



Einsparungen durch die Wahl
des geeigneten Verfahrens

Kälteerzeugung

Faktenblatt

Mit Unterstützung der:



Niedersachsen
Allianz für Nachhaltigkeit

Kältemaschinen als fester Bestandteil der Produktions- und Logistikketten

Physikalisch gesehen gibt es keine Kälte, sondern ausgehend vom absoluten Temperaturnullpunkt 0 K (Null Kelvin) beziehungsweise $-273,15\text{ °C}$ nur Wärme. Um zu kühlen, muss also Wärmeenergie entzogen werden. Diese wird dabei an ein Kühlmedium übertragen.

Anlagen, die einen derartigen thermodynamischen Prozess durchführen, werden nach dem jeweiligen Nebeneffekt benannt:

- › Entzug der Wärmemenge zur Temperatursenkung = Kältemaschine
- › Abgabe der Wärmemenge zur Temperaturerhöhung = Wärmepumpe

Kältemaschinen und Wärmepumpen beruhen auf den gleichen Grundlagen und Verfahren, sie nutzen quasi nur jeweils das andere „Ende“ des Kreisprozesses.

Die gebräuchlichsten Verfahren zur Kälteerzeugung

Kompressionskälteprozesse unter Zufuhr mechanischer Energie (elektrisch oder gasbetrieben):

- › Kaltdampf-kälteprozess mit Kältemitteln, die bei den Arbeitstemperaturen den Aggregatzustand zwischen Dampf- und Flüssigphase ändern.

Sorptionskälteprozesse unter Zufuhr von Wärmeenergie:

- › Absorptionskälteprozess, wobei das Kältemittel in einen Lösemittelkreislauf von niedrigem auf hohes Temperaturniveau gehoben und durch Wärmezufuhr wieder für den Kälteprozess freigesetzt wird.
- › Adsorptionskälteprozess, wobei das Kältemittel an einen festen Stoff angelagert und periodisch durch Wärmezufuhr wieder freigesetzt wird. Durch zwei parallel und wechselweise betriebene Anlagen wird ein stetiger Kühlprozess erreicht.

Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen haben die größte Bedeutung in der Kälte- und Klimatechnik. Der den Anlagen zugrunde liegende Kaltdampf-Kompressionskälteprozess findet auch Anwendung bei gewerblicher Kühlung in Kühlräumen sowie in Haushaltskühlschränken und Wärmepumpen. In diesem Prozess wird gasförmiges Kältemittel durch einen Kompressor verdichtet. Im Kondensator verflüssigt es unter Wärmeabgabe. Danach wird das flüssige Kältemittel im Expansionsventil entspannt und im nachgeschalteten Verdampfer unter

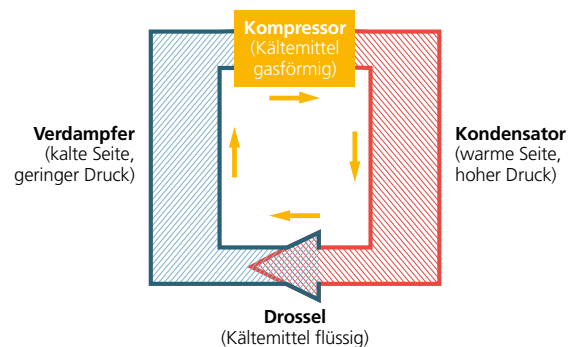
Wärmeaufnahme (Kälteerzeugung) verdampft. Durch die Zufuhr mechanischer Leistung über den Kompressor wird dieser Kreislaufprozess in Gang gehalten.

Die Effizienz von Kompressionskältemaschinen ist abhängig von:

- › Der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur,
- › Dem eingesetzten Kältemittel und
- › Der Wärmerückgewinnung.

Das größte Einsparpotenzial liegt in der Auslegung der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur. Je kleiner die Temperaturdifferenz, desto geringer ist die vom Verdichter zu überwindende Druckdifferenz und somit der Energieaufwand für den Anlagenbetrieb. Für eine um ein Grad Celsius höhere Verdampfungstemperatur wird der Energieaufwand des Verdichters um rund vier Prozent gesenkt. Ein Absenken der Kondensationstemperatur um ein Grad Celsius reduziert den Energieaufwand des Verdichters um rund drei Prozent.

Der Verflüssiger (Kondensator) muss durch Luft oder Wasser gekühlt werden. Die höchsten Einsparmöglichkeiten bieten wassergekühlte Verflüssiger, da sie besonders im Sommer nicht von hoher Außentemperatur abhängig sind.



Typische Auslegungsdaten für den Sommerbetrieb der Kühlanlagen sind:

- › **Luftkühlung:** Außenlufterwärmung von 32 °C auf 42 °C , Kondensationstemperatur etwa 50 °C
- › **Wasserkühlung:** Wassererwärmung von 27 °C auf 32 °C , Kondensationstemperatur etwa 37 °C

Für Kompressoren in Kälteanlagen können zusätzlich sogenannte Economiser eingesetzt werden, durch die eine deutliche Verbesserung der Kälteleistung erzielt wird. Durch den Einsatz von Economisern und wassergekühltem Verflüssiger wird die Leistungsaufnahme um etwa zehn Prozent reduziert und die Kälteleistung um etwa 30 Prozent erhöht, wodurch Investitions- und Energiekosten sinken. Als Kältemittel werden meist halogenierte Kohlenwasserstoffe eingesetzt. Bei der Wahl der Kältemittel sind Umweltverträglichkeit sowie Investitions- und Betriebskosten zu berücksichtigen. Ab dem Jahr 2025 dürfen bei Monosplitanlagen $> 3\text{ kg}$ Füllmenge keine Kältemittel $> \text{GWP } 750$ eingesetzt

werden. Das bedeutet, dass die bisher gängigen Kältemittel wie R410A und R407C nicht mehr verwendet werden dürfen.

Daher sollten bestehende Anlagen schnellstmöglich auf natürliche Kältemittel, wie zum Beispiel Kohlenwasserstoffe, Ammoniak (NH_3) und Kohlendioxid (CO_2), umgestellt werden. Wichtig ist die volumetrische Kälteleistung des Kältemittels. Je höher dieser Wert ist, umso weniger Kältemittel muss gefördert werden und umso geringer ist die Leistungsaufnahme des Verdichters.

Die eingesetzte Energie kann zum Teil zurückgewonnen werden. Das aus dem Verdichter austretende Kältemittel hat je nach Verdichtertyp eine Temperatur von 70 bis 120 °C. Das reicht aus, um Warmwasser mit einer Temperatur von rund 60 °C zu erzeugen, das auch für Heizzwecke oder Warmwasserbereitung genutzt werden kann. Zusätzlich kann auch die Abwärme der Kühler für Heizzwecke genutzt werden.

Absorptionskältemaschinen

Durch Absorptionsmaschinen wird Wärme in Kälte umgewandelt, wobei Abwärme oder auch Solarwärme zum Antrieb des Kälteprozesses genutzt werden kann. Die Absorptionstechnik gewinnt speziell in der Kraft-Wärme-Kopplung zunehmend an Bedeutung. Gegenüber der Kompressionstechnik bieten Absorptionskälteanlagen erhebliche Vorteile:

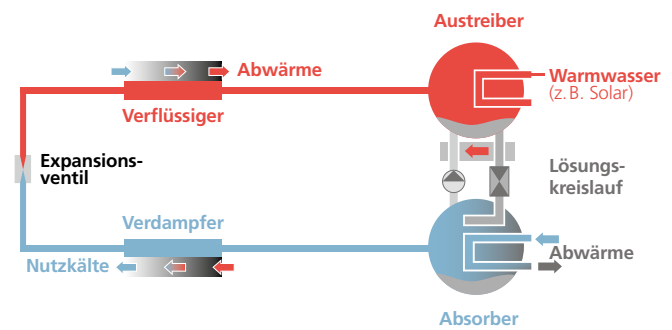
- › Einsatz umweltschonender Kältemittel
- › Nutzung von Abwärme, etwa aus Blockheizkraftwerk
- › Keine mechanisch bewegten Bauelemente (thermischer Verdichter)
- › Geringer Wartungsaufwand, hohe Lebensdauer
- › Geringe Schallemissionen
- › Stufenlose Regelbarkeit ohne wesentliche Verluste bis auf zehn Prozent Last
- › Geringer Strombedarf

Das System besteht aus einem Kältemittel- und einem Lösungsmittelkreislauf, in dem Austreiber und Absorber miteinander gekoppelt sind. Als Kältemittel dient zum Beispiel Lithiumbromid.

Das Haupteinsatzgebiet für Absorptionskälteanlagen besteht dort, wo Abwärme mit entsprechender Temperatur zur Verfügung steht, etwa bei Blockheizkraftwerken mit Abwärmertemperaturen von bis zu 95 °C oder bei Abwärme aus überschüssiger Prozesswärme. Die gängigen Temperaturen der zum Antrieb der Absorptionskälteanlagen benötigten Wärme liegen meist zwischen 100 und 180 °C. Bei niedrigeren Temperaturen sinkt der Wirkungsgrad der Anlagen.

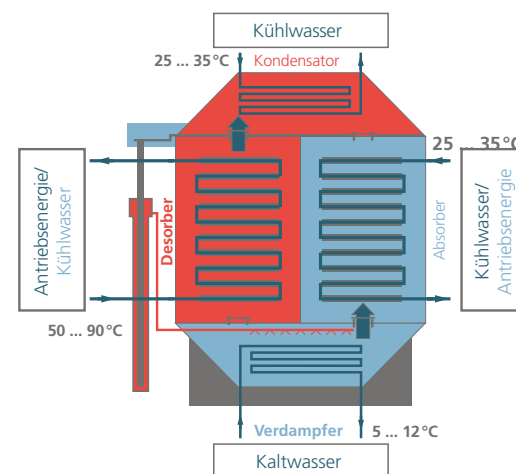
Nachteilig ist, dass für kleine Leistungen keine Aggregate zur Verfügung stehen und die Anlagen eine verhältnismäßig große Bauform haben. Zudem ist der spezifische Preis für die Kühlleistung höher als bei Kompressionskälte-

anlagen. Sehr geringe Kaltwassertemperaturen eignen sich weniger.



Adsorptionskältemaschinen

Adsorptionskältemaschinen nutzen ebenfalls Wärme als Antriebsenergie. In der Kältemaschine werden zwei Teilprozesse alternierend gefahren und somit eine quasi-kontinuierliche Kälteleistung erzielt. Neben dem Einsatz zur Kälteerzeugung können diese Anlagen auch als Wärmepumpen eingesetzt werden. Als Antrieb dient anstelle eines elektrisch betriebenen Kompressors ein thermisch betriebener Reaktor, ohne aktiv bewegte Komponenten. Als Kältemittel dient Wasser.



Im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen benötigen Adsorptionskältemaschinen relativ niedrige Temperaturen für die Antriebswärme und eignen sich deshalb in sehr viel mehr Fällen zur Nutzung von Abwärme. Schon 55 °C warmes Wasser reicht aus, um Kälteleistung zu erzeugen, 65 bis 85 °C sind für die volle Leistung dieser Kältemaschinen ausreichend. Auf der Kaltwasserseite sind Vorlauftemperaturen bis herunter auf 5 °C machbar, beste Ergebnisse bringen die Maschinen im Bereich um 10 °C. Dadurch ist die Adsorptionskältetechnik einsetzbar für normale Klimaanlage (auch mit Entfeuchtungsfunktion) und für technische Prozesse in Industrie und Gewerbe. Adsorptionskältemaschinen eignen sich besonders zur Kälteerzeugung in Kombination mit Blockheizkraftwerken.

Einsparpotenziale

Neben der Festlegung des erforderlichen Temperaturniveaus können Einsparpotenziale in der Kälteerzeugung insbesondere mit der Wahl des geeigneten Verfahrens gehoben werden. Denn eine nachträgliche Umrüstung bestehender Anlagen ist meist aufwendig und teuer.

Die wesentlichen Entscheidungsmerkmale zur Wahl des Verfahrens

Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen haben einen hohen Stromverbrauch, Wartungsaufwand, Schallemissionen und arbeiten meist mit umweltbelastenden Kältemitteln. Andererseits steht die Antriebsenergie Strom meist zur Verfügung, was für Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit sorgt. Die energetischen Nachteile können durch eine optimierte Auslegung der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur, den Einsatz eines wassergekühlten Kondensators und durch Wärmerückgewinnung aus dem Kompressor teils kompensiert werden. Umweltbelastende Nachteile können durch die Verwendung umweltschonender Kältemittel minimiert werden.

Sorptionskältemaschinen

Sorptionskältemaschinen arbeiten mit Wärme als Antriebsenergie, wobei insbesondere Abwärme aus energetischen oder produktionstechnischen Prozessen zur Verfügung stehen muss. Diese Energie ist meist kostenlos vorhanden. Zur Betriebssicherheit muss die Wärmeenergie aber zeitlich bedarfsgerecht zur Verfügung stehen. Je nach Temperaturniveau der nutzbaren Abwärmeströme können bei Temperaturen von über 100 °C Adsorptionskältemaschinen und bereits ab 65 °C Adsorptionskältemaschinen eingesetzt werden.

Mit einer Wärmepumpe kann bei Bedarf die Temperatur des Abwärmestroms auf eine einsetzgerechte Temperatur angehoben werden. Adsorptionskältemaschinen sind vor allem für KWK-Systeme mit niedrigen Vorlauftemperaturen (< 90 °C) geeignet. Sind höhere Temperaturen verfügbar, sollte die Wahl angesichts des Verlaufs des Kälteverhältnisses und der ab 100 °C einsetzenden Degeneration des Silicagels besser auf Absorptionsmaschinen fallen.

Bei größeren Kältezentralen können auch beide Anlagentypen kombiniert werden. Somit können Flexibilität, Verfügbarkeit und Effizienz des Gesamtsystems optimiert werden.



Herausgeber:

Klimaschutz- und Energieagentur
Niedersachsen GmbH
Osterstraße 60 | 30159 Hannover

[www.klimaschutz-niedersachsen.de/
unternehmen](http://www.klimaschutz-niedersachsen.de/unternehmen)

Erstellung in Zusammenarbeit mit:

Rationalisierungs- und Innovationszentrum
der Deutschen Wirtschaft e.V.
Kompetenzzentrum
Düsseldorfer Straße 40 | 65760 Eschborn

Gefördert durch:



Niedersächsisches Ministerium
für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Bildnachweis: © buchachon_photo (depositphotos.com);
© Alex (stock.adobe.com) | Stand: März 2023