



Bürogebäude mit Frischluft kühlen

Abb. 1



- ▶ **Ganzjährige Raumlufttemperierung ohne Einsatz umweltschädigender Kältemittel**
- ▶ **Hohe Effizienz durch Kombination von Verdunstungskühlung und Wärmerückgewinnung**
- ▶ **Gute Raumkühlung bei geringen Luftwechselraten**
- ▶ **Geräte für unterschiedliche Gebäudegrößen entwickelt und nun verfügbar**

Neue Lüftungssysteme nutzen die Verdunstungskühlung und Wärmerückgewinnung und ermöglichen so eine ganzjährige energieeffiziente Zuluftversorgung für Schulungs- und Bürogebäude.

Saubere, frische und angenehm temperierte Luft ist entscheidend für die Behaglichkeit von Räumen. Auch die Feuchte der Raumluft bzw. die Temperatur der umgebenden Raumflächen sind wichtige Einflussfaktoren für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit von Menschen. Aufgabe der Klimatechnik ist es, solche Bedingungen aufrecht zu erhalten. Raumlufttechnische Anlagen – gleich welcher Art – erhöhen den Energiebedarf, das Investitionsvolumen und die Wartungskosten eines Gebäudes. Ziel jeder Gebäudeplanung sollte es daher sein, den Kühlungsbedarf zu minimieren. Hierzu zählt neben der Wärmedämmung immer mehr der sommerliche Wärmeschutz, die Reduzierung von Glasflächen sowie die Nutzung von Verschattungselementen und des Dachüberstands. Dennoch ist es in vielen Fällen notwendig, aktive Systeme zur Temperaturregelung einzusetzen. Bisher kamen dazu vorwiegend Klimatisierungssysteme mit Kompressionskältemaschinen zum Einsatz. Doch lässt sich z. B. auch kühle Nachtluft, Zuluft über Erdreich-Wärmetauscher oder die sogenannte adiabate Kühlung über Verdun-

stungskälte nutzen. Die Nutzer erwarten ein individuell regelbares Raumklima mit der Möglichkeit, die Fenster öffnen zu können. Zudem sollten Geräte zur Raumkühlung heute kostengünstig, hygienisch unbedenklich, wartungsarm und ausfallsicher sein.

Ziel eines durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsprojekts war es, eine energieeffiziente Kühlung über die Zuluft für Versammlungsräume, Verwaltungen, Schulungs- und Bürogebäude zu entwickeln und zur Marktreife zu führen. Das neue System nutzt und erweitert das Prinzip der indirekten Verdunstungskühlung. Ein Drittel der bereits im Wärmetauscher abgekühlten Zuluft wird hinter dem Wärmetauscher über eine Prozessluftklappe im Gegenstrom durch den Wärmetauscher geführt und auf diesem Weg befeuchtet. Diese Befeuchtung entzieht der Zuluft Energie und sorgt so für die Abkühlung der Zuluft. Es wird ein deutlich höherer Kühleffekt erreicht. Die Geräte wurden im Labor umfangreich geprüft und werden derzeit in Demonstrationsgebäuden getestet.

► Energieeffiziente Zuluftkühlung

In gut gedämmten Gebäuden verliert der Wärmeverlust durch Transmission in der Energiebilanz an Bedeutung; dafür steigt der Anteil für Lüftung und Kühlung. Ein geordnetes und energieeffizientes Lüftungssystem ist deshalb eine unbedingte Voraussetzung für geringen Energieverbrauch. Die kontrollierte Lüftung soll einen ausreichenden Luftwechsel gewährleisten und dabei Feuchtigkeit und Schadstoffe abtransportieren. Die Frischluftzufuhr erfolgt oftmals noch über Anlagen, die ohne Wärmerückgewinnung arbeiten. Dabei wird verbrauchte Luft über einen zentral gelegenen Abluftventilator abgesaugt, während Außenwanddurchlässe die Nachströmung der kalten (Winterfall) oder warmen (Sommerfall) Außenluft gewährleisten. Andere Systeme kombinieren Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung mit einem Kanalsystem zur Luftverteilung. Für die Wärmerückgewin-

nung kommen Plattenwärmeübertrager, Rotationswärmetauscher oder Wärmepumpen zum Einsatz.

Ziel des Forschungsprojekts war es, eine energieeffiziente Kühlung über die Zuluft zu entwickeln. Die Geräte sollen für kleine, mittlere und große Raumeinheiten sowie für unterschiedliche Einsatz- und Montagebereiche geeignet sein. Die technische Herausforderung lag in der flexiblen Klimatisierung ohne Kältemittel – über indirekte Verdunstungskühlung und/oder Wärmerückgewinnung. Für einen durchgängigen Einsatz in der Gebäudeklimatisierung wurden Geräte mit Luftleistungen von 400 m³/h bis ca. 6.000 m³/h entwickelt, die sich sowohl in Zwischendecken als auch auf Flachdächern montieren lassen.

Adiabate Kühlung – wie durch die menschliche Haut

Der menschliche Körper hat eine eigene biologische Klimaanlage. Zur Temperaturregulation auf der Hautoberfläche bildet er bei Wärme einen Schweißfilm. Indem dieser Film verdunstet, kühlt der Körper durch die entstehende Verdunstungskälte ab. Bis in die 1970er Jahre gab es Systeme in der Klimatechnik, mit denen die Zuluft zu Kühlzwecken direkt befeuchtet wurde. Der Nachteil: Die Raumluftfeuchte wurde dadurch deutlich erhöht, die Behaglichkeit im Raum beeinträchtigt. Heute nutzt man vorwiegend die indirekt adiabate Kühlung. Deren Kühlpotenzial wird dadurch erzeugt, dass nur die Abluft großflächig mit Wasser in Verbindung gebracht wird. Die ohnehin vorhandene Wärmerückgewinnung nimmt die Verdunstungskälte auf und kühlt damit die Zuluft des Raumes. Selbst im Hochsommer lassen sich so angenehme Raumtemperaturen erzielen.

► Funktionsweise

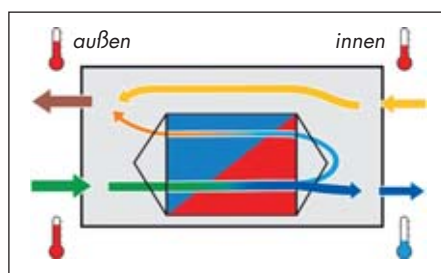
Abb. 2: Das kleinste Gerät der Produktreihe für eine Luftleistung von 400 m³/h mit WRG (Indoor-Montage)



Dem neuen System liegt das Prinzip der Verdunstungskühlung zugrunde. Es liefert sowohl kontinuierlich gekühlte als auch bei Bedarf erwärmte Zuluft in die Räume. Zur Kühlung wird die Luft durch einen Plattenwärmetauscher geschickt, der auf den Austauschflächen mit Rippen versehen ist. 1/3 der durch den Wärmetauscher geführten Luft wird über ein Klappensystem direkt über die Außenflächen auf die Abluftseite im Wärmetauscher zurück geführt. Diese Außenflächen werden mit Wasser benetzt – hier wirkt die Verdunstungskühlung. Die Luft tritt dann mit z. B. 27 °C und > 90% relativer Luftfeuchte aus. Die bei der Verdunstung auftretende Kälte wird über den Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen. Dieses Grundprinzip ermöglicht ein COP (Coefficient of Performance, Leistungszahl) von 1:8 bis 1:25; das heißt, mit 1 kWh

Strom werden 8 bis 25 kWh Kälte erzielt. Herkömmliche Systeme mit Kältemitteln haben ein COP bis maximal 1:4. Für den Betrieb dieses Systems wird lediglich elektrische Energie für den Ventilator benötigt, z. B. 400 Watt für 3.000 m³/h Luftleistung sowie ca. 15 Liter Wasser pro Stunde.

Kühlung mit Frischluft im Sommer

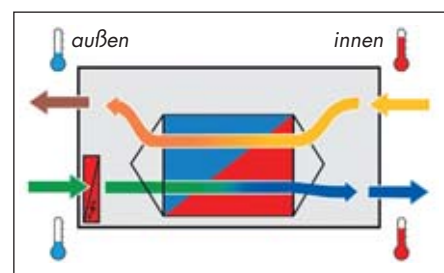


*Gelb: Raumabluft,
Braun: Raumabluft + Fortluft,
Grün: Außenluft (Zuluft vor Wärmetauscher),
Blau: Zuluft nach Wärmetauscher
Hellblau: Prozessluft (Rückführung 1/3 der Zuluft)
Hellbraun: Fortluft (befeuchtete Prozessluft) nach Wärmetauscher.*

Das System hat einen Wärmerückgewinnungsgrad von > 80%. Zugleich werden die Räume mit der Zuluft von außen versorgt. Entscheidend für die Kühlleistung ist die Rückführung von 1/3 der Außenluft als sogenannter Prozessluftstrom. Dieser ist deutlich kühler als die Umgebungsluft oder die Rückluft aus dem Raum und kann somit schneller Verdunstungsenergie aufnehmen.

Reine Außenluftzufuhr in der Übergangszeit, WRG im Winter

Im Winter oder in der Übergangszeit wird der Abluft Wärme entzogen, die Zuluft wird entsprechend durch die Wärmerückgewinnung erwärmt. Sollte es notwendig sein, so heizt das Warmwasser gestützte Nachheizregister die Luft nach. Es kann mit



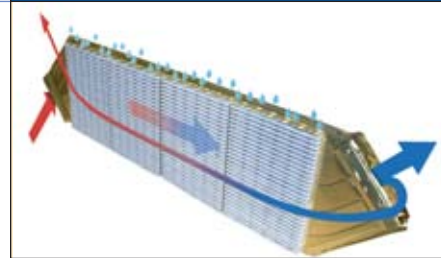
Außenluft gekühlt werden (freie Kühlung), dann wird die Außenluft unbehandelt (nur gefiltert) zugeführt. Besteht ein erhöhter Kühlbedarf im Raum, so wird die Verdunstungskühlung eingeschaltet. Der Raum wird mit effektiv gekühlter Außenluft versorgt.

► Optimierter Wärmetauscher

Wichtigster Baustein des neuen Systems zur Frischluftkühlung ist ein hochleistungsfähiger Gegenstromwärmetauscher – eine Weiterentwicklung der indirekten Verdunstungskühlsysteme. Bisher auf dem Markt befindliche Systeme erreichen nicht annähernd die Nähe des Taupunktes. Durch eine verbesserte Geometrie und Luftführung, den Einsatz neuer Werkstoffe und eine spezielle Oberflächenbeschichtung erzielt der neue Wärmetauscher eine Abkühlung bis in die Nähe des Taupunktes – d. h., den Beginn der Kondensation. Die Taupunktkühlung ermöglicht eine Absenkung der Raumtemperatur um bis zu 6 K. Gekühlt wird mit Wasser; auf konventionelle Kühlmittel kann verzichtet werden.

Die hydrophile Beschichtung des Wärmetauschers wird regelmäßig mit Wassertropfen besprenkelt. An den feuchten Lamellen strömt die Prozessluft vorbei. Sie nimmt dabei das verdunstende Wasser mit der Luftbewegung auf. Die für die Verdunstung benötigte Wärme wird der Außenluft über die Lamellen entzogen. Durch diesen Vorgang kühlt die Luft ab. Die warme und feuchte Prozessluft wird als Fortluft aus dem Gerät nach außen abgeführt. Wird keine Kühlung benötigt, so trocknet der Wärmetauscher und verhindert damit Keimbildung und Bakterienwachstum. In der freien Lüftung wird der Raum mithilfe von Außenluft gekühlt, wenn Wärmelasten im Raum vorhanden sind. Im Winter strömt die Abluft

Abb. 3: Gegenstromwärmetauscher mit optimierter Luftführung



über den Wärmetauscher und erwärmt die Zuluft. Nur die Ventilatoren müssen angetrieben werden. Die Zusatzheizung erfolgt bei Bedarf über ein Warmwasser gestütztes Nachheizregister. Der Wärmetauscher hat einen Wärmebereitstellungsgrad von bis zu 96%.

► Mess- und Prüfergebnisse

In einem Betriebs- und Schulungsgebäude wurden ab Sommer 2008 unter anderem Geschwindigkeitsmessungen der Luftvolumenströme im Wärmetauscher durchgeführt und Temperaturprofile – bezogen auf die Volumenströme Luft und Wasser – für die geplanten Gerätegrößen erstellt.

Sommerbetrieb

Im Messzeitraum August 2009 bestand eine extreme Wetterlage bis hin zu 36 °C Außentemperatur. Trotzdem lag die Zulufttemperatur bei nur ca. 21 °C. Die durch die Verdunstungskühlung erreichte Temperaturdifferenz betrug somit bis zu 15 °C.

Übergangszeit

Untersucht wurde auch die Einbindung des Lüftungssystems in die Gebäudeautomation vor Ort. Im Zuge einer viertägigen Kurzzeitmessung wechselte die Anlage aus dem Stillstand in den Wärmerückgewinnungsbetrieb sowie wiederum in den Kühlbetrieb. Die Zulufttemperatur im WRG-Betrieb bewegte sich knapp unter 20 °C. Je nach Außentemperatur ergab sich eine Temperaturdifferenz durch Verdunstungskühlung zwischen 5 und 10 °C.

Kühlleistungen

Aus den Mess- und Prüfergebnissen ergeben sich verschiedene Bandbreiten von Kühlleistungen in Abhängigkeit des Nennluftvolumenstroms, der Schaltstufe, der relativen Raumluftfeuchte sowie der Raumlufttemperatur. Abb. 6 zeigt eine Übersicht für ein Beispiel mit einem Nennvolumenstrom von 400 m³/h als Auslegungshilfe bei gleichzeitiger Angabe der Leistungsaufnahme (Strom) und der auftretenden Schallpegel. Hierbei ergibt sich für die unterschiedlichen Betriebszustände eine Bandbreite der Kühl-Leistungszahl von 2,8 (1.210 W/432 W) bis 6,8 (410 W/60 W).

Abb. 4: Referenzgebäude für den Testbetrieb



Abb. 5: Temperaturverläufe im Sommer 2009

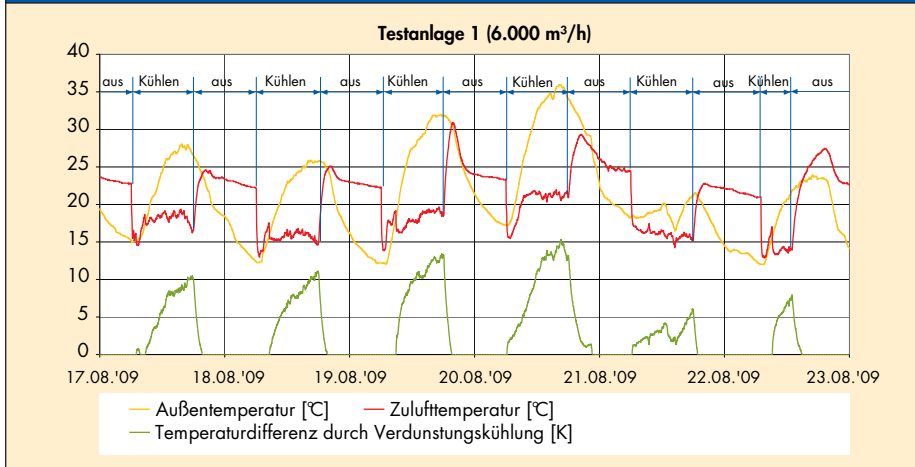


Abb. 6: Bandbreiten von Kühlleistungen (Beispiel)

Schaltstufe		4	3	2	1
Luftvolumen	m³/h	400	300	200	100
Schalldruckpegel	db/A	50,4	44,7	36,1	27,6
Schallleistungspegel	db/A	60,4	54,7	46,1	37,6
Leistungsaufnahme	W	432	264	135	60

Kühlleistungen Rel. Feuchte [%]	t _{L1}	Q _k	t _{L2}	Q _k	t _{L2}	Q _k	t _{L2}	Q _k	t _{L2}
	°C	W	°C	W	°C	W	°C	W	°C
45 %	26	1.210	16,8	932	16,6	635	16,4	325	16,2
40 %	28	1.392	17,4	1.064	17,2	720	17,0	370	16,8
40 %	30	1.462	18,8	1.116	18,6	755	18,4	385	18,2
40 %	32	1.558	20,0	1.185	19,8	805	19,6	410	19,4

► Fazit, Ausblick

Das neue Lüftungssystem nutzt die Verdunstungskühlung in Kombination mit einer Wärmerückgewinnung und ermöglicht somit eine ganzjährige energieeffiziente Zuluftversorgung ohne Einsatz umweltschädigender Kältemittel, die beim Betrieb einer Kompressionskältemaschine notwendig wären. Die Messungen in einem Demonstrationsgebäude belegen, dass das System ausschließlich mit indirekter Verdunstungskühlung in der Lage ist, die Zulufttemperatur zu Räumen auf ca. 20 °C zu halten. Je nach Luftfeuchte in der Außenluft konnten für den Kühlbetrieb COP-Werte von 1:8 bis 1:25 ermittelt werden.

Mit Luftmengen von 400 m³/h bis hin zu 6.000 m³/h ist inzwischen eine Gerätereihe für nahezu alle Gebäudegrößen verfügbar. Je nach Ausführung werden Kühlleistungen von 1,5 bis 20 kW erreicht. Die Abfuhr überschüssiger Feuchtigkeit soll der Schimmelpilzbildung sowie Bauschäden vorbeugen. Hinzu kommt ein niedriger Wasser- und Energieverbrauch. Das System mit indirekter Verdunstungskühlung führt dem Raum 100 % Frischluft zu. Unter anderem deshalb lässt es sich gut mit der Verdünnungslüftung kombinieren. Diese schiebt die vorhandene warme Luft weg, möglichst ohne sich mit ihr zu vermischen. Deshalb lässt sich auch bei geringen Luftwechselraten eine gute Raumkühlung erreichen. Zur Integration in das gebäudeseitige Energiemanagement stehen Datenschnittstellen zu den marktgängigen Systemen wie BACnet oder LON zur Verfügung. Die Frischluftkühlung lässt sich somit in die jeweilige Gebäudeleittechnik integrieren.

Die Einsatzbereiche der Geräte liegen primär in öffentlichen Einrichtungen wie Schulen und Sportstätten, aber auch im Bereich der Bürogebäude und Gewerbebauten. Das kleinste Aggregat der Produktreihe ist für eine Luftleistung von 400 m³/h (mit WRG) ausgelegt und lässt sich auch für die Wohnungslüftung einsetzen. Die Geräte werden zurzeit in mehreren Demonstrationsgebäuden getestet, der Probetrieb messtechnisch begleitet. Denn entscheidend ist schließlich die Betriebspraxis: Lüftungsanlagen werden oft effizient geplant, aber noch öfter ineffizient betrieben.

► PROJEKTADRESSEN

Planung, Produktentwicklung

- Kampmann GmbH
Hermann Ensink
Friedrich-Ebert-Straße 128-130
49811 Lingen

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Internet

- www.klimanaut.de
- www.kampmann.de
- www.fgk.de

Abbildungsnachweis

- Abb. 1-6: Kampmann GmbH

Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

PROJEKTORGANISATION

■ Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Rolf Stricker
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen
0327399A

IMPRESSUM

■ ISSN
0937 – 8367

■ Herausgeber
FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

■ Autor
Uwe Friedrich

BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages