TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

Dipl.-Ing.
KLAUS **JENS**

VORLESUNGEN ÜBER

TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

KAPITEL:

1 GRUNDLAGEN
2 WASSER
3 WÄRME
4 KÄLTE
5 LUFT
6 INFORMATION
7 STROM
8 TRANSPORT
9 SICHERHEIT
10 PROJEKTIERUNG

TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

Kapitel *Seite*

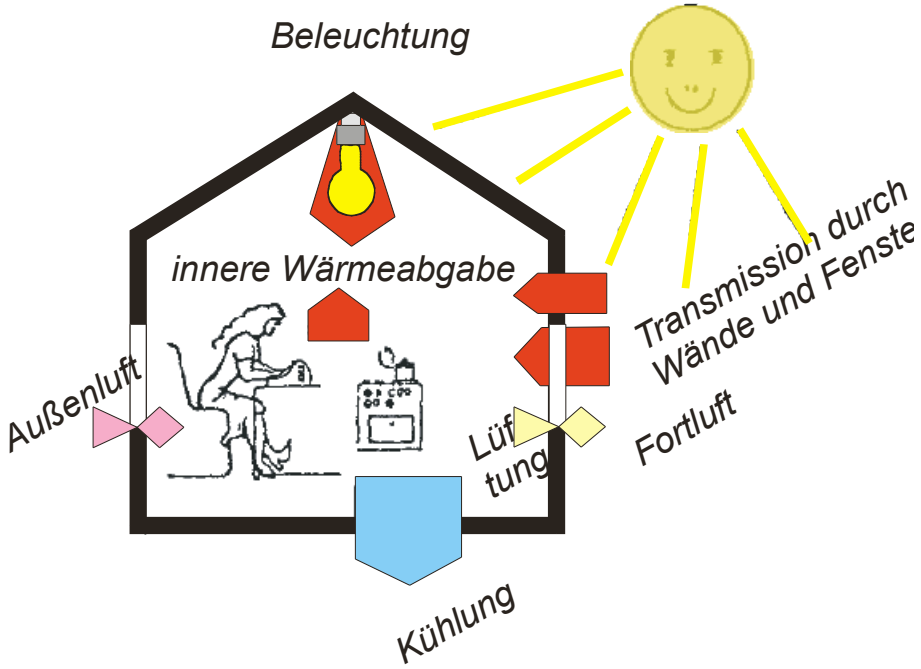
4	**KÜHLUNG**	**3**
4.1	**KÜHLLASTERMITTLUNG**	**3**
4.2	**KOMPRESSIONS- KÄLTEANLAGEN**	**15**
4.3	**KÄLTEMITTEL**	**18**
4.4	**ABSORPTIONS- KÄLTEANLAGEN**	**18**
4.5	**PELTIER- KÄLTEANLAGEN**	**19**
4.6	**RÜCKKÜHLANLAGEN**	**20**
4.7	**FENSTERKLIMAGERÄTE**	**22**
4.8	**SPLIT- GERÄTE**	**23**
4.9	**KALTWASSERKREISLAUF FÜR VENTILATORKONVEKTOREN**	**24**
4.10	**KÄLTEVERTEILUNG**	**25**
4.11	**BAULICHE VORKEHRUNGEN**	**27**
4.12	**LITERATURHINWEISE**	**28**

4 KÜHLUNG

4.1 Kühllastermittlung

Um eine Kälteanlage bemessen zu können ist zunächst jene Kühlleistung zu ermitteln, die auch unter ungünstigsten Betriebsbedingungen zur Aufrechterhaltung gewünschter Raumtemperaturen der zu kühlenden Räume benötigt wird.

Wärmeströme durch die Gebäudehülle *Abbildung A 04.01*



Mit ***"Kühllast"*** wird jener Wärmestrom bezeichnet, der aus einem Raum abzuführen ist, um eine vorgegebene Raumlufttemperatur halten zu können. Es werden dabei folgende Arten unterschieden[1]

- ***Kühllastverlauf:*** Verlauf der stundenweise ermittelten Kühllast eines Raumes während 24 Stunden
- ***Nennkühllast:*** Höchster Wert der Kühllast eines Raumes im Verlauf eines Tages im eingeschwungenen Zustand.
- ***Gebäudekühllast:*** Summe aller in einem Objekt gleichzeitig auftretenden Kühllasten.
- ***Gebäude- Nennkühllast:*** Höchster Wert der Gebäudekühllast im Verlauf eines Tages und im eingeschwungenen Zustand.

Bei Objekten mit vielen Räumen und unterschiedlichen Orientierungen (oder Nutzunge) treten die Nennkühllasten aller Räume nicht gleichzeitig auf. Die Geräteleistungen der Raumkühlgeräte müssen den Nennkühllasten der betreffenden Räume entsprechen, die Kälteleistung

einer Kälteversorgungsanlage ist hingegen nicht für die Summe dieser Nennkühllasten auszulegen, sondern soll der Gebäude- Nennkühllast entsprechen, um Überdimensionierungen und damit verbundene entbehrliche Investitionskosten zu vermeiden.

Die Kühllast *(höchste anzunehmende "Kälteleistung")* dient der Bemessung von Kälteversorgungs- und Kälteverteileinrichtungen für einen festgelegten Extremfall, gibt jedoch keinen Anhaltspunkt über den erforderlichen Jahreskältebedarf eines Gebäudes

Tabelle T 04.01

GLIEDERUNG DER KÜHLLASTBERECHNUNG *nach ÖNORM H 2040 (Österreich) oder VDI 2078 (Deutschland)*		
äussere Wärmegewinne	***Kühllast (Kältebedarf) =*** ***+ innere Wärmegewinne***	***+ Lüftungskältebedarf***
Einflussgrössen :	***Einflussgrössen :***	***Einflussgrössen :***
o Außentemperatur	o Anzahl anwesender Personen	o Außenlufttemperatur
o Solare Einstrahlungsintensität	o Aktivität anwesender Personen	o Außenluftfeuchte
o geforderte Raumlufttmperatur	o Intensität der Beleuchtung	o geforderte Raumlufttemperatur
o Größe der Bauteile	o Anschlusswerte elektrischer Geräte	o geforderte Raumluftfeuchte
o Wärmedämmung der Bauteile	o Gleichzeitigkeit des Geräteeinsatzes	o geforderte Raumlufterneuerung
o Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile		
o Größe der Fensterflächen		
o Orientierung der Fensterflächen		
o Durchlassfaktoren von Verglasungen		
o Durchlassfaktoren des Sonnenschutzes		

Diese Normen ermöglichen neben der Kühllastermittlung auch die Errechnung von Raumtemperaturverläufen für Situationen ohne Raumkühlung oder bei begrenzter verfügbarer Kühlleistung.

Die genormten Rechenverfahren zur Ermittlung der "Norm- Kühllast Φ_{KL}" gliedern sich in die Ermittlung von:

- ***Transmissionswärmegewinnen***
- ***Strahlungswärmegewinnen,***
- ***inneren Wärmegewinnen,***
- ***Lüftungswärmegewinnen, sowie***
- ***Energiebedarf für allfällige Luftentfeuchtung***

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

Kühllast = innere + äußere Kühllasten: *Gleichung G 04.01*

Größen	$\Phi_K(t)$ =	$\Phi_h(t)$ +	$\Phi_e(t)$
Einheiten	[W]	[W]	[W]

$\Phi_K(t)$ *zeitabhängige Kühllast*
$\Phi_h(t)$ *zeitabhängige innere Kühllasten*
$\Phi_e(t)$ *zeitabhängige äußere Kühllasten*

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

innere Kühllasten: *Gleichung G 04.02*

Größen	$\Phi_h(t)$	=	$\Phi_M(t)$	+	$\Phi_B(t)$	+	$\Phi_N(t)$
Einheiten	[W]		[W]		[W]		[W]

$\Phi_M(t)$ *Wärmeabgabe von Personen*
$\Phi_B(t)$ *Beleuchtungswärmeabgabe*
$\Phi_N(t)$ *Wärmeabgabe durch Einrichtungen*

Wärmeabgabe von Personen :

Die Wärmeabgabe von Personen ist von deren Aktivitätsgrad abhängig. Für die Kühllastberechnung ist nur der Anteil der „trockenen“ (sensiblen) Wärmeabgabe zu berücksichtigen. Die Höchstzahl gleichzeitig anwesender Personen ist mit den Geltungsbereichen festzulegen.

Wärmeabgabe von Personen *Tabelle T 04.02*

Körperliche Beanspruchung	***Aktivitätsniveau***	***Gesamtwärmeabgabe/Person*** p_M W
stark	schwerste körperliche Arbeit schwere körperliche Arbeit	bis 700 300
normal	mittelschwere Arbeit leichte manuelle Arbeit im Stehen	200 150
gering	leichte manuelle Arbeit im Sitzen ruhig sitzen (lesen und schreiben)	120 100

Beleuchtungswärme :

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.

Wärmeabgabe von Beleuchtungskörpern *Tabelle T 04.03*

Nennbeleuchtungsstärke lx	**Flächenbezogene Anschlussleistung p_B**	
	Glühlampen W/m?	Entladungslampen W/m?
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 bia 18
200	40 bis 50	8 bis 16
100	20 bis 25	4 bis 8

Wärmeabgabe durch Einrichtungen :

Bei Maschinen und Geräten ist anzunehmen, dass die gesamte im Raum umgesetzte Energie als Wärme frei wird. Wenn ein Teil dieser Wärme durch örtliche Absaugung unmittelbar aus dem Raum abgeführt wird, dann ist dieser Wärmeanteil nicht zu berücksichtigen.

Wärmeabgabe von Geräten *Tabelle T 04.04*

Einrichtung Geräteart	Anschluss-wert ca. W	Benut-zungs-dauer Minuten / h	Wärmeabgabe p_N (sensibel) W
Tisch- Computer	120	60	50
Bildschirm/Terminal	60	60	30
Drucker	20	15	5
Plotter	30	15	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
Sterilisierapparat	1000	30	500

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

äußere Kühllasten: *Gleichung G 04.03*

Größen	$\Phi_e(t)$	=	$\Phi_{e,S}(t)$	+ $\Phi_{e,T}(t)$	+ $\Phi_{e,V}(t)$
Einheiten	[W]		[W]	[W]	[W]

$\Phi_e(t)$ *äußere Kühllast eines Raumes*
$\Phi_{e,S}(t)$ *Wärmezufuhr durch Strahlung über transparente Außenbauteile*
$\Phi_{e,T}(t)$ *Wärmezufuhr durch Transmission über Außenbauteile*
$\Phi_{e,V}(t)$ *Wärmezufuhr durch Außenluft*

Wärmezufuhr durch Strahlung über transparente Außenbauteile:

Als transparente Außenbauteile werden im Wesentlichen Fenster einschließlich ihrer äußeren und inneren Sonnenschutzeinrichtungen berücksichtigt.

Strahlungswärmegewinn: *Gleichung G 04.04*

Größen	$\Phi_{e,S}(t) = \Sigma [A_1 \cdot I_{max} + (A_K - A_1) \cdot I_{dif,max}] \cdot b \cdot s_a$
Einheiten	[W] [m²] [W / m²] [m2] [W / m²]

$\Phi_{e,S}$ *Strahlungswärmegewinn durch Glasflächen*
A_1 *besonnte Glasfläche*
I_{max} *Maximalwert der Gesamtstrahlung für den Auslegungsmonat*
A_K *Gesamte Glasfläche*
$I_{dif,\,max}$ *Maximalwert der Diffusstrahlung (N) für den Auslegungsmonat*
b *Durchlassfaktor für Fenster und Sonnenschutzeinrichtungen*
s_a *Speicherfaktor für äußere Strahlungslasten (Kühllastfaktor)*

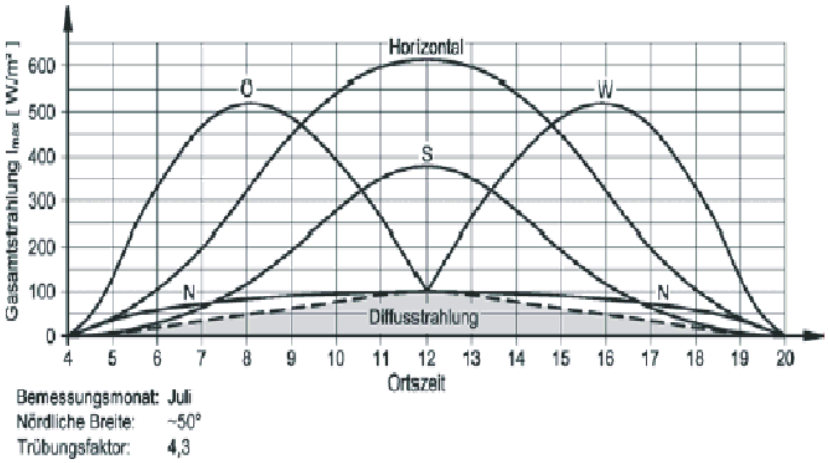
Die Strahlungswärmezufuhr durch Glasflächen dominiert in vielen Fällen das Ergebnis von Kühllastberechnungen. Durch Beschattungseinrichtungen lässt sie sich erheblich abmindern. Die Strahlungswerte „I_{max}“ und „$I_{dif,max}$“ sind von der Region, der Trübung der Atmosphäre sowie von der Jahres- und Tageszeit abhängig. In Richtlinie VDI 2078 wurden dafür folgende Rechenwerte veröffentlicht:

Gesamtstrahlung I_{max} und $I_{dif,max}$ durch zweifach verglaste Flächen[2] : *Tabelle T 04.05*

Jahreszeit	Monatliche Maxima der Gesamtstrahlung I_{max}								~ $I_{dif,max}$
		Himmelsrichtung [1)]							
	Normal	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N [2)]
	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?	W/m?
Jänner	650	45	279	526	612	526	279	45	46
Februar	706	68	373	581	627	581	373	68	59
März	762	179	477	607	599	607	477	179	74
April	780	307	551	570	509	570	551	307	86
Mai	778	384	563	507	400	507	563	384	93
Juni	747	385	533	458	347	458	533	385	97
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

[1)] *Maxima bezogen auf Trübungs- Mittelwerte minus Standardabweichung*
[2)] *N- Maxima bezogen auf Trübungs- Mittelwerte; $I_{dif,max}$ entspricht Himmelsrichtung N*

Abbildung A04.02



Mit dem Durchlassfaktor b für Fenster und Sonnenschutzeinrichtungen wird jener Anteil der Strahlungsleistung ermittelt, der von außen durch Fenster und Sonnenschutzeinrichtungen nach innen gelangt. Unter anderem wurden dafür folgende Rechenwerte veröffentlicht:

Mittlerer Durchlassfaktor b der Sonnenstrahlung : *Tabelle T 04.06*

Mittlerer Durchlaßfaktor b der Sonnenstrahlung			
Gläser	**b**	**Sonnenschutzvorrichtungen**	**b**
Tafelglas :		**Außen**	
Einfachverglasung	1,10	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,15
Doppelverglasung	**1,00**	Stoffmarkise, oben und seitlich ventiliert	0,30
Dreifachverglasung	0,90	Stoffmarkise, oben und seitlich anliegend	0,40
Absorptionsglas		**Zwischen den Scheiben**	
Einfachverglasung	0,75	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,50
Doppelverglasung	0,65	mit unbelüftetem Zwischenraum	
Vorgehängte Absorptionsscheibe	0,50		
Reflexionsglas		**Innen**	
Einfachverglasung, Metalloxidbelag	0,65	Jalousie, Öffnungswinkel 45°	0,70
Doppelverglasung, Metalloxidbelag	0,55	Vorhänge hell	0,50
Doppelverglasung, Edelmetallbelag	0,45	Kunststofffolien metallisch reflektierend	0,35
Glashohlsteine farblos			
mit glatter Oberfläche	0,65		
mit strukturierter Oberfläche	0,45		

Kombinationen verschiedener Sonnenschutzanordnungen werden näherungsweise durch Produktbildung der entsprechenden Faktoren erfasst.

Beispiel :

Doppelverglasung mit Normalglas $b_1 = 1,0$
Stoffmarkise anliegend $b_2 = 0,4$
Vorhang hell $b_3 = 0,5$
daraus ergibt sich $b = b_1 * b_2 * b_3 = 0,2$

werden jeweils auf maximale Werte der Sonneneinstrahlung[3] bezogen.

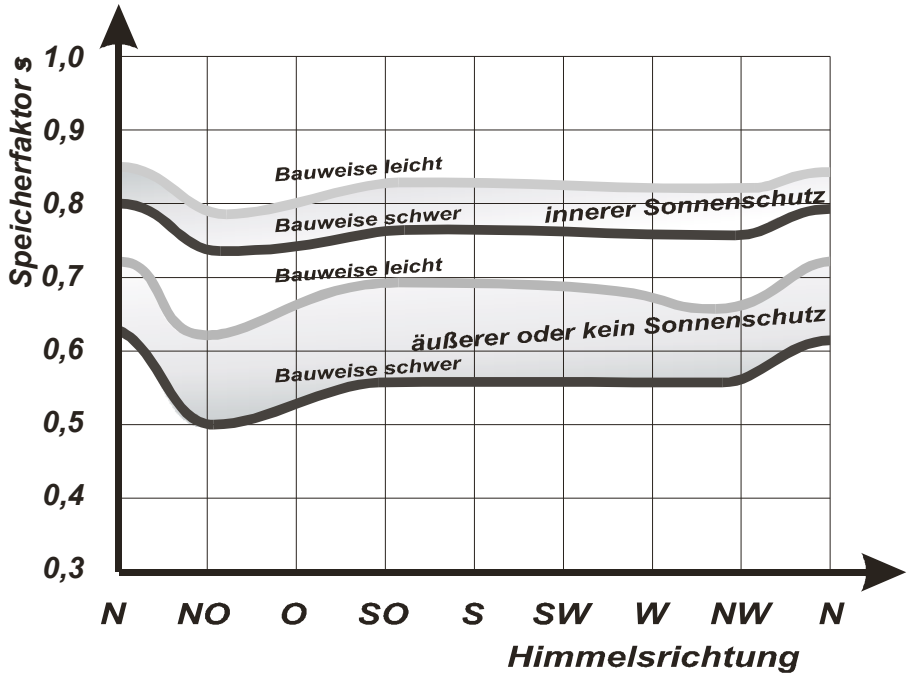
Die von Bauteilen bei Sonneneinstrahlung aufgenommene Wärme wird erst mit einer zeitlichen Verzögerung in den zu kühlenden Räumen wirksam. Der Speicherfaktor s_a für äußere Strahlungslasten berücksichtigt die zeitliche Verschiebung der Auswirkung von Strahlungswärmegewinnen auf die Kühllast, wenn in einer Raumgruppe "i" speicherfähige Massen Strahlungswärme aufnehmen können und diese sodann zeitverzögert an die betreffende Raumgruppe wieder abgeben.

Bei ausführlicher Durchführung einer Kühllastberechnung ist für den Speicherfaktor *"s_a"* nicht nur die Art der Beschattungseinrichtungen und die Speicherwirksamkeit der Bauteilmassen, sondern auch die Bauteilorientierung sowie die Tageszeit zu berücksichtigen. Mit einem von der Tageszeit abhängigen Speicherfaktor *"s_a"* ergibt sich rechnerisch eine Möglichkeit zur

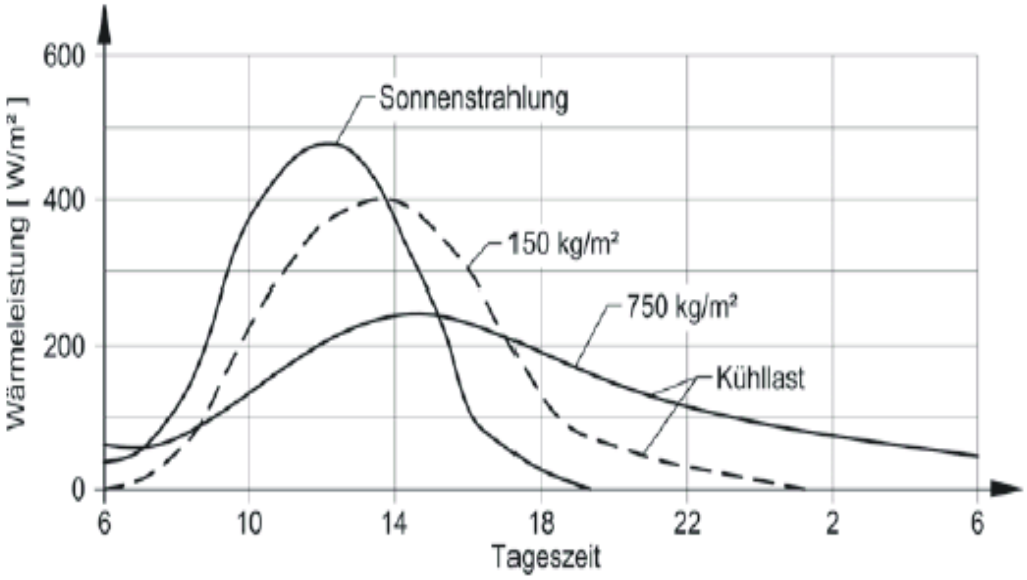
angemessenen zeitlichen Verteilung jener in Innenräume eingebrachten Wärme, die von Außenbauteilen bei Sonneneinstrahlung über wenige Stunden aufgenommen wurde.

Für ein südseitig angeordnetes Fenster ergeben sich beispielsweise für verschiedene Bauteilmassen *(leichte Bauweise mit 150 kg/m³, schwere Bauweise mit 750 kg/m³)* unterschiedliche Kühllastverläufe:

Speicherfaktor s_a bei Sonneneinstrahlung durch Fenster *Abbildung A04.03*



Kühllastverlauf in Abhängigkeit von speicherwirksamen Bauteilmassen *Abbildung A04.04*



Wärmezufuhr durch Transmission über Außenbauteile:

Bei der Wärmezufuhr durch Transmission über nicht transparente Außenbauteile (K) wären genau genommen auch Einflüsse direkter und diffuser Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen. Verschattungen durch Horizontüberhöhung oder vorspringende Bauteile sind üblicherweise vernachlässigbar. Für die ermittlung des Wärmeflusses durch Außenbauteile stehen Rechenverfahren für instationäre Vorgänge zur Verfügung, wobei der Aufbau und die Oberflächentemperaturen an den Außen- und Innenseiten der Außenbauteile bekannt sein müssen. Die Wärmezufuhr durch Transmission über Bauteile der Raumumschließungsflächen erfolgt in ähnlicher Weise wie bei der Heizlastermittlung nach folgender Gleichung:

Transmissionswärmegewinnen über die Gebäudehülle *Gleichung G 04.05*

Größen	$\Phi_{T,i} = \Sigma A_K \cdot U_K \cdot (\Phi_e - \Phi_{int,i})$
Einheiten	[W] [m2] [W / m^2] [K]

$\Phi_{T,i}$ *Transmissionwärmeverlust der Raumgruppe "i"*
A_K *Umschließungsfläche mit Index "K" einer Raumgruppe "i"*
U_K *Wärmedurchgangskoeffizienten mit Index "K"*
Φ_e *Bemessungstemperatur (Außenluft)*
$\Phi_{int,i}$ *Innentemperatur für Raumgruppe "i"*

Wärmezufuhr durch Außenluft

Die aus der Umgebung zur Lufterneuerung angesaugten *"Außenluft"* muss gekühlt werden, wenn ihre Temperatur über der zulässigen Raumlufttemperatur liegt.

Bei dichten Fenstern und Türen ist anzunehmen, dass das Eindringen von Außenluft durch Infiltration in die zu kühlenden Räume nur unwesentlich zur Kühllast beiträgt. Bei mechanischer Lüftung zu kühlender Räume ist für die Wärmezufuhr durch Außenluft der Außenluftvolumenstrom und dessen Außenlufttemperatur nach folgender Gleichung zu berücksichtigen.

Wärmezufuhr durch Außenluft *Gleichung G 04.06*

Größen	$\Phi_{e,V} = V_{min,i} \cdot \rho_L \cdot c_{PL} \cdot (\Phi_e - \Phi_{int,i})$
Einheiten	[W] [m?/ h] [kg/m?] [Wh / (kg•K)] [K]

$\Phi\varepsilon,\varsigma_i$ *Wärmezufur durch Außenluft der Raumgruppe "i"*
$V_{min,,i}$ *Mindestvolumenstrom der Raumgruppe "i"*
ρ_L *Dichte der Luft bei + 20 °C mit Rechenwert: 1,20 kg/m³*
c_{PL} *spezifische Wärmekapazität der Luft mit Rechenwert: 0,279 Wh/(kg•K)*
Φ_e *Bemessungstemperatur (Außenluft)*
$\Phi_{int,i}$ *Innentemperatur für Raumgruppe "i"*

Energiebedarf für Luftentfeuchtung"

Die aus der Umgebung zur Lufterneuerung angesaugten *"Außenluft"* muss entfeuchtet werden, wenn ihre absolute Luftfeuchtigkeit über der zulässigen Raumluftfeuchtigkeit liegt.

Kühlenergiebedarf *Gleichung G 04.07*

Größen	$\Phi_{e,H}$	=	$V_{min,i}$	•	ρ_L	•	r_{WL}	•	Δx
Einheiten	[W]		[m^3/ h]		[kg_L/m^3]		[Wh/g_W]		[g_W / kg_L]

$\Phi_{e,H}$ *Kühlenergiebedarf für Luftentfeuchtung*
$V_{min,i}$ *Mindestvolumenstrom der Raumgruppe "i"*
ρ_L *Dichte der Luft bei + 20 °C* *mit Rechenwert: 1,20 kg/m³*
r_{WL} *Verdampfungswärme von Wasser* *mit Rechenwert: 0,682 Wh/g_W*
Δx *Differenz der absoluten Luftfeuchtigkeiten in g_w/kg_L (gWasser/kg Luft)*

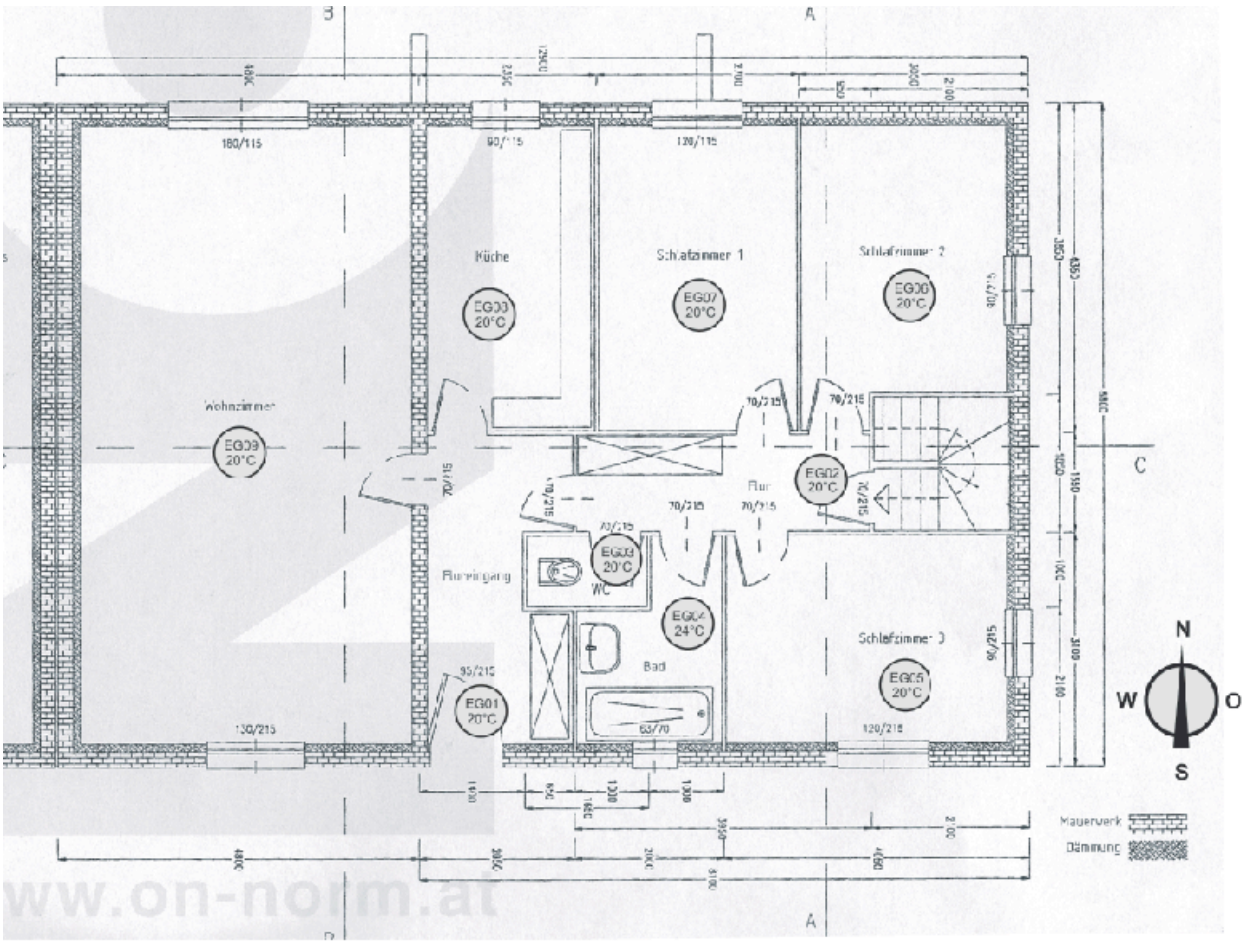
Mit diesen Grundgleichen und den angeführten Richtwerten lassen sich Kühllasten von Raumgruppen bereits überschlägig abschätzen.

Beispiel einer Kühllastermittlung

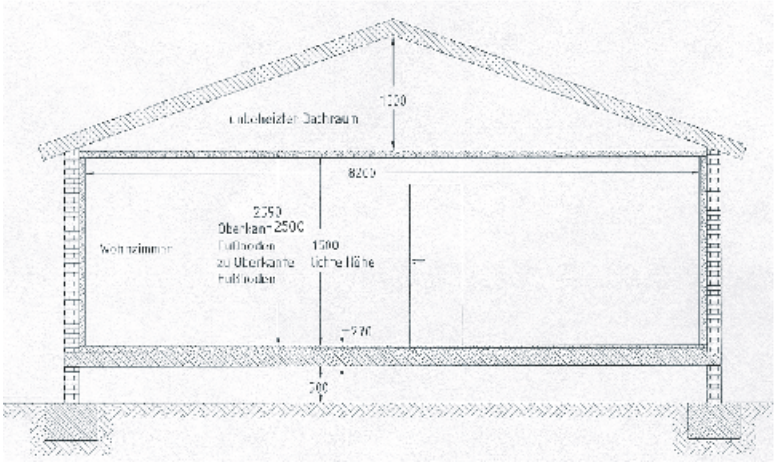
Die folgende Kühllastermittlung wird den Bestimmungen der ÖNORM H 6040 sowie VDI 2078 entsprechend nach einem vereinfachten Berechnungsverfahren durchgeführt:

Baupläne:

Grundriss Erdgeschoss *Abbildung A 04 05*



Schnitt B-B *Abbildung A 04 06*



Baubeschreibung des Beispieles

Das Gebäude besteht aus zwei Wohneinheiten mit Erdgeschoss und ist unterkellert. Die Westwand des Wohnzimmers grenzt an das Nachbarhaus. Das Erdgeschoss liegt 0,5 m über dem Erdbodenniveau. Das Wohnzimmer liegt über einer aufgeständerten Bodenplatte. Das übrige Erdgeschoss liegt über dem Kellergeschoss. Im Kellergeschoss befinden sich ein

Kellerraum, eine Garage und ein beheizter Hobbyraum. Das Haus verfügt über eine Innendämmung. Für das Wohnzimmer ist eine Raumluftkühlung auszulegen.

Bemessungsgrundlagen

Auf ähnliche Weise wie bei der Heizlastermittlung sind alle zu kühlenden Räume (i) auf unverwechselbare Weise mit Kurzbezeichnungen ("Raumnummern") zu kennzeichnen, um bei der Kühllastermittlung die Übersicht behalten zu können. Darüber hinaus sind folgende Bemessungsgrundlagen eindeutig auszuweisen:

- *Norm- Außentemperatur*
- *Bemessungsmonat*
- *Norm- Innentemperatur für den zu kühlenden Raum (i)*
- *Temperaturen ungekühlter Nebenräume*
- *Wärmedurchgangszahlen aller raumumschließenden Bauteile (k)*
- *Massen aller raumumschließenden Bauteile (k)*
- *Orientierung aller Fensterflächen*
- *Durchlassfaktoren aller Fensterflächen*
- *Durchlassfaktoren aller Sonnenschutzvorrichtungen*
- *Anzahl der Personen*
- *Außenluftrate je Person*
- *Beleuchungsart und Beleuchtungsstärke in den zu kühlenden Räumen*
- *Art und Anschlussleistung elektrischer Geräte in den zu kühlenden Räumen*

Für das beschriebene Beispiel sind die zur Kühllastermittlung erforderlichen Daten in folgender Tabelle zusammengefasst:

Allgemeine Bemessungsgrundlagen *Tabellen T 04.07*

EG09	**Wohnzimmer**	Grundfl. m?	Höhe m	Volumen m?	Personen Anzahl
		36,0	2,5	90,0	4

Temperaturen: maximal	Außen °C	Innen °C	
	25	24	
Bemessungsmonat:		September	
Sonnenschutz:		Vorhänge hell (innen)	
Gesamtstrahlung max. Diffusstrahlung max.		563 76	W/m? W/m?

Code	Bauteile:	Orien-tierung	A_k m?	U_k W/(m?•K)	b	s_a
CF01	Außenfenster	N	2,1	2,1	1,00	0,83
CF01	Außenfenster	S	2,8	2,1	1,00	0,83
CT02	Innentüre	O	1,5	1,9		
CW02	Außenwand 02	N	8,9	0,2		
CW02	Außenwand 02	S	8,2	0,2		
CW02	Außenwand 02	W	20,5	0,2		
CW06	Innenwand 06	O	19,0	2,0		
CD01	Decke		36,0	0,5		
CD02	Fußboden		36,0	0,5		

Beleuchtung:	Art	Glühlampen			
Beleuchtung	Stärke	300	lx	60	W/m?
Beleuchtungszeiten:		06:00	bis	08:00	
		16:00	bis	22:00	

Geräte:		
Fernsehgerät	160	W
Tisch- Computer	50	W
Bildschirm	30	W

Kühllastermittlung für Raum EG09: *Tabellen T 04.08*

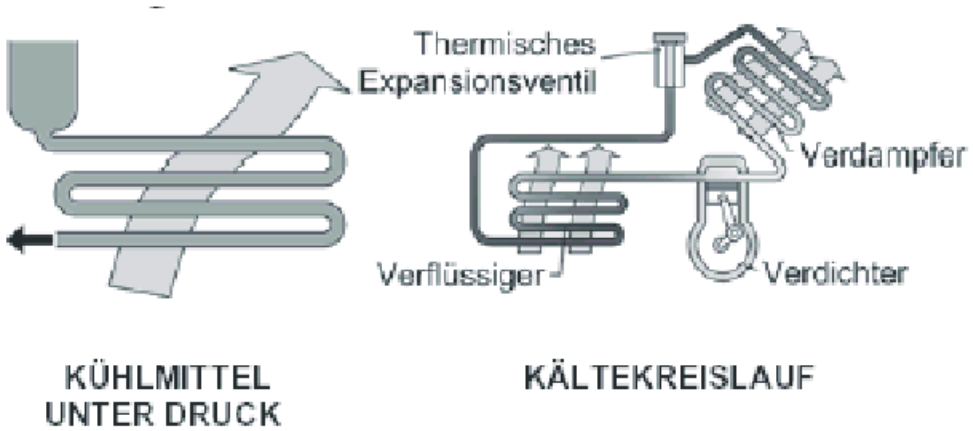
Meteorologische Daten:				
Norm- Außentemperatur	Θ_e	°C	25	
Norm- Innentemperatur	$\Theta_{int,i}$	°C	24	
Differenz der Norm- Temperaturen	Θ_e - $Q_{int,i}$	°C	1	
Bemessungsmonat			September	
Bemessungstageszeit:			12:00	

$\Phi_h(t)$	**Innere Kühllasten:**			
	körperliche Tätigkeit:	n	p_M	
	sitzend, leicht		W	
$\Phi_M(t)$	Wärmeabgabe von Personen = $n \cdot p_M$	4	100	400
	Beleuchtung:	A	p_B	
	Glühlampen, 300 lx	m?	W/m?	
$\Phi_B(t)$	Beleuchtungswärme = $A \cdot p_B$	36	0	0
	Elektrische Geräte	Anzahl	p_B	$n \cdot p_N$
		n	W	W
	Fernsehgerät	1	160	160
	Tisch- Computer	1	50	50
	Bildschirm	1	30	30
$\Phi_N(t)$	Wärmeabgabe durch Einrichtungen = $\Sigma (n \cdot p_N)$			240

$\Phi_e(t)$	**Äußere Kühllasten:**						
Monat:	September	1	A_1	I_{max}			
Code	Bauteile (k)	Orien-tierung	A_k m?	$I_{dif,max}$ W/m?	b	s_a	
CF01	besonnt	1	2,5	563,00	1,00	0,83	1168
	beschattet	S	0,3	130,00	1,00	0,83	32
CF01	besonnt	1	1,9	71,00	1,00	0,83	112
	beschattet	N	0,2	71,00	1,00	0,83	12
$\Phi_{eS}(t)$	Strahlungswärmeabgabe = $[A_1 \cdot I_{max} + (A_k - A_1) \cdot I_{dif,max}] \cdot b \cdot s_a$						
Code	Bauteile (k)	Orien-tierung	f_k / Einheit	A_k m?	U_k W/(m?K)	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$ W/K	
CF01	Außenfenster	N	1,00	2,1	2,1	4,41	
CF01	Außenfenster	S	1,00	2,8	2,1	5,88	
CT02	Innentüre	O	1,12	1,5	1,9	3,19	
CW02	Außenwand 02	N	1,00	8,9	0,2	1,78	
CW02	Außenwand 02	S	1,00	8,2	0,2	1,64	
CW02	Außenwand 02	W	0,50	20,5	0,2	2,05	
CW06	Innenwand 06	O	1,12	19,0	2,0	42,56	
CD01	Decke		0,90	36,0	0,5	16,20	
CD02	Fußboden		0,30	36,0	0,5	5,40	
	Summe					83,11	
$\Phi_{eT}(t)$	Transmissionswärmeabgabe = $[\Sigma (f_k \cdot A_k \cdot U_k)] \cdot (\Theta_e - \Theta_{int,i})$ =						83
	Raumvolumen	V_i	m?	90,0			
	Mindest- Luftwechselrate	n_{min}	h^{-1}	0,5			
$\Phi_{eV}(t)$	Wärmezufuhr - Außenluft = $V_i \cdot n_{min} \cdot 1,2 \cdot 0,279 \cdot (\Theta_e - \Theta_{int,i})$						15
$\Phi_K(t)$	**Kühllast = $\Phi_h(t) + \Phi_e(t)$**						**2062**

4.2 Kompressions- Kälteanlagen

Abbildung A04.05



Der "Kaltdampfkompressions- Kälteprozess" hat mit über 90 % aller installierten Anlagen derzeit die größte wirtschaftliche Bedeutung. Dabei werden Kältemittel eingesetzt, welche bei einer Arbeitstemperatur der kalten Seite (z.B. von + 5 °C) unter Aufnahme von Verdampfungswärme verdampfen (der Verdampfer kühlt). Nach einer Kompression des Kältemittels auf beherrschbare Drücke (etwa 8 bar) erwärmt sich das Kältemittel auf eine Arbeitstemperatur von (z.B. + 45 °C). Im Kondensator wird das verdichtete Kältemittel sodann unter Abgabe von Kondensationswärme verflüssigt (der Kondensator heizt).

Die den Kühlbereichen im Verdampfer entzogene Kälteleistung *"P_0"* wird dann gemeinsam mit der für die Kältemittelkompression aufgewendeten Antriebsleistung *"P_M"* im Kondensator als Kondensationsleistung *"P_C"* an einen Wärmeträger übertragen.

Kondensationsleistung = Kälteleistung + Antriebsleistung *Gleichung G04.08*

Größen	P_C =	P_0 +	P_M
Einheiten	[W]	[W]	[W]

P_C *Kondensationsleistung*
P_0 *Kälteleistung*
P_M *Antriebsleistung*

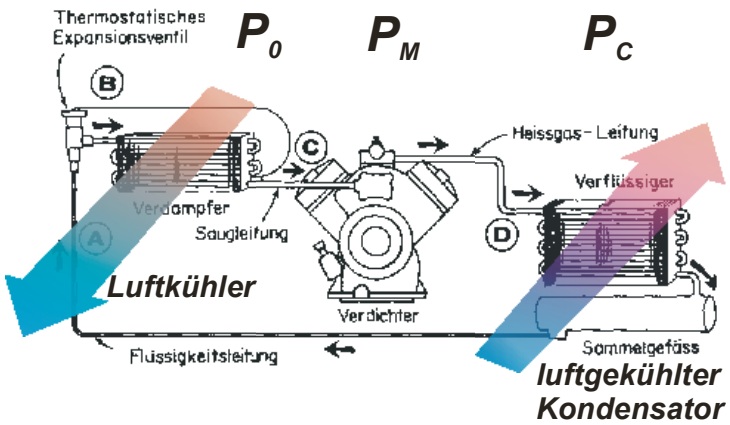
Das Verhältnis der erzielten *"Kälteleistung P_0"* zur dafür aufgewendeten *"Antriebsleistung P_M"* wird *"Leistungsziffer ε_K"* bezeichnet und liegt für Kompressionskältemaschinen gebäudetechnischer Anlagen im Größenordnungsbereich von ε_K = *3 bis 4*

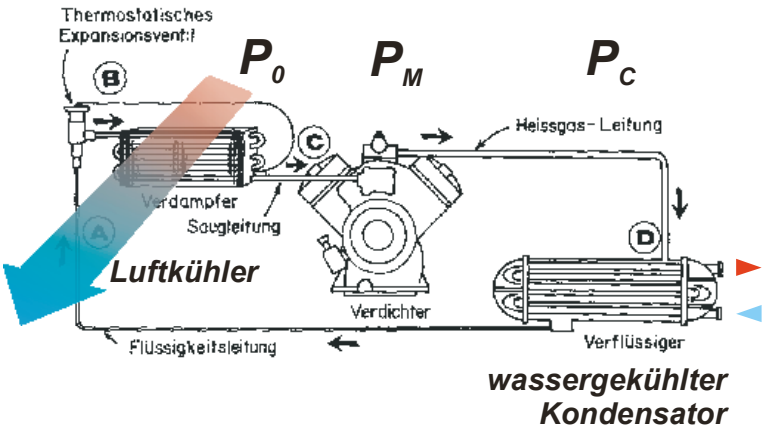
Leistungsziffer = Kälteleistung / Antriebsleistung *Gleichung G04.09*

Größen	$\varepsilon_K = \dfrac{P_0}{P_H}$

ε_K *Leistungsziffer*
P_0 *Kälteleistung*
P_M *Antriebsleistung*

Geschlossener Kältemittelkreislauf einer Kompressionskältemaschine *Abbildung A04.06*





4.3 Kältemittel

In Kompressions- Kälteanlagen kamen weitgehend sogenannte *"FCKW"*- Kältemittel zum Einsatz (*Fluorchlorkohlenwasserstoffe*), deren umweltschädigende Wirkung nur langsam erkannt wurde, und gegenwärtig kaum noch ernsthaft bestritten wird.

Von der gesamten "*FCKW- Produktion*" wurden etwa *10 %* als Kältemittel eingesetzt, der überwiegende Teil kam als Treibmittel in Spraydosen oder Dämmschäumen, sowie als Lösemittel- und Putzmittel zum Einsatz. Mit dem *"Montreal- Protokoll"* der Vereinten Nationen von 1987 wurde der Einsatz dieser umweltschädigenden *"FCKW's"* einem Zeitplan entsprechend zunehmend untersagt, und bisher auch weitgehend durchgesetzt. Ihre schädliche Wirkung besteht sowohl in einer Auflösung der stratosphärischen Ozonschichte, welche die Erdoberfläche gegen die lebenszerstörende harte Ultraviolettstrahlung der Sonne abschirmt, als auch in einer Förderung des *"Treibhauseffektes"*.

Die brennbaren Flüssiggase *Propan (C_3H_8) oder Butan (C_4H_{10})* mit ihren thermodynamisch günstigen Eigenschaften sind unter Berücksichtigung von *"Sicherheitsbestimmungen für den Einsatz von Flüssiggasanlagen"* einsetzbar *(z.B. Aufstellung der Kälteanlagen im Freien*).

4.4 Absorptions- Kälteanlagen

Bei Absorptions- Kälteanlagen wird Wärme eingesetzt, um Kälte zu erzeugen. Dabei muss sowohl die im Verdampfer einem Kälteträger "entzogene Wärme *"P_0"*, als auch die eingesetzte *"Antriebswärme P_H"* im Kondensator als *"Kondensationswärme P_C"* an einen Wärmeträger übertragen werden.

Bei Einsatz der dabei üblichen Kältemittel (*z.B. Lithiumbromid*) ergeben sich kaum Umweltprobleme. In Vergleich zu Kompressionskältemaschinen sind bei gleicher Kälteleistung die Investitionskosten höher, und die *"Leistungszahlen"* geringer.

Bei Absorptionskältemaschinen spricht man allerdings nicht von *Leistungszahlen*, sondern von einem "*Wärmeverhältnis ζ_K*".

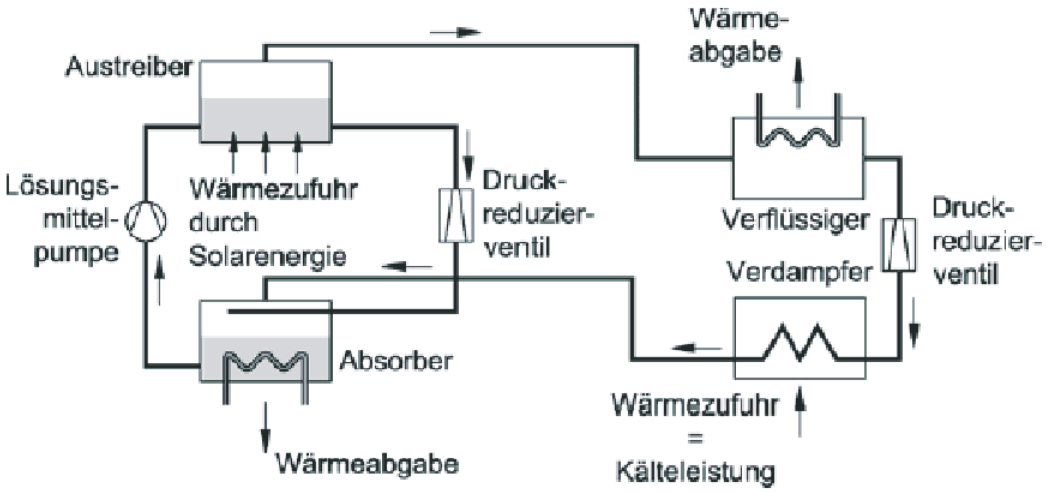
Wärmeverhältnis = Kälteleistung / Betriebswärmebedarf *Gleichung G04.10*

Größen	$\zeta_K = \frac{P_0}{P_H}$

ζ_K *Wärmeverhältnis*
P_0 *Kälteleistung*
P_H *Betriebswärmebedarf*

Diese bewegt sich in der Größenordnung[4] von "ζ_K = *0,5 bis 0,7* .

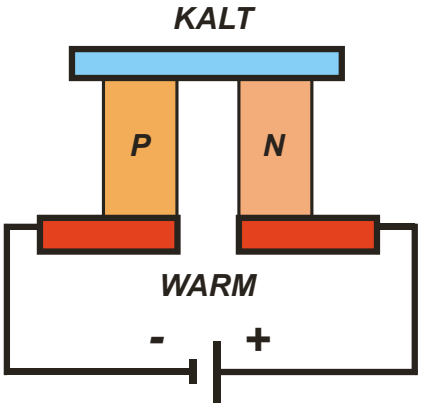
Geschlossener Kältemittelkreislauf einer Absorptionskältemaschine *Abbildung A04.07*



4.5 Peltier- Kälteanlagen

Durch Nutzung des bereits 1834 entdeckten *"Peltier- Effektes"* kann ohne Einsatz von Kältemitteln auf direktem Wege aus elektrischer Energie Kälte gewonnen werden. In Vergleich zu Kompressions- und Absorptionskältemaschinen sind bei gleicher Kälteleistung die Investitionskosten höher, und die Leistungsziffern erheblich geringer. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen beschränkt sich der Einsatz derartiger Anlagen deshalb auf Spezialgebiete, wie Kühlung von Elektronikbauteilen oder Einsatz in mobilen Kleinkühltruhen. Die Leistungszahlen dieser Technologie liegen im Bereich von ε_K = *0,1 bis 0,2*.

Abbildung A04.08



PELTIER- EFFEKT (1834)

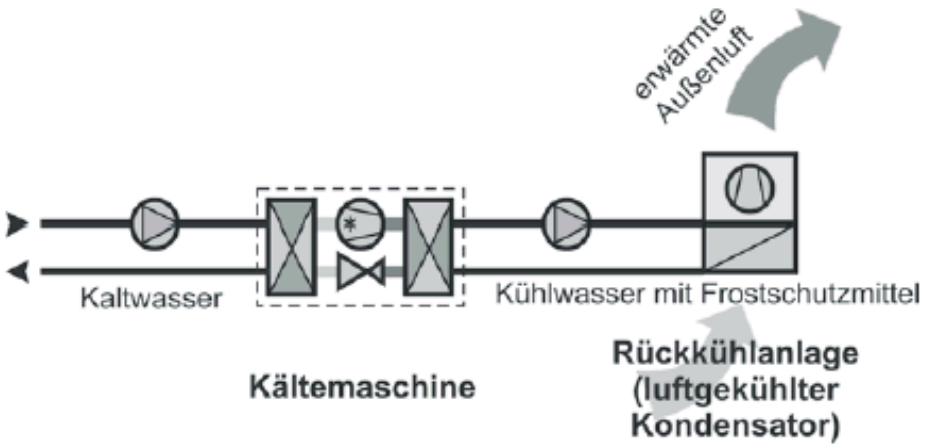
Wenn über den Kontakt zwischen unterschiedlichen Leitern Strom geleitet wird, ergibt sich abhängig von der Stromdurchflussrichtung eine Wärmeabgabe oder ein Wärmeaufnahme.

4.6 Rückkühlanlagen

Als "Wärmepumpe" bezeichnet man eine Kälteanlage dann, wenn sie vorrangig zur Nutzung der am Kondensator anfallende "Wärmeenergie" betrieben wird *("Wärmepumpenbetrieb einer Kälteanlage")*.

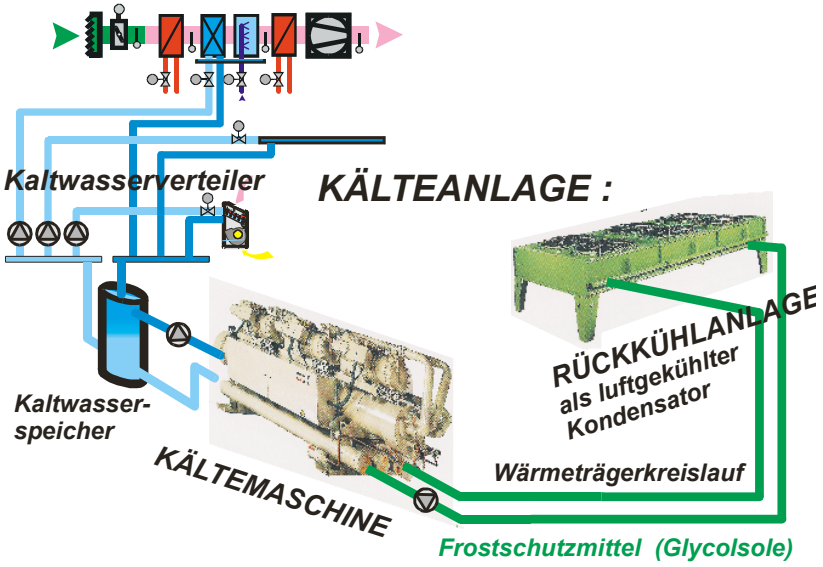
Wird eine Kälteanlage hingegen nur zur Nutzung der am Verdampfer anfallenden "Kälteenergie" betrieben, dann muss die am Kondensator anfallende "Wärmeenergie" auf geeignete Weise über *"Rückkühlanlagen"* an die Umgebung abgeführt werden.

Abbildung A04.09

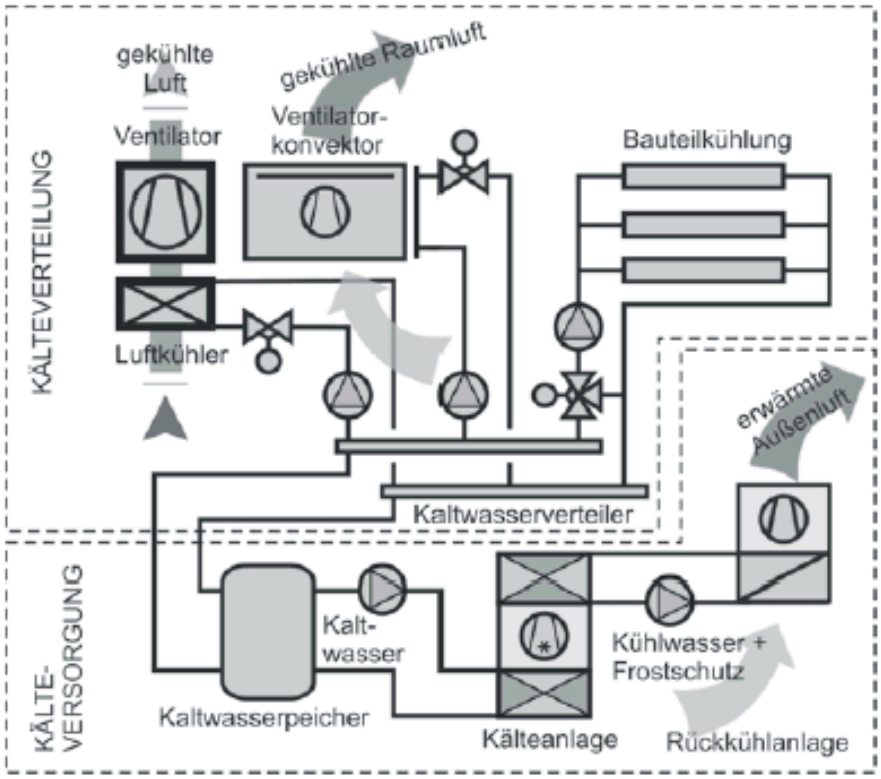


Häufig kommen dabei sogenannte "luftgekühlte Kondensatoren" zum Einsatz. Diese bestehen aus im Freien angeordneten Wärmetauschern, über welche von Ventilatoren Außenluft gefördert wird. Werden diese Wärmetauscher über geschlossene Wärmeträgerkreisläufe mit den Kondensatoren von Kälteanlagen verbunden, dann kann die bei den Kälteanlagen anfallende "Kondensationswärme" an die Außenluft übertragen werden und diese dabei erwärmen.

Kälteanlage mit luftgekühltem Kondensator *Abbildung A04.10*



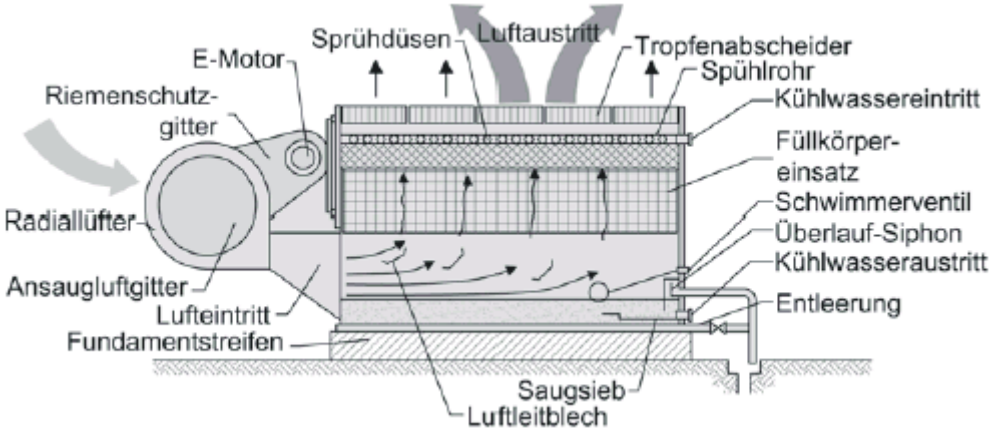
Komponenten einer Kälteanlage *Abbildung A04.11*



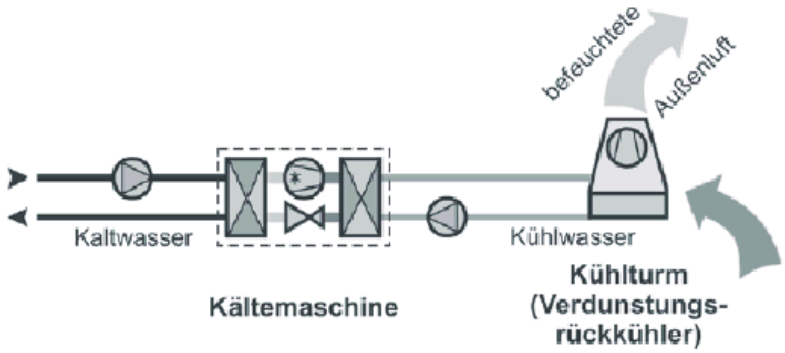
Wenn die Kältemaschine in einem frostfreien Technikraum angeordnet ist, muss der Wärmeträgerkreislauf zwischen Kältemaschine und Rückkühlanlage mit einem Frostschutzmittel (z.B. Äthylenglycol) vor Einfreieren geschützt werden.
Wird auch die Kältemaschine im Freien angeordnet, dann ist auch der Kaltwasserkreislauf bis zu einem in frostfreien bereich angeordneten Wärmetauscher gegen Einfrieren zu schützen.

"Kühltürme" nutzen die zur Verdunstung von Wasser erforderliche Verdampfungswärme und benötigen in Vergleich zu luftgekühlten Kondensatoren geringer Außenluftmengen zur Abgabe von Wärme an die Umgebung.

Verdunstungsrückkühler mit Kühlluftventilator ("Kühlturm") *Abbildung A04.12*



Kühlwasserkreislauf *Abbildung A04.13*



Da feuchte Luft bei gleicher Temperatur etwas leichter als trockene Luft ist, kann ihr natürlicher Auftrieb zur Bewegung von Außenluft in turmartigen Rückkühlanlagen genutzt werden. In derartigen *"Naturzugkühltürmen"* wird Kühlwasser versprüht, wobei ein Teil davon verdunstet und die im Kühlturm aufsteigende Außenluft befeuchtet. Die dafür erforderliche Verdampfungswärme wird dabei Umgebungsluft, als auch dem versprühten nicht verdunstenden Kühlwasser entzogen. Das abgekühlte Kühlwasser wird im unteren Kühlturmbereich in Auffangwannen gesammelt und kann als Wärmeträger zur Aufnahme der Kondensationswärme von Kältemaschinen eingesetzt werden.

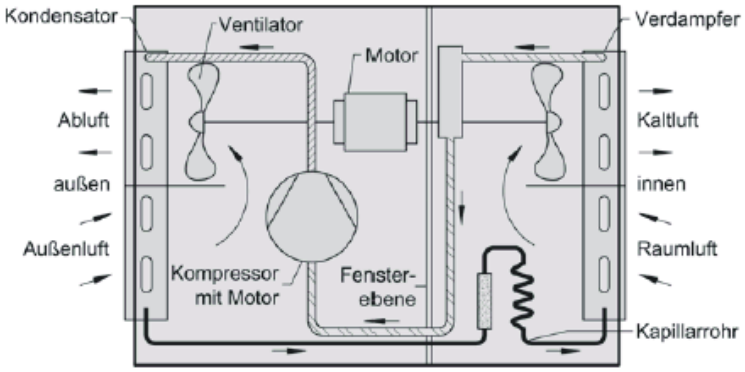
Bei Einsatz von Ventilatoren zur Kühlluftförderung sind in Vergleich zu *"Naturzugkühltürmen"* wesentlich kompakte Bauformen möglich. Diese Bauformen weisen zwar keinerlei Ähnlichkeit mit turmartigen Gebilden auf, werden aber dennoch als *"Ventilatorkühltürme"* bezeichnet.

Das Kühlwasser von Kühltürmen bedarf einer regelmäßigen Wasseraufbereitung, um Verkalkung, Veralgung und mikrobiologische Kontamination zu vermeiden.

4.7 Fensterklimageräte

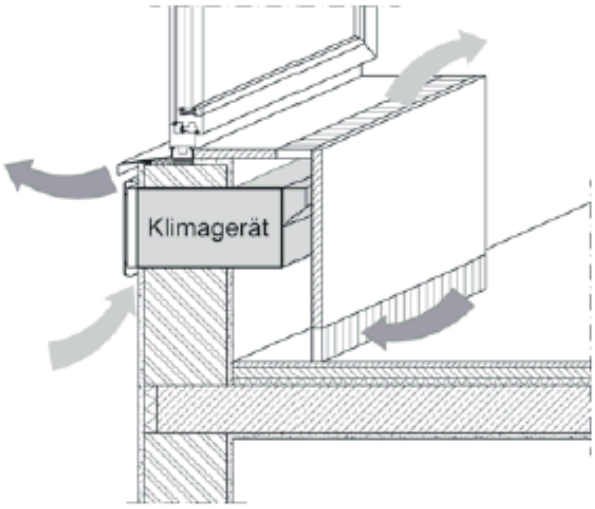
In Fensterklimageräten sind bereits alle zur Raumluftkühlung erforderlichen Bauteile in kompakter Bauweise in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht:

Fensterklimagerät *Abbildung A04.14*



- Außenlufterhitzer (luftgekühlter Kältemittelkondensator) mit Ventilator zur Wärmeabfuhr an die Außenluft,
- Kältemittelkompressor mit Kältemittelverrohrung und Expansionsventil
- Umluftkühler (Kältemittelverdampfer) mit Ventilator zur Kühlung von Raumluft.

Anordnungsbeispiel für ein Fensterklimagerät *Abbildung A04.15*

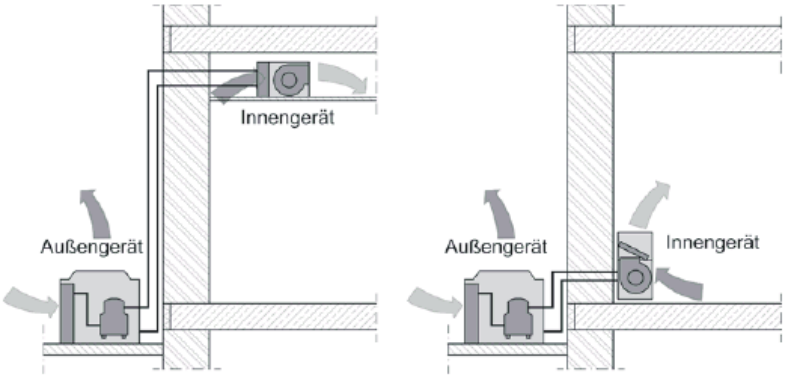


Um Außenluft über den luftgekühlten Kältemittelkondensator leiten zu können, müssen die Außenluftdurchlässe dieser kompakten Luftkühlgeräte entweder im Freien angeordnet werden oder über Luftleitungen mit dem Freien verbunden sein. Um Raumluft über den Raumluftkühler leiten zu können, müssen sich die 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.

4.8 Split- Geräte

Es besteht die Möglichkeit, Innen- und Außenteil von Kälteanlagen jeweils als kompakte Einheiten auszubilden.

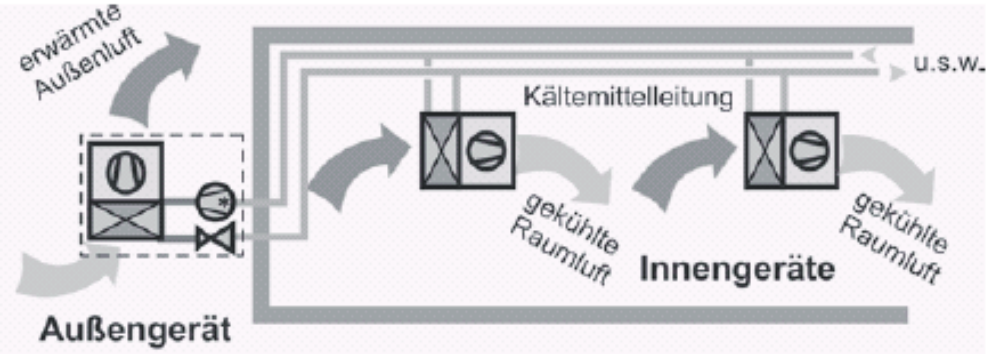
Anordnungsmöglichkeit von Split- Geräten *Abbildung A04.16*



Durch Verbindung der beiden Anlagenteile mit Kältemittelleitungen für Vor- und Rücklauf ergibt sich eine verhältnismäßig einfach zu installierende Anlage. Derartige *"Split- Geräte"* werden unter anderem zur örtliche Kühlung kleiner Bereiche (z.B. von Geschäftslokalen) eingesetzt.

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

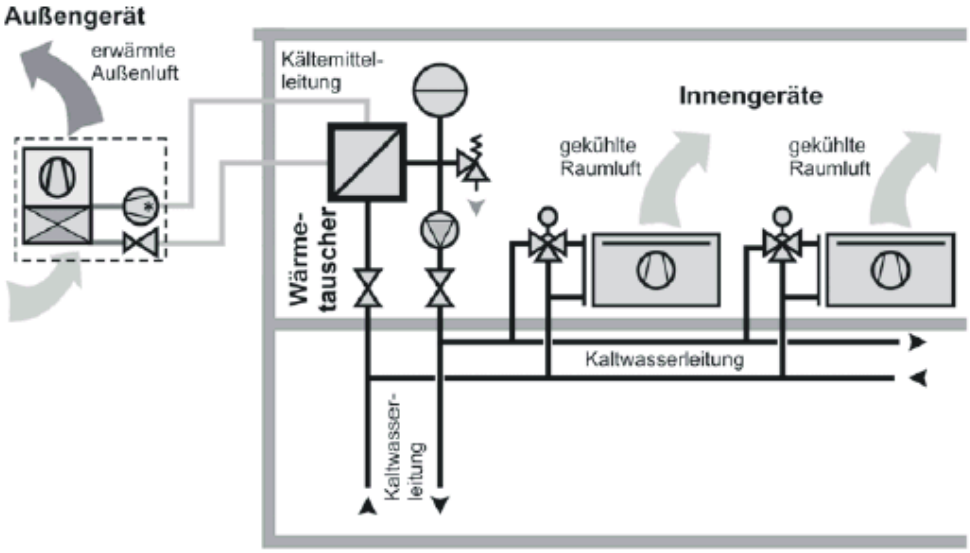
Multisplit- Gerät *Abbildung A04.17*



4.9 Kaltwasserkreislauf für Ventilatorkonvektoren

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 Wärmetauschern den Energieinhalt des Kältemittels auf ein Heiz-, Kalt- oder Kühlwassersystem zu übertragen.

Kältemaschine mit Kaltwasserkreislauf im frostfreien Bereich *Abbildung A04.18*



4.10 Kälteverteilung

Die Vorlauftemperaturen des mit Kälteanlagen gekühlten Kaltwassers wird für gebäudetechnische Anlagen im Bereich zwischen + 4°C und + 12°C gewählt. Bei bedarfsbhängiger Gleitung dieser Vorlauftemperatur können Kältemaschinen mit höchstmöglichen Leistungsziffern und damit zusammenhängend mit möglichst geringem Antriebsenergiebedarf betrieben werden.

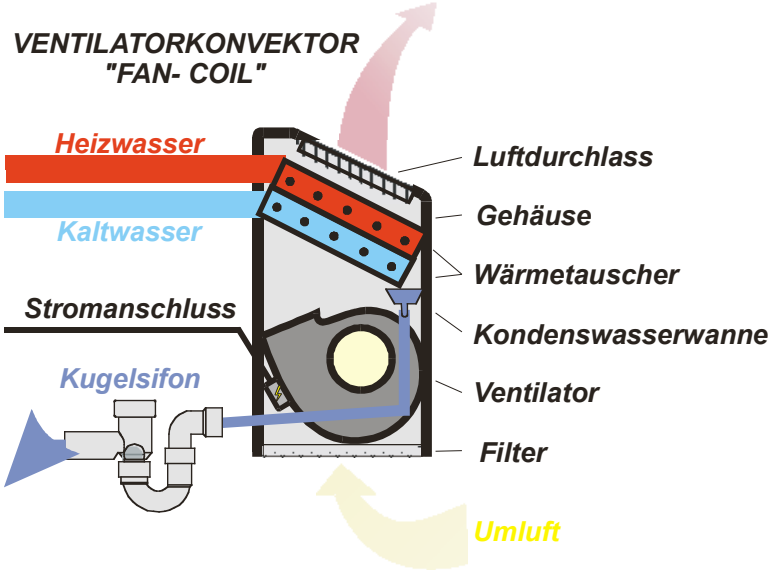
Um Kondenswasserbildung an Kaltwasser- Versorgungseinrichtungen zu vermeiden müssen alle Kaltwasser führenden Bauteile gegen Kondenswasserbildung mit diffusionsdichten und wärmedämmenden Umhüllungen isoliert werden. Diese Isolierungen bestehen vorzugsweise aus geschlossenzelligem alterungsbeständigem Kunststoff, der an allen Fugen und Stößen mit den Bauteilen diffusionsdicht zu verkleben ist.

Bei unzulänglicher Ausführung von Kondenswasser- Isolierungen kann Feuchtigkeit mit der Umgebungsluft in den Bereich zwischen kalten Bauteilen und Isolierung gelangen, wobei sich dann unter der Kondenswasser- Isolierung Kondenswasser bildet.

Geräte, die zur Raumluftkühlung eingesetzt werden, können an ihren Kühlflächen Kondenswasser ausscheiden. Um für derartige mögliche Betriebsfälle vorzusorgen sollte unter jedem Wärmetauscher zur Raumluftkühlung 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.

Ventilatorkonvektor *Abbildung A04.19*



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 aufwändig ausgestatteten Räume über die

Entwässerungsleitungen mit allen Gerüche eines Entwässerungssystems belastet werden können.

Ventilatorkonvektoren können Raumluft nur bei Betrieb des Ventilators kühlen oder entfeuchten. Die damit verbundene Geräuschentwicklung lässt sich durch großzügige Auslegung des Gerätes verringern, jedoch nicht vollständig vermeiden.

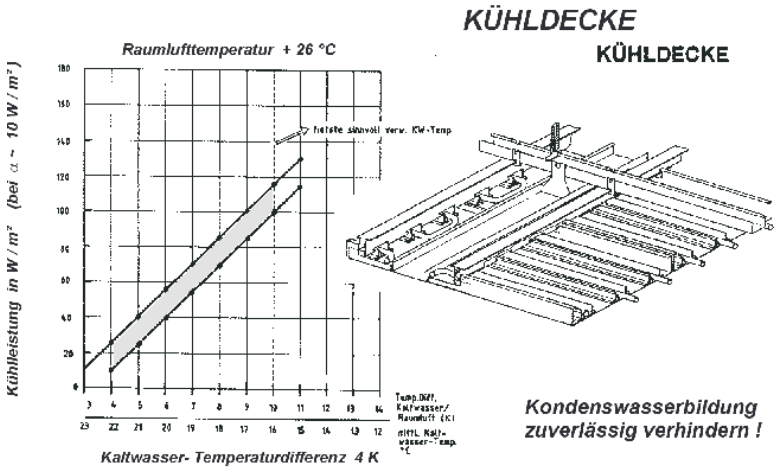
Als Innengeräte zur Raumluftkühlung und Raumluftentfeuchtung lassen sich Ventilatorkonvektoren auf vielfältige Weise als "Standgeräte" im Brüstungsbereich, als Raumteiler, unter Zwischenböden, unter oder über Zwischendecken sowie in, hinter oder über Möbelstücken anordnen.

Sie benötigen jeweils zwei Anschlüsse an isolierte Kaltwasserleitungen, einen Kondensat-Entwässerungsanschluss, und jeweils einen elektrischen Anschluss für die Stromversorgung und die Steuerung.

Um "stille Kühlung" zu ermöglichen, wurden Deckenkühlsysteme und Kühlkonvektoren entwickelt. Diese sind allerdings nicht für Luftentfeuchtung konzipiert und werden mit hohen Kaltwasservorlauftemperaturen betrieben, um Kondenswasserbildung an den Kühlflächen zu vermeiden. Die spezifischen Kühlleistungen sind dementsprechend bescheiden.

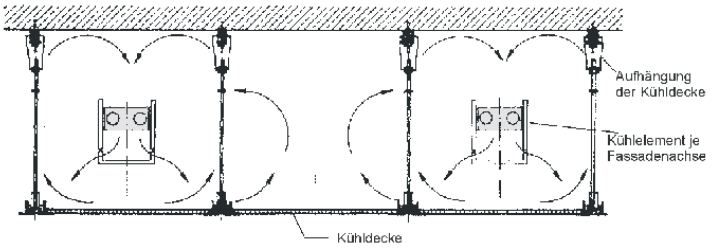
Ein Restrisiko von Kondenswasserbildung bei Öffnung von Fenstern im Kühlbetrieb oder bei Störung der Kaltwassertemperaturregelung ist bei deren Anwendung durch geeignete Regelungsstrategien zu vermeiden, sonst kann es in gekühlten Aufenthaltsräumen "regnen".

Abbildung A04.20



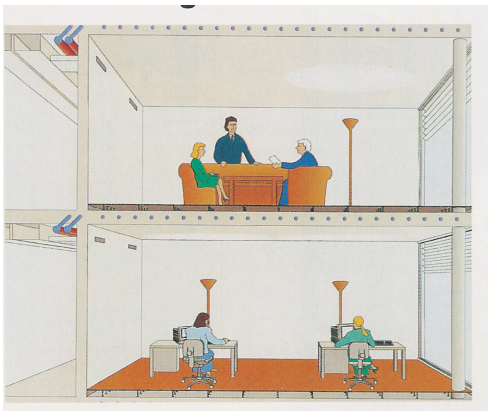
KÜHLKONVEKTOREN

Abbildung A04.21



Eine weitere Möglichkeit *"stiller Kühlung"* besteht darin, Kaltwasserführende Rohrleitungen im Betonkern von Decken oder Böden anzuordnen. Die Speicherfähigkeit der Bauteilmasse wird dabei bestens genutzt, derartige Systeme können jedoch auf Kühllastveränderungen nur verzögert reagieren. Sie kommen in zufriedenstellender Weise sowohl zur *"Grundlastkühlung",* als auch zur *"Grundlastheizung"* zum Einsatz.

Kaltwasserrohre innerhalb von Bauteilen "Bauteilkühlung" *Abbildung A04.22*



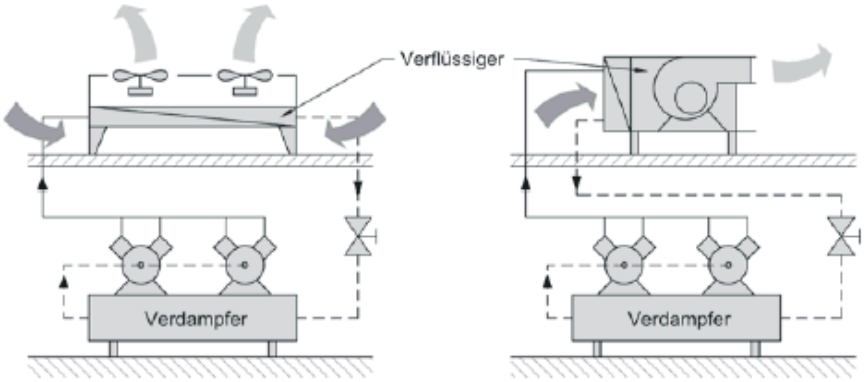
4.11 Bauliche Vorkehrungen

Für die Planung von Kälteversorgungsanlagen empfiehlt es sich, Vorgaben für folgende Bereiche festzulegen:

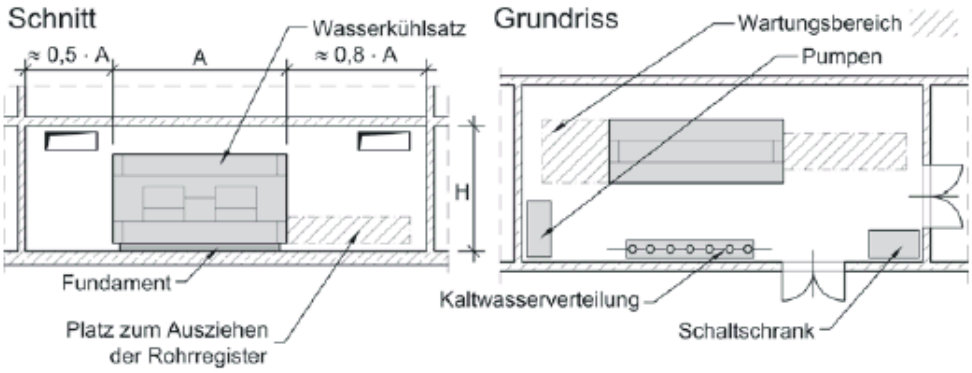
- Wartungsbereiche
- Schallschutz
- Schwingungsschutz
- Einbringungsverhältnisse
- Tragschiene für Hebezeuge
- Trassenführung zu Rückkühlanlagen
- Winterbetrieb
- Frostschutzvorkehrungen

Rückkühlanlagen werden üblicherweise im freien ohne geräuschdämmende Maßnahmen angeordnet. Sie sind so zu bemessen werden, dass Anrainer durch ihren Betrieb nicht in unzumutbarer Weise gestört werden.

Kältemaschine mit Rückkühlanlage *Abbildung A04.23*



Kältemaschinenraum *Abbildung A04.24*



Richtwerte zur überschlägigen Vorbemessungen von Kälteversorgungszentralen:

Tabelle T04.04

KÄLTEMASCHINEN-AUFSTELLUNGSRAUM		
Kälteleistung MW	**Grundfläche** m?	**Raumhöhe** m
0,01 bis 0,12	20	2,5
0,12 bis 0,40	40	3,0
0,40 bis 0,75	50	3,3
0,75 bis 1,50	100	4,0
1,50 bis 3,00	150	4,6
3,00 bis 4,50	200	5,2

Tabelle T04.05

PLATZBEDARF FÜR RÜCKKÜHLANLAGEN			
Kälteleistung MW	**Grundfläche** m?	**Raumhöhe** m	**Gewicht** t
0,01 bis 0,12	20	2,8	0,4 bis 0,8
0,12 bis 0,40	40	3,2	0,8 bis 1,8
0,40 bis 0,75	50	3,4	1,8 bis 4,0
0,75 bis 1,50	90	4,0	4,0 bis 6,0
1,50 bis 3,00	140	4,0	6,0 bis 8,0
3,00 bis 4,50	190	5,0	8,0 bis 14,0

4.12 LITERATURHINWEISE

[1] *ÖNORM H 6040 (05.94) "Lüftungstechnische Anlagen - Kühllastberechnung"*

[2] *VDI 2078 "Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume" (VDI- Kühllastregeln)*

[3] *Recknagel, Sprenger, Schramek, "Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2000" (S 1484) R. Olenbourg Verlag München Wien 1999 ISBN 3-486-26215-7*

[4] *Pohlmann, Walther, "Taschenbuch der Kältetechnik" Hsg. Walter Maake; Hans- Jürgen Eckert- Karlssruhe: C.F. Müller Verlag ISBN 3-7880-7310-1 (Band 1)*