

Verdunstungskühlung

Kühlen ohne Strom

Grundlagen - Funktionsweise - Planungshinweise

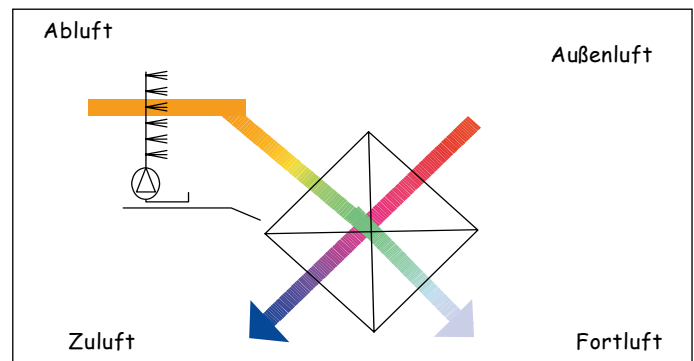
Dipl.-Ing./Dipl.-Wirt.-Ing. Marcus Käbe*

Der Wunsch nach klimatisierten Gebäuden ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. So wie es schon fast selbstverständlich ist in klimatisierten PKWs zu fahren, wird dieser Anspruch zunehmend auch auf Gebäude übertragen und vermehrt umgesetzt. Im Gegenzug ist allerdings mit einem ständig steigenden Energiebedarf zu rechnen, um den Klimakomfortbedürfnissen gerecht zu werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der aktuellen Energiepreise spielt daher auch die Auswahl eines wirtschaftlichen Klimatisierungs-Konzeptes eine entscheidende Rolle. Als eine Alternative zu den gängigen Kompressionskältemaschinen hat sich in den letzten Jahren die Verdunstungskühlung in RLT-Anlagen etabliert.

Nachdem Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) aufgrund der umweltschädigenden Wirkung zur Kühlung nicht mehr eingesetzt werden durften, besann man sich auf ein bekanntes physikalisches Prinzip: die Verdunstungskühlung. Bei diesem Vorgang, der auch als adiabatische Luft-Zustandsänderung bezeichnet wird, kühlt die Luft durch Wasseraufnahme bei gleichem Druck und bei gleichem Wärmeinhalt ab. Doch bereits zu Zeiten der Pharaonen war die Verdunstungskühlung und dessen Vorzüge bekannt. So wurden zum Beispiel mit Wasser gefüllte poröse Tonkrüge zur Kühlung eingesetzt. Der Effekt der Verdunstungskühlung wurde intensiviert, wenn zum Beispiel mit einem großen Wedel die Luft zwischen den Krügen bewegt wurde (Bild 1).

In Klimaanlage der Neuzeit wurde die Verdunstungskühlung durch das direkte Versprühen von Wasser im Zuluftstrom zur Kühlung der Räume bereits über viele Jahre genutzt. Gleichzeitig mit der Abkühlung stieg bei diesem Prinzip jedoch die relative Luftfeuchte an, sodass in den Räumen die Schwülegrenze schnell überschritten wurde. Damit konnte sich auch kein zufriedenstellendes Raumklima einstellen. Hinzu kamen hygienische Probleme in den Befeuchterkammern.

Ein Umdenken hinsichtlich rationeller Energieverwen-

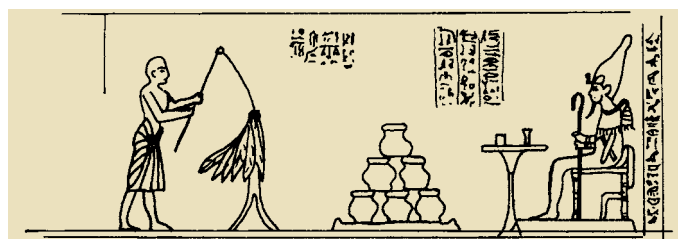


■ Bild 2: Indirekte Verdunstungskühlung zur Temperaturabsenkung, Befeuchtung vor der WRG.

dung in Klimaanlage setzte erst mit der 1. Ölpreiskrise 1973 ein. So wurden die ersten regenerativen und rekuperativen Wärmerückgewinnungssysteme marktfähig. In einem weiteren Entwicklungsschritt kamen Ende der 80er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts rekuperative Plattenwärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung mit mechanischen Sprühdüsenbefeuchtern kombiniert zum Einsatz. Der Trick hierbei besteht darin, nicht direkt den Zuluftstrom zu befeuchten, sondern den Abluftstrom. Die befeuchtete und abgekühlte Abluft wird bei diesem Verfahren in den nachgeschalteten Plattenwärmeübertrager geleitet und somit der Außenluft die Wärme entzogen. Dies hat den Vorteil, dass auf der Raumseite, durch die indirekte Kühlung, keine Erhöhung der Luftfeuchte stattfindet. Die mit der Verdunstungskühlung erreichbaren Zulufttemperaturen sind abhängig von der Feuchtkugeltemperatur der Abluft, sowie von der Güte der eingesetzten

Komponenten. Das heißt: Je trockener die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie aufnehmen und desto höher ist die erreichbare Kühlleistung.

Die Verdunstungskühlung hat ihre natürliche Grenze durch die Sättigungslinie der feuchten Luft. Bei indirekten Verdunstungskühlsystemen erfolgt die zuvor beschriebene Temperaturabsenkung in zwei Schritten: In einem Befeuchter wird die Luft zunächst auf eine relative Feuchte kleiner 100% befeuchtet. Die Zustandsänderung der Befeuchtung verläuft im h,x -Diagramm nahezu isenthalp. Anschließend wird die abgekühlte Abluft zur Wärmeaufnahme durch den Wärmerückgewinner geleitet (Bild 2). Bei Systemen dieser Art ist die über den Wärmeübertrager abzuführende Wärmemenge durch die maximale Auffeuchtung bis zur Sättigungslinie begrenzt. Bezogen auf einen Standardauslegungsfall und gleichem Luftmassenstromverhältnis auf der Ab- und Zuluftseite sind bei diesem Verfahren Zulufttemperaturen je nach Rückwärmzahl der WRG, von etwa 25°C realistisch (Bild 3).

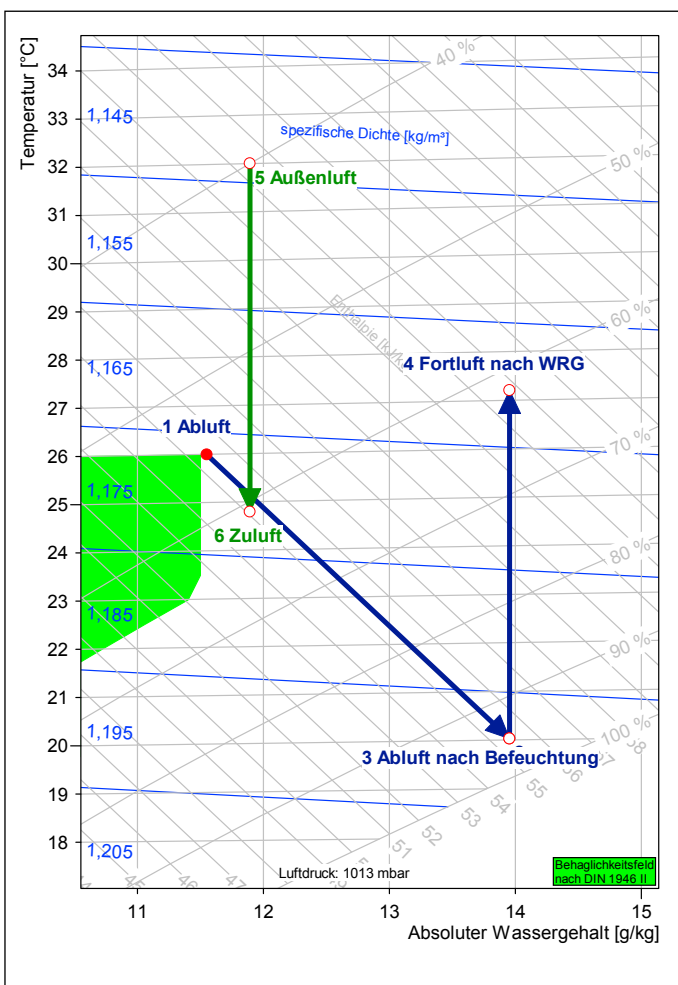


■ Bild 1: Ein Relikt aus alten Zeiten: Bereits hier wurde das Prinzip der Verdunstungskühlung angewendet. Dazu dienten mit Wasser gefüllte, poröse Tonkrüge als Kältequelle.

Wärmerückgewinnung und Prozesskühlung

Einen weiteren Entwicklungsschritt zeigt die Kombination der zuvor beschriebenen Prozesse, bei der die Befeuchtung und der Wär-

*) Dipl.-Ing./Dipl.-Wirt.-Ing. Marcus Käbe, Menerga Apparatbau GmbH



Punkt	Luftweg 1				Luftweg 2	
	1	2	3	4	5	6
t (°C)	26,0	20,0	20,0	27,2	32,0	24,8
ϕ (%)	55	95	95	62	40	61
x (g/kg)	11,5	14,0	14,0	14,0	11,9	11,9
h (kJ/kg)	55,4	55,4	55,4	62,8	62,4	55,1
\dot{V} (m³/h)						
\dot{m} (kg/s)						
Δt	-6,0	0,0		7,2		-7,2
Δx	2,4	0,0		0,0		0,0
Δh	0,0	0,0		7,4		-7,4
Q (kW)						
Δx (kg/h)						

Wärmerückgewinnung
 Eintrittspunkte 3 und 5; Rekuperative WRG mit Rückwärmzahl = 0,6

Befeuchten
 Eintrittspunkt 1; Befeuchten mit Wasser; 95,0% relative Austrittsfeuchte

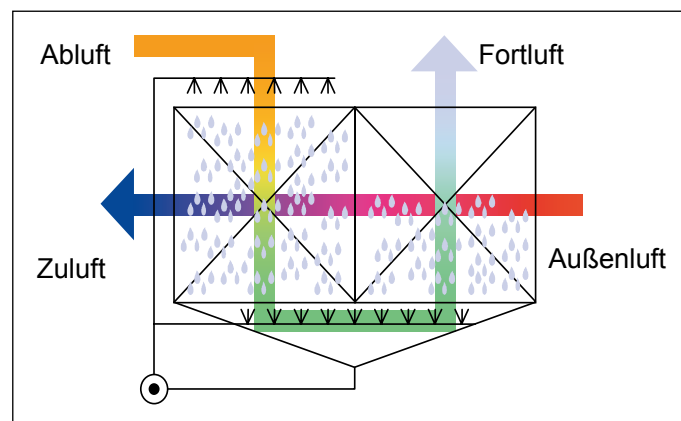


Bild 4: Indirekte Verdunstungskühlung zur Temperaturabsenkung, Befeuchtung in der WRG.

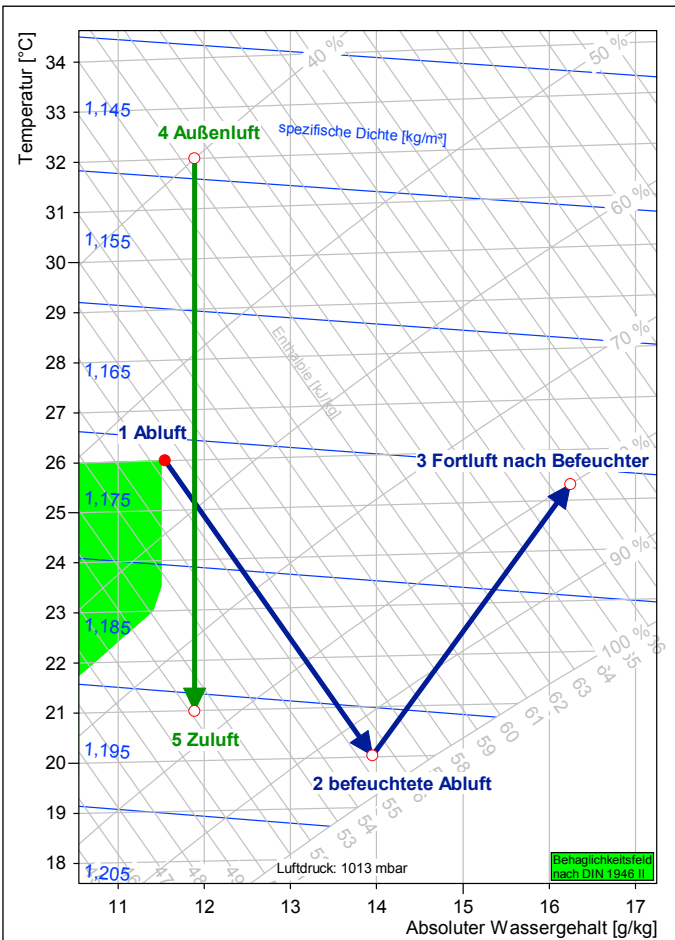
meentzug in einem Bauteil stattfindet. So hat die Menerga Apparatebau GmbH beispielsweise ein RLT-System entwickelt, bei dem die Kühlung und die Wärmeübertragung gleichzeitig in einem aus Polypropylen gefertigten, zweistufigen Plattenwärmeübertrager ablaufen kann. Dabei wird die Abluft übersättigt, um das Potenzial der Verdunstungskühlung zu erhöhen. Bild 4 zeigt den schematischen Aufbau der Einheit zur Lufttemperaturabsenkung.

Neben der Übersättigung der Abluft hat der Übertragungsgrad im Wärmerückgewinner einen maßgebenden Anteil auf die Leistungsfähigkeit der Verdunstungskühlung. So wurden im Winterbetrieb bei diesem System trockene Rückwärmzahlen – bei gleichen Masseströmen – zwischen Zu- und Abluft von 0,78 bis 0,87 und während der Verdunstungskühlung von über 0,9 bis 0,95 im Rahmen eines durch das BMWi** geförderten Forschungsprojektes ermittelt. Die Verbesserung der Rückwärmzahl im Verdunstungs-

tungsbetrieb ist auf die Befeuchtung im Wärmerückgewinner selbst und die damit verbundene Steigerung des Wärmeübergangs zurückzuführen. Der Unterschied zur getrennten Befeuchtung und anschließenden Wärmeübertragung besteht darin, dass bei dem Menerga-System die Abluft bis zum Austritt aus der zweiten WRG-Stufe ständig weiterbefeuchtet wird. Die Fortlufttemperatur ist dementsprechend deutlich niedriger als bei der getrennten Prozessführung. Unter Zugrundelegung der zuvor beschriebenen Standardauslegung werden bei diesem System Zulufttemperaturen von etwa 21°C bis 22°C erreicht (Bild 5). Das entspricht einer Leistungssteigerung von über 40%. Das vorgestellte System erreicht im Sommerauslegungsfall eine Absenkung der Außenlufttemperatur von rund 10 K. Der Energieaufwand zur Abführung der sensiblen Wärme kann somit erheblich reduziert werden. Eine besondere Wasseraufbereitung ist bei diesem Prinzip nicht erforderlich.

**) Auszug aus dem Abschlussbericht: „Entwicklung, Bau und messtechnische Untersuchung eines sorptionsgestützten Klimagerätes unter Einsatz wässriger Salzlösungen“ Förderkennzeichen 032 9151N des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

Der indirekten „adiabaten“ Verdunstungskühlung sind aber auch thermophysikalische Grenzen gesetzt. Dies bedeutet, dass größere Temperaturabsenkungen unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen nicht zu erreichen sind. Selbstverständlich kann



Punkt	Luftweg 1			Luftweg 2	
	1	2	3	4	5
t (°C)	26,0	20,0	25,3	32,0	21,0
ϕ (%)	55	95	80	40	77
x (g/kg)	11,5	14,0	16,2	11,9	11,9
h (kJ/kg)	55,4	55,4	66,7	62,4	51,2
\dot{V} (m³/h)					
\dot{m} (kg/s)					
Δt	-6,0		5,3		-11,0
Δx	2,4		2,3		0,0
Δh	0,0		11,3		-11,3
Q (kW)					
Δx (kg/h)					

Adiabatische Kühlung
 Eintrittspunkte 4 und 1; 92% Temperaturwirkungsgrad;
 Befeuchteter Luftweg von 1 nach 3

■ Bild 5: Verlauf der Temperaturabsenkung bei der Befeuchtung mit gleichzeitigem Wärmeübergang.

Nachgefragt

IKZ-FACHPLANER: Herr Käbe, die von Ihnen im Beitrag beschriebene kombinierte WRG-Einheit wird mit Wasser besprüht. Ist der Wärmeübertrager für Inkrustation anfällig und wie hoch ist der Wasserverbrauch bei einem Luftvolumenstrom von beispielsweise 1000 m³/h bzw. je kWh Kälteleistung?

genüber der konventionellen Kältemaschine ableiten. Bei einem angemessenen Strompreis von 0,125 Euro/kWh und einer Leistungsziffer (COP) der Kältemaschine von 4,5 liegt der Preis für 1,0 MWh Kälte bei 27,80 Euro.

Bei einem zugrundegelegten Wasserpreis von 5,00

Käbe: Ein herausragender Vorteil bei diesem System ist der aus Polypropylen gefertigte Wärmeübertrager. Aufgrund der positiven Werkstoffeigenschaften ist der Rekuperator absolut unempfindlich gegen Korrosion und Ablagerungen von Erdalkalien. Der Wasserverbrauch ist abhängig von der Wasserqualität, das heißt von der Gesamthärte des Wassers. Im Durchschnitt liegt der Verbrauch bei annähernd 9 kg/h bezogen auf einen Luftvolumenstrom von 1000 m³/h, oder anders gesagt: mit 1,8 kg Wasser wird 1,0 kWh Kälteleistung erzeugt.



■ Dipl.-Ing./Dipl.-Wirt.-Ing. Marcus Käbe im Gespräch mit der IKZ-FACHPLANER-Redaktion.

IKZ-FACHPLANER: Wie groß ist die Energieeinsparung gegenüber einer herkömmlichen Anlage mit Kompressionskältemaschine und WRG?

Euro/m³ betragen die Kosten für adiabate erzeugte Kälte nach dem Menerga-Prinzip rund 9,00 Euro/MWh.

IKZ-FACHPLANER: In welchen Zeitabständen sind Wartungsarbeiten notwendig?

Käbe: Anhand eines stark vereinfachten Betriebskostenvergleichs lassen sich die wirtschaftlichen Vorteile der Verdunstungskühlung ge-

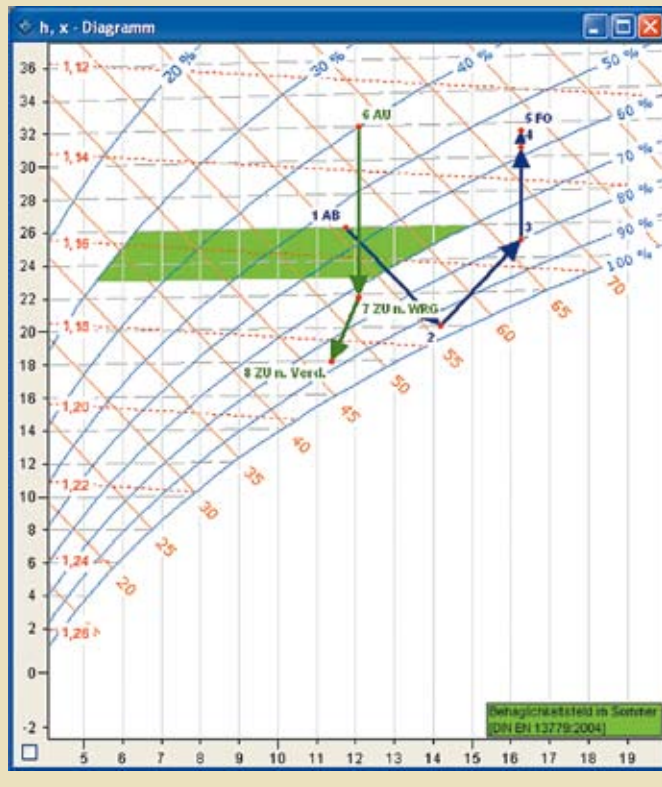
Das Wartungsintervall für diese RLT-Geräte ist abhängig von der Laufzeit. In der Regel werden die Komponenten der Verdunstungskühlung mit der regulären Wartung der RLT-Geräte – also 1- bis 2-mal pro Jahr gewartet. ■



■ Bild 6: Klimagerät „Adsolair“ Typ 58 mit integrierter Verdunstungskühlung und zusätzlicher Kompressionskältemaschine. Hierbei ist es möglich, die anstehende latente Wärme der Außenluft zu entziehen und über einen geräteinternen Kältemittelrückkühler mit der Fortluft abzuführen. Dabei kann die Planung von gesonderten Rückkühlwerken und Kältemittelleitungen außerhalb des Gerätes entfallen.

Softwaretool „psychrometric chart 4.0“

Mit dem Programm „psychrometric chart 4.0“ kann der Planer wahlweise über die Maus oder die Tastatur Daten für Prozesse in der Klimatechnik eingeben. Die Visualisierung erfolgt in einem h,x-Diagramm, in dem sich auch Behaglichkeitsbereiche darstellen lassen. Zusätzlich werden weitere thermodynamische Koordinaten wie Temperatur, Feuchtigkeit, Dichte oder Enthalpie und Prozessdaten wie Wärme- und Entfeuchtungsleistung tabellarisch dargestellt. Die Software kann für 365 Euro bestellt werden bei der Menerga Apparatebau GmbH, Gutenbergstraße 51, 45473 Mülheim an der Ruhr, Tel.: 0208 9981-0, www.menerga.de, info@menerga.com.



in diesen Fällen zum Beispiel eine integrierte, der Verdunstungskühlung nachgeschaltete Kompressionskältemaschine den Kühlprozess unterstützen (Bild 6).

Fazit

Das beschriebene RLT-System mit indirekter „adiabater“ Verdunstungskühlung stellt einen – wenn auch nicht ganz neuen – Weg zur notwendigen Energiekosteneinsparung in der Klimatechnik dar. Gleichzeitig können die Investitionskosten für die Kälteerzeugung reduziert werden. ■