

Kältetechnik, was ist das?

Als Kältetechnik wird eine technische Disziplin bezeichnet, die sich mit der Erzeugung und Anwendung tiefer Temperaturen befasst. Dabei sind tiefe Temperaturen die Temperaturen, die unterhalb der jeweiligen Umgebungstemperatur liegen. Die in der in der Physik und Chemie gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sind die Basis der heute mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden betriebenen Kältetechnik. Zugleich ist die Kältetechnik ein wichtiges Mittel, um einen Erkenntnisgewinn in den Naturwissenschaften zu erzielen.

Von den Anfängen

Noch zu Beginn des 17. Jahrhunderts galt die Kälte nur als eine Begleiterscheinung des Winters. Kälte wurde bedrohlich empfunden. Es schien den meisten Menschen unvorstellbar, sich der natürlichen Ordnung zu widersetzen und auf künstlichem Wege Kälte zu erzeugen. Selbst natürliche Kühlungsmöglichkeiten, wie Kellerräume, Natureis etc. wurden kaum zur Verlängerung der Haltbarkeit von Lebensmitteln genutzt.

Eine frühe Anwendung der Kältetechnik fand im Jahr 1620 statt. König Jakob I von England und Schottland ließ von seinem Hoferfinder Cernelis Drebbel an einem heißen Sommertag die Great Hall von Westminster Abbey abkühlen. Es ist nicht bekannt, welche Methode Drebbel nutzte und wie tief die Abkühlung erfolgte. Da sich Drebbel als Magier verstand, hatte er natürlich auch wenig Interesse daran, offenzulegen, wie er die Kälte erzeugte. Vermutlich erreichte er eine Abkühlung um etwa 10 K und nutzte dazu eine Kältemischung aus Wasser bzw. Wassereis und Nitraten (Salpeter). Die Vorführung muss so beeindruckend gewesen sein, dass Jakob I und seine Gäste in jeder Hinsicht erschauert das Gebäude verließen.

In der Folgezeit entwickelte sich die Kältetechnik langsam und ging einher mit einer zunehmenden Verstädterung. So wäre die Entwicklung von großen Städten im 19. Jahrhundert, beispielsweise an den Küsten in Nordamerika ohne die Bereitstellung von Kälte zur Lebensmittelkonservierung nicht möglich gewesen. Es entstanden die ersten sogenannten Kühlketten vom Erzeuger zum Verbraucher. Dazu wurde in großen Mengen Natureis verwendet.

Anfang des 19. Jahrhunderts gab es ein rasches Wechselspiel von Entdeckungen und Erfindungen in Naturwissenschaft und Technik. Die heute in der Kältetechnik im großen Umfang genutzten Techniken, die sog. Verdichterkältemaschinen, Sorptionskältemaschinen und Kaltgasmaschinen waren bis Mitte des 19. Jahrhunderts erfunden. In der Folgezeit wurden die Systeme hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften (im wesentlichen bezüglich Kosten, Sicherheit und Effizienz) kontinuierlich verbessert. Beispielsweise beschäftigte sich auch Albert Einstein in den Jahren 1920 bis 1930 während seiner Berliner Zeit zusammen mit dem Physiker Leo Szilard intensiv mit der Verbesserung von Kältemaschinen. Einstein war über Todesfälle, die durch undichte Kühlgeräte verursacht wurden, in welchen damals giftige bzw. brennbare Kältemittel, wie Methylchlorid, Schwefeldioxid, Propan, eingesetzt wurden, tief betroffen und begann mit eigenen Entwicklungen. Einsteins Kältemaschinen sollten ohne

giftige Kältemittel betrieben werden können bzw. hermetisch dicht ausführbar sein. Die Arbeiten führten zwar nicht direkt zu einer Serienproduktion, jedoch zu wirtschaftlich verwertbaren Patenten.

Ab 1930 wurden nichtbrennbare und ungiftige Fluor-Chlor-Derivate der aliphatischen Kohlenwasserstoffe als Kältemittel eingesetzt. Die Stoffe wurden zuerst von Midgley und Henne hergestellt und unter dem Markennamen Freon weltweit bekannt. Diese, auch als Sicherheitskältemittel bezeichneten Stoffe, führten zu einem endgültigen Durchbruch der Kältetechnik vor allem für kleine Leistungsgrößen und somit auch für private Nutzer.

Die heutigen Herausforderungen

Einige Zeit schien es, als seien auf dem Gebiet der Kältetechnik keine großen Entwicklungen mehr notwendig. Nachdem Rowland und Molina 1974 die Hypothese aufstellten, dass das Ozon der Stratosphäre besonders durch die chlorierten Kohlenwasserstoffe angegriffen wird, erfolgte, wenn auch zögerlich, ein Überdenken des Gefährdungspotentials der Kältemittel. Inzwischen gilt die Hypothese des Ozonabbaus als bestätigt. Auch die weiteren umweltrelevanten Eigenschaften, besonders die relativ zu Kohlendioxid um etwa zwei bis drei Größenordnungen höhere Treibhauswirksamkeit (über einen Zeithorizont von 100 Jahren betrachtet) der halogenierten Kohlenwasserstoffe, haben zu bereits drastischen und in Zukunft noch schärfer werdenden Reglementierungen der Herstellung und Verwendung dieser Stoffe geführt. Infolge dessen wird seit etwa 1985 wieder sehr intensiv an der Weiterentwicklung der Kältetechnik gearbeitet. Verstärkt wird dieser Trend noch durch viele neue Anwendungen der Kältetechnik. Die Weiterentwicklung betrifft sowohl die Kältemittel bzw. Arbeitsstoffe als auch die Kälteprozesse. Dabei wird versucht, eine ganzheitliche Bewertung der Systeme bezüglich der Effizienz, der Art der Antriebsenergie, der Umweltverträglichkeit, der Investitions- und Betriebskosten, der Betriebssicherheit, des Gefährdungspotentials und anderer von den Anwendungen sowie auch vom gesellschaftlichen Umfeld gegebener Kriterien vorzunehmen. Letztlich wird versucht, die sogenannte Nachhaltigkeit zu beurteilen, welche als Zusammenfassung der gewichteten Bewertungskriterien anzusehen ist. Ziel ist es, für eine konkret definierte kältetechnische Anwendung das beste System auszuwählen. Da gesetzliche Rahmenbedingungen nicht konstant sind, fortlaufend Änderungen bei der Gewichtung der Kriterien erfolgen und natürlich die jeweilig betrachteten Systeme aufgrund der Entwicklungsanstrengungen auch kontinuierlich besser werden, ist das Ergebnis einer Auswahl nicht von bleibender Gültigkeit. Hieraus lässt sich erahnen, dass auch in Zukunft die in der Kältetechnik tätigen Fachkräfte sehr viel zu tun haben werden.

Es gibt noch viele weitere Gründe, weshalb der Einsatz der Kältetechnik und deren weitere Verbesserung heute als so wichtig angesehen werden:

Auch heute verdirbt noch ein Großteil der Lebensmittel aufgrund unzureichender Konservierung. Bekanntlich ist bei weitem nicht die zu geringe Produktion von Lebensmitteln die Ursache der heutigen Unterversorgung in manchen Teilen der Welt sondern Mängel beim Transport sowie der Konservierung. Hier kann die Kältetechnik weiterhin noch einen großen Beitrag leisten. Ziel ist es, weltweit unterbrechungsfreie

Kühlketten zu etablieren. Eine der wichtigsten Anwendungen der Kältetechnik ist und bleibt der Lebensmittelbereich.

Die erforderlichen Energieaufwendungen für die Kälteerzeugung werden häufig unterschätzt. In Deutschland wird für die Kältetechnik rund 77.000 GWh/a, bzw. 14 %, der erzeugten elektrischen Energie und 165.000 GWh/a, bzw. 5,8 %, der Primärenergie verbraucht. Es wird in Zukunft immer wichtiger Möglichkeiten zu finden, den Kältebedarf zu senken. Neben der Nutzung natürlicher Kälte kommt hier beispielsweise der thermischen Isolierung eine große Bedeutung zu. Die Prozesse sind auch aus thermodynamischer Sicht weiter verbesserungsfähig, wenn auch die Aufwendungen überproportional zunehmen, je näher die theoretisch möglichen Grenzen erreicht werden. Auch die Kombination verschiedener Prozesse kann Einsparungen beim Bedarf von Antriebsenergie bewirken. Es ist notwendig, die möglichen Alternativen systemtechnisch zu erfassen und zu bewerten.

Die heutige Verbreitung der Kältetechnik als Schlüsselkomponente der Komfortklimatisierung von Gebäuden und Kraftfahrzeugen, war vor wenigen Jahren kaum vorstellbar. Genauer betrachtet gilt dies für die gemäßigten klimatischen Zonen von Mitteleuropa, also hierzulande, wo lange Zeit die Klimatisierung als unnötig und teuer angesehen wurde. In wärmeren Gebieten, wie z. B. in den USA und in Japan, hingegen, wurde die Klimatisierung von der Bevölkerung sehr dankbar angenommen. Es erfolgte hier eine rasche Entwicklung und Verbreitung, sodass solche Länder heute in diesem Gebiet sowohl technologisch als auch wirtschaftlich die Marktführung übernommen haben. In Europa gibt es große Anstrengungen, mit den Entwicklungen Schritt zu halten und bereits verlorene Märkte wieder zurückzugewinnen.

Die Kühlung von Sensoren zur Erfassung von schwachen Signalen von z. B. Magnetfeldsensoren für Computertomographen, Bildsensoren für Nachtsichtgeräte etc. ermöglicht eine höhere Signalverstärkung bzw. erst die Trennung der Messsignale von den Störsignalen. Zunehmend werden hier effiziente Kühlgeräte gefordert, die zudem noch klein und für den mobilen Bereich geeignet sein sollen.

Die Tieftemperaturkonservierung von biogenen Materialien ist in der Bio- und Medizintechnik von zunehmender Bedeutung. Tieftemperaturchirurgie ist eine vielversprechende Möglichkeit, z. B. zur Entfernung von Tumoren.

Die Kältetechnik kann zur Erzeugung eines tiefen Vakuums genutzt werden, das z.B. für Forschungszwecke und für die deutlich zunehmende Herstellung neuer Materialien und Produkte notwendig ist.

Viele verfahrenstechnische Prozesse zur Stoffgewinnung und zur Stoffsynthese sind auf tiefe Temperaturen angewiesen. Beispiele dafür sind die Sauerstoff- und Stickstoffgewinnung aus Luft, die Verflüssigung der Energieträger Erdgas und Wasserstoff, die Auskristallisation in der Kaliindustrie etc. Auch die zunehmend wichtiger werdende Trinkwassergewinnung kann auf kältetechnischem Weg beschritten werden.

Im Zuge der Verknappung von Primärenergieträgern (besonders Erdgas, Erdöl, Kohle und Uran) und des zugleich weltweit steigenden Energiebedarfs kommt einer effizienten Energienutzung eine immer wichtigere Bedeutung zu. Die Kältetechnik leistet hier bereits einen großen Beitrag, der jedoch noch längst nicht ausgeschöpft ist:

Für die Bereitstellung von Heizwärme für Wohnräume, Brauchwasser und industrielle Prozesse ist die mechanisch angetriebene Wärmepumpe attraktiv, da sie, je nach geforderten Temperaturen, etwa 50 % mehr von der aufgewendeten Primärenergie als Heizwärme liefert. Im Kern sind Wärmepumpen Kältemaschinen, bei welchen jetzt nicht deren erzeugte Kälte, sondern die erzeugte Abwärme genutzt wird. Einen Teil der bereitgestellten Wärme liefert die Primärenergie, der andere Teil steht kostenlos aus der Umgebung zur Verfügung. (Beim Antrieb mit elektrischer Energie kann sogar rund das Vierfache dieser Energie als Heizenergie gewonnen werden.) Die Abwärme von Kraftwerken (zentrale Großkraftwerke und kleine dezentrale Blockheizkraftwerke) steht häufig bei einem so hohen Temperaturniveau zur Verfügung, dass ein thermischer Antrieb von Sorptions-Kältemaschinen (Absorptionskältemaschinen bzw. Adsorptionskältemaschinen) möglich ist. Auch solare Energie kann mit solchen Systemen entweder für Heiz- oder für Kühlzwecke genutzt werden. Es gibt erste Wärmepumpen auf dem Markt zur Beheizung von Wohnräumen auf der Basis von Sorptions-Kältemaschinen, mit welchen etwa 30 % Einsparungen des Primärenergieeinsatzes möglich sind.

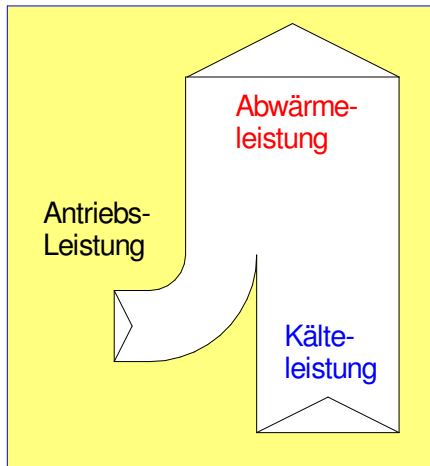
Der Supraleitung kann mittels einer effizienten, betriebssicheren und kostengünstigen Kältetechnik zum Durchbruch verholfen werden.

Nicht zuletzt sind die Anwendungen der Kältetechnik im Sport, z. B. in Eissportstadien zu nennen. Hier werden zunehmend Systeme mit niedrigerem Bedarf an Antriebsenergie gefordert.

Die Schwierigkeit der Kälteerzeugung

Wird die Aufgabe gestellt, die Temperatur ausgehend von einer Umgebungstemperatur, z. B. von 20 °C, zu erhöhen, können sofort einige Möglichkeiten genannt werden: Beispielsweise kann durch Wandlung von mechanischer Energie mittels Reibung, Wandlung von elektrischer Energie mittels elektrischer Widerstände, Wandlung der chemischen Energie von Brennstoffen etc. thermische Energie, d.h. Heizwärme, gewonnen werden, welche die gewünschte Temperatur auf einfache Weise bereitstellt. Generell lassen sich alle Energieformen vollständig in thermische Energie wandeln. Sie ist auch immer eine Begleiterscheinung von jeder real stattfindenden Energiewandlung.

Hingegen ist die Aufgabe, die Temperatur gegenüber der Umgebungstemperatur abzusenken, nicht so einfach zu lösen. Die zuvor genannte Umgebungstemperatur von 20 °C ist noch weit entfernt von der niedrigst möglichen Temperatur von $-273,15$ °C. Dies entspricht auf der Kelvin-Skala 0 K. Aufgrund der gleichen Teilung der Celsius und Kelvin-Temperaturskala entsprechen 20 °C dann 293,15 K. Bei 0 K, bzw. $-273,15$ °C, kommen alle Bewegungen der Teilchen, aus welchen Materie aufgebaut ist, zur Ruhe und die thermische Energie hat den Betrag Null. Die Temperatur ist als direktes Maß der thermischen Energie zu betrachten. Wenn eine Abkühlung



erfolgen soll, müssen demnach Wege gefunden werden, um die thermische Energie zu verringern. Nach den heute bekannten Naturgesetzen ist eine Verringerung der thermischen Energie auf ein Temperaturniveau unterhalb der Umgebungstemperatur nur mit Hilfe einer zusätzlich aufzuwendenden Antriebsenergie möglich. Der Grund ist, dass sich Temperaturdifferenzen in der Natur immer von allein auszugleichen versuchen und dem jetzt entgegengewirkt werden muss. Für eine kontinuierliche Kälteerzeugung ist demnach ein System zu schaffen, das eine thermische Leistung, dies ist die Kälteleistung, und die Antriebsleistung aufnimmt. Die Summe aus beiden Leistungen wird als Ab-

wärmeleistung aus dem System wieder abgeführt. Der Antrieb kann mechanisch erfolgen. Mechanische Antriebsenergie wird bei Verdichterkältemaschinen und Kaltgasmaschinen genutzt. Bildlich gesprochen, wird bei diesen Maschinen die thermische Energie auf niedrigem Temperaturniveau aufgenommen, mit Hilfe einer Arbeitszufuhr auf ein höheres Temperaturniveau „gepumpt“ und dann zusammen mit dieser Antriebsenergie als thermische Energie bei höherer Temperatur, welche mindestens dem Temperaturniveau der Umgebung entspricht, wieder abgeführt. Der Begriff Wärmepumpe beschreibt dies sehr anschaulich. Bei der Kälteerzeugung handelt es sich also nicht um die Erzeugung von Energie, sondern um eine Energiewandlung, mit der es gelingt, thermische Energie auf niedrigem Temperaturniveau bereitzustellen. Die Antriebsenergie kann auch thermische Energie sein, mit der Bedingung, dass deren Temperatur höher als die der Umgebungstemperatur ist. Von dieser Energie ist jedoch nur ein Teil nutzbar. Er ist umso größer, je höher die Temperatur dieser thermischen Energie ist. Thermische Energie wird zum Antrieb von Sorptionskältemaschinen genutzt.