



Energie sparen bei der Kälteerzeugung

Hitze macht müde und senkt die Leistungsfähigkeit. Lebensmittel verderben schneller, wenn es warm ist. Von jeher bemüht sich der Mensch daher um Kühlung. Heute treibt der wachsende Kältebedarf weltweit den Energieverbrauch in die Höhe und belastet das Klima. Auch bei der Kälteerzeugung braucht man Technologien, die Energie effizient nutzen.

EINLEITUNG

Menschen kühlen bereits seit Jahrhunderten Gebäude und Vorratslager. So wird beispielsweise in der traditionellen arabischen Architektur die kühlende Wirkung verdunstenden Wassers ebenso eingesetzt wie Belüftungssysteme, die Gebäuden frische Nachtluft zuführen. Bereits die Römer kühlten ihre Lebensmittel mit Gletschereis, das sie aus den Hochgebirgen in die Städte transportieren ließen. Mit der Erfindung des Kühlschranks wurde es möglich, Kälte unabhängig von Jahreszeiten bereit zu stellen. Dank der flächendeckenden Stromnetze finden sich Kühl- und Gefriergeräte bei uns in fast allen Haushalten und Betrieben.

Kältemaschinen machen Verdunstungskälte nutzbar, die entsteht, wenn eine Flüssigkeit (Kühlmittel) verdampft. Dieser physikalische Prozess entzieht der Umgebung Wärme und senkt so die Temperatur. Übertragen auf die Trägermedien Luft oder Wasser kann diese Kältewirkung in Kühl- und Gefrierräumen oder zur Kühlung von Gebäuden und Industrieprozessen verwendet werden. Die meisten Kältemaschinen werden durch elektrischen Strom angetrieben, aber auch thermische und mechanische Antriebe sind möglich. In Deutschland werden jährlich ca. 66 Mrd. kWh Strom und 11 Mrd. kWh nicht elektrischer Energie für die technische Kälteerzeugung verwendet. Dies entspricht 14% des deutschen Strombedarfs und 5,8% des Primärenergieverbrauchs. Hiervon entfallen 67% auf die Nahrungsmittelindustrie, 22% auf die Klimatisierung von Gebäuden und 9% auf die übrige Industrie.



Abb. 1

Natürliches Gletschereis war für die Menschen früher eine der Möglichkeiten, um auch bei sommerlicher Hitze verderbliche Lebensmittel längere Zeit genießbar zu halten. [Foto: Stubai Gletscherbahn]

Bei der Klimatisierung werden gleichzeitig Temperatur und Luftfeuchte in Innenräumen durch eine Klimaanlage reguliert. Derartige Anlagen finden sich bei uns meist in Nicht-Wohngebäuden. Typisch sind Gebäude, in denen sich viele Menschen versammeln (z. B. Theater, Sporthallen) und Gewerberäume, in denen zur Abwärme der Beschäftigten noch die der Geräte und Beleuchtung hinzukommt. Die heute üblichen Glasfassaden tragen dazu bei, dass auch in gemäßigten Klimazonen der Kühlbedarf von Gebäuden steigt. Zurzeit werden weltweit jährlich 50 Millionen Klimaanlagen installiert. Dabei nimmt Deutschland mit 100.000 Anlagen noch einen hinteren Platz ein. Aber auch hier dürfte sich bis 2020 die gekühlte Gebäudefläche auf 3,8 m² pro Einwohner nahezu verdreifachen.

Klima schonender als Strom betriebene Kompressionskältemaschinen sind die mit Wärme angetriebenen (thermischen) Kältemaschinen, die bis zu 30% geringere Kohlendioxidemissionen verursachen. Solare Kühlung macht gar die nahezu CO₂-neutrale Kühlung von Gebäuden möglich. Gut gedämmte Gebäude können – als eine weitere Möglichkeit – durch passive Kühlsysteme, etwa die Zufuhr kühler Nachtluft, auch während Hitzeperioden ein angenehmes Raumklima ohne Strom verbrauchende Klimaanlage schaffen.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Kühlung
- > Klimatisierung
- > Kältemaschine

MIT WÄRME KÜHLEN

In konventionellen Kompressionskältemaschinen (KKM) wird mit Hilfe von elektrischem Strom ein flüssiges Kühlmittel in einem Kreisprozess (BINE basisEnergie Nr. 10 „Wärmepumpen“) verdampft, verdichtet, verflüssigt und anschließend wieder entspannt. Bei diesem Prozess nimmt das Kühlmittel auf der einen Seite die unerwünschte Wärme auf, um diese auf der anderen Seite wieder abzugeben.

Als Alternative mit vergleichsweise geringeren CO₂-Emissionen stehen mit Wärme (thermisch) angetriebene Kältemaschinen (Abb. 2) für immer mehr Einsatzbereiche zur Verfügung. Die Antriebswärme kann dabei z. B. aus industrieller Abwärme, Heizkraftwerken, Blockheizkraftwerken oder der Sonneneinstrahlung stammen. Gemeinsam ist allen thermischen Kältemaschinen das Prinzip der Sorption, also der Bindung des Kühlmittels in einer chemischen Lösung (Absorption) oder an der Oberfläche eines Festkörpers (Adsorption). Je nach Verfahren unterscheidet man Absorptionskältemaschinen (AbKM), bei denen das Kühlmittel Wasser in wässrigem Lithiumbromid oder einem Gemisch aus Ammoniak und Wasser gelöst wird, und Adsorptionskältemaschinen (AdKM) mit Silikagel oder Lithiumchlorid als Sorbens.

Durch Wärmezufuhr entweicht das Kühlmittel aus der Verbindung und erhöht den Druck im Kühlkreislauf. Der Wasserdampf wird in einem Kondensator wieder verflüssigt

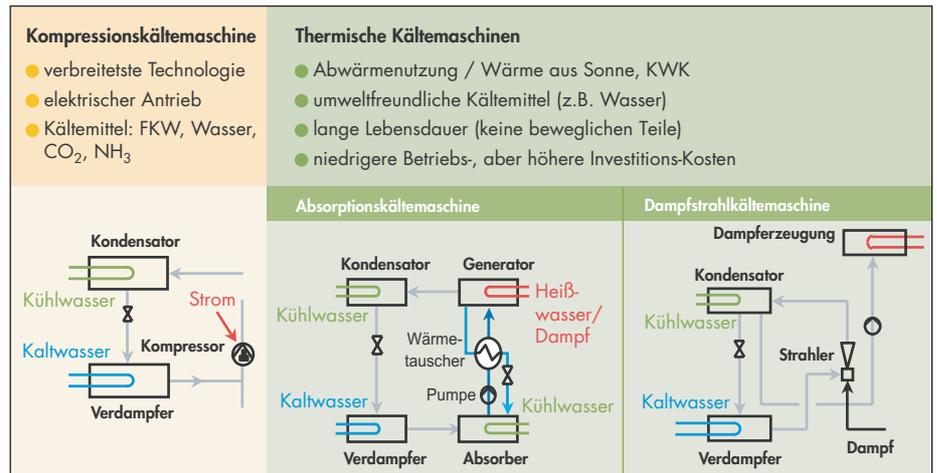


Abb. 2 Verfahren der Kälteerzeugung [Quelle: Fraunhofer umschicht]

und einem Verdampfer zugeführt. In Absorptionskältemaschinen nimmt das Lösungsmittel anschließend den Wasserdampf wieder auf und das Gemisch wird erneut aufgeheizt. In Adsorptionskältemaschinen wird dagegen der Kühlmitteldampf einem zweiten Speicher zugeführt, der sich dadurch mit Feuchtigkeit auflädt, während der erste seine Feuchtigkeit nach und nach in den Kühlkreislauf entlässt. Ist alle Feuchtigkeit verdampft, wird der Prozess „umgedreht“, d. h. der zweite Adsorber wird erwärmt und trocknet aus, während der erste nunmehr mit Feuchtigkeit beladen wird. Adsorptionskältemaschinen werden unter

anderem auch in der „sorptiongestützten Klimatisierung“ eingesetzt, die sich in den vergangenen Jahren als ökonomisch und energetisch interessante Alternative entwickelt hat. Im Unterschied zu herkömmlichen Klimaanlage, bei denen Kälteerzeugung und Lüftung getrennt sind, steht bei dieser Klimatisierungstechnik das Kaltwasser in direktem Kontakt mit der Atmosphäre. Die von außen zugeführte Luft durchläuft den Kühlkreislauf und wird selbst zum Kühlmittel. Bei Kaltwassertemperaturen unter 9°C kondensiert ein Teil der Luftfeuchte, so dass die Raumluft im Gebäude gekühlt und entfeuchtet wird.

KRAFT-WÄRME-KÄLTE KOPPLUNG (KWKK)

Etwa 22% des Kältebedarfs (Abb. 3) wird in Deutschland für die Klimatisierung von Gebäuden verwendet und die Nachfrage steigt. Ob Bürohaus, Flughafen, Museum, Theater oder Einkaufszentrum, kaum ein größeres, gewerblich genutztes Gebäude kommt ohne technisch erzeugte Kälte aus. Die effiziente Kälteversorgung dieser Großabnehmer bietet ein hohes Innovationspotenzial für die Kältetechnik.

In der Praxis bewährt hat sich die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK), bei der die Wärme aus einer KWK-Anlage während des Sommerhalbjahres eine Kältemaschine antreibt. Als Wärmequelle hierfür kommen Fernwärmenetze ebenso in Betracht wie Gasturbinen oder Blockheizkraftwerke. Der Vorteil: Die Kälteerzeugung erhöht in Zeiten schwacher Wärmenachfrage die Auslastung der KWK-Anlage und senkt so die Betriebskosten.

Optimale Bedingungen bietet die KWKK in Verbindung mit einer Gasturbine. Wird die Kältemaschine mit Überschusswärme aus einem Fernwärmenetz oder einem Blockheizkraftwerk (BHKW) gespeist, ist die er-

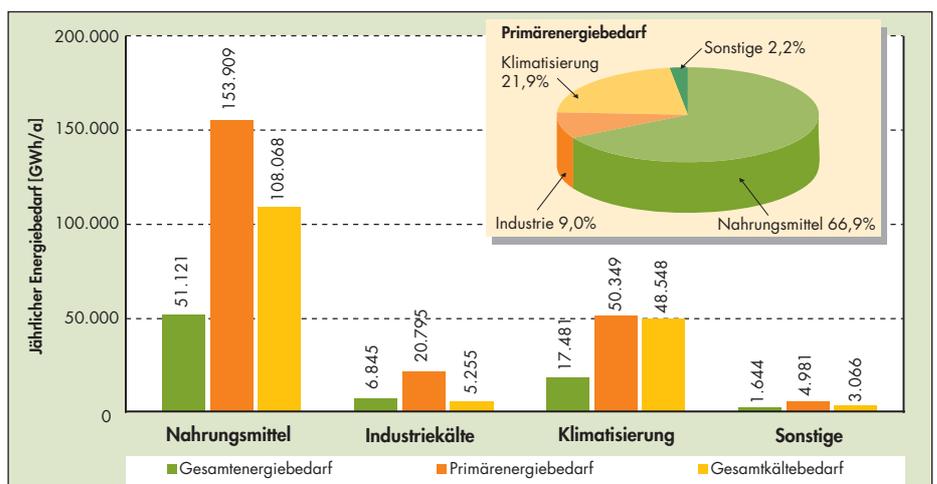


Abb. 3 Kältebedarf in Deutschland [Quelle: Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 22 „Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte“, Stuttgart 2002, ISBN: 3-932 715-06-3]

reichbare Kälteleistung wegen des niedrigen Temperaturniveaus (unter 100°C) begrenzt (s. Seite 3). Dennoch konnte in verschiedenen Pilotprojekten der Primärenergiebedarf für die Versorgung von Großabnehmern mit Strom, Wärme und Kälte durch objekt-

spezifische technische Veränderungen gesenkt werden, z. B. in einem Flughafengebäude oder einem Kaufhaus. Die Wirtschaftlichkeit hängt vor allem vom Energiepreisniveau und den Verbrauchervorgaben ab, etwa den Betriebsstunden der Kältemaschine.

WÄRMEQUELLEN UND EFFIZIENZ

Grundsätzlich können thermisch getriebene Kältemaschinen den Kältebedarf in den meisten Einsatzbereichen abdecken. Einschränkungen ergeben sich aber aus dem Temperaturniveau der zugeführten Wärme, dem Energiebedarf sowie den Kosten.

So senkt ein für Abwärme oder Solarwärme typisches Temperaturniveau unter 100°C die Kälteleistung einer Absorptionskältemaschine um bis zu 50% ab. Dadurch steigen der Energieverbrauch und meist auch die Betriebskosten von mit Niedertemperatur betriebenen Kältemaschinen. Ihre Einsatzmöglichkeiten beschränken sich bislang daher vornehmlich auf Gebäude mit geringerem Kältebedarf.

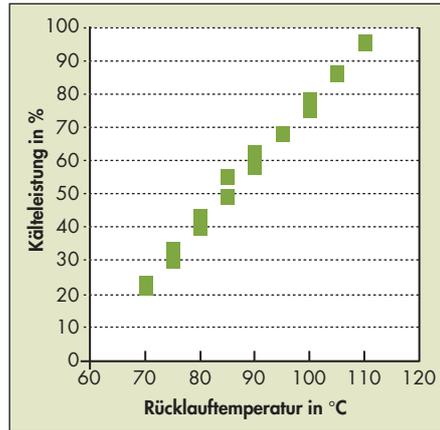


Abb. 4 Kälteleistung einer Absorptionskältemaschine (Wasser-LiBr) in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur. Mit steigendem Temperaturniveau der thermischen Antriebsenergiequelle (Rücklauftemperatur) nimmt die Leistung der Kältemaschine zu.

KÄLTESPEICHERUNG UND KÄLTENETZE

Die Kälteversorgung von Großabnehmern (z. B. Stadtwerke). Bei ausreichend hoher räumlicher Konzentration des Kältebedarfs können eine zentrale Kälteerzeugung in Großanlagen und der Betrieb von Kältenetzen vorteilhaft sein. Eigene Kältenetze existieren bereits in einigen deutschen Städten. Mit ihrem hohen und stetigen Kältebedarf bieten Kältenetze günstige Voraussetzungen, um innovative Kältetechnik wirtschaftlich einzusetzen. So basiert die Grundlast des Kältenetzes in Chemnitz auf Absorptionskältemaschinen, die mit Überschusswärme eines Heizkraftwerks betrieben werden. In Spitzenlastzeiten schaltet der Betreiber Kompressionskältemaschinen zu.

Der Kälteabsatz hat sich in Chemnitz innerhalb weniger Jahre verdoppelt. Die Stadtwerke errichteten deshalb zusätzlich einen Kältespeicher, um die erhöhte Nachfrage bedienen zu können. Kältespeicher werden über Nacht mit Kaltwasser beladen und

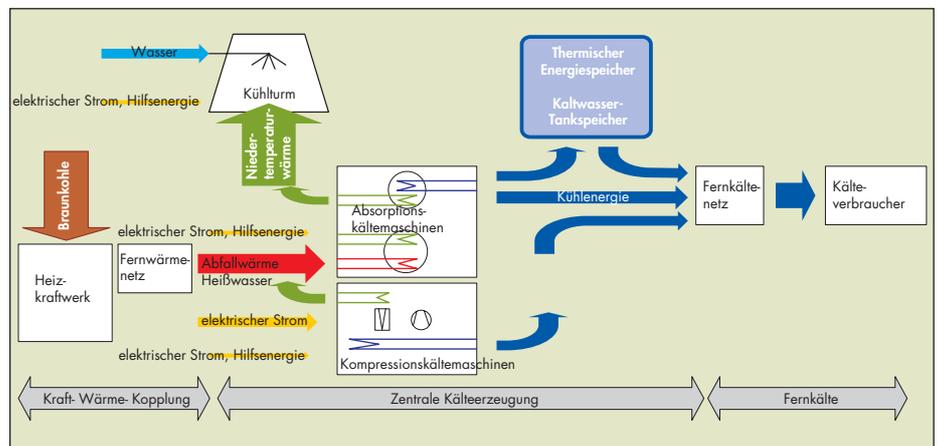


Abb. 5 Zentrale Kälteversorgung in Chemnitz.

speisen am Tage in das Kältenetz die eingespeicherte Kälte zusätzlich zur aktuell erzeugten ein. In Chemnitz hat sich diese Variante im Vergleich zum Zubau neuer Kompressionskältemaschinen als wirtschaftlicher erwiesen.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- > Kältenetz
- > Kältespeicher

KÜHLEN MIT DER NATUR

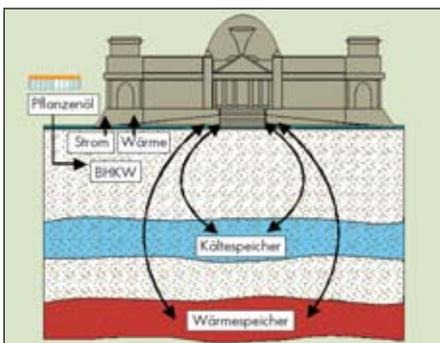


Abb. 6 Prominentes Beispiel für ein Gebäude mit innovativer Kälteversorgung ist das Reichstagsgebäude in Berlin. Zum Einsatz kommen Absorptionskältemaschinen und ein Aquiferspeicher, um winterliche Kälte in einer wasserführenden Schicht für warme Sommertage zu speichern.

Auch in Deutschland wachsen bei der Kühlung von Gebäuden die Ansprüche der Nutzer und die Flächen gleichermaßen. Um Energie zu sparen, müssen – wo immer es möglich ist – Kühlkonzepte eingesetzt werden, die ohne technisch erzeugte Kälte auskommen. In konsequent gedämmten Bürogebäuden ist dies bereits heute durch eine Nutzung natürlicher Kältequellen erreichbar.

So kann die geregelte Zufuhr kühler Nachtluft selbst während sommerlicher Hitzeperioden ausreichen, um Raumluft und Gebäudeteile auf angenehme Temperaturen abzukühlen. Da sich die zugeführte Luft im Gebäude erwärmt, nimmt auch die Luftfeuchte ab. Derartige „passive Kühlsysteme“ sind eine Schlüsseltechnik der energieeffizienten Ge-

bäudeklimatisierung.

Eine zweite Option ist der Einsatz natürlich kühlen Wassers, das z. B. in Rohrsystemen Fußböden, Decken oder Wände (Bauteil-Temperaturierung) durchströmt. Über diese thermisch aktiven Flächen kann im Sommer gekühlt und im Winter geheizt werden. Als natürliche Wärmequellen können hierfür Erdreich und Grundwasservorkommen genutzt werden, z. B. mit einer erdgekoppelten Wärmepumpen-Anlage.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Passive Kühlung
- > Bauteil-Temperaturierung



Abb. 7 Am Universitätsklinikum Freiburg wurde ein Kollektorfeld mit 170 m² Vakuumröhrenkollektoren mit einer Adsorptionskältemaschine im Rahmen eines Forschungsprojekts installiert. [Quelle: FhG ISE]

Die Kälteerzeugung steht vor einem Umbruch. In immer mehr Einsatzbereichen können Kompressionskältemaschinen, die einen vergleichsweise hohen Energiebedarf haben, durch effiziente, thermisch angetriebene Kältemaschinen ersetzt werden. Für eine höhere Energieeffizienz ist vor allem die Nutzung von ansonsten ungenutzter Abwärme und kostenloser Solarwärme als Antriebsenergie für Kältemaschinen vielversprechend. Ökonomisch müssen sich diese neuen Kälte-technologien mit den Erzeugungskosten herkömmlicher Kompressionskältemaschinen messen lassen. Während mit Wärme auf Basis fossiler Energieträger betriebene Absorptionskältemaschinen in verschiedenen Bereichen bereits wirtschaftlich eingesetzt werden können, weisen solare Kühlsysteme noch deutlich höhere Kältekosten auf. Insgesamt kann die Marktentwicklung thermischer Kältemaschinen vom aktuellen Anstieg der Energiekosten profitieren. In den vergangenen Jahren hat die Forschung auch bei der solaren Kühlung Fortschritte

erzielt. Für die Zukunft werden erhebliche Marktpotenziale prognostiziert. Dazu bedarf es allerdings einer Effizienzsteigerung thermischer Kältemaschinen bei Antriebstemperaturen von unter 100°C, wie sie üblicherweise bei der Nutzung von Solarenergie oder Abwärme auftreten. Bereits heute sind solare Kühlsysteme eine wirtschaftliche Technik in Regionen mit hohem Kühlbedarf bei fehlender Stromversorgung. Kältemaschinen auf Ammoniak-Wasser-Basis stellen hier eine Schlüsseltechnik für die Lebensmittelkühlung dar. Kälte für die Nahrungsmittelindustrie und industrielle Prozesse energieeffizient zu erzeugen, bleibt auch in Zukunft ein wichtiges Thema. Auch bei der Gebäudeklimatisierung wird es weitere Effizienzsteigerungen bei den verschiedenen Kältemaschinen geben. Hier gibt es aber auch die Möglichkeit, durch eine gelungene Kombination des architektonischen Entwurfs mit Wärmedämmung, innovativen Sonnenschutzsystemen und Verfahren wie z. B. der passiven Kühlung den Klimatisierungsbedarf zu begrenzen oder zu vermeiden.

LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis steht im BINE-Internetangebot als Download in der Rubrik Service/InfoPlus bereit oder kann kostenlos angefordert werden.

Bildung & Energie im Web

www.bine.info

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter: www.bine.info Dort sind in der Rubrik "Service/InfoPlus" ein Literaturverzeichnis und eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

Ergänzende Informationen

Info-Mappen / Download

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich. Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter www.bine.info in der Rubrik "Service/InfoPlus" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 15,-€ (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

▼ **Herausgeber**
FIZ Karlsruhe GmbH
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ **Autoren**
 Ralf Schmidt-Pleschka, Uwe Milles

▼ **ISSN**
 1438-3802

▼ **Nachdruck**
 Nachdruck des Textes zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares - Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

▼ **Stand**
 Oktober 2006

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt

Fragen zu diesem **basisEnergieinfo?**
 Wir helfen Ihnen weiter:
Tel.: 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
 Kaiserstraße 185 - 197
 53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
 Fax: 0228 92379-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
 Internet: www.bine.info