

Verdunstungskühlung 2.0

Das Ka_2O -System ist eine hocheffiziente, neue Technologie zur indirekten Verdunstungskühlung in RLT-Anlagen

Nachhaltige, regenerative Kühlsysteme gewinnen in Zeiten des Klimawandels und immer strikter werdender Gesetze zum Klimaschutz zunehmend an Bedeutung. So wird der Einsatz von FKW in herkömmlichen Anlagen zur Kälteerzeugung von der EU mittels der F-Gase-Verordnung immer weiter eingeschränkt. Die indirekte Verdunstungskühlung ist eine geeignete Alternative gegenüber jenen, mit F-Gasen betriebenen Anlagen. Ein Nachteil dieses Konzeptes ist jedoch die, von der Außentemperatur abhängige, begrenzte Abkühlung von maximal 12 K. Mit der Ka_2O -Technologie wurde die indirekte Verdunstungskühlung weiterentwickelt: Mit ihr wird eine Abkühlung der Außenlufttemperatur um bis zu 20 K erreicht – ohne Kältemittel.

Die konventionelle, indirekte Verdunstungskühlung ist in RLT-Anlagen keine Neuheit: Bei dieser Technik wird die zu konditionierende Luft durch die Verwendung von Wasser natürlich gekühlt. Gleichzeitig wird dabei der Strombedarf – im Vergleich zum Betrieb einer herkömmlichen Kältemaschine – deutlich gesenkt. Zudem wird

Autor



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Ingo Kottling, Produktmanager für den Bereich RLT-Geräte bei der Kampmann GmbH, Lingen (Ems).

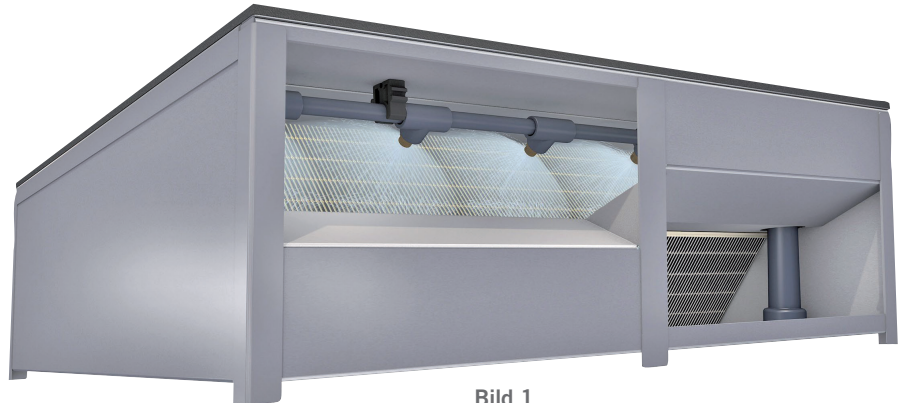


Bild 1

Ein Ka_2O -Basismodul mit Gegenstromwärmeübertrager und Befeuchtungssystem

im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) die von einer indirekten Verdunstungskühlung erzeugte Kälteleistung als regenerative Energie anerkannt. Doch für den Betreiber zählt, neben der Umweltverträglichkeit, auch die Leistung des Gerätes. Und hier haben konventionelle Geräte mit Gegenstromwärmetauscher bei größeren zu kühlenden Raumluftvolumina einen

Nachteil: Je größer der Gegenstromwärmetauscher wird, desto größer wird der Kreuzstromanteil, desto höher wird der Druckverlust – die Wirtschaftlichkeit sinkt s. Bild 2. Die Ka_2O -Technologie, eine Entwicklung der Lingener Kampmann GmbH gemeinsam mit ihrem Schwesterunternehmen, der NOVA Ap-

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]
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

Tabelle 1

Varianten des Ka₂O-Modulprinzips

men mit je zwölf Modulen und 24 000 m³/h Luftmenge (Tabelle 1). Der Clou: Durch dieses Prinzip bleibt der Druckverlust gleichbleibend gering bei maximal 170 Pa, ganz gleich wie hoch die Nennluftmenge ist (Bild 2).

Doch der modulare Aufbau und geringe Druckverlust sind nur zu einem kleinen Teil verantwortlich für die physikalisch maximal mögliche Abkühlung der Außenlufttemperatur – den Löwenanteil erledigt die spezielle Konstruktion der Module: In jedem Wärmeübertragermodul ist auf der Abluftseite eine Sprühanlage mit fünf Düsen integriert, die Wasser in den Luftstrom hinein sprühen. Die Stoff- und Wärmeübertragung erfolgt somit im Wärmeübertrager stets gleichzeitig, was energetisch und physikalisch deutlich effektiver ist als ein vorgelagertes Befeuchtungssystem. Das vom Luftstrom mitgeführte Wasser verteilt sich nun auf die gesamte Oberfläche der Lamellen im Wärmeübertrager, bildet dort einen beständigen Wasserfilm und führt so zu einer bestmöglichen Verdunstung und damit zu maximal hohen Kühlleistungen. Möglich macht dies die spezielle geometrische Form der Lamellen sowie die hydrophile Oberfläche mit seiner Kapillarwirkung. Und auch die modulare Bauart unterstützt die hohe Effizienz: Die geringe Tiefe von unter 400 mm lässt sich viel einfacher gleichmäßig und vollständig benetzen, als das bei großen Wärmeübertragern der Fall wäre.

Modulare Technik Ka₂O vs. Gegenströmer

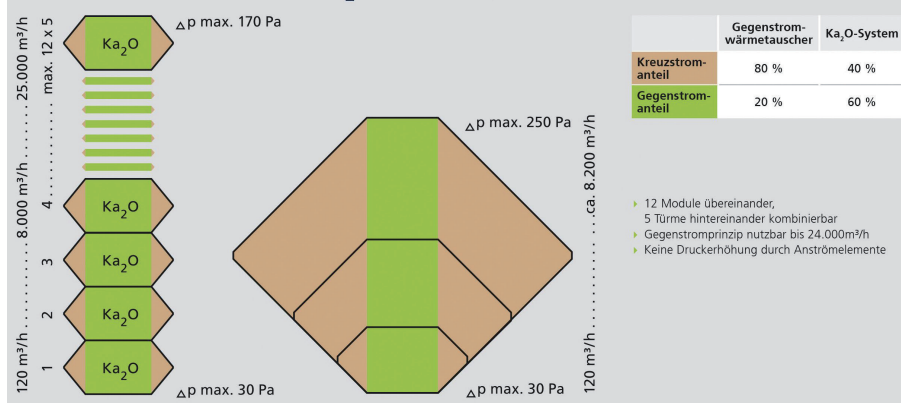


Bild 2

Vergleich der Modultechnik der Ka₂O-Gegenstromwärmeübertrager mit einem zentralen Gegenstromwärmeübertrager

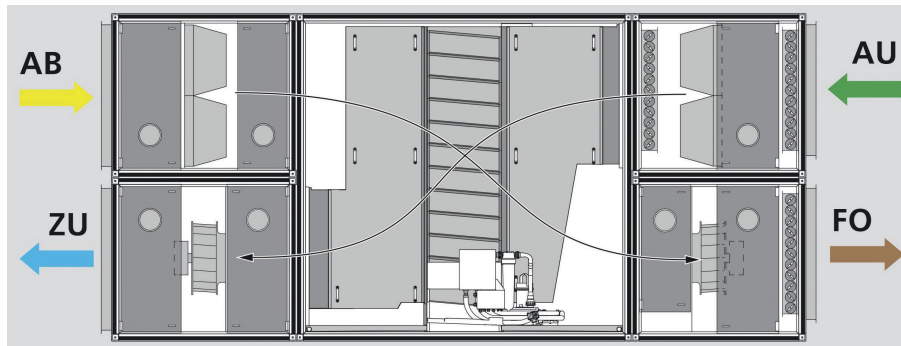


Bild 3

Die Ka₂O-Technologie integriert im RLT-Gerät

parate GmbH, vermeidet dieses Problem, indem sie modular arbeitet. Damit bietet das System eine vollwertige, energiesparende Alternative zu konventionellen Anlagen mit Kältemittel. Und zwar überall dort, wo auch gelüftet werden muss; beispielsweise in Verkaufsräumen oder Bürogebäuden. Aber auch für Räume mit konstant hohen inneren Kühllasten, wie etwa Serverräumen, ist die Technologie geeignet.

Nicht nur die Wärmetauscher sind modular aufgebaut: Die gesamte Anlage

kann in leicht handhabbare Elemente zerlegt werden. Das erleichtert die Geräteinbringung erheblich und macht die Ka₂O-Technologie auch für den Sanierungsfall interessant, da man die Anlage nicht über eine Dachöffnung einbringen muss.

Ein Ka₂O-Wärmeübertrager ist für eine Nennluftmenge von 400 m³/h bei 150 Pa Druckverlust ausgelegt. Dieses Standard-Modul (Bild 1) lässt sich nun beliebig kombinieren und so exakt auf jede Projektanforderung auslegen: Von einem „kleinen“ Turm mit drei Modulen und 1 200 m³/h Luftmenge bis hin zu fünf nebeneinander gestapelten Tür-

Absenkung der Außenlufttemperatur um bis zu 20 K möglich

Soviel zum technischen Aufbau. Aber welche physikalischen Grundlagen wirken bei der Ka₂O-Technologie? Da ist zunächst der Fakt, dass warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als kalte Luft. Im Falle des Ka₂O-Moduls bedeutet das, dass beim Eintritt von warmer Außenluft infolge des Wärmedurchgangs im Wärmeübertrager auf der Abluftseite die Lufttemperatur erhöht wird. Infolgedessen kann die Abluft mehr Feuchtigkeit aufnehmen, wodurch die Verdunstung und somit die Kälteleistung ansteigt. Die Luftfeuchtigkeit spielt, wie bei jedem anderen Verdunstungssystem auch, bei der Ka₂O-Technologie eine große Rolle. Denn der Grad der Absenkung der

Bild 4
HX-Diagramm

Außenlufttemperatur ist von der relativen Feuchte der Abluft abhängig – der Feuchtkugeltemperatur. Diese beschreibt die tiefste Temperatur, die durch Verdunstungskühlung erreicht werden kann. Je trockener die Ablufttemperatur, desto niedriger ist die Feuchtkugeltemperatur – desto größer ist die mögliche Temperaturabsenkung. Bei der Ka_2O -Technologie wird die Feuchtkugeltemperatur zu annähernd 100 % auf die Zulufttemperatur übertragen. Hierfür sind zwei parallel ablaufende Prozesse verantwortlich:

1. Die Temperatur der Abluft sinkt um 2,5 K je Gramm Wasser, das von ihr aufgenommen wird. Grund ist die Verdampfungsenthalpie des Wassers von 2 500 kJ/kg.

2. Aufgrund der direkten Verdunstung von Wasser an den hydrophilen Innenseiten der Wärmeübertrager stellt sich eine geringere Temperatur ein.

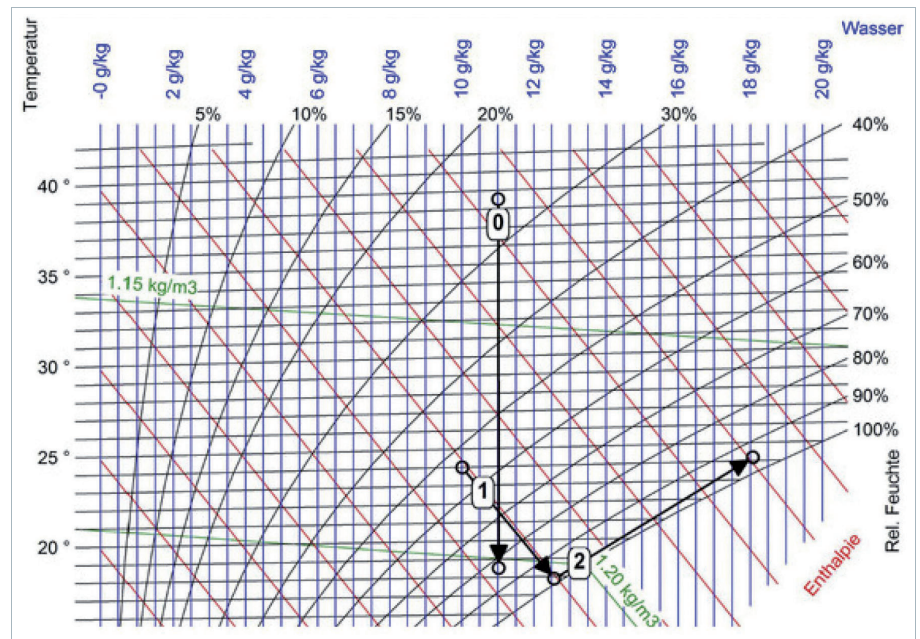
Diese Verdunstung wird wesentlich hervorgerufen durch die Wärmeaufnahme aus der warmen Außenluft, die den Wärmeübertrager durchströmt; also vom Wärmedurchgang der Außenluft durch die Aluminiumplatten zur hydrophilen Schicht auf der Abluftseite (**Bild 3**). Das physikalisch Erstaunliche bei diesem Prozess ist, dass die Außenlufttemperatur hierbei keine Rolle spielt. Entscheidend ist einzig die Feuchtkugeltemperatur der Abluft! Beträgt diese 20 °C, wird sie zu annähernd 100 % auf die Außenluft übertragen – auch wenn diese 40 °C beträgt (**Bild 4**). Ein Absenkung der Zulufttemperatur um 20 K ist die Folge.

Nachweis anhand eines Beispiels aus der Praxis

Ausgehend von der Tatsache, dass die theoretisch minimal erreichbare Zulufttemperatur der Feuchtkugeltemperatur der Abluft entspricht, ist der Kühlwirkungsgrad Φ des Systems folgendermaßen definiert:

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

Messungen im Forschungs- und Entwicklungszentrum von Kampmann ergaben Kühlwirkungsgrade Φ von bis zu 97 %. Doch nicht nur im Labor, auch in



der Praxis wurden in bereits installierten Anlagen sehr hohe Kühlwirkungsgrade gemessen. Als Beispiel ziehen wir hier ein konkretes Projekt heran:

Im emsländischen Haselünne wurde 2014 ein neuer EDEKA-Markt gebaut. Für die Klimatisierung ist eine RLT-An-

lage von Kampmann zuständig, in der – aufgestapelt zu drei Türmen (**Bild 5**) – 24 Ka_2O -Module mit einer Nennluftmenge von 9 600 m³/h arbeiten.

Am heißesten Tag des Jahres 2015, es war der 2. Juli, erreichte das System folgende Werte:



Bild 5
Ka₂O -Module in einem RLT-Gerät

Außenlufttemperatur: 38,6 °C
 Ablufttemperatur (54% r.F.): 24,0 °C
 Zulufttemperatur: 18,5 °C
 (gemessen im Luftstrom nach EC-Ventilator)

Das entspricht einer Differenz von 20,1 K und einem Kühlwirkungsgrad Φ von 96 %.

Im Winterbetrieb werden die Ka₂O-Wärmetauscher für die Wärmerückgewinnung genutzt. Gemäß TÜV-Messung nach EN308 beträgt die Rückwärmzahl bei Nennluftmenge 75 %. Den Rest der Erwärmung besorgt in diesem Fall ein Nachheizregister, das von der Abwärme der im Markt befindlichen (Tief-) Kühltruhen gespeist wird.

So konfiguriert wie in Haselünne erfüllt eine RLT-Anlage mit Ka₂O-Technologie sogar die strenge ErP-Richtlinie.

Hygienisch und effizient

Wasser als Kältemittel schont Umwelt und Ressourcen, weswegen die von einer indirekten Verdunstungskühlung erzeugte Kälteleistung im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) als regenerative Energie anerkannt ist. Dafür bringt der Umgang mit Wasser andere, vor allem hygienische Herausforderungen mit sich. Für diese Anforderungen – und auch für jene der Wartungsfreundlichkeit – wurden bei der Entwicklung der Ka₂O-Technologie überzeugende Lösungen gefunden.

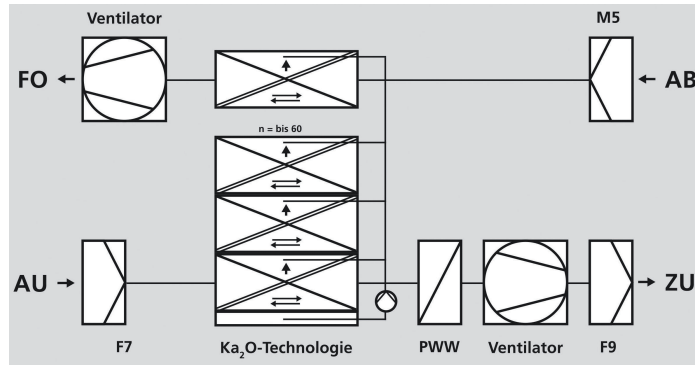


Bild 6
RLT-Gerät mit Ka₂O-Technologie, Abluftdirektbefeuchtung mit Umlaufwasser und Gegenstrom-Wärmeübertrager

Entscheidend ist bei der Ka₂O-Technologie das Wasser-Management. Für die Besprühung der Wärmeübertrager wird Umlaufwasser eingesetzt (**Bild 6**). Nicht verdunstetes Wasser wird in einer Wanne aufgefangen, die sich unter den Modultürmen befindet. Dieses Wasser wird dann dem Prozess erneut zugeführt. So wird der Wasserverbrauch des Gesamtsystems auf das absolute Minimum reduziert.

Die Befeuchtung der Modultürme erfolgt schrittweise, Turm für Turm: Eine Umwälzpumpe versorgt die Wasserlanzen; das Umschalten erfolgt über Magnetventile. Ein wichtiger Fakt hierbei: Das System wird nicht dauerhaft besprüht, sondern zyklisch. Die Besprühzeit eines jeden Turms beträgt zehn Sekunden, gefolgt von einer in Abhängigkeit zum Abluftvolumenstrom stehenden Pause. Damit wird ein Nachteil anderer Systeme zur indirekten Verdunstungskühlung erheblich minimiert; nämlich den Druckverlust während der Besprühung und auch der Stromverbrauch der Umwälzpumpe. Dies wird von der integrierten Regelung gesteuert und überwacht. Enthalten sind auch eine Füllstandsüberwachung, eine automatische Nachspeisung sowie die tägliche Abschlämmung. Die Besprühungszyklen für ein Optimum an Wasserverbrauch, Kühlleistung und elektrischer Leistungsaufnahme wurden in zahlreichen Tests in Kampmanns Forschungs- und Entwicklungszentrum ermittelt.

Gesteuert wird das System durch die werkseitig integrierte KaControl-Regelung. Mit ihr ist die Integration der Anlage in offene GLT-Systeme via Schnittstellen wie BACnet, Modbus oder LON möglich und kann so zentral bedient und überwacht werden.

Die Verwendung von Umlaufwasser bringt weitere Vorteile mit sich: So kann der Wärmeübertrager mit erheblich mehr Wasser besprüht werden, als für die Benetzung der Lamellen notwendig ist. Der Wartungsaufwand des Systems lässt sich verringern, wenn das Wasser zuvor aufbereitet wurde, um Kalkablagerungen im System zu vermeiden. Um Frostschutzsicherheit zu gewährleisten, kann das in den Modulen zirkulierende Wasser jederzeit abfließen – auch im stromlosen Zustand. Hierfür sind alle Komponenten mit einem leichten Gefälle ausgeführt.

All dies zielt auch schon auf die Einhaltung der Hygienerichtlinie VDI 6022 ab. Ein weiterer Faktor ist – einmal mehr – die Modulbauweise des Ka₂O-Systems. Denn durch die geringe Tiefe der einzelnen Module sind sie, auch durch den Kern hindurch, erheblich besser zu reinigen als große Wärmeübertrager. Die Luftleitungen zur idealen Anströmung der Module können zur Wartung einfach entnommen werden. Als Revisionsöffnung wurden 500 mm berücksichtigt, sodass alle Module im Wartungsfall leicht zugänglich sind.

Fazit

Mit der Ka₂O-Technologie hat Kampmann die Verdunstungskühlung enorm weiterentwickelt und auch für größere Anwendungen attraktiv gemacht. Ein extrem hoher, von der Außenlufttemperatur unabhängiger Übertragungsgrad, Wasser als natürliches Kühlmittel und eine effiziente Wärmerückgewinnung machen das System zu einer Technik, die mit den anspruchsvollen Klimazielen der Zukunft konform geht, und dabei gleichzeitig dem Wunsch des Betreibers nach hoher Leistung nachkommt.