

Kälteerzeugung

Potenziale zur Energieeinsparung

Anlagentechnik optimieren und Energieverbrauch senken

In den meisten Betrieben in Industrie und Gewerbe sind Anlagen zur Kälteerzeugung im Einsatz. Denn Kälte wird für verschiedene Fertigungsprozesse, zur dauerhaften Lagerung von verderblichen Gütern sowie zur Klimatisierung von Büro- und Fertigungsräumen, vielfach auch für EDV-Räume benötigt. Es lohnt sich, die dafür eingesetzte Technik genauer zu überprüfen. Denn der Bereich der Kälteerzeugung bietet eine Reihe von Ansatzpunkten zur energetischen Optimierung.

Der Energiebedarf der Kälteerzeugung ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Kältemittel
- Temperaturniveau von Kälte­träger und Kühlmedium
- Temperaturspreizung von Kälte­träger und Kühlmedium
- Anlagen- und Verdichtertyp

Es kommt darauf an, die beste Abstimmung von Anlagentechnik, Kältemittel und Kühlmedium auf die gegebenen und die jeweils benötigten Temperaturverhältnisse zu erreichen. Zusätzlich sind begleitende Maßnahmen wie beispielsweise die Verbesserung der Wärmedämmung ratsam. Mit gezielten Anpassungen und Investitionen lässt sich der Energiebedarf für die Kälteerzeugung senken und somit können die Energiekosten des Betriebs deutlich reduziert werden.

Den Kältebedarf minimieren

Um den Energiebedarf für die Kälteerzeugung in einem Betrieb zu senken, sollten nicht nur die dafür eingesetzten Anlagen optimiert werden. Wichtig ist auch, den Kältebedarf durch begleitende Maßnahmen zu reduzieren. Ein grundlegender Aspekt ist die Verbesserung der Wärmedämmung, insbesondere die Isolierung von Kühlräumen. Optimierungspotenzial besteht bei dem verwendeten Dämmmaterial, bei der Wandstärke und der Qualität der Ausführung. Ebenfalls wichtig ist die Minimierung von Wärmeeinstrahlung und Konvektion. So sollten beispielsweise bei Kühlräumen die Gestaltung des Eingangsbereichs überprüft und möglichst Schleusen an den Türen angebracht werden. Bei klimatisierten Bürogebäuden ist ein außen liegender Sonnenschutz an den Fenstern wichtig. Eine Modernisierung der Raumlufttechnik ist oftmals empfehlenswert.

Auch innere Wärmequellen sollten so weit wie möglich minimiert werden. Vor allem bei Tiefkühlhäusern haben die Effizienz der Beleuchtung und die Gestaltung der Förder­technik einen erheblichen Einfluss auf den Kältebedarf. Denn Anlagen und Geräte produzieren Wärme, die aufwendig und kostspielig beseitigt werden muss. Eine Steigerung der Energieeffizienz sorgt dafür, dass nicht nur beim Betrieb der Anlagen Energie und Kosten eingespart werden, sondern auch im Bereich der Kälteerzeugung.



Kompressionskälteanlagen

Der Kompressionskälteprozess hat die größte Bedeutung in der Kälte- und Klimatechnik. In mehr als 90 % der Fälle wird zur Kälteerzeugung eine Kompressionskälteanlage eingesetzt. Bei dieser Technologie, die auch in jedem Haushaltskühlschrank zu finden ist, wird ein Kältemittel unter Einsatz von mechanischer Arbeitsenergie in einem thermodynamischen Kreisprozess geführt. Die Anlage entzieht dem zu kühlenden Medium Wärme und gibt sie an die Umgebung ab. Kaltdampfkompressionskälteanlagen mit Kolbenverdichtern sind in großer Bandbreite von kleinen Leistungsbereichen bis hin zu mehreren hundert kW Kälteleistung erhältlich. Die sogenannten Scrollverdichter arbeiten laufruhiger und haben einen höheren Wirkungsgrad. Sie werden im mittleren Leistungsbereich eingesetzt. Darüber hinausgehend gibt es Schraubenverdichter und die noch leistungsstärkeren Turboverdichter. Sie sind als Anlagen mit bis zu 14 MW beziehungsweise 30 MW Kälteleistung verfügbar. Die Verdichter können parallel geschaltet werden und so deutlich größere Kälteleistungen erbringen.

Hauptbestandteile von Kompressionskälteanlagen sind der Verdampfer zur Wärmeaufnahme, der Verdichter (Kompressor) mit Motor (Elektro- oder Verbrennungs-

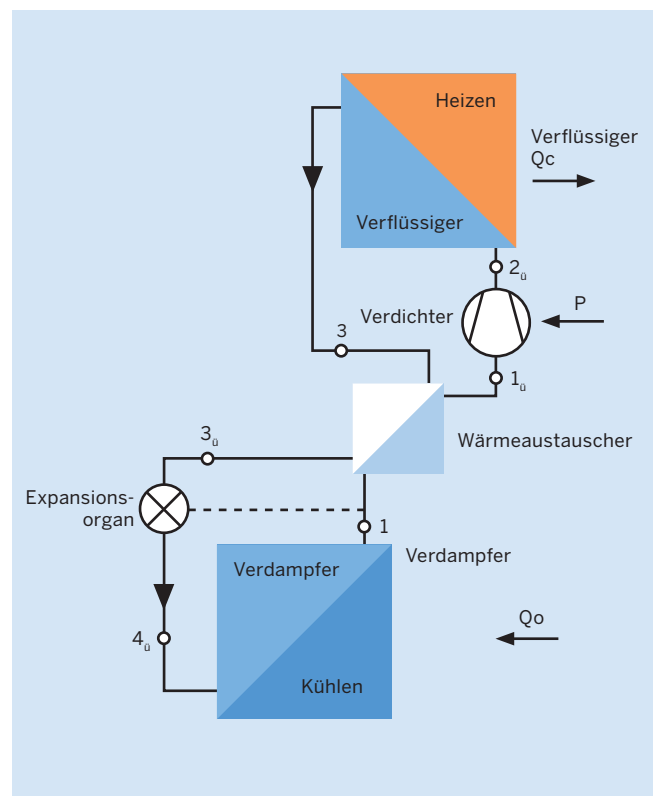
motor), der Verflüssiger (Kondensator) zur Wärmeabgabe und die Entspannungseinrichtung (Expansions- und Drosselorgan) zur Reduzierung des Drucks im Kältekreislauf. Diese Bauteile sind in einem geschlossenen Kältemittelkreislauf miteinander verbunden.

Bei der elektrischen Leistungsaufnahme einer Kälteanlage kommt dem Verdichter mit rund 88 % der größte Anteil zu. Den Rest teilen sich der Verdampfer mit rund 7 % und der Verflüssiger mit rund 5 % auf. Das Ziel sollte daher vor allem sein, die vom Verdichter zu verrichtende Arbeit so gering wie möglich zu halten.

Temperaturniveau und Temperaturspreizung

Das größte Einsparpotenzial bei Kälteanlagen liegt in der optimalen Auslegung von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur. Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Verdampfung und Kondensation, desto geringer ist die Druckdifferenz, die vom Verdichter überwunden werden muss, und umso kleiner somit der Energieaufwand für den Betrieb der Anlage.

Schema Funktionsweise Kompressionskälteanlage



Schon wenn die Verdampfungstemperatur um 1 °C höher liegt, wird der Energieaufwand am Verdichter um etwa 4 % gesenkt. Bei einer konstanten Kühlleistung muss für die Erhöhung der Verdampfungstemperatur der Luftdurchsatz am Verdampfer verstärkt werden. Dies wird realisiert durch höhere Luftgeschwindigkeiten, die auch wiederum einen erhöhten Energieaufwand erfordern, oder durch größere Tauscherflächen, die jedoch mit höheren Investitionskosten verbunden sind. Es gilt also, die Betriebs- und Investitionskosten genau abzuwägen. Entsprechend der Verdampferauslegung bewirkt die Absenkung der Kondensationstemperatur um 1 °C eine Reduzierung des Verdichterenergiebedarfs um circa 3 %.

Verdichter und Kältespeicher

Auch durch die richtige Wahl des Verdichtertyps unter Berücksichtigung der Kälteleistungszahl und des Teillastverhaltens lässt sich viel Energie einsparen. Wird die Kältelast nur zu Spitzenzeiten voll gefordert, kann es vorteilhaft sein, einen Kältespeicher einzubeziehen und somit Leistungsspitzen zu vermindern. Ein Eisspeicher erfordert zwar bei der Ladung einen höheren Energieaufwand von etwa 25 %. Die Ladung kann allerdings zu Schwachlastzeiten erfolgen.

Luft- und Wasserkühlung

Die Wahl des Kühlmediums Luft oder Wasser beeinflusst ebenfalls den Energiebedarf. Die Luftkühlung erfordert gegenüber Rückkühlwerken oder Brunnenwasserkühlung bei gleicher Spitzenlast-Kälteleistung größere Verdichter und einen höheren Energieverbrauch derselben.

Bei der Wasserkühlung kommen beispielsweise Rohrbündel-Verflüssiger zum Einsatz, bei kleineren Anlagen handelt es sich oftmals um Koaxial-Verflüssiger. Sie übertragen die Kondensationswärme an ein Wasserkreis-

laufsystem. In der Regel wird das Wasser durch offene oder geschlossene Verdunstungskühler rückgekühlt. Für die Rückkühltemperatur ist die jeweilige Feuchtkugelttemperatur ausschlaggebend. Sie bezeichnet die tiefste Temperatur, die sich durch Verdunstungskühlung erreichen lässt. Diese liegt in Deutschland in den Sommermonaten je nach Region zwischen 20 und 22 °C und ermöglicht eine Abkühlung des Wassers bis auf 25 °C.

Der Bedarf an elektrischer Energie für den Ventilatorantrieb im Rückkühlwerk kann durch den Einsatz von Axialventilatoren bedeutend gesenkt werden. Gegenüber der Verwendung von Radialventilatoren kann das einen Reduzierung des Energiebedarfs um etwa 40 bis 50 % bewirken.

Im Vergleich mit der Luftkühlung bieten Wasserrückkühlwerke den Vorteil, dass die Verdichter in der Regel weniger Energiebedarf aufweisen. Zu berücksichtigen sind aber auch die höheren Summen für die Investitionen, die Energiekosten für Pumpen und Ventilatorantriebe sowie die Kosten für Frischwasserzusatz, Wasseraufbereitung und Reinigung.

Verflüssigungsdruck und Außentemperatur

Bei Verflüssigern, vor allem bei der luftgekühlten Variante, ist der Verflüssigungsdruck von der Außentemperatur abhängig. Luftgekühlte Verflüssiger sollten grundsätzlich im Außenbereich an den Nordseiten der Gebäude oder auf dem Dach installiert sein, um den Verflüssigungsdruck niedrig zu halten. Allerdings muss wiederum bei sehr geringen Außentemperaturen der Verflüssigungsdruck über einen Heißgas-Bypass künstlich hochgehalten werden, da speziell das Expansionsventil, aber auch der Verdichter einen Mindestdruck für den sicheren Betrieb benötigen. Daher sollte grundsätzlich eine Verflüssigungsdruck-Regelung eingesetzt werden.



Chemische und natürliche Kältemittel

Als Kältemittel stehen chemische Stoffe aus der Gruppe der H-FKW wie R 134a oder R 404a oder natürliche Kältemittel wie Ammoniak zur Verfügung. Bei der Wahl des Kältemittels sind als Kriterien die Umweltverträglichkeit sowie die Investitions- und Betriebskosten zu beachten.

Über die Umweltverträglichkeit geben die ODP- und die GWP-Werte Auskunft. Der ODP-Wert (ozon depletion potential) stellt das Ozon-Abbaupotenzial dar. Dieser Wert ist bei den natürlichen Kältemitteln und auch bei den H-FKW-Kältemitteln gleich null. Anders sieht es bei den GWP-Werten (global warming potential) aus. Dieser Begriff dient der Beurteilung des Treibhauseffektes, der von den Stoffen ausgeht, wenn sie in die Atmosphäre gelangen. Bei natürlichen Kältemitteln ist dieser Wert null. Alle halogenierten Kältemittel, einschließlich der chlorfreien H-FKW, zählen hingegen zur Kategorie der Treibhausgase. Daher sollte, wenn technisch möglich, auf den Einsatz von H-FKW-Kältemitteln verzichtet werden. Stattdessen sind natürliche Ersatzkältemittel, wie Ammoniak, Wasser oder CO₂ bevorzugt zu verwenden.

Als ein Kriterium für die Betriebskosten gilt die volumetrische Kälteleistung, die darstellt, wie viel Kälteleistung mit einem Kubikmeter Kältemittel theoretisch möglich ist. Je größer dieser Wert ist, umso weniger Kältemittel muss für eine bestimmte Kälteleistung gefördert werden, was wiederum die Leistungsaufnahme des Verdichters verringert. Da sich die stofflichen Eigenschaften der verschiedenen Kältemittel unter bestimmten Druck- und Temperaturverhältnissen verändern, gibt es für jedes Kältemittel günstigere oder weniger günstige Einsatzbereiche.

Wärmerückgewinnung für Warmwassererzeugung

Das aus dem Verdichter austretende Kältemittel (Heißgas) kann je nach Auslegung der Anlagenkomponenten hohe Temperaturen aufweisen. Dieses Temperaturniveau liegt je nach Verdichtertyp zwischen 70 und 120 °C und ist zur Warmwassererzeugung gut geeignet. Die Temperatur dieser sensiblen Wärme fällt zwar bei der Wärmeübertragung schnell ab, dennoch lassen sich mittlere Warmwassertemperaturen von 60 °C erzielen.

Zusätzlich kann bei modernen Schraubenverdichtern auch die Abwärme des Ölkühlers genutzt werden. Dabei ist aber Folgendes zu beachten: Ist gerade keine Wärmeabnahme vorhanden, dann muss der Ölkühler für diese Zeit beispielsweise eine zuschaltbare Wasserkühlung erhalten.

Die eigentliche Verflüssigung (Kondensation) erfolgt in der Regel über den Luftkondensator oder den wassergekühlten Kondensator. Als Alternative zur ungenutzten Wärmeabgabe an die Umgebung ist die vollständige Einkopplung der Kondensationswärme zur Vorerwärmung des Brauchwassers möglich. Allerdings dürfte das zu erreichende Temperaturniveau je nach Höhe der Verflüssigungstemperatur nur zwischen 25 und 35 °C liegen.

Durch eine Kombination der Wärmerückgewinnungssysteme, die das hohe und niedrige Temperaturniveau nutzen, sowie durch eine Erhöhung der Verflüssigungstemperatur der Kälteanlage ist eine Wärmerückgewinnung bis zu 50 % auch für Temperaturbereiche oberhalb von 50 °C möglich.

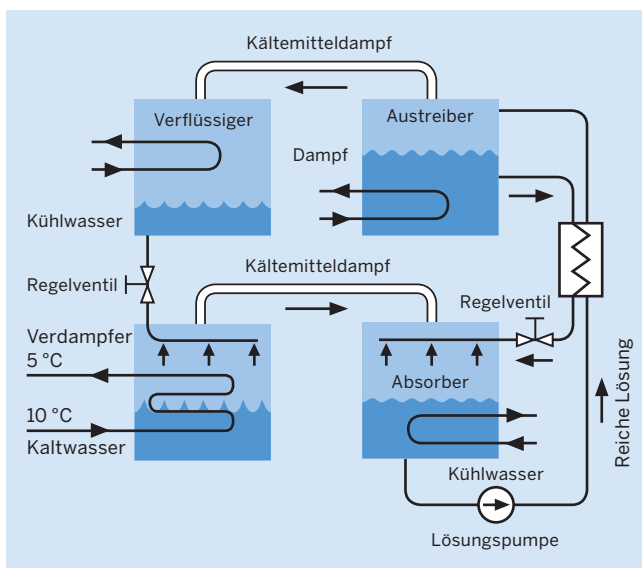


Absorptionskälteanlagen

Das Prinzip der Absorptionskälteanlagen ist älter als das der Kompressionskälteanlagen, dennoch sind erstere weniger verbreitet. Statt eines mechanisch angetriebenen Kompressors besitzen Absorptionskälteanlagen einen thermischen Kompressor, der mit Abwärme oder direkt beheizt betrieben wird. Das heißt, die Antriebsenergie wird nicht in Form von mechanischer Energie über den Verdichter, sondern als Wärmeenergie zum Erwärmen und Austreiben des Kältemitteldampfes zugeführt. Das Verfahren beruht auf der Trennung eines Gemischs aus einem Kältemittel und einem Lösemittel durch den Einsatz von Wärme. Im Normalkühlbereich werden die Stoffpaare Wasser und Lithium-Bromid (Verdampfungstemperaturen von +1 bis +30 °C) und im Tiefkühlbereich Ammoniak und Wasser (Verdampfungstemperaturen von -60 bis +10 °C) eingesetzt.

Die wesentlichen Bauteile einer Absorptionskälteanlage sind der Verdampfer, der Absorber, die Lösungsmittelpumpe, der Lösungsmittelwärmetauscher, der Austreiber, der Verflüssiger und die erforderlichen Regelventile. Die Leistungsbandbreite der Serienprodukte reicht von 10 kW bis hin zu 6.000 kW. Für höhere Leistungen sind auch größere Anlagen möglich, die als Einzelstück gefertigt werden.

Schema Funktionsweise Absorptionskälteanlage



Die zum Antrieb der Absorptionskälteanlage benötigte Wärme kann in Form von Niederdruckdampf, Heißwasser oder durch direkte Befeuern zur Verfügung gestellt werden. Die erforderlichen Temperaturen hängen von den Arbeitsstoffen und den Auslegungsbedingungen (Verdampfungstemperatur, Kondensationstemperatur) ab. Die gängigen Temperaturen liegen zwischen 80 und 130 °C.

Absorptionskälteanlagen werden überwiegend in den Bereichen eingesetzt, in denen Abwärme beispielsweise von Produktionsprozessen und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen preisgünstig oder sogar kostenlos zur Verfügung steht. Wird die Kälte für die Klimatisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden benötigt, kommen zunehmend solarthermische Anlagen als Wärmequelle in Betracht. Die Betriebskosten für diese Variante liegen bis zu 70 % unter denen der herkömmlichen Kälteerzeugung. Allerdings ist mit erheblich höheren Investitionskosten gegenüber Kompressionskälteanlagen zu rechnen.

Das vergleichsweise hohe Gewicht und die großen Abmessungen können bei manchen Projekten gegen den Einsatz einer Absorptionskältemaschine sprechen. Andererseits bieten die Anlagen gegenüber der weit verbreiteten Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen wesentliche Vorteile:

- Einsatz von umweltschonenden Kältemitteln
- Antrieb durch Abwärme
- keine drehenden oder bewegten Teile
- geringer Wartungsaufwand
- hohe Lebensdauer
- geringe Schall- und Körperschallemissionen
- stufenlose Regelbarkeit bis auf circa 10 % Last ohne wesentliche Verluste
- geringer elektrischer Energiebedarf

Alternativen zu Kältemaschinen

Grundwasser für die Prozesskühlung

Alternativ zur Kälteerzeugung mit Kältemaschinen bietet sich bei der Prozesskühlung die Nutzung von kaltem Grundwasser an. Dies ist bei einem Kühltemperaturniveau oberhalb von 12 °C in der Regel die energiesparendste Variante. Voraussetzung dafür ist, dass die zuständige Wasserbehörde dies zulässt und die Wasserbeschaffenheit geeignet ist.

Passive Kühlung für Betriebsräume

Für die Klimatisierung von Betriebsräumen lässt sich auch die passive Kühlung nutzen. Sie kommt ebenfalls ohne Kältemaschinen aus. Zu Kühlzwecken wird lediglich die Außenluft über Kanäle in die zu kühlenden Bereiche wie beispielsweise Büros oder Verkaufsstätten geführt. Bei hohen Außentemperaturen lässt sich die ausreichende Kühlung nur durch den zusätzlichen Einsatz von Erdreichwärmetauschern gewährleisten. In ihnen wird die mechanisch angesaugte Luft vorgekühlt.

Alternativ bietet sich in den Hochtemperaturperioden die Nachtfreikühlung an, bei der die kühlere Nachtluft zur thermischen Entladung der Bausubstanz genutzt wird. Die Wirksamkeit ist dabei von der Speichermasse des Gebäudes abhängig. Je größer diese ist, umso größer ist der Kühleffekt, der sich erzielen lässt.

Gegenüber aktiven Kühlsystemen mit Kältemaschinen führt die passive Kühlung im Sommerhalbjahr zu einem eingeschränkten Komfort, der aber lediglich auf wenige Tage des Jahres beschränkt ist. Der Verzicht auf den Einsatz von Kältemaschinen bietet dafür eine erhebliche Energieeinsparung und Umweltentlastung.



Impressum

EnergieAgentur.NRW
c/o Ministerium für Wirtschaft,
Mittelstand und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen
Haroldstraße 4
40213 Düsseldorf
Telefon: 01803/19 00 00*
E-Mail: info@energieagentur.nrw.de
www.energieagentur.nrw.de

©EnergieAgentur.NRW 05/2010

*(9 ct/Min. aus dem deutschen Festnetz;
Mobilfunk max. 42 ct/Min.)

Informationen zum Thema

EnergieAgentur.NRW
Ansprechpartner: Matthias Kabus
Kasinostraße 19–21
42103 Wuppertal
E-Mail: kabus@energieagentur.nrw.de

Gestaltung

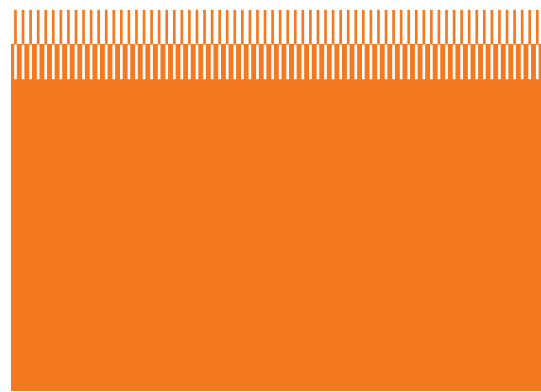
www.designlevel2.de

Bildnachweis

Titelseite: iStockphoto/seraficus
Seite 2: iStockphoto/rgaydos
Seite 4: iStockphoto/alacar
Seite 5: iStockphoto/joxxxxjo
Seite 7: Fotolia/Frank F. Haub

Stand

05/2010



EnergieAgentur.NRW

Die EnergieAgentur.NRW fungiert als operative Plattform mit breiter Kompetenz im Energiebereich: von der Energieforschung, der technischen Entwicklung, Demonstration und Markteinführung über die Energieberatung bis hin zur beruflichen Weiterbildung. Die EnergieAgentur.NRW steht als zentraler Ansprechpartner des Landes NRW in allen Fragen rund um das Thema Energie zur Verfügung. Neben anderen Instrumenten beraten und informieren Ingenieure der EnergieAgentur.NRW über energetische Schwachstellen. Die Ingenieure beraten zu Fördermöglichkeiten, Energiemanagement, helfen Unternehmen bei der Minderung der Energiekosten und tragen somit zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bei.

Diese Broschüre wurde auf 50 % Recycling- und 50 % FSC-Fasern gedruckt.



Diese Broschüre wurde klimaneutral gedruckt.



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung