

# RLT-Komplettgeräte mit Direktkälte

## Zeit- und Kostenersparnis durch integrierte, anschlussfertige Kältesysteme

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker, Prof. für Thermodynamik und Klimatechnik  
 Dipl.-Ing. (FH) Martin Gruler, Leiter Produktentwicklung und Qualitätssicherung

In der Raumluftechnik kommen heute prinzipiell zwei Arten von Kältesystemen zum Einsatz: direkte und indirekte Systeme. Dabei eignen sich die direkten Systeme hervorragend für die komplette Integration der Kälte-technik in Raumluftechnischen (RLT) – Zentralgeräten (s. Abb. 2). Dies umso mehr, da zwischenzeitlich ein breites Spektrum an Kältemittelverdichtern für weite Leistungsbereiche am Markt verfügbar ist.

Bereits im letzten Fachjournal 2002/03 wurde unter dem Titel „RLT-Komplettgeräte in der gewerbeübergreifenden Gebäudeautomation“ über die Vorteile der Integration der MSR-Technik in RLT-Geräten berichtet. Das darin Beschriebene lässt sich uneingeschränkt auf die Integration der Kältetechnik übertragen. Im folgenden Beitrag hierzu die aktuellen Trends in der Kältetechnik.



Abb. 1 Zusammensetzung eines modernen RLT-Komplettgerätes mit integrierter Direktkältetechnik (Foto robatherm)

- Möglichkeit der Nutzung der Kälteanlage zur Wärmerückgewinnung im Winter (Wärmepumpe), indem der Kondensator in der Fortluft als Direktverdampfer (Luftkühler) und der Direktverdampfer in der Zuluft als Kondensator (Lufterwärmer) betrieben wird
- Synergieeffekt beim Entfeuchten, da die „kostenlose“ Kondensationswärme zum Nachheizen der Zuluft verwendet werden kann.

Aufgrund dieser Merkmale eignet sich das direkte Kältesystem besonders für die Integration in RLT-Zentralgeräte, Abb. 4. Dabei kommen überwiegend Verbundanlagen mit vollhermetischen Hubkolben- oder Scrollverdichtern zum Einsatz. Die Leistungsregelung erfolgt je nach Regelanforderung in einzelnen Stufen oder stetig über Frequenzumrichter. Meist verwendetes Kältemittel auf dem Gebiet der Raumluftechnischen Direktkälte ist heute R407C.

### Direktes Kältesystem

Kennzeichnend für direkte Kältesysteme ist der direkte Kontakt des Wärmetauschers, in dem das Kältemittel verdampft (Direktverdampfer), mit dem zu kühlenden Medium (in der Raumluftechnik meist Außenluft oder Umluft), s. Abb. 3.

Daraus ergeben sich folgende Merkmale:

- bedarfsgerecht angepasste Kälteleistung und Medientemperatur
- geringe Investitionskosten durch Wegfall der Kälteverteilung und Kältespeicherung
- geringe Betriebskosten durch Vermeidung von Verteil- bzw. Stillstandverlusten

- kein Vorerhitzer bzw. keine Glykolumischung im Außenluftstrom erforderlich, da kein frostgefährdeter Wasserkreislauf
- geringer Platzbedarf durch kompakte Bauweise

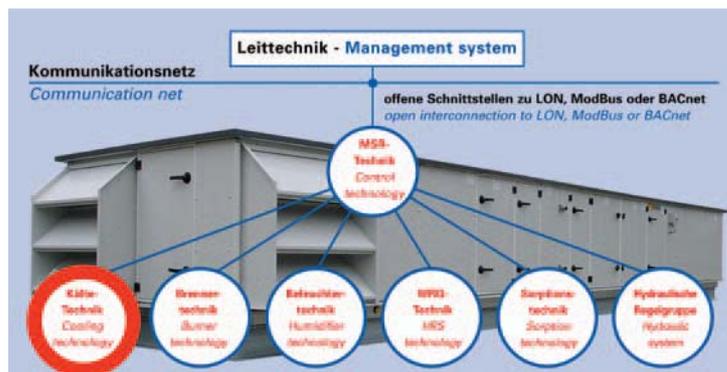


Abb. 2 RLT-Komplettgerät mit integrierter Direktkälte für die Klimatisierung eines Einkaufszentrums

# Vapac Dampfbefeuchter

LR/LR( )P



LE/LE( )P



GF



LS



## Vapac-Widerstandsbefeuchter

- ➔ komplett mit Fernalarmleiterplatte
- ➔ wiederverwendbarer Edelstahlzylinder
- ➔ integrierter Füllbecher
- ➔ Steuerspannung 24 V
- ➔ alle gängigen Regelsignale Standard
- ➔ LED-Anzeige
- ➔ alphanumerische Anzeige für Systemdiagnose als Option
- ➔ mit LON Works kompatibel
- ➔ Master-Slave-Systeme bis 300 kg/h
- ➔ für alle Wasserqualitäten geeignet
- ➔ LR Ein-/Aus-Regelung
- ➔ LR( )P proportional Regelung 8-100%

## Vapac-Elektrodenbefeuchter

- ➔ komplett mit Fernalarmleiterplatte
- ➔ austauschbarer oder wiederverwendbarer Zylinder
- ➔ VapaNet Betriebssystem passt sich automatisch an wechselnde Trinkwasserqualitäten an
- ➔ integrierter Füllbecher
- ➔ Steuerspannung 24 V
- ➔ alle gängigen Regelsignale Standard
- ➔ LED-Anzeige
- ➔ alphanumerische Anzeige für Systemdiagnose als Option
- ➔ mit LON Works kompatibel
- ➔ Master-Slave-Systeme bis 450 kg/h
- ➔ LE Wasserstandsregelung 20-100%
- ➔ LE( )P proportional Regelung 8-100%

## Vapac-Gasbefeuerter Befeuchter

- ➔ neun Leistungsstufen 6-85 kg/h
- ➔ kompakte Abmessungen
- ➔ Modulations- oder Ein-/Aus-Steuerung
- ➔ Master-Slave Funktion
- ➔ Gasbrenner mit hohem Nutzungsgrad
- ➔ Laminar Brenner
- ➔ VapaNet Steuersystem
- ➔ Raumluftunabhängiger und -abhängiger Betrieb
- ➔ mit LON Works kompatibel
- ➔ Master-Slave-Systeme bis 850 kg/h

## Vapac-Dampfsauna Befeuchter

- ➔ austauschbarer oder wiederverwendbarer Zylinder
- ➔ thermischer Sensoreingang
- ➔ Ansteuerung Niederspannungsleuchte
- ➔ Ansteuerung externer Ventilator
- ➔ Steuerung Duft- oder Essenzpumpe/Spray
- ➔ alphanumerische oder grafische Anzeige
- ➔ grafisches Display mit Schaltuhr
- ➔ mit LON Works kompatibel



## Vapac MultiPipe® Dampfverteilsystem

- ➔ Dampfstreckenverkürzung bis zu 75 %
- ➔ Einschub mit Edelstahlrahmen
- ➔ einfache Montage
- ➔ Anpassung an Geräte- oder Kanalquerschnitt
- ➔ für Vapac Dampfbefeuchter oder Fremddampfnetze



## Vapac Minivap

- ➔ Ein-/Aus Regelung
- ➔ Dampfdüse oder Ventilatoraufsatz
- ➔ einfache Ausführung
- ➔ 2 oder 4 kg/h
- ➔ Elektrodenbefeuchter

## Vapac Umkehr-Osmose-Anlage Typ LRO



### ↻ Leistungsbereich

Das patentierte System liefert voll entsalztes Wasser mit einer Leistung von 0,3 l/min bis 5,4 l/min bei Verwendung von Trinkwasser ohne vorherige Wasserenthärtung.

### ↻ Steuernetzwerk

Das VapaNet LON Steuerungssystem kann mit jedem Gebäudemanagementsystem, das als offenes System das LON Protokoll beherrscht, Daten austauschen.

### ↻ Neues Konzept für die Wasseraufbereitung

Basierend auf einer Hochleistungs-Umkehrosmose-Membrane und einem Hochdruckpumpensystem kann das LRO-System sich regenerieren, ohne dass es zu Leistungsunterbrechungen kommt.

### ↻ Reduzierung der Chloridanteile im Trinkwasser

Ein Karbonfilter reduziert den Chloridgehalt des Trinkwassers.

### ↻ LCD- und LED-Anzeige

### ↻ Niedriger Stromverbrauch (180 Watt)

### ↻ Kompaktes Gehäuse mit Zugang von vorne und Edelstahlboden

### ↻ Einfache Wartung



## QUALITAIR

Die neuen **Qualitair Klimaschränke** aus der Serie **IPAC** sind jetzt mit einer Leistung von **15 kW bis 120 kW** als Kaltwassergeräte oder Direktverdampfer erhältlich.

Serienmäßig ist jedes Gerät mit der Eaton-Williams Steuerung ausgestattet, die einen speziell entworfenen LonWorks™ Mikroprozessor und ein grafisches Display enthält

### Klima-Systeme 2000 Spezialsiphons zur Entwässerung von RLT-Geräten



Typ Saugseite

Wenn feuchte Luft gekühlt wird kann viel Kondensat entstehen. Deshalb muss der Abfluss funktionieren. Ist der Kühler saugseitig vom Ventilator oder druckseitig angeordnet? Wie hoch ist der Druck an der Ablaufstelle? Was passiert bei Druckstößen in der Anlage? Wie hoch muss der Grundrahmen sein?

Klima-Systeme 2000 hat die Lösung! Der selbstfüllende Siphon Typ Saugseite für den Unterdruck und der füllbare Siphon Typ Druckseite für den Überdruckbereich sorgen für sicheren Kondensatablauf. Auch in transparenter Ausführung lieferbar!



Typ Druckseite

#### Antwortfax an:

Klima-Systeme 2000  
Handels- und Service GmbH  
Frau Kühn  
Hildegard-von-Bingen-Str. 1  
61273 Wehrheim  
Tel.: 0 60 81 / 98 14 30  
Fax: 0 60 81 / 98 14 32  
Internet: [www.klima-systeme2000.de](http://www.klima-systeme2000.de) /  
[www.vapac.de](http://www.vapac.de)  
E-Mail: [klima-systeme2000@t-online.de](mailto:klima-systeme2000@t-online.de)

#### Ja, ich möchte:

- einen Katalog / weitere Informationen
- telefonische Beratung
- Beratung durch einen Außendienstmitarbeiter

Firma: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

Strasse: \_\_\_\_\_

Plz./Ort: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

**Indirektes Kältesystem**

Dieses System zeichnet sich dadurch aus, dass im Verdampfer des Kältekreislaufes (Primärkreis) Wasser (Kühlwasser) oder Luft abgekühlt und über ein Verteilnetz indirekt den verschiedenen Verbrauchern als Kaltwasser (Sekundärkreis) zugeführt wird, Abb. 5. Häufig kommt auch ein Pufferspeicher in Form eines Wasser- oder Eisspeichers zum Einsatz.



Abb. 4 In einem RLT-Zentralgerät integrierte Direktkältetechnik

Daraus ergeben sich folgende Merkmale:

- Möglichkeit der Kältespeicherung (Wasser, Eis) unter Einbindung in ein Lastmanagement
- konstante Vorlauftemperaturen
- Entkopplung von Kälteerzeugung und Kälteverbraucher
- geringerer regelungstechnischer Aufwand in der RLT-Anlage
- erhöhter Installationsaufwand für Kälte-transport und -verteilung
- optimierter Einsatz bei einer Vielzahl einzelner Zonenkühler innerhalb einer RLT-Anlage.

**Früherer Stand bei RLT-Anlagen**

Traditionell bestehen heute Raumlufttechnische Geräte und Anlagen aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten und -systemen wie z.B. Kältetechnik, hydraulische Regelgruppen, Befeuchtertechnik, Brennertechnik, Sorptionstechnik, MSR-Technik, usw. Zu deren Planung und Installation wird auf viele Einzelgewerke wie z.B. RLT-Gerätehersteller, Klima- und Lüftungsbauer, MSR-Firmen, Elektroplaner

und -installateure, Heizungs- und Kältefachfirmen zurückgegriffen. Durch die Vielzahl der beteiligten Ansprechpartner ist der Klärungs- und Abstimmungsaufwand zwischen den einzelnen Firmen sehr zeit- und kostenintensiv und die Liefer- und Gewährleistungsgrenzen sind häufig nicht eindeutig definiert.

**Trend zu steckerfertigen RLT-Komplettgeräten mit Direktkälte**

So wie bei Warmwasserkesseln, die heute fast ausschließlich mit integrierter Regelung und kompletter Brennertechnik angeboten werden, geht aufgrund der Vielzahl der Vorteile der Trend auch bei Raumlufttechnischen Systemen in Richtung integrierter Komplettgeräte. Hierbei spielt die Kältetechnik aufgrund ihrer Komplexität und direkt gekoppelten Wechselwirkung zur RLT-Anlage eine wesentliche Rolle. Nur eine besonders zugeschnittene und erprobte MSR-Technik gewährleistet eine betriebs-sichere und energetisch optimierte Funktion.

**Vorteile von Raumlufttechnischen Komplettgeräten mit Direktkälte**

Von einigen Herstellern stehen mittlerweile RLT-Geräte mit allen erforderlichen Anlagenteilen und Funktionen insbesondere mit Direktkältetechnik als Komplettgeräte zur Verfügung. Dies hat u.a. den Vorteil, dass es nur einen Ansprechpartner gibt, wodurch sich der Planungs- und Klärungsaufwand

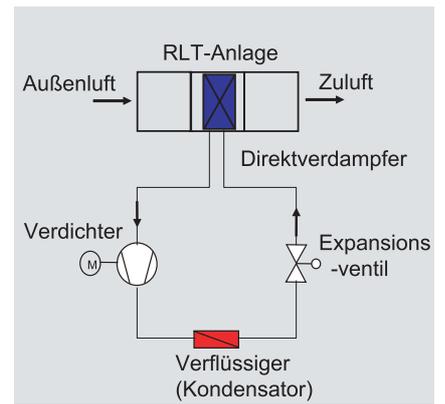


Abb. 3 Direktes Kältesystem in der Raumlufttechnik (Grafik® Prof. Dr. Becker)

deutlich verringert und die Problematik der unterschiedlichen Schnittstellen, insbesondere zwischen Anlagenbauer, RLT-Gerätehersteller und Kältefachfirma, entfällt. Bereits im Planungsstadium können die optimalen Leitungsführungen für die Kälte-, Elektro-, Wasser- und Brennstoffversorgung vorgesehen sowie ein entsprechender Installations-, Wartungs- und Bedienraum für die Komponenten innerhalb des Gerätes berücksichtigt werden. Ebenso kann frühzeitig das Anlagen-Know-How des Geräteherstellers in die Gesamtkonzeption mit eingebunden werden, so dass sich durch die optimale Anpassung der Komponenten wirtschaftliche, auf die Gesamtanlage abgestimmte Konzepte ergeben. Die Geräte werden individuell entsprechend den Kundenanforderungen aus standardisierten Modulen realisiert, ähnlich wie in der Automobilindustrie. Das Gerät kann dadurch komplett

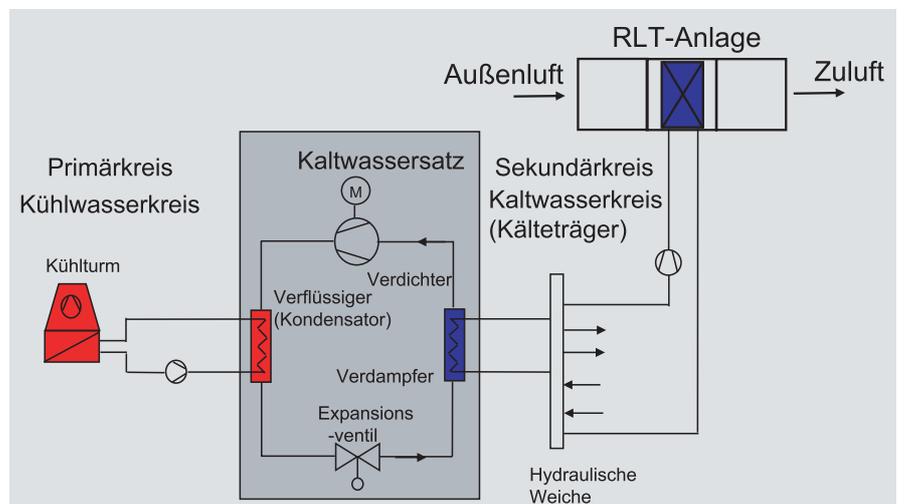


Abb. 5 Indirektes Kältesystem in der Raumlufttechnik (Grafik® Prof. Dr. M. Becker)

montiert auf die Baustelle (oder an den Zielort) geliefert werden und muss vor Ort lediglich noch elektrisch, luft-, wasser-, abwasser- und brennstoffseitig angeschlossen werden. Damit verringern sich Montagezeit und Montagekosten auf der Baustelle ganz erheblich. Darüber hinaus sind die Liefergrenzen ebenso klar definiert wie die Gewährleistungsgrenzen. Dienstleistungen wie Inbetriebnahme oder Wartung für das Komplettgerät können zentral von einer Servicestelle erfolgen, wodurch nicht für jedes Anlagenteil ein eigener Servicetechniker notwendig ist. Betrachtet man das Paket an Einzelsystemen, das mit dem Komplettgerät abgedeckt wird, so ist durch diese Art der Projektierung und Ausführung eine erhebliche Einsparung sowohl an Investitionskosten als auch an Betriebs- und Wartungskosten zu erzielen.

**Bestimmung der Kühllast**

Ausgangspunkt für die Auslegung von Kälteanlagen stellt die Kühllastermittlung nach VDI 2078 (VDI-Kühllastregeln) dar. Hierbei unterscheidet man zwei Arten der Berechnung [1]:

- Kurzverfahren zur manuellen Berechnung der gesamten Raumkühllast mit fest vorgegebenen Randbedingungen, wie z.B. konstante Raumtemperatur
  - ausführliches, rechnergestütztes Verfahren mit vielen Freiheits- und Variationsmöglichkeiten
- Das Problem hierbei stellt allerdings die rein statische Betrachtung mit entspre-

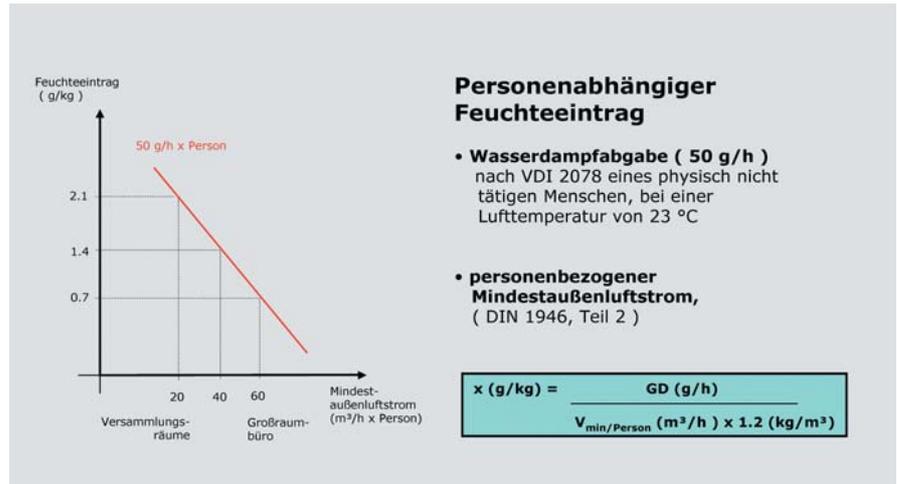


Abb. 6 Personenbezogener Feuchteintrag nach VDI 2078 und DIN 1946, Teil 2

chenden Ungenauigkeiten dar. Eine wesentlich höhere Genauigkeit ergibt sich, wenn die zu erwartende dynamische Kälteleistung („Kälteleistungsprofil“) durch Berücksichtigung der Wärmeströme für den Kühllastfall dynamisch ermittelt wird.

Dabei wird die Raumkühllast sowohl durch innere Kühllasten (Personen, Beleuchtung, Maschinen, Geräte, ...), als auch durch äußere Kühllasten (Transmission durch Fenster, Wände, Decken, Boden, ...) beeinflusst.

**Betrachtung der Luftfeuchte**

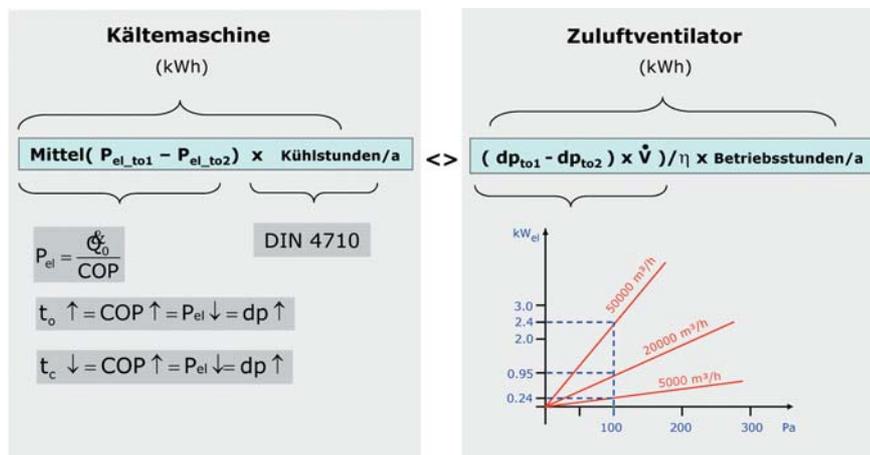
Für die Kühlerauslegung wird üblicherweise das Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946, Teil 2 herangezogen, das definiert ist bei einer Raumtemperatur zwischen 20°C und 26°C und einer relativen Raumfeuchte zwischen 30% und 65% (max. 11,5 g/kg)[2]. Dabei wird für Anlagen

zur Außenluftaufbereitung meist eine Zulufttemperatur von ca. 15°C bis 20°C angesetzt. Dagegen wird der Wert der Luftfeuchte in der Zuluft häufig nicht berücksichtigt. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass z.B. der personenbezogene Feuchteintrag berücksichtigt wird. Dieser liegt zwischen ca. 0,7 bis 2,1 g/kg Außenluft, bezogen auf eine Wasserdampfabgabe von 50 g/h eines physisch nicht tätigen Menschen[1] und einen personenbezogenen Mindestaußenluftstrom von 20 m³/h (Versammlungsräume) bis 60 m³/h je Person (Großraumbüro)[2] (siehe Abb. 6).

Unter Berücksichtigung dieses Ansatzes wird deutlich, dass die absolute Zuluftfeuchte maximal zwischen ca. 9 bis 11 g/kg betragen darf, um im Raum die Behaglichkeit gewährleisten zu können. Da die meteorologischen Daten aber in der Regel höhere absolute Feuchten prognostizieren[3], ist meist bei Anlagen zur Außenluftaufbereitung eine Entfeuchtung der Zuluft unerlässlich.

**Kühleroptimierung**

Bei der Dimensionierung des Kühlers stellt sich die Frage, ob eine hohe Verdampfungstemperatur (damit hohe Leistungsziffer COP und niedrige elektrische Antriebsleistung der Verdichter, aber viele Rohrreihen des Kühlers) oder ein niedriger Druckverlust des Kühlers (damit wenige Rohrreihen des Kühlers, aber niedrige elektrische Antriebsleistung des Ventilators) zu bevorzugen ist, da beide Aspekte konträr zueinander stehen. Ausschlaggebend ist dabei der Jahresenergieverbrauch entsprechend



Angaben sind nur näherungsweise und dienen nur der überschlägigen Betrachtung!

Abb. 7 Jahresenergieverbrauch bei unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen des Luftkühlers

Abb. 7. Löst man diese Formel nach den Kühlstunden  $h_{\text{Kühlen}}$  auf, so wird ersichtlich, ab wann die Kältemaschine – verglichen mit dem Zuluftventilator – mehr elektrische Energie pro Jahr aufnimmt und die Auswahl einer höheren Verdampfungstemperatur des Kühlers sinnvoll erscheint (s. Abb. 8). Im vorliegenden Beispiel also ab 2.459 Kühlstunden pro Jahr. Betrachtet man nun die erforderlichen Kühlstunden anhand der aufgezeichneten Außentemperatur des Aufstellungsortes nach DIN 4710, so lässt sich feststellen, dass z.B. für Frankfurt/Main an 1.256 Stunden/a die Außentemperatur größer oder gleich  $17^\circ\text{C}$  beträgt und mechanische Kühlung erforderlich ist [3] (unterhalb dieser Außentemperatur wird meist freie Kühlung verwendet). Dies lässt den Schluss zu, dass vielfach aus energetischer Sicht ein niedriger Druckverlust des Kühlers gegenüber einer höheren Verdampfungstemperatur zu bevorzugen ist.

### Kälte dimensionierung

Unter dem Einfluss der wesentlichen Auslegungsparameter des Direktverdampfers und des Kondensators (Wärmedurchgangskoeffizient, wirksame Austauschfläche, mittlere Temperaturdifferenz, luft- und kältemittelseitige Massenströme) sowie des Kältemittelverdichters stellt sich im Kältesystem entsprechend den jeweiligen Umgebungsbedingungen bei einer bestimmten Verflüssigungs- und Verdampfungstemperatur ein fester sta-

## Ermittlung der min. Kühlstunden/a

an denen die Kältemaschine - verglichen zum Zuluftventilator - mehr elektrische Energie aufnimmt und die Auswahl einer höheren Verdampfungstemperatur sinnvoll erscheint.

$$h_{\text{kühlen}} > \frac{((dp_1 - dp_2) \times V_{mi}) \times h_{\text{Betrieb}} \times 2}{(2,1 \times 10^6) \times (Q_o / COP_2 - Q_o / COP_1)}$$

|   |  |
|---|--|
| Beispiel:                               | Ergebnis                                       |
| $t_{o1} = 7^\circ\text{C}$              | $V_{mi} = V_{max} = 4500 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| $t_{o2} = 5^\circ\text{C}$              | $h_{\text{kühlen}1} = 2459 \text{ h/a}$        |
| $V_{max} = 4500 \text{ m}^3/\text{h}$   |  |
| $Q_o = 30 \text{ kW}$                   |  |
| $dp_1 = 218 \text{ Pa}$                 |  |
| $dp_2 = 150 \text{ Pa}$                 |  |
| $h_{\text{Betrieb}} = 4283 \text{ h/a}$ |  |
| $COP_1 = 3.5$                           |  |
| $COP_2 = 3.3$                           |  |

Angaben sind nur näherungsweise und dienen nur der überschlägigen Betrachtung !

Abb. 8 Ermittlung der Mindest-Kühlstunden pro Jahr

tionärer Betriebspunkt ein. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass entsprechend den meteorologischen Daten des Aufstellungsortes auch die Randbedingungen in Bezug auf die maximale Eintrittsenthalpie des Kühlers betrachtet werden. Schließlich stellt sich hierbei eine höhere Verdampfungstemperatur, eine höhere erforderliche Kälteleistung, eine höhere Kondensationsleistung, usw. ein, was wiederum Einfluss auf die Auslegung nimmt.

### Regelbarkeit

Bei RLT-Komplettgeräten mit Direktkälte kommen im Allgemeinen folgende Regelungsarten zur Anwendung:

- mehrstufige Verbundanordnung Zu-/Abschaltung von einzelnen Kältemittelverdichtern
- Drehzahlregelung der Kältemittelver-

dichter mittels Frequenzumrichter

- Kombination der beiden Arten
- Kombination von gleichartigen oder unterschiedlichen Verdichterbaugrößen

Mit leistungsfähiger DDC-Software in Verbindung mit bedienungsfreundlichen Terminals lässt sich diese komplexe Regelaufgabe heute optimal lösen.

### Anlagenkonzepte

Für die Einbindung der Direktkälte in zentrale RLT-Geräte steht heute eine Vielzahl von bewährten Anlagenkonzepten zur Verfügung, wie z.B.:

- mit außenluftgekühltem Axialkondensator (s. Abb. 9)
- mit Fortluftverflüssiger mit oder ohne zusätzlicher Außenluft; mit oder ohne Umluftbetrieb im Kühlfall (s. Abb. 10)
- mit umschaltbarer Wärmepumpe
- mit Nacherhitzerkondensator

Anwendung finden RLT-Komplettgeräte mit Direktkälte heute auf allen Gebieten der zentralen Raumluftklimatisierung von wenigen Kilowatt Kälteleistung bis in den Megawatt-Bereich. Jüngstes Beispiel hierfür stellt die Klimatisierung eines Einkaufszentrums bei Leipzig dar. Hier sind 21 RLT-Geräte mit einer Gesamt-Zuluftmenge von  $1.300.000 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer Gesamt-Kälteleistung von über 8 MW installiert, s. Abb. 1.

### Resümee

Bei der zentralen Raumluftklimatisierung ist aufgrund der überragenden Vorteile sowohl für den Investor, als

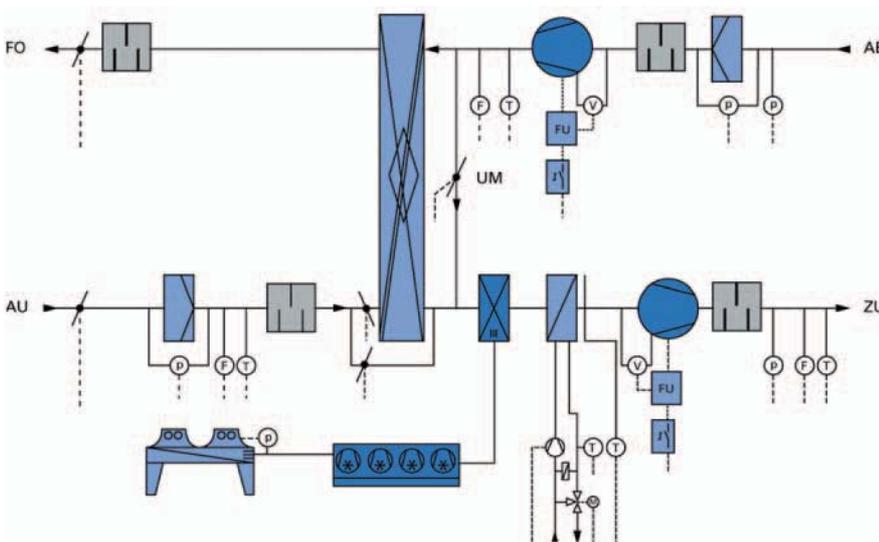


Abb. 9 RLT-Komplettgerät mit Direktkälte und außenluftgekühltem Axialkondensator

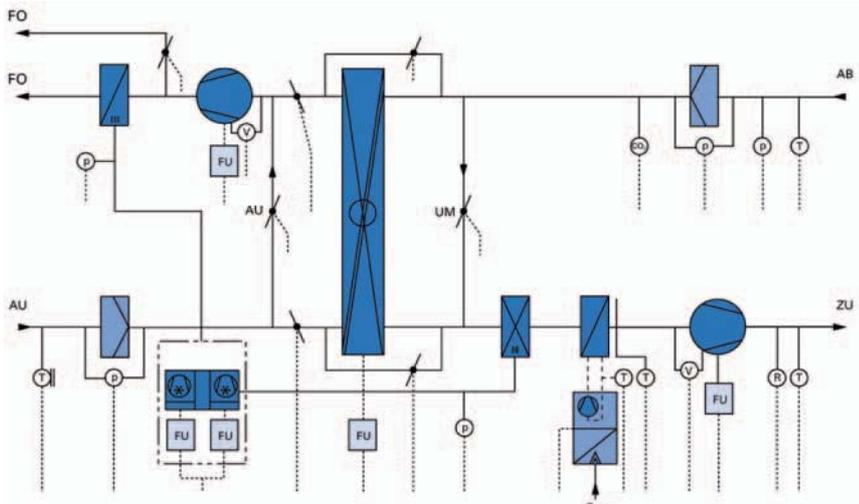


Abb. 10 RLT-Komplettgerät mit Direktkälte und Fortluftverflüssiger mit zusätzlicher Außenluft und Umluftbetrieb im Kühlfall

auch für den Betreiber ein Trend hin zu direkten Kältesystemen, komplett integriert im RLT-Gerät, feststellbar. Grundsätzlich muss aber bei jeder Art der Kälteerzeugung, ob direktes oder indirektes Kältesystem, besonderes Augenmerk auf die Bestimmung der

Kühllast sowie auf die Dimensionierung und vor allem auf die Optimierung aller kältetechnischer Komponenten gerichtet werden, um Minderleistungen oder Fehlfunktionen und damit Probleme im späteren Betrieb nachhaltig ausschließen zu können.

**Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker, Ing. Büro Becker, Prof. für Thermodynamik und Klimatechnik, Biberach University of Applied Sciences, Biberach

Dipl.-Ing. (FH) Martin Gruler, Leiter Produktentwicklung und Qualitätssicherung, robatherm Burgau, www.robatherm.de

Alle übrigen Grafiken: robatherm

**Literatur:**

[1] VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln). Ausgabe: 1996-07. Beuth-Verlag

[2] DIN 1946, Teil 2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Ausgabe: 1994-01. Beuth-Verlag

[3] DIN 4710: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Ausgabe: 2003-01. Beuth-Verlag

## Für thermischen Komfort Ihr Kühldeckenspezialist

**Barcol-Air AG**  
 Grundstrasse 10b  
 CH-8712 Stäfa  
 Switzerland

Tel. +41 44 928 31 11  
 Fax. +41 44 928 31 51

[firma@barcol-air.com](mailto:firma@barcol-air.com)  
[www.barcol-air.com](http://www.barcol-air.com)



your Climate, our Care