

Ein äußerst effizientes Kältesystem der Megawattklasse

Aus dezentral wird zentral

Im Jahr 2015 wurde die Firma Duschl Ingenieure aus Rosenheim für die Konzeption und Planung der neuen Kälteversorgung der Firma Ecoform Multifol Verpackungsfolien GmbH & Co. KG, Tochter der Südpack Verpackungen GmbH & Co. KG, beauftragt. Jetzt ist das Ganze fertig.

Vor Umsetzung der Maßnahme erfolgte die Kälteversorgung von Produktionsmaschinen und Klimaanlagen des Auftraggebers, wie in der Branche üblich, über mehrere Kältemaschinen, die dezentral bei den jeweiligen Kälteverbraucher im zugangsbegrenzten Produktionsbereich lokalisiert waren. Einige dieser Kältemaschinen hatten bereits ihre zu erwartenden Lebensdauern erreicht oder überschritten.

Beim Rückkühlnetz handelte es sich um ein sanierungsbedürftiges, offenes System. Jede Produktionsmaschine wurde mit nur jeweils einer der dezentralen Kältemaschinen versorgt. Das bedeutete bei Ausfall, Wartung oder Reparatur der Kältemaschinen entweder den teuren Produktionsstillstand oder das aufwendige Beschaffen einer Ersatzkälteanlage. Zusätzlich waren neue Kälteverbraucher in Planung, sodass die Erneuerung der Kälteversorgung in einer Größenordnung von etwa drei Megawatt (MW) angedacht wurde. Hierzu wurde die Firma Duschl Ingenieure aus Rosenheim vorerst mit der Konzeption beauftragt.

Für die Erstellung des Konzepts wurden verschiedene Umsetzungsvarianten technisch und wirtschaftlich ausgewertet und verglichen. Ein Ergebnis der Untersuchungen war, dass statt der wie bisher eingesetzten dezentralen Kältemaschinen eine Kältezentrale mit Verteilnetz umgesetzt werden sollte. Dies bietet Vorteile bei den Produktionsprozessen, da die Kältemaschinen nun außerhalb des zugangsbegrenzten Produktionsbereichs in einer eigenen Kältezentrale untergebracht sind und damit deren Wartung und Reparatur außerhalb des Produktionsbereichs durchgeführt werden können.

Vorteilhafterweise steht mit der Auslagerung der Kälteerzeugung auch zusätzlicher Platz im Produktionsbereich zur Verfügung. Zur Verbesserung der Ausfallsicherheit lässt sich der Aufbau einer zentralen Kälteanlage mit vergleichsweise geringem Aufwand so gestalten, dass möglichst viele der ausfallgefährdeten Komponenten redundant vorhanden sind.

Ein weiteres, dem Bauherrn besonders wichtiges Kriterium für die Umstellung auf eine zentrale Kälteversorgung, waren signifikante Vorteile bei der Energieeffizienz und weiteren Umweltauswirkungen. So können bei einem zentralen Kältesystem wenige große Kältemaschinen statt vieler kleiner Aggregate eingesetzt werden, womit sich aufgrund von Skaleneffekten effizientere Maschinen mit besseren EER-Werten sowie umweltfreundlicheren Kältemitteln ein-

setzen lassen. Auch freie Kühlung und Wärmerückgewinnung lassen sich zentral mit wesentlich geringerem Aufwand umsetzen und bieten damit ein hohes Potenzial zur Einsparung von Energie für die Kältebereitstellung und die Wärmebereitstellung.

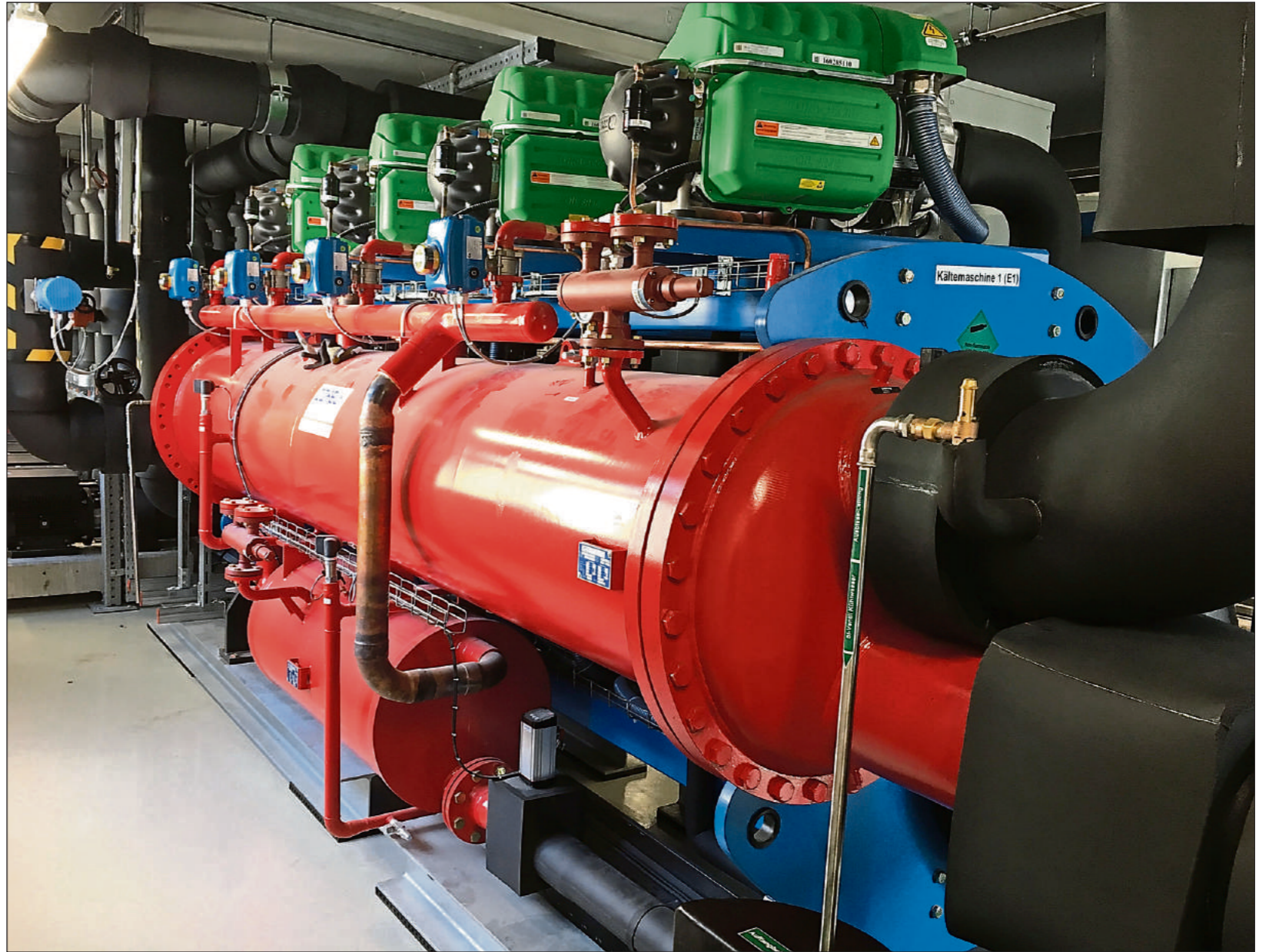
Um schon während der Konzeptphase weitere Stellschrauben für einen energieoptimierten Betrieb des Gesamtsystems in seinen wesentlichen Betriebspunkten zu ermitteln, wurden diese mithilfe von mathematischen Modellen für die Hauptkomponenten simuliert und iterativ analysiert. Wie sich herausstellte machen die Nebenaggregate, wie Pumpen und Ventilatoren, in Betriebszuständen nahe dem Auslegungsfall bei hohen Außentemperaturen, die nur wenige Stunden im Jahr auftreten, wie üblich nur etwa zehn bis 20 Prozent des Gesamtenergiebedarfs des Kältesystems aus.

Dieser niedrige Anteil ist der Grund, warum Nebenaggregate in zentralen Kältesystemen üblicherweise gar nicht oder nur sehr einfach geregelt werden. Die Ergebnisse der Simulation zeigten allerdings auch, dass im häufigsten zu erwartenden Betriebsfall der Kältemaschinen, rund 3000 Stunden im Jahr, die Nebenaggregate bei üblichen Regelstrategien in Kombination mit Kältemaschinen mit entsprechend gutem Teillastverhalten mehr als 50 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen. Folglich wurde die Optimierung des Betriebs der Nebenaggregate in diesem Projekt als maßgeblich für die Gesamteffizienz eingestuft.

Aufgeteilt auf zwei gleiche Kältemaschinen

Vor diesem Hintergrund werden die Verbraucherpumpen nach dem Differenzdruck an einem je nach Lastsituation variierenden Schwellenwert geregelt. So wird sichergestellt, dass die Verbraucherpumpen nur den Druck und Volumenstrom zur Verfügung stellen, der aktuell benötigt wird. Die Erzeugerkreis-pumpen und Kältemaschinen werden nach dem Volumenstrom und den Systemtemperaturen im Verbraucherkreis geregelt. Die Rückkühlkreispumpen und die Ventilatoren der Rückkühler, welche nach den Kältemaschinen die höchsten elektrischen Anschlussleistungen haben, werden nach der tatsächlich anfallenden Rückkühlleistung geregelt.

Das Kältesystem ist mit einer Erzeugerleistung von 2920 kW, aufgeteilt auf zwei technisch gleiche



Kältemaschine mit magnetgelagerten Turboverdichtern und klimafreundlichem Kältemittel.

FOTOS: DUSCHL INGENIEURE

Kältemaschinen der Firma ENGIE Refrigeration, ausgestattet. Jede der Maschinen arbeitet mit vier hocheffizienten, ölfreien Turboverdichtern, deren Antriebswellen frei schwebend magnetgelagert sind. In den Kältemaschinen wird das zum Planungszeitpunkt (2015) noch neuartige Kältemittel R1234ze mit niedrigem Treibhausgaspotenzial eingesetzt.

Über das neu installierte Verteilnetz werden Folienextrusionsmaschinen, Kälteerzeuger von Lüftungsanlagen, Umluftkühlgeräte und Schaltschränke mit Kälte versorgt. Es wurde das für den Betrieb der Verbraucher höchstmögliche Temperaturniveau eruiert und eine sinnvoll umsetzbare Temperaturspreizung von 10°C/16°C ermittelt. Gegenüber den üblichen 6°C/12°C werden hierdurch niedrigere Verluste der Verteilungen, ein höherer Freikühlanteil und eine höhere Effizienz der Kältemaschinen erreicht. Die Anbindung der Verbraucher wurde so konzipiert, dass die Einhaltung der Temperaturspreizung von sechs Kelvin nicht gefährdet wird. Hiermit kann die Pumpenleistung, besonders im Teillastfall, reduziert werden. Da sämtliche Systemkomponenten nach dem aktuellen Bedarf der Verbraucher geregelt werden und durch die Größe des Systems nennenswerte Totzeiten zwischen Kälteerzeugung und Kälteverbrauch entstehen, sorgt ein Kältepufferspeicher mit etwa 15 Kubikmetern Fassungsvermögen für die nötige Leistungspufferung.

Systemübergreifende Optimierung

Die Rückkühlung der Kältemaschinen kann entweder über eine Wärmerückgewinnung oder vier trockene Rückkühler der Firma Evapco mit jeweils 14 Einzelventilatoren erfolgen. Diese haben im Auslegungsfall eine Gesamtleistung von 4200 kW. Für einen effizienten Teillastbetrieb können einzelne Kühltürme vom System getrennt werden und die Ventilator-drehzahlen werden außentemperaturgeführt auf die Austrittstemperaturen der Kühltürme geregelt. Es können bis zu 1500 kW mit einem Temperaturniveau von bis zu

50 Grad Celsius aus dem Rückkühlnetz für die Wärmerückgewinnung ausgekoppelt werden.

Bei kälteren Außentemperaturen ist eine Freie Kühlung über die Rückkühlwerke mit bis zu 1600 kW Kälteleistung vorgesehen. Diese kann zur Vorkühlung vor den Kältemaschinen oder als alleiniger Kälteerzeuger eingesetzt werden.

Der Aufbau des Kälteversorgungssystems ist so konzipiert, dass in den Übergangsjahreszeiten eine der Kältemaschinen im Wärmerückgewinnungsbetrieb laufen kann, während die in Reihe geschaltete Freie (Vor-)Kühlung und die zweite Kältemaschine die restliche nicht benötigte Abwärme an die Umgebung abführen.

Sehr hohe Installationsdichte

Der eigentliche Clou des Projekts bestand also in der systemübergreifenden Optimierung aller Parameter auf eine hohe Gesamtenergieeffizienz, ohne den Produktionsprozess negativ zu beeinflussen. Dies war nur durch das intensive und iterative Zusammenwirken mit der Produktion und den Anlagenherstellern möglich. Bei der Auslegung der einzelnen Anlagenteile, wie beispielsweise Kältemaschinen, Rückkühler, Komponenten des Verteilnetzes sowie deren Regelung, wurde immer die Rückwirkung der jeweiligen Optimierung auf das Gesamtsystem einschließlich der Produktionsmaschinen berücksichtigt. Schließlich wurde die Firma Duschl auch mit der Ausführungsplanung der Kältezentrale beauftragt, wobei die vorgegebene räumliche Situation eine sehr hohe Installationsdichte erforderte. Die Planung erfolgte in einem 3-D Modell, sodass unter anderem nötige Wartungsflächen bestmöglich berücksichtigt werden konnten.

Das Kälteversorgungssystem ist seit Mai 2017 in Betrieb und wird seit Juli 2017 vollständig messtechnisch erfasst, wobei die Kälteleistung der ersten Ausbaustufe noch nicht vollständig ausgeschöpft wird. Das Gesamtsystem hat im Zeitraum von Dezember 2017 bis November 2018 eine Strommenge von 890 MWh verbraucht und damit 5680 MWh Kälte über das Verteilnetz bereitgestellt. Damit ergibt

sich eine Gesamtsystemarbeitszahl von 6,4 – und das im, laut Deutschem Wetterdienst (DWD), heißesten Jahr seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Es sind dabei alle elektrischen Verbräuche des Gesamtsystems von den Rückkühlventilatoren über die Kältemaschinen bis hin zu den Verbraucher-pumpen inklusive der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie der Verbrauch in Standby-Zeiten und die Verluste über den Kältespeicher enthalten.

Die oben genannte Gesamtsystemarbeitszahl ist nicht mit der üb-

sorgt werden können. In Summe werden rund 3000 Tonnen CO₂-Äquivalente an Emissionen pro Jahr vermieden.

Besonders hervorzuheben ist, dass ein Großteil der genannten Einsparungen aufgrund der optimierten Betriebsweisen der Nebenaggregate zustande kommt, die keine nennenswerten Mehrinvestitionen für den Bauherrn bedeuteten. Leider wird in der Praxis allzu oft bei der energetischen Optimierung eines Kältesystems nur die zentrale Kälteerzeugung mit einem hohen investiven Aufwand ausgetauscht.



Rückkühler.

licherweise bei Kältemaschinen angegebenen Jahresarbeitszahl (SEER) vergleichbar, da hier unter anderem lediglich der Stromverbrauch der Kältemaschine ohne Kaltwasserverteilung angesetzt wird. Vergleichbare Kältesysteme für die Kunststoff- und Gummiindustrie, welche Extrusionsprozesse verwenden, werden in der Studie *Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie*, die im Jahr 2014 vom Umweltbundesamt herausgegeben wurde, mit realistischen Gesamtsystemarbeitszahlen von 2,0 bewertet. Gegenüber diesem Wert liefert das hier vorgestellte System Einsparungen von nahezu 70 Prozent beim elektrischen Energieaufwand.

Mit der ersten Ausbaustufe sollen mit diesem System in Zukunft rund 10 500 MWh Kälte und etwa 5600 MWh Wärme aus Wärmerückgewinnung pro Jahr bereitgestellt werden. Das bedeutet, dass mit der eingesparten Strommenge rund 800 Haushalte mit je 4000 kWh Strom und mit der eingesparten Gasmenge etwa 400 Haushalte mit je 15 000 kWh Gas jährlich ver-

Dieses Projekt zeigt aber, dass mit dem entsprechenden Know-how, erhöhtem Aufwand beim Engineering und mit vergleichsweise geringem finanziellem Aufwand für den Bauherrn zusätzliche hohe Energieeinsparungen bei der Kälteversorgung möglich sind.

Die Industrie benötigt derzeit rund zehn bis 15 Prozent der elektrischen Energie für die Kältebereitstellung – Tendenz steigend. Damit besteht für diesen Energiebedarf weiterhin ein hohes Optimierungspotenzial für die Zukunft; zumal steigende Energiepreise zu erwarten sind.

> ANDREAS DUSCHL,
PHILIPP HELMGENS



Intelligente Regelung spart Pumpenstrom.

KOOPERATION Kein Ding ohne ING

In Zusammenarbeit mit der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau stellt die Bayerische Staatszeitung auf einer Sonderseite in regelmäßigen Abständen spannende Projekte von Mitgliedern der Ingenieurkammer-Bau vor.