

### 3. Einsatz und Nutzung der indirekten Verdunstungskühlung in zentralen RLT-Geräten

Das zuvor erläuterte natürliche Prinzip der Verdunstungskühlung setzt man in der Lüftungs- und Klimatechnik ein, um warme Luft durch die Zugabe von Wasser gezielt zu befeuchten und sie dadurch ökologisch und ohne mechanische Energie zu kühlen.

Standard zur Luftkühlung in Lüftungsgeräten ist seit vielen Jahren der Einsatz von mechanischen Wasserkühlsätzen. Diese verbrauchen allerdings zur Erzeugung von Kaltwasser, mit dem die Luft im RLT-Gerät dann gekühlt wird, große Mengen an elektrischer Energie (etwa 1 kWh elektrische Arbeit für 4 kWh erzeugte Kälteenergie gemäß Vorgaben der Ökodesign-Verordnung 2281/2016, siehe Kapitel 8.8 und /6/) und werden zudem mit synthetischen, klimaschädlichen Kältemitteln betrieben. Dies sind heute meist R410A oder R134a.

Pro 3 bis 4 kW Kälteleistung eines Wasserkühlsatzes wird im Kältekreislauf etwa 1 kg Kältemittel benötigt. Sofern 1 kg Kältemittel durch geringe Leckagen aus dem Kältekreislauf in die Umgebung entweicht, entspricht diese Emission einer Umweltbelastung von vergleichsweise rund 1.430 kg CO<sub>2</sub> (R134a) bis 2.100 kg CO<sub>2</sub> (R410A).

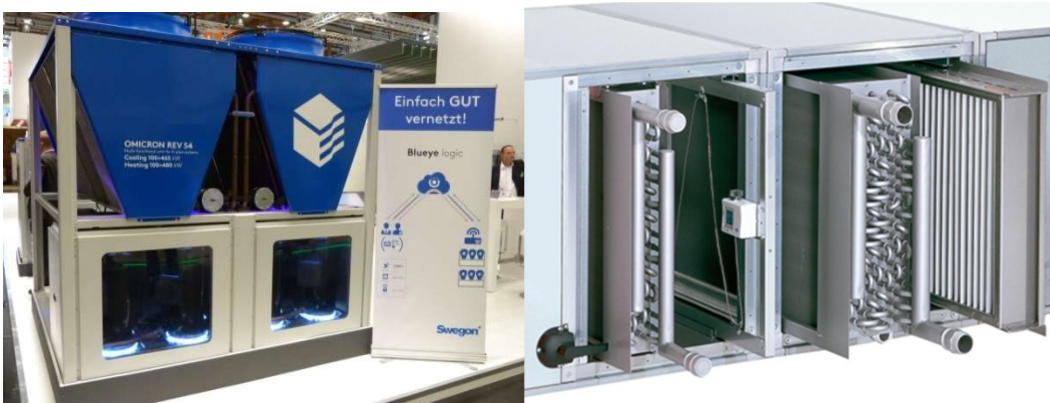


Abbildung 3 und 4:

Ein moderner luftgekühlter Wasserkühlsatz (links) und eine Detailansicht eines Kühlers in einem RLT-Gerät (Abb. cci Dialog GmbH Stahl / Wolf GmbH)

Durch den Betrieb eines indirekten Verdunstungskühlsystems im RLT-Gerät und die von ihm erzeugte Kälteleistung kann der Betrieb solcher Wasserkühlsätze substituiert oder zumindest die von ihm zu erzeugende Kälteenergie zur Luftkühlung verringert werden. Die dadurch erreichte Einsparung an Strom leistet somit einen Beitrag zum Umweltschutz. Laut Angaben des Umweltbundesamts entspricht in Deutschland eine eingesparte kWh elektrischer Energie durchschnittlich einer CO<sub>2</sub>-Vermeidung von knapp 0,5 kg. Dieser Wert gilt für das Jahr 2018. Er sinkt, je mehr Strom aus regenerativen (emissionsfreien) Energien (Wind, Wasser, Photovoltaik, Biomasse) erzeugt wird und diese fossile Energien (Kohle, Öl, Gas) in Kraftwerken ersetzen. Im Jahr 2018 stammte bereits rund 40 % des in Deutschland erzeugten Stroms aus regenerativen Energie.

Im Winter ist eine Befeuchtung der kalten, meist sehr trockenen Außenluft auf einen höheren Wert der Zuluft- und Raumluftfeuchte sinnvoll und gesundheitlich zuträglich. Im Gegensatz dazu ist eine Befeuchtung der im Sommer oft bereits zu feuchten Außenluft unerwünscht. Dadurch würde sowohl die absolute als auch die relative Feuchte der Zuluft

deutlich ansteigen und es würde sich in den mit Zuluft versorgten Zonen (Büros, Besprechungs- und Veranstaltungsräume etc.) eine hohe, unangenehme Schwüle und eine mangelhafte thermische Behaglichkeit einstellen.

Im Sommer besteht die Aufgabe meist darin, die warme und oft zu feuchte Außenluft im Lüftungsgerät auf einen gewünschten Zuluftzustand nicht nur zu kühlen (zum Beispiel auf 18 bis 20 °C), sondern auch zu entfeuchten (zum Beispiel auf eine absolute Feuchte von 9 bis 10 g/kg). Dadurch soll in den mit Zuluft versorgten Räumen eine Temperatur unter etwa 26 °C und eine akzeptable Luftfeuchte von maximal etwa 60 bis 65 % sichergestellt werden.

Da man also im Sommerbetrieb, wie beschrieben, die angesaugte Außenluft durch die Zugabe von Wasser nicht direkt befeuchten und dadurch kühlen kann (sollte), wählt man bei der indirekten Verdunstungskühlung, wie in Abbildung 5 prinzipiell dargestellt, einen "Umweg". Man befeuchtet gezielt die aus einem Gebäude entnommene Abluft, die dadurch, wie im Kapitel 2 beschrieben, um mehrere Kelvin abkühlt. In einem nachgeschalteten System der Wärmerückgewinnung kann dann die so gekühlte Abluft der warmen Außenluft nun deutlich mehr Wärme entziehen. Die so auf der Abluftseite erzeugte Kälteleistung trägt also "indirekt" über die Wärmerückgewinnung zur Kühlung der Außenluft bei. Eine genaue Beschreibung dieses Systems folgt im nächsten Kapitel.

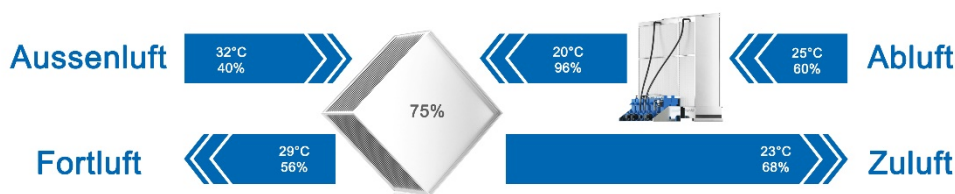


Abbildung 5:

Durch ein System der vorgeschalteten indirekten Verdunstungskühlung kann eine Absenkung der Temperatur der Außenluft zur Zuluft um etwa 8 bis 12 K erreicht werden (in der Abbildung um 9 K von 32 auf 23 °C). (Abb. Condair)

Zur technischen Umsetzung der indirekten Verdunstungskühlung in einem zentralen RL-Gerät gibt es verschiedene Möglichkeiten, die im Kapitel 4 beschrieben werden. Bei sehr guten Betriebsbedingungen, die unter anderem von den Feuchten und Temperaturen der Außen- und der Abluft, der Effizienz der Wärmerückgewinnung und der Art der Befeuchtung abhängen (siehe Kapitel 5), kann durch die indirekte Verdunstungskühlung eine Temperaturabsenkung der Außenluft zur Zuluft bis 20 K erreicht werden. Zugegeben, das sind Ausnahmen und Spitzenwerte - aber auch bei "normalen" Betriebsbedingungen wird durch den Einsatz einer indirekten Verdunstungskühlung die Außenluft meist um 5 bis 10 K gekühlt, wie später noch ausführlich anhand von Beispielrechnungen verdeutlicht wird.

Um die Leistungsfähigkeit einer indirekten Verdunstungskühlung als Wert darzustellen und um verschiedene Systeme miteinander vergleichen zu können, ist die Definition einer Leistungszahl sinnvoll. Im theoretischen Idealfall - dieser wäre bei einer Rückwärmzahl (Effizienz) der Wärmerückgewinnung von 100 % und einer Befeuchtung der Abluft auf 100 % relative Feuchte gegeben - entspricht die minimal erreichbare Zulufttemperatur der

Feuchtkugeltemperatur der Abluft bei 100 % relativer Feuchte. Dieser Zustand ist die Ausgangsbasis zur Definition des Kühlwirkungsgrads  $\Phi$  eines Verdunstungskühlsystems, also für dessen Effizienz. Der Kühlwirkungsgrad der Verdunstungskühlung lautet:

$$\Phi = \frac{\text{Außenlufttemperatur} - \text{erreichte Zulufttemperatur}}{\text{Außenlufttemperatur} - \text{Feuchtkugeltemperatur der Abluft}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Ein Kühlwirkungsgrad von  $\Phi = 1$  kennzeichnet somit einen idealen Prozess mit einer Befeuchtung der Luft auf 100 % und einem Wärmerückgewinnungsgrad von 100 %. Das Ziel der Verdunstungskühlung besteht nun darin, eine Zulufttemperatur zu erreichen, die möglichst nahe an der Feuchtkugeltemperatur der Abluft liegt - also für  $\Phi$  Werte von nahe bei 1 zu erzielen.

Schauen wir dazu nochmals auf das Beispiel in Abbildung 5. Dabei wird Außenluft (32 °C) durch die indirekte Verdunstungskühlung (Befeuchtung auf 96 %) und die Wärmerückgewinnung (Rückwärmezahl 75 %) auf eine Zulufttemperatur von 23 °C abgekühlt. Bei einer Temperatur von 25 °C und einer Feuchte von 60 % (absolute Feuchte  $x = 12 \text{ g/kg}$ ) hat die Abluft eine Feuchtkugeltemperatur von etwa 19,4 °C. Setzt man diese Werte in Gleichung 3 ein, ergibt sich für das Beispielsystem bei diesem Betriebszustand ein Kühlwirkungsgrad von

$$\Phi = \frac{32 - 23}{32 - 19,4} = 0,714.$$

Das bedeutet: Je nach System ergeben sich für  $\Phi$  Werte von knapp oder deutlich unter 1. Dieser Kühlwirkungsgrad wird in den kommenden Kapiteln noch mehrfach zur Darstellung der jeweiligen Effizienz der verschiedenen Systeme verwendet.

## 4. Systeme zur indirekten Verdunstungskühlung in zentralen RLT-Geräten und deren Funktionsprinzipien

Wie zuvor beschrieben besteht das Ziel einer indirekten Verdunstungskühlung darin, die Abluft maximal zu befeuchten (möglichst nahe an den Sättigungszustand 100 %), um sie dadurch möglichst stark abzukühlen. Durch diese Kälteleistung soll dann die ins RLT-Gerät eingesaugte Außenluft in der Wärmerückgewinnung möglichst nahe an den gewünschten Zuluftzustand gekühlt werden. Zur Realisierung dieses Ziels gibt es mehrere technische Möglichkeiten und Systeme.

Anmerkung:

Die nachfolgend beschriebenen Systeme der verschiedenen Hersteller dienen nur beispielhaft zur Darstellung und Verdeutlichung der unterschiedlichen Techniken der Verdunstungskühlung. Es gibt viele weitere Hersteller von zentralen RLT-Geräten, die Systeme der indirekten Verdunstungskühlung anbieten (meist optional), siehe dazu die Liste in Anhang 1. Dort stehen auch Anbieter von Systemen zur Luftbefeuchtung.

### 4.1 Die vorgeschaltete Verdunstungskühlung

Abbildung 6 zeigt ein System der vorgeschalteten Verdunstungskühlung (Anbieter Condair, /7/). Vorgeschaltet bedeutet hier, dass die Verdunstungskühlung im RLT-Gerät auf der Abluftseite als eigenständiges Bauteil vor der Wärmerückgewinnung eingesetzt wird.

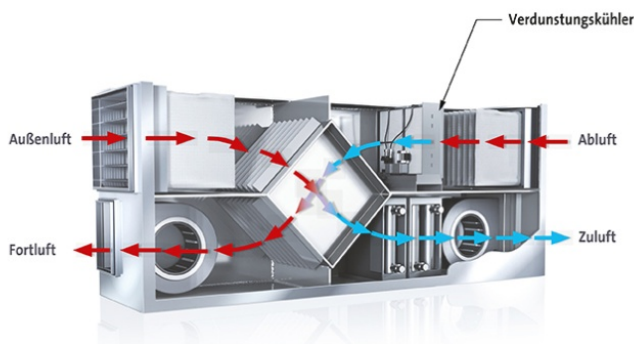


Abbildung 6:

Beispiel zum Einsatz eines vorgeschalteten Verdunstungskühlsystems auf der Abluftseite in einem RLT-Gerät mit einem Kreuzstromwärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung. (Abb. Condair)

Bei diesem System werden zur Befeuchtung der Abluft meist Sprüh-, Ultraschall- oder Rieselbefeuchter eingesetzt (Abbildung 7 und 8). Bei Rieselbefeuchtern fließt das oben gleichmäßig auf den Befeuchter verteilte Wasser langsam an Lamellen oder an einem saugfähigen Vliesmaterial nach unten. Während ihrer Strömung durch das Befeuchteraggregat nimmt die an den feuchten Platten vorbeiströmende Abluft Wasser auf und wird dadurch befeuchtet und gekühlt.