

Kostenvorteile bei den Pumpen

Kaltwasser-Systeme mit variablem Kaltwasser-Volumenstrom

Jörg Neumann, Duisburg

In einem System mit primärseitig variablem Volumenstrom ändert sich die Durchflussrate des Kaltwassers im gesamten System, durch den Verdampfer jeder eingeschalteten Wasserkühlmaschine sowie auch durch die Wärmetauscher der Verbraucher. Systeme mit variablem primärseitigen Kaltwasser-Volumenstrom erfordern Wasserkühlmaschinen, die bei variierendem Verdampferdurchfluss korrekt arbeiten.

Vom Konzept her ähnelt das System mit primärseitig variablem Volumenstrom dem vertrauten Konzept mit konstantem Primär- und variablem Sekundär-Volumenstrom, das eher unter der Bezeichnung entkoppeltes System bekannt ist. Beide benötigen beispielsweise eine Bypassleitung. Die Bypassleitung für ein System mit primärseitig variablem Volumenstrom stellt die Mindestdurchflussrate durch die Wasserkühlmaschinen sicher. Jeder Was-

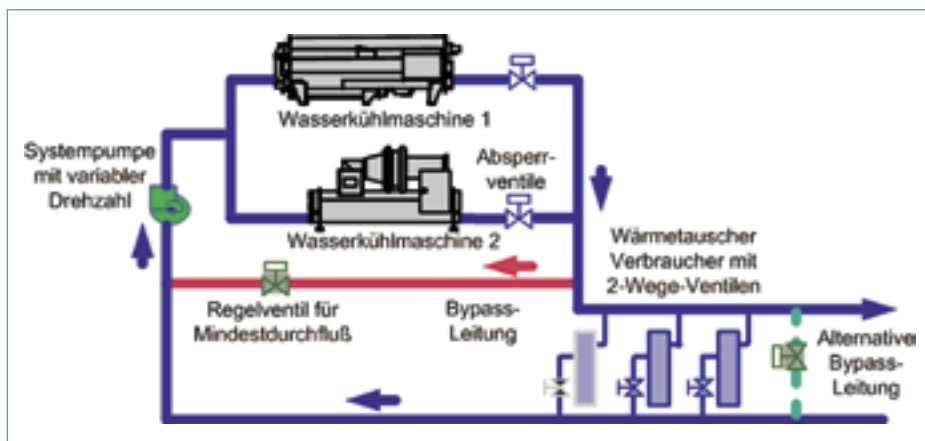
serkühlmaschine in der Anordnung ist eine Pumpe zugeordnet. Der Betrieb der einzelnen Pumpen ist auf die jeweilige Wasserkühlmaschine abgestimmt.

Für die Einrichtung eines Systems mit primärseitig variablem Volumenstrom sind 2-Wege-Regelventile an den Verbrauchern, Absperrventile an den Wasserkühlmaschinen und eine Bypassleitung mit einem Regelventil erforderlich. Aber:

- Durch die Wasserkühlmaschinen-Pumpen mit variablem Volumenstrom entfällt eine separate Verteilungspumpe.
- Die Bypassleitung kann in Fließrichtung sowohl, vor als auch hinter den Verbrauchern installiert werden.
- Ein Regelventil in der Bypassleitung stellt sicher, dass die Durchflussmenge der laufenden Wasserkühlmaschine(n) nie unter die Mindestgrenze fällt.

Vorteile von Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom

Der Einsatz von Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom bringt Gebäudebesitzern mehrere Kostenvorteile, die direkt auf die Pumpen zurückzuführen sind. Die offenkundigsten Kosteneinsparungen ergeben sich aus dem Wegfall der Verteilerpumpe des Sekundärkreislaufs,



System mit primärseitig variablem Volumenstrom

zum Autor

Dipl.-Ing.
Jörg Neumann,
 Projektleiter BAS,
 Trane Deutschland
 GmbH, Duisburg



wodurch keine Ausgaben für die entsprechenden Rohranschlüsse (Material- und Arbeitskosten), Elektroarbeiten und den Antriebsmotor mit Frequenzumrichter anfallen. Obgleich die Pumpenanzahl verringert ist, nimmt die Dimensionierung der verbliebenen Pumpen und Antriebsmotoren mit Frequenzumrichtern zu, da die Pumpen so ausgelegt sein müssen, dass sie die Druckabsenkung der gesamten Anlage überwinden können. Dadurch werden einige der Einsparungen bei den Installationskosten wieder aufgehoben. Immobilienbesitzer nennen häufig die durch die nicht benötigten Pumpen eingesparten Energiekosten als Grund für den Einbau eines Systems mit primärseitig variablem Volumenstrom. Mit Hilfe von Software-Analysetools kann ermittelt werden, ob die zu erwartenden Energieeinsparungen den Einsatz eines Systems mit primärseitig variablem Volumenstrom rechtfertigen.

Wichtige Faktoren

Die Folgeschaltungen von Wasserkühlmaschinen erfordern ein genaues Verständnis der Systemdynamik, da sich die Durchflussraten durch jede Wasserkühlmaschine, die in Betrieb ist, ändern. Die erforderliche Steuerstrategie zur Vermeidung des vorzeitigen Ausschaltens bzw. Neustarts

der Wasserkühlmaschine wird kompliziert, sobald mehrere Maschinen in Betrieb sind oder die Leistung der verschiedenen Maschinen ansteigt. Der Systemplaner muss bereits früh in der Entwicklung eine genaue Steuerungsschaltfolge festlegen und diese dem Hersteller der Steuer- und Regeleinrichtungen und dem Betreiber der Anlage deutlich vermitteln.

Die Regelung der Durchfluss-Schwankungen ist von großer Bedeutung. Daher sind die zulässigen Schwankungen der Durchflussrate mit dem Hersteller der Wasserkühlmaschine abzustimmen und das System so auszulegen, dass die zulässigen Werte nie überschritten werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Untersuchung von Systemen mit variablem Primär-Volumenstrom ist die Tatsache, dass diese Systeme für eine korrekte Planung und Konzipierung mehr Zeit als andere Systeme benötigen. Der Systemplaner muss bereits früh in der Entwicklung eine genaue Steuerungsschaltfolge festlegen

und diese dem Hersteller der Steuer- und Regeleinrichtungen und dem Betreiber der Anlage deutlich vermitteln. Wer diese Zeit und Planung nicht investieren will oder kann, wird mit anderen Systemen wahrscheinlich bessere Ergebnisse erzielen.

Grenzwerte

Die Verdampferdurchflussraten ändern sich mit veränderten Systemanforderungen. Allerdings sind der absoluten Durchflussrate und der zulässigen Änderung Grenzen gesetzt. Eine Überschreitung dieser Grenzwerte kann zu einer instabilen Steuerung der Wasserkühlmaschine oder schwerwiegenden Störungen führen. Die Durchflussrate des Verdampfers muss daher zwischen oberem und unterem Grenzwert gehalten werden. Der obere Grenzwert ist im Allgemeinen festgelegt, um Leitungserosion zu vermeiden, während der untere Grenzwert für eine stabile Steuerung sorgt.

Änderungsrate

Reagiert die Steuerung einer Kühlmaschine nicht korrekt, kann die Maschine bei raschen Änderungen der Durchflussrate durch die Sicherheitseinrichtungen abgeschaltet werden. Um sicherzustellen, dass die Wasserkühlmaschine in Betrieb bleibt, muss die Geschwindigkeit der Änderungen der Verdampferdurchflussrate innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzwerte liegen. Dies kann die Verwendung von verzögernd wirkenden Regelventilen an jeder Wasserkühlmaschine erfordern, um während eines Schaltvorgangs (der Folgeschaltung) die Durchflussänderungen anzupassen.

Bypass-Durchflussregelung

Systeme mit primärseitig variablem Volumenstrom reagieren bei Laständerungen mit einer Anpassung der Durchflussrate. Wenn sich die Systemanforderung der

Minstdurchflussrate für eine einzelne Wasserkühlmaschine annähert, muss das Wasser über eine Bypassleitung geführt werden, um die Durchflussrate durch den Verdampfer über dem Minimum zu halten.

Methoden

Bypassleitung mit Ventil

Wie zuvor erläutert, kann der Volumenstrom der Bypassleitung zentral oder durch 3-Wege-Ventile geregelt werden. Wird eine Bypassleitung mit Ventil verwendet, muss dieses langsam öffnen, wenn sich die Durchflussrate einer eingeschalteten Wasserkühlmaschine dem Minimum nähert. Steigt die Durchflussrate über die Mindestrate der Wasserkühlmaschine um einen festgelegten Grenzwert, schließt das Ventil.

3-Wege-Ventil

Eine Alternative besteht in der Bereitstellung von 3-Wege-Ventilen in entfernten Teilen des Systems. Die Pumpe muss so gesteuert werden, dass diese Ventile die Gesamtdurchflussrate stets über der Minstdurchflussrate der Wasserkühlmaschine halten. Zur Sicherstellung dieser Durchflussrate kann die Pumpe so gesteuert werden, dass ein Druckunterschied an diesem Ventil bestehen bleibt. Auf diese Weise ist ein nahezu konstanter Durchfluss an diesem Punkt im System gewährleistet.

Messung des Verdampferdurchflusses

Die Messung des Verdampferdurchflusses ist für die Regelung von Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom entscheidend. Eine gängige Methode ist die direkte Messung mit z.B. induktiven Volumenstrom-Messgeräten oder über Messblenden. Alternativ kann der Wasserdruckverlust über den Verdampfer gemessen und die Verdampferdurchflussrate auf der Grundlage der Herstellerdaten bestimmt werden.

Lage der Bypassleitungen

Eine Bypassleitung ist sowohl für einen primärseitig konstanten als auch einen primärseitig variablen Volumenstrom erforderlich. In einem System mit Primär-Sekundär-Kreislauf ermöglicht die Entkopplung die Umleitung von überschüssigem

Wasser des Primärkreislaufs. Im System mit primärseitig variablem Volumenstrom ermöglicht die Bypassleitung die Systemsteuerung zur Aufrechterhaltung der Durchflussraten entsprechend den Mindestanforderungen der Wasserkühlmaschine.

Für die Bypassleitung in Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom gib es drei gemeinsame Installationspunkte:

- Die für das System mit primärseitig variablem Volumenstrom erforderliche kleinere Bypassleitung ist an der gleichen Stelle zu installieren, an der die Bypassleitung eines entkoppelten Systems liegt. Ein Pumpenantrieb mit variabler Drehzahl nah an den Wasserkühlmaschinen reduziert die Durchflussrate und ermöglicht wesentliche Energie- und Kosteneinsparungen. Ein Nachteil ist, dass das Ventil gegen höhere Drücke arbeiten muss, was zu erhöhtem Verschleiß und eingeschränkter Regelung führt.
- Verwenden Sie daher an einigen Verbrauchern des Systems 3-Wege-Ventile. Während diese Methode den Minstdurchfluss sichert, reduziert sie die Einsparungen bei den Pumpenbetriebskosten aufgrund der erhöhten Systemdurchflussrate und einer abnehmenden Wasserrücklauftemperatur.
- Positionieren Sie eine Bypassleitung sowie ein Ventil nahe am Ende des Rohrverlaufs. Dadurch wird der Betriebsdruck am Bypassregelventil reduziert und die Steuerung stabilisiert. Einige der Betriebskosteneinsparungen müssen für die Aufrechterhaltung des Pumpenbetriebsdrucks auf höherem Niveau aufgegeben werden, wenn die Bypassleitung in größerer Distanz zu den Wasserkühlmaschinen sitzt. Die Leitung muss so dimensioniert sein, dass die Minstdurchflussrate gewährleistet ist.

Schaltfolge der Wasserkühlmaschinen

Systeme mit primärseitig variablem Volumenstrom erfordern eine komplexere Folgeschaltung als Systeme mit Primär-Sekundär-Kreislauf. Maßgeblich für ein gut funktionierendes System mit primärseitig variablem Volumenstrom - oder für dessen Misserfolg - sind die Zeit und Überlegungen, die in die Folgeschaltung der Wasserkühlmaschinen investiert werden. Um die Funktion des Systems sicherzustellen, muss der Prozess genau durchdacht, die Folgeschaltung mit den Systemprogrammieren abgesprochen und der Betreiber ordnungsgemäß eingewiesen werden.

Zuschaltung einer Wasserkühlmaschine

Wenn die bereits eingeschalteten Wasserkühlmaschinen die Durchflussrate nicht mehr erhöhen können, entweder aufgrund der Pumpenleistung oder der maximal zulässigen Verdampferdurchflussrate, oder wenn die Wasserkühlmaschinen den Kaltwassersollwert nicht mehr erreichen, kann eine Wasserkühlmaschine zugeschaltet werden. In einem korrekt betriebenen System wird die Zulaufwassertemperatur überwacht. Überschreitet die Temperatur den Auslegungs-Sollwert um einen bestimmten Wert (z. B. 0,8 K) für eine festgesetzte Zeitdauer (beispielsweise 15 Minuten), wird eine weitere Wasserkühlmaschine zugeschaltet. Die Zuschaltung von Wasserkühlmaschinen kann zu beträchtlichen Schwankungen der Durchflussraten führen. Dies gilt insbesondere für ein System mit zwei Wasserkühlmaschinen. Folgendes Beispiel hilft, die Problemstellung des Systems besser zu erläutern (siehe Tabelle):

	Auslegungs-Durchflußrate in l/s	Mindest-Durchflußrate in l/s	Maximale Durchflußrate in l/s
Wasserkühlmaschine 1	60,6	36,3	133,1
Wasserkühlmaschine 2	90,8	42,6	156,1

Beispiele für Schwankungen der Durchflussmenge

Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist die Wasserkühlmaschine 1 eingeschaltet, wobei 69,4 l/s Wasser durch den Verdampfer fließen. Die geforderte Kaltwassertemperatur kann nicht mehr aufrecht erhalten werden. Was geschieht, wenn das Ventil von Wasserkühlmaschine 2 geöffnet wird, aber keine andere Maßnahme erfolgt? Unter der Annahme, dass die Druckverluste gleich sind, fließen 34,7 l/s durch jede Wasserkühlmaschine. Das bedeutet, dass die Durchflussrate für Maschine 1 sofort um 50 Prozent abfällt (wahrscheinlich ist die Steuerung nicht mehr in der Lage, darauf angemessen zu reagieren) und wir sind damit unter der Mindestdurchflussrate für jede Wasserkühlmaschine. Dies kann tatsächlich zu einem Problem führen, da die Steuerung versucht, die Wasserkühlmaschine durch Abschalten zu schützen. Dies führt dazu, dass eine Kombination von Pumpendrehzahl, Bypassventilregelung und verzögert reagierende Ventile an den Wasserkühlmaschinen zwei Aufgaben übernehmen müssen:

- Die Schwankungen der Durchflussrate innerhalb der Hersteller Grenzwerte halten.
- Die Durchflussrate jeder Wasserkühlmaschine über dem Minimum halten.

Als Grundsatz gilt, dass die Steuerung von Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom bei der Systemplanung miteinbezogen werden **müssen**.

Abschalten einer Wasserkühlmaschine

Auch das Abschalten einer Kühlmaschine in einem solchen System ist nicht einfach. Nehmen wir beispielsweise an, dass beide Wasserkühlmaschinen nahezu an ihrer Mindestdurchflussrate arbeiten. Maschine 1 liefert 41,0 l/s und Maschine 2 liefert 47,9 l/s, so dass das System insgesamt bei 88,9 l/s liegt.

Vorgehensweise 1: Maschine 1 abschalten: Es ist offensichtlich, dass es möglich sein sollte, Maschine 1 abzuschalten und die Systemlast damit zu erfüllen, solange die Durchflussrate nicht zu schnell zunimmt. Allerdings liegt die Systemdurchflussrate nahe der Auslegungsdurchflussrate für Maschine 2, d. h. wenn sich die Systemdurchflussrate erhöht, ist ein Neustart von Maschine 1 erforderlich.

Vorgehensweise 2: Maschine 2 abschalten: Liegt die Kühlwassertemperatur von Maschine 1 unter dem Auslegungswert, hat ihre Leistung zugenommen. Kann Maschine 2 jetzt abgeschaltet werden? Sicherlich liegt die Durchflussrate von Maschine 1 innerhalb der zulässigen Grenzwerte. Aber es ist nicht sicher, ob sie die erforderliche Leistung erbringen kann oder nicht. In diesem Fall liegt das Problem darin, sicherzustellen, dass nach dem Abschalten einer Wasserkühlmaschine eine ausreichende Kaltwassermenge vorliegt. Offensichtlich ist die Steuerung ein extrem wichtiger Aspekt eines Systems mit primärseitig variablem Volumenstrom. Bei vielen Kaltwassersystemen von zwei bis fünf Wasserkühlmaschinen wählen Systemplaner für die Minimierung komplexer Steuervorgänge eher ein System mit Primär-Sekundär-Kreislauf.

„Überpumpen“ einer Wasserkühlmaschine

Bei einigen Anwendungen von Systemen mit primärseitig variablem Volumenstrom werden parallel geschaltete Pumpen verwendet, mit denen eine Kühlmaschine „überpumpt“ werden kann. „Überpumpen“ bedeutet hier, mehr Wasser durch eine Kühlmaschine zu pumpen, als bei der ursprünglichen Auslegung vorgesehen. Im vorhergehenden Beispiel wäre Maschine 1 jederzeit „überpumpt“, wenn die Wasserdurchflussrate 60,6 l/s übersteigt. Allerdings muss die Durchflussrate immer noch unter dem maximal zulässigen Wert liegen. Erinnern wir uns, dass der Druckverlust über den Verdampfer etwa im Quadrat der Durchflussrate zunimmt. Für das „Überpumpen“ einer Wasserkühlmaschine kann es zwei Gründe geben:

Erlaubt man ein Absinken der Kühlwassertemperatur, kann die Wasserkühlmaschine bei Bedarf auch mehr Kaltwasser bereitstellen. Der einzige Weg, diese höhere Leistung tatsächlich zu erreichen,

ist die Anhebung der Durchflussrate oder der Temperaturdifferenz. Die Wasserrückklufttemperatur ist eingestellt, daher bleibt jetzt nur noch zu entscheiden, ob die Wasseraustrittstemperatur abnehmen oder die Durchflussrate zunehmen soll. Ein Absenken der Wassertemperatur erschwert den Systembetrieb, während sich in einem System mit primärseitig variablem Volumenstrom eine Zunahme der Wasserdurchflussrate relativ einfach realisieren lässt. Durch eine Erhöhung der Verdampferdurchflussrate kann die Wasserkühlmaschine mehr Kühlung bereitstellen.

Entscheidende Anforderungen

Obwohl Systeme mit primärseitig variablem Volumenstrom eindeutige Vorteile haben, können sie nicht für alle Anlagen verwendet werden. Für den erfolgreichen Betrieb eines Systems mit primärseitig variablem Volumenstrom ist ein klares Verständnis und die Beachtung folgender Vorbedingungen wesentlich:

- Die Steuerung der Wasserkühlmaschine muss die Temperatur bei variierender Durchflussrate adäquat regulieren.
- Die Steuerungen auf Systemebene müssen sowohl Temperatur, als auch Durchflussrate je nach Änderung der Systemanforderung angemessen regulieren.
- Für Konzipierung und Programmierung der Steuerungsschaltfolge des Systems ist ausreichend Zeit einzuplanen.
- Der Systembetreiber muss den beabsichtigten Betriebsablauf kennen.
- Das System muss über Einrichtungen zur Gewährleistung der Anforderungen für die Mindestdurchflussraten aller Wasserkühlmaschinen verfügen. In der Regel ist dies eine der oben erläuterten Bypassmethoden.

Ein System mit primärseitig variablem Volumenstrom stellt hohe Anforderungen an die Systemplanung sowie den Systembetrieb. Folglich müssen viele Maßnahmen ergriffen werden, damit der erfolgreiche Betrieb eines solchen Systems sichergestellt wird. □

Verweise

Schwedler, M., PE and Bradley, B.; „An Idea for Chilled-Water Plants Whose Time Has Come ... Variable-Primary-Flow Systems,“ Engineers Newsletter, Vol. 28, No. 3, The Trane Company, 1999.