

Rückkühlsysteme im Kühlkreislauf, Vorstellung, Bewertung, Wirtschaftlichkeitsberechnung

Dipl. Ing. (FH), Thomas Rack Jäggi/Güntner (Schweiz) AG,
Industriestrasse 23, CH-4632 Trimbach/Schweiz
Büro Süddeutschland
Kettenerstraße 2, DE-70794 Filderstadt
Telefon 0049 711 99 70 650
Telefax 0049 711 99 70 651
E-Mail thomas.rack@guentner.ch

- 1. Einleitung**

- 2. Begriffserklärung**
 - 2.1 Kühlgrenzabstand
 - 2.2 Feuchtkugeltemperatur
 - 2.3 Trockentemperatur

- 3. Vorstellung Kühlsysteme**
 - 3.1 Trockenkühler
 - 3.2 Kühlturm offener Kreislauf
 - 3.2 Verdunstungskühlturm geschlossener Kreislauf

- 4. Hybride Kühlsysteme**
 - 4.1 Sprühsysteme
 - 4.2 Hybridkühlsystem Jäggi / Güntner

- 5. Berechnung der Betriebskosten**
 - 5.1 Berechnungsverfahren
 - 5.2 Lastprofile
 - 5.3 Kältemaschinenkühlung
 - 5.4 Beispiele

1. Einleitung

Der Markt stellt heute eine grosse Auswahl von Rückkühlsystemen für Kühlkreisläufe zur Verfügung. Für den Planer und den Betreiber stellt sich daher die Frage nach den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Systeme und nach der richtigen Auswahl.

Im folgenden Fachvortrag werden die verschiedenen Rückkühlsysteme vorgestellt und deren wirtschaftlichen Einsatzgrenzen erläutert.

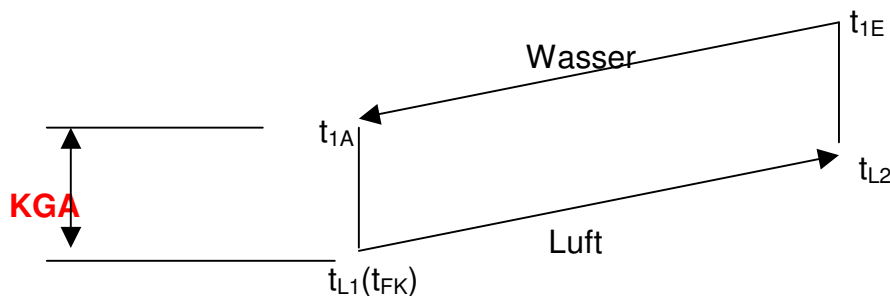
Speziell die einzigartigen, hybriden Trockenkühler von Jäggi/Güntner AG, welche nach einem patentierten Prinzip arbeiten und sich durch eine besonders wirtschaftliche Arbeitsweise auszeichnen werden vorgestellt und erläutert.

Zusätzlich wird eine Möglichkeit zur Berechnung der Jahresbetriebskosten einer Hybridkühler Anlage im Vergleich zu einer Kühlturmanlage vorgestellt. Speziell der Einfluss der abgesenkten Kühlwassertemperatur zur Verbesserung der Effizienz der Kältemaschine (COP *Coefficient of Performance*) und deren Einfluss auf die Betriebskosten der Rückkühlanlage werden behandelt.

2. Erläuterungen

2.1 Kühlgrenzabstand

Bei luftgekühlten Rückkühlsystemen sind den Rücklauftemperaturen physikalische Grenzen gesetzt. Bei trockenen Systemen sind die Umgebungslufttemperaturen maßgebend und bei Verdunstungssystemen die Feuchtkugeltemperaturen.



Bei trockenen Systemen gilt ein Kühlgrenzabstand (KGA) von ca. 6 bis 8 K noch als wirtschaftlich, d.h. bei 34 °C Außenlufttemperatur kann wirtschaftlich eine Rücklauftemperatur von ca. 40 °C realisiert werden. Bei Verdunstungssystemen gilt ein wirtschaftlicher KGA von 4-7 K, d.h. man kann Rücklauftemperaturen von 26 °C - 29 °C realisieren, wenn eine Feuchtkugeltemperatur von 22 °C vorliegt.

2.2 Feuchttemperatur

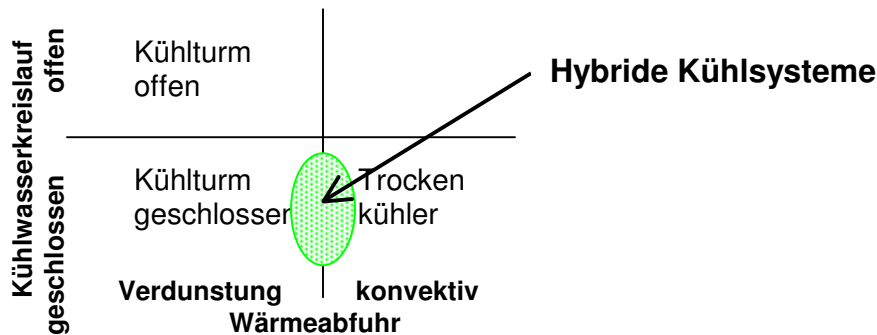
Als Feuchtkugeltemperatur t_F bezeichnet man bei der psychrometrischen Messung die von dem mit einem befeuchteten Stoffüberzug versehenen Thermometer (Aspirations-Psychrometer) ausgegebene bzw. angezeigte Temperatur. Aufgrund der Verdunstung liegt diese Temperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur, die von dem trockenen Vergleichsthermometer angezeigt wird. Die Temperaturdifferenz ist dabei umso größer, je trockener die umgebende Luft ist.

2.3 Trockentemperatur

Als Trockentemperatur t_T bezeichnet man die Temperatur welche von einem Thermometer angezeigt wird, dessen Temperaturfühler trocken ist.

3. Vorstellung Kühlsysteme

Klassifizierung verschiedener Rückkühlsysteme



3.1 Trockenrückkühler

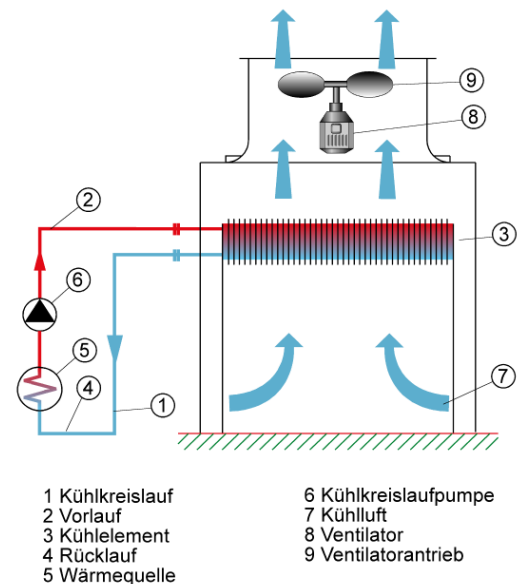
Maßgebende Kühltemperatur	t_L , meist 32 °C–34 °C
Wirtschaftlicher KGA	6 –8 K
Wirtschaftliche Rücklauftemperatur	38 - 42 °C
Leistungsdichte bez. auf Aufstellfläche	(30 kW/m ²)

Vorteile:

- geringe Wartung erforderlich
- viele Apparatetypen erhältlich
- geringe Investitionskosten
- geringes Gewicht
- Freie Kühlung möglich

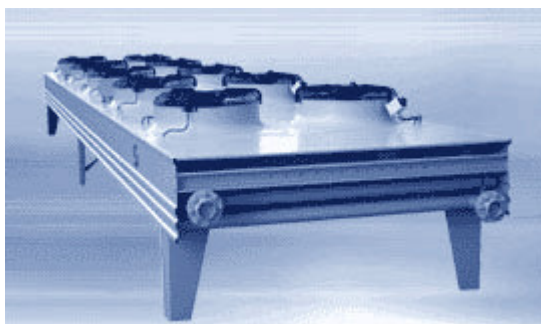
Nachteile:

- großer Platzbedarf
- hohe Verflüssigungstemperatur
- relativ hoher Stromverbrauch



Funktionsweise

Das Kühlmedium, durchströmt die Rohre eines Wärmeübertragers. Als Kühlmedium wird meist eine Wasserglykol Gemisch wegen der Frostgefahr bei Stillstand der Anlage eingesetzt. Im Gegenstrom wird mittels Ventilatoren Umgebungsluft an den berippten Wärmetauscher Rohren vorbei geführt. Hierbei wird die Wärme vom Kühlmedium (Rohrinnenseite) an die Umgebungsluft (Rohr- bzw. Lamellenaußenseite) übertragen. Die Grenztemperatur des Trockenkühlers ist die Umgebungslufttemperatur. Die Wärmeabfuhr erfolgt rein konvektiv.



Trocken Kühler Fa. Güntner

3.2 Offener Verdunstungskühlturm

Maßgebende Kühltemperatur	t_F , meist 21 °C–22 °C
Wirtschaftlicher KGA	4-8 K
Wirtschaftliche Rücklauftemperatur	27-34 °C
Leistungsdichte bez. auf Aufstellfläche	(60-80 kW/m ²)

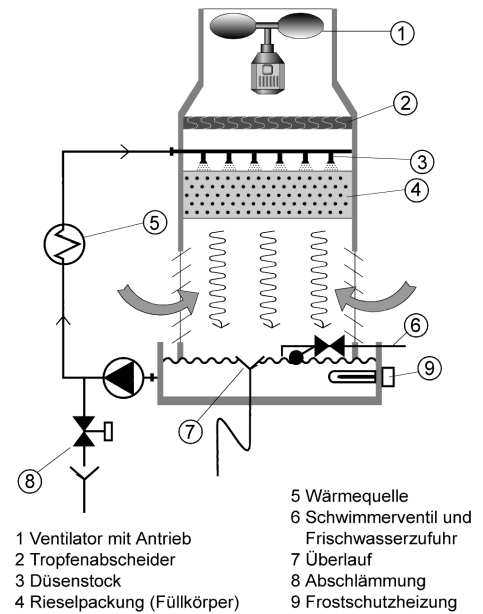
Vorteile:

- viele Apparatetypen erhältlich
- geringer Platzbedarf
- tiefe Verflüssigungstemperatur

Nachteile:

- Dampfschwaden
- hoher Wasserverbrauch
- hohes Gewicht
- keine oder nur geringe Leistung bei freier Kühlung

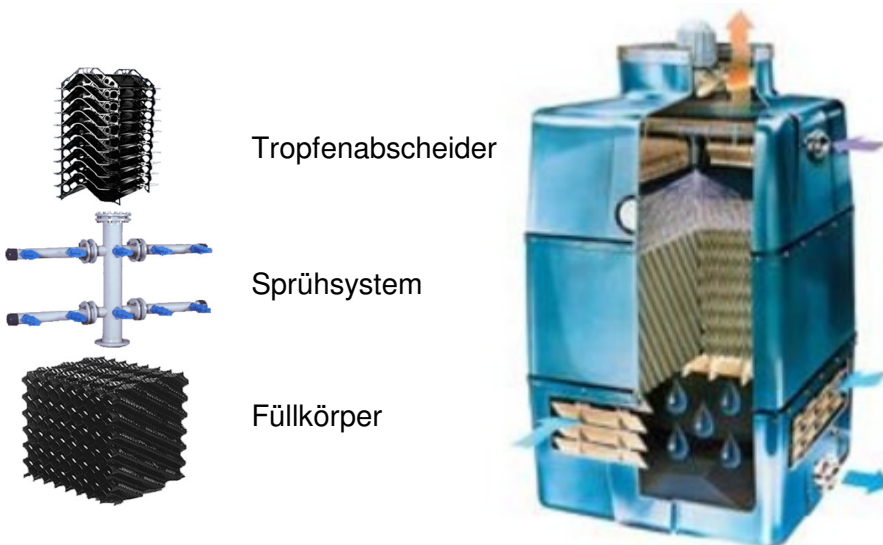
- Wasseraufbereitung erforderlich
- Gefahr der Eisbildung bei tieferen Kühlwassertemperaturen
- Kühlluft kommt in direkten Kontakt mit dem Kühlwasser
- Qualitative und quantitative Veränderung des Kühlwassers



Funktionsweise

Im Nasskühlturm wird das Kühlwasser über Füllkörper versprüht bzw. über eine Rinnenverteilung aufgegeben. Im Gegenstrom durchström die Luft den Füllkörper und ist somit im direkten Kontakt mit dem Kühlwasser. Die Wärme wird durch einen kombinierten Stoff- und Wärmeübertragungsprozess abgeführt. Dabei wird ca. $\frac{2}{3}$ des Wärmestroms durch Verdunstung (Stoffübertragung) und nur ca. $\frac{1}{3}$ des Wärmestroms durch Konvektion (Wärmeübergang) an die Umgebungsluft abgeführt. Das Kühlwasser erfährt dabei eine qualitative und quantitative Veränderung.

Die Kühlgrenztemperatur des Kühlturms ist die Feuchtkugeltemperatur.



Komponenten und Beispiele für Kühltürme

3.3 Geschlossener Verdunstungskühlturm

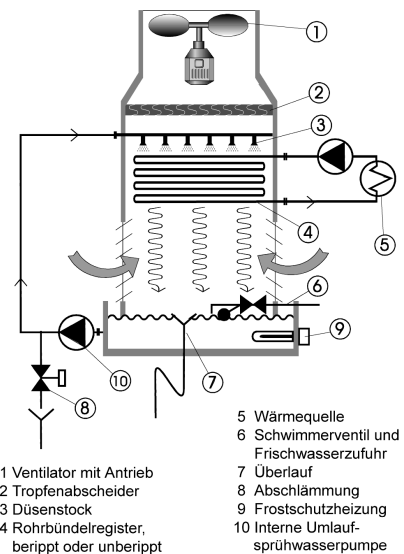
Maßgebende Kühltemperatur	t_F , meist 21 °C-22 °C
Wirtschaftlicher KGA	7-11 °C
Wirtschaftliche Rücklauftemperatur	28-32 °C
Leistungsdichte bez. auf Aufstellfläche	(60-80 kW/m ²)

Vorteile:

- viele Apparatetypen erhältlich
- geringer Platzbedarf
- tiefe Verflüssigungstemperatur
- geschlossenes Kühlwassersystem
- keine Verschmutzung im Verbraucher-kreislauf

Nachteile:

- Dampfschwaden
- hoher Wasserverbrauch
- hohes Gewicht
- nur geringe Leistung bei freier Kühlung
- Wasseraufbereitung erforderlich
- Qualitative und quantitative Veränderung des Kühlwassers



1 Ventilator mit Antrieb
 2 Tropfenabscheider
 3 Düsenstock
 4 Rohrbündelregister, berippt oder unberippt

5 Wärmequelle
 6 Schwimmerventil und Frischwasserzufuhr
 7 Überlauf
 8 Abschlammung
 9 Frostschutzheizung
 10 Interne Umlauf-sprühwasserpumpe

Funktionsweise

Das zu kühlende Medium durchströmt, ähnlich dem Trockenkühler (Pkt. 3.1) eine Wärmeaustauscher und kommt somit mit der Umgebungsluft nicht in Kontakt (indirekte Kühlung). Zusätzlich wird, zur Ausnutzung der Verdunstungsenergie der Wärmeübertrager (Glattrohrwärmetauscher) über einen Sekundärkreislauf mit Wasser besprüht oder benetzt. Meist werden Glattrohrwärmetauscher wegen der Verschmutzungsgefahr eingesetzt. Das Kühlwasser wird, durch Ausnutzung der Verdunstungsenergie unter die Lufttemperatur abgekühlt. Aufgrund der geringen Wärmetauscheroberflächen kann eine Umschaltung auf Trockenbetrieb erst bei sehr niedrigen Lufttemperaturen und geringer Kühllast erfolgen. Die Kühlgrenztemperatur des Verdunstungskühlturms geschlossener Kreislauf ist die Feuchtkugeltemperatur.

4. Hybride Kühlsysteme

4.1 Trockenrückkühler mit Besprühung

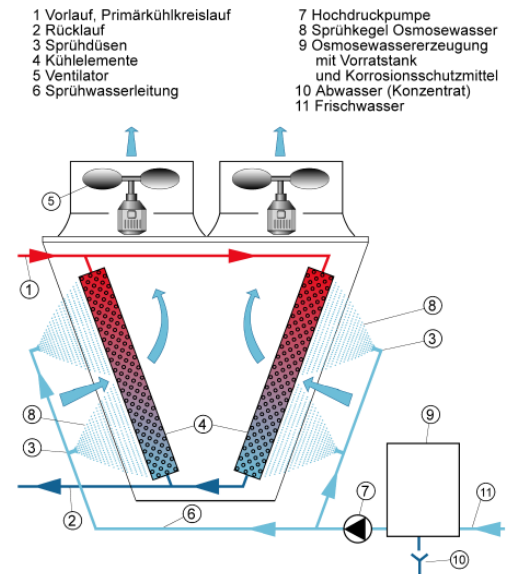
Maßgebende Kühltemperatur	t_L u. t_F
Wirtschaftlicher KGA	8-10 °C
Wirtschaftliche Rücklauftemperatur	29-31 °C
Leistungsdichte bez. auf Aufstellfläche	30 kW/m ²

Vorteile:

- Freie Kühlung möglich
- geringes Gewicht

Nachteile:

- Korrosionsgefahr
- Osmosewasser gefordert
- hohe Wasserkosten
- exakte Leistungsberechnung nicht möglich
- grosser Platzbedarf
- relativ hoher Strombedarf
- Tropfenauswurf



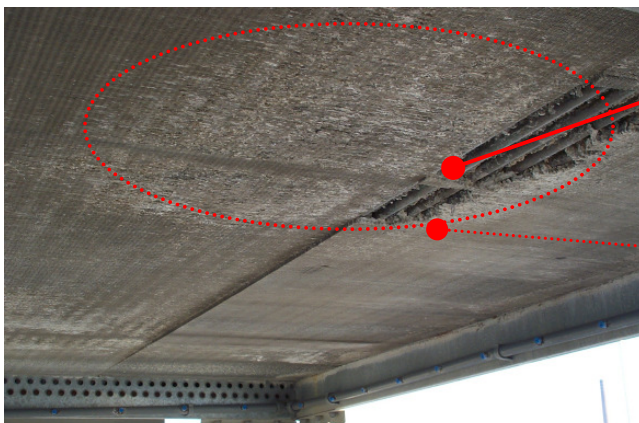
Funktionsweise

Es wird versucht durch die feine Zerstäubung von Wasser in der Ansaugluft vor dem Kühler diese Ansaugluft abzukühlen. Die feinen Wassertropfen in der Ansaugluft verdunsten, wodurch sich die Lufttemperatur senkt (nicht durch Kühlung sondern durch Umwandlung von fühlbarer Wärme in latente Wärme). Diesen Vorgang könnte man als adiabatisch bezeichnen, ist er aber nicht wirklich, weil das eingedüste Wasser immer über 0°C liegt, so dass der Wärmeinhalt (Enthalpie) der Luft etwas zunimmt.

Dadurch wird der Trockenkühler in seiner Leistungsfähigkeit etwas verbessert. Durch eigene Messungen haben wir festgestellt, dass sich bei den üblichen Konstruktionen bestenfalls die Lufttemperatur um 3-4°C absenken lässt, eine Abkühlung der Luft auf die Feuchtkugeltemperatur ist nicht möglich. Die Verweilzeit der Tropfen von der Düse bis zum Lamellen-Wärmeaustauscher ist viel zu kurz. Infolgedessen erfolgt eine Nässung der Lamellen, was den gleichen Effekt hat wie das Besprühen. Die meisten Tropfen werden jedoch über die Ventilatoren ausgetragen

Sowohl bei besprühten Kühlern, wie auch bei den sogenannte Adiabatik-Kühlern, ist eine definierte Benetzung der Lamellenoberfläche nicht möglich. Windeinflüsse, Grad der Verschmutzung der Lamellenoberfläche, Ungleichmäßigkeit der Luftanströmung u.a.m. sind dafür verantwortlich. Dies hat zur Folge, dass die Leistungsfähigkeit des Kühlers im Fall der Besprühung oder Verdüsung nicht genau berechnet werden kann.

Da diese Systeme nicht eindeutig nach dem Verdunstungsprinzip arbeiten, ist eine klare Aussage zur Kühlgrenze nicht möglich. Nach unserer Erfahrung liegt diese aber ca. 4 K unter der Umgebungslufttemperatur.



Korrosion der Aluminium Lamellen an einem besprühten Kühler

Ventilatoransaug

4.2 Hybrider Trockenkühler

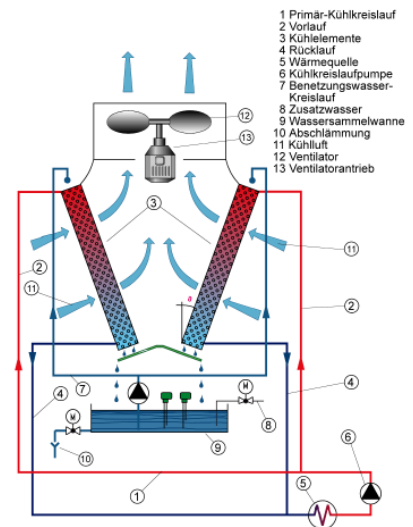
Maßgebende Kühltemperatur	t_L u. t_F
Wirtschaftlicher KGA	4-8 °C
Wirtschaftliche Rücklauftemperatur	25-29 °C
Leistungsdichte bez. auf Aufstellfläche	60-80 kW/m ²

Vorteile:

- keine Dampfschwaden
- geringer Wasser- u. Stromverbrauch
- kompakt, wenig Platzbedarf
- gut zugänglich, servicefreundlich
- extrem leise

Nachteile:

- ungünstig für Anbau von Schalldämpfern
- hohe Investitionskosten
- Wasseraufbereitung erforderlich



Funktionsprinzip

„Hybrid“ bedeutet soviel wie „Zwitter oder durch Mischung entstanden“. In der Tat ist der hybride Trockenkühler eine Kombination aus einem luftgekühlten Rückkühler und einem Verdunstungskühlturm, allerdings ohne die Nachteile der einzelnen Systeme.

Der hybride Trockenkühler dient zu Rückkühlung flüssiger Medien oder zur Verflüssigung von Kältemitteln. Die Kühlung erfolgt mittels Umgebungsluft und durch Verdunstung von Wasser. Bei trockener Fahrweise, d. h. bei tiefer Außenlufttemperatur wird die Wärme rein konvektiv abgeführt. Bei hoher Außenlufttemperatur werden die Lamellen des Wärmeaustauschers nach einem patentierten Verfahren mit Wasser benetzt. Durch den Verdunstungseffekt wird die Wärme latent abgeführt, woraus eine 3 bis 4-fache Leistungssteigerung resultiert, bzw. das Kühlwasser unter die Lufttemperatur abgekühlt werden kann.

Die Kühlgrenze für den Hybriden Trockenkühler Fabrikat Jäggi / Güntner ist die Feuchtkugeltemperatur.

Aufbau

Prinzipiell ist der Apparat wie ein Trockenrückkühler aufgebaut. Durch zusätzliche, spezielle Bauteile entsteht dann der Hybrid-Trockenkühler. Beim Typ HTK sind zwei berippte Wärmetauscherelemente (Lamellenwärmetauscher), V-förmig in einem tragenden Stahlgestell angeordnet. Über dem V, zwischen den Wärmetauscher-Elementen sind je nach Größe und Typ 1 bis 4 Axialventilatoren saugend angeordnet. Unter dem Kühler ist eine abgedeckte Wasserwanne angebracht. In der Wasserwanne befindet sich eine Pumpe für die äußere Benetzung der Wärmetauscherelemente.

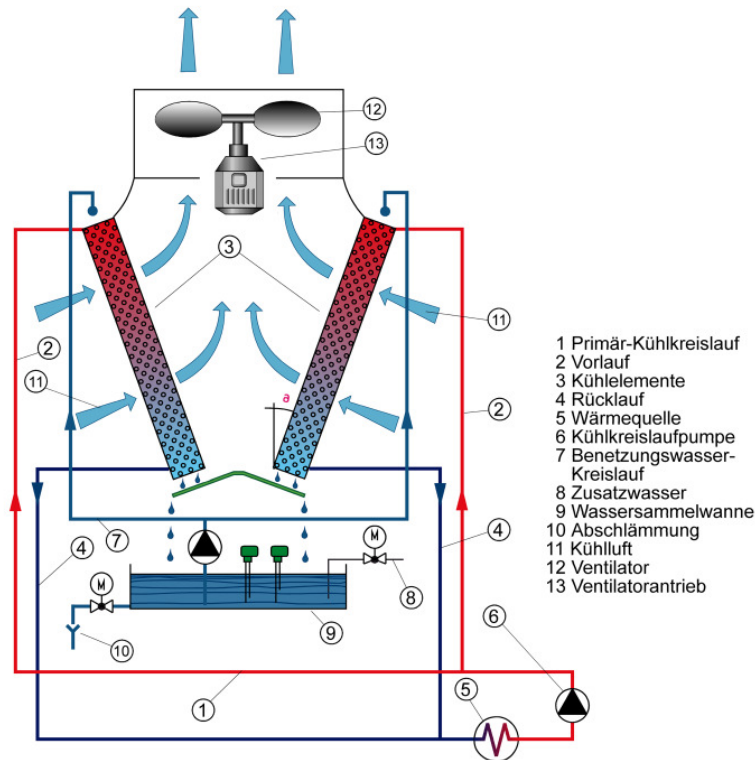
Über den Wärmetauscherelementen befinden sich die Wasserüberlaufkanäle.

Die Speisung der Überlaufkanäle erfolgt mit der Pumpe über ein Kunststoffrohrsystem.

Werkstoffe und Korrosionsschutz sind auf eine lange Lebensdauer ausgerichtet.

Funktionsbeschreibung

Das zu kühlende Medium (1), meist Wasser od. Wasser-Glykollgemisch, durchströmt die Rohre der zwei V-förmig angeordnete Lamellenwärmetauscher(3). Die berippten Außenseiten der Wärmetauscherelemente werden von der Umgebungsluft (11) umströmt und nimmt so die Wärme des Mediums auf. Die Förderung der Umgebungsluft erfolgt durch die saugend angeordneten Axialventilatoren (12). Der Antrieb (13) erfolgt entweder direkt (Laufrad direkt auf der Motorwelle) oder über einen Kraftriemenantrieb, welcher sich besonders durch hohe Lebensdauer und Geräuscharmheit auszeichnet.

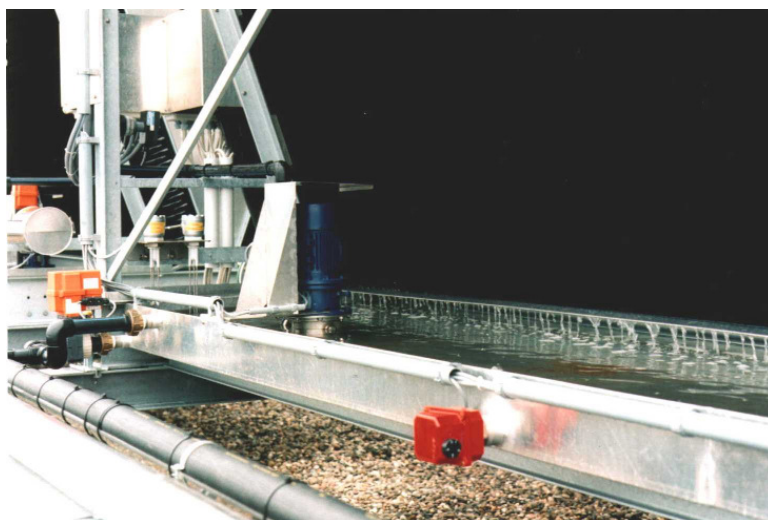


Wird der vorgegebene Kühlwassersollwert bzw. Kondensationsdruck bei maximaler Ventilator Drehzahl im trockenen Betrieb (meist zwischen 12°C und 17°C Umgebungslufttemperatur) nicht mehr erreicht, veranlasst die Steuerung des Hybridkühlers die Benetzung der äußeren Oberfläche der Wärmetauscher.

Hierfür sind über den Längsseiten der Wärmetauscherelemente offene Kanäle angeordnet, aus denen das Benetzungswasser als Wasserlinie aufgegeben wird. Infolge der Luftströmung und der speziellen Ausbildung der Lamelle, ergibt sich ein turbulenter Wasserfilm über die gesamte Lamellentiefe.

Je nach Länge der Kühler, werden eine oder zwei Benetzungspumpen vorgesehen. Durch stufenweise Zuschaltung der einzelnen Benetzungen ergibt sich eine zusätzliche Verfeinerung der Steuerung.

Unter den Kühlelementen ist die Wassersammelwanne (9) angeordnet. Hier sammelt sich geräuschlos das mit großem Überschuss aufgebrauchte Benetzungswasser. Das Überschusswasser der Benetzung verhindert weitgehend Ablagerungen von Schmutz aus der Umgebungsluft auf den Lamellen, indem dieser aus- u. abgespült wird. An der Wasserwanne sind Abschlamm- u. Frischwasserventil montiert, ferner die Benetzungspumpe und die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen wie elektronischer Trockenlaufschutz und die Niveaumessung. Die Aufsatzung des Wassers wird mittels Leitfähigkeitsmessung überwacht, welche in der Benetzungs-Wasserleitung angebracht ist.



Kühler in Betrieb mit Benetzung. Sichtbar sind ferner Begleitheizung, Benetzungspumpe, Niveau- Messsonden, Abschlämm-Motorventil und Überlauf.

Die abgedeckte Wasserwanne kann außerdem mit einer Frostschutzheizung ausgeführt werden, jedoch wird in den meisten Fällen die Wanne im Winter entleert, da in der kalten Jahreszeit eine Benetzung nicht mehr erforderlich ist.

Das Fassungsvermögen der Wassersammelwanne ist bewusst klein gehalten, damit bei der Abschlämmung und vollständiger Entleerung möglichst wenig Wasser verworfen werden muss.

Für die Benetzung genügt enthärtetes Trinkwasser mit einem pH-Wert von 6.5 bis 8.5. Die Eindickung des Benetzungswassers wird von der Steuerung überwacht und bei Erreichung der zulässigen Grenzwerte abgeflutet und Frischwasser zugeführt.

Vollentsalztes Wasser oder Osmosewasser ist nicht erforderlich!

Die Ventilatoren werden mittels Frequenzumformer stufenlos reguliert. Dies führt häufig zu bedeutender Stromeinsparung, insbesondere wenn der Kühler unterhalb des Auslegungspunktes oder im Teillastbereich arbeitet.

Eine luftseitige Trennung der Ventilatoren erfolgt aus Gründen der besseren Zugänglichkeit nicht. Die Ventilatoren sind daher parallel geschaltet, damit alle jederzeit mit der gleichen Drehzahl laufen.

Steuerung / Regelung „HybriMatic“

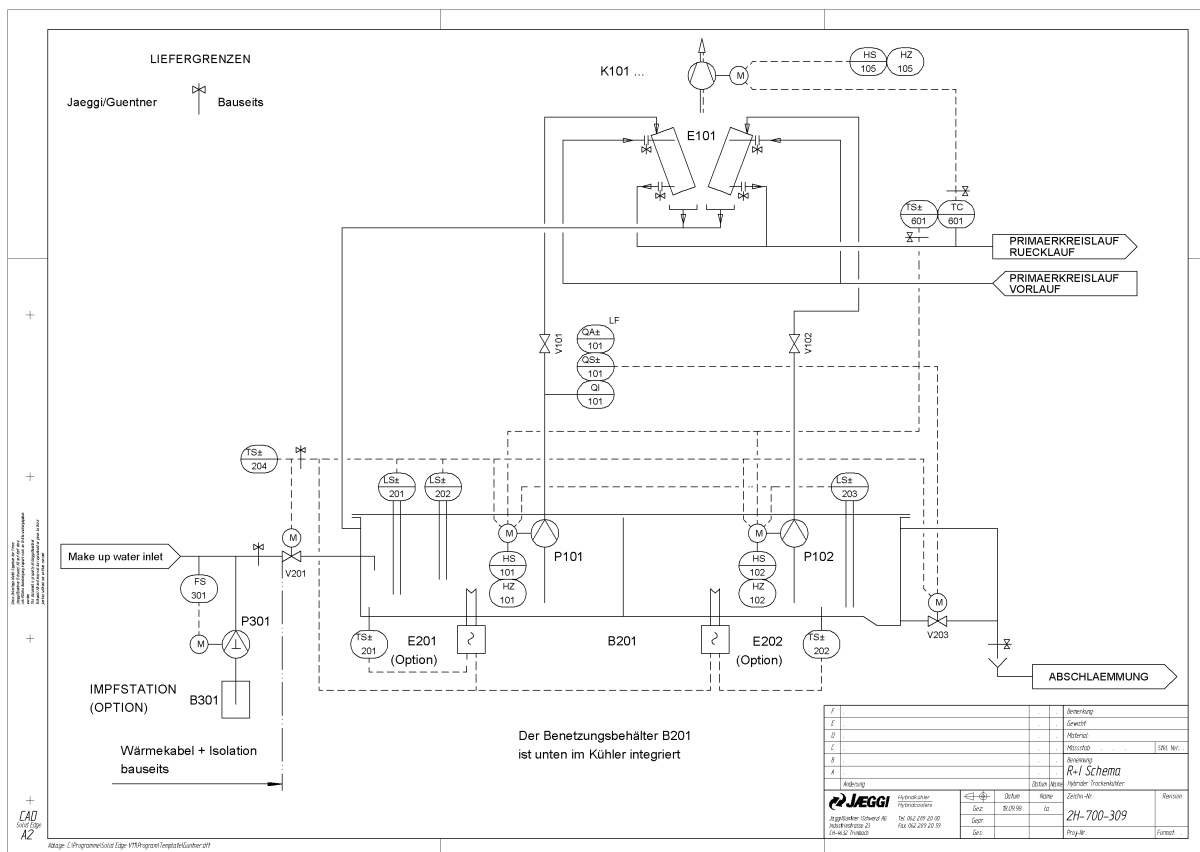
Wie sich in den letzten Jahren gezeigt hat, nimmt die Steuerung des Hybridkühlers eine immer bedeutendere Stelle ein für eine optimale Fahrweise des Kühlwasserkreislaufes. Mit der neu entwickelten Hybrimatic Steuerung ist eine Anpassung an alle möglichen Betriebsfälle bei Voll- und Teillast möglich.

Die Steuerung übernimmt einerseits die Überwachung des Benetzungswasser-Kreislaufes des Kühlers und andererseits die Leistungsregulierung. Für die Leistungsregulierung werden Drehzahl geregelte Ventilatoren eingesetzt, wofür Frequenzumformer zum Einsatz kommen. Ferner erfolgt die lastabhängige Zu- und Abschalten der Benetzungspumpen.

Zur Überwachung und Steuerung des Benetzungswassers gehört die Leitfähigkeitsmessung, mit Ansteuerung des Abschlämm- und Frischwasserventils, sowie eventuell die Ansteuerung einer Bioziddosierpumpe.

Die Niveauüberwachung und der Trockenlaufschutz werden zusätzlich überwacht. Die Steuerung ist vor allem auf Betriebssicherheit und Sparsamkeit in bezug auf Wasser- und Stromverbrauch des ganzen Kühlkreislaufes ausgerichtet.

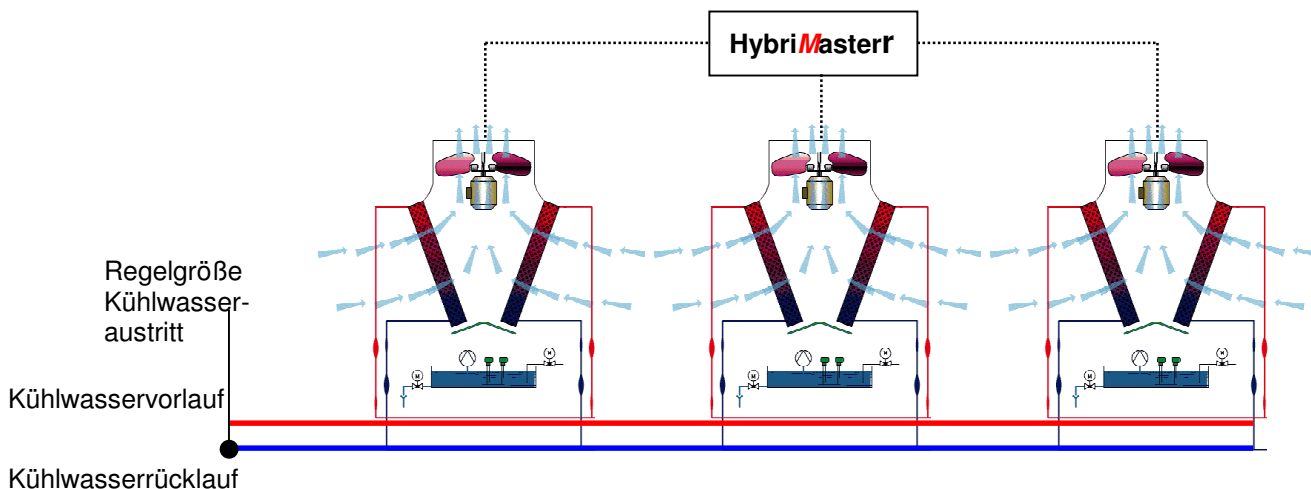
Über alle gängigen BUS – Systeme erfolgt die Kommunikation mit der Gebäudeleittechnik.



Beispiel R+I Regelschema

Verbundregelung

Werden bei großen Anlagen mehrere Hybridkühler parallel betrieben erfolgt eine sequentielle Benetzung der einzelnen Wärmetauscher, mit dem Ziel, nur die Wärmetauscherflächen mit Wasser zu beaufschlagen, welche zur Wärmeabfuhr notwendig sind. Dadurch ergibt sich eine wirtschaftliche Betriebsweise der gesamt Anlage mit Reduktion des Wasserverbrauchs.



Merkmale und Vorteile der hybriden Trockenkühler

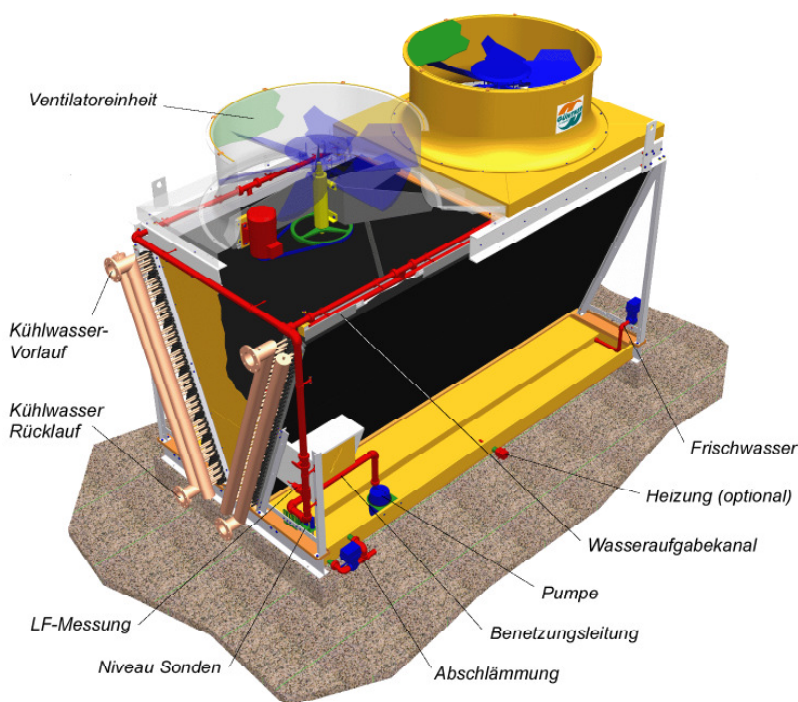
Merkmale:	Vorteile:
Der hybride Trockenkühler hat einen geschlossenen Kühlwasserkreislauf	Das Kühlwasser wird nicht durch Luftverschmutzungen u. Sauerstoff kontaminiert
Der hybride Trockenkühler arbeitet schwadenfrei unter allen klimatischen Bedingungen	Keine Akzeptanzprobleme Kein Industrieschnee Keine Nachbarschaftsprobleme Keine Probleme mit Behörden
Der hybride Trockenkühler arbeitet mit geringst möglichem Wasserverbrauch, weil er den größten Teil des Jahres trocken läuft	Niedrige Betriebskosten Kleinere Investitionskosten für die Verrohrung und Wasseraufbereitung
Mit hybriden Trockenkühlern können kleine Kühlgrenzabstände noch wirtschaftlich realisiert werden	Tiefere Kondensationstemperatur, kleinere, Kältemaschine, geringerer Stromverbrauch Kleines Bauvolumen, geringes Gewicht
Freie Kühlung möglich	Energieeinsparung
Der hybride Trockenkühler arbeitet geräuscharm	Problemlose Einhaltung von Auflagen, ohne Einsatz teurer Schalldämpfer
Der hybride Trockenkühler hat einen sehr geringen Stromverbrauch	Niedrige Betriebskosten
Die Wärmetauscher werden drucklos benetzt, das Sekundärwasser wird nicht versprüht.	Kein Aerosolbildung, dadurch Legionelleninfektion nahezu ausgeschlossen

Leistungsbereiche und Baugrößen

Bei der Auslegung des Hybridkühlers wird zuerst die erforderliche Wärmetauscherfläche und Luftmenge zur Wärmeabfuhr im benetzten Betrieb ermittelt. Dann erfolgt in Abhängigkeit der Baugrößen die Auslegung der Ventilatoren auf die Betriebspunkte.

Insgesamt gibt es 3 verschiedene Wärmetauscher Blockhöhen und ca. 20 verschiedene Wärmetauscherlängen. In der Kombination mit bis zu 4 Ventilatoren und entsprechender hydraulischer Verschaltung ergeben sich über 500 verschiedene Gerätegrößen.

Der Leistungsbereich liegt bei ca. 150 kW bis 1800 kW bei Kühlwasser 34 °C / 28 °C und 34 °C Lufttemperatur mit 36% relativer Feuchte.



5. Betriebskosten Berechnung

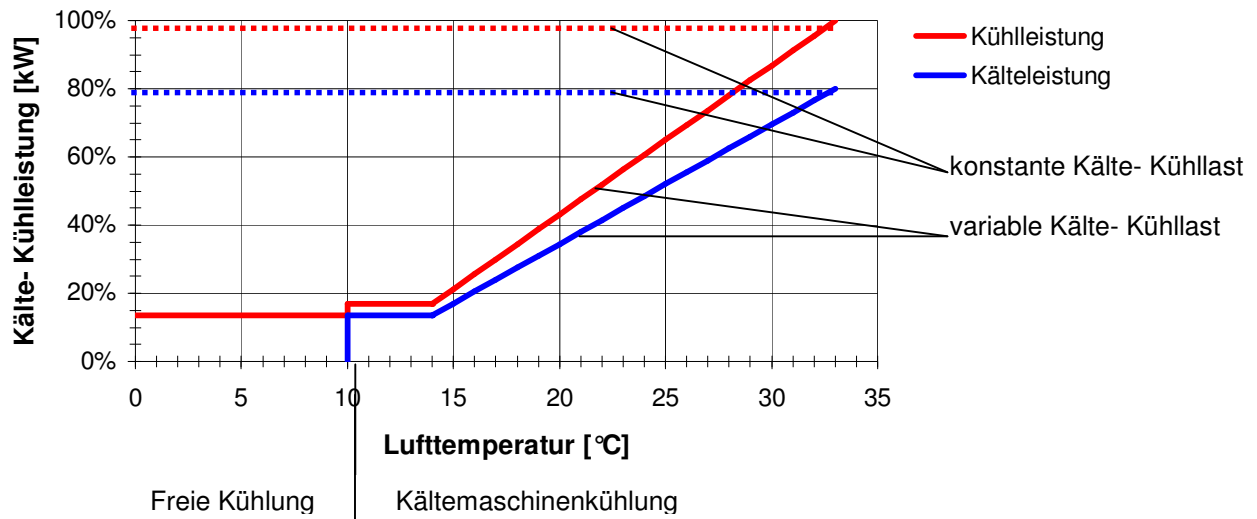
5.1. Berechnungsverfahren

Zur Berechnung der Betriebskosten einer Hybridkühleranlage im Vergleich zu einer Kühlturmanlage mit offenem oder geschlossenem Kühlwasserkreislauf wurde eine spezielle Software entwickelt. Diese Software ermöglicht es die Betriebskosten von Anlagen mit hydraulisch parallel geschalteten Hybridkühlern zu berechnen.

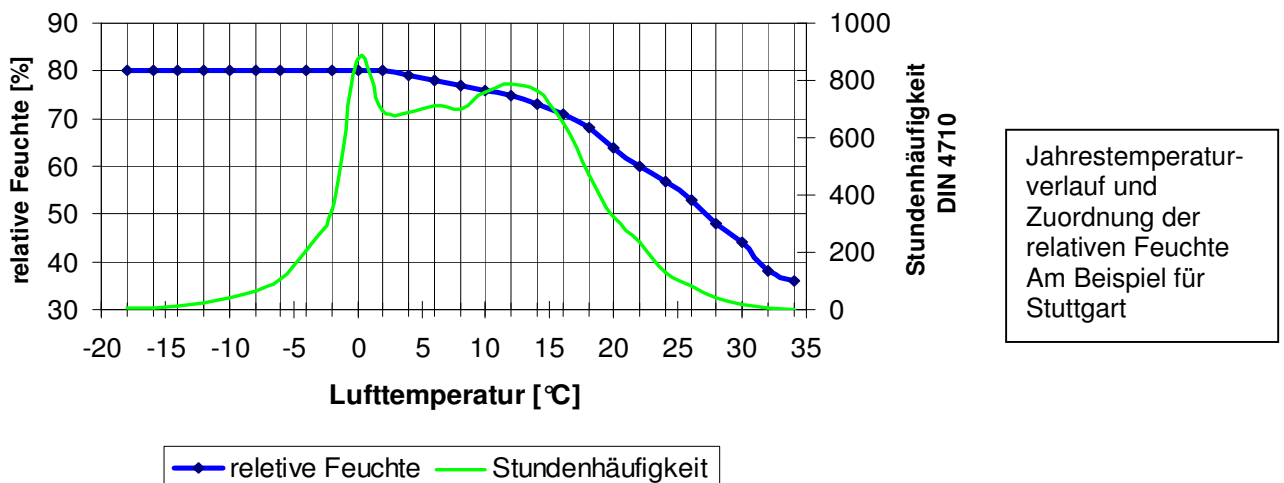
5.2. Lastprofile

Zur Berechnung der Betriebskosten muss das Lastprofil der Anlage vorliegen. Berechnet werden können Lastprofile in Abhängigkeit der Lufttemperatur. Zum Beispiel kann ein Lastprofil mit konstanter Kälte bzw. Kühllast über dem Lufttemperaturbereich von -20°C bis $+34^{\circ}\text{C}$ Lufttemperatur berechnet werden. Da eine konstante Kältelast nur bei Prozesskühlung vorkommt, besteht auch die Möglichkeit das Lastprofil in Abhängigkeit der Lufttemperatur zu definieren, zusätzlich kann die freie Kühlung berücksichtigt werden.

Lastprofile in Abhängigkeit der Lufttemperatur



Anhand des Lastprofils wird, beginnend bei der tiefsten Lufttemperatur in 1 K Schritten die spezifischen Verbrauchsdaten (Wasser- und Stromverbrauch) für jeden Punkt berechnet. Über das jeweilige Temperaturprofil des Aufstellungsort werden daraus die absolute Verbrauchswerte berechnet und aufsummiert. Daraus ergeben sich Jahresverbrauchswerte für Strom und Wasser in Abhängigkeit des Last- und Temperaturprofils.



5.3 Kältemaschinenkühlung

Werden Rückkühlsysteme zur Abfuhr der Kondensatorwärme (Kühlwasserkreislauf oder direkt Kondensation) eingesetzt, wird zur Verbesserung des Wirkungsgrades der Kältemaschine der Kondensationsdruck vielfach gleitend gefahren.

Bei wassergekühlten Kältemaschinen wird die Kühlwassertemperatur gleitend bis zur zulässigen Temperatur z.B. 20°C Vorlauf gefahren.

Die nachfolgende Grafik zeigt anschaulich am Beispiel eines Schraubenkaltwassersatzes mit überflutetem Verdampfer den Einfluss der Kühlwassertemperatur auf den Wirkungsgrad der Maschine.

Beispiel 1

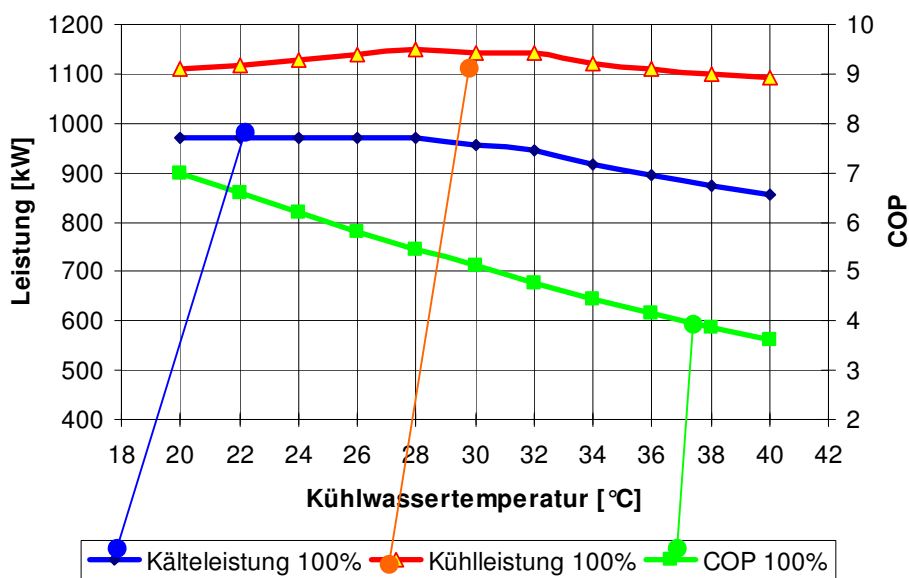
Auslegungsdaten:

Kälteleistung	970 kW
Kaltwassertemperatur	12°C / 6°C
Kühlleistung	1.140 kW
Kühlwassertemperatur	34°C / 28°C
Lufttemperatur	34°C / 36% relativer Feuchte

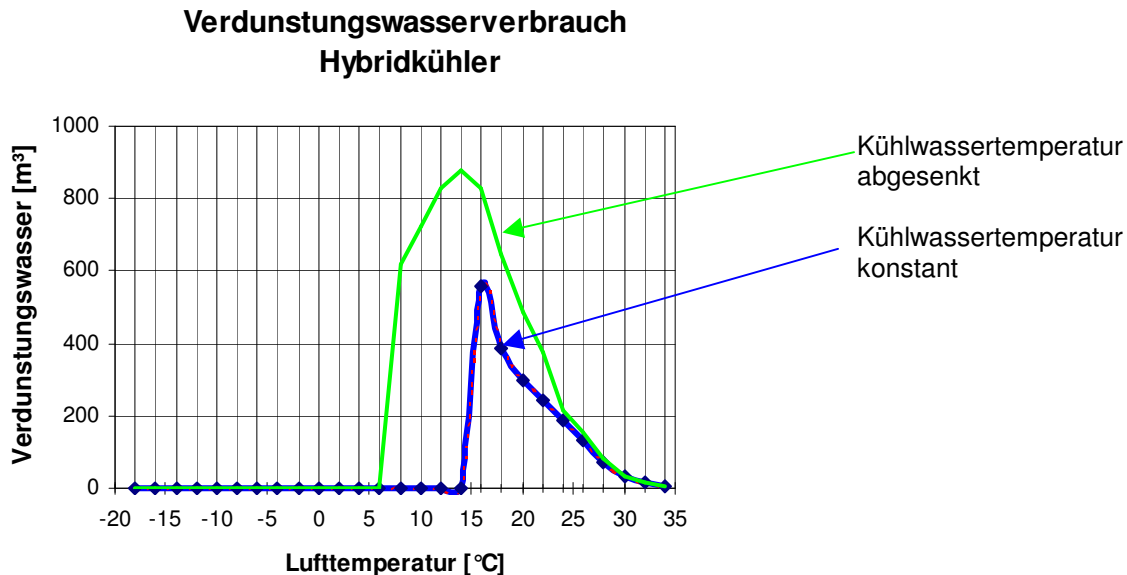
Bei einer Kühlwassertemperatur höher als die Auslegungstemperatur sinkt die Kälteleistung und der Wirkungsgrad der Kältemaschine entsprechend ab. Bei tieferer Kühlwassertemperatur gegenüber der Auslegungstemperatur steigt der Wirkungsgrad an, bei konstanter Kälteleistung sinkt dadurch die Rückkühlleistung.

Diese Betriebsweise führt jedoch bei Hybridkühleranlagen zum erhöhten Wasserverbrauch, wodurch der Vorteil der Energieeinsparung an der Kältemaschine wieder kompensiert wird.

Kälteleistung in Abhängigkeit der Kühlwassertemperatur

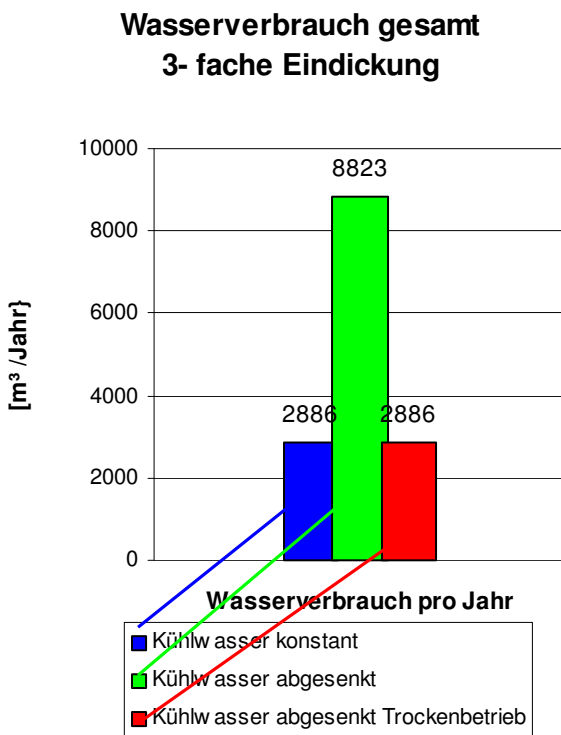
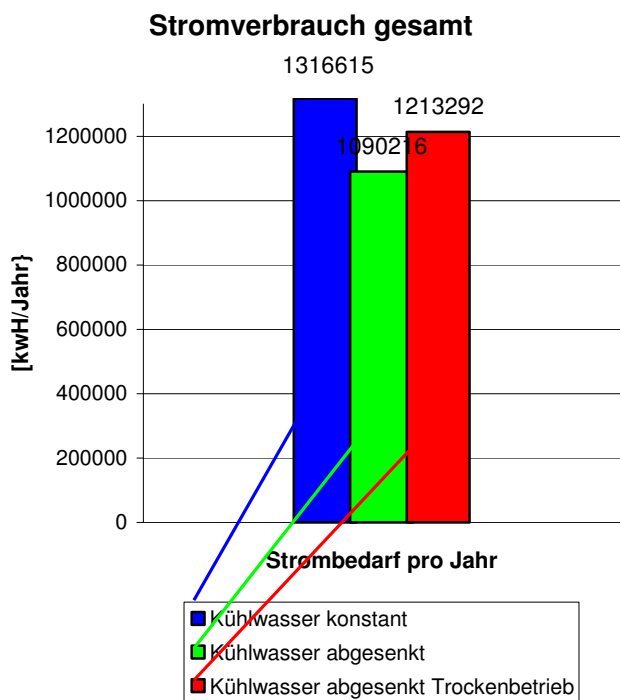


Die folgende Grafik zeigt den Einfluss der Fahrweise mit abgesenkter Kühlwassertemperatur auf den Wasserverbrauch der Hybridkühleranlage.



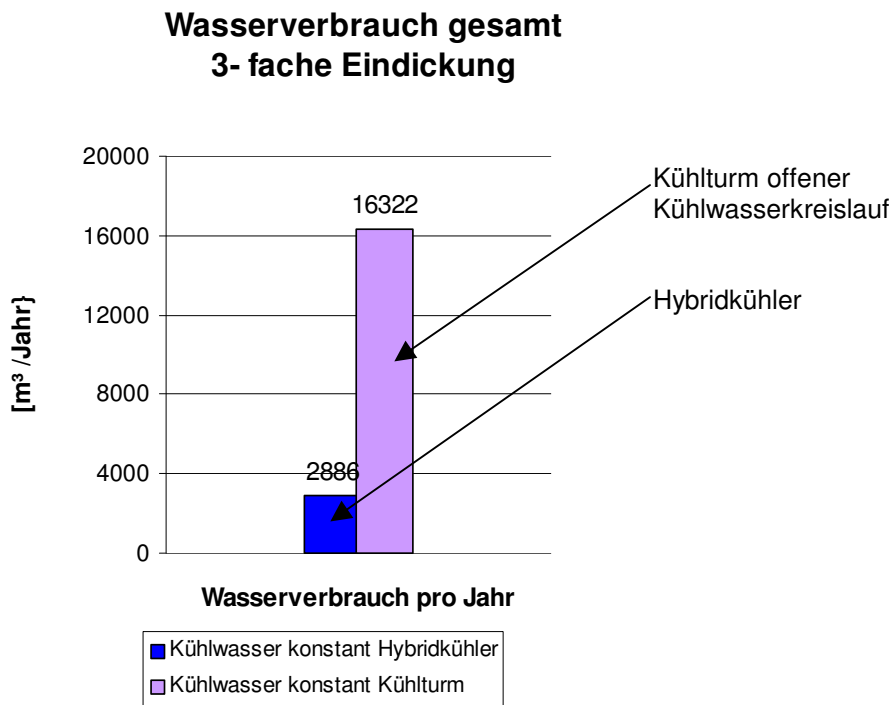
Die beiden Balkendiagramme zeigen eindeutig die Erhöhung des Wasserverbrauchs durch die abgesenkte Fahrweise.

Wir empfehlen darum nur im trockenem Betrieb der Hybridkühler die Kühlwassertemperatur zur Energieeinsparung an der Kältemaschine abzusenken.



Vergleich zu Kühlturmanlage

Im Vergleich zu einer Kühlturmanlage mit offenem Kühlwasserkreislauf beträgt die Wassereinsparung in diesem Beispiel 83%. Die Mehrkosten der Hybridkühleranlage sind in ca. 2-3 Jahren amortisiert.



Beispiel 2

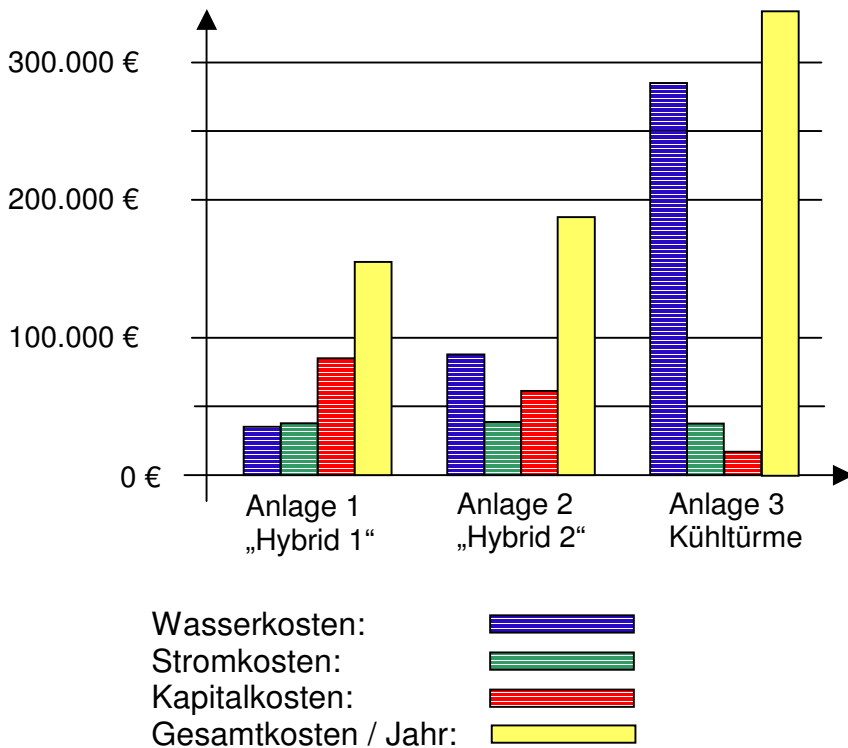
Rechenzentrum Raum Frankfurt

In diesem Beispiel wurden 2 unterschiedliche Hybridkühleranlage (Variante 1 mit Leistungsreserve, Variante 2 ausgelegt auf die Nennleistung) für Ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Zusätzlich wurden die Betriebskosten einer Kühlturmanlage ermittelt und verglichen.

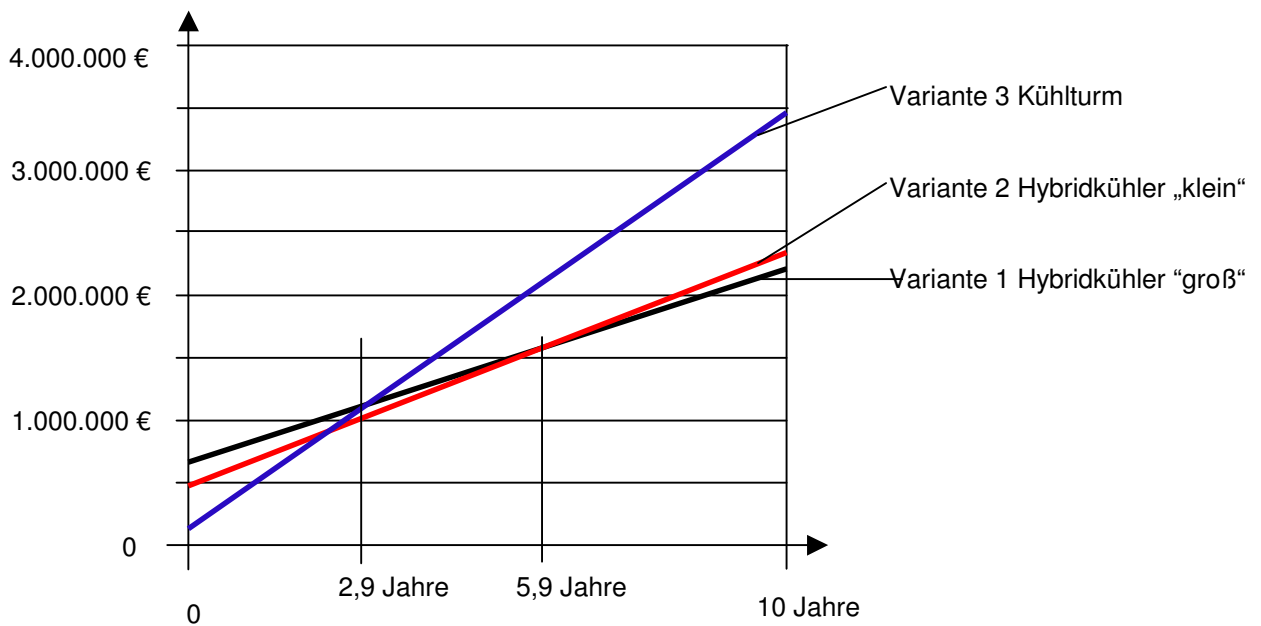
Auslegungsdaten:

Kälteleistung	5.000 kW
Kaltwassertemperatur	12°C / 6°C
Kühlleistung	6.120 kW
Kühlwassertemperatur	36°C / 30°C
Lufttemperatur	34°C / 38% relativer Feuchte
Freie Kühlung	<= -2°C
Variante 1	4 Hybridkühler HTK 2.4 / 9.0 – 2S-P2-Cu SLNF Investitionskosten 654.800,00 €
Variante 2	4 Hybridkühler HTK 2.4 / 6.6 – 2S-P2-Cu SLNF Investitionskosten 470.000,00 €
Variante 3	4 Kühltürme offener Kühlwasserkreislauf Investitionskosten 130.000,00 €

Betriebskostenvergleich der untersuchten Varianten



Betriebskostenverlauf der Anlage



Ausgeführt wurde die Hybridkühleranlage Variante 1, mit Leistungsreserve. Damit wird die Kühlung der Kältemaschinen bis zur Lufttemperatur von 37°C / 36% relativer Feuchte gewährleistet.

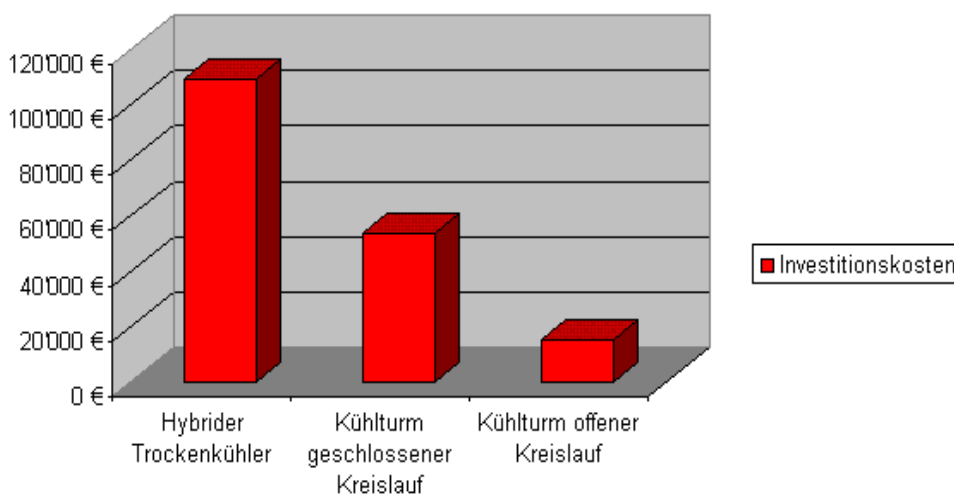
Beispiel 3

Industrie-Anwendung

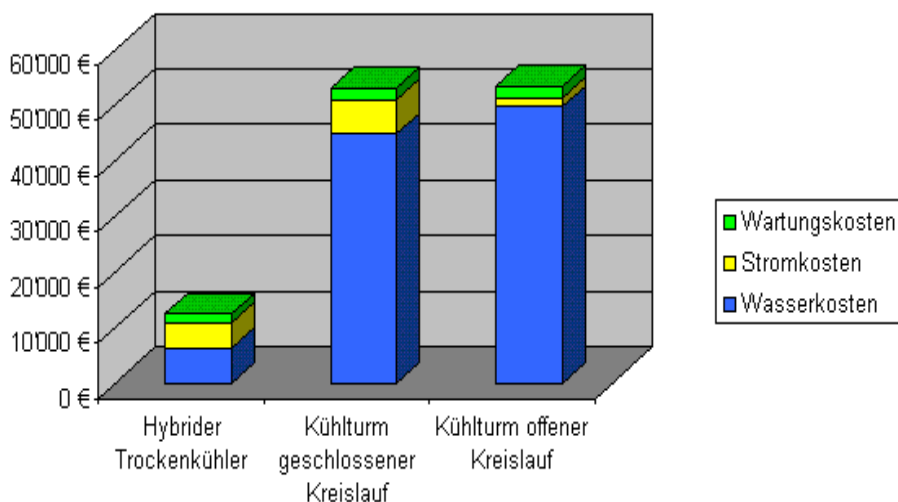
Industrieanwendung, 8760 Betriebsstunden

Kühlleistung: 900 kW
 Kühlwasser: 34 °C / 26 °C (ohne Frostschutz)
 Feuchtkugeltemperatur: 21 °C (32 °C tk und 38% rF)
 Schalleistungspegel LWA: 85 dB(A)
 Hybrider Trockenkühler: HTK 2.4/6.6-2S

Investitionskostenvergleich



Betriebskosten pro Jahr

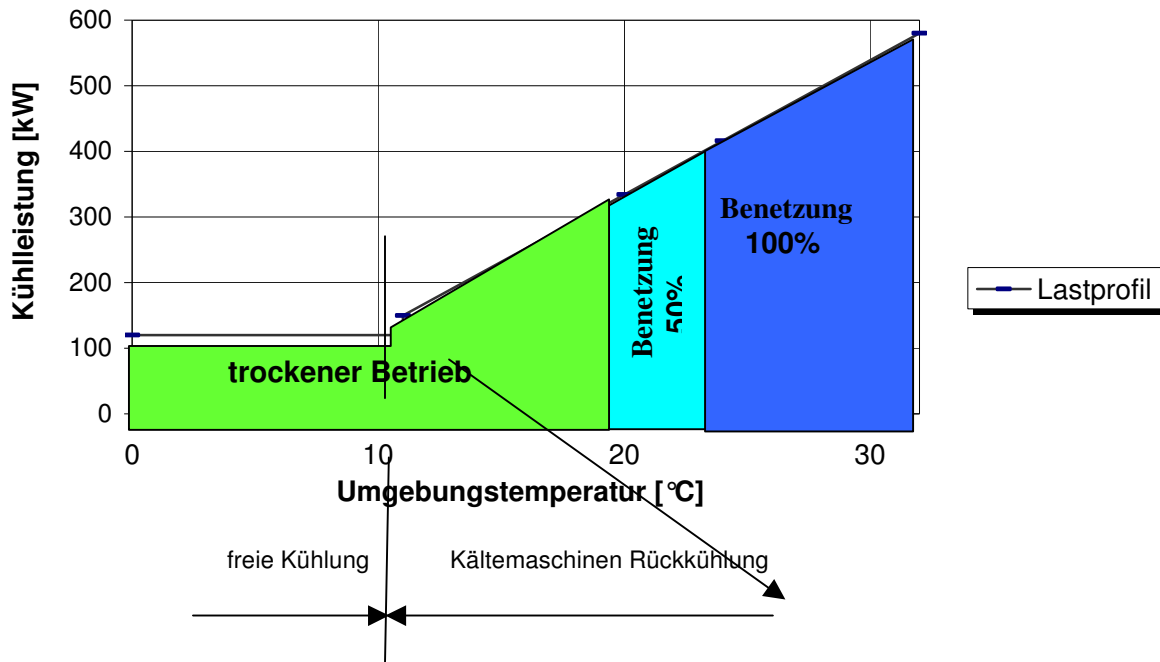


Beispiel 4

Klimakälte mit freier Kühlung

Kühlleistung:	580 kW
Kühlwasser:	32 °C / 27 °C (mit 30% Ethylenglykol)
Feuchtkugeltemperatur:	21 °C (32 °C tk und 38% rF)
Freie Kühlung:	120 kW
Kühlwasser:	16 °C / 14 °C (mit 30% Ethylenglykol)
Umgebungstemperatur:	12 °C
Schalleistungspegel LWA:	80 dB(A)
Hybrider Trockenkühler:	HTK 1.8/5.45-2S

Betriebscharakteristik hybrider Trockenkühler



Temperaturbereich < 0 °C bis 20 °C	entsprechend 7250 h / Jahr	
Temperaturbereich > 20 °C bis 24 °C	entsprechend 1300 h / Jahr	
Temperaturbereich > 24 °C bis 32 °C	entsprechend 210 h / Jahr	

Wasserverbrauch pro Jahr

