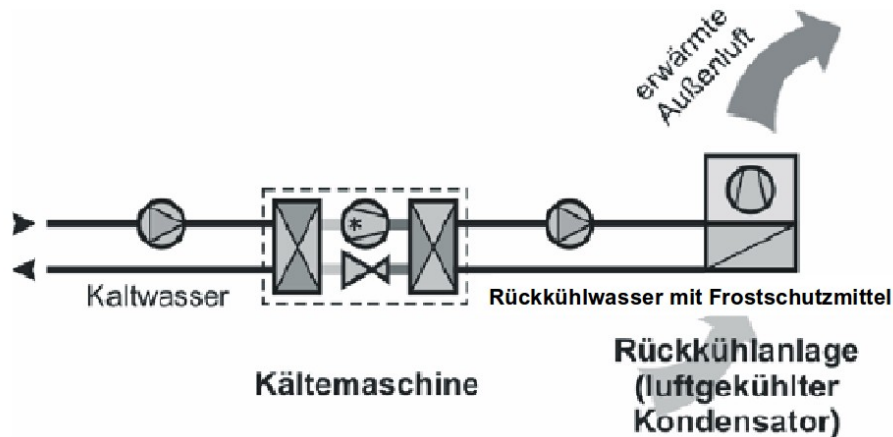
### 04.3 RÜCKKÜHLANLAGEN

Kälteversorgungsanlagen dienen dem Entzug von Wärme in dafür ausgewählten Raumbereichen. Sie bestehen hauptsächlich aus den Funktionseinheiten "Kältemaschine" (mit Verdampfer) und "Rückkühlanlage" (mit Kondensator). Diese Funktionseinheiten können in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht werden, bei größeren Anlagen werden sie meistens als gesonderte Bauteile ausgeführt, die über Rückkühlleitungen verbunden sind, in welcher eine Wärmeträgerflüssigkeit den Wärmeaustausch zwischen den Bauteilen ermöglicht. Über Rückkühlanlagen wird die den ausgewählten Räumen entzogene Wärme an die Umgebung (außerhalb dieser Räume) abgegeben. Bei Wärmeabgabe an die Außenluft werden Rückkühlanlagen vorzugsweise im Freien (häufig in Dachbereichen) angeordnet.

#### 04.3.1 Glycol-Rückkühler

Eine besonders einfache Bauweise von Rückkühlanlagen besteht aus einer Kombination von Ventilatoren und Luftherzern (Wärmetauschern), mit welchen Außenluft erwärmt, und Rückkühlwasser gekühlt werden kann ("Glycol-Rückkühler"). Rückkühlwasser dient dabei als Wärmeträger zwischen Rückkühlanlage und Kältemaschine. Im Winter besteht für das Rückkühlwasser Einfriergefahr, weil es fallweise auch an besonders kalte Außenluft Wärme übertragen kann.

Abbildung 04.22: Glycol-Rückkühler [15]



Wenn im Rückkühlwasser-Temperaturen unter  $+4^{\circ}\text{C}$  auftreten können, dann müssen dem Rückkühlwasser Frostschutzmittel zugesetzt werden. Es kommen dabei vorwiegend "Glykole" zum Einsatz, das sind Mischungen von Wasser mit höher siedenden Alkoholen. Die Zähigkeit dieser Frostschutzmittel steigt mit zunehmendem Glykolanteil, Gefrierpunkt und spezifische Wärmekapazität nehmen hingegen mit zunehmendem Glykolanteil ab. Bei der Bemessung von Ausdehnungsanlagen sind auch die von Wasser abweichenden Ausdehnungskoeffizienten zu beachten. Ethylenglycol ist ein gesundheitsschädigender Stoff, der weder in das Trinkwasser noch in das Grundwasser gelangen darf, und der ordnungsgemäß entsorgt werden muss. Propylenglycol ist als ungiftige Alternative zu Ethylenglycol einsetzbar, jedoch teurer und weist höhere Zähigkeitswerte auf.

### 04.3.2 Verdunstungsrückkühler

Um Wasser in seinen gasförmigen Zustand überzuführen muss dem Wasser Verdampfungswärme zugeführt werden. Bei der Verdunstung von Wasser nimmt das Wasser die Verdampfungswärme von seiner Umgebung auf und kühlt diese dadurch ab. Dieses Phänomen wird in Verdunstungsrückkühlern genutzt. Bei dieser Art von Rückkühlanlagen wird Kühlwasser in einem Außenluftvolumenstrom versprüht, wobei ein Teil des Kühlwassers verdunstet und dabei die Außenluft befeuchtet. Die für diese Außenluftbefeuchtung erforderliche Verdampfungswärme wird dem Außenluftvolumenstrom und dem versprühten Kühlwasser entzogen, wobei sich das Kühlwasser um einige Grade abkühlt. Zur Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Außenluft und Kühlwasser werden im Luftstrom mitunter Rieselkörper angeordnet. Das abgekühlte Kühlwasser wird in einer Auffangwanne gesammelt und kann einer Kältemaschine als Wärmeträger zur Aufnahme von Kondensationswärme wieder zugeführt werden.

Abbildung 04.23: Verdunstungsrückkühler – Schema [15]

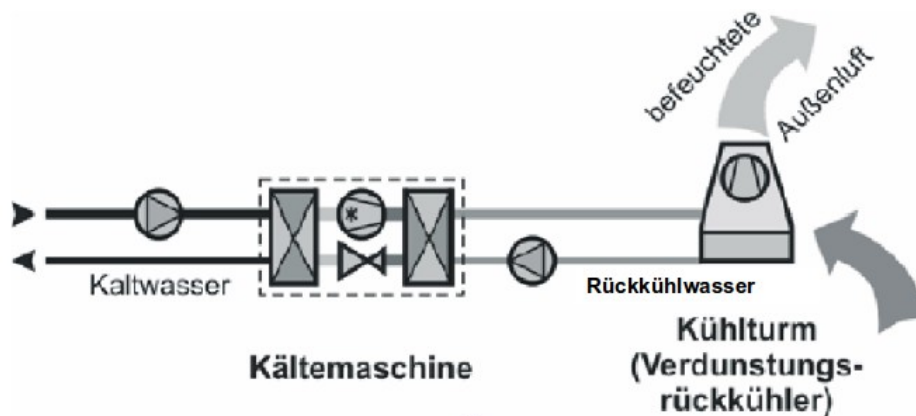
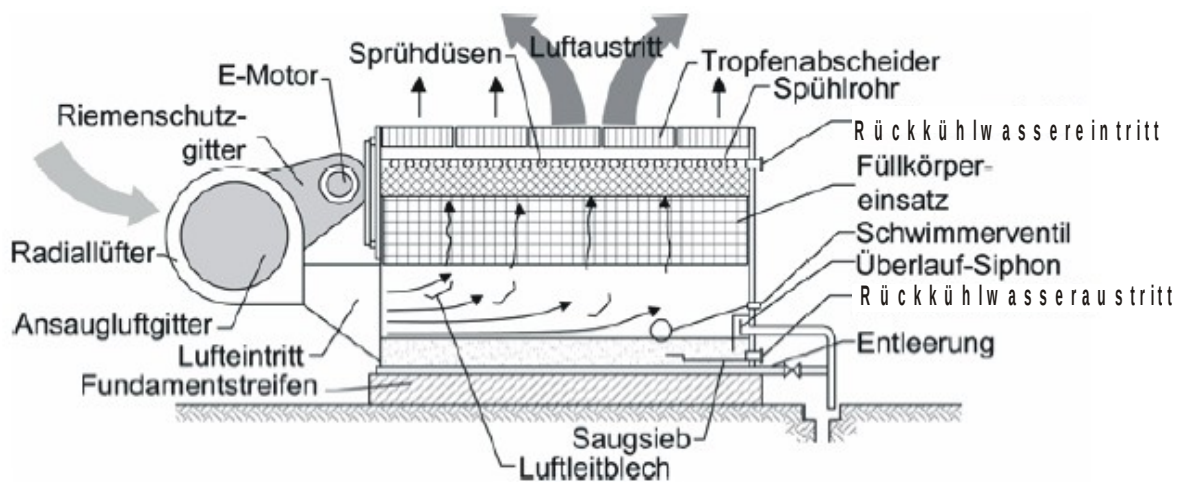
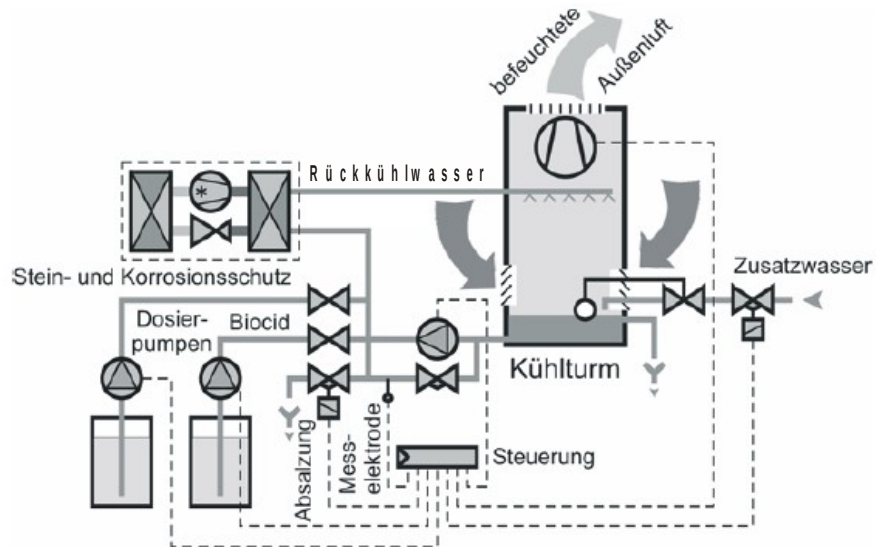


Abbildung 04.24: Verdunstungsrückkühler – Bauteile [15]



Das in Verdunstungsrückkühlern versprühte Kühlwasser bedarf einer regelmäßigen Wasseraufbereitung, um Verkalkung, Veralgung und mikrobiologische Kontamination zu vermeiden.

Abbildung 04.25: Verdunstungsrückkühler mit Wasseraufbereitung [15]



### 04.3.3 Kühltürme

In Verdunstungsrückkühlern kann man auf den Einsatz von Ventilatoren dann verzichten, wenn es gelingt, zur Außenluftförderung durch den Verdunstungsrückkühler die Auftriebswirkung feuchter Luft zu nutzen. Die nach diesem Prinzip konzipierten Rückkühlanlagen werden als "Naturzugkühltürme" bezeichnet. Sie bestehen aus einer turmartigen Schachtkonstruktion, in welche im unteren Bereich Außenluft einströmen kann. Im Schacht wird Kühlwasser versprüht, wobei die Luft im Schacht Feuchtigkeit aufnimmt. Wegen der durch die Befeuchtung verringerten Luftdichte steigt die feuchte Luft im Schacht auf und gelangt im oberen Bereich durch eine große Öffnung wieder ins Freie. Die Auftriebswirkung ist von der Schachthöhe abhängig. In Vergleich zu Verdunstungsrückkühlern mit Ventilatoren erfordern Naturzugkühltürme ein wesentlich größeres Bauvolumen. Für Frostschutz und Kühlwasseraufbereitung bestehen die gleichen Erfordernisse wie für Verdunstungsrückkühler.

### 04.3.4 Rückkühlwasser - Kühlsole

Wasser, das zwischen Kälteversorgungszentralen und Rückkühlanlagen (oder zwischen Wärmepumpen und Wärmeverbrauchern) zum Einsatz kommt, bezeichnet man als "Rückkühlwasser" oder „Kühlsole“. Die Rückkühlwasser-Vorlauftemperaturen liegen üblicherweise im Bereich zwischen + 30°C und + 45°C. Mit tiefen Rückkühlwassertemperaturen ergeben sich bei Betrieb von Kältemaschinen und Wärmepumpen hohe Leistungsziffern. Übliche Temperaturabstände ("Temperaturspreizungen") zwischen "Vorlauf" und "Rücklauf" von Rückkühlwasserkreisläufen liegen zwischen 4 und 10 K. Wenn Rückkühlwasser im Freien

geführt wird, dann ist es durch geeignete Maßnahmen vor Einfrieren zu schützen. Wird dem Rückkühlwasser aus diesem Grunde Frostschutzmittel (z.B. Ethylenglycol) beigemischt, dann steigt sowohl der Kühlwasserbedarf als auch die erforderliche Antriebsenergie für den Wärmetransport, weil sich mit der Frostschutzmittel-Beimischung sowohl die spezifische Wärmekapazität, als auch die Zähigkeit des Wärmeträgers verändert. Ein derart frostgeschützte wässrige Lösung als Wärmeträger wird auch als „Kühlsole“ bezeichnet. Eine andere (energieintensive) Möglichkeit des Frostschutzes im Rückkühlkreislauf besteht im Einsatz elektrischer Begleitheizungen bei frostgefährdeten Rohrleitungen.

## 04.4 KÄLTEVERTEILUNG

Wasser, das für den Kälte transport von Kälteversorgungsanlagen zu Kälteverbrauchern als "Kälte-träger" zum Einsatz kommt, bezeichnet man häufig als "Kühlwasser".

*(Anmerkung: mit "Kaltwasser" wird manchmal auch kaltes Trinkkaltwasser bezeichnet).*

Die Kühlwasser-Vorlauf-temperatur wird für gebäudetechnische Anlagen üblicherweise im Bereich zwischen + 4°C und + 12°C gewählt. Bedarfsabhängige Gleitung dieser Vorlauf-temperatur ermöglicht Kältemaschinenbetrieb mit hohen Leistungsziffern und damit zusammenhängendem geringem Antriebsenergiebedarf. Übliche Temperaturabstände ("Temperaturspreizungen") zwischen "Vorlauf" und "Rücklauf" von Kühlwasserkreisläufen liegen zwischen 4 und 8 K.

Um Kondenswasserbildung an Kühlwasser- Versorgungseinrichtungen zu vermeiden sind alle Kühlwasser führenden Bauteile gegen Kondenswasserbildung mit diffusionsdichten und wärmedämmenden Umhüllungen zu isolieren. Diese Isolierungen bestehen vorzugsweise aus geschlossenzelligem alterungsbeständigem Kunststoff, der an allen Fugen und Stößen mit den Bauteilen diffusionsdicht zu verkleben ist. Bei unzulänglicher Ausführung von Kondenswasser- Isolierungen kann feuchte Umgebungsluft in den Bereich zwischen kalten Bauteilen und Isolierung gelangen, wobei sich dann unter der Kondenswasser-Isolierung Kondenswasser sammelt. In "Zweirohrsystemen" mit "Vor-" und "Rücklauf" zirkuliert das Kühlwasser als Kälte-träger zu den zu kühlenden Gebäudebereichen, wobei jedes Kühlgerät über Regulier- und Absperrarmaturen sowohl an den gemeinsamen Vorlauf- als auch Rücklaufkreislauf anzuschließen ist.

### 04.4.1 Ventilator-konvektoren ("fan-coils")

Zur Raumluftkühlung sind Ventilator-konvektoren auf einfache und vielfältige Weise einsetzbar. Man kann sie als Standgeräte im Brüstungsbereich, als Raumteiler innerhalb von Räumen, in Zwischendecken oder unterhalb von Decken, in Zwischenböden, sowie hinter, über oder in Möbelstücken anordnen. Sie erfordern folgende Anschlüsse:

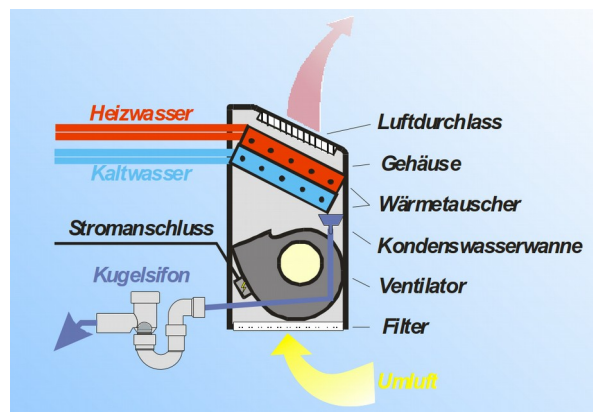
- *Kühlwasserleitungen: Vorlauf und Rücklauf, gegen Kondenswasserbildung isoliert,*
- *Kondensat- Entwässerungsleitung mit zuverlässig wirkendem Geruchsverschluss,*
- *Stromversorgung für Ventilator,*
- *Steuerleitungen für Steuerung und Regelung oder Empfang-Bauteil für Fernbedienung.*

Nur bei Betrieb des Ventilators können Ventilator-konvektoren die Raumluft kühlen oder entfeuchten. Bei Ventilatorstillstand ist ihre Kühlwirkung vernachlässigbar gering. Mit dem



Ventilatorbetrieb ist eine unvermeidbare Geräuschentwicklung verbunden, die durch großzügige Geräteauslegung auf tiefere Geräuschpegel begrenzt werden kann. Mit Ventilator-konvektoren lässt sich die Raumlufthtemperatur sowohl durch Veränderung der Kühlwassertemperatur, als auch durch Veränderung der Ventilator-drehzahl regeln. Wenn Ventilator-konvektoren mit zwei Wärmetauschern ausgerüstet sind, dann lässt sich das gleiche Gerät sowohl für den Heiz-, als auch für den Kühlbetrieb einsetzen. Bei Auswahl der Baugröße und Anordnung von Ventilator-konvektoren sind die Luftströmungsverhältnisse sowohl für den Vollast- als auch für den Teillastbetrieb sorgfältig zu beachten. Im Aufenthaltsbereich dürfen die von Ventilator-konvektoren verursachten Luftbewegungen die zumutbaren Grenzwerte jedenfalls nicht überschreiten (Tabellen 01.9 und 01.12).

**Abbildung 04.26: Ventilator-konvektor ("fan-coil") mit Heiz- und Kühlfunktion**



Geräte, die zur Raumlufthkühlung eingesetzt werden, können an ihren Kühlflächen Kondenswasser ausscheiden. Um für derartige mögliche Betriebsfälle vorzusorgen sollte unter jedem Wärmetauscher zur Raumlufthkühlung eine Kondenswasser- Auffangwanne angeordnet werden, von welcher fallweise anfallendes Kondenswasser über Sammelleitungen in das Entwässerungssystem des jeweiligen Gebäudes abgeleitet werden kann. Vor Einmündung der Kondenswasser- Sammelleitungen in das Entwässerungssystem von Gebäuden sind unbedingt mechanisch wirkende Geruchsverschlüsse (z.B. Kugelsifone) anzuordnen. Sifone mit Wasservorlage dürfen dabei keinesfalls zum Einsatz kommen, weil Kondenswasser nur selten anfällt, das Sperrwasser der Wasservorlage im Verlauf der Zeit verdunstet, und dann die mit Raumkühlanlagen ausgestatteten Räume über die Entwässerungsleitungen mit allen Gerüchen eines Entwässerungssystems belastet werden können.

**Abbildung 04.27: Ventilator-konvektor ("fan-coils") zur Umluftkühlung**

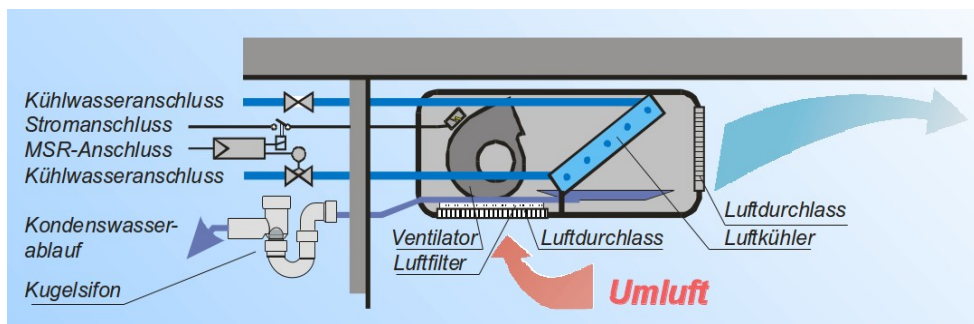
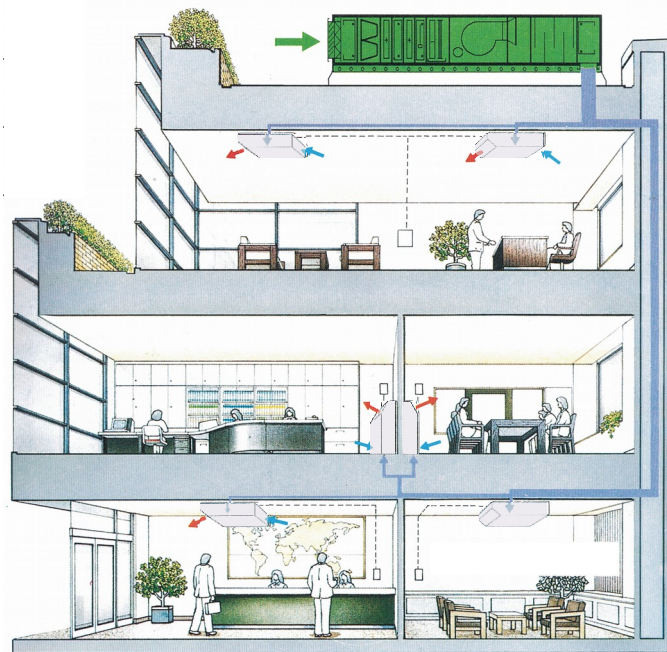


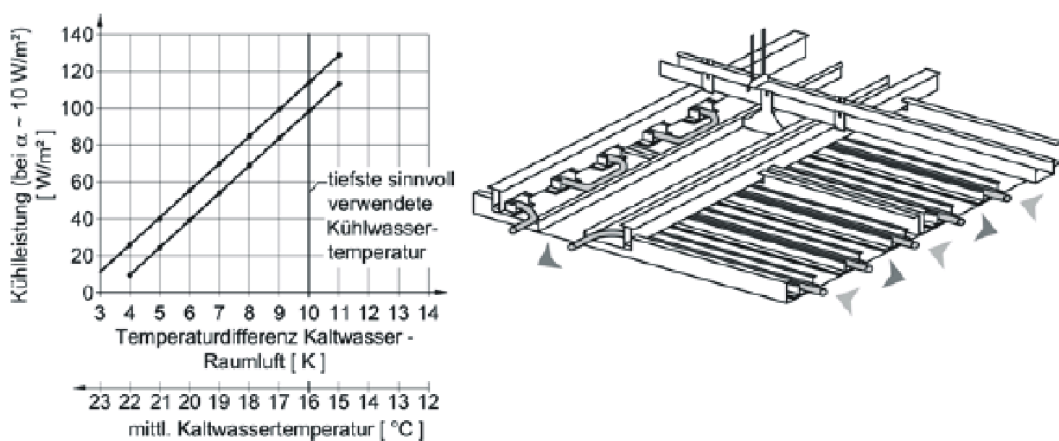
Abbildung 04.28: Ventilator-konvektoren ("fan-coils") mit Zusatzfunktion als Zuluftdurchlässe



#### 04.4.2 Kühldecken

Um "stille Kühlung" (ohne Geräuschentwicklung durch Ventilatoren) zu ermöglichen, wurden Deckenkühlsysteme in ähnlicher Bauweise wie Deckenstrahlungsheizungen entwickelt. In Gegensatz zu Ventilator-konvektoren ist damit eine Luftentfeuchtung zwar möglich, jedoch höchst unerwünscht. An den Kühlflächen kann Kondenswasser anfallen, sobald die "Taupunkttemperatur" der Raumluft über die Oberflächentemperatur der Kühlflächen ansteigt.

Abbildung 04.29: Kühldecke [15] [25]



Dieses Risiko besteht jedenfalls, wenn bei schwülem Wetter mit hoher Luftfeuchtigkeit in gekühlten Räumen Fenster geöffnet werden. Um dieses Risiko in Grenzen zu halten sollten Kühldecken deshalb möglichst mit Kühlwassertemperaturen über  $\sim + 15^{\circ}\text{C}$  betrieben werden (Abbildung 13.8). Das verbleibende Restrisiko einer Kondenswasserbildung im Decken-

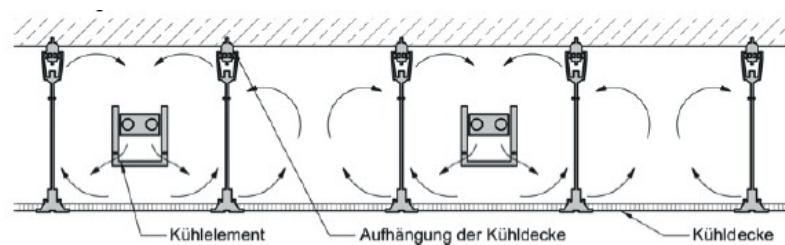


bereich versucht man mitunter dadurch abzumindern, dass man im Gefahrenfall eine automatisierte Unterbrechung der Kühlwasserversorgung von Deckenkühlflächen veranlasst (z.B. durch Einsatz von Taupunktfehlern). Die spezifische Kühlleistung von Deckenkühlsystemen liegt gemäß Abbildung 04.29 im Bereich von 50 bis 80 W/m<sup>2</sup>.

#### 04.4.3 Kühlbalken

Wenn im Deckenbereich ausreichend Platz zur Verfügung steht, dann lassen sich dort auch Kühlbalken anordnen, die mit Konvektoren zur Raumheizung eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen. Bei geeigneter Bauweise kann eventuell anfallendes Kondenswasser über Auffangwannen in ein Entwässerungssystem abgeleitet werden. Zur Steigerung der Kühlleistung von Kühlbalken werden diese mitunter mit Zuluftdurchlässen kombiniert, um mit der Luftgeschwindigkeit an den Kühlflächen auch die Kühlleistung der Kühlbalken zu erhöhen. Die Zweckmäßigkeit dieser Konzeption ist prüfenswert, weil der Lufterneuerungsbedarf nur selten mit dem Kühlbedarf übereinstimmt.

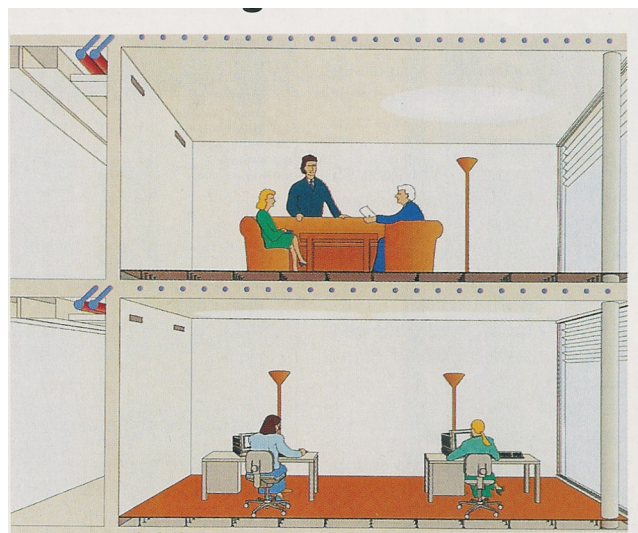
Abbildung 04.30: Kühlbalken [15]



#### 04.4.4 Bauteilkühlung

Eine weitere Möglichkeit "stiller Kühlung" besteht darin, Rohrleitungen im Betonkern von Decken oder Böden anzuordnen, durch welche Kühlwasser geleitet werden kann.

Abbildung 04.31: Bauteilkühlung



Bei dieser Methode wird die Speicherfähigkeit der Bauteilmasse bestens genutzt. Derartige Systeme können allerdings auf Kühllastveränderungen nur mit Verzögerung reagieren. Auf zufriedenstellende Weise sind sie zur "Grundlastkühlung" einsetzbar. Für Bauteilkühlung kommen in den meisten Fällen Kunststoffrohre zum Einsatz, die zur Vermeidung von Sauerstoffdiffusion mit Spezialfolien umhüllt, und mit Schutzschichten aus Kunststoff ummantelt sind.

Um im Bauteil die Kondensation von diffundierendem Wasserdampf an kühlwasserführenden Rohroberflächen zu vermeiden darf die Kühlwassertemperatur nicht unter der Taupunkttemperatur der Raumluft liegen, die in Sommermonaten Höchstwerte bis zu etwa  $+17^{\circ}\text{C}$  erreichen kann (Abbildung 13.8). Mit derart hohen Kühlwassertemperaturen sinken die spezifischen Kühlleistungen von Bauteilkühlflächen auf derart geringe Werte, dass zur Kühllastabdeckung kaum genügend Bauteilkühlflächen zur Verfügung stehen und deshalb die verbleibende Kühllast auf andere Weise (z.B. mit Ventilator-konvektoren) abgedeckt werden muss.

## 04.5 BAULICHE VORKEHRUNGEN

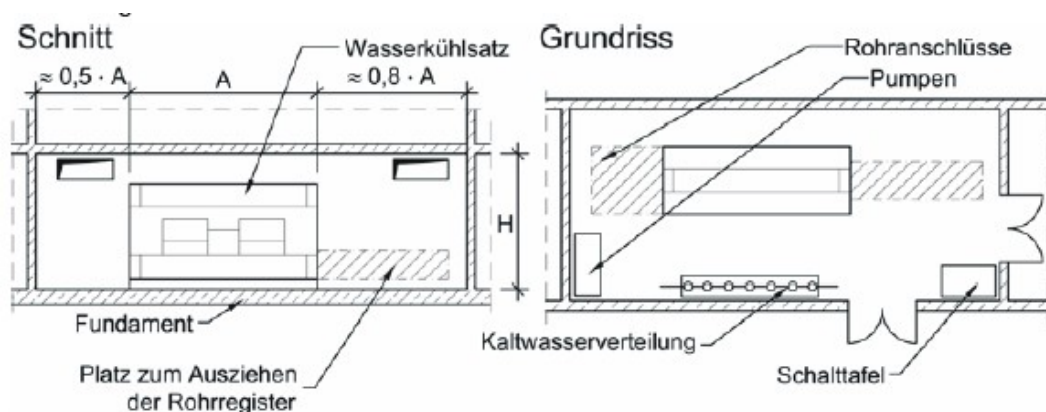
Technikräume für zentrale Anlagen werden vorzugsweise in Dach- oder Kellerbereichen angeordnet. Von Technikräumen sollten vorzugsweise vertikale Installationsschächte ausgehen, die mit den Technikräumen gemeinsame Brandabschnitte bilden. Für die gebäudetechnische Geschoßversorgung werden diese Installationsschächte häufig mit horizontalen Installationstrassen verbunden, die in Gangbereichen über abgehängten Zwischendecken untergebracht sind.

Der Zugang zu Technikräumen soll über allgemein zugängliche Verkehrswege erfolgen und technischen Gebäudebetreuern jederzeit ermöglicht werden (ohne Störung sonstiger Gebäudenutzer). Bei Hochhäusern kann sich eine Gliederung mehrerer Stockwerke zu Versorgungsbereichen (bis zu etwa 16 Geschoßen) als zweckmäßig erweisen, wobei jeder Versorgungsbereich einem zentral angeordneten Technikraum zugeordnet wird.

### 04.5.1 Kältemaschinenräume

Kältemaschinen werden über Rückkühlleitungen mit den Rückkühlanlagen verbunden.

Abbildung 04.32: Kältemaschinenraum [15]



Für die erforderlichen Rohrleitungen sind gegebenenfalls Installationsschächte und Installationstrassen vorzusehen. Wenn Kältemaschinen nicht als witterungsbeständige Baueinheiten im Freien aufgestellt werden, sind sie in Kältemaschinenräumen unterzubringen, die vorzugsweise frostfrei zu halten sind.

Für eine überschlägige Vorbemessung des Platzbedarfes von Kältemaschinenräumen können nachfolgende Tabellen herangezogen werden:

**Tabelle 04.11: Platzbedarf – Richtwerte für Kältemaschinenräume [08] [15]**

Kälteleistung		Grundfläche	Raumhöhe
<i>MW</i>		<i>m<sup>2</sup></i>	<i>m</i>
0,00	bis 0,10	~ 20	~ 3,0
0,10	bis 0,40	~ 50	~ 4,0
0,40	bis 1,20	~ 80	~ 4,5
1,20	bis 3,50	~110	~ 5,0

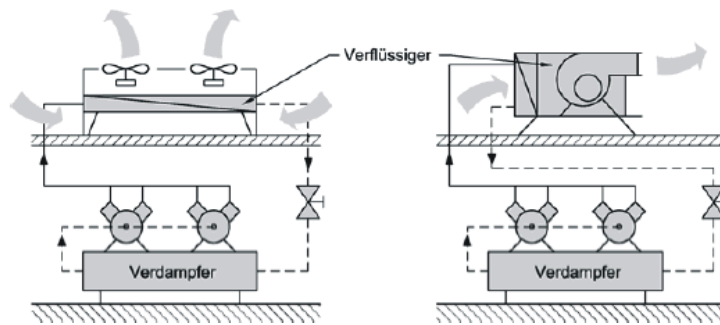
Bei der Aufstellung von Kältemaschinen sind gesetzliche Vorschriften und technische Richtlinien zu beachten. Kältemaschinenräume müssen mit Lüftungseinrichtungen ausgestattet sein, um zu hohe Raumtemperaturen zu vermeiden und bei Kältemittelverlusten eine Grenzwertüberschreitung von Luftschadstoffen zu verhindern. Bei der Anordnung von Kältemaschinen ist auf ausreichende Raumhöhe zur Anbringung von Hebezeugen oberhalb der Maschinen zu achten. Gute Zugänglichkeit von allen Seiten erleichtert die Wartung und eventuell anfallende Reparaturarbeiten. Bei Rohrbündelaustauschern ist nach einer Seite ausreichend Platz vorzusehen, um bei Wartungsarbeiten mit Reinigungsbürsten hantieren, und um Rohre notfalls nach einer Seite hin ausbauen zu können. Nach Möglichkeit ist ein Kältemaschinenraum an ein Entwässerungssystem anzuschließen.

Zur Vermeidung von Körperschallübertragung sind Kältemaschinen auf schwingungsdämpfenden Unterlagen aufzustellen. Es empfiehlt sich, deren Wirksamkeit zu präzisieren und dafür bereits vor Aufstellung von Kältemaschinen Bemessungsnachweise anzufordern.

## 04.5.2 Rückkühlanlagen

Rückkühlanlagen geben die dem Gebäude entzogene Wärme und die Antriebsenergie von Kältemaschinen an die Außenluft ab und sind deshalb nach Möglichkeit im Freien anzuordnen. Bei Anordnung in Gebäuden erfordern Rückkühlanlagen in Vergleich zur Außenaufstellung einen hohen Aufwand für umbauten Raum für den Kühllufttransport, und höheren Energieaufwand zur Förderung von Kühlluft-Volumenströmen. Die unterschiedlichen Ausführungsarten von Rückkühlanlagen wirken sich erheblich auf deren Platzbedarf aus.

Abbildung 04.33: Luftgekühlte Kältemittelverflüssiger (Kondensatoren) [15]



Weil das in Rückkühlanlagen zirkulierende Rückkühlwasser bei tiefen Außentemperaturen auch unter die Frostgrenze abgekühlt werden kann muss dem Rückkühlwasser Frostschutzmittel zugemischt werden (z.B. Mischungen von Wasser mit etwa 30 % Ethylenglycol).

Die nachfolgend angeführten Richtwerte für den Platzbedarf von Rückkühlanlagen sind mit Vorsicht zu handhaben und nur dann heranzuziehen, wenn zur Ausführungsart noch keine konkreten Vorstellungen bestehen:

Tabelle 04.12: Platzbedarf – Richtwerte für Rückkühlanlagen [15] [25]

Kälteleistung <i>MW</i>	Grundfläche <i>m<sup>2</sup></i>	Raumhöhe <i>m</i>	Gewicht <i>t</i>
0,00 bis 0,10	~ 15	~ 2,8	0,4 bis 1,0
0,10 bis 0,40	~ 30	~ 3,2	1,0 bis 3,0
0,40 bis 1,20	~ 60	~ 3,6	3,0 bis 6,0
1,20 bis 3,50	~120	~ 4,0	6,0 bis 12,0

Bei der Anordnung luftgekühlte Kältemittelverflüssiger im verbauten Gebiet kann die Geräuschemission der Kühlluftventilatoren Anrainer belästigen. Bei der Anlagenbemessung sind deshalb die jeweils aktuellen (behördlich genehmigten) Grenzen zumutbarer Lärmbelästigung der Nachbarschaft zu beachten und bei Betrieb einzuhalten.

### 04.5.3 Installationsschächte und Installationstrassen

Senkrechte Leitungen gebäudetechnischer Anlagen werden nach Möglichkeit in dafür ausgebildeten "Installations-Schächten" untergebracht. Die horizontale Leitungsführung erfolgt in "Installations-Trassen". Diese Schächte und Trassen dienen der Verbindung gebäudetechnischer Zentralanlagen mit Nutzungsbereichen und sollten nach Möglichkeit folgenden Anforderungen entsprechen:

- Kurze Verbindungen zwischen Technikräumen und Nutzungsbereichen.
- Zugänglichkeit aller in Schächten und Trassen angeordneten Armaturen ohne Störung von Wohn- oder Arbeitsbereichen (möglichst von Verkehrswegen, Technik- oder Nebenräumen).
- Angemessene Platzreserven für künftige Installationen, die bei allfälligen Widmungsänderungen nachgerüstet werden könnten.
- Verbindung von Schächten und Technikräumen zu gemeinsamen Brandabschnitten.

#### 04.5.4 Gegenüberstellung von Konzeptionen zur Raumkühlung

##### **Dezentrale Umluftkühlung mit Split-Geräten**

Zur Kühlung kleiner Raumvolumina (bis etwa 500 m<sup>3</sup>) kommen vorzugsweise Split-Geräte zum Einsatz. Dabei werden die in den zu kühlenden Räumen als "Direktverdampfer" ausgeführten Innengeräten über Kältemittelleitungen mit Außengeräten ("Kondensatoren") verbunden, die im Freien anzuordnen sind, um die den Räumen entzogene Wärme an die Umgebung abgeben zu können. Das dabei als Kälte Träger genutzte Kältemittel ist wesentlich teurer als Wasser und entsorgungspflichtig. Ein Vorteil in Vergleich zu Wasser besteht darin, dass es bei üblichen winterlichen Außentemperaturen nicht einfrieren kann.

##### **Zentrale Kälteversorgung**

Zur Kühlung größerer Raumvolumina (über etwa 500 m<sup>3</sup>) werden aus wirtschaftlichen Überlegungen Systeme mit zentraler Kälteversorgung mit Wasser als Kälte Träger bevorzugt. Dabei können entweder kompakte Aggregate im Freien angeordnet werden, die aus einer Kombination von Kältemaschine und luftgekühlten Kondensatoren bestehen, oder es werden Kältemaschinen in frostfreien Technikräumen angeordnet, die über (mit Frostschutzmittel gefüllten) Rückkühlleitungen mit im Freien angeordneten Rückkühlwerken (luftgekühlten Kondensatoren) verbunden sind. Im frostfreien Gebäudebereich kommt als Kälte Träger zwischen Kältemaschinen und Raumkühlgeräten Wasser zum Einsatz - in ähnlicher Weise wie bei Zentralheizungssystemen.

##### **Grundsätze für energieeffizienten Raumklima-Beeinflussung:**

- *Bedarfsabhängige Luftmengenregelung in Aufenthaltsräumen:  
Mechanische Lüfterneuerung in geschlossenen Aufenthaltsräumen soll durch Einsatz von Präsenz- und/oder CO<sub>2</sub>-Fühlern in Abhängigkeit vom Aufenthalt der Personen gesteuert oder geregelt werden. Bei Nutzung von Fensterkontakten kann darüber hinaus die mechanische Lüftung unterbrochen werden, solange Fenster in diesen Räumen geöffnet sind.*
- *Dezentralisierung der Raumheizung  
Die Raumheizung soll unabhängig von der Luftkonditionierung (Klimaanlage) über dezentral geregelte Heizflächen erfolgen.*
- *Dezentralisierung der Raumkühlung  
Die Raumkühlung soll unabhängig von der Luftkonditionierung (Klimaanlage) über dezentral geregelte Ventilator Konvektoren erfolgen.*
- *Luftbefeuchtung  
bei Einsatz regenerativer Wärmerückgewinnungsanlagen ist zu prüfen, ob der Einsatz zentraler Luftbefeuchtungsanlagen entbehrlich ist. Bei räumlich unterschiedlichen Anforderungen an die Raumluftfeuchtigkeit ist der Einsatz dezentraler Luftbefeuchtungsgeräte zu erwägen.*

### **Eignung von gekühlter Außenluft zur Raumluftkühlung ...:**

Wenn Klimaanlage zur Lüfterneuerung zum Einsatz kommen sollen wird mitunter überlegt, ob mit der erneuerten gekühlten Luft nicht auch gleichzeitig eine ausreichende Raumluftkühlung verwirklicht werden könnte.

Gegen eine derartige Kühlungskonzeption sprechen folgende Überlegungen:

- Die **Außenluftmenge** muss von der Außenlufttemperatur auf Raumlufttemperatur gekühlt werden. Nur bei weiterer Kühlung unter die gewünschte Raumlufttemperatur kann sie zur Raumkühlung beitragen.
- Um Zugerscheinungen in Aufenthaltsräumen zu vermeiden soll die Zulufttemperatur einen Erfahrungsgrenzwert von  $\sim +19^\circ\text{C}$  nicht unterschreiten.
- Die für eine Raumkühlung erforderliche **Umluftmenge** muss von Raumlufttemperatur auf Zulufttemperatur ( $> +19^\circ\text{C}$ ) gekühlt werden.
- Die zur Raumluftkühlung erforderlichen Umluftmengen sind meistens bedeutend größer als die zur Raumlüfterneuerung erforderlichen personenbezogenen Außenluftmengen.

Diese Überlegungen sollen am Beispiel des in Abbildung 04.6 dargestellte Büroraumes CR 05 deutlich gemacht werden, für den in Tabelle 4.10 eine Kühllast von 1.566 W ermittelt worden ist:

#### **Annahmen:**

36 m<sup>3</sup>/h personenbezogene Außenlufttrate (gem. Tab. 01.13 für Luftqualitätskategorie „I“)

100 W personenbezogene Wärmeabgabe im Ruhezustand (gemäß Tabelle 01.4)

6 K maximal mögliche Zulufterwärmung im Raum (z.B. von  $+19^\circ\text{C}$  auf  $+25^\circ\text{C}$ )

Erfahrungsgemäß soll die Zulufttemperatur in Aufenthaltsräumen  $+19^\circ\text{C}$  nicht unterschreiten, um Zugerscheinungen zu vermeiden.

Ermittlung des Beitrages zur Kühllastabdeckung durch die für eine Person mit 36 m<sup>3</sup>/h vorgesehene Lüfterneuerung nach Gleichung 01.15:

$$P = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta \quad \text{in [W]} \quad (04.13)$$

mit:	V	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]	
	$\rho$	Luftdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	( $\sim 1,2$ siehe Abbildung 13.6 [100])
	$c_p$	spez. Wärme der Luft	[Wh/(kg·K)]	( $\sim 0,279$ gemäß Tabelle 01.7 [100])
	$\Delta\theta$	Zulufterwärmung	[K]	

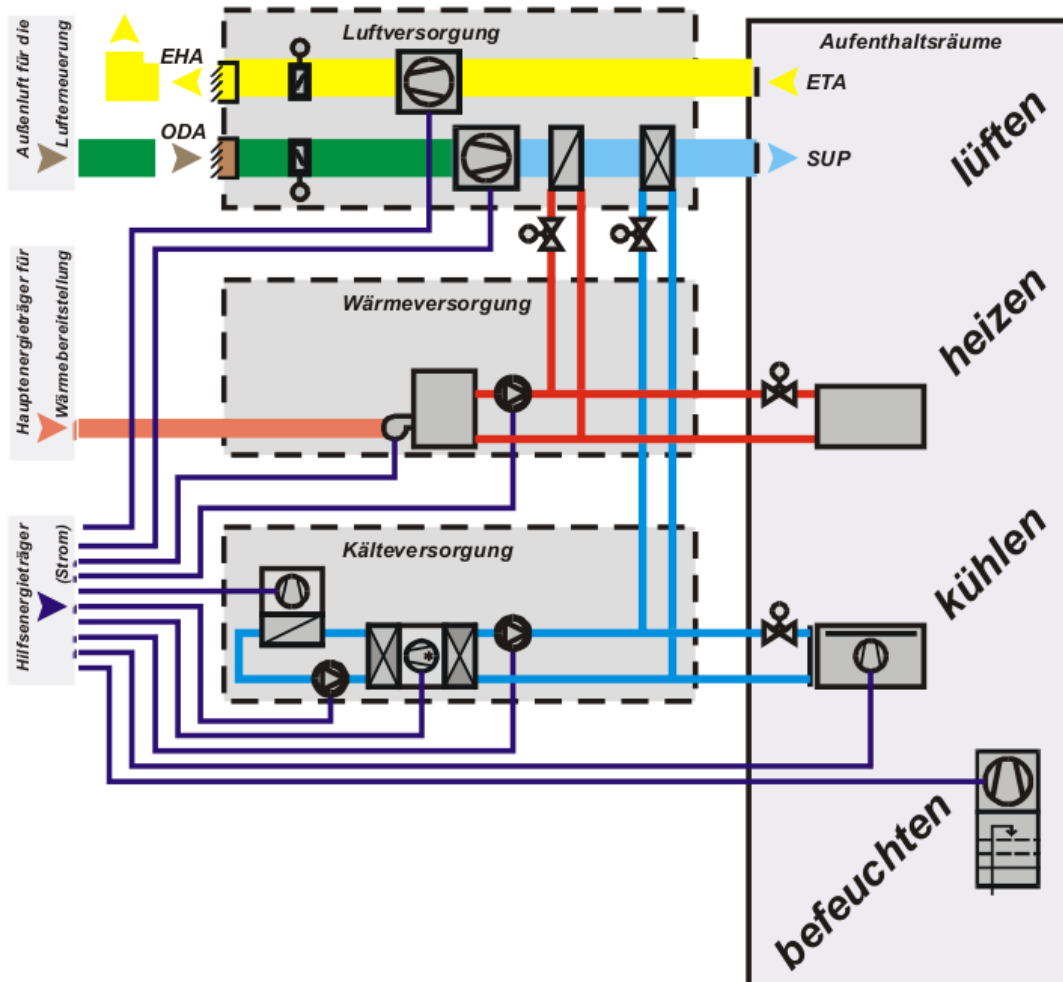
$$P = 36 \text{ [m}^3\text{/h]} \cdot 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]} \cdot 0,279 \text{ [Wh/(kg}\cdot\text{K)]} \cdot 6 \text{ [K]} = 72,3 \text{ [W]}$$

$$\text{Wärmeabgabe einer ruhenden Person (Grundumsatz)} \quad 100 \text{ [W]}$$

Der mögliche Beitrag der personenbezogenen Lüfterneuerung zur Kühllastabdeckung wurde mit  $\sim 72 \text{ W}$  ermittelt.. Dieser Beitrag liegt unter der mit 100 W anzunehmenden Wärmeabgabe einer ruhenden Person an die Umgebung - und erheblich unter der für Büroraum CR 05 mit 1.566 W ermittelten Kühllast..



Abbildung 04.34: Methoden der Raumklima-Beeinflussung



## 04.6 LITERATURHINWEISE

Die Aktualität von Normen (mit Ausgabejahr) ist vor deren Anwendung zu überprüfen  
<https://shop.austrian-standards.at>

- [08] Recknagel Sprenger Schramek „Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik“ ISBN 978-3-8356-3118-2
- [15] Pech, Jens „Baukonstruktionen Band 15 Heizung und Kühlung“ ISBN 3-211-21501-8 Springer Wien New York
- [23] ÖNORM H 6040 (2012) "Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast und der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden" (Ergänzende Bestimmungen zu den ÖNORMEN EN 15255 und EN ISO 13791)
- [24] VDI 2078 (2015) Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
- [25] Daniels, „Gebäudetechnik“ ISBN 3-486-26247-5
- [100] Technische Gebäudeausstattung -TU Wien Kapitel 01 bis 13  
<http://www.hochbau.tuwien.ac.at/lehre/downloads/>
- [143] ÖNORM H 6040 (1994) "Lüftungstechnische Anlagen – Kühllastberechnung" Ersetzt durch Ausgaben ÖNORM H 6040 (2017) und ÖNORM EN 15255 (2007)