

Adiabate Luftabkühlung im Vergleich zu befeuchteten Wärmeaustauschern

Teil 1 – Grundlagen und Vergleich Teil 2 – Praktische Umsetzung und Regelung

Dipl.-Ing. Michael Freiherr, Leitung Produktmanagement, Dr. Dipl.-Phys. Franz Summerer

Um die Leistung von luftgekühlten Verflüssigern oder Rückkühlern zu steigern oder um deren Einsatztemperatur zu erweitern, kommen häufig sogenannte Adiabatic-Systeme zum Einsatz, bei denen durch Verdunstung von Wasser ein zusätzlicher Kühleffekt erzeugt wird. Bei

solchen Adiabatic-Systemen, die man wegen ihrer doppelten Funktionsweise (nass und trocken) auch als Hybridkühler bezeichnet, gibt es jedoch einen großen Unterschied zwischen Systemen, die tatsächlich adiabater arbeiten, sprich bei denen die Luft vor dem Wärmeaustau-

scher abgekühlt wird, und solchen, bei denen das Wasser auf der Oberfläche des Wärmeaustauschers verdunstet. Im ersten Teil des Vergleichs zwischen adiabater Luftabkühlung und befeuchteten Wärmeaustauschern wird die hinter beiden Systemen stehende Theorie vorgestellt.

Das h,x-Diagramm zeigt, wie die physikalischen Unterschiede beider Systeme zu den unterschiedlich großen Leistungssteigerungen führen. Mögliche Risiken durch Verkalkung, Ablagerung und Korrosion werden ebenfalls beleuchtet und ihr direkter Zusammenhang mit der Qualität des Besprühwassers dargestellt. Im anschließenden zweiten Teil geht es um die praktische Umsetzung dieser Systeme sowie deren mögliche Anwendungsfälle. Eine kurze Gegenüberstellung möglicher Regelstrategien für Besprühsysteme rundet die Betrachtungen zu diesem Thema ab.



Abb.1: Doppelblock-Rückkühler vom Typ GFD mit angebautem HydroSpray-System

TEIL 1 – GRUNDLAGEN UND VERGLEICH

1 EINFÜHRUNG

Luftgekühlte Verflüssiger und Rückkühler haben ein breites Anwendungsspektrum in der Kälte- und Klimatechnik, aber auch in verschiedenen anderen Prozessen, wie etwa der Maschinenkühlung oder der Energietechnik. Die Vorteile luftgekühlter Wärmeabfuhrsysteme liegen auf der Hand: Sie sind überall einsetzbar, weil sie kein Wasser benötigen, sind sehr wartungsarm und haben nicht die bei wassergekühlten Sys-

temen bekannten Probleme, wie etwa Verkalkung und Verkeimung. Luftgekühlte Wärmeaustauscher haben jedoch auch einige Nachteile. Neben den hohen Anschaffungskosten stellt vor allem die Begrenzung der Temperatur in vielen Fällen ein erhebliches Problem dar. Naturgegeben kann die Temperatur der Wärmeabfuhr, d. h. die Verflüssigungstemperatur oder – im Falle eines Rückkühlers – die Flüssigkeits-Austrittstemperatur nicht niedriger sein als die

Umgebungstemperatur. Für Kälte- und Klimaanlage führt das bei hohen Außentemperaturen zu einem höheren Energieverbrauch des Verdichters und somit zu einem schlechteren COP. Für die Auslegung der Anlage bedeutet dies auch, dass der Verdichter größer dimensioniert werden muss. Trotzdem sind die Betriebskosten luftgekühlter Systeme häufig niedriger als die von wassergekühlten Systemen, weil die Wasserkosten je nach Region und Verfügbarkeit von Wasser stark zu Buche schlagen können. Anders ist die Situation, wenn eine bestimmte Temperatur unter keinen Umständen



Michael Rauch
Key Account Manager,
Wolf GmbH, Mainburg

Gerade bei der Planung eines Hotels stehen die technische Gebäudeausrüstung – speziell die Klimaplanung – und die Ermittlung der zu erwartenden Lifecycle-Costs des Gebäudes immer mehr im Fokus. Um weder beim Gästekomfort noch bei der Wirtschaftlichkeit Kompromisse einzugehen, setzten Planer und Architekten bei der Auswahl der effizienten Klimatechnik-Komponenten für das rund 535 Zimmer große Hotelprojekt an der neuen Münchener Messe auf 18 moderne Wolf KG Top-Klimageräte. In Verbindung mit hocheffizienten Wolf Wärmerückgewinnungssystemen liefern diese Wolf-Komponenten einen überzeugenden Beweis für die hohe Energiesparkompetenz von Wolf Klimasystemen.

Das erste Hotel mit DGNB-Zertifikat in Gold. Natürlich mit hocheffizienten Wolf Lüftungs- und Klimageräten.

Investoren sehen in der Nachhaltigkeitszertifizierung durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V., DGNB, eine sinnvolle Qualitäts- und Wertsteigerung ihrer Neubauten. Das DGNB-Zertifizierungssystem gilt dabei als besonders praxisnahes Instrument der Nachhaltigkeitsbewertung moderner Objekte.

Das ausgezeichnete Hotelprojekt stand von Beginn an unter dem Credo von hohem Nutzerkomfort bei hervorragender Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit. Und diese Rechnung ging auf: Dem Hotelkomplex RAMADA- und H2-Hotel in München-Riem wurde als erstem Hotel in Deutschland das DGNB-Zertifikat in Gold vergeben. Mit dabei: hocheffiziente Lüftungs- und Klimatechnik von Wolf.

Wolf GmbH, Industriestr. 1, 84048 Mainburg, Tel. 087 51/74-11 47, www.wolf-klimatechnik.de



Wolf KG Top-Klimageräte sind erhältlich als Hygieneausführung nach DIN 1946-T4, mit integrierter Kälte-technik und hocheffizienter Wärmerückgewinnung.

überschritten werden darf, weil ein Prozess dies erfordert. Dann kommen zumeist nur wassergekühlte Lösungen bzw. Verdunstungskühltürme zum Einsatz. In den letzten Jahren sind am Markt verschiedene sogenannte Hybridsys-

kühler (Rückkühler oder Verflüssiger) wird die Luft ohne Änderung der absoluten Feuchte erwärmt (Punkt 1 nach Punkt 2 in Abb.2). Die relative Luftfeuchtigkeit sinkt dabei. Um die Leistung eines Trockenkühlers zu erhöhen, kann man

etwa 50 % bis 80 % der maximal möglichen Abkühlung (s. Punkt 3 in Abb.3).

2.2 Nicht-adiabate Systeme / befeuchtete Wärmeaustauscher

Wenn das Wasser direkt auf der Oberfläche eines luftbeaufschlagten Wärmeaustauschers verdunstet, kann man nicht von einem adiabaten System sprechen, denn es finden gleichzeitig eine Verdunstung und eine Wärmeübertragung statt. Adiabate bedeutet aber per Definition, dass keine Wärme übertragen wird. Bei diesem Vorgang stellt die Feuchtkugelttemperatur der angesaugten Luft keine Begrenzung mehr dar, weil sich die Feuchtkugelttemperatur der Luft durch die gleichzeitige Erwärmung verschiebt. Dies klingt zunächst erstaunlich und unverständlich, lässt sich aber anhand eines Modells mit seriellen Systemen leicht erklären (s. Abb.4).

Ein erstes adiabates System erreicht im Idealfall den Punkt 4, der durch die Feuchtkugelttemperatur FKT 1 der eintretenden Luft vorgegeben ist. Die erwärmte

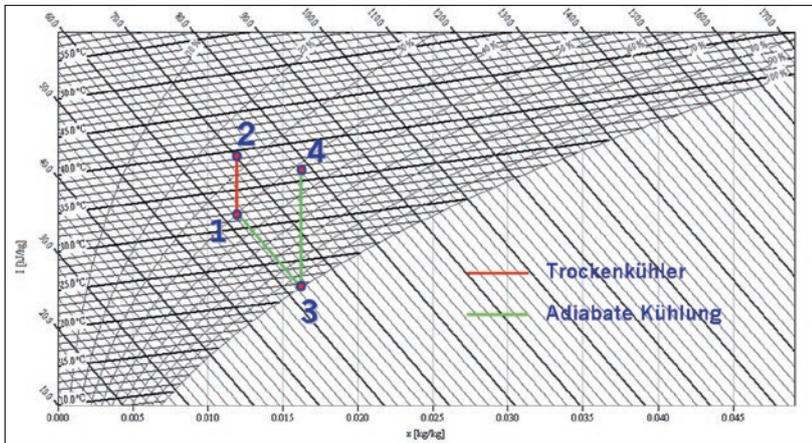


Abb.2: Trockenkühler und adiabate Kühlung im Mollier-h,x-Diagramm

teme erschienen. Sie kombinieren die Vorteile luftgekühlter Wärmeaustauscher mit denen von Verdunstungskühlern. Solange die Außentemperatur niedrig genug ist, arbeiten diese Systeme trocken, d.h. ohne Zugabe von Wasser und ohne Ausnutzung des Verdunstungseffekts. Wird ein bestimmter Temperaturschwellwert überschritten, kommt Wasser zum Einsatz. Dafür gibt es jedoch sehr vielfältige und unterschiedliche Lösungen, die nicht alle den gleichen Effekt erzielen und somit auch nicht direkt vergleichbar sind.

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1 Adiabate Luftabkühlung

Ungesättigte Luft, d.h. Luft, deren relative Luftfeuchtigkeit kleiner als 100 % ist, kann durch Aufnahme von Wasser auf die sogenannte Feuchtkugelttemperatur abgekühlt werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Luft keine Wärme zu- oder abgeführt wird, d.h. dass der Vorgang adiabate (= isenthalp) abläuft. Die für die Verdunstung des Wassers benötigte Energie wird somit vollkommen der Luft entzogen, die sich dadurch abkühlt. Im h,x-Diagramm für feuchte Luft verläuft dieser Prozess annähernd entlang einer Isenthalpen und endet an der Sättigungslinie (Punkt 1 nach Punkt 3 in Abb.2). Bei einem luftbeaufschlagten Trocken-

die Luft vor dem Wärmeaustauscher zunächst adiabate abkühlen – z.B. durch Einsprühen von Wasser in den Luftstrom – im Idealfall bis auf Feuchtkugelttemperatur (Punkt 1 nach Punkt 3 in Abb.2).

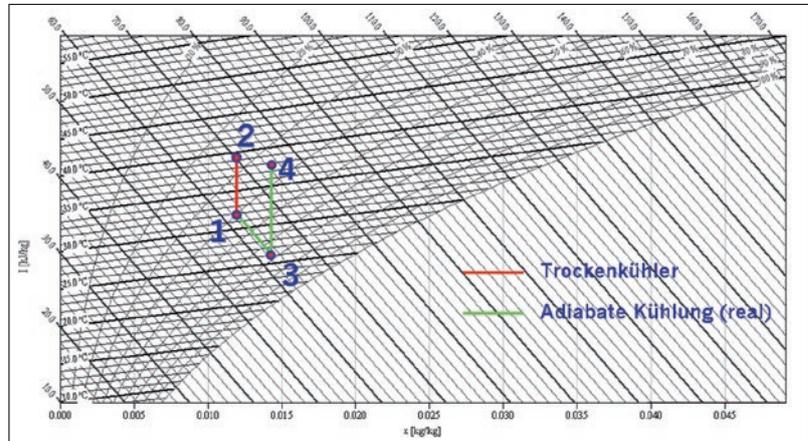


Abb.3: Trockenkühler und reale adiabate Kühlung im Mollier-h,x-Diagramm

Die abgekühlte Luft erwärmt sich dann im Wärmeaustauscher (Punkt 3 nach Punkt 4), während ihre relative Luftfeuchtigkeit wieder sinkt. Die Leistungssteigerung resultiert aus der vergrößerten treibenden Temperaturdifferenz zwischen Luft Eintrittstemperatur und Mediumstemperatur (Verflüssigungstemperatur bzw. Glykolttemperatur).

In der Praxis ist eine Abkühlung der Luft bis auf Feuchtkugelttemperatur kaum möglich. Die tatsächlich erreichbaren Abkühlungen liegen je nach System bei

austretende Luft ist jedoch nicht gesättigt und hat die Feuchtkugelttemperatur FKT2. Somit lässt sich im zweiten adiabaten System der Punkt 5 erreichen, der gegenüber dem Ausgangspunkt 1 eine deutlich größere Enthalpiedifferenz aufweist als Punkt 4. Doch auch der Zustand 5 ist nicht gesättigt und könnte erneut ein adiabates System durchlaufen, so dass nach dem dritten Schritt der Punkt 6 erreicht wird. Auf der Oberfläche eines befeuchteten Wärmeaustauschers spielt sich genau dieser Vorgang ab, jedoch in

vielen kleinen Schritten. Die Überwindung der Feuchtkugeltemperatur durch die gleichzeitige Erwärmung der Luft ist der Schlüssel für die enorme Leistungssteigerung, die mit solchen Systemen erreicht werden kann. Es spielt dabei auch keine Rolle, wie das Wasser auf die Oberfläche des Wärmeaustauschers gelangt – sei es durch Besprühung oder durch ein Wasserverteilsystem. Ebenso wenig ist es von Bedeutung, ob es sich um ein Wasserumlaufsystem handelt oder ob das überschüssige Wasser an der Geräteunterseite abtropft. Solange mindestens so viel Wasser aufgebracht wird, wie die Luft aufnehmen kann, wird der maximale Effekt erzielt.

3 SYSTEME IM VERGLEICH – VOR- UND NACHTEILE

3.1 Leistungsfähigkeit und physikalische Grenzen

Wie im Abschnitt 2 bereits gezeigt, ist die maximal erzielbare Leistung eines befeuchteten Wärmeaustauschers wesentlich höher als die eines adiabaten Systems. Selbst ein ideal adiabates System, bei dem die Luft vor dem Wärmeaustauscher bis auf Feuchtkugeltemperatur abgekühlt wird (Punkt 4 in Abb.4), kommt nicht an die Leistungsfähigkeit des befeuchteten Wärmeaustauschers (Punkt 6 in Abb.4) heran. Bei einer für den trockenen Betrieb typischen Auslegungsbedingung von 32 °C Luft Eintritt und einer Eintrittstemperaturdifferenz von 13 K (d.h. z.B. bei einer Verflüssigungstemperatur von 45 °C) erreicht man mit einem ideal adiabaten arbeitenden System annähernd eine Leistungsverdoppelung, mit einem realen System entsprechend weniger. Mit einem befeuchteten Wärmeaustauscher kann man dagegen die Leistung verdreifachen. Anders sieht es dagegen bei der minimalen Mediumtemperatur aus, also z.B. der Glykolaustrittstemperatur eines Rückkühlers. Hier bildet nach wie vor die Feuchtkugeltemperatur der Umgebungsluft die physikalische Grenze, die nie erreicht werden kann. Allerdings kommt man mit einem befeuchteten Wärmeaustauscher – selbst im Vergleich zu einem ideal adiabaten System – wesentlich näher an die Feuchtkugeltemperatur heran. Bleibt die Leistungsabnahme am Rückkühler jedoch konstant, führt die enorme Leistungssteigerung durch die Besprühung zu einer niedrigeren Temperaturdifferenz zwischen Luft und Medium.

3.2 Korrosion

Gibt man normales Trinkwasser auf einen Wärmeaustauscher, der typischerweise aus Kupferrohren und Aluminiumlamellen besteht, so hat man ein galvanisches Element erzeugt, eine Batterie sozusagen. Trinkwasser hat eine relativ hohe Leitfähigkeit, die üblicherweise bei mehreren hundert oder sogar mehreren tausend $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegt. In Deutschland liegt der Grenzwert für die Leitfähigkeit sogar bei 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dies führt bei längerer Verweildauer des Wassers dazu, dass das unedlere Metall in Lösung geht, was konkret bedeutet, dass sich die Aluminiumlamelle langsam auflöst. Um diesem Prozess vorzubeugen, muss das Wasser entsprechend aufbe-

DIE PERFEKTE LÜFTUNGS-BALANCE.



Wöhler CFM 600

PRÄZISES KOMPENSATIONS-MESSVERFAHREN

- Präzise Messung der Zu- und Abluft an Luftdurchlässen unabhängig von deren Geometrie
- Genaue Beurteilung der Lüftungsbalance in Gebäuden
- Einregulierungen, Abnahmen und Inspektionen an RLT- und KWL-Anlagen

WÖHLER

reitet werden. Neben einer Entkalkung muss zumindest eine Regulierung des pH-Wertes vorgesehen werden. Nach Meinung von Wasserexperten sollte er immer im Bereich zwischen und 8 liegen. Ebenso muss in jedem Fall sichergestellt werden, dass der Chloridgehalt

scheroberfläche ein Problem dar. Wenn Wasser verdunstet, bleiben darin gelöste Salze, Mineralien und Härtebildner (Kalk) auf der Lamellenoberfläche zurück. Nur wenn mit großem Wasserüberschuss gearbeitet wird, besteht die Chance, dass diese Salze aus dem Wärmeaustauscher

Blockes ablagern. Durch die Wasserbesprühung werden diese Stoffe jedoch teilweise aus der Luft ausgewaschen und können sich auf der Lamellenoberfläche ablagern. Insbesondere an Stellen, wo das Wasser komplett verdunstet, wird dies zwangsläufig der Fall sein.

Eine Befeuchtung sollte deshalb idealerweise so geregelt werden, dass die Oberfläche des Wärmeaustauschers wenigstens zeitweise mit Wasserüberschuss arbeitet.

Andernfalls kann nur eine regelmäßige Reinigung für eine saubere Oberfläche sorgen. Bei adiabaten Systemen existiert das Problem von Ablagerungen auf dem Wärmeaustauscher zwar nicht, aber die Mineralien lösen sich nach der Verdunstung trotzdem nicht in Luft auf. Je nach System können diese Mineralien deshalb immer noch zu Problemen führen.

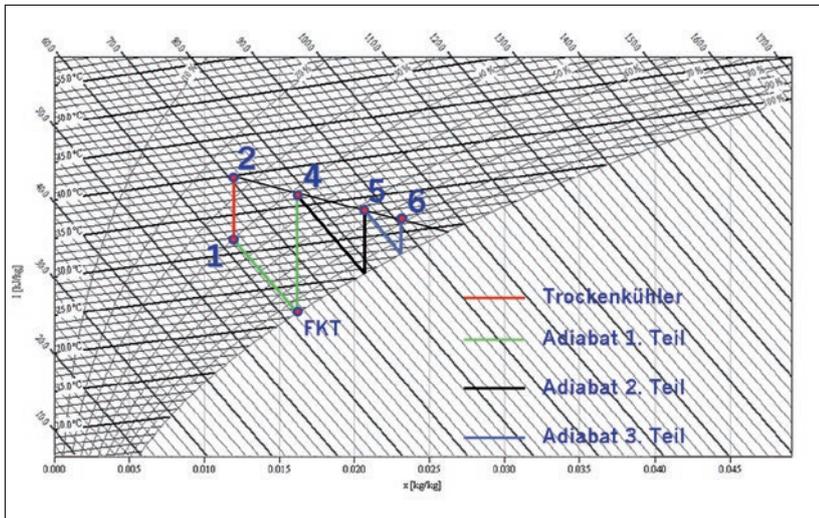


Abb. 4: Veranschaulichung des befeuchteten Wärmeaustauschers durch Serienschaltung adiabater Systeme

so gering wie möglich ist; 200 ppm sind hier als absolute Obergrenze anzusehen. Generell kann man sagen, dass die Wasseraufbereitung umso aufwendiger und auch teurer sein muss, je länger die jährliche Befeuchtungszeit ist. Um die Korrosionsgefahr zu reduzieren, wird häufig mit beschichteten Lamellen gearbeitet. Einen wirklichen Schutz bietet jedoch nur eine nachträglich auf den gesamten Wärmeaustauscher aufgebrachte, durchgehende Beschichtung, wie z.B. eine kathodische Tauchlackierung (KTL). Die Verwendung vorbeschichteter Lamellen, z.B. mit Epoxydharz oder Polyurethan, ist zwar sehr verbreitet, bietet aber keinen hinreichenden Korrosionsschutz, weil genau an der kritischen Stelle zwischen Rohr und Lamelle – bedingt durch den Herstellprozess (Lamellenstanzung) – die Beschichtung unterbrochen ist. Bei einem System, das komplett adiabatisch arbeitet, kommt der Wärmeaustauscher nicht mit Wasser in Berührung. Somit besteht bei diesen Systemen per se auch keine Korrosionsgefahr.

3.3 Ablagerungen

Neben der Korrosion stellen vor allem Ablagerungen auf der Wärmeaustau-

ausgewaschen werden können. Kalkablagerungen auf der Lamellenoberfläche sind jedoch nicht ohne weiteres zu entfernen und können zu einem erhöhten luftseitigen Druckverlust des Wärmeaustauscherblocks führen. Bei langer jährlicher Besprühdauer wird deshalb in der Regel mit demineralisiertem Wasser gearbeitet, das mittels eines Ionenaustauschers und nachgeschalteter Umkehrosmoseanlage erzeugt wird.

In jedem Fall empfiehlt es sich jedoch, das Wasser zumindest zu enthärten. Doch auch mit demineralisiertem Wasser ist die Gefahr von Ablagerungen nicht auszuschließen, denn es sind nicht nur die Mineralien, die sich ablagern. Auf der Oberfläche des Wärmeaustauschers herrschen ideale Temperaturen für das Wachstum von Algen und Pilzen, was jedoch durch entsprechende Zusätze im Wasser weitgehend verhindert werden kann. Kaum zu vermeiden jedoch sind all jene Stoffe, die in der angesaugten Luft bereits vorhanden sind.

Gerade im Frühjahr wird eine große Menge an Blüten, Samen und Pollen angesaugt, die sich bei trockenen Wärmeaustauschern auf der Lufteintrittsseite des

4. ZUSAMMENFASSUNG

Es gibt sehr viele unterschiedliche Systeme hybrider Rückkühler am Markt. Viele davon verwenden zu Unrecht den Begriff „adiabat“, obwohl es sich bei ihnen nicht um adiabate Luftabkühlung handelt, sondern um befeuchtete Wärmeaustauscher. Insbesondere bei Sprühsystemen, wo das Wasser gegen die Luftrichtung gesprüht wird, ist der Begriff adiabatisch völlig fehl am Platz. Vielmehr basiert die Wirkung von Sprühsystemen dieser Art auf den vom Luftstrom mitgerissenen Tröpfchen, die dann auf der Oberfläche des Wärmeaustauschers verdunsten.

Somit handelt es sich bei solchen Systemen um befeuchtete Wärmeaustauscher, allerdings mit dem Nachteil, dass ein Großteil des Wassers ungenutzt zu Boden fällt. Sinnvoller ist es, das Wasser direkt auf den Wärmeaustauscher zu sprühen, denn die Leistung eines befeuchteten Wärmeaustauschers ist erheblich höher als die eines adiabaten Systems.

Selbst ein ideal adiabatisch arbeitendes System, das die Luft bis auf Feuchtkugeltemperatur abkühlt, kann nicht die Leistung eines befeuchteten Wärmeaustauschers erreichen.

TEIL 2 – PRAKTISCHE UMSETZUNG UND REGELUNG

1.1 Adiabate Systeme

Bei adiabaten Systemen muss das Wasser per Definition vollständig verdunstet sein, bevor es den Wärmeaustauscher erreicht. In der Praxis sieht man häufig Sprühdüsen, die einen feinen Wassernebel gegen den angesaugten Luftstrom sprühen. Berücksichtigt man jedoch die kurze Distanz der Düsen zum Gerät und die Luftgeschwindigkeit, so lässt sich über das Diffusionsgesetz berechnen, dass es auf diese Art unmöglich ist, eine vollständige Verdunstung zu erreichen. Nur bei Tröpfchengrößen von $5\ \mu\text{m}$ und unter idealen Bedingungen wäre dies erreichbar (s. Abb.5). Entscheidend für die Verdunstungsgeschwindigkeit ist die Oberfläche, die das Wasser der Luft zur Verfügung stellt. Je kleiner die Tropfen sind, umso größer ist bei gleicher Wassermenge die Oberfläche. Je kleiner umgekehrt die Oberfläche ist, umso mehr Zeit wird für die Verdunstung des Wassers benötigt. Es gibt deshalb adiabate Systeme mit Verdunstungsstrecken von mehreren Metern, z.B. bei RLT-Anlagen. Trotzdem besteht auch bei solch aufwendigen Systemen die Gefahr, dass

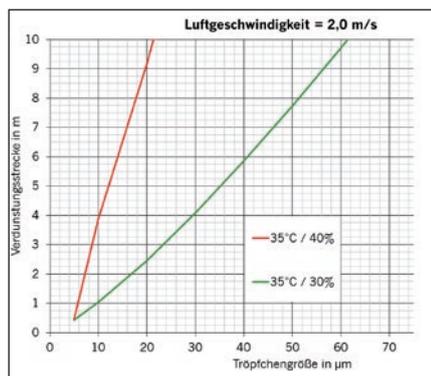


Abb.5: Minimal nötige Verdunstungsstrecke in Abhängigkeit der Tröpfchengröße und der Luftgeschwindigkeit

einzelne Wassertropfen vom Luftstrom mitgerissen werden und auf den Wärmeaustauscher gelangen.

Bei einem Sprühsystem, das direkt vor dem Wärmeaustauscher gegen den Luftstrom sprüht, gelangt das meiste Wasser sogar direkt in den Wärmeaustauscher. Somit hat ein solches System alle Nach-

teile des befeuchteten Wärmeaustauschers, erreicht jedoch trotzdem nicht dessen Leistung, da viele Tropfen unverdunstet zu Boden fallen.

Eine andere Möglichkeit, die Oberfläche zwischen dem Wasserfilm und der Luft zu vergrößern, bieten sogenannte Befeuchtungsmatten. Dabei handelt es sich meist um ein Geflecht aus imprägnierter Kartonnage oder Kunststoff. Die Matten werden mit Wasser beaufschlagt, die Luft strömt durch die Matten und kann das Wasser aufnehmen (s. Abb.6). Je nach Dicke, Form und Wassermenge erreichen solche Matten einen Wirkungsgrad von bis zu 80 %, d.h. die adiabate Abkühlung der Luft beträgt bis zu 80 % der maximal möglichen Abkühlung auf Feuchtkugeltemperatur. Diese Matten erzeugen jedoch auch einen zusätzlichen luftseitigen Druckverlust, was zu einem reduzierten Luftvolumenstrom bzw. zu einer erhöhten Leistungsaufnahme der Ventilatoren führt. Dieser Effekt muss in der Gesamtenergiebilanz berücksichtigt werden. Ein weiterer Nachteil der Matten ist ihre Verschmutzung.

Sie wirken wie ein Filter, d.h. dass im Luftstrom enthaltene Schmutzpartikel, die bekanntermaßen vor allem im Frühjahr die Wärmeaustauscher zusetzen, in den Matten hängen bleiben. Dies erhöht den Druckverlust, senkt den Wirkungsgrad und kann möglicherweise zu Hygiene-Risiken führen. Je nach Verschmutzungsgrad und Wasserqualität müssen die Matten aus den vorgenannten Gründen mehr oder weniger oft erneuert werden. Ihre Lebensdauer liegt unter idealen Bedingungen zwischen 2 und 5 Jahren. Je nach Quelle werden auch Austauschintervalle zwischen 18 und 24 Monaten empfohlen. Ein Austausch der Matten ist in jedem Fall sehr kosten- und zeitintensiv.

1.2 Befeuchtete Wärmeaustauscher

Bei den befeuchteten Wärmeaustauschern unterscheidet man grundsätzlich zwischen Systemen mit und ohne Wasserumlauf. Systeme mit Wasserumlauf haben den Vorteil, dass die Wärmeaus-

tauscher mit hohen Wassermengen beaufschlagt werden können und man trotzdem wenig Wasser verschwendet. Durch die große umlaufende Wassermenge werden lokale Austrocknungen vermieden und so die Gefahr von Korrosion und Ablagerungen reduziert. Allerdings sind solche Systeme sehr aufwendig

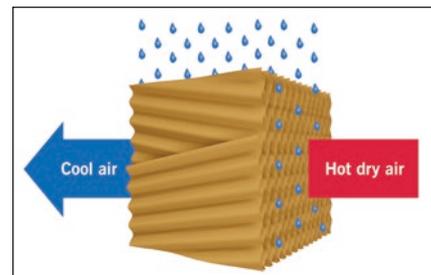


Abb.6: Befeuchtungsmatten

und kostspielig, weil sie unter anderem Abschlämmeinrichtungen und Pumpen benötigen. Bei den Systemen ohne Wasserumlauf wird frisch aufbereitetes Wasser direkt auf den Wärmeaustauscher gegeben. Falls mit Wasserüberschuss gearbeitet wird, tropft das überschüssige Wasser unten ab und kann, wie Regenwasser auch, in das Abwasser eingeleitet werden. Die meisten am Markt erhältlichen Systeme verwenden für die Aufbringung des Wassers Sprühdüsen. Zur gleichmäßigen Wasserverteilung werden häufig sehr viele Düsen entlang des Wärmeaustauschers angeordnet. Einige dieser Systeme arbeiten dabei sogar mit hohem Düsenvordruck und benötigen dafür Hochdruckpumpen. Da es jedoch für die Funktion des befeuchteten Kühlers vollkommen irrelevant ist, wie das Wasser auf die Lamellen kommt, ist dieser Aufwand nicht sinnvoll. Viel wichtiger ist es, das Wasser so aufzubringen, dass möglichst keine trockenen Stellen entstehen, an denen sich Mineralien aufkonzentrieren können. Aus diesem Grund sollte auch immer mit einem leichten Wasserüberschuss gearbeitet werden.

2 ANWENDUNGEN UND KOSTEN

Mit dem Einsatz hybrider Rückkühler bzw. Verflüssiger werden unterschiedliche Ziele verfolgt. Sehr häufig kommt ein Befeuchtungssystem zum Einsatz, um die Investitionskosten zu senken.

Dies klingt zunächst erstaunlich, weil ja das Befeuchtungssystem zusätzliche Kosten verursacht. Betrachtet man allerdings die Herstellkosten des Trockenkühlers für unterschiedliche Auslegungsbedingungen, so wird deutlich, dass hier ein hohes Einsparpotenzial liegt. Abb.7 zeigt die Investitionskosten

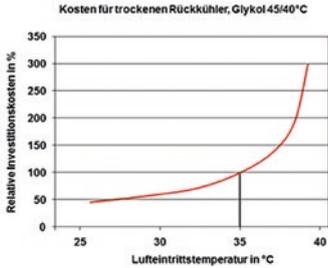


Abb.7: Investitionskosten eines trockenen Rückkühlers in Abhängigkeit von der Lufttemperatur

für einen trockenen Rückkühler, der Glykol von 45 °C auf 40 °C abkühlen soll, in Abhängigkeit von der Lufttemperatur. In Regionen, in denen 35 °C und noch höhere Lufttemperatur vorkommen können, würden die Investitionskosten für einen derartigen Kühler in keinem Verhältnis mehr zur tatsächlichen Betriebszeit unter Auslegungsbedingungen stehen.

Deshalb werden hier oft Trockenkühler für eine Temperatur von nur 30 °C oder noch weniger ausgelegt, die dann mit einem Wassersprühsystem ausgestattet werden. Dieses kommt dann nur während der wenigen Stunden zum Einsatz, in denen die Auslegungstemperatur überschritten wird. Aufgrund der kurzen Einsatzzeit ist dann auch nur eine einfache Wasseraufbereitung notwendig, deren Kosten sich in Grenzen hält (s. Abb.8).

Aus energetischer Sicht sind solche Systeme jedoch zu hinterfragen, denn die Auslegung auf die geringere Temperatur bedeutet letztendlich, dass in der überwiegenden Zeit, in der nicht besprüht wird, eine sehr große Temperaturdifferenz am Rückkühler bzw. Verflüssiger herrscht. Bei Kälteanlagen bedeutet dies, dass die Verflüssigungstemperatur und somit der Energieverbrauch über viele Betriebsstunden hinweg unnötig hoch ist. Ein anderes Ziel, das mit dem Einsatz hybrider Systeme verfolgt werden kann, ist die Einsparung elektrischer Energie am

Verdichter durch Absenken der Verflüssigungstemperatur. Das Befeuchtungssystem (Besprühung oder Matten) muss dann allerdings als zusätzliche Investition zum Trockenkühler betrachtet werden. Es muss, um eine Energieersparnis zu erzielen, außerdem für einen viel längeren Zeitraum im Einsatz sein. Die längere Befeuchtungsdauer stellt jedoch auch hohe Ansprüche an die Wasseraufbereitung, die somit deutlich mehr kostet. Ob sich solch eine Investition lohnt, hängt sehr stark von den klimatischen Bedingungen, aber auch vom Verhältnis der Wasserkosten zu den Stromkosten ab, und muss für jeden Einzelfall separat geprüft werden. Weil jedoch für die genaue Berechnung solcher Systeme oft die notwendigen Hilfsmittel oder einfach die Zeit fehlen, werden teilweise unsinnige Investitionen in Wasseraufbereitungsanlagen und Sprühsysteme getätigt, die sich bei genauer Nachrechnung auch innerhalb von 10 Jahren nicht amortisieren. Die Lebensdauer solcher Systeme ist dagegen oft kürzer. Es gibt jedoch auch Einsatzfälle, bei denen der Trockenkühler an seine Grenzen kommt oder nicht

mehr geeignet ist, und zwar immer dann, wenn Rückkühltemperaturen erreicht werden müssen, die unter den vorherrschenden Umgebungstemperaturen liegen. Dies ist für Hybridkühler jedoch eher die Ausnahme, denn hier werden dann meistens reine Nasskühltürme verwendet. Zu guter Letzt muss noch erwähnt werden, dass es auch Fälle gibt, in denen ein reiner Trockenkühler aufgrund der begrenzten Aufstellfläche oder der Schallanforderungen nicht in Frage kommt.

3 REGELUNG

Unabhängig von der Art des Befeuchtungssystems sollte die auf den Wärmeaustauscher aufgebrauchte Wassermenge geregelt werden. Bei einer Besprühung beispielsweise, die ab einem gewissen Schwellwert der Temperatur zugeschaltet wird, würde die Mediumtemperatur sonst rapide abfallen. Abb.9 zeigt so einen Temperaturverlauf für einen Rückkühler, der ab einer Außentemperatur von 25 °C besprüht wird. Unterhalb von 25 °C werden in diesem Beispiel die Ventilatoren so geregelt, dass die Mediums Austrittstemperatur konstant auf 35 °C gehalten wird. Wenn schließlich die volle Drehzahl der Ventilatoren erreicht ist und die Temperatur nicht mehr gehalten werden kann, setzt die Besprühung ein, was zu einem starken Abfall der Mediumtemperatur führt (s. rot dargestellter Temperaturverlauf).

Um solche extremen Schwankungen zu verhindern, besteht die Möglichkeit, die Ventilatoren entsprechend nachzuregeln, d.h. mit einsetzender Besprühung müsste die Drehzahl der Ventilatoren deutlich abgesenkt werden. Sinnvoller ist es jedoch, auch die Menge des Sprühwassers entsprechend zu regeln und nur so viel Wasser aufzugeben, wie zur Einhaltung des gewünschten Temperaturniveaus tatsächlich benötigt wird. Für eine solche Regelung gibt es unterschiedliche Methoden. Eine

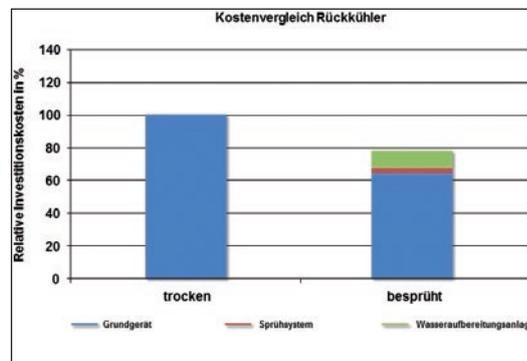


Abb.8: Zusammensetzung der Investitionskosten für trockene und besprühte Rückkühler bei kurzer Besprühzeit

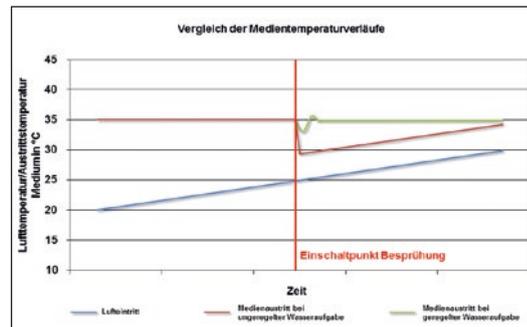


Abb.9: Vergleich der Temperaturverläufe unterschiedlicher Systeme

stufenlose Regelung der Wassermenge über den Düsen-
vordruck ist nur in einem begrenzten Maß möglich und
von der Kennlinie der verwendeten Düsen abhängig. Eine
Regelung in mehreren Stufen in Kombination mit einer stufen-
losen Drehzahlregelung ist jedoch eine sehr gute Alternative.
Doch auch dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die am
Markt erhältlichen Geräte haben oft mehrere getrennte Dü-
senkreisläufe, die dann in Abhängigkeit der Temperatur hin-
zu- oder abgeschaltet werden. Der Nachteil solcher Systeme
ist, dass immer das komplette Gerät besprüht wird, dabei
jedoch so wenig Wasser aufgebracht wird, dass das Wasser
komplett verdunstet, was zu den vorher beschriebenen Pro-
blemen mit Ablagerungen und Korrosion führen kann. Besser
ist es, den Wärmeaustauscher abschnittsweise zu besprü-
hen, z.B. pro Ventilator-kammer. Die Besprühung kann dann
in jedem Abschnitt mit der vollen Wassermenge erfolgen; der
Kühleffekt bzw. die Leistungssteigerung über den ganzen
Wärmeaustauscher erfolgt dagegen nur in Stufen, was zu
geringeren Temperaturschwankungen auf der Medienseite
führt. Ein weiterer großer Vorteil dieser Regelungsmethode ist
die Tatsache, dass die einzelnen Abschnitte im Jahresmittel
weniger lang besprüht werden. Wenn man dies noch durch
eine intelligente Regelung so einstellt, dass nicht immer der
gleiche Abschnitt zuerst besprüht wird, so kann in Summe
eine höhere Besprühdauer für das Gerät erlaubt werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Es gibt sehr viele unterschiedliche Systeme hybrider Rück-
kühler am Markt. Viele davon verwenden zu Unrecht den Be-
griff „adiabat“, weil es sich nicht um adiabate Luftabkühlung
handelt, sondern um befeuchtete Wärmeaustauscher. Adia-
bate Systeme sind schwer umzusetzen; insbesondere bei
Sprühsystemen, bei denen das Wasser gegen die Luftrich-
tung gesprüht wird, ist der Begriff adiabat völlig fehl am
Platz. Vielmehr basiert die Wirkung dieser Systeme auf den
vom Luftstrom mitgerissenen Tröpfchen, die dann auf der
Oberfläche des Wärmeaustauschers verdunsten. Somit han-
delt es sich bei solchen Systemen um befeuchtete Wärme-
austauscher, allerdings mit dem Nachteil, dass ein Großteil
des Wassers ungenutzt zu Boden fällt.

Sinnvoller ist es, das Wasser direkt auf den Wärmeaus-
taucher zu sprühen, denn die Leistung eines befeuchteten Wärme-
austauschers ist erheblich höher als die eines adiabaten
Systems. Selbst ein ideal adiabat arbeitendes System, d.h. ein
System, das die Luft bis auf Feuchtkugeltemperatur abkühlt,
kann nicht die Leistung eines befeuchteten Wärmeaus-
tauschers erreichen.

Die Funktionsweise eines befeuchteten Wärmeaustauschers
hängt nicht davon ab, wie das Wasser aufgebracht wird. Die
Leistung eines solchen Geräts ist für Hochdrucksysteme
nicht anders als für Systeme, die mit geringem Druck arbei-
ten. Auch eine feine Verteilung mittels zahlreicher Düsen hat
keinen Leistungsvorteil gegenüber einer Düsenanordnung,
die das Wasser gleichmäßig von oben auf den Wärmeaus-

taucher aufbringt. Wichtig ist vielmehr, dass es möglichst wenige
Stellen gibt, die regelmäßig austrocknen. Die Wasseraufbringung
von oben mit einem leichten Wasserüberschuss ist deshalb unkriti-
scher hinsichtlich Korrosion und Ablagerungen.

Eine sektionsweise Regelung der Besprühung ergänzt diesen Vor-
teil. Hinzu kommt, dass so eine Regelung im Mittel eine höhere
Besprühdauer zulässt, weil nicht immer der gesamte Wärmeaus-
taucher befeuchtet wird. Hinsichtlich Kosten und Energieeffizi-
enz müssen hybride Rückkühler für jeden Anwendungsfall se-
parat betrachtet werden. Je nach Wasserkosten, Stromkosten,
klimatischen Bedingungen und jährlicher Betriebszeit ist ein an-
deres System zu empfehlen. In der Praxis sieht man jedoch häufig
Systeme, die sich innerhalb ihrer Lebensdauer nicht amortisieren.

*Autor: Dipl.-Ing. Michael Freiherr,
Leitung Produktmanagement,*

*Co-Autor: Dr. Dipl.-Phys. Franz Summerer
Güntner GmbH*

82256 Fürstfeldbruck

Fotos/Grafiken: Güntner

www.guentner.de



DUPLEX Lüftungsgeräte

Hocheffizient & umweltschonend



DUPLEX Multi-Serie

kompakte Lüftungsgeräte
für die Innen- und Außenaufstellung

- kompakte Bauform
- projektbezogene Fertigung
- Serie Multi-V mit allen Stützen
nach oben



DUPLEX Roto

mit Rotationswärmetauscher

- Geräte für die Innen- und
Außenaufstellung
- Lieferung in drei Modulen
- kompakt und leistungsstark



DUPLEX Flex

flexible Lüftungsgeräte mit Wärme-
rückgewinnung

- schnelle, flexible Montage
- passivhauszertifiziert
- sofort ab Lager lieferbar



DUPLEX Vent

dezentrale Lüftungsgeräte mit
Wärmerückgewinnung

- einfache Montage
- extrem leise
- Einsatz in Schul-
und Bürogebäuden



AIRFLOW
SPEZIALISTEN IN DER LÜFTUNGSTECHNIK

Airflow Lufttechnik GmbH
info@airflow.de • www.airflow.de

Seit
50
Jahren