

Christoph Kaup

Minimierung der latenten Kühlleistung durch eine integrierte Rückgewinnung

Energetische Aspekte spielen bei der Realisierung raumluftechnischer Anlagen eine entscheidende Rolle. Insbesondere die Luftentfeuchtung ist aus energetischer Sicht aufwändig. Im Beitrag werden daher Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch den Einsatz eines Wärmerückgewinnungssystems der Entfeuchtungsprozess energetisch optimiert werden kann.

Minimization of the latent cooling performance by integrated a cooling recovery system

Energetic aspects are playing a crucial role in the realization of room air-conditioning plants. In particular the air dehumidification is complex from energetic view. In this article possibilities are therefore pointed out how by the employment of a heat recovery system the dehumidifying process can be energetically optimized.

Keywords: air condition, air dehumidification, power requirement, heat recovery

Wärmerückgewinnungssysteme können auch in einem Luftstrang in Kombination mit einem Entfeuchtungskühler sinnvoll eingesetzt werden.

So kann z.B. ein Teil der latenten Kühlleistung (Entfeuchtungsleistung), die benötigt wird um den Luftstrom tiefer herunter zu kühlen als dies zur eigentlichen Temperatursenkung oder Luftkühlung notwendig ist, sinnvoll durch ein System

von gekoppelten Wärmeübertragern wieder zurückgewonnen werden (Bild 1).

Der eigentliche Kühler wird zwischen die beiden verbundenen Wärmeaustauschern platziert. Das „Entfeuchtungskältepotenzial“ wird dabei durch den nachgeschalteten Wärmeaustauscher auf den dem Kühler vorgeschalteten Wärmeaustauscher übertragen.

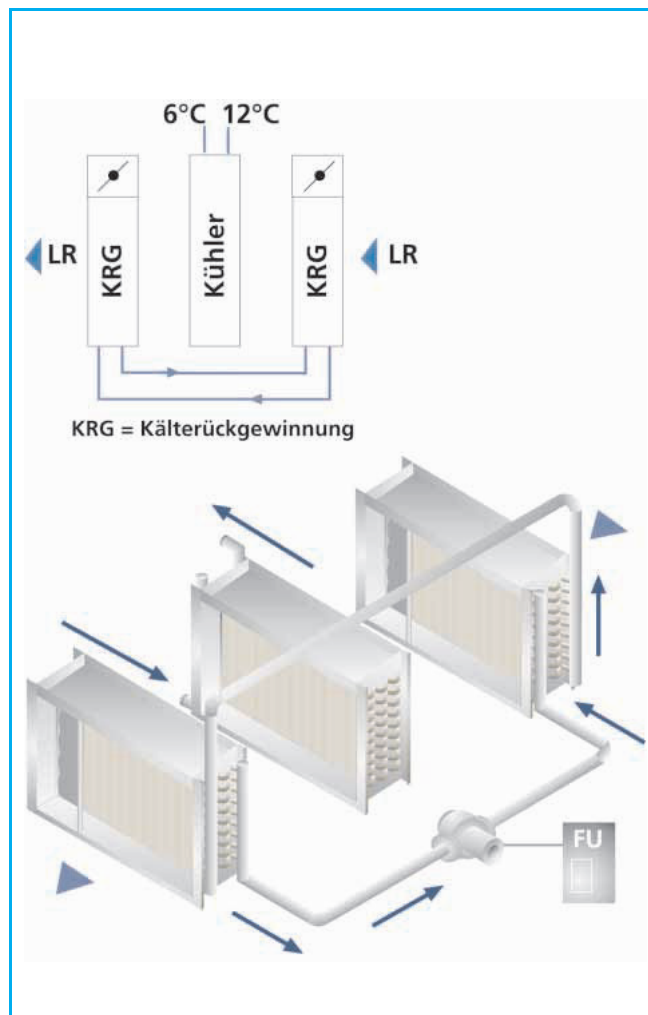


Bild 1: Entfeuchtungsschaltung mit Kälterückgewinnung

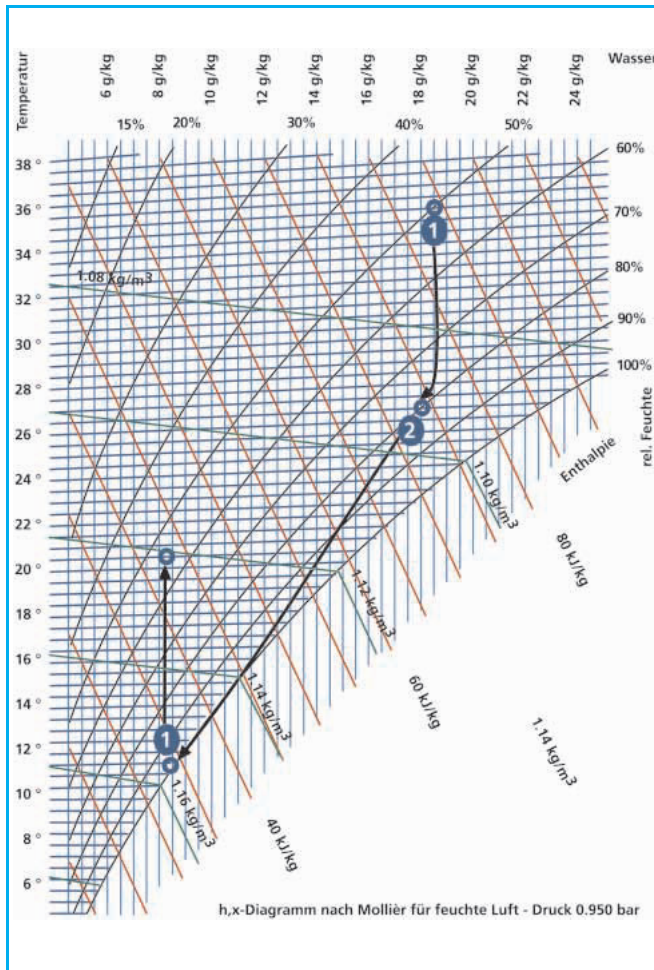


Bild 2: Entfeuchtungsschaltung mit Kälterückgewinnung (h,x - Diagramm)

Es handelt sich hier um ein Kreislaufverbundsystem, das bisher in den meisten Fällen in zwei getrennten Luftströmen zur Wärmerückgewinnung eingesetzt wird. In diesem System werden zwei Vorteile vereint: Der zu kühlende Luftstrom wird im ersten Register „vorgekühlt“ – diese Kühlleistung muss nun nicht mehr mechanisch erbracht werden – und im letzten Register wird im gleichen Betrag die Nacherwärmung realisiert, ohne dass ein zusätzlicher Nacherwärmer und die damit verbundene Heizleistung notwendig wird (Bild 2).

Je höher die Entfeuchtungsleistung des Kühlers sein soll, desto größer sind natürlich die Effekte des Systems, die im folgenden Beispiel exemplarisch dargestellt sind (s. Beispiel).

Aus dem Beispiel wird deutlich, dass die mechanische Kälteleistung um 23.8 % von 116.4 kW auf 94.0 kW reduziert werden kann. Gleichzeitig wird die Nacherwärmerleistung von 22.4 kW ohne zusätzliche Wärmeerzeugung erbracht.

Die Leistungsanpassung der „Entfeuchtungskälterückgewinnung“ wird durch eine Drehzahlanpassung der Umlaufpumpe realisiert, wobei die Zulufttemperatur als Führungsgröße gewählt wird.

In den Zeiten, in denen das System nicht benötigt wird, wird über die integrierten Bypassklappen der Nachteil der erhöhten Druckverluste wesentlich reduziert.

Apparateauslegung und Effekte

Der Kühler wird im o.g. Beispiel zehn Rohrreihen mit einem Lamellenabstand von 2.5 mm aufweisen. Der luftseitige Druckabfall wird bei 188 Pa im Entfeuchtungsbetrieb liegen.

Der Wärmerückgewinner benötigt jeweils vier Rohrreihen mit 2.0 mm Lamellenabstand für die beiden Register. Der Druckabfall der Rückgewinner liegt bei je 95 Pa mit geschlossenen Bypass-Klappen. Wird die Kälterückgewinnung nicht

Beispiel:

Wärmerückgewinnung – System KRG (Entfeuchtungskälterückgewinnung)

Temperatur-Übertragungsgrad 0.4

Leistung 22.4 kW

	Kaltluft ein	Kaltluft aus	Warmluft ein	Warmluft aus
Temperatur	11.0	20.6	35.0	26.5 °C
Rel. Feuchte	100.0	54.2	50.0	80.0 %
Abs. Feuchte	9.3	9.3	18.9	18.7 g/kg
Massenstrom trocken		8200		8200 kg/h

Kühlung der Luft

Leistung 94.0 kW

	Luft ein	Luft aus
Kühlmedium	6.0	12.0 °C
Temperatur	26.5	11.0 °C
Rel. Feuchte	80.0	100.0 %
Abs. Feuchte	18.7	8.7 g/kg
Massenstrom trocken		8200 kg/h
Kondensatmenge		81.6 kg/h

benötigt reduziert sich bei geöffneten Bypassklappen der Widerstand auf jeweils 23 Pa pro Register.

Daraus resultiert die folgende wirtschaftliche Betrachtung:

Die eingesparte Kälteleistung beträgt 22.4 kW. Bei einer Leistungsziffer von 3 ergibt sich somit eine Reduzierung der Kompressorleistung von 7.5 kW.

Dessen elektrischer Bedarf würde dann bei einer angenommenen mittleren Betriebsdauer von 750 h/a (24 h Betrieb) bei 5625 kWh liegen.

Die geforderte Nacherwärmung von 22.4 kW erspart einen Wärmeverbrauch von 16 800 kWh. Dieser Verbrauch muss allerdings zum Vergleich etwa um den Faktor 3 zur höherwertigen elektrischen Energie abgewertet werden. Womit dann der analoge Wärmeverbrauch mit ca. 5600 kWh gleichzusetzen ist.

Entfeuchtungskälterückgewinnung

Entfeuchtungsbetrieb		trockener Betrieb
KRG-K	95 Pa	23 Pa
Kühler	188 Pa	150 Pa
KRG-E	95 Pa	23 Pa
Summe	378 Pa	196 Pa

Konventionelle Kühlung mit Nacherwärmung

Entfeuchtungsbetrieb		trockener Betrieb
Kühler	226 Pa	180 Pa
Nachwärmer	30 Pa	30 Pa
Summe	256 Pa	210 Pa
Differenz	122 Pa	-14 Pa

Dagegen beträgt der elektrische Verbrauch der Rückgewinnung durch die erhöhten Druckabfälle von 122 Pa (Entfeuchtungsbetrieb mit Rückgewinnung) während der 750 h Betriebsdauer 613 kWh, bzw. - 77 kWh während des trockenen Betriebes von 8010 h.

Die Pumpenleistung der Rückgewinnung ist zu vernachlässigen, da die Pumpenleistung des konventionellen Kühlers plus Nacherwärmer höher ausfällt.

Damit ergibt sich eine *Energiebilanz* von:

- 5625 kWh Reduzierung der Kälteerzeugung
- 5600 kWh Reduzierung Wärme-erzeugung (analog)
- 613 kWh erhöhter Differenzdruck Entfeuchtungsbetrieb
- 77 kWh verminderter Differenzdruck Winterbetrieb (Bypassbetrieb)

10 689 kWh Einspareffekt
(ca. 1070 € bei 0,1 € pro kWh)

Somit werden ca. 10 700 kWh (bzw. ca. 1070 € bei 0,1 € / kWh) pro Jahr eingespart (24 h Betrieb).

Des Weiteren sind die Investitionsänderungen zu berücksichtigen, da zum Einen die Kälterückgewinnung die Investitionssumme erhöht und zum Anderen die mechanische Kälteanlage kleiner ausgelegt werden kann und damit die Investitionssumme verringert wird. Auch muss ohne Kälterückgewinnung ein zusätzlicher Nacherwärmer inkl. der benö-

tigten Verrohrung, Pumpe, Ventile, Wärmeerzeugung, etc. installiert werden.

Die Investitionskosten bezogen auf die reine Gerätetechnik belaufen sich auf ca. 20 800 € (mit Rückgewinnung) gegenüber 16 400 € (konventionelle Lösung), so dass ohne die Berücksichtigung der minimierten Kältemaschine und ohne die Minimierung der Kesselleistung eine Amortisation von ca. 4 Jahren erreicht wird.

Weitere Konstruktionskriterien

Nun besteht die Möglichkeit, neben dem kreislaufverbundenen System, mit allen anderen Wärmerückgewinnungssystemen ein gleichartiges System aufzubauen (Bild 3 und Bild 4). Allerdings ergeben sich bei diesen Systemen folgende Nachteile:

- Der Luftstrom liegt bei allen anderen Systemen nicht in einer Ebene. Der zu kühlende Luftvolumenstrom muss umgelenkt werden, was zu einer Erhöhung des Platzbedarfs führt und zusätzlichen Druckverlust erzeugt.

- Beim Wärmerohr und beim Plattenwärmeaustauscher kann über den Bypass geregelt werden, aber ein „Ausschalten“ der Wärmeübertragung ist nur mit einer zusätzlichen Klappe über der wärmeübertragenden Fläche möglich, die dann wiederum den Druckabfall im trockenen Betrieb erhöht (Bild 4 und Bild 3).
- Beim Plattenwärmeaustauscher ist der Platzbedarf deutlich erhöht. Insbesondere der doppelt benötigte Bypass verringert die Wärmeaustauscherfläche deutlich (Bild 3).
- Beim rotierenden Wärmeaustauscher wird zwangsläufig Feuchte mit übertragen, auch die Leckage ist zu berücksichtigen.

Das kreislaufverbundene System vermeidet die zuvor genannten Nachteile und bietet die folgenden Vorteile:

- Alle Wärmeaustauscher liegen in einer Ebene, die den Aufbau der Geräte nach konventionellen Gesichtspunkten ermöglicht.
- Der Platzbedarf ist kaum höher als bei der üblichen Lösung.
- Das Ausschalten der Rückgewinnung erfolgt durch das Ausschalten der

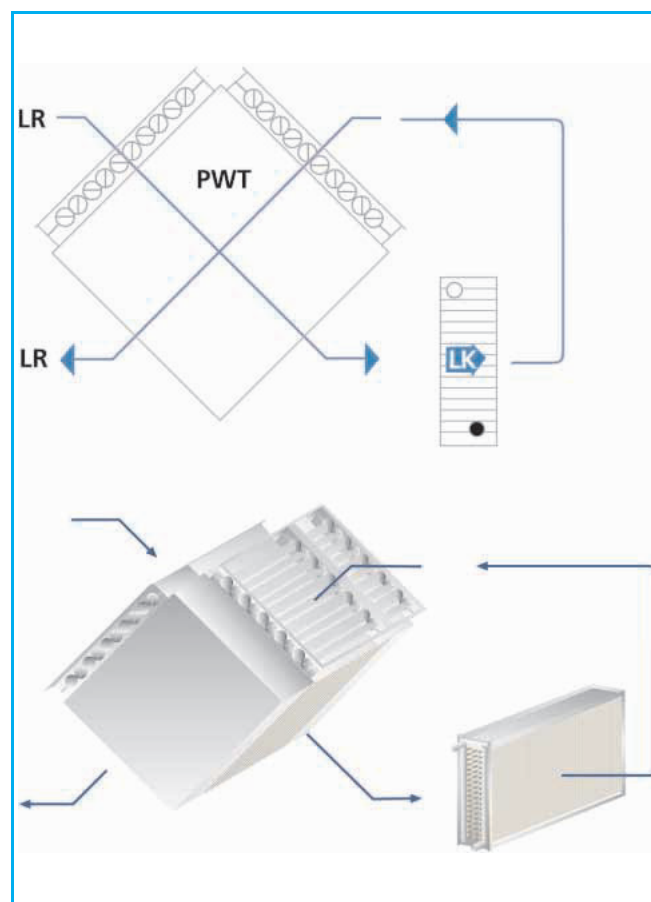


Bild 3: Entfeuchtungskühlung mit Rückgewinnung mittels Plattenwärmeaustauscher

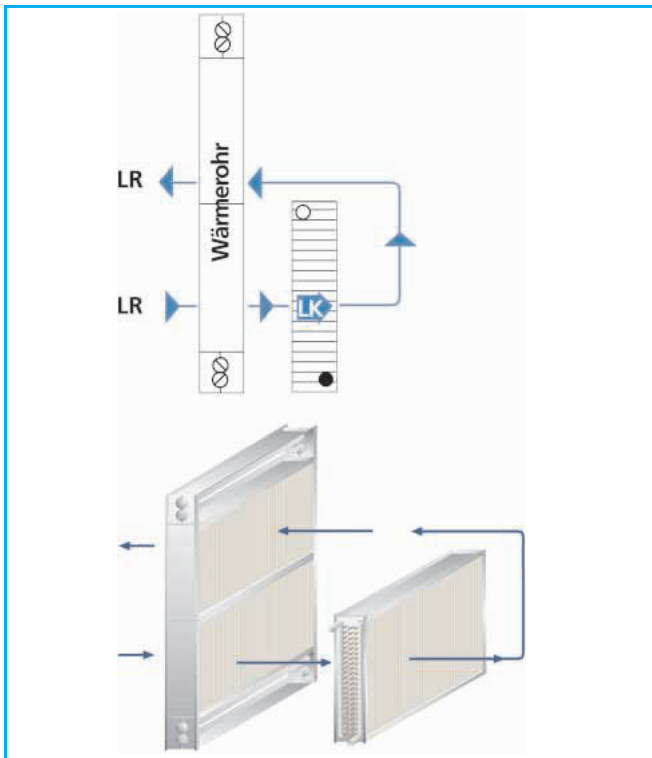


Bild 4: Entfeuchtungskühlung mit Rückgewinnung mittels Wärmerohr

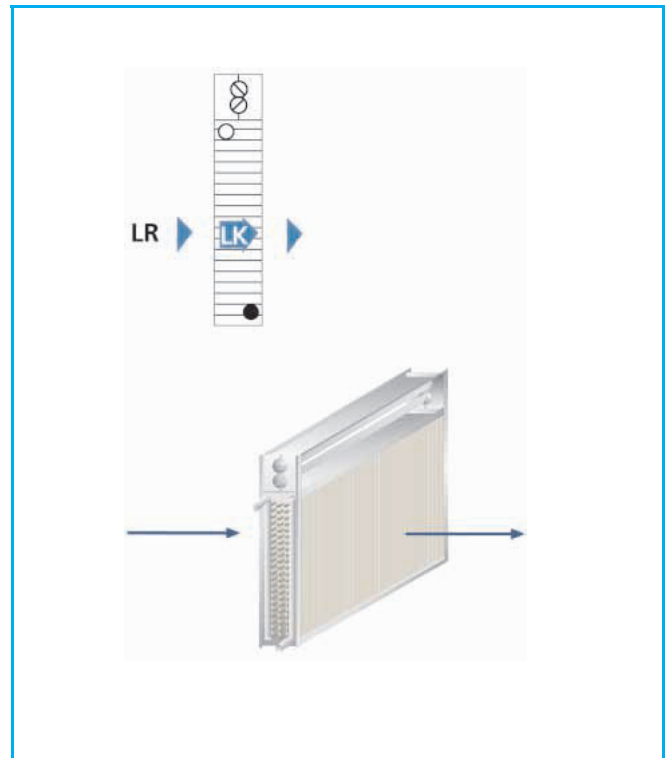


Bild 5: Kühler mit integriertem Bypass

Beispiel: Kühler mit integriertem Bypass (10 000 m³/h)

	Kühlbetrieb	Winterbetrieb
Kühler	110 Pa	24 Pa

Beispiel: Konventioneller Kühler (10 000 m³/h)

	Kühlbetrieb	Winterbetrieb
Kühler	70 Pa	61 Pa
Differenz	40 Pa	- 37 Pa

Nutzungsdauer	1500 h/a	7260 h/a
Leistung	222 W	- 206 W
Energiebedarf	333 kWh/a	- 1496 kWh/a
Einspareffekt	1163 kWh/a	bzw. ca. 116 €/a.

Pumpe. Der zusätzliche Druckabfall ist damit sehr gering (Bypass).

Somit stellt gerade das kreislaufverbundene System eine sehr interessante, vielversprechende Möglichkeit der Entfeuchtungskälterückgewinnung dar.

Konstruktionskriterien Kühler

Insbesondere Kühler, aber auch Verdampfer und Kondensatoren werden bei einem 24 Stundenbetrieb zu max. 20 % der gesamten Nutzungsdauer

auch thermodynamisch benötigt. Allerdings tragen die Druckverluste der Bauteile während der gesamten Nutzungsdauer zum Energieverbrauch der Anlage entscheidend bei! Aus diesem Grund bietet sich gerade bei diesen Bauteilen eine integrierte Bypasslösung an, die in den übrigen Betriebszeiten den Differenzdruck wesentlich reduziert (Bild 5). Im Zusammenhang mit einem drehzahl-geregelten Antriebssystem lassen sich die Energiekosten ebenfalls wesentlich reduzieren (siehe Beispiel).

Die Mehrinvestition wäre damit in ca. 2 bis 3 Jahren amortisiert, da sie durch den direkt im Kühler integrierten Bypass sehr gering ist und kein zusätzlicher Konstruktions- und somit Zusatzkostenaufwand notwendig wird.

Schlüsselwörter

Klimatechnik
Luftentfeuchtung
Energiebedarf
Wärmerückgewinnung