

Lösung mit hybrider Rückkühltechnik

Wissenswertes zur Hybriden Trockenkühlung und Referenzanlagen

Referent:

Dipl. Ing. W. Müller

Jäggi / Güntner (Schweiz) AG
Niederlassung Ostschweiz
In der Bettenen 2
CH-8706 Feldmeilen

Tel. 0041 / 9 23 78 70
Fax 0041 / 9 23 67 07

1. Einführung

“Hybrid” bedeutet „Zwitter“. Bei der hybriden Kühlung kann die Wärme sowohl in sensibler Form (durch Luftaufwärmung) als auch in latentener Form (als verdunstetes Wasser) an die Umwelt abgeführt werden. Bei der “Hybriden Trockenkühlung” aus dem Hause Güntner wird die Wärme entweder “trocken” oder “latent mit einem sensiblen Anteil” abgegeben. Dies zur Begriffsbestimmung.

Wenn nun die hybriden Trockenkühler zur Erzielung einer Kühlmediumtemperatur unter der Trockenlufttemperatur mit Wasser arbeiten müssen, sprechen wir von einer “Benetzung” der Kühler. Der Begriff “Besprühen” bleibt anderen Kühlsystemen vorbehalten und ist bei diesen Kühlern nicht zutreffend.

2. Wissenswertes zur hybriden Trockenkühlung

Die Wasseraufgabe auf die Kühllamelle erfolgt im Überschuss. Das heisst, es wird etwa 8 mal mehr Wasser aufgegeben als bei max. Luftbelastung verdunsten kann. Damit werden Ablagerungen auf den Kühllamellen weitgehend verhindert und das sich ständig eindickende Wasser kann durch Leitfähigkeitsmessung unter Kontrolle gehalten werden.

Im Auslegungspunkt, bei höchster Lufttemperatur, liegt die Kühlgrenze bei etwa 4 K über der Feuchtkugeltemperatur. Im Klartext heisst dies, es können bei einem Luftzustand von 32°C/38% (= t_f 21°C) Kühlwassertemperaturen von 25°C erreicht werden. In der Vergangenheit mussten die Kühler mehrheitlich auf eine Kaltwassertemperatur von 27°C bis etwa 30°C ausgelegt werden. Es versteht sich von selbst, dass die Kühlfläche umso grösser wird, je tiefer die Kühlwassertemperaturen sein müssen. Andererseits erreicht man mit einer vergrösserten Kühlfläche einen verlängerten Trockenbetrieb, was bei hohen Wasserkosten die Jahresbetriebskosten verringert.

Für München rechnet man beispielweise mit einer Feuchtkugeltemperatur von 21°C. Für die Dimensionierung eines Kühlers ist es dabei eher nebensächlich, ob der entsprechende Luftzustand nun 32°C/38%r.F. oder 35°C/28%r.F. beträgt. Der einzige Unterschied ergibt sich im Wasserver-

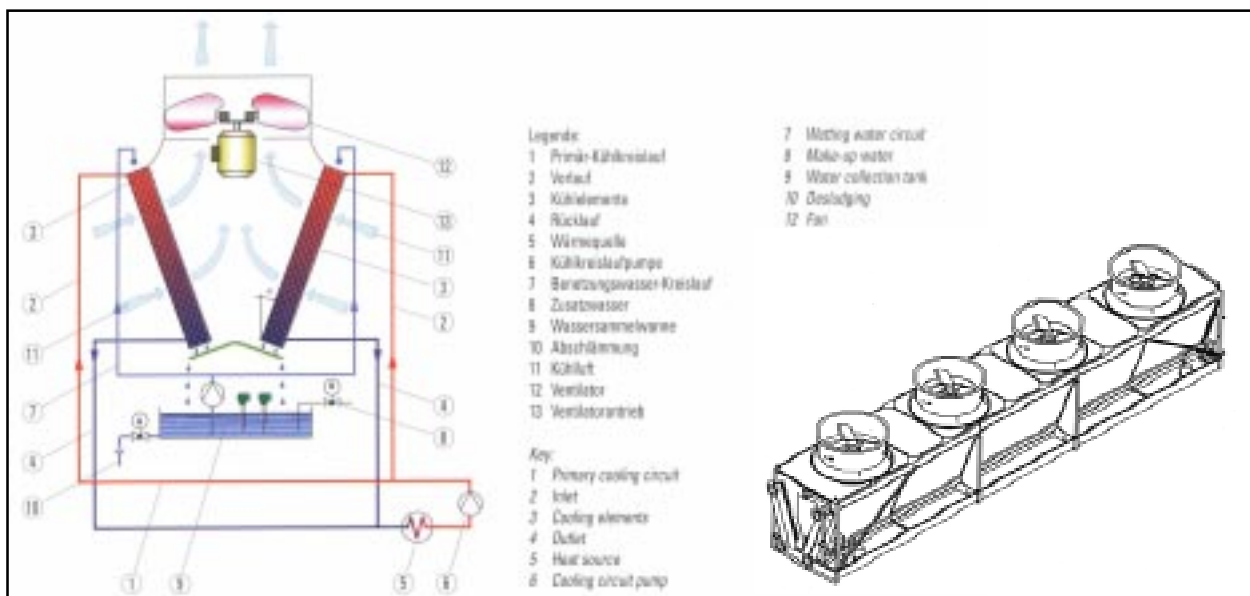


Bild 1: Prinzipdarstellung der hybriden Trockenkühlung

brauch. Bei Luftzustand 35°C/28%r.F ist der Wasserverbrauch rund 10% höher als bei Luftzustand 32°C/38%r.F.

Woher kommt das, da ja beide Luftzustände einer Temperatur am feuchten Thermometer von 21°C entsprechen? Dies ist einfach zu erklären. Der Luft auf dem höheren Temperaturniveau muss mehr sensible Wärme entzogen werden, damit sie für die Kühlung wirksam wird. Da in beiden Fällen aber gleichviel Luft durchgesetzt wird muss und kann bei höherer Lufttemperatur mehr Wasser verdampfen. Nehmen wir wiederum ein Beispiel. Um mit einer bestimmten Kühlleistung und gleichem Luftdurchsatz Wasser von 34,5°C auf 28,5°C abzukühlen, ändern sich die Luftzustände und der Wassergehalt wie folgt:

Eintritt: 32°C/38%r.F mit $X_{L1} = 11,9$ g/kg ®
 Austritt: 28,4°C/91%r.F mit $X_{L2} = 23,8$ g/kg
 Eintritt: 35°C/28%r.F mit $X_{L1} = 10,5$ g/kg ®
 Austritt: 28,5°C/89%r.F mit $X_{L2} = 23,6$ g/kg

Wichtig ist zu wissen, dass der Wasserverbrauch bei Kühlung eines Mediums unter die Trockenlufttemperatur nicht nur die Verdunstungswärme des Wassers, entsprechend der Kühlleistung, sondern auch einen bestimmten Wärmeinhalt der Luft einschliessen muss.

Ein anderes wichtiges Kriterium ist der Schallpegel der Ventilatoren. Bei Trockenkühlern kann man einen tiefen Schallpegel erreichen, indem man die Kühlfläche vergrössert und die spezifische Luftbelastung klein hält. Dadurch sinkt der luftseitige Druckverlust so stark, dass langsam laufende, bzw. leise Ventilatoren verwendet werden.

Dies ist bei der hybriden Trockenkühlung anders. Sobald die Luftbelastung vom Optimum nach unten abweicht, hat das Benetzungswasser die Tendenz an der Luftereinströmseite des schräg gestellten Lamellenwärmetauschers hinunter zu rieseln. Man nutzt diese Tatsache um mit frequenzregulierten Ventilatoren bei sinkenden Aussenlufttemperaturen den sensiblen Anteil der Wärmeabgabe zu erhöhen und den latenten Anteil (Verdunstung) zu verringern.

Im Auslegungspunkt kommt man mit zu kleinem

Luftdurchsatz aber zu wenig nahe an die Feuchtkugelttemperatur. Daher sind der Begrenzung des Luftdurchsatzes im Auslegungspunkt (bei höchster Lufttemperatur) oftmals enge Grenzen gesetzt. Wie Sie sehen, kann ein Vorteil im Betrieb in der Auslegung auch in einen Nachteil umschlagen.

Bei der hybriden Trockenkühlung ist man daher gezwungen, möglichst wenige, dafür grössere Ventilatoren mit einem idealen Flügelprofil einzusetzen, um die immer höher werdenden Schallanforderungen zu erfüllen. Die Planer wissen aber, dass man einen kritischen Schallpegel "entschärfen" kann, wenn man zwischen der Schallquelle und dem kritischen Immissionspunkt eine Sichtblende baut. Teurere Leiseläufer-Ventilatoren und Sichtblenden sind meist wirtschaftlicher, als "Energie-fressende" Schalldämpfer zu installieren.

Bei hybriden Trockenkühlern beträgt der Schalleistungspegel, je nach Grösse des Kühlers, bzw. nach Grösse des Ventilators zwischen 74 und 78 dB(A). Dies ergibt in 10 m Abstand einen Schalldruckpegel von 46 bis 50 dB(A), zuzüglich einer Addition für mehrere gleiche Schallquellen, bzw. gleiche Ventilatoren.

Um einer verschärften Schallanforderung im Nachtbetrieb gerecht zu werden, besteht in den meisten Fällen die Möglichkeit, die Drehzahl der Ventilatoren im Nachtbetrieb zu begrenzen. In diesem Falle reduziert sich der Schallpegel in Funktion der Drehzahländerung um $50 \log d2/d1$. (mit $d2 =$ reduzierter Drehzahl).

3. Wo sind also die Stärken der hybriden Trockenkühlung?

Die hybride Trockenkühlung zeichnet sich aus durch einen bescheidenen Energie- und Wasserverbrauch. Hybride Trockenkühlung kam bisher vorzugsweise dann zum Einsatz, wenn,

- ein geschlossener Kühlkreislauf mit tiefen Mediumtemperaturen verlangt wird,
- im Auslegungspunkt Mediumtemperaturen um oder unter der Trockenlufttemperatur erforderlich sind,
- die Platzverhältnisse kleine Abmessungen erfordern,

- das Kühlsystem garantiert schwadenfrei sein soll,
- bei einer grossen Anlage ein tiefer Schallpegel verlangt wird.

Im Wettbewerb mit reiner Trockenkühlung sind die kleineren Einbaumasse der hybriden Trockenkühlung von Bedeutung. Im Wettbewerb mit Nasskühltürmen steht die Schwadenfreiheit und der wesentlich geringere Jahres-Wasserverbrauch im Vordergrund.

Gegenüber ähnlichen Kühlsystemen können wir trotz einem höheren Preis dank kleinerem Schallpegel und tieferen Jahreskosten konkurrieren.

4. Hat die hybride Trockenkühlung auch Schwächen?

Für die Verkäufer dieses Systems gibt es keine Schwächen. Gewisse Nachteile, die den Einsatz hybrider Trockenkühler einschränken, sollen dennoch angesprochen werden, um die oftmals zu hohen Erwartungen an ein sonst bewährtes Kühlsystem auf den Boden der Realität zu bringen.

Wenn beispielsweise ein Architekt nicht daran gedacht hat, dass die Umwälzung grosser Luftmengen mit Schallemissionen verbunden ist und er den Kühler direkt vor das Schlafzimmer einer Abwärtswohnung stellen will, dann ist der Zubau von Schalldämpfern meist unumgänglich. Hier ist die gewählte Geometrie des hybriden Trockenkühlers mit der kleinen Luftanströmgeschwindigkeit und der sehr guten Zugänglichkeit für Wartung und Unterhalt eher ungünstig, um ein Gehäuse mit Kulissenschalldämpfern darum herum zu bauen.

Ein anderes Beispiel ist der zu kurze Einsatz eines hybriden Trockenkühlers, wenn er nur über die heisseste Zeit des Sommers geplant ist. Hybride Trockenkühler sind dann am wirtschaftlichsten, wenn sie möglichst ganzjährig, einschliesslich einer freien Kühlung und vor allem aber auch in der Übergangszeit (im Teillastbetrieb) genutzt werden. Der Vorteil gegenüber einem reinen Verdunstungskühlturm kommt vor allem dann zum Tragen, wenn der hybride Trockenkühler möglichst lange trocken, also durch Abgabe sensibler Wärme, gefahren werden kann.

Bei sehr kleinen Leistungen, beispielsweise um 70-100 kW, ist zu überlegen, ob man eine leitfähigkeitsgesteuerte Abschlämmung wirklich braucht, oder ob man eine mengen-proportionale Abschlämmung vorsehen kann. Desgleichen könn-

te bei kleinen Kühlern die Frischwasserzufuhr über ein mechanisches Schwimmventil erfolgen. Damit spart man sich Kosten, die beim kleinen Kühler stärker ins Gewicht fallen. Es liegt auch im Ermessen des Planers, ob er für kleine Leistungen einen höheren Stromverbrauch für eine Kältemaschine (auf höherem Temperaturniveau) zulassen kann und dafür reine Trockenkühler vorsieht.

Wir wollen damit einmal mehr zum Ausdruck bringen, dass je nach Anforderung und örtlichen Gegebenheiten auch andere Kühlsysteme ihre Existenzberechtigung haben. Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen verschiedenen Systemen muss zwingend objektbezogen durchgeführt werden und ist meist sehr aufwendig. Da uns die Daten anderer Systeme nur selten bekannt gegeben werden, können wir vielfach nur die gewünschten Daten für hybride Trockenkühler, nach Anforderung des Planers beibringen.

5. Referenzanlagen mit ausgewiesenen Vorteilen der Hybriden Trockenkühlung

Heute stehen uns, angefangen vom Telefon bis hin zum Internet, alle erdenklichen Kommunikationsmittel zur Verfügung. Was aber in der Entwicklung weit hinterherhinkt, ist die Kommunikationsfreudigkeit auf Gebieten, die kein Geld bringen. Dazu gehört auch die Information der Komponenten-Hersteller über Gründe, die zu einer oder anderen Entscheidung geführt haben.

Gerade Komponenten-Hersteller mit einem grossen Erfahrungspotential werden in der Planungsphase gerne - und kostenlos versteht sich - zu Rate gezogen. Weshalb die Weichen dann in der einen oder anderen Richtung gestellt werden, bleibt oft schleierhaft. Werden sie zugunsten der Konkurrenz gestellt, hüllt man sich beim "Weichensteller" gern in Schweigen. Kristallisieren sich aber Vorteile heraus, so darf der Betroffene diese nicht wissen, er könnte ja sonst versuchen seine Vormachtstellung auszunutzen.

Die Unsicherheit für einen Anbieter wird bis zu einer Auftragsvergabe sorgsam geschürt. Ist es aber dann soweit, dass ein Auftrag verhandelt und gebucht werden kann, steht eine zügige Auftragsabwicklung im Vordergrund. Wen interessiert es noch, was letztendlich den Ausschlag für ein bestimmtes System gegeben hat?

Diese allzumenschlichen Vorgänge, eine gewisse

Voreingenommenheit aber auch der Stress und die Hektik des Alltages im Geschäftsleben verhindern oftmals eine klare Analyse aller Hintergründe. Trotzdem konnten bei einigen abgewickelten und zum Teil noch in Planung befindlichen Projekten eindeutige Vorteile zugunsten der hybriden Trockenkühlung in Erfahrung gebracht werden. Wir möchten dazu 5 Beispiele geben.

Auslegedaten	
Kühlleistung	2'500 kW
Kühlmedium	70% Wasser/30% Glykol
Mediumtemperaturen	36/30 °C
Auslegungs-Luftzustand	33°C/38%r.F (tf 22°C)
Spezielle Anforderungen des Planers	
Schwadenfreiheit	Garantie
Wasserqualität	Von Regenwasser über Teilenthärtung bis Osmose-Wasser
Aufstellungsort	in einem Gebäude
Lufführung: Ansaug/Ausblas	in Schächten
Lufführung: durch Wärmetauscher und Ventilatoren	horizontal
Schalldämpfer	notwendig
Platzangebot	beschränkt
Raumhöhe	2,55 m
Besondere Bewertungskriterien	- Stromverbrauch - Wasserverbrauch - Investitionskosten

Beispiel 1: Technische Hochschule Zürich.
Baujahr: Sommer 99

Lösung (Bild 2 + 3)

Dieses Projekt erstreckte sich ab 1. Angebot bis zur Auftragsvergabe über 4,5 Jahre und füllte in dieser Zeit 3 Ordner. In der Schlussphase hatte der Planer nur noch 2 Systeme zur Auswahl. Die ständige Vorlage hieb und stichfester Berechnungsergebnisse, ausführliche Betriebskostenrechnungen und last but not least ein tieferer Angebotspreis führte dann zu der Auswahl der hybriden Trockenkühler. Diese Anlage soll in 1-2 Jahren für einen Endausbau, der in der Vor-



Bild 2: Ansicht auf 50% der installierten 8 Kühler von der Lufteintrömseite her gesehen. Die Kühlluft wird über die rechts im Bild sichtbaren Kulissenschalldämpfer angesaugt und horizontal durch die Kühler geführt.



Bild 3: Jedem Kühler ist ein Ventilator zugeordnet, dessen Totalwirkungsgrad über 85% liegen musste. Mit Diffusoren gelang es, diesen bis auf 89,3% zu bringen. Im Hintergrund erkennt man die Ausblas-Schalldämpfer vor dem Steigschacht.

planung zu berücksichtigen war, noch um 50% auf 3,75 MW erweitert werden.

Auslegedaten	
Abwärme von 3 Kältemaschinen	3 x 850 kW
Kühlmedium Glykol	70% Wasser/30%
a) Mediumtemperaturen für Auslegung	45/40 °C
b) Mediumtemperaturen die erreichbar sind	37/32 °C
Auslegungs-Luftzustand	35°C/33%r.F (tf 22°C)
Spezielle Anforderungen des Planers	
Schwadenfrei	Garantie
Angrenzende Fassade	keine Kondensation
Platzangebot im Graben	2 m x 30 m
Bauhöhe der Kühler	max. 2,4 m
Schalldruckpegel	< 60 dB (A) in 10 m

sätzlichen, externen Druckverlust (für Umlenkungen) von 35 Pa ausgelegt. Dies hat dann zur Folge, dass die Kühler bis zu einer Aussenlufttemperatur von 14°C als reine Trockenkühler betrieben werden können. Damit sind in München bereits 6600 Jahresstunden abgedeckt.

Beim Übergang auf die Benetzung ist die kritische Phase einer Nachkondensation des Wasserdampfes bereits überwunden. Ausserdem wird, wie bereits erwähnt, bei kleinerer Ventilator Drehzahl weniger Wasser verdunstet, da der Anteil sensibler Wärme mit sinkender Ventilator Drehzahl steigt.

Beispielsweise ergibt sich bei 100% Kühllast und einem Luftzustand von 15°C/72% r.F bei der erforderlichen Ventilator Drehzahl von nur 42% ein Austrittsluftzustand von 37°C mit nur 69% relativer Feuchte. Die Austrittsgeschwindigkeit am Ventilator beträgt aber immer noch 3 m/s. Das heisst, bis sich die Luft derart abkühlt, dass eine Kondensation des aufgenommenen Wasserdampfes möglich wäre, hat sie sich etwa auf Dachhöhe (18 m) bereits stark mit trockenerer Luft verdünnt.

Beispiel 2: Siemens Matsushita, München.
Baujahr: Winter 99

Lösung (Bild 4)

Ursprünglich waren nur 2 Kältemaschinen vorgesehen, deren Abwärme über Trockenkühler abgeführt werden sollte. Dies ist auch der Grund für die hohen Auslegungs-Wassertemperaturen. Der verfügbare Platz hätte gerade gereicht, um die Trockenkühler für eine Kältemaschine unterzubringen. Für eine zweite Kältemaschine hätten Parkplätze geopfert werden müssen, was zu unüberwindlichen Schwierigkeiten führte.

Im Verlauf der Projektbearbeitung kam durch eine Produktionserweiterung sogar eine dritte Kältemaschine dazu.

Mit der hybriden Trockenkühlung war es auch nicht ganz einfach, alle Auflagen zu erfüllen. Die Luftanströmverhältnisse sind sehr ungünstig und die Luftabströmverhältnisse wegen den angrenzenden Fensterfronten kritisch.

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen wurden die Kühler für den Auslegungspunkt bewusst überdimensioniert und die Ventilatoren mit einem zu-



Bild 4 Montage des ersten von 3 zeichnungsgleichen Kühlern im 3 m tiefen und 2 m breiten Schacht. Die Kühlleistung dieses Kühlers beträgt 850 kW

Die grossen Befürchtungen einer zu starken Schallemission wurden bereits bei der Inbetriebnahme zerstreut. Dieses Ziel konnte nur dank neuester Ventilator- und Antriebstechnik erreicht werden.

Auslegedaten	
Abwärme der Kältemaschine	450 kW
Kühlmedium	70% Wasser/30% Glykol
Mediumtemperaturen für Auslegung	35/29 °C
Auslegungs-Luftzustand	32°C/38%r.F (tf 21°C)
Spezielle Anforderungen des Planers	
Schwadenfrei	Garantie
Aufstellfläche	sehr begrenzt
Raumhöhe	4,2 m
Luftführung: Ansaug/Ausblas	horizontal/vertikal
Schalldämpfer	notwendig

**Beispiel 3: DUO Ulm und Weingarten.
Baujahr: Herbst 1999**

Lösung (Bild 5)

Die gestellten Randbedingungen mit der kleinen Aufstellfläche verunmöglichten eine konventionelle Lösung mit V-förmigen Wärmetauschern. Es musste auf eine 1-schenkige Ausführung mit Doppelwärmetauscher gewählt werden. Die doppelte Lamellentiefe von total 300 mm der 2 in Serie geschalteten Wärmetauscher ergab allein einen luftseitigen Druckverlust von 222 Pa. Dazu kam ein externer Druckverlust für die Kanäle, Umlenkungen und Schalldämpfer von weiteren 200 Pa.

Für eine totale statische Pressung von 422 Pa war es vorteilhafter Radialventilatoren einzusetzen. Mit einer gesamten Bauhöhe von 4080 mm war es gerade noch möglich, die Austrittstutzen der Ventilatoren über eine flexible Verbindung mit dem Schalldämpfergehäuse zu verbinden.

Die beiden, unmittelbar hintereinander angeordneten Wärmetauscher werden in 2 Stufen benetzt. Als erstes wird das "kältere" Element benetzt. Durch Verdunstung von Wasser senkt sich die Temperatur um 2-3 K ab. Diese "unterkühlte" Luft durchströmt dann noch das "wärmere" Element und kann dort für reine Trockenkühlung mit sensibler Wärmeübertragung wirksam werden.

In der Regel ist es nur bei höchsten Umgebungslufttemperaturen (ab ca. 29°C) notwendig, beide Kühlelemente zu benetzen. Die damit erzielbaren Wassereinsparungen sind sehr beachtlich.

Selbstverständlich werden solche Kühler mit einem geschlossenen Kreislauf und der grossen lamellierten Wärmeaustauschfläche häufig auch für die freie Kühlung benutzt. Die Abschaltung der Kältemaschine und die direkte Kühlung auf 6 bis 10°C bringt grosse Einsparungen an Energie. Der Leistungsbedarf der Ventilatoren beträgt in der Regel einen Bruchteil der Antriebsleistung einer Kältemaschine.

Bei dieser Anlage, mit einer Solltemperatur von 10°C für freie Kühlung, kann die Kältemaschine je nach Kühlleistungsbedarf bis zu einer Aussenlufttemperatur um 7,5°C ausser Betrieb gesetzt werden. Der Kühler läuft dann bis zu einer Aussenlufttemperatur von 3°C immer noch im Trockenbetrieb und bis 7,5°C/75% mit Teilbenetzung. Dies bedeutet einen sehr geringen Strom- und Wasserbedarf über mindestens 4000 Jahresstunden.

Im tiefen Lufttemperaturbereich mit einer relativ hohen Luftfeuchtigkeit (um 70 – 80%) ist die Benetzung der Wärmetauscher weniger effizient als im Auslegungspunkt bei hohen Lufttemperaturen. Dies sind physikalisch bedingte Tatsachen, die



Bild 5 Aufstellung eines hybriden Trockenkühlers mit Doppelkühlelementen und Radialventilatoren in einem Technikraum einer Druckerei. Vorne rechts erkennt man noch die Dosierstation für die Nachbehandlung des Zusatzwassers. Je nach Wasserqualität wird ein Kombinationsprodukt für die Härtestabilisation und mit einem Korrosionsinhibitor geimpft.

nicht zu umgehen sind. Aus diesem Grund wird freie Kühlung oftmals nur im Trockenbetrieb gefahren.

Auslegedaten	
Abwärme der Kältemaschinen	2 x 1'200 kW
Kühlmedium	70% Wasser/30% Glykol
a) Mediumtemperaturen für Trockenkühlung	48/42 °C
b) Mediumtemperaturen für "Hybrid"	36/30 °C
Auslegungs-Luftzustand	32°C/40%r.F (tf 21,5°C)
Spezielle Anforderungen des Planers	
Schwadenfrei	Garantie
Aufstellfläche	sehr begrenzt
Raumhöhe	4,2 m
Luftführung: Ansaug/Ausblas	horizontal/vertikal
Schalldämpfer	notwendig

Beispiel 4: Projekt in München

A) Lösung mit Trockenkühler (Bild 6)

Obwohl für Trockenkühler hohe Mediumtemperaturen von 48/42°C angesetzt wurden, sind 3 Stück Kühler der Abmessungen L x B x H von 10,0 x 2,22 x 2,2 m notwendig. Eine parallele Aufstellung über die Breite von 9 m ist wegen ungünstiger Luftzufuhr nicht möglich. Man müsste versuchen, die Kühler versetzt und schräg anzuordnen. Der Gesamtschalleistungspegel liegt aber bereits bei 90 dB(A), weshalb diese Lösung ausscheidet.

Andere Lösungen mit Trockenkühler führten entweder zu einem mindest gleich hohen Schallpegel oder zu einer zu grossen Bauhöhe. Nicht berücksichtigt wurde der Umstand, dass auf einer Dachfläche die Luft sich noch stärker erwärmen kann. An heissen Sommertagen sind dann 35 oder sogar 36°C durchaus möglich. Trockenkühlung dürfte daher bei diesem Projekt kaum in Frage kommen.

A) Lösung mit hybriden Trockenkühler (Bild 7)

Für hybride Trockenkühler wurden die Mediumtemperaturen auf 36/30°C hinuntergesetzt. Der für München relativ hoch angesetzte Auslegungsluftzustand von 32°C/40%, entsprechend einer Feuchtkugeltemperatur von 21,5°C wird dagegen

nie überschritten. Bei hybriden Trockenkühlern kann die Luft sich auch auf 36°C erwärmen. Da keine Feuchtigkeit zugeführt wird, sinkt die relative Feuchte auf 28% was dann auch wieder der Feuchtkugeltemperatur von 21,5°C entspricht.

Um die Kühlleistung von 2'400 kW mit Mediumtemperaturen 36/30°C zu erbringen, sind 2 Stück Kühler der Abmessungen L x B x H von 10,3 x 1,67 x 2,3 m notwendig. Für eine ausreichende Luftzufuhr können die Kühler parallel zueinander in einem Abstand von ca. 2, 2 m aufgestellt werden. Rundherum ist noch genügend freie Fläche für Wartung, Unterhalt und den Rohrleitungsanschluss.

In der Übergangszeit mit etwa 60% Kühllast können diese Kühler bis zu einer Umgebungslufttemperatur von 15,5°C trocken gefahren werden. Damit sind in München bereits 7000 Jahresstunden abgedeckt. Anschliessend kann die Benetzung der 2 Kühler in 4 Stufen zugeschaltet werden, was den Wasserverbrauch allmählich ansteigen lässt und über das Jahr in Grenzen hält.

Der Gesamtschalleistungspegel liegt mit 83 dB(A) noch 4 dB(A) unter dem zulässigen Wert.

Die Mehrkosten der hybriden Trockenkühlung müssen nun noch den Einsparungen für eine kleinere Kältemaschine mit den Einsparungen an elektri-

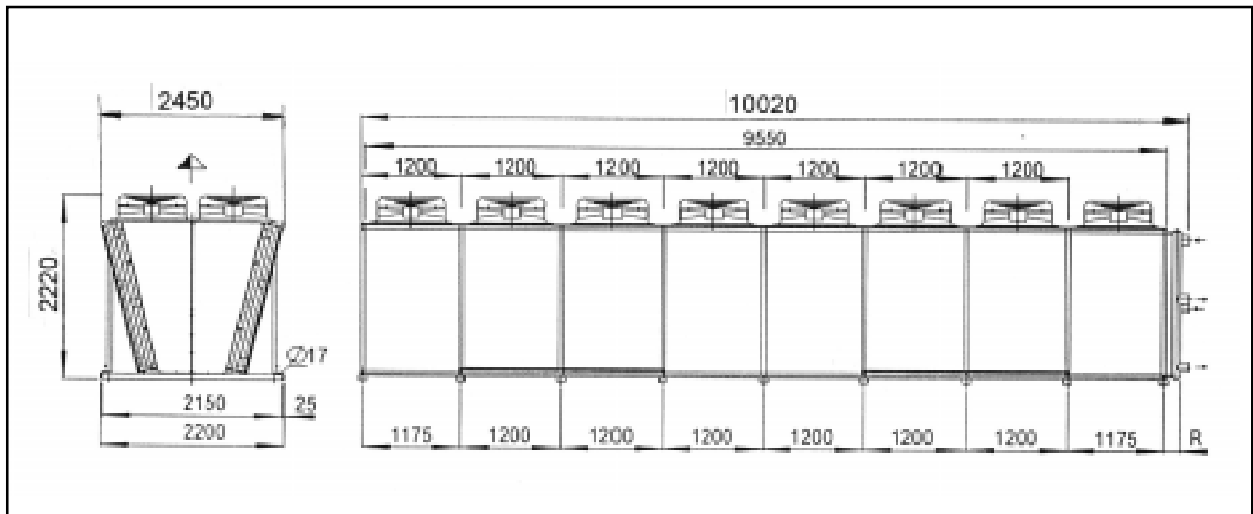


Bild 6: Trockenkühler für 800 kW Kühlleistung mit Mediumtemperaturen 48/42°C bei Luft-Temperatur 32°C. Die installierte Ventilatorleistung beträgt bei 3 Kühlern 37 kW. Der Gesamtschalleistungspegel überschreitet mit 90 dB(A) den Anforderungswert. Problematisch wird die Luftzufuhr bei der Aufstellung von 3 Kühlern auf der Fläche von 9 x 13 m.

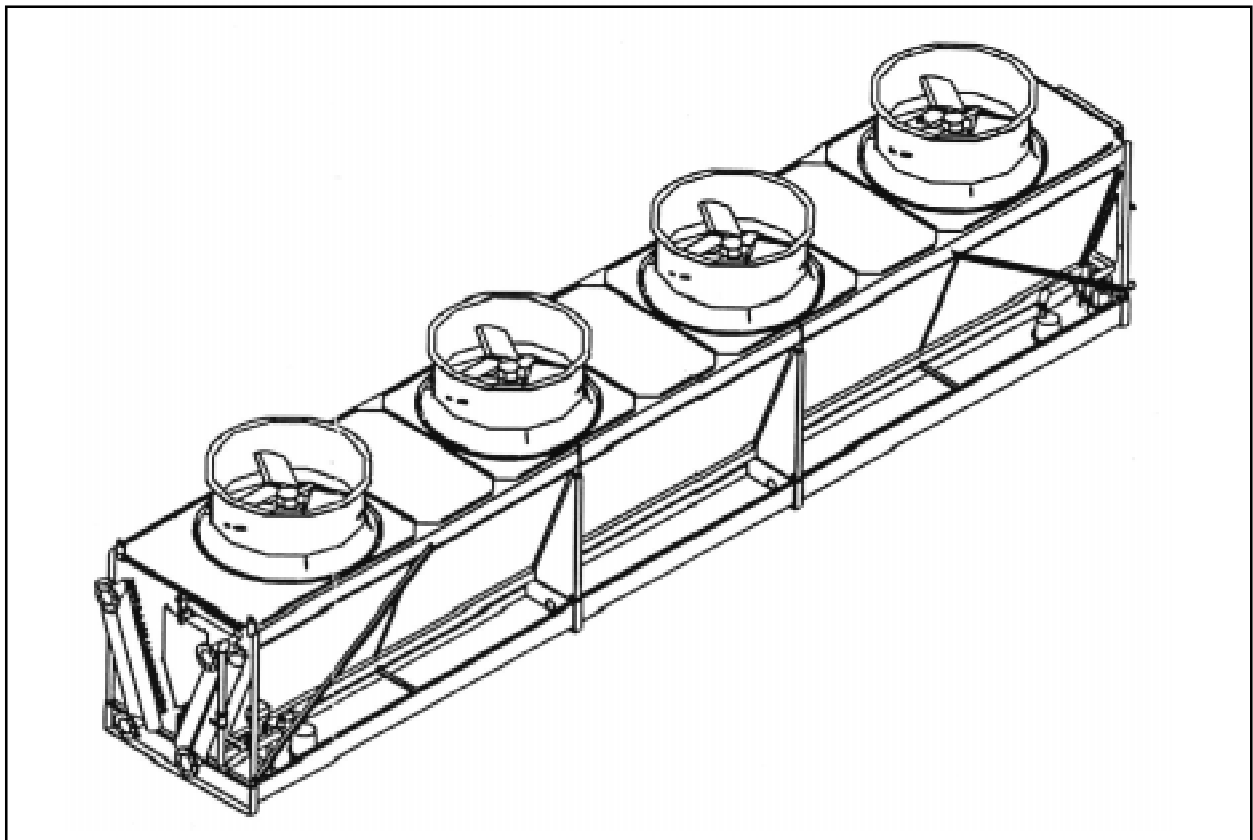


Bild 7: Hybrider Trockenkühler für 1'200 kW Kühlleistung mit Mediumtemperaturen 36/30°C bei Lufttemperatur bis 36°C (tf 21,5°C). Die installierte Ventilatorleistung beträgt bei 2 Kühlern 24 kW. Der Gesamtschalleistungspegel unterschreitet mit 83 dB(A) den Anforderungswert. Die Aufstellung von 2 Kühlern auf der Fläche 9 x 13 m ist auch hinsichtlich der Luftzufuhr unproblematisch.

scher Energie gegenübergestellt werden.

**Beispiel 5: Lichtwer Pharma AG, Berlin.
Baujahr: Herbst 99**

Auslegedaten	
Abwärme der Kältemaschinen	3'533 kW
Kühlmedium	70% Wasser/30% Glykol
Mediumtemperaturen für Auslegung	36/28 °C
Auslegungs-Luftzustand	32°C/38%r.F (tf 21°C)
Freie Kühlung	gleitend und unterstützend bis Lufttemperatur ca. 12°C
Spezielle Anforderungen des Planers	
Schwadenfrei Aufstellfläche	Garantie für 1. Etappe begrenzt 8 m x 14 m

Lösung (Bild 8)

2 Stück hybride Trockenkühler erfüllten alle Anforderungen in idealer Weise. Das Platzangebot erlaubte sogar eine für die Luftführung günstige Aufstellung. Wegen der grossen Kühlwassermenge musste allerdings ein 3-flutiger Kreuz-Gegenstrom vorgesehen werden. Das heisst, der Wassereintritt ist auf der Vorderseite und der Wasseraustritt ist auf der Rückseite der Kühler. Auch diese Kühler können im mittleren Temperaturbereich mit etwa 60% Kühlleistung bis zu einer Aussenlufttemperatur von 16°C als Trockenkühler betrieben werden.

6. Schlussfolgerung

Hybride Trockenkühler erfüllen oftmals auf Anhieb



Bild 8: Hybride Trockenkühler für 3'533 kW Kühlleistung mit Mediumtemperaturen 36/28°C bei Luftzustand 32°C/38%, entsprechend einer Feuchtkugeltemperatur von 21°C.

die Anforderungen eines Planers, vor allem bei grossen Anlagen mit beschränktem Platzangebot und hohen Schallanforderungen, Es ist daher von Vorteil, wenn innerhalb einer Firma 2 völlig verschiedene Kühlsysteme angeboten werden können. Der Planer kann dann viel besser beraten werden.

Die wesentlichsten Vorteile der hybriden Trockenkühlung liegen beim kleinen Platzbedarf und beim bescheidenen Strom- und Wasserverbrauch. Die völlige Freiheit von sichtbaren Dampfschwaden gehört in Wohngebieten heute zu einer unabdingbaren Selbstverständlichkeit. Dazu kommt aber auch die hohe Flexibilität des Herstellers für massgeschneiderte Lösungen. Dies ist beim heutigen Trend zur Standardisierung gar nicht selbstverständlich, vor allem wenn man weiss, dass vom Hersteller oftmals Ingenieurleistungen verlangt werden, die in keinem Kostenbudget enthalten sind.

Andererseits muss es einem Verkäufer mit einem gewissen Flair für die Technik sicher eine grosse Befriedigung bringen, wenn für schwierigste Aufgabenstellungen eine Lösung angeboten werden kann

In den 5 gezeigten Beispielen waren hybride Trockenkühler die optimalste Lösung des jeweiligen Kühlproblems. Es darf aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass jedes Objekt besondere Anforderungen stellt. In diesem Sinne muss abschliessend wieder einmal darauf hingewiesen werden, dass objektbezogen auch andere Kühlsysteme ihre Berechtigung haben.

Um zu erkennen, ob die hybride Trockenkühlung ihre Vorteile zur Geltung bringen kann, ist es daher wichtig, wenn der Planer mit einer Anfrage möglichst viel objektspezifische Informationen weitergibt. Dazu gehören nebst den Auslegedaten auch die Randbedingungen bezüglich verfügbarer Fläche, Aufstellungsort, Betriebsart, Schallanforderungen etc.

Bei grösseren Anlagen ergibt sich oftmals eine Aufteilung auf mehrere Kühler, weil die Wassergeschwindigkeit in den Rohren zum begrenzenden Faktor wird. Grundsätzlich ist es aber kostengünstiger wenige grosse Einheiten zu bauen. Wir geben uns immer Mühe, schon im Anfangsstadium der Planung eine möglichst optimale Anlage zu berechnen und vorzuschlagen.