

Lars Keller

Leitfaden für Kompressions- wasserkühlsätze

2. Auflage



zu Umgebungstemperatur ergibt sich die Leistung. Je höher die Vorlauftemperatur, umso früher kann die Freie Kühlung genutzt werden. Informationen über den Temperaturverlauf sind den Wetterdaten oder der DIN 4710 für den jeweiligen Aufstellort zu entnehmen. **Bild III-7** ist der repräsentative Temperaturverlauf für München zu entnehmen.

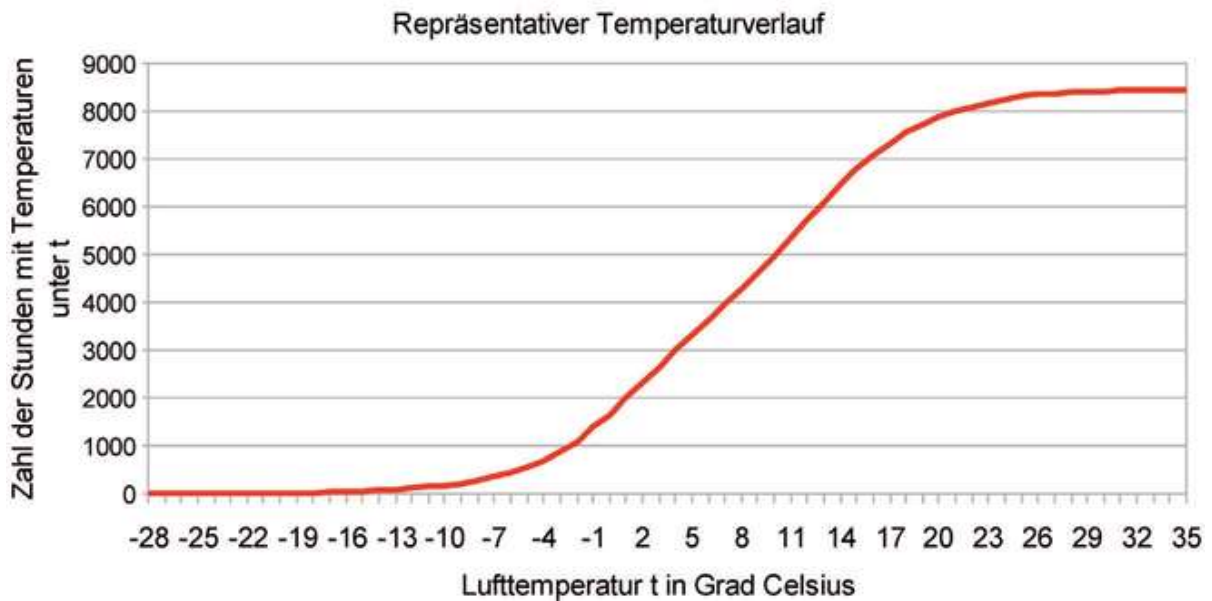


Bild III-7: Repräsentativer Temperaturverlauf für München

Vorteil bei der Freien Kühlung ist der äußerst effiziente Betrieb, da nur die Ventilatoren elektrisch angetrieben werden, die Antriebsenergie der Kompressoren wird eingespart. Somit erreicht man Leistungszahlen von über 20, und eine signifikante Betriebskosteneinsparung wird erlangt. Abhängig von der Anwendung, dem Aufstellort, der Maschinenkonfiguration und den Stromkosten sind Amortisationszeiten von weniger als einem Jahr möglich! Bei kompakten luftgekühlten Kaltwassersätzen ist durch die begrenzte Maschinenbaugröße in der Regel der Umschaltzeitpunkt später als bei externen Rückkühlern, die als Freie Kühler hydraulisch verschalten werden.

Bei der Freien Kühlung gibt es verschiedene Ausführungen, die nachfolgend näher erklärt werden:

Register in Serie vor dem Verdampfer

Bei dieser Bauart ist luftseitig vor dem Verflüssigungsregister ein zusätzlicher Free Cooling-Wärmeübertrager (FC-WT) geschaltet. Über ein 3-Wege-Ventil wird bei

III. Bauformen und Aufstellsituation

niedrigen Umgebungstemperaturen das Kaltwasser zuerst über den FC-WT gefördert und erfährt dort eine Abkühlung, danach ist in Serie der Verdampfer eingebunden. Ist die FC-Leistung nicht ausreichend, erfolgt durch die Kompressoren die restliche, notwendige Kühlung. Bei dieser Bauart sind die drei Betriebsarten Verdichterbetrieb, Mischbetrieb und FC-Betrieb möglich. Aufgrund der Frostgefahr im FC-Register ist das Kaltwasser immer mit einem ausreichenden Frostschutz zu versehen. Die Ventilatoren müssen bei voller Drehzahl laufen, um im Mischbetrieb die maximal mögliche FC-Leistung auch ausnutzen zu können und den maximalen Luftvolumenstrom über das Register zu fördern. Aus kältetechnischer Sicht ist bei niedrigen Umgebungstemperaturen und Teillast jedoch eine Reduzierung der Drehzahl zum Aufrechterhalten des notwendigen Verflüssigungsdrucks erforderlich. Abhilfe schafft hier eine Verflüssigungs- und Sammlerdruckregelung. Durch die in Serie geschalteten Wärmeübertrager sind hydraulisch und luftseitig höhere Druckverluste als bei Aggregaten ohne Freie Kühlung zu beobachten, dies bedingt höhere Kosten im Sommerbetrieb. Die hydraulischen Widerstände variieren je nach Betriebsweise, ein Abgleichventil oder eine drehzahlregelte Pumpe wird empfohlen. Da die entsprechenden Komponenten für die Freie Kühlung bereits vorinstalliert und elektrisch wie regelungstechnisch verdrahtet sind, liegt der Vorteil dieser Geräte in der einfachen Systemeinbindung und der kompakten Bauweise.

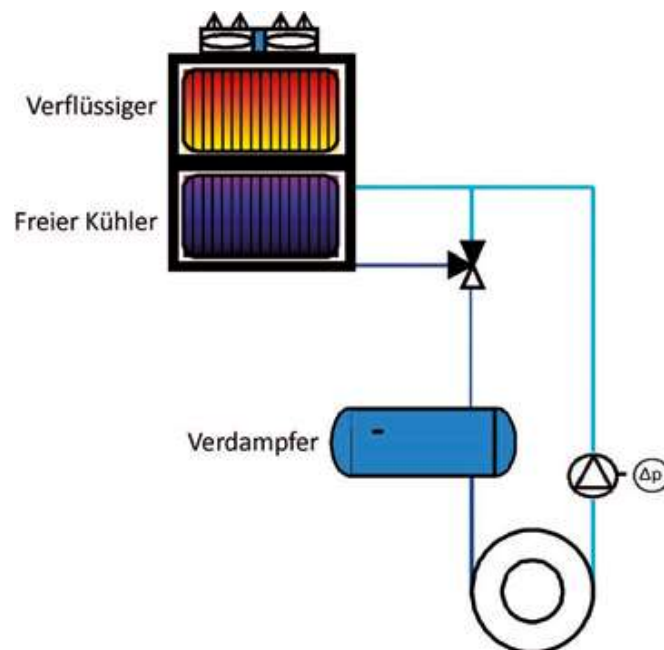


Bild III-8: Hydraulische Funktionsdarstellung: Freie Kühlung mit Register in Serie vor dem Verdampfer

Systemtrennung durch Wärmeübertrager

Aufbau und Wirkungsweise sind wie in **Bild III-9** dargestellt. Zwischen FC-Register und Verdampfer ist ein Wärmeübertrager zur Systemtrennung einzubinden. Der FC-Kreislauf ist mit Frostschutz und einer eigenen Pumpe zu betreiben, über das 3-Wege-Ventil kann eine Temperaturregelung vorgenommen werden. Kaltwasserseitig wird der elektrisch beheizte und isolierte FC-Wärmeübertrager vor dem Verdampfer in Serie installiert. Der Vorteil gegenüber der vorab erklärten Bauweise ist im Betrieb mit Wasser zu sehen, im Erzeugerkreis ist kein Zusatz von Frostschutz notwendig, die wasserführenden Anlagenteile sind aber ausreichend zu isolieren und mit einer elektrischen Verdampfer- und Rohrbegleitheizung auszustatten. Die hydraulischen Widerstände bleiben immer konstant. Nachteilig ist, dass der Systemtrennungswärmeübertrager auch im Sommerbetrieb wasserseitig immer durchflossen wird; aus diesem Grunde ist bei der Auswahl auf geringe Druckverluste zu achten. Da jedoch über den Systemtrennungswärmeübertrager eine Grädigkeit von mindestens 2 K entsteht, ist erst bei entsprechend niedrigeren Umgebungstemperaturen die Freie Kühlung nutzbar.

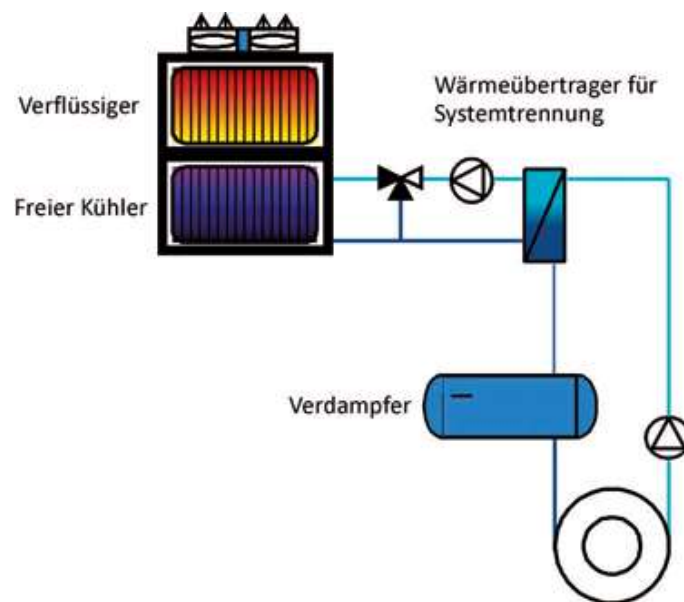


Bild III-9: Hydraulische Funktionsdarstellung: Freie Kühlung mit Systemtrennung durch Wärmeübertrager

Direktverdampfung mit Kältemittelpumpe

Dieses System arbeitet nur mit Kältemitteln ohne Zwischenschaltung eines weiteren Wärmeträgermediums, wasserseitig sind keine weiteren Einbauten notwendig. Bei

III. Bauformen und Aufstellsituation

Betrieb ohne Zugabe von Frostschutz sind die wasserführenden Anlagenteile aber ausreichend zu isolieren und mit einer elektrischen Verdampfer- und Rohrbegleitheizung auszustatten. Der Kältekreislauf ist nur durch zwei Rückschlagventile, ein 3-Wege-Ventil mit Bypassleitung und eine Kältemittelpumpe zu erweitern. Im Verdampfer entzieht das Kältemittel dem Kaltwasser Wärme und verdampft dadurch. Der Kältemitteldampf erreicht über eine Bypassleitung den Verflüssiger, der Verdichter ist hierbei außer Betrieb und wird umgangen. Im Kondensator verflüssigt das Kältemittel mit niedriger Temperatur und gibt die Wärme an die kalte Außenluft ab. Das flüssige Kältemittel wird durch eine Kältemittelpumpe über das Expansionsventil zurück zum Verdampfer gefördert, der Kreislauf beginnt erneut. Die Vorteile dieses Systems sind in den geringen Investitionskosten, dem geringen Betriebsgewicht und den niedrigen luft- und wasserseitigen Widerständen und dem Betrieb mit Wasser zu sehen. Nachteilig ist die deutlich geringere Freie Kühlleistung im Vergleich zu den Varianten mit extra FC-Register und somit eine deutlich kleinere Betriebskosteneinsparung. Mischbetrieb ist nicht möglich, das Umschalten von mechanischer Kälte auf FC-Betrieb nimmt ca. zehn Minuten in Anspruch und ist nur einmal pro Stunde zulässig.

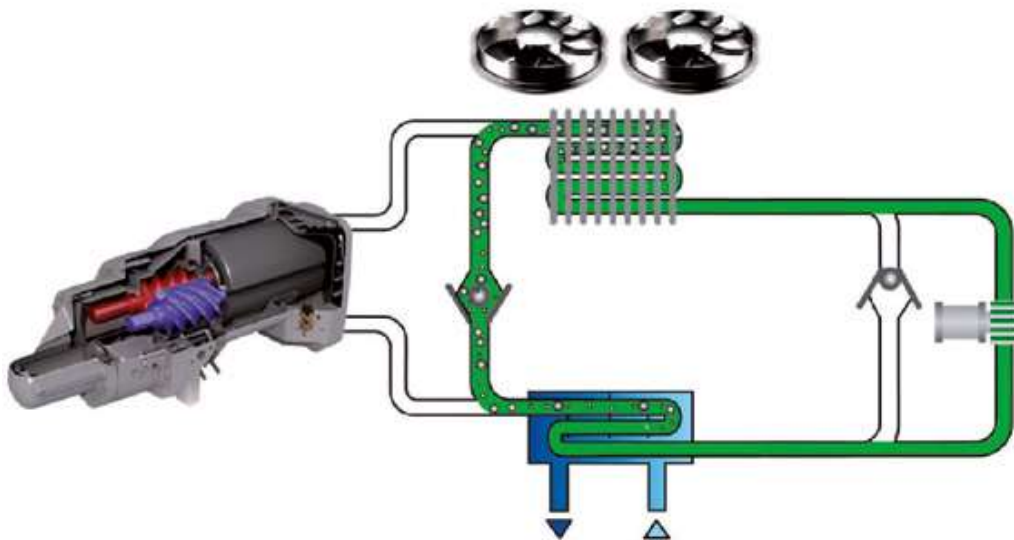


Bild III-10: Funktionsdarstellung: Freie Kühlung mit Direktverdampfung mit Kältemittelpumpe (Carrier GmbH & Co. KG, www.carrier.de)



Animierte Darstellung „Freie Kühlung mit Direktverdampfung“ finden Sie im MediaCenter (Carrier GmbH).

3.5 Kühlturm

Kühltürme finden in der Kältetechnik als Rückkühlwerke Einsatz im Leistungsreich von 50-20.000 kW, bei Rückkühlleistungen ab ca. 1 MW werden sie bevorzugt verbaut. Auf Naturzugkühltürme, wie sie im Kraftwerksbau eingesetzt werden, wird hier nicht eingegangen. Bei der Nass- bzw. Verdunstungskühlung nutzt man den physikalischen Effekt, dass für die Änderung des Aggregatzustands eine entsprechende Verdampfungsenergie benötigt wird. Um 1 kg Wasser zu verdampfen, ist eine Wärmemenge von 2.407 kJ zuzuführen. Diese Wärmemenge wird der Umgebung, in diesem Fall dem Rieselwasser, entzogen und dieses dadurch abgekühlt. Somit wird bei Verdunstungskühltürmen eine erheblich größere Effektivität der Wärmeabfuhr durch latente Wärme erreicht. Die theoretisch mögliche Temperatur des Kühlwasseraustritts entspricht der Feuchtkugeltemperatur der Luft, auch Kühlgrenztemperatur genannt. Die Verdunstung wird durch den Partialdruckunterschied ermöglicht, also ist die Partialdruckdifferenz zwischen dem Kühlwasser und dem Wasserdampf der Umgebungsluft die treibende Kraft. Solange der Wasserdampf-Partialdruck in der Luft niedriger ist als der Dampfdruck des Wassers, kann dieses verdunsten, die Umgebungsluft ist ungesättigt und kann noch Wasser aufnehmen. Gegenüber der Trockenkühlung sind hier wesentlich niedrigere Temperaturen des Kühlmediums erreichbar, da nicht mehr die Umgebungslufttemperatur ausschlaggebend ist, sondern die Feuchtkugeltemperatur. Kühlwassertemperaturen von z. B. 32/27 °C für eine Auslegung bei einer Feuchtkugeltemperatur von 21 °C (entspricht 32 °C Trockenkugeltemperatur und 40 % relativer Feuchte) werden somit ermöglicht. Die Temperaturspreizung des Kühlwassers beträgt in der Kältetechnik in der Regel ca. 5-8 K und wird als Kühlzonenbreite bezeichnet. Die Temperaturdifferenz zwischen Kühlwasseraustrittstemperatur und Kühlgrenztemperatur (Feuchtkugeltemperatur) ist in der Praxis ca. 4-6 K und nennt sich Kühlgrenzabstand. Achtung, was der Kälteanlagenbauer als Kühlwassereintritt bezeichnet, ist beim Kühlturmhersteller als Warmwassereintritt definiert, der Kühlwasseraustritt als Kaltwasser!

Die Unterscheidung von Kühltürmen kann nach mehreren Kriterien geschehen, die sich jedoch überschneiden; somit fällt eine klare Abgrenzung schwer. Die Hauptabgrenzung erfolgt hier zwischen offenem und geschlossenem Kühlturm, darauf wird weiter unten verstärkt eingegangen.



Bild III-27: Saugbelüfteter Verdunstungskühlturm für offenen Kreislauf mit Axialventilator mit Gegenstrom Luft/Wasserführung (KTK Kühlturm Karlsruhe GmbH)

Gegenstrom oder Kreuzstrom

Beim Gegenstromkühlturm (**Bild III-27**) erfolgt die Luft/Wasserführung im Gegenstrom, ein Großteil der Kühltürme wird so gebaut. Das Kühlwasser wird über Verteildüsen gleichmäßig auf den Füllkörper versprüht und rinnt nach unten; im Gegenstrom strömt die Luft von unten nach oben. Der Tropfenabscheider wird oben über den Sprühdüsen angeordnet. Der Vorteil ist im geringen Platzbedarf und der höheren Effizienz zu sehen.

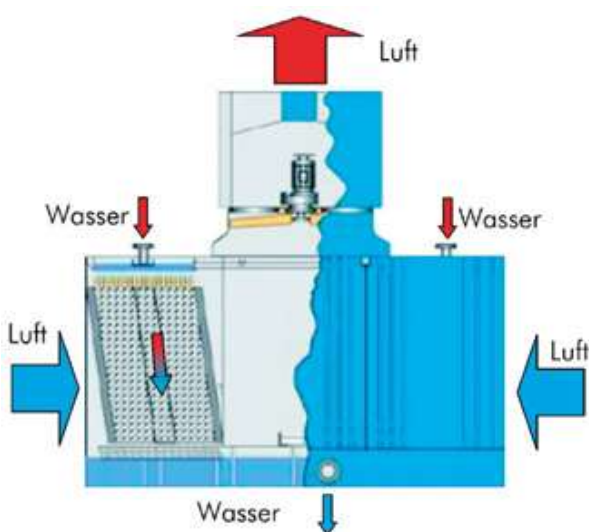


Bild III-28: Saugbelüfteter Verdunstungskühlturm für offenen Kreislauf mit Axialventilator mit Kreuzstrom Luft/Wasserführung (KTK Kühlturm Karlsruhe GmbH)

III. Bauformen und Aufstellsituation

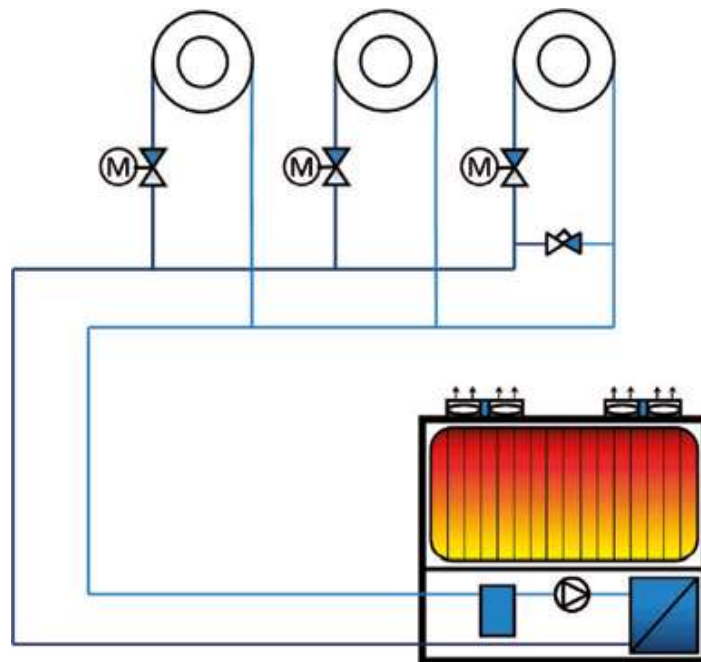


Bild III-44: Hydraulische Einbindung luftgekühlter Kompaktkaltwassersatz für Außenaufstellung mit Zweibege-Drosselventil am Verbraucher

Wird die erforderliche Kälteleistung auf mehrere Erzeuger aufgeteilt oder werden aus Redundanzgründen mehrere Erzeuger vorgesehen, so sind diese parallel einzubinden. Gleichgroße Kaltwassersätze sind nach Tichelmann oder mit Regulierventilen, verschieden große Kaltwassersätze mit Regulierventilen anzuschließen. Eine Rückschlagklappe oder Motorabsperriklappe je Erzeuger ist zu montieren. Diese verhindert ein Überströmen des erzeugten Kaltwassers über den in Stillstand befindlichen Kaltwassersatz. Es wird empfohlen, jedem Erzeuger eine eigene Kaltwasserpumpe zuzuordnen.

Um eine Entkopplung von Primär- und Sekundärkreis zu erwirken, kann eine hydraulische Weiche zwischengeschaltet werden. Im Primärkreislauf arbeiten die Erzeuger parallel, wie zuvor beschrieben. Wird im Sekundärkreislauf keine Leistung abgenommen, fördern die Primärpumpen im Kreis über die hydraulische Weiche und laden diese; der Volumenstrom über die einzelnen Erzeuger wird konstant gehalten. Sobald die Verbraucher einen Kältebedarf haben, fördert die differenzdruckgeregelte Pumpe den entsprechenden Volumenstrom. Hierbei wird ein Teil vom Primärvolumenstrom abgegriffen, der restliche Teil wird weiterhin über die Weiche gefördert. Bei steigendem Kältebedarf am Verbraucher steigt der Volumenstrom bei Vollast soweit an, dass fast der gesamte Primärvolumenstrom dem Sekundärvolumenstrom entspricht. Ist die Fördermenge der Sekundärpumpe

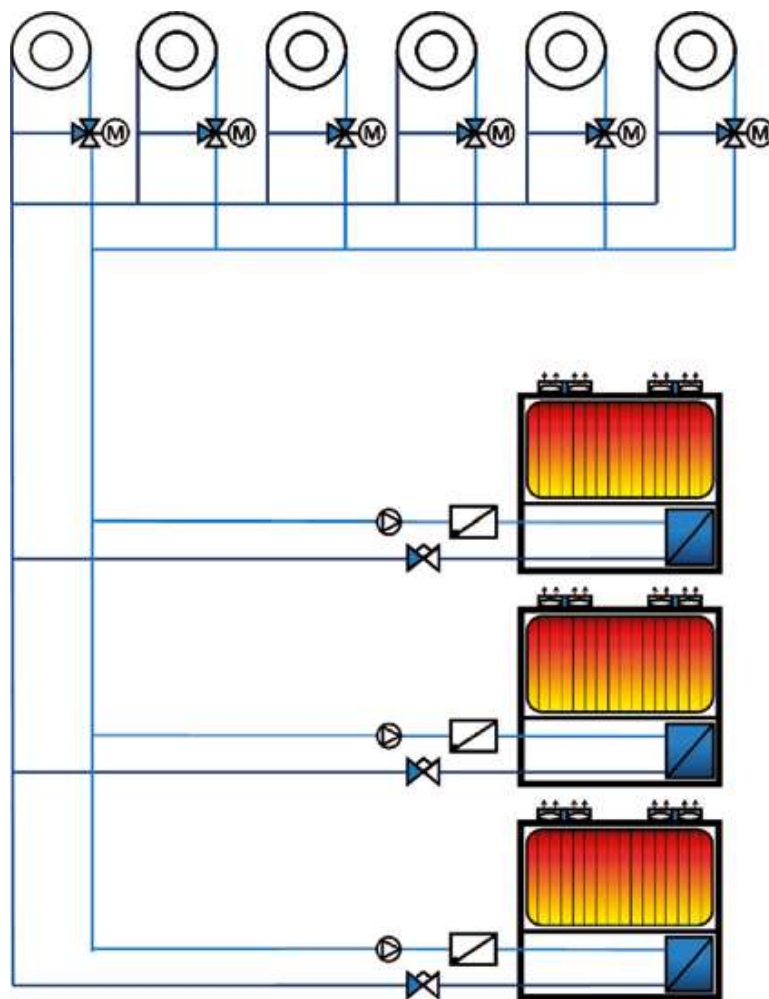


Bild III-45: Hydraulische Einbindung mehrerer luftgekühlter Kompaktkaltwassersätze für Außenaufstellung mit Dreiwege-Verteilventil am Verbraucher

größer als der Primärpumpe, muss die nächste Kältemaschine mit der entsprechenden Primärpumpe zuschalten. Dadurch wird verhindert, dass die Sekundär-rücklaufmenge über die Weiche die Temperatur im Vorlauf anhebt. Der Primärvo-lumenstrom muss also immer größer/gleich dem Verbrauchervolumenstrom sein. Die Verbraucher sind mit Zweiwege-Regelventilen ausgestattet, beim Zu- oder Wegschalten einzelner Verbraucher wird die Drehzahl der Pumpe durch einen Frequenzumformer über den Differenzdruck geregelt.

Oft werden luftgekühlte Kaltwassersätze für eine Außenaufstellung aus Frostschutzgründen mit Sole betrieben; dies ist am Verbraucherkreislauf aber wegen geringerer Kälteleistung, höheren Druckverlusten und höheren Kosten nicht erwünscht. In diesem Fall kann eine Systemtrennung durch einen zusätzlichen

III. Bauformen und Aufstellsituation

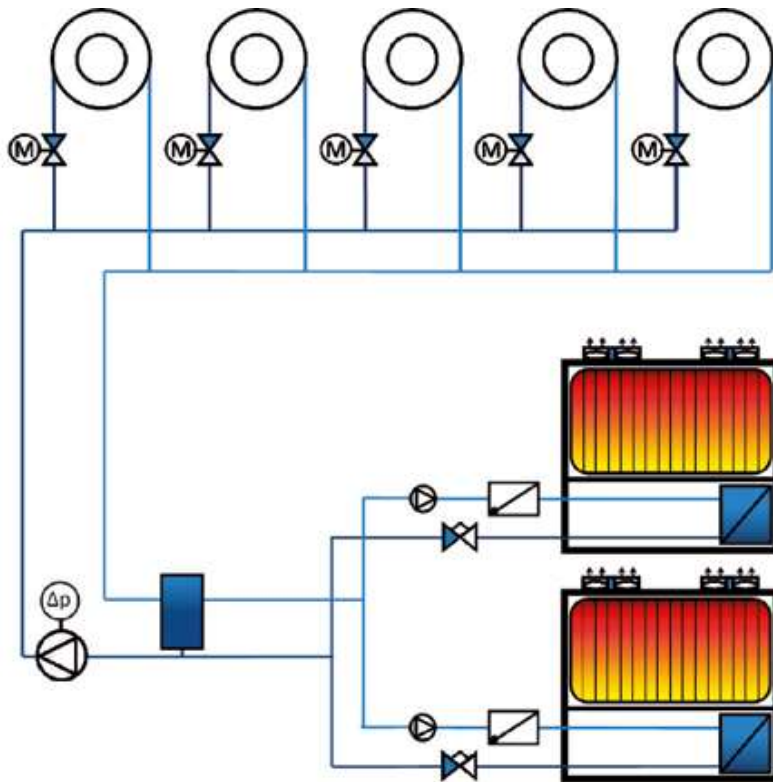


Bild III-46: Hydraulische Einbindung mehrerer luftgekühlter Kompaktkaltwassersätze für Außenaufstellung mit hydraulischer Weiche und drehzahl geregelter Sekundärpumpe

Wärmeübertrager erfolgen, so dass die Sekundärseite mit Wasser beaufschlagt wird. Ein weiterer Vorteil ist die hydraulische Entkopplung von Erzeuger- und Verbraucherkreislauf, so dass die Verbraucherpumpe drehzahl geregelt mit variablem Volumenstrom ausgeführt werden kann.

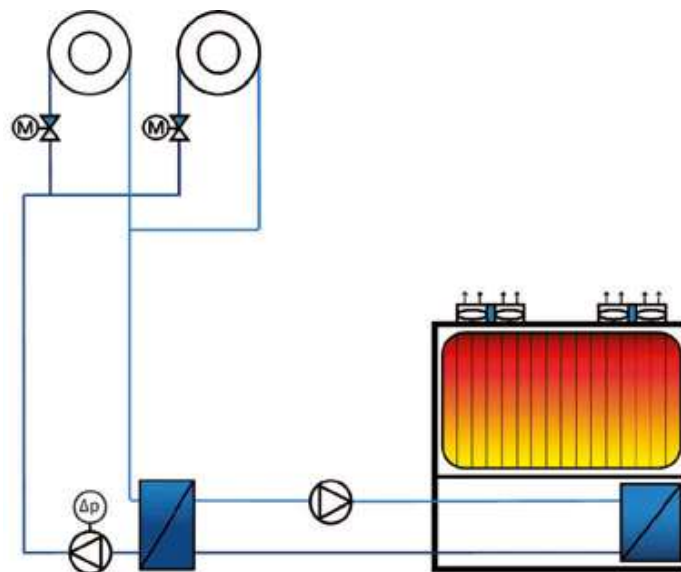


Bild III-47: Hydraulische Einbindung luftgekühlter Kompaktkaltwassersatz für Außenaufstellung, Systemtrennung über Wärmeübertrager am Verbraucher