



Mit dem Chillventa-Award 2018 in der Kategorie Großkälte prämierte Kältetechnik

AUF HOCH-EFFIZIENZ OPTIMIERTES KÄLTESYSTEM DER MEGA-WATTKLASSE

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.

Handlungsbedarf

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 Kälteverbrauchern im zugangsbegrenzten Produktionsbereich lokalisiert waren. Einige dieser Kältemaschinen hatten bereits ihre zu erwartenden Lebensdauern erreicht oder überschritten. Beim Rück-

kühlnetz 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 aufwändige Beschaffen einer Ersatzkälteanlage. Zusätzlich waren neue Kälteverbraucher in Planung, sodass die Erneuerung der Kälteversorgung in einer Größenordnung von etwa 3 MW angestoßen wurde. Hierzu wurde die Firma Duschl Ingenieure aus Rosenheim vorerst mit der Konzeption beauftragt.

Vorteilhaft – aus dezentral wird zentral

Für die Erstellung des Konzeptes 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 Produktionsbereiches in einer eigenen Kältezentrale untergebracht sind und damit deren Wartung und Reparatur außerhalb des Produktionsbereiches 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 auf Grund von Skaleneffekten effizientere Maschinen mit besseren EER-Werten, sowie umweltfreundlicheren Kältemitteln, einsetzen 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.

Teillast – Betriebsoptimierung Nebenaggregate

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 10 bis 20 % 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, ca. 3.000 h im Jahr, die Nebenaggregate bei üblichen Regelstrategien in Kombination mit Kältemaschinen mit entsprechend gutem Teillastverhalten mehr als 50 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen. Folglich wurde die Optimierung des Betriebs der Nebenaggregate in dieses Projekt als maßgeblich für die Gesamteffizienz eingestuft. Vor diesem Hintergrund werden die Verbraucherpumpen nach dem Differenzdruck an einem je nach Lastsituation variierenden Schwellenwert geregelt. So wird sichergestellt, dass die Verbrauchernetzpumpen nur den Druck und Volumenstrom zur Verfügung stellen, der aktuell benötigt wird. Die Erzeugerkreisumpen und Kältemaschinen werden nach dem Volumenstrom und den Systemtemperaturen im Verbraucherkreis geregelt. Die Rückkühlkreisumpen und die Ventilatoren der Rückkühler, welche nach den Kältemaschinen die höchsten elektrischen Anschlussleistungen haben, werden nach der tatsächlich anfallenden Rückkühlleistung geregelt.



Kältebereitstellung mit bedarfsgerechtem Verteilsystem

Das Kältesystem ist mit einer Erzeugerleistung von 2.920 kW, aufgeteilt auf zwei technisch gleiche Kältemaschinen der Fa. 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 (GWP = 7, vgl. Standard-Kältemittel R134a: GWP = 1.430). Über das neu installierte Verteilsystem werden Folienextrusionsmaschinen, Kälteregister 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 Verteilleitungen, ein höherer Freikühlanteil und eine höhere Effizienz der Kältemaschinen erreicht. Die Anbindung der Verbraucher wurde so konzipiert, dass die Einhaltung der Temperaturspreizung von 6 K 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 m³ Fassungsvermögen für die notwendige Leistungspufferung.

Wärmerückgewinnung und Freie Kühlung

Die Rückkühlung der Kältemaschinen kann entweder über eine Wärmerückgewinnung oder vier trockene Rückkühler der Fa. Evapco mit jeweils 14 Einzelventilatoren erfolgen. Diese haben im Auslegungsfall eine Gesamtleistung von 4.200 kW. Für einen effizienten Teillastbetrieb können einzelne Kühltürme vom System getrennt werden und die Ventilatorrehzahlen werden außentemperaturgeführt auf die Austrittstemperaturen der Kühltürme geregelt. Es können bis zu 1.500 kW mit einem Temperaturniveau von bis zu 50 °C aus dem Rückkühlnetz für die Wärmerückgewinnung ausgekoppelt werden. Bei kälteren Außentemperaturen ist eine Freie Kühlung über die Rückkühlwerke mit bis zu 1.600 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.

Ganzheitliche Systembetrachtung und enge Zusammenarbeit

Der eigentliche Clou des Projektes 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 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 Fa. Duschl auch für die Ausführungsplanung der Kältezentrale beauftragt, welche dann auch mit der erforderlichen Voraussicht zu einer sehr hohen Installationsdichte im Bestand führen konnte ohne die Wartbarkeit zu gefährden.

Messdatenauswertung bestätigt Hocheffizienz

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 5.680 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-
netzpumpen inklusive der Mess-, Steuer- und Rege-
lungstechnik, sowie der Verbrauch in Standby-Zeiten
und die Verluste über den Kältespeicher enthalten.
Die o. g. Gesamtsystemarbeitszahl ist nicht mit der
üblicherweise bei Kältemaschinen angegebenen Jah-
resarbeitszahl (SEER) vergleichbar, da hier lediglich der
Stromverbrauch der Kältemaschine ohne Kaltwasser-
verteilung, etc. angesetzt wird. Vergleichbare Kältesys-
teme 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 % beim elektrischen Energieaufwand.

Ökologische und wirtschaftliche Vorteile laufen Hand in Hand

Mit der ersten Ausbaustufe sollen mit diesem System
in Zukunft ca. 10.500 MWh Kälte und ca. 5.600 MWh
Wärme aus Wärmerückgewinnung pro Jahr bereitge-
stellt werden. Das bedeutet, dass mit der eingesparten
Strommenge ca. 800 Haushalte mit je 4.000 kWh
Strom und mit der eingesparten Gasmenge ca. 400
Haushalte mit je 15.000 kWh Gas jährlich versorgt
werden können. In Summe werden ca. 3.000 Tonnen
CO₂-Äquivalente an Emissionen pro Jahr vermieden.
Besonders hervorzuheben ist, dass ein Großteil der
genannten Einsparungen auf Grund 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 Kälte-
systems nur die zentrale Kälteerzeugung mit einem
hohen investiven Aufwand ausgetauscht. Dieses Pro-
jekt 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 ca. 10–15 % der elektrischen Ener-
gie für die Kältebereitstellung – Tendenz steigend.
Damit besteht für diesen Energiebedarf weiterhin ein
hohes Optimierungspotenzial für die Zukunft; zumal
steigende Energiepreise zu erwarten sind.

Autor:

Philipp Helmgens, Projektingenieur, Konzept

Weitere Beteiligte bzw. Ansprechpartner
bei Duschl Ingenieure:

Stefanie Aicher, Projektassistenz

Christoph Winkler, Projektingenieur, Konzept

Andreas Schindecker, Projektingenieur, Planung

Christian Biebl, Planung

Thomas Hopf, MSR Planung

Duschl Ingenieure GmbH & Co. KG

Beratende Ingenieure für

Technische Ausrüstung + Energietechnik

Äußere Münchener Straße 130, 83026 Rosenheim

T: +49 (0) 8031 243 - 0

F: +49 (0) 8031 243 - 1

info@duschl.de, www.duschl.de