

Das Ka₂O-System

Ein neues, hocheffizientes und leistungsstarkes System zur indirekten Verdunstungskühlung in zentralen RLT-Geräten

In der Klimatechnik gewinnt die indirekte Verdunstungskühlung als Alternative zur herkömmlichen Kälteerzeugung mit F-Gasen zunehmend an Bedeutung. Ein Nachteil von Verdunstungskühlsystemen ist bislang jedoch die begrenzte Abkühlung von warmer Außenluft um maximal etwa 12 K in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Eine Weiterentwicklung der Verdunstungskühlung zu größeren Kühlleistungen ist die "Ka₂O"-Technologie der Kampmann GmbH und der Tochtergesellschaft Nova Apparate GmbH. In einem ausgeführten Projekt erreichte die Ka₂O-Technik der indirekten Verdunstungskühlung im RLT-Gerät eine Absenkung der Außenlufttemperatur von rund 38,5 °C auf eine Zulufttemperatur von 18,5 °C - also um enorme 20 K.

Die indirekte Verdunstungskühlung bietet eine Möglichkeit, die zu konditionierende Luft durch Zugabe von Wasser natürlich zu kühlen und dabei gleichzeitig den Stromverbrauch deutlich zu senken (im Vergleich zum Betrieb einer Kältemaschine). Zudem wird im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) die von einer indirekten Verdunstungskühlung erzeugte Kälteleistung als regenerative Energie anerkannt.

Nahezu alle großen RLT-Gerätehersteller haben, oft unterschiedlich arbeitende Lösungen zur indirekten Verdunstungskühlung im Produktportfolio. Das wesentliche Kriterium bei der Auswahl einer Technologie ist aber deren Leistungsfähigkeit und das Potenzial zur Verringerung der Temperatur. Dazu haben Kampmann und Nova mit der Ka₂O-Technologie eine Innovation zur Verdunstungskühlung entwickelt, die es ermöglicht, auch Temperaturabsenkungen der Außenluft um mehr als 20 K zu erreichen. Wie werden solche hohe Leistungen erreicht?



Abbildung 1: Ein Ka₂O-Basismodul mit Gegenstromwärmeübertrager und Befeuchtungssystem

Der konstruktive Aufbau des Systems

Im Gegensatz zu anderen Verdunstungssystemen basiert die "Ka2O"-Technologie auf einem modularen Aufbau durch eine Kombination des Gegenstromwärmeübertragers "Ka2O" in Höhe und Tiefe (Abbildung 1). Es wird also nicht ein großer Wärmeübertrager verwendet, der für unterschiedliche Luftmengen auch unterschiedlich groß ausgeführt werden muss, sondern nur eine Standard-Wärmeübertragergröße. Durch den Einsatz von mehreren dieser Basis-Wärmeübertragern werden dann, je nach Projektanforderungen und geforderter Leistung, entsprechende Kombinationen erstellt (Abbildung 2).

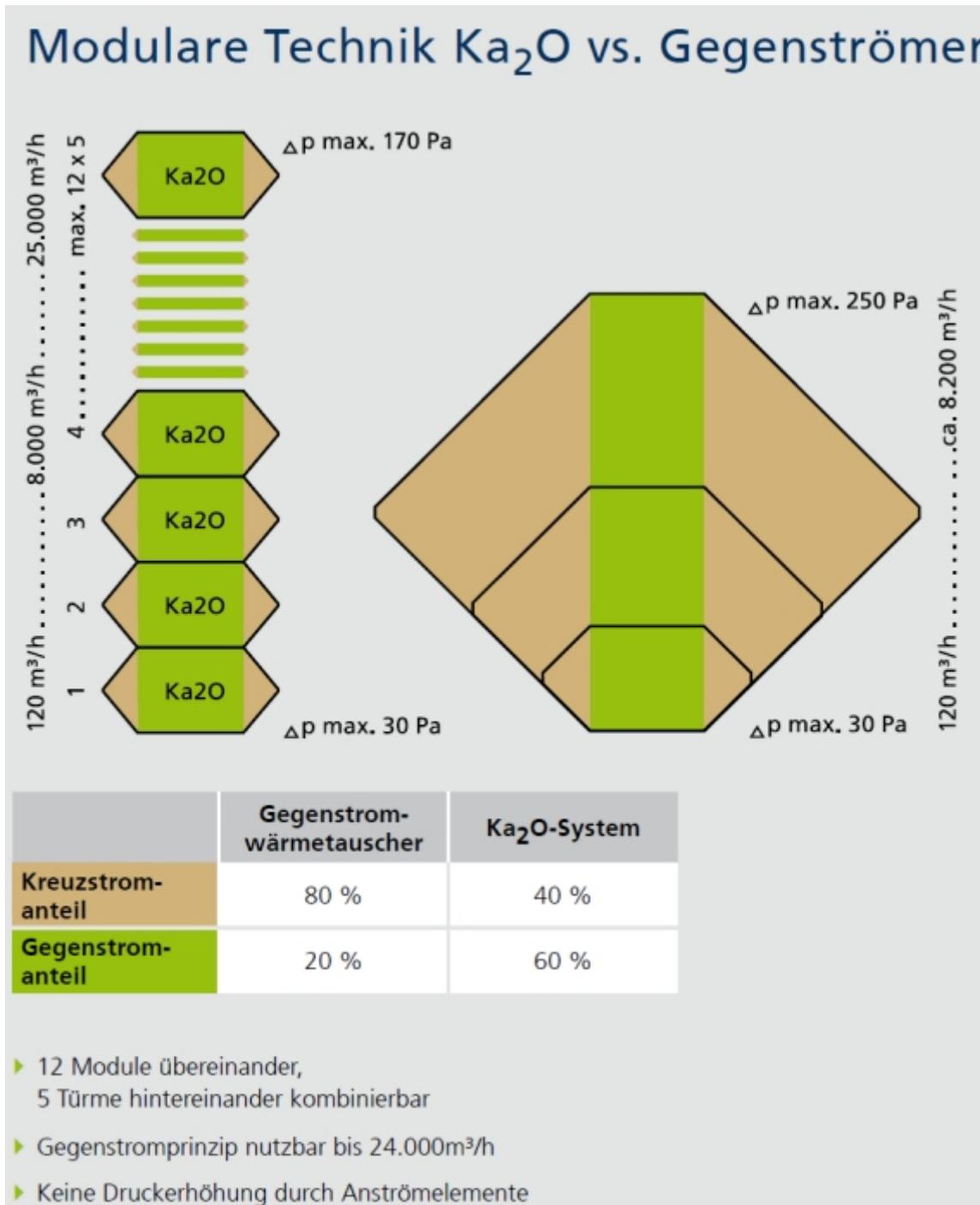


Abbildung 2: Vergleich der Modultechnik der Ka2O-Gegenstromwärmeübertrager mit einem zentralen Gegenstromwärmeübertrager

Der Basis-Wärmeübertrager ist für eine Nennluftmenge von 400 m³/h bei 150 Pa Druckverlust ausgelegt. Die Variantenvielfalt bei der Kombination dieser Basismodule reicht von einem Turm mit drei Modulen (1.200 m³/h) bis zu fünf Türmen in der Tiefe mit jeweils zwölf Modulen, was einer Luftmenge von 24.000 m³/h entspricht (Abbildung 2 und Tabelle 1).

Luftmengenübersicht – 35 Modulkombinationen möglich					
Modulanzahl vertikal	1 Turm	2 Türme	3 Türme	4 Türme	5 Türme
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	1.200	-	-	-	-
4	1.600	3.200	-	-	-
5	2.000	4.000	6.000	-	-
6	2.400	4.800	7.200	9.600	-
7	2.800	5.600	8.400	11.200	14.000
8	3.200	6.400	9.600	12.800	16.000
9	-	7.200	10.800	14.400	18.000
10	-	8.000	12.000	16.000	20.000
11	-	8.800	13.200	17.600	22.000
12	-	-	14.400	19.200	24.000

Tabelle1: Varianten des Ka20-Modulprinzips

Das Besondere im Vergleich zu anderen Platten- und Gegenstromwärmeübertragern ist, dass durch diese Parallelschaltung der Module der Druckverlust gleich bleibt - egal, welche Modulkombination und somit Luftmenge betrieben wird. Lediglich durch die Luftverteilungen steigt der Druckverlust bis 10 Pa an (siehe Abbildung 2).

(weiter auf Seite 3)

In jedem Wärmeübertragermodul ist auf der Abluftseite eine Sprühanlage mit fünf Düsen integriert, die in dieselbe Richtung mit dem Luftstrom Wasser direkt in den Wärmeübertrager sprühen (siehe Abbildung 1). Die Stoff- und Wärmeübertragung erfolgt somit im Wärmeübertrager stets gleichzeitig, was energetisch und physikalisch deutlich effektiver ist, als ein vorgelagertes Befeuchtungssystem einzusetzen.

Die Abluftseite des Wärmeübertragers ist mit einer hydrophilen Beschichtung ausgeführt. Durch eine spezielle geometrische Konstruktion der Lamellen im Wärmeübertrager und durch die Kapillarwirkung der Beschichtung wird das vom Luftstrom mitgeführte Wasser auf die gesamte Oberfläche verteilt. In Abbildung 3 und 4 ist das Prinzip als Schema dargestellt, integriert in einem RLT-Gerät.

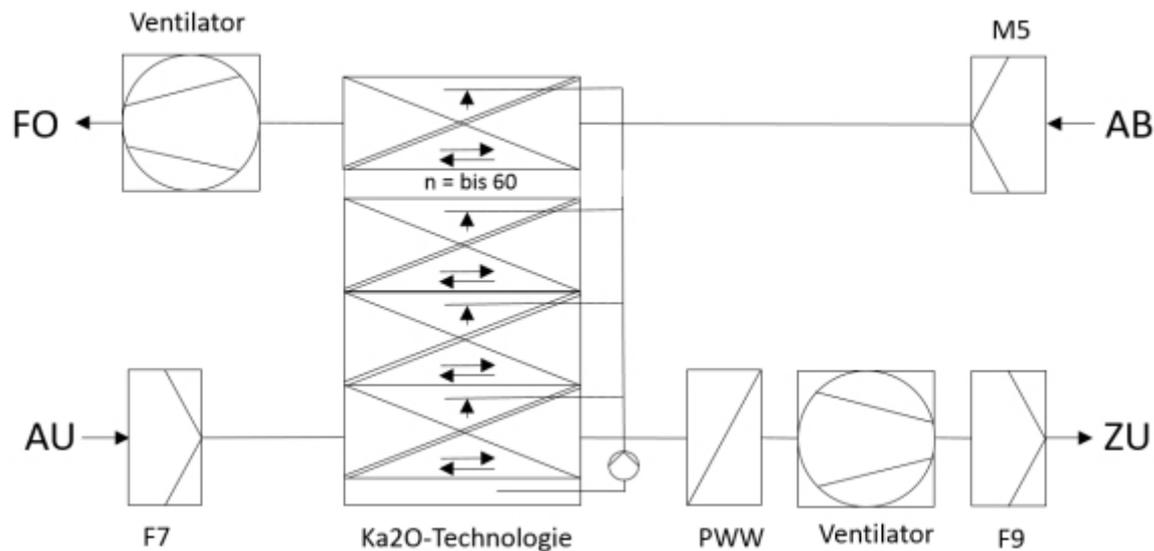


Abbildung 3: RLT-Gerät mit Ka2O-Technologie, Abluftdirektbefuchtung mit Umlaufwasser und Gegenstrom-Wärmeübertrager

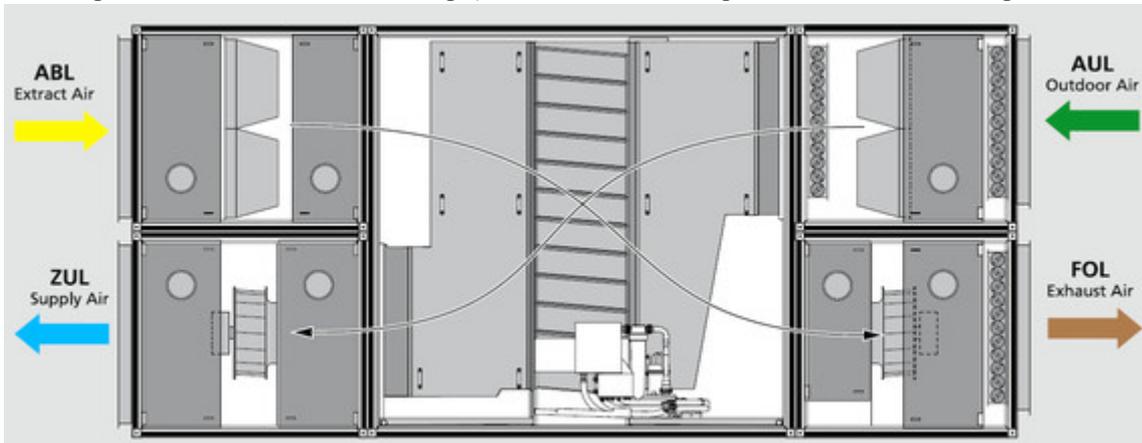


Abbildung 4: Die Ka2O-Technologie integriert im RLT-Gerät

Beim Einsatz von nur einem großen Wärmeübertrager ergibt sich oft der Nachteil, dass die Oberflächen der Abluftlamellen nicht vollständig benetzt werden. Bevor das Wasser alle Bereiche erreicht, haben sich Tropfen gebildet, die direkt nach unten ablaufen. Durch Verwenden von mehreren kleineren Wärmeübertragern mit einer Tiefe unter 400 mm ist der Vorgang des Benetzens der Oberflächen deutlich effizienter. Auf der hydrophilen Oberfläche entsteht ein beständiger Wasserfilm, der für eine bestmögliche Verdunstung und damit für hohe Kühlleistungen des Systems sorgt.

Die physikalischen Grundlagen des Systems

Wird der Prozess im Wärmeübertrager detailliert betrachtet, erkennt man einen weiteren Vorteil der Abluftbefuchtung mit vielen kleinen Wärmeübertragern. Bekanntlich kann warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte Luft. Beim Eintritt von warmer Außenluft wird infolge des Wärmedurchgangs im Wärmeübertrager auf der Abluftseite die Lufttemperatur erhöht. Durch diese Erhöhung kann die Abluft mehr Feuchtigkeit aufnehmen, wodurch die Verdunstung und somit die Kälteleistung ansteigt.

Physikalisch bedingt ist das "Ka2O"-System, wie jedes andere Verdunstungssystem auch, von der Feuchtkugeltemperatur der Abluft abhängig. Je trockener die Ablufttemperatur ist, desto niedriger ist auch die Feuchtkugeltemperatur. Mit der "Ka2O"-Technologie wird die Feuchtkugeltemperatur der Abluft jedoch zu fast 100 % auf die Zulufttemperatur übertragen. Dies wird durch zwei gleichzeitig ablaufende Prozesse bewirkt:

- Erstens sinkt aufgrund der Verdampfungsenthalpie des Wassers von 2.500 kJ/kg die Temperatur der Abluft um 2,5 K pro g Wasser, das von ihr aufgenommen wird.

- Zweitens stellt sich aufgrund der direkten Verdunstung von Wasser an den hydrophilen Innenseiten der Wärmeübertrager eine geringere Temperatur ein. Diese Verdunstung wird wesentlich hervorgerufen durch die Wärmeaufnahme aus der warmen Außenluft, die den Wärmeübertrager durchströmt (Wärmedurchgang von der Außenluft durch die Aluminiumplatten zur hydrophilen Schicht auf der Abluftseite).

Das besondere bei diesem Prozess ist, dass die Größe der Außentemperatur dabei keinen Einfluss hat. Selbst wenn die Außentemperatur 40 °C beträgt, wird die Feuchtkugeltemperatur der Abluft auf die Zuluft übertragen. Ausgehend von der Tatsache, dass die theoretisch minimal erreichbare Zulufttemperatur der Feuchtkugeltemperatur der Abluft entspricht, ist der Kühlwirkungsgrad Φ des Systems folgendermaßen definiert:

$$\Phi = (\text{Außenlufttemperatur} - \text{Zulufttemperatur}) / (\text{Außenlufttemperatur} - \text{Feuchtkugeltemperatur der Abluft})$$

Bei der Ermittlung des Kühlwirkungsgrads Φ ergaben sich in Labormessungen und bei Referenzanlagen Werte bis 97 %. Dazu ein Beispiel einer ausgeführten Anlage an einem extrem warmen Tag im Sommer 2015.

Wirkung des Systems in einer ausgeführten Anlage

Die Anlage wurde in einem Edeka-Markt in Haselhütte/Niedersachsen installiert. Messung am 2. Juli 2015 um 19.57 Uhr ergaben folgende Werte:

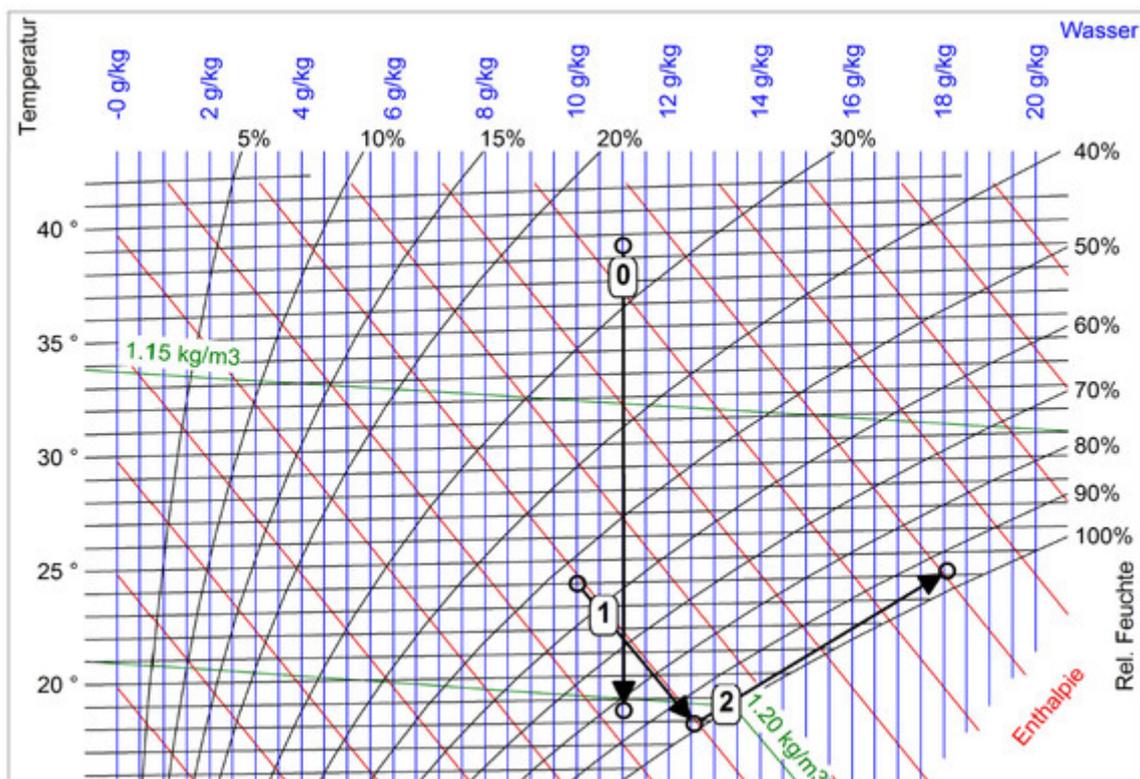
Außenlufttemperatur: 38,6 °C

Ablufttemperatur: 24,0 °C (54 % r.F.)

Zulufttemperatur: 18,5 °C (gemessen im Luftstrom nach EC-Ventilator)

Differenz: 20,1 K

Φ : 96%



Die im h,x-Diagramm dargestellten Verläufe entsprechen folgenden Messwerten und Luftzuständen:

Außenluft-Zuluft-Seite (Verlauf 0)

	Außenluft =>	Zuluft
Temperatur	38,6 °C	18,5 °C
rel. Feuchte	26,0 %	83,0 %
abs. Feuchte	11,0 g/kg	11,0 g/kg
Enthalpie feucht	67,1 kJ/kg	46,6 kJ/kg
Volumenstrom feucht	9.600 m ³ /h	8.984 m ³ /h
Massenstrom trocken	10.680 kg/h	10.680 kg/h

Abluft (Befeuchtung) auf Feuchtkugeltemperatur (Verlauf 1)

UEB	Abluft =>	Feuchtkugeltemperatur
Temperatur	24,0 °C	17,9 °C
rel. Feuchte	54,0 %	98,0 %
abs. Feuchte	10,0 g/kg	12,6 g/kg
Enthalpie feucht	49,7 kJ/kg	49,8 kJ/kg
Volumenstrom feucht	9.600 m ³ /h	9.440 m ³ /h
Massenstrom trocken	11.220 kg/h	11.220 kg/h

Abluft-Fortluft-Seite (Verlauf 2)

UEB	Abluft =>	Fortluft
Temperatur	17,9 °C	24,2 °C
rel. Feuchte	98,0 %	95,0 %
abs. Feuchte	12,6 g/kg	18,1 g/kg
Enthalpie feucht	49,8 kJ/kg	70,4 kJ/kg
Volumenstrom feucht	9.600 m ³ /h	9.893 m ³ /h
Massenstrom trocken	11.410 kg/h	11.410 kg/h

Die Umsetzung der Verdunstungskühlung

Um den Wasserverbrauch des Gesamtsystems möglichst gering zu halten, erfolgt die Besprühung der Wärmeübertrager mit Umlaufwasser. Unter den Modultürmen befindet sich eine Wasserwanne, die das überschüssige, nicht verdunstete Wasser auffängt und dem Prozess erneut zuführt. Zur Befeuchtung wird eine Umwälzpumpe eingesetzt, die nacheinander jeden Turm einzeln mit Wasser versorgt. Das Umschalten erfolgt über Magnetventile. Von der zugehörigen Regelung wird das Gesamtsystem gesteuert und überwacht. Enthalten sind auch eine Füllstandsüberwachung, eine automatische Nachspeisung sowie die tägliche Abschlammung. Das System wird nicht dauerhaft, sondern zyklisch gesteuert besprüht. Durch Messungen im Labor wurden Parameter für ein Optimum aus Wasserverbrauch, Kühlleistung und elektrischer Leistungsaufnahme ermittelt. Demnach beträgt die Besprühzeit jedes Turms lediglich 10 s. Danach folgt in Abhängigkeit vom Abluftstrom eine Pause von mindestens 240 s. Das heißt, die Nachteile der indirekten Verdunstungskühlung (höherer Druckverlust während der Besprühung und der Stromverbrauch der Umwälzpumpe) sind marginal und treten nur während der kurzen Sprühzyklen auf.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Frostsicherheit des Systems gelegt. Dazu sind alle Komponenten so ausgelegt, dass eine Selbstentleerung auch im stromlosen Zustand stattfindet und kein Wasser im System verbleiben kann. Durch Verwenden von Umlaufwasser kann der Wärmeübertrager mit einer deutlichen Überschussmenge Wasser beaufschlagt werden, wodurch sich ein sehr hoher Wasserwirkungsgrad erreichen lässt.

Ein weiterer Vorteil der Überbesprühung ist, dass dadurch mineralische Ausfällungen von den Wärmeübertragerflächen abgewaschen werden. In den meisten Fällen wird nicht aufbereitetes Stadtwasser eingesetzt. Der Wartungsaufwand des Systems wird jedoch verringert, wenn für die Besprühung enthärtetes Wasser eingesetzt wird.

Den Hygieneanforderungen der VDI 6022 wird mit Verwenden von vielen kleinen Wärmeübertragern ebenfalls Rechnung getragen. Durch die geringeren Tiefen der "Ka2O"-Register sind die Lamellen auch durch den Kern hindurch besser zu reinigen als große Wärmeübertrager. Zur Verteilung der Luft und zur idealen Anströmung der Module wurden Luftleitungen entwickelt, die zur Wartung entnommen werden können. So kann jedes einzelne Modul inspiziert und geprüft werden.

Zusammenfassung

Die Verdunstungskühlung wurde mit der "Ka2O"-Technologie deutlich weiterentwickelt und effizienter gemacht. Durch die veränderten Rahmenbedingungen der Gesetzgebung zur Erreichung von Klimaschutzziele wird die indirekte Verdunstungskühlung mit "Ka2O" für Planer zu einer Technik, die die konventionelle maschinelle Kälteerzeugung weitgehend substituieren oder zumindest deutlich entlasten kann.

Autor

Dipl.-Ing. Hermann Ensink, Geschäftsleiter Innovation und Technik, Kampmann GmbH, Lingen
