

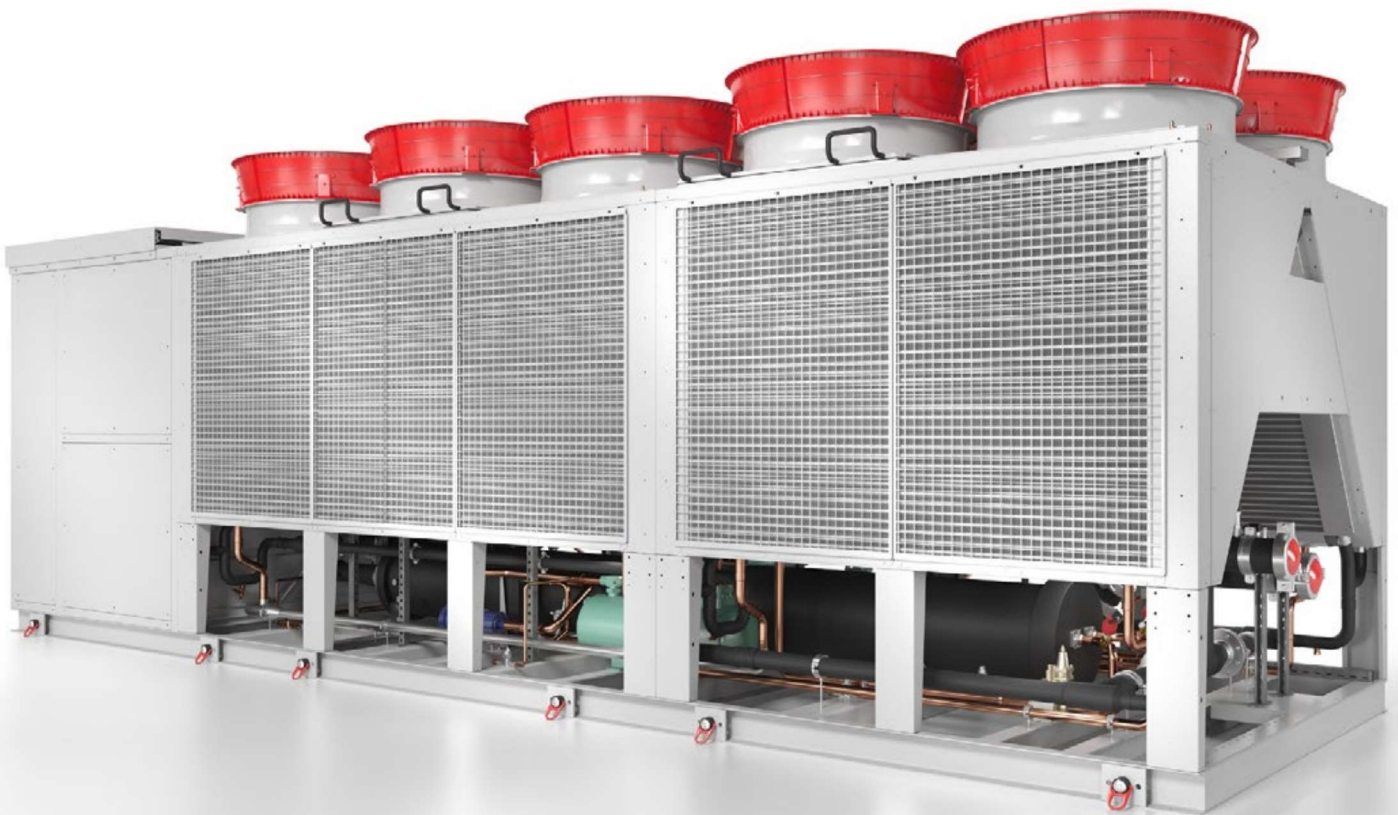
Specials:

- Rechenzentrumskühlung
- Absorptionskälte
- Natürliche Kältemittel

Lars Keller

Leitfaden für Kompressions- wasserkühlsätze

3. AUFLAGE



3 Monitoring von Kaltwassersätzen durch Vorortmessung und Fernüberwachung

Das Monitoring ist in aller Munde und entspricht dem Zeitgeist. Wir haben uns alle an die verschiedensten Arten von Monitoring gewöhnt. So liefert uns der Bordcomputer des Autos wertvolle Informationen über zurückgelegte Kilometer und Spritverbrauch und seit einigen Jahren ist auch die Navigation integriert. Viele Fahrer wollen während der Fahrt und auch am Ende der Strecke den aktuellen Verbrauch angezeigt bekommen.

3.1 Grundlagen

Warum ist ein Monitoring von Kaltwassersätzen so wichtig? Diese werden fabrikmäßig und unter industriellen Bedingungen produziert. Die großen Kaltwassersatz Hersteller haben auch entsprechende Prüflabore, in denen diese getestet werden. Unter Laborbedingungen! Die Auslegung des Kaltwassernetzes und die Auswahl des Kaltwassersatzes erfolgt durch ein Planungsbüro, die Aufstellung durch den Anlagenbauer, die Inbetriebnahme durch den Kaltwassersatz-Hersteller oder Kältefachbetrieb. Die Freigabe des Kaltwassersatzes und die Vorgabe der gewünschten Kaltwassersollwertes erfolgt dann durch die Spezialisten der Gebäudeleittechnik-Firma oder durch die Haustechniker. Die Rückkühler auf dem Dach laufen im Normalfall auch autark und deren Steuerung bekommt den gewünschten Sollwert ebenfalls aus der GLT. Wir sehen an dieser kurzen Beschreibung, dass viele Gewerke perfekt miteinander kommunizieren müssen, um den Betrieb des Kaltwassersatzes und des Kaltwassernetzes effizient zu gestalten. Gibt es hier bei den Schnittstellen keine optimale Abstimmung, kann es beim Betrieb zu Problemen kommen. Wird eine Kältemaschine nun durch Monitoring dauerhaft überwacht, werden eventuelle Schnittstellenprobleme aufgedeckt und können so schnell behoben werden.

Die Bestandsaufnahme der Betriebsdaten erfolgt temporär bei der Wartung, besser jedoch dauerhaft über Fernüberwachung. Viele Hersteller bieten bereits eine Cloud Lösung zur dauerhaften Überwachung der Betriebszustände an, oft aber nur auf den Kältekreislauf begrenzt. Auf Monitoring spezialisierte Firmen können durch Montage weiterer Messfühler auch die Peripherie mit aufnehmen, dies ist wichtig, um ein Gesamtbild der Anlage zu erhalten.

Durch das Funktionsmonitoring werden die neuesten Energieeffizienzkriterien nach VDMA 24247-8 [44] bzw. vom Institut of Refrigeration (IOR) geliefert, z. B.

- ▶ Energieeffizienzgrad (VDMA 24247-8) bzw. Systemeffizienzindex (IOR),
- ▶ Verdichtereffizienz (VDMA 24247-8 und IOR),
- ▶ Wärmetauschereffizienz des Verflüssigers (IOR),
- ▶ Wärmetauschereffizienz des Verdampfers (IOR),
- ▶ Kälteeffizienz (VDMA 24247-8) bzw. Systemeffizienzindex (IOR),
- ▶ Energieeffizienzratio „Kühlen“,
- ▶ Coefficient of Performance (COP Heizen),
- ▶ Druckverluste in Bauteilen,
- ▶ Kälteleistung, Verdichterleistung, Verflüssigerleistung,
- ▶ primärseitige Massen- und Volumenströme usw.,
- ▶ Strömungsgeschwindigkeiten in den Rohrleitungen,
- ▶ Sekundärseitige Massen- und Volumenströme usw.

Durch die Vielfalt der ermittelten Parameter und die dauerhafte Überwachung ist eine sichere Diagnose aller Betriebszustände möglich.

Kaltwassersätze sind unterschiedlichsten Einflüssen ausgesetzt, die die Betriebssicherheit der Maschine gefährden können, z. B.

- ▶ hohe Außentemperaturen,
- ▶ starke Teillast,
- ▶ Undichtigkeiten,
- ▶ Verschmutzung von Rückkühlern, Verflüssigern, Verdampfern,
- ▶ Fehlansteuerung durch Regler aufgrund fehlerhafte Sensorsignale,
- ▶ falsche Dimensionierung,
- ▶ falsches Setup,
- ▶ Defekte im Kältekreislauf.

Ein Monitoringsystem detektiert diese Anlagenzustände und kann präventive Voralarne geben, die ein Eingreifen ermöglichen, bevor es zum Stillstand bzw. zum Schaden kommt. Falls trotzdem ein Ausfall auftritt, werden durch das Monitoring bereits Rückschlüsse auf die Ursache gezogen und entsprechendes Material kann zur Störungsbeseitigung besorgt werden. Durch kontinuierliches Mitschreiben der Effizienzwerte sind Verschmutzungen der Wärmetauscherflächen erkennbar. Dies

ist oft ein schleichender Prozess und mit einer Einmalsituationsaufnahme nicht offenkundig.

Wer eine Zertifizierung nach z. B. ISO 50001 [92] oder ISO 140001 [93] anstrebt, muss jedes Jahr entsprechende Energieeinsparungen nachweisen. Die ISO 50001 fordert im Abschnitt 4.4 „Energieplanung“, dass geltende rechtliche Vorschriften und andere Anforderungen, zu denen sich die zu zertifizierende Firma bezüglich ihres Energieeinsatzes, ihres Energieverbrauchs und ihrer Energieeffizienz verpflichtet hat, ermittelt und bei der Einführung, Verwirklichung und Aufrechterhaltung ihres Energiemanagementsystems (EnMS) berücksichtigt werden. Die Norm fordert, dass der Energieplanungsprozess, die Umsetzung rechtlicher und anderer Anforderungen für den Energieeinsatz als auch die Überprüfung der Prozesse und Verfahren, die sich auf die energiebezogene Leistung auswirken, beinhaltet. Ohne ein Monitoring ist ein solches Vorhaben fast aussichtslos.

3.2 Hard- und Software für das Monitoring

Um einen einfachen Kälteprozess zu monitoren, benötigt man die nachfolgend aufgeführten Sensoren und Messgeräte. Viele dieser Sensoren sind bereits als Standard oder als Option an Kältemaschinen verfügbar. Wichtig ist jedoch, diese Daten auch für die Auswertung verwenden zu können.

- ▶ 2 Drucktransmitter zur Messung des Verdampfungsdrucks und des Verflüssigungsdrucks
- ▶ 3 Temperaturfühler für den einfachen Kältekreis
- ▶ 2 Temperaturfühler für die Kaltwassertemperaturen
- ▶ 2 Temperaturfühler für die Kühlwasser- bzw. Lufttemperaturen
- ▶ 1 elektrisches Leistungsmessgerät für den Kompressor

Anschluss der Drucksensoren/Drucktransmitter

Zur Ermittlung der thermodynamischen Zustände im Kältekreislauf sind die Drücke auf der Saug- und der Hochdruckseite zu messen, dies erfolgt mit entsprechend geeigneten Drucktransmittern direkt in der Saugleitung und in der Druckleitung. Dabei ist wichtig, dass die entsprechende Drucklage des Kältemittels beachtet wird.

Der Anschluss der Drucktransmitter muss in der Nähe des Verdichters erfolgen. Optimal für den Anschluss des Saugdrucktransmitters ist der Serviceanschluss des Eckabsperrentils auf der Saugseite des Verdichters. Hier wird im Normalfall ein

10-bar-Drucktransmitter verwendet. Zum Anschluss des Sensors entfernt man die Schutzkappe des Ventils und öffnet die Stopfbuchse, die Spindel des Ventils wird ganz nach außen gedreht. Jetzt ist der Serviceanschluss sicher verschlossen und man kann vorsichtig die Schutzkappe von Serviceanschluss abdrehen. Dabei ist auf eventuell auftretende Pfeifgeräusche zu achten, was auf ein undichtetes Ventil hinweist. Der Drucktransmitter wird dann auf den Serviceanschluss geschraubt, auf das Vorhandensein einer Silikondichtung im Drucktransmitter ist zu achten. Diese muss unbeschädigt sein und ist im Zweifel zu ersetzen, um Undichtigkeiten während der Messung zu vermeiden. Danach ist der Serviceport wieder zu öffnen und ca. zwei Umdrehungen im Uhrzeigersinn reinzudrehen. Der Hauptdurchgang und der Serviceport des Ventils sind nun voll geöffnet.

Die Stopfbuchse ist nun wieder anzuziehen und die Schutzkappe für das Serviceventil wieder aufzudrehen. Dieselbe Handlungsreihenfolge sollte beim Anschluss des Hochdrucktransmitters (meist 35 bar) beachtet werden.

Anschluss und Platzierung der Temperatursensoren

Für die Erzielung richtiger Messergebnisse ist der korrekte Anschluss der Temperatursensoren (**Bild X-2**) wichtig. Deren Überprüfung hat vor der Montage zu erfolgen, indem man die Temperaturfühler mit Aluminiumtape miteinander verbindet und beispielsweise über einem Stuhl in die Luft hängt. Alle Temperatursensoren müssen nun die gleiche Temperatur anzeigen, eine Abweichung von 0,1 bis 0,2 K kann man durch die Eingabe eines Offsets im Datenlogger egalisieren. Bei größeren Abweichungen ist der Sensor zu tauschen. Um genaue Temperaturen zu übermitteln, sind hochwertige Temperatursensoren (z. B. PT 1000) zu montieren.

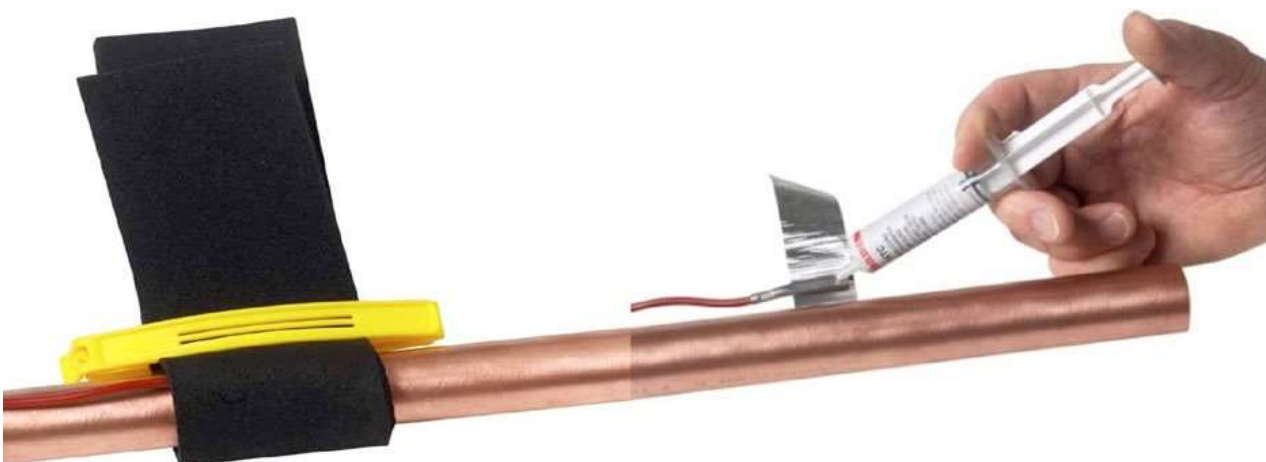


Bild X-2: Befestigung eines Temperaturfühlers (Quelle: ClimaCheck online)

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

Besonders bei der Messung von Kalt- und Kühlwassertemperaturen sind genaue Temperaturfühler wichtig, da die Spreizung des Kalt- und Kühlwassers in starker Teillast oft nur 1 bis 2 K beträgt.

Für den Anschluss des Sensors am Rohr sind immer Wärmeleitpaste, Aluminiumtape und eine geeignete selbstklebende Wärmedämmung zu verwenden. Bei der eigentlichen Montage ist darauf zu achten, dass der Abstand des Sensors von Masseschwerpunkten wie Verdichtern oder Ventilen mindestens 10 bis 20 cm beträgt. Gerade der Verdichter verfälscht sonst die Messergebnisse beträchtlich. Entsprechend haben die Qualität und Platzierung der Temperaturfühler eine starke Auswirkung auf das Messergebnis.

Der erste Temperatursensor zur Ermittlung der Druckgastemperatur ist an der Druckleitung circa 20 cm vom Verdichter entfernt zu montieren. Im Normalfall ist diese Leitung nicht wärmegeämmt/isoliert.

Der zweite Temperaturfühler ist auf der Saugseite zu platzieren. Hier ist normaler Weise eine Isolierung vorhanden. Je nach Beschaffenheit der Wärmedämmung ist dieser Vorgang deshalb etwas aufwendiger. Meist wird hier eine Kautschukisolierung verwendet. An der geeigneten Messstelle ist die Isolierung U-förmig mit einem Cuttermesser aufzuschneiden, eventuell vorhandene Reste der Isolierung, Farbe oder Kleber zu entfernen. Kurz vor der Montage muss die Rohrleitungsstelle von Kondenswasser oder gar Eis befreit werden. Dann ist wie bereits beschrieben der Fühler zu montieren. Anschließend ist die Messstelle wieder vorschriftsmäßig zu verkleben.

Der dritte Temperaturfühler ist an der Flüssigkeitsleitung zu platzieren. Meist liegt die Temperatur des Kältemittels an dieser Stelle nur geringfügig höher als die des Kühlwassers beziehungsweise der Umgebungstemperatur. Deshalb erscheint eine Isolierung des Sensors auf den ersten Blick nicht sinnvoll. Dies ist aber ein Trugschluss. An dieser Messstelle wollen wir die Unterkühlung des Kältemittels feststellen. Diese beträgt oft nur 1 bis 2 Kelvin. Eine nachlässige Montage kann das Ergebnis und somit auch unsere Schlussfolgerungen massiv verfälschen. In aller Regel ist die Temperatur des Sensors kälter als die der Rohrleitung.

Für die Messung der Kaltwasserein- und -austrittstemperaturen sowie die Kühlwasserein- und -austrittstemperaturen werden optimaler Weise die meist vorhandenen Tauchhülsen der Temperaturanzeiger genutzt. Dazu sind die Temperaturanzeiger vorher vorsichtig zu demontieren. Nun können die Temperatursensoren mit Wärmeleitpaste versehen in den Tauchhülsen positioniert werden. Die Messstellen

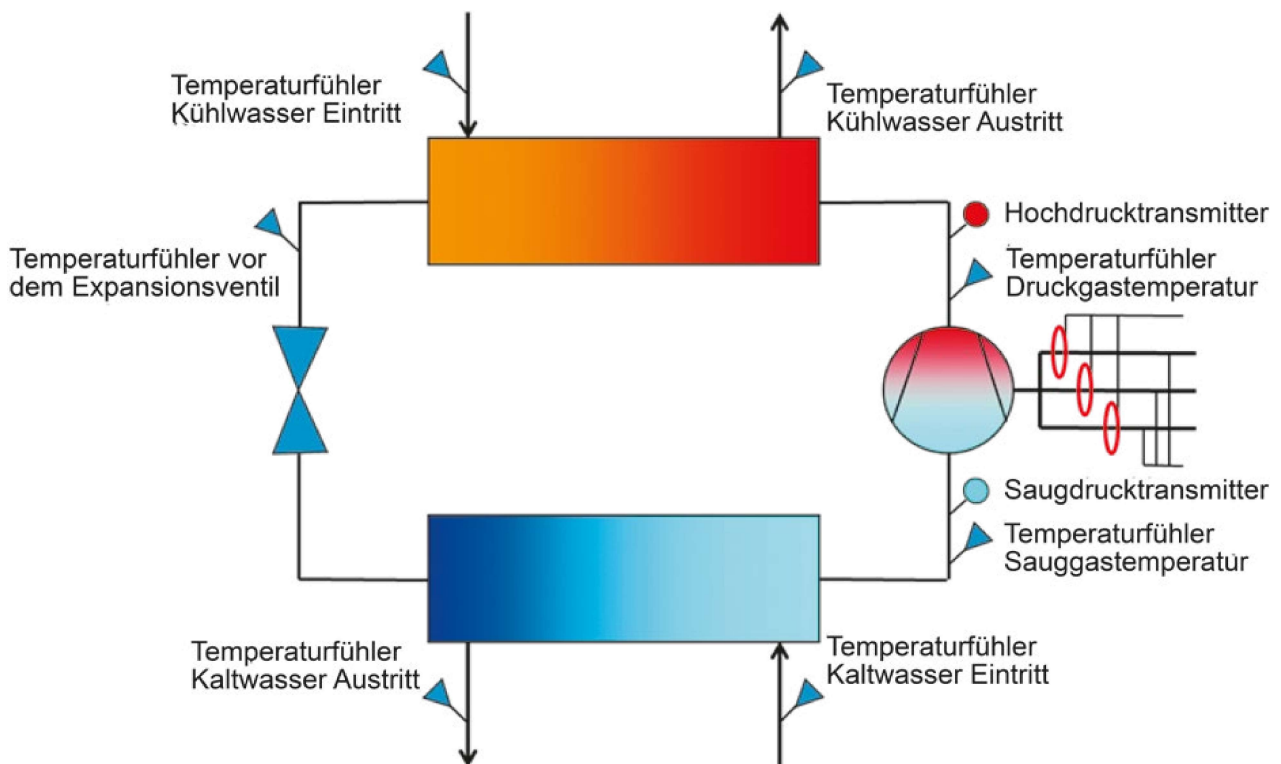


Bild X-3: Platzierung der Sensoren im einfachen Kältekreislauf (Quelle: ClimaCheck online)

sind gegen eindringendes Kondenswasser zu sichern. **Bild X-3** gibt zur Platzierung der Sensoren weitere Auskunft.

Anschluss und Montage des elektrischen Leistungsmessgerätes ist **Bild X-4** zu entnehmen.

Die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme des Verdichters erfolgt vorzugsweise und komfortabel im elektrischen Schaltkasten. Ausnahmsweise kann dies auch im Klemmkasten des Verdichters erfolgen, wenn der Schaltkasten/Schaltschrank sich in einem weiter entfernten bzw. unzugänglichen Raum befindet. Der Anschluss des elektrischen Leistungsmessgerätes hat unter Einhaltung der fünf

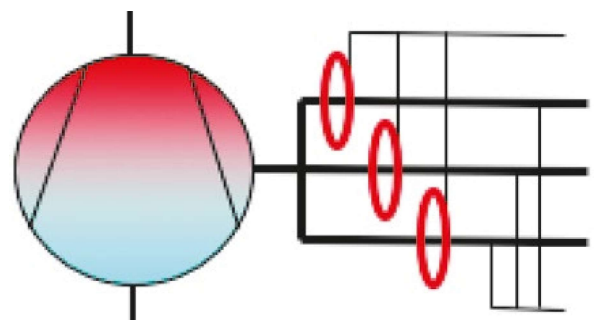


Bild X-4: Messstelle zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme des Verdichters (Quelle: ClimaCheck online)



Bild X-5: Elektrische Leistungsmessgeräte mit unterschiedlichen Stromzangen, Spannungsmessspitzen und elektrischen Leitungen (Quelle: ClimaCheck online)

Sicherheitsregeln zu erfolgen. Wird der Klemmkasten des Verdichters als Messstelle genutzt, dann ist dieser vor unzulässiger Berührung zu schützen. Beim Anschluss der Messtechnik (**Bild X-5**) ist auf die richtige Phasenfolge sowohl bei der Spannungs- als auch bei der Strommessung zu achten, um korrekte Messwerte zu erhalten. Bei der Montage der Stromzangen sind diese vorher mit dem Leistungsmessgerät mittels der entsprechenden Anschlussleitungen zu verbinden.

Durch die Verwendung von Spannungsklemmen oder magnetischen Spannungsspitzen und Stromzangen kann die Montage auch meist ohne Abschaltung des Kaltwassersatzes erfolgen.

3.3 Durchführung der Messungen

Die Kurzzeitmessung eines Kaltwassersatzes ist fast immer sinnvoll und kann durch die Kältefachfirma während der Wartung erfolgen. Hier kann dann auch die erfolgreiche Durchführung der Wartung dokumentiert werden, nach der Reinigung der Wärmetauscher ist meist eine Verbesserung der Effizienz nachweisbar. Eventuelle Anlagenprobleme können erkannt und behoben werden. Grundbedingung für die Durchführung der Messung ist die Verwendung eines Datenloggers und einer entsprechenden Auswertesoftware (**Bild X-6**).

Sind Kaltwassersatzes ganzjährig in Betrieb, so ist davon auszugehen, dass sich ein Monitoring eines Kaltwassersatzes fast immer lohnt. Hier werden häufig Energieeinsparungen zwischen 10 und 20 % erzielt. Dazu wird die Sensorik fest verlegt und ein entsprechender Schaltkasten mit Datenlogger und elektrischen Leistungsmessgeräten installiert. Es erfolgt die Datenübertragung auf einen Server, der die ganzen thermodynamischen Berechnungen und die Energiestatistiken automatisch erstellt. Der Betreiber kann der Kältefachfirma oder dem Hersteller permanent oder



Bild X-6: Performance Analyser in mobiler Ausführung (links) und als Festinstallation (rechts) (Quelle: ClimaCheck online)

eine Einzelfreigabe auf die Anlage geben. Änderungen können dann auch über die Cloud per Fernzugriff erfolgen. Ein kontinuierliches Monitoring stellt sicher, dass die Anlage dauerhaft effizient bleibt und betriebs sicher betrieben wird. Die wichtigen Parameter betreffend Temperaturen und Drücke werden mitgeschrieben und sind auch rückwirkend verfügbar.

Die Messdaten werden dynamisch in Tabellen und Diagrammen (**Bild X-7**) dargestellt und ermöglichen dem Kältetechniker eine Bewertung der Systemparameter des Kältekreislaufes. Der Kältekreislauf besteht aus vier Hauptbauteilen, deren Komponenten sich teilweise konträr verhalten. Das macht die Optimierung des Kreislaufs komplexer hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Anlagenperformance.

Die Systemperformance wird auf eine objektive, neutrale und herstellerunabhängige Weise dargestellt. Die Methode basiert allein auf fundamentalen thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten sowie dem ersten Satz der Thermodynamik (Energie kann nicht vernichtet, sondern nur umgewandelt werden).

Das System nutzt im einfachsten Fall zwei Drucktransmitter und sieben Temperaturfühler, die an strategischen Punkten rund um das System angeschlossen werden. Um die Kälteleistung und die elektrische Leistungsaufnahme der Maschine zu ermitteln, wird noch ein elektrisches Energie- und Leistungsmessgerät an den bzw. die Verdichter angeschlossen.

Aus den gesammelten Informationen werden die wichtigsten Betriebsparameter ermittelt. Man kann die tatsächliche Leistung des Systems genau ermitteln, unabhängig vom Vorhandensein von Herstellerdaten.

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

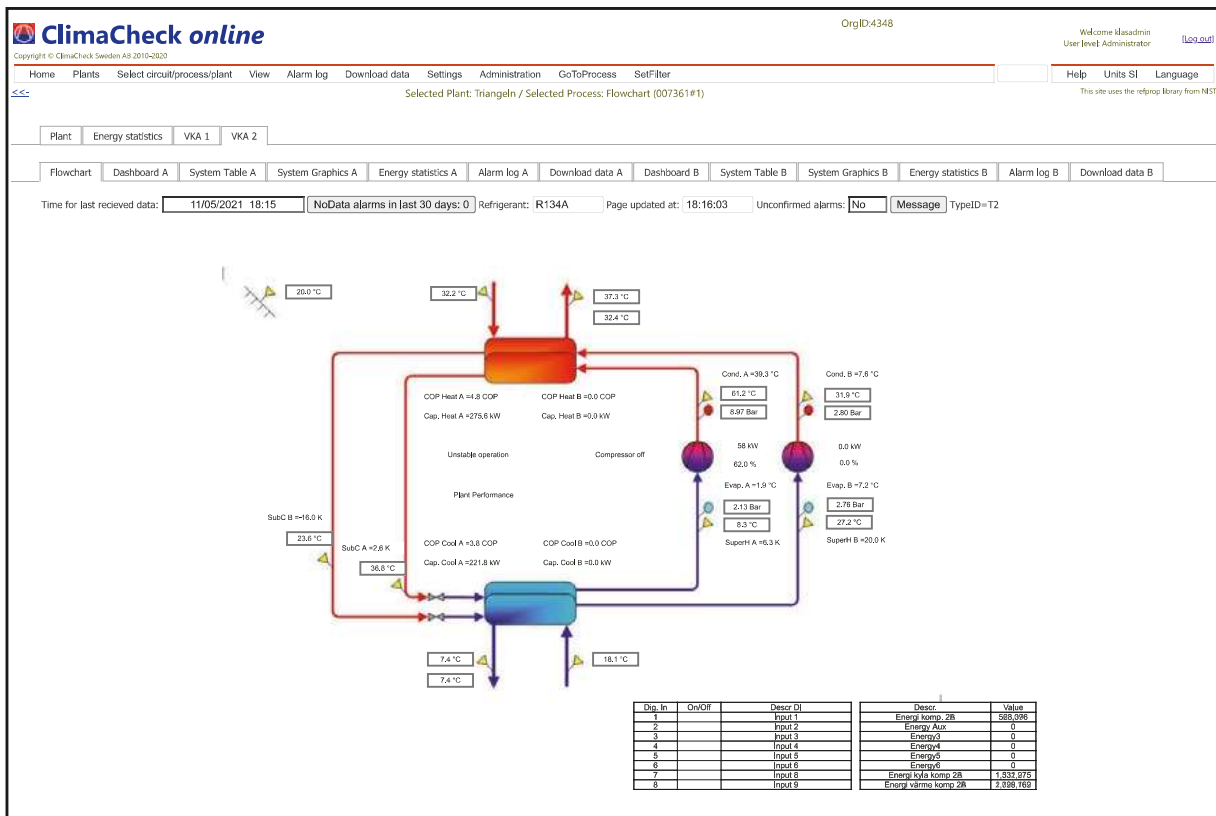


Bild X-7: Screenshots der Analyse-Software (Quelle: ClimaCheck online)

Die erforderlichen Messpunkte für Standardsysteme werden in der Grafik dargestellt:

- ▶ Temperatur und Druck am Eingang des Kompressors
- ▶ Temperatur und Druck am Kompressor Ausgang
- ▶ Temperatur des flüssigen Kältemittels vor dem Expansionsventil
- ▶ Aufgenommene elektrische Leistung des Verdichters bzw. der Verdichter.

Um den aktuellen Betriebszustand des Verdampfers und des Verflüssigers beurteilen zu können, werden die Ein- und Austrittstemperaturen der Luft- bzw. Flüssigkeitsseite gemessen. Diese insgesamt zehn Messpunkte lassen sich fast überall vor Ort einfach anschließen und sind bei nahezu allen kompressorbetriebenen Kältesystemen anwendbar.

Der zentrale Punkt der internen Methode ist die Energiebilanz des Kompressors und eine Reihe von Algorithmen auf der Grundlage der thermodynamischen Eigenschaften und Betriebscharakteristik des verwendeten Kältemittels.

Die thermischen Verluste sind im Verhältnis zur Gesamtleistungsaufnahme gering. Die begrenzten Auswirkungen der Variation wurden durch Asercom (2003) und Naumburg (1987) dokumentiert. So ergibt die Gleichung (44) eine gute Genauigkeit des Kältemittelmassenstroms.

Wie Tests mit hermetischen und halbhermetischen Verdichtern ohne externe Kühlung (Kopflüfter) zeigten, variieren die thermischen Verluste bei der großen Mehrheit der Kompressoren auf dem Markt zwischen 3 und 10 %. Ist der Verdichter isoliert bzw. mit einer Schalldämmhaube ausgestattet, betragen die Verluste nur ca. 2 bis 3 %. Wenn die Wirkleistung der gemessenen elektrischen Leistung ermittelt werden kann und die Wärmeverluste bekannt sind, dann ist der Massenstrom ebenfalls durch die Gleichung (44) bekannt.

$$\text{Massenstrom} = \frac{\text{Elektrische Leistung} - \text{Thermische Verluste}}{\text{Enthalpiedifferenz}} \quad (44)$$

Von der oben beschriebenen Energiebilanz (**Bild X-8**) und deren Enthalpien können alle erforderlichen Daten abgeleitet werden, einschließlich EER; COP, Leistungen und der isentrope Wirkungsgrad (Gütegrad) des Verdichters.

Das Verfahren wurde näher beschrieben durch Berglöf (Methods and Potential for Performance Validation of Air Conditioning, Refrigeration and Heat Pump

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

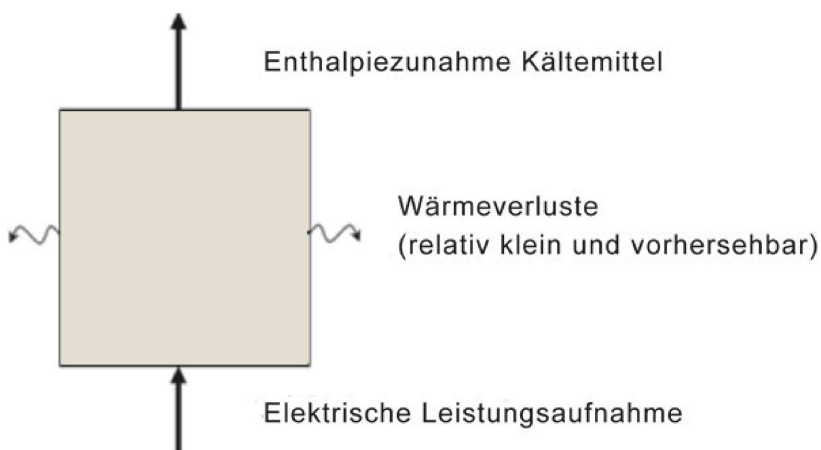


Bild X-8: Energiebilanz, unter Berücksichtigung der Wärmeverluste über dem Kompressor, ermöglicht die Berechnung des Massenstroms (Quelle: ClimaCheck online)

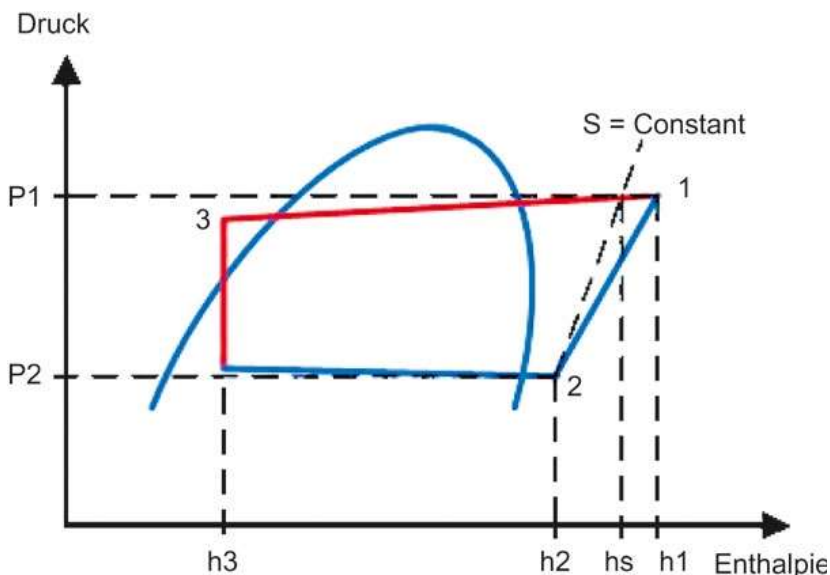


Bild X-9: Druck-Enthalpie-Diagramm des Kälteprozesses (Quelle: ClimaCheck online)

Systems, 2004; Methods and Potential for on-site Performance Validation of Air Conditioning, 2005 [94]), und Fahlén (Methods for commissioning and performance checking heat pumps and refrigeration equipment., 2004 [95]). **Bild X-9** verdeutlicht den Prozess im log-p-h-Diagramm.

$$\text{Kälteleistung} = \text{Massenstrom} \cdot (h_2 - h_3) \quad (45)$$

$$\text{Verflüssigerleistung} = \text{Massenstrom} \cdot (h_1 - h_3) \quad (46)$$

$$\text{Isentrope Effizienz} = \frac{(h_s - h_2) \cdot (1 - \text{Relative Wärmeverluste})}{h_1 - h_2} \quad (47)$$

$$\text{Relative Wärmeverluste} = \text{ca. } 0,97 \text{ bis } 0,9$$

Beispiel zur Problemerkennung

Für einen sicheren und effizienten Anlagenbetrieb ist es wichtig, schnell und effizient einen problembehafteten Anlagenbetrieb zu erkennen.

Moderne Monitoringsysteme ermitteln wichtige altbekannte und neuartige Beurteilungskriterien zur schnellen Problemerkennung.

Im Beispiel eines Dashboards (**Bild X-10**) erkennt man sehr schnell, dass die Hauptprobleme für die schlechte Effizienz beim Kompressor und bei dem Verflüssiger liegen. Dieser wird mit einer viel zu hohen Verflüssigungstemperatur betrieben.

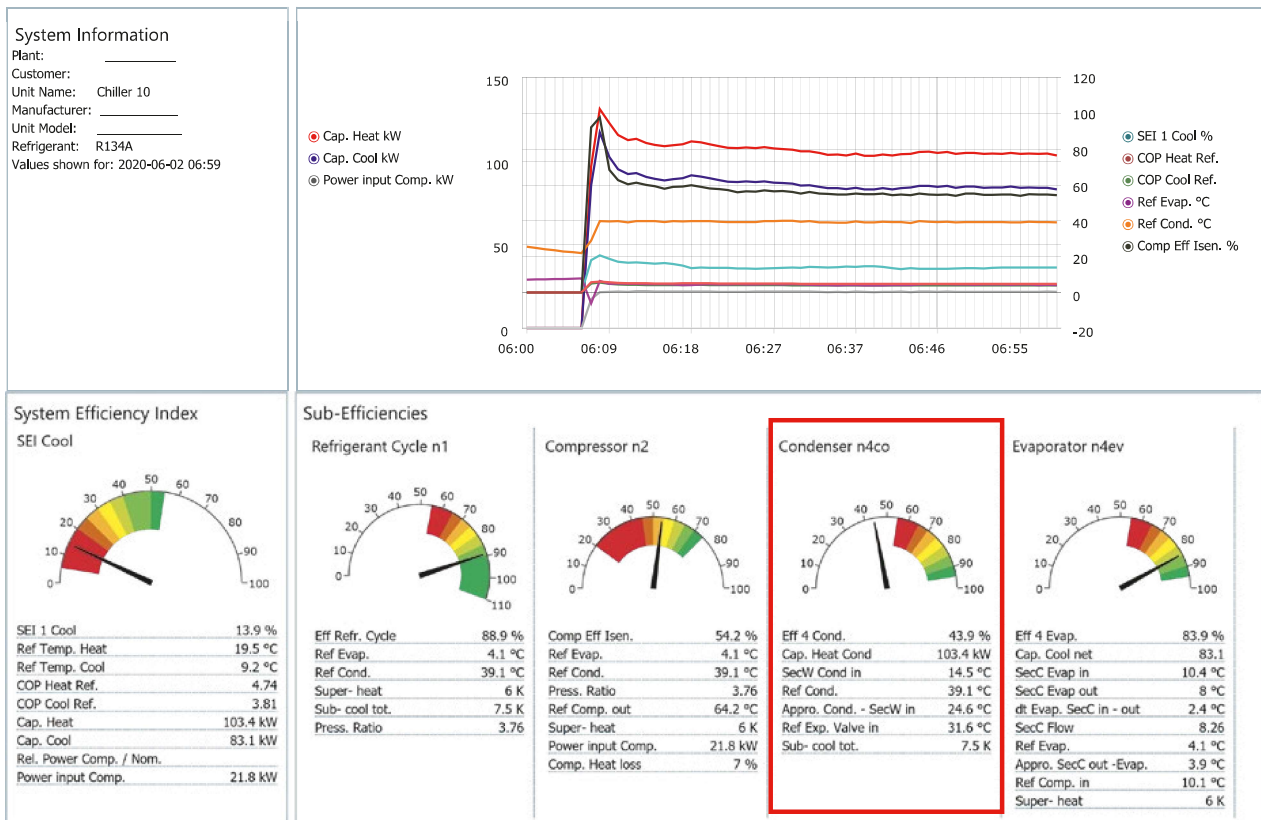


Bild X-10: Dashboard zeigt nicht nur die schlechte Gesamteffizienz des Kaltwassersatzes, sondern auch die Effizienz der Hauptkomponenten an (Quelle: ClimaCheck online)

3.4 Häufige Optimierungsmöglichkeiten

Zu tiefe Kaltwasservorlauftemperaturen

Kaltwassersätze und dementsprechend auch -netze werden häufig mit Kaltwasservorlauftemperaturen von 6 °C und Rücklauftemperaturen von 12 °C geplant.

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

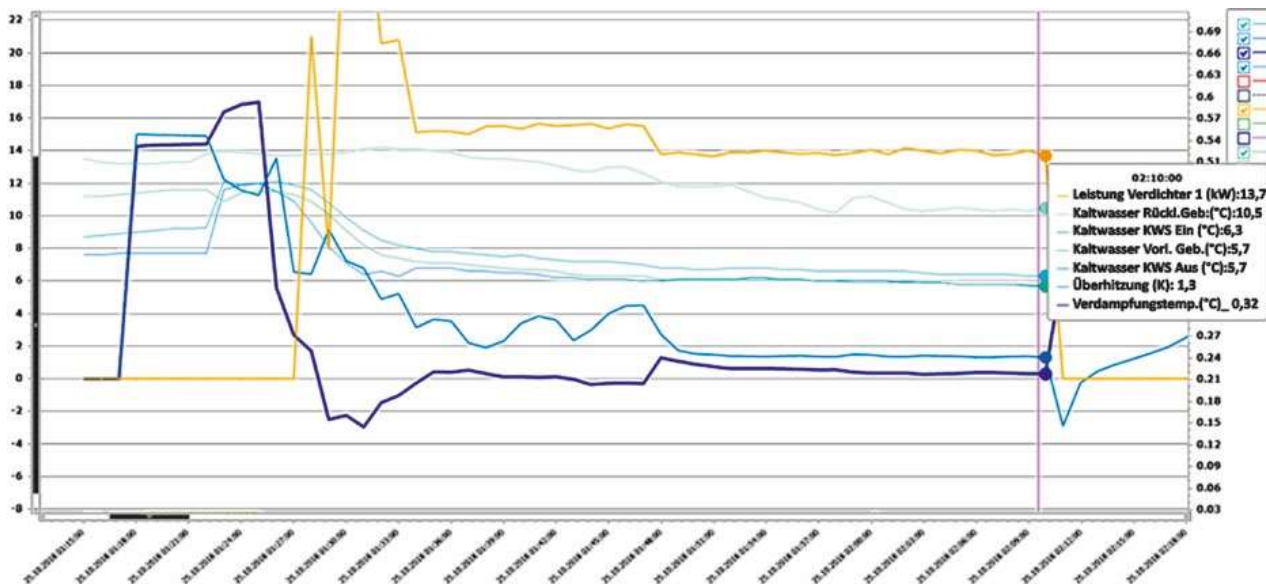


Bild X-11: Messung eines Schrauben-Kaltwassersatzes am Ende des Monats Oktober (Quelle: KlimaCheck-online)

Dies entspricht einer mittleren Luftkühleroberflächentemperatur von ca. 9 °C. Um es nochmal klarzustellen: Bei diesem Auslegungszustand handelt es sich um den maximalen Lastfall im Hochsommer!

Bild X-11 zeigt, der Kaltwassersatz ist für 43 min in Betrieb. Betrachtet man die Messwerte am Mauszeiger, so ist festzustellen, dass die Kaltwasservorlauftemperatur 6 °C und die Rücklauftemperatur 6,6 °C und damit die Spreizung nur 0,6 K beträgt. Im Einschaltmoment beträgt die Kaltwasservorlauftemperatur 10,9 °C und der Ausschaltzeitpunkt 5,7 °C.

Positiv ist hier zu erwähnen,

- ▶ dass die sekundärseitige Kaltwasserpumpe drehzahl geregelt ist und im Gebäude tatsächlich 2-Wege-Ventile verbaut sind, sodass die Drehzahl der sekundären Pumpe über die Druckdifferenz herunter geregelt werden kann. Man erkennt, dass die sekundäre Spreizung immer größer ist als die primäre. Dies ist bei dem Aufbau von klassischen Kaltwassernetzen notwendig, um eine Erhöhung der Vorlauftemperatur nach der Weiche zu verhindern.

Negativ ist in diesem Falle anzumerken,

- ▶ dass in der Anzeige des Kaltwassersatzes die Kaltwasservorlauftemperatur um 0,3 K höher lag; dies bedeutet einen erhöhten Energieverbrauch von ca. 1 %,

- dass die mittlere Kühleroberflächentemperatur der Luftkühler tiefer ist als die Kühleroberflächentemperatur im Sommer.

Grundsätzlich sollte hier über eine Anhebung der Kaltwasservorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur nachgedacht werden, um Energie zu sparen bzw. eine Freikühlung zu ermöglichen.

Überhitzungsprobleme

Zu geringe Überhitzung

Betrachtet man die gleiche Betriebssituation und legt den Fokus auf die Funktion des Einspritzventils, dann wird hier deutlich, dass das thermostatische Einspritzventil ein Problem verursacht (**Bild X-12**).

Betrachtet man den Verlauf der Überhitzung in der Betriebszeit, so sieht man, dass die Überhitzung innerhalb der Betriebszeit mit fallender Kühllast immer kleiner wird. Anfangs beträgt die Überhitzung ca. 7 K.

Ab 1:34 Uhr fährt der Schraubenverdichter mit 50 % Leistung. Gemäß der MSS-Linie-Theorie sinkt mit kleiner werdender Kältelast auch die Überhitzung. Nachdem die Überhitzung kleiner als 4 K wird (statische Überhitzung des Ventils ca. 4 K) wird die Überhitzung instabil.

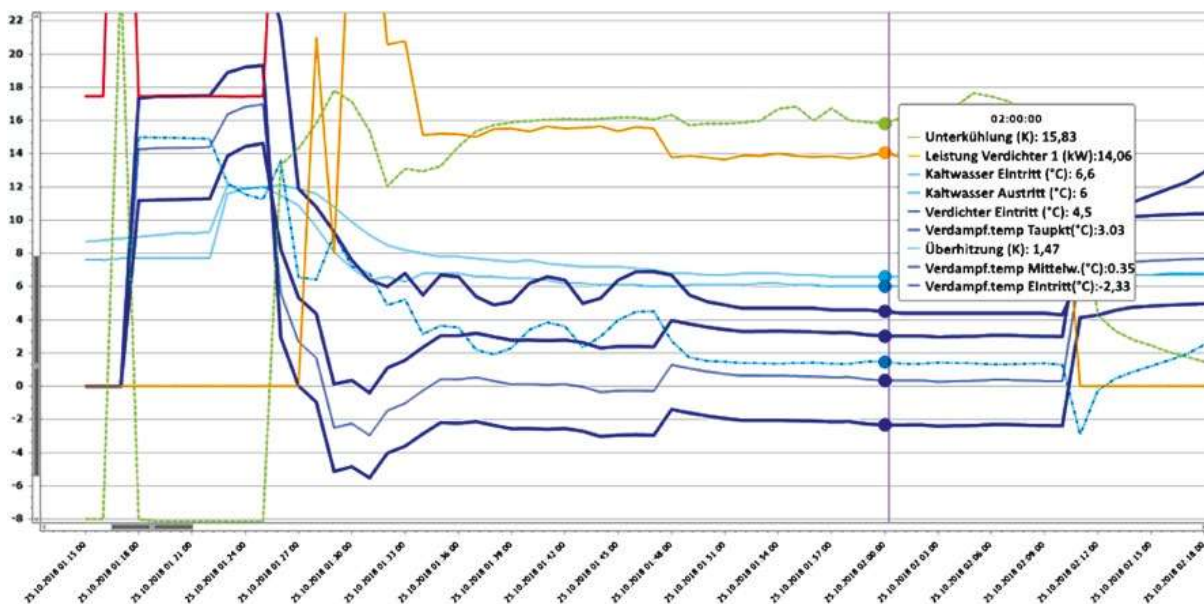


Bild X-12: Wichtigste Parameter, die für die Beurteilung der Funktion des Einspritzventils von Interesse sind (Quelle: ClimaCheck online)

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

Ab 1:47 Uhr fährt der Schraubenverdichter mit der kleinsten Leistungsstufe. Die Überhitzung in der langen Betriebsphase vor dem Abschalten beträgt nur ca. 1,5 K. Die Überhitzung ist stabil (flüssig). Es ist offensichtlich, dass flüssiges Kältemittel in den Verdichter gelangt, was zu einem mittelfristigen Ausfall auch eines sehr robusten Schraubenverdichters führt.

Die typischen Phasen des MSS-Modells zur Arbeitsweise eines Einspritzventils können hier beobachten werden.

In diesem Bild zeigt sich auch einer der entscheidende Nachteile eines Kältemittels mit großem Gleit: Während der gesamten Betriebszeit des Kaltwassersatzes liegt die Einspritztemperatur des Kältemittels immer im negativen Bereich.

Durch die Vergrößerung der Überhitzung wird die Verdampfungstemperatur weiter sinken. Dies führt in diesem Falle zu mittleren Verdampfungstemperaturen unter 0 °C in allen Lastphasen.

Zu große Überhitzung

Während eine zu kleine Überhitzung eine Gefahr für den Verdichter darstellt und somit die Betriebssicherheit reduziert ist eine zu große Überhitzung ein Problem für die Effizienz.

Bild X-13 zeigt einen noch relativ stabilen Betrieb eines Kaltwassersatzes über zweieinhalb Stunden. Betrachtet man die Überhitzung, so liegt diese im Schnitt bei

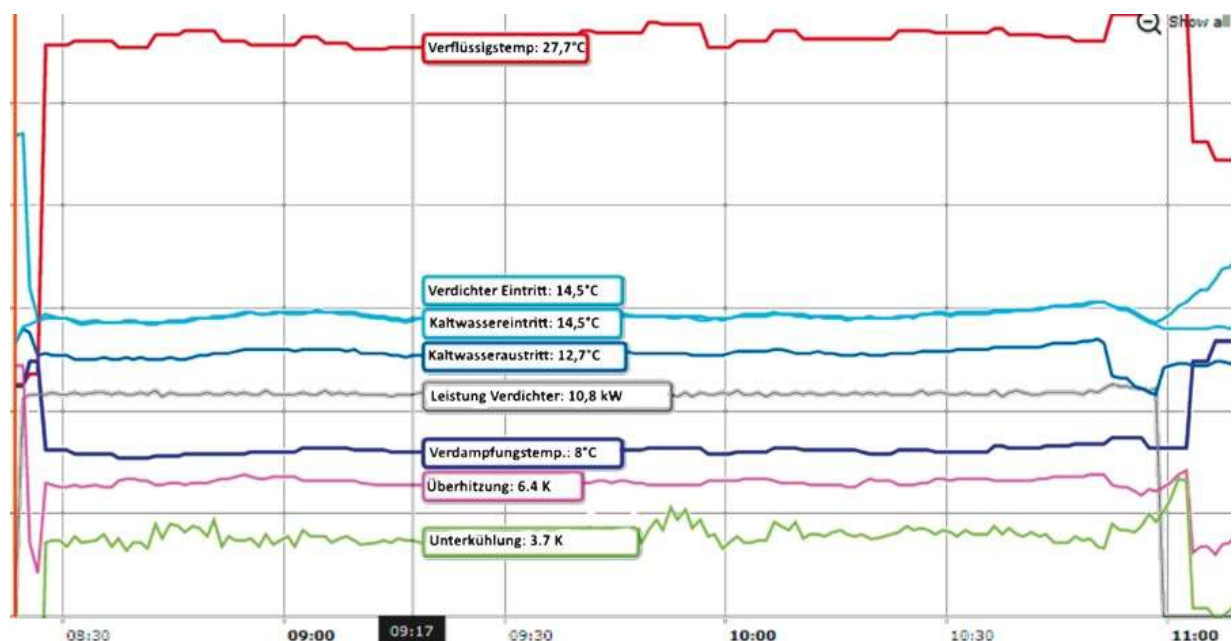


Bild X-13: Chart mit Fokus auf die Überhitzung (Quelle: ClimaCheck online)

ca. 6,5 K. Die Überhitzung erscheint im normalen Bereich und der Kältetechniker wird wahrscheinlich mit der Gesamtsituation zufrieden sein. Jedoch beträgt die Spreizung zwischen Verdampfeintritts- und -austrittstemperatur des Kaltwassers in diesem Betriebspunkt nur 1,8 K. Dem Fachmann ist klar, dass der Kaltwassersatz hier in Teillast fährt, denn in Vollast liegt die geplante Spreizung normaler Weise bei 5 bzw. 6 K.

Die Verdampfungstemperatur wird in diesem Falle nicht durch die Größe des Wärmetauschers begrenzt, sondern durch die zu hohe Überhitzungseinstellung des Einspritzventils. Woran man dies gut erkennen kann ist, dass die Eintrittstemperatur des Kaltwassers gleich der Eintrittstemperatur des Kältemittels in den Verdichter ist.

Wird die Überhitzungseinstellung entsprechend angepasst so kann die Verdampfungstemperatur um ca. 2 K angehoben werden, dies führt zu einer Steigerung der Energieeffizienz um 6 bis 8 %.

Die statische Überhitzung liegt bei den meisten kleineren Einspritzventilen zwischen 3 und 4 K. Ohne genauere Kenntnis des speziellen Typs sollte man von 4 K ausgehen. Durch das dauerhafte Monitoring kann die Funktion des Einspritzventil in allen Betriebssituationen überwacht werden. Entsteht ein Problem in Zusammenhang mit dem Einspritzventil kann dies durch eine entsprechende Alarmfunktion überwacht werden.

Schlechte Verdampfereffizienz

Bild X-14 zeigt den Chart mit Fokus auf die Verdampfereffizienz.

Aus der vorhergehenden Feststellung im Abschnitt „Zu große Überhitzung“ wird klar, dass die Effizienz des Verdampfers nur gesteigert werden kann, wenn die Überhitzung entsprechend nachjustiert wird.

Die Verdampfereffizienz ist ein wichtiger Indikator für die Optimierung eines Kältesystems anhand der Kältetechnischen Parameter und für die Notwendigkeit einer chemischen oder mechanischen Reinigung. Durch zunehmende Verschmutzung des Verdampfers sinkt die Wärmetauschereffizienz. Dies kann durch ein Monitoring entsprechend alarmiert werden.

Zu hohe Verflüssigungstemperaturen

In diesem Beispiel handelt es sich um einen Kaltwassersatz mit luftgekühltem externem Verflüssiger in der Abluft der zentralen raumluftechnischen Anlage des Hauses. Die Lufttemperatur der Abluft liegt relativ konstant bei ca. 20 °C. Wir

X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

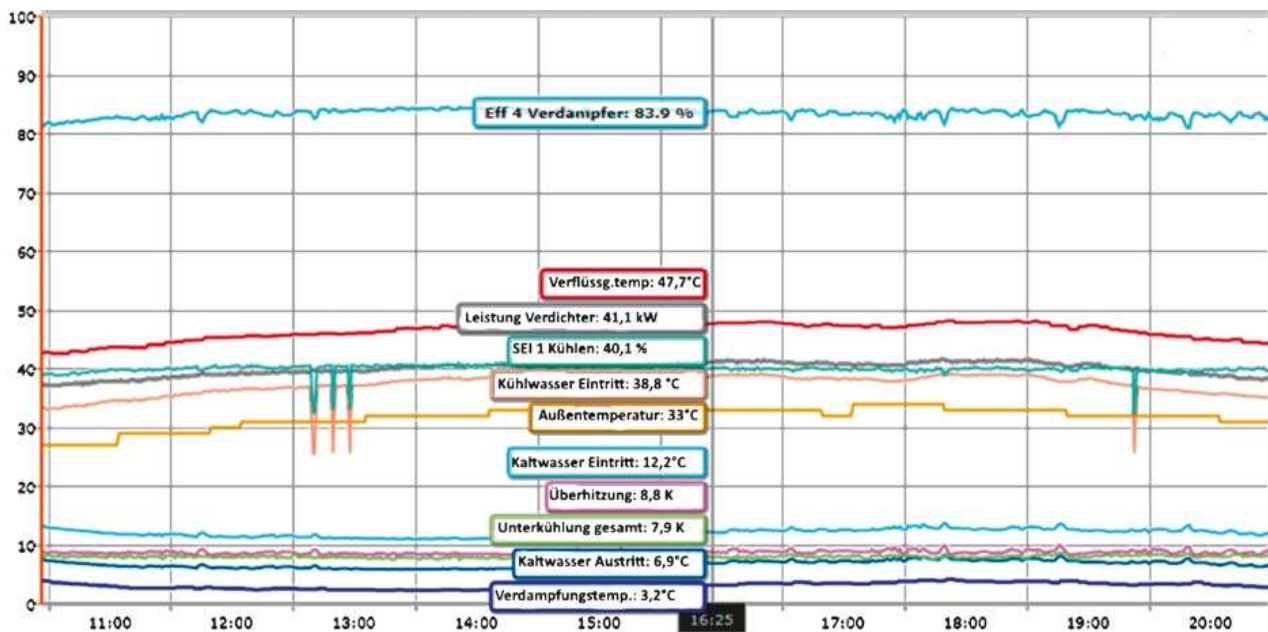


Bild X-14: Chart mit Fokus auf die Verdampfereffizienz (Quelle: ClimaCheck online)

befinden uns im starken Teillastbetrieb. Die Schraube arbeitet mit minimaler Last. Betrachtet man die Leistungsaufnahme der verbauten Radiallüfter so stellt man fest, dass diese mit 14.31 kW teilweise höher ist als die Leistungsaufnahme des Schraubenverdichters bei minimaler Last (**Bild X-15**). Der verbaute Radiallüfter

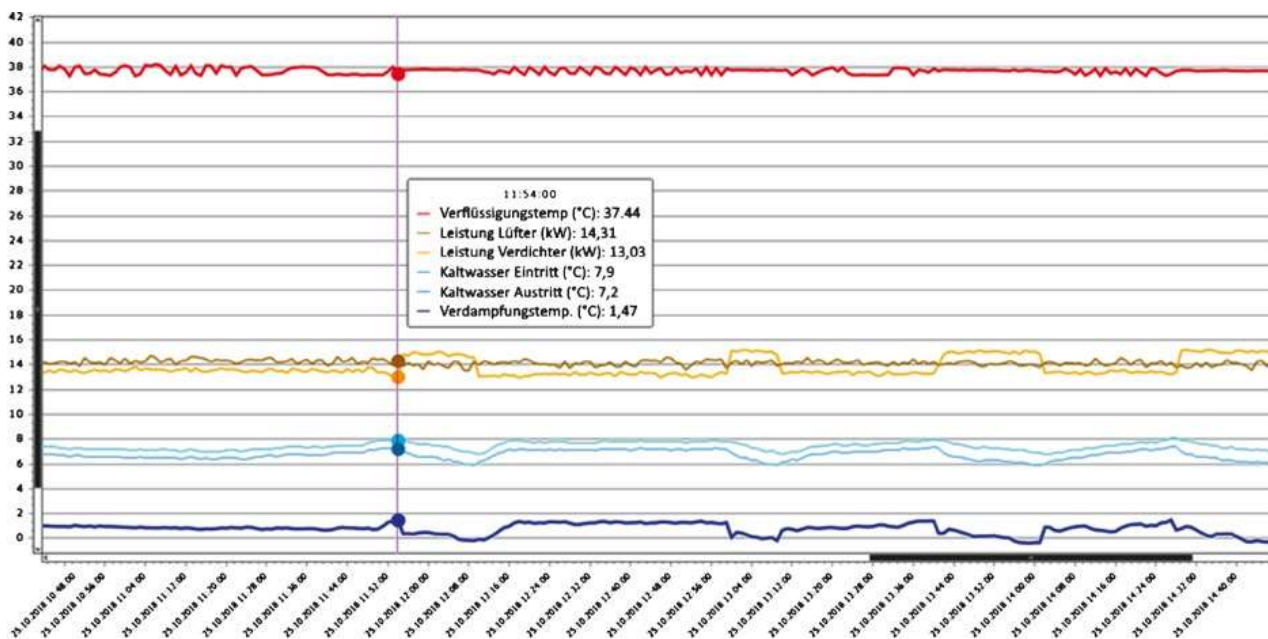


Bild X-15: Chart mit Fokus auf die hohe Verflüssigungstemperatur bei einer Ablufttemperatur von ca. 20 °C (Quelle: ClimaCheck online)

ist drehzahlregelt, läuft aber mit maximaler Drehzahl. Der Fachmann wird sich fragen, warum es trotz hoher anteiliger Lüfterleistung zu so hohen Verflüssigungstemperaturen kommen kann.

Das verbaute Hauptventil mit aufgebauten Piloten zur Verflüssigungsdruckregelung ist die Ursache für die hohe Verflüssigungstemperatur. Dieses wurde auf eine Verflüssigungstemperatur von 38 °C eingestellt. Die Lüfterregelung ist auf einen wesentlich tieferen Wert von 30 °C eingestellt. Infolgedessen drehen die Verflüssigerlüfter hoch, um den gewünschten Sollwert zu schaffen. Die Folge ist, dass

- ▶ das Hauptventil den luftgekühlten Verflüssiger zu staut,
- ▶ sich eine große Kältemittelmenge im Verflüssiger befindet,
- ▶ nach dem Hauptventil ein großer Druckabfall stattfindet,
- ▶ keine Unterkühlung vorhanden ist,

Monitoren und optimieren Sie Ihre Kaltwassersätze und Kaltwassernetze!



Vielversprechend!
Erfahrungsgemäß sparen Sie beim Monitoring und der Optimierung Ihrer Kälteanlagen zwischen 10 und 20% Energie und CO₂-Emissionen ein.



X. Inbetriebnahme und Instandhaltung

- ▶ sich im Sommer das Kältemittel in Richtung Verdampfer verlagert und der Verflüssigerlüfter eine sehr hohe anteilige Leistungsaufnahme verursacht,
- ▶ der Kaltwassersatz ganzjährig mit einem schlechten EER betrieben wird.



Dieses Kapitel ist im Mitgliederbereich (www.tga-lars-keller.de) zusätzlich als PDF mit vergrößerten Diagrammen verfügbar, um eine bessere Lesbarkeit zu ermöglichen.