



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Physikalische Grundlagen der Kälteerzeugung.

Was ist Kälte? + Energieformen, Energieumwandlung und
Energietransport + Verfahren zur „Erzeugung von Kälte“.

Was ist Kälte?

Kälte ist das Fehlen von Wärme.

Die meisten Laien haben eine recht gute Vorstellung davon, was Kälte bedeutet, weil wir Kälte spüren können. Etwas schwieriger wird es erst mit einem gewissen technisch-physikalischen Grundverständnis, da der Begriff „Kälte“ schwer einzuordnen ist. Kälte ist weder ein Stoff, noch im strengeren Sinne eine Energieform. Kälte ist ein Zustand, in dem die Temperatur an einer Stelle niedriger ist als in der Umgebung. Die Wissenschaft, die sich mit den verschiedenen Formen von Energieumwandlungen und Zustandsgrößen wie Temperatur, Druck und Dichte beschäftigt, heißt Thermodynamik. Aus Sicht der Thermodynamik ist Kälte ein Ungleichgewichtszustand. Um diesen Ungleichgewichtszustand zu erzeugen, muss von dem Ort, an dem Kälte entstehen soll, Wärmeenergie entfernt werden. Man kann Kälte auch als den Energiefluss auffassen, der von dem Ort, an dem der Zustand niedriger Temperatur erzeugt werden soll, weg transportiert wird.

Eine Kältemaschine ist eine Maschine, die Kälte erzeugt. Sie kann auch als „Energiepumpe“ aufgefasst werden. So wie eine Flüssigkeitspumpe auf der Saugseite einen Unterdruck erzeugen kann

und auf der Druckseite einen Überdruck, erzeugt die Kältemaschine auf der kalten Seite eine Temperatur unter der Umgebungstemperatur und auf der warmen Seite eine Temperatur über der Umgebungstemperatur. Der Zustand wird in Grad Celsius oder in Kelvin unter bzw. über der Umgebungstemperatur beschrieben. Die Kälteleistung dieser Energiepumpe ist der Energiefluss auf der „Saugseite“ und wird in Kilowatt angegeben. Verschiedene Verfahren zur Erzeugung von Kälte werden weiter unten in diesem Dokument beschrieben.

Wärme kann nicht „vernichtet“ werden.

Eine Grunderkenntnis der Thermodynamik ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Wegen seiner grundlegenden Bedeutung wird es auch „Erster Hauptsatz der Thermodynamik“ genannt. Es besagt, in einfachen Worten ausgedrückt, dass Energie nicht „vernichtet“ werden kann. Energie kann transportiert werden und von einer Energieform in eine andere oder auch in Arbeit umgewandelt werden. Diesem Gesetz folgend muss zur Erzeugung von Kälte die im System vorhandene Wärme abtransportiert werden.

Energieformen, Energieumwandlung und Energietransport.

Es gibt viele Formen, in denen Energie auftreten kann. Die wohl bekannteste Form neben der Wärmeenergie (thermische Energie) ist die elektrische Energie. Die Energie, die ein Körper aufgrund seines Bewegungszustandes besitzt, nennt man kinetische Energie. Ist ein Körper aufgrund seiner räumlichen Position in der Lage Arbeit zu verrichten, spricht man von potenzieller Energie. Das Arbeitsvermögen, das ein Stoff auf Grund seines chemischen und physikalischen Zustands besitzt, nennt man Enthalpie. Dieses hängt einerseits von den physikalischen Zustandsgrößen Druck, Dichte und Temperatur ab und andererseits von Eigenschaften wie dem Aggregatzustand, chemischen Bindungen, Kristallstruktur und Ähnlichem.

Wenn sich der Energieinhalt eines Stoffes ändern soll, muss Energie von dort an einen anderen Ort fließen. Dabei können verschiedene Energieformen ineinander umgewandelt werden. Wasser im oberen Becken eines Wasserkraftwerkes besitzt potenzielle Energie. Werden die Schleusen geöffnet, beginnt das Wasser

zu fließen und die potenzielle Energie wandelt sich in kinetische Energie um. Diese kann in einer Turbine in eine Drehbewegung verwandelt werden, die wiederum in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Ähnlich wie das Wasser im Kraftwerksbecken besitzt auch Wasserdampf ein Energiepotenzial. Die Enthalpie des Wasserdampfes ist höher als die des Wassers. Steht der Dampf noch unter Druck, ist die Enthalpie noch höher. Wird der Wasserdampf kondensiert, kommt es zu einem Energiefluss in Form von Wärme. Wird der Dampf in einer Turbine entspannt, kann die Energie wiederum in elektrische Energie umgewandelt werden. Da bei dieser Umwandlung die Enthalpie des Wasserdampfes abnimmt, fällt der Druck und die Temperatur sinkt.

Die Kältetechnik dreht die in der Energietechnik üblichen Prozesse um.

Lässt man den oben beschriebenen Prozess andersherum laufen und verdichtet kalten Dampf in einem Kompressor, wird elektrische Energie in Enthalpie umgewandelt. Der Dampf hat dann am Ausgang einen höheren Druck und eine höhere Temperatur. Diese Verdichtung ist ein wichtiger Schritt bei Kälteprozessen. Wie man diesen Effekt ausnutzt, wird weiter unten in diesem Dokument beschrieben. Auch die Abkühlung von Dampf beim Entspannen ist von grundlegender Bedeutung für die Kälteerzeugung. Dieser Effekt tritt nicht nur auf, wenn Dampf in einer Turbine entspannt (=auf einen niedrigeren Druck gebracht) wird, sondern auch, wenn man ein Gas oder Dampf in einem Drosselventil entspannt. Die dritte wichtige Energieumwandlung in der Kältetechnik ist der Umkehrprozess der Kondensation, nämlich der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand. Verdunstet oder verdampft eine Flüssigkeit, entzieht sie der Umgebung thermische Energie (Wärme) und wandelt diese in Verdampfungsenthalpie um. Dasselbe geschieht, wenn eine Substanz vom festen in den gasförmigen Zustand übergeht, wie dies z.B. bei „Trockeneis“ (festem Kohlendioxid) der Fall ist.

Kältemaschinen müssen Wärme entgegen ihrer natürlichen Flussrichtung transportieren.

Besteht irgendwo ein thermodynamischer Ungleichgewichtszustand, ist die Natur von sich aus bestrebt, wieder einen Gleichgewichtszustand herzustellen. Ein Gleichgewichtszustand im Sinne der Thermodynamik ist – einfach formuliert - ein Zustand, in dem alles gleich verteilt ist: gleiche Temperaturen, gleiche Drücke, etc. Da Kälte, wie oben bereits formuliert, eine Situation mit unausgeglichenen Temperaturen darstellt, fließt aus der Umgebung ständig Wärme nach. Man kann diesen Wärmefluss durch eine gute Isolierung zwar bremsen, aber nicht vollständig stoppen. Die Aufgabe von Kältemaschinen ist es daher nicht nur, einmalig einen Zustand mit niedrigeren Temperaturen zu erzeugen, sondern vor allem auch kontinuierlich die nachfließende Wärme „abzupumpen“ und an einen Ort zu transportieren, wo sie nicht stört.

Wärme kann prinzipiell nur von einem Ort mit höherer Temperatur an einen Ort mit niedrigerer Temperatur fließen. Diese Tatsache wird durch thermodynamische Gesetzmäßigkeiten belegt. Ebenso gibt es Definitionen bezüglich der Wertigkeit verschiedener Energieformen. Die Wertigkeit einer Energie leitet sich daraus ab, wie viel Arbeit sie verrichten kann. Elektrische Energie ist z. B. eine besonders hochwertige Energie; Wärme bei moderaten Temperaturen hingegen ist eher minderwertig. Je höher die Temperatur, desto höherwertiger ist auch die Wärme.

Die Kernaufgabe der Kältetechnik ist es, Wärme an einen Ort mit höherer Temperatur zu transportieren und dafür möglichst wenig höherwertige Energie aufzuwenden. Daher wird in der Kältetechnik die Güte des Hauptprozesses auch nicht in den sonst bei der Energieumwandlung üblichen Wirkungsgraden von 0 bis 100 Prozent bemessen. Vielmehr wird angegeben, wie viel hochwertige Energie nötig ist, um eine bestimmte Menge minderwertiger Energie (Wärme) zu transportieren. Bei guten Kälteanlagen wird mit einer Kilowattstunde Strom die vierfache Menge an Wärme transportiert.

Wärmeübergänge werden durch eine „treibende Temperaturdifferenz“ verursacht.

Wie oben beschrieben, fließt Wärme in der Natur ohne weitere Einwirkungen von außen immer von einem Ort mit höherer zu einem Ort mit niedrigerer Temperatur. Wie stark dieser Wärmefluss ist, hängt von der Temperaturdifferenz ab. Man spricht daher auch von der „treibenden Temperaturdifferenz“. Daneben hängt der Wärmefluss noch von der Wärmeleitfähigkeit des Materials ab. Hält man einen Eisenstab in heißes Wasser, fließt die Wärme spürbar zum kälteren Ende des Stabes. Nimmt man hingegen einen Holzstab, ist der Wärmefluss deutlich geringer. Für die Gesamtmenge des Wärmetransports ist auch die Querschnittsfläche wichtig. Durch einen dicken Stab kann insgesamt mehr Wärme fließen als durch einen dünnen. Analog fließt durch eine große Wand mehr Wärme als durch eine kleine.



Für die Kältetechnik hat dies verschiedene wichtige Konsequenzen:

- Will man den Wärmedurchgang gering halten, um beispielsweise zu vermeiden, dass zuviel Wärme in einen Kühlraum eindringt, muss man die Wandfläche möglichst klein halten und ein Wandmaterial mit einer schlechten Wärmeleitung benutzen. Eine Form mit einer geringen Oberfläche im Verhältnis zum (Lager-)Volumen ist ein Kubus. Ein Material mit schlechter Wärmeleitfähigkeit (= guten Dämmeigenschaften) ist z.B. Styropor.

- Will man einen möglichst hohen Wärmedurchgang erzielen, muss man die Oberfläche möglichst groß gestalten und ein Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit benutzen. Dies ist z. B. bei Wärmeaustauschern der Fall. Zwei eng aneinander liegende Stahlplatten, bei denen der dazwischen liegende Spalt mit einer Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt ist, haben eine große Oberfläche im Verhältnis zum umschlossenen Flüssigkeitsvolumen. Dazu ist Stahl ein guter Wärmeleiter.
- Will man in einem Wärmeaustauscher die treibende Temperaturdifferenz senken, ohne dass dabei der Wärmefluss sinkt, muss man die Wärmeaustauscherfläche durch zusätzliche Platten, Lamellen oder Rohrschlangen vergrößern.

Verfahren zur „Erzeugung von Kälte“.

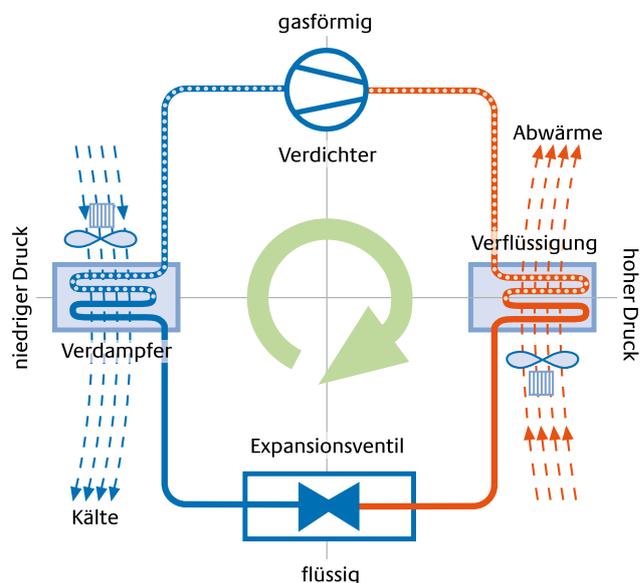
Kühlen durch Verdunstung.

Der einfachste und älteste bekannte Kälteprozess ist die Verdunstungskühlung. Dabei entzieht das Wasser die zur Verdunstung nötige Energie seiner Umgebung, insbesondere der Oberfläche, auf der die Verdunstung stattfindet. Früher wurden auf diese Art und Weise z.B. Tongefäße gekühlt, in denen Lebensmittel aufbewahrt wurden. Um die niedrigeren Temperaturen zu halten, muss ständig Wasser nachgeführt werden. Da mit dieser Methode jedoch keine sehr hohe Leistungsdichte erzielt werden kann, wird die Verdunstung heute in technischem Maßstab selten als allein stehender Kälteprozess verwendet. Ausnahmen gibt es bei der Gebäudeklimatisierung. So beruht der Kühleffekt von grasbewachsenen Dächern beispielsweise auf Verdunstung. Einen festen Platz hat die Verdunstung bei der „Rückkühlung“ von Kühlwasser, z. B. in Kühltürmen.

Kühlen durch Verdampfen.

Die meisten heute gebauten Kältemaschinen beruhen auf Kaltampfprozessen. Hier werden Stoffe verwendet, die schon bei sehr niedrigen Temperaturen sieden. Dabei wird ausgenutzt, dass die Siedetemperatur druckabhängig ist. An der Stelle, an der die Kälte erzeugt werden soll, wird der Druck so eingestellt, dass die Siedetemperatur unterhalb der Temperatur liegt, auf die gekühlt werden soll. Wenn das flüssige Kältemittel in diesen Bereich niedrigen Druckes eintritt, beginnt es zu sieden und muss, ähnlich wie bei der Verdunstung, Wärmeenergie aufnehmen, um gasförmig werden zu können. Die aufgenommene Energie kann nun mit dem gasförmigen Kältemittel an einen anderen Ort transportiert werden. Um die Energie wieder abzugeben, wird der Druck soweit erhöht, dass das Gas kondensiert. Der Druck muss dabei so hoch sein, dass die Kondensationstemperatur über der Umgebungstemperatur liegt, um einen natürlichen Wärmefluss vom Kältemittel zur Umgebung zu ermöglichen. Falls an dieser Stelle Kühlwasser eingesetzt wird, reicht es aus, wenn die Kondensationstemperatur des Kältemittels über der Temperatur des Kühlwassers liegt.

Abb. 1: **Kältekreislauf der Kompressionskältemaschine**

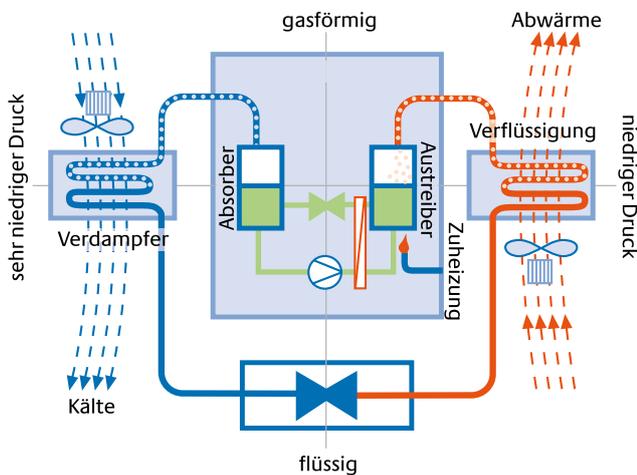


Theoretisch ließe sich bei der Kompressionskältemaschine auch Wasser als Kältemittel einsetzen. Dazu müsste der Prozess bei ausreichend niedrigen Drücken ablaufen, so dass die Siede- und Kondensationstemperaturen in dem gewünschten Bereich liegen. Der Verdichter müsste im Verdampfer einen sehr starken Unterdruck erzeugen (wenige Millibar). Selbst im Verflüssiger würde noch ein Unterdruck herrschen – etwas ein Zehntel des Atmosphärendrucks. In der Praxis ist dies für Kompressionskältemaschinen nicht wirtschaftlich.

Wie die Thermodynamik dem Verdichter unter die Arme greifen kann.

Eine Kältemaschine, bei der tatsächlich Wasser als Kältemittel eingesetzt wird, ist die Absorptionskälteanlage. Hier wird auf einen physikalischen Vorgang zurückgegriffen, um die Arbeit des Verdichters (in diesem Falle eine Pumpe) zu reduzieren. Der kalte Wasserdampf wird von einer konzentrierten, hygroskopischen Lithiumbromidlösung absorbiert. Durch dieses „Aufsaugen“ entsteht im Verdampfer der notwendige Unterdruck. Das auf diese Art und Weise verflüssigte Kältemittel (=Wasser, jetzt in Form einer verdünnten Lithiumbromidlösung) wird mit einer Flüssigkeitspumpe auf einen höheren Druck gebracht. Nun wird das Wasser unter Hitzeführung wieder „ausgekocht“. Nach diesem Prozessschritt liegt, ebenso als ob der Kaldampf einen Kompressor durchlaufen hätte, wärmerer Dampf bei einem höheren Druck vor. Der Rest des Kältemittelkreislaufs entspricht prinzipiell dem der Kompressionskältemaschine. Die aufkonzentrierte Lithiumbromid-Lösung aus dem Austreiber wird in den Absorber zurückgeführt. Der Prozess findet kontinuierlich statt.

Abb. 2: Absorptionskälteanlage



Der Kältekreislauf einer Absorptionskälteanlage ist in Abb. 2 dargestellt. Die abgebildeten Systemkomponenten sind nur symbolisch zu verstehen und sollen die Analogie zur Kompressionskältemaschine und die prinzipielle Funktionsweise verdeutlichen. Tatsächlich wird meistens nicht in Rohrschlangen verflüssigt und verdampft, sondern durch Versprühen des Wassers. Auch Absorber und Austreiber sind in der Realität nicht nur einfache Behälter,

sondern Vorrichtungen, in denen eine gute Durchmischung stattfindet. Die Zuführung der Austreiberwärme kann durch direkte Befuerung, Heißwasser oder Dampf stattfinden.

Der Vorteil des Sorptionsverfahrens ist, dass die Flüssigkeitspumpe viel weniger Strom braucht als ein Kompressor, der den kalten Wasserdampf von wenigen Millibar auf 0,1 bar bringen würde. Das heißt aber nicht, dass dieser Prozess insgesamt weniger Energie erforderte. Tatsächlich wird für das „Auskochen“ sogar vergleichsweise viel Wärmeenergie benötigt. Wirtschaftlich vorteilhaft sind Absorptionskälteanlagen ab Leistungen von etwa 100 kW, wenn die Wärme für den Austreiber kostenlos oder zu sehr geringen Kosten zur Verfügung steht. Einige interessante Lösungsmöglichkeiten werden im Infoblatt „Kälteerzeugung“ vorgestellt (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publicationen).

Weitere Kälteprozesse.

Ein Kälteprozess, der in der Tieftemperaturtechnik häufig zum Einsatz kommt, ist das Linde-Verfahren, ein so genannter Kaltgasprozess. Es funktioniert ähnlich wie der Kompressionskälteprozess, nur dass als Kältemittel ein Gas verwendet wird, welches nach dem Komprimieren nicht kondensiert. Die Wärmeaufnahme und -abgabe findet hier also nicht über einen Wechsel des Aggregatzustands statt. Stattdessen wird der Effekt ausgenutzt, dass sich Gase beim Expandieren abkühlen. In vielen hintereinander geschalteten Stufen kann man mit diesem Verfahren bis in die Nähe des absoluten Temperatur-Nullpunktes kommen.

Weitere Verfahren zur Kälteerzeugung sind Adsorptionskältemaschinen (ähnlich der Absorption), Diffusionsabsorptionskältemaschinen, thermoelektrische Peltierelemente und die „Magnetische Kühlung“. Da diese Verfahren (zumindest bis jetzt) keine Bedeutung für die großtechnische Kälteerzeugung haben, werden sie hier nicht weiter erläutert.

Fazit:

Um Kälte an einem Ort zu erzeugen, muss Wärme abtransportiert werden. Bei einer aktiven Kühlung geschieht dies durch einen Kälteprozess unter Zuführung von Energie. Dafür gibt es verschiedene Verfahren. Das am weitesten verbreitete ist die Kompressionskältemaschine. Steht eine kostenlose Wärmequelle zur Verfügung, kann auch ein Sorptionsprozess benutzt werden. Falls die Temperatur, auf die gekühlt werden soll, nur wenig unter der Umgebungstemperatur liegt, kann auch eine Verdunstungskühlung eingesetzt werden.

Tipps:

- Machen Sie sich mit den Energiemengen, die in Ihrem Kälteprozess transportiert werden oder werden sollen, vertraut. Welchen Wert könnte diese Energie haben?
- Stellen Sie sich vor der Auswahl eines Kälteprozesses die folgenden Fragen:
 - a) Existiert in der Nähe eine preisgünstige Wärmequelle mit einer Temperatur über 80°C? Dies würde für den Einsatz einer Absorptionskälteanlage sprechen.
 - b) Wird in der Nähe dauerhaft Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau benötigt? Dies würde für eine Rückgewinnung der Abwärme aus der Kälteanlage sprechen.
- Prüfen Sie, ob für eine Kühlung auch eine reine Verdunstungskühlung in Frage kommen würde und ob Sie andere Kältequellen wie Brunnenwasser oder kühle Nachtluft mit heranziehen können.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Anwendungen.

Wo und wie werden Kälteanlagen eingesetzt? + Abkühlen
und Gefrieren + Kühlhalten + Weitere Anwendungen.



Wo und wie werden Kälteanlagen eingesetzt?

Kältetechnische Anlagen gibt es in vielen industriellen und gewerblichen Bereichen. Die Ausführungen und Größen sind so vielfältig wie die Anwendungen selbst. Gemein haben diese Anlagen, dass an einer Stelle Kälte erzeugt wird, die an einer anderen Stelle in das Produkt oder den Prozess eingebracht werden muss. In Richtung des tatsächlichen Wärmeflusses betrachtet: Wärme wird an einer Stelle dem Prozess entzogen und an einer anderen Stelle in die Umgebung abgegeben.

Kälte kann zentral oder dezentral erzeugt werden.

Dezentrale Anlagen am Ort des Kältebedarfs geben die Wärme oft an die Raumluft ab. Bei zentralen Anlagen wird die Wärme zunächst an einen zentralen Ort transportiert und dort an die äußere Umgebung abgegeben. Der Transport der abzuführenden Wärme kann durch verschiedene Medien geschehen. Kühlwasser oder Luft können ebenso eingesetzt werden wie spezielle chemische Kühlflüssigkeiten. Bei der Verwendung von Kühlwasser und Luft muss eine Temperaturdifferenz zwischen Kühlgut und Kühlmedium bestehen. Chemische Kühlflüssigkeiten entwickeln diese Temperaturdifferenz erst lokal. Die Temperaturabsenkung geschieht dann erst bei der Expansion des Kältemittels an den Kühlflächen des Verdampfers. In einem solchen Fall spricht man von einer direkten Kühlung. Verfahren, bei denen die Kälte am Verdampfer erst auf einen Kälte Träger übertragen wird und von diesem auf das zu kühlende Produkt oder die Kontaktfläche mit demselben, bezeichnet man als indirekt.

Weitere Informationen zur Kälteerzeugung finden sich im gleichnamigen Infoblatt. Informationen zu Kältemitteln und zum Kälte transport finden sich im Infoblatt „Kältenetze“ (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen).

Anlagen gibt es in (fast) jeder Größe.

Bei Kälteanlagen unterscheidet man manchmal zwischen „Kleinkälte“ und „Großkälte“. Erstere sind kompakte Kühlmöbel und letztere größere Anlagen. Zur Großkälte werden oft alle Ammoniak-Anlagen gezählt, egal welcher Größe. Oftmals werden Anlagen auch je nachdem, ob sie unterhalb oder oberhalb von 0°C arbeiten, in Kälte- und Kühlanlagen unterteilt. In dieser Serie wird der Begriff Kälteanlage jedoch als Oberbegriff für beide Bereiche genutzt. Eine andere Unterscheidung ist: **Haushaltskälte, Gewerbekälte, Industriekälte**. Während der Haushaltskunde seine Kühlmöbel meistens im Einzelhandel kauft und selbst aufstellt, wird die Planung und Montage gewerblicher Kälteanlagen oft von kleinen und mittleren Fachbetrieben vorgenommen. Industriekälte ist zum großen Teil noch eine Domäne der Anlagenbauer. In der Industriekälte ist der Anteil individuell angepasster Anlagenteile am größten. In allen Bereichen werden inzwischen die wesentlichen Komponenten in Masse gefertigt. Einen Sonderstatus nimmt die **Klimakälte** ein, deren Komponenten oft von Betrieben des Lüftungs- und Heizungsbaus installiert werden.

Besonders wichtige Anwendungen der Kältetechnik sind das Kühlen, Gefrieren und Kaltlagern. Gerade im industriellen Maßstab gibt es hier eine Vielzahl von Lösungen für verschiedene Anforderungen. Diese unterscheiden sich durch die Art, wie dem Kühlgut Wärme entzogen wird. Ihr Einsatz richtet sich nach Typ, Beschaffenheit und Größe des Kühlguts, den optimalen Abkühlgeschwindigkeiten aus Qualitätsgründen oder unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Ein wichtiger Maßstab für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage sind die Lebenszykluskosten, die eingehender im Infoblatt „Planung und Optimierung von Kälteanlagen“ behandelt werden (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen).

Abkühlen und Gefrieren.

Aus dem „Was...?“ ergibt sich das „Wie...?“.

Die gängigste, universell anwendbare Form der Kühlung ist die **Konvektionskühlung** mit Kaltluft. Ein Kaltluftstrom mit einer Geschwindigkeit von 2-10 m/s kühlt das Gut bis auf eine Temperatur zwischen -20 und +4°C. Die Luftfeuchtigkeit sollte dabei relativ hoch sein, um ein Austrocknen zu verhindern und den Wärmeübergang zu verbessern. Übliche Umsetzungsformen sind Kühlräume mit Ventilatorluftkühlern, Abkühltunnel mit Hordenwagen oder Transporteinrichtungen und kontinuierliche Bandsysteme.

Der bessere Wärmeübergang in Wasser als in Luft wird bei der **Tauchkühlung**, also dem Eintauchen des Produkts in Wasser, ausgenutzt. Dies ermöglicht höhere Abkühlgeschwindigkeiten. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine Schwundverluste auftreten, sondern sich das (Verkaufs-)Gewicht teilweise durch aufgenommenes Wasser sogar noch erhöht. Das kalte Wasser wird entweder

durch maschinelle Kühlung oder durch Zugabe von Scherben-eis erzeugt. Der Eisbedarf liegt dabei zwischen 0,5 und 1 kg pro Kilogramm Produkt. Dadurch, dass Eis auf der Produktoberfläche schmilzt, wird der Wärmeübergang gegenüber der reinen Kaltwasserkühlung sogar noch erhöht.

Ein reines **Beeisen**, also eine Kühlung auf Eis ohne Wasser, wird bei Fisch und einzelnen Gemüsearten durchgeführt. Bei einigen technologischen Prozessen, wie der Brät- und Teigerstellung, wird die Temperatur durch Zugabe von zerkleinertem Wassereis abgesenkt.

Die **Sprühkühlung** wird z. B. eingesetzt, um die Gefahr einer Salmonellenübertragung von Tier zu Tier beim Abkühlen von Geflügel zu vermeiden. Anstelle eines vollständigen Eintauchens in Wasser wird das Produkt mit einem Wasserebel besprüht. Auch heiße Gasströme können durch das Einsprühen kalter Flüssigkeit schnell abgekühlt werden. Diese Technik wird als „Quenchen“ bezeichnet.



Foto: www.pixelio.de



Bei der **Vakuumkühlung** wird zunächst das zu kühlende Gut mit Wasser besprüht und dann der Umgebungsdruck abgesenkt. Durch die Verdunstung des Wassers wird dem Produkt Wärme entzogen. Dieses Verfahren wird bei Produkten mit großen Oberflächen eingesetzt. Bei richtiger Ausführung kann dies ein sehr wirtschaftliches Kühlverfahren sein. Neuere Versuche zeigen, dass auch gekochte Produkte damit abgekühlt werden können. Voraussetzung für die Erhaltung der Textur ist jedoch eine sorgfältig geregelte Drucksenkung in der Vakuumkammer.

Eine **Kontaktkühlung** zwischen zwei Platten erlaubt eine fast doppelt so schnelle Abkühlung wie eine Konvektionskühlung. Sie ist für Schüttgüter und quaderförmige Produkte geeignet. Bei der Schokoladen- und Süßwarenherstellung werden die Produkte in Formen oder auf einem Transportband durch Kontakt gekühlt. Die Kontaktfläche wird von unten mit Kaltluft angeblasen oder mit einem flüssigen Kälte­träger besprüht. Pastöse Substanzen können zwischen flexiblen Stahlbändern oder rotierenden Zylindern gekühlt werden.

Die **Kühlung in Wärmetauschern** ist das am häufigsten angewandte Verfahren bei der Kühlung von Flüssigkeiten wie z.B. von Milch, Fruchtsäften, Bier, Suppen, Soßen. Die Wärme kann entweder durch direkte Kühlung an ein Kältemittel oder indirekt an einen Wärmeträger wie Leitungswasser, Eiswasser, Sole, Glycol oder Binäreis abgegeben werden. Bei der Pasteurisierung kann beispielsweise ein dem eigentlichen Prozess nachgeschalteter Plattenwärmetauscher eingesetzt werden. Das den Pasteur

verlassende Produkt durchfließt den Wärmetauscher dabei im Gegenstrom zum zugeführten Produkt. Dabei kommt es zu einer Temperaturangleichung auf Zu- und Ablaufseite. Rund 94 Prozent der Wärme können hierbei zurückgewonnen werden.

Ein weiteres Kühlverfahren ist die **kryogene Kühlung** mit Flüssigstickstoff, flüssigem Helium oder flüssigem Kohlendioxid, welches häufig in wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen anzutreffen ist. Sie wird auch zur Notkühlung in Kühlhäusern eingesetzt.

Unter **Strahlungskühlung** versteht man den reinen Strahlungswärmeaustausch mit kälteren Umgebungsflächen. Sie ist für industrielle Prozesse aber meist zu langsam.

Gefrieren ist wie kühlen, nur tiefer.

Das Gefrieren von Lebensmitteln dient in den meisten Fällen der Konservierung. In manchen Fällen ist es auch ein Verarbeitungsschritt, beispielsweise bei der Gefriertrocknung. Wie beim Abkühlen gibt es auch hier verschiedene Verfahren, die sich vor allem durch die Geschwindigkeit des Wärmeübergangs unterscheiden. Unter **kryogenem Gefrieren** versteht man die Vereisung mit Flüssigstickstoff oder Kohlendioxid. Beim **konventionellen Gefrieren** kommt die Kälte meist aus einer Kompressionskälteanlage. Üblich sind das **Gefrieren im Luftstrom**, entweder im Gefriertunnel oder im Wirbelbett, das **Kontaktgefrieren** zwischen Platten, flexiblen Stahlbändern oder rotierenden Zylinderflächen und das **Tauchgefrieren** in Sole oder einem anderen Kälte­träger.

Kühlhalten.

Lagerung.

Eine Vielzahl von Produkten muss konstant auf einer niedrigen Temperatur gelagert werden, um keine Qualitätseinbußen zu erleiden. Solche Produkte können Lebensmittel sein, aber auch Medizinprodukte, Schnittblumen oder Ähnliches. Zur Kaltlagerung dienen wärme­gedämmte Kühlhäuser, Kühlräume oder Kühlzellen.

Aus Gründen der Betriebssicherheit werden die Kälteanlagen in diesen Lagerstätten meistens mit zwei oder drei parallel schaltbaren Verdichtern gebaut. Im Leistungsbereich bis 500 kW ist der Einsatz von Hubkolbenverdichtern aus energetischen Gesichtspunkten am günstigsten. Im Bereich über 500 kW kommen überwiegend Schraubenverdichter zum Einsatz. Sie haben den Vorteil, dass sich ihre Leistung sehr einfach stufenlos regeln lässt. Bei Neuanlagen wird heutzutage fast ausschließlich Ammoniak als Kältemittel eingesetzt. Die Kälteverteilung findet über Kaltluftkanäle oder gezielte Luftströmungen unter der Kühlhausdecke statt.

Weitere Anwendungen.

Klimakälte.

Ein Teilgebiet der Kältetechnik mit wachsender Bedeutung ist die Bereitstellung von Kälte für Klimaanlage. Hier gibt es kleine, dezentrale Geräte und große Klimazentralen. In den meisten Fällen kommen Kompressionskältemaschinen zum Einsatz, seltener auch Adsorptionssysteme. Wie bei anderen Kälteanwendungen unterscheidet man zwischen direkter Kühlung, bei der der Verdampfer im zu kühlenden Luftstrom liegt und indirekten Systemen, bei denen ein Kälte Träger, in der Regel Kaltwasser, zwischengeschaltet ist. Kaltwassersätze für Klimaanlage werden in Größen von 100 kW bis 10 MW gebaut.

Prozesskühlung.

Chemische Prozesse laufen bei unterschiedlichen Temperaturen ab. Abweichungen von den idealen Temperaturen können Änderungen in den Reaktionsprodukten zur Folge haben. Je nach dem, ob die Reaktionen mit einer Energieaufnahme („endotherme Reaktion“) oder einer Energieabgabe („exotherme Reaktion“) verbunden sind, muss Wärme zu- oder abgeführt werden. Liegt die ideale Reaktionstemperatur einer exothermen Reaktion unterhalb der Umgebungstemperatur, muss zur Aufrechterhaltung des Temperaturniveaus Kälte erzeugt werden. Bei Reaktionstemperaturen oberhalb der Umgebungstemperatur reicht in der Regel eine Wärmeabführung über Abluft oder Kühlwasser, welches in einem Kühlturm ohne Kältemaschine rückgekühlt wird.

Die chemische Industrie fordert hoch spezialisierte und zuverlässige Kälteanlagen. Da die meisten Prozesse kontinuierlich, rund um die Uhr laufen, stehen im Jahr nur 2-3 Wochen Revisionszeit für die Instandhaltung zur Verfügung.

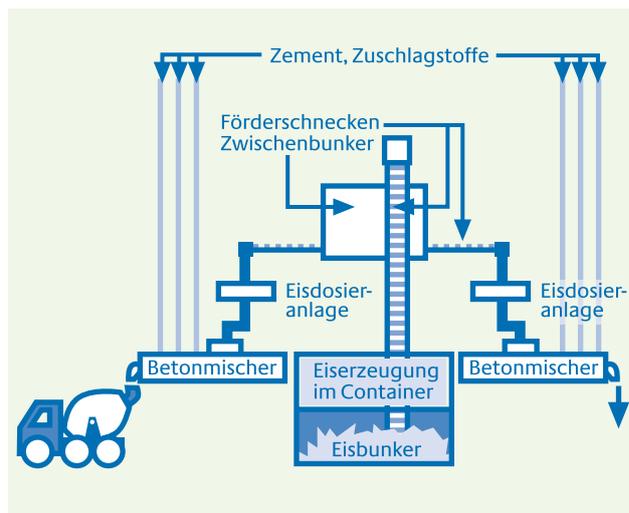
Die Wärmeabfuhr bei chemischen Prozessen kann über Kühlschlangen in Reaktoren, Kälte Träger in doppelwandigen Tanks oder mit Hilfe von Luft oder Inertgasen geschehen, die je nach Temperatur und Leistung über Kaltwassersätze von großen Kälteanlagen oder mit Verdunstungskühlern rückgekühlt werden.

Bauindustrie und Bergbau.

Gefrorene Erde hat eine hohe Festigkeit. Beim „Gefrierabteufen“ von Schächten oder zum Sichern großer Baugruben wird der Boden durch Gefrieren verfestigt. Dafür werden rund um den Schacht oder die Baugrube Gefrierrohre in den Boden gerammt. Gekühlt wird meist indirekt, über eine Kühlsole. Die direkte Kühlung wäre effizienter (siehe auch Infoblätter „Kälteerzeugung“ und „Kälteverteilung“, Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen). Aus Sicherheitsgründen wird im rauen Betrieb auf der Baustelle jedoch meist auf den direkten Einsatz von Kältemitteln verzichtet.

Eine weitere Anwendung in der Bauindustrie ist die Kühlung von Beton. Dies ist insbesondere in heißen Ländern eine sinnvolle Methode, die Betonqualität zu sichern. Zur Anwendung kommen Wasserkühlanlagen mit Wasserrückkühltürmen und Scherben-eisanlagen. Kaltwasser wird zum Anmischen von Beton und zur Berieselung verwendet. Das Eis kann dem flüssigen Beton zugesetzt werden. In extrem heißen Umgebungen werden Kühltunnels gebaut, um die Betonzuschlagstoffe kühl zu halten.

Abb. 1: Betonherstellung mit Scherbeneis



Medizinische Behandlungen.

In der Medizin gibt es einige Behandlungsmethoden, die sich die Effekte tiefer Temperaturen auf den menschlichen Körper und andere biologische Organismen zunutze machen. Einige Begriffe in diesem Zusammenhang sind Kryotherapie, Kryochirurgie und Kryokonservierung. Auch für physiotherapeutische Anwendungen wird Kälte genutzt. Kälte kann sowohl direkt auf den Körper appliziert werden, z. B. zur Tumorzerstörung, als auch über Kältekammern einwirken, z. B. bei der Rheumabehandlung.

Freizeit- und Sportstätten.

Bekannte und beliebte Anwendungen der Kältetechnik mit zum Teil großen Anlagenleistungen sind Kunsteisbahnen und Sommerskihallen.

Tieftemperaturtechnik.

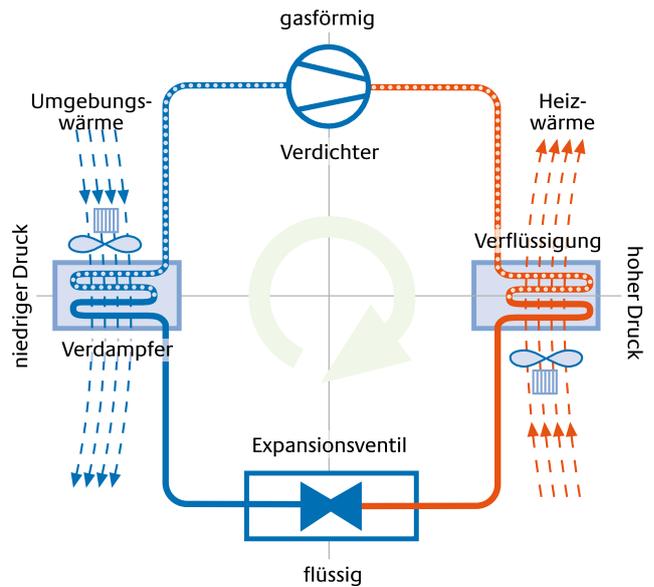
Unter Tieftemperaturtechnik (Kryotechnik) versteht man den Bereich der Kälteerzeugung und -anwendung unterhalb von ca. $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$. In diesem Bereich arbeiten beispielsweise Luft- und Gaszerlegungsanlagen, sowie Anlagen und Maschinen mit Supraleitungstechnik. Eine besondere Bedeutung hat dieser Temperaturbereich auch für wissenschaftliche Untersuchungen, insbesondere die Festkörperforschung.

Die Tieftemperatur-Anlagentechnik arbeitet zum Teil mit ähnlichen Prinzipien wie die konventionelle Kältetechnik. Es werden hier jedoch ganz andere Anforderungen an die Ausführung der Anlagen gestellt. Dies liegt unter anderem an den veränderten Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe bei diesen tiefen Temperaturen sowie den extremen Anforderungen an die notwendige Isolierung. Das Arbeiten im Hochvakuumbereich und besondere thermische, elektrische, optische und magnetische Festkörpereigenschaften, die durch Phasenumwandlungen verursacht werden, kommen hinzu. Die Tieftemperaturtechnik wird in diesen Infoblättern nicht weiter behandelt.

Wärmepumpen.

Wärmepumpen basieren auf dem konventionellen Kompressionskälteprozess. Allerdings ist hier in den meisten Fällen die warme, also die Verdichterseite prozessrelevant. Mithilfe einer Wärmepumpe wird Energie aus der Umgebung entnommen und auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Diese Wärme kann dann z. B. zum Heizen benutzt werden. Die Energie, die diesem Prozess in Form mechanischer Arbeit zugeführt werden muss, z. B. über elektrische Motoren, ist geringer als die Energie, die benötigt würde, um die Wärme über einen Verbrennungsprozess zu erzeugen. Interessant sind Anwendungen, bei denen sowohl der Kühleffekt als auch die Wärme genutzt werden können. Es gibt auch Anwendungen, bei denen die Energieflussrichtung umgedreht werden kann, um z. B. sommerliche Überschusswärme für den Winter zu speichern und dann wieder „hoch zu pumpen“.

Abb. 3: Wärmepumpe



Fazit:

Die Ausführung einer Kälteanlage hängt stark von der jeweiligen Anwendung ab. In Frage kommen zentrale und dezentrale Lösungen, direkte und indirekte Kühlung und verschiedene Formen des Wärmeaustauschs. Bei Lebensmitteln sind spezifische Anforderungen an Temperaturen und Kühlgeschwindigkeiten zu erfüllen. Bei Klimaanlage stehen Komfort- und Arbeitsplatzanforderungen im Vordergrund und in der chemischen Industrie kommen mitunter ganz bestimmte zeitliche Verläufe mit hohen Leistungsschwankungen und hohen Anforderungen an die Sicherheitstechnik zum Tragen. Zur Lösung der Anforderungen kommen oft verschiedene Anlagenkonfigurationen mit spezifischen Vor- und Nachteilen in Frage. In Zusammenarbeit mit Fachleuten der Anwender- und der Anlagenbauerseite können vorhandene Aufgaben und Fragestellungen am besten beurteilt werden.

Tipps:

- Machen Sie sich vor der Auswahl eines Verfahrens ausreichend Gedanken über Temperatur- und Leistungsanforderungen und deren zeitlichen Verlauf.
- Spezifizieren Sie die Anforderungen so gut wie möglich bei der Ausschreibung einer Anlage.
- Fragen Sie verschiedene Anbieter nach Alternativvorschlägen.
- Teilen Sie dem Lieferanten mit, dass Sie die Anlage mit den geringsten Lebenszykluskosten bevorzugen.
- Lassen Sie dem Anbieter ausreichend Freiheit in der Frage, wie eine technische Lösung für Ihren Anwendungsfall aussehen könnte.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de

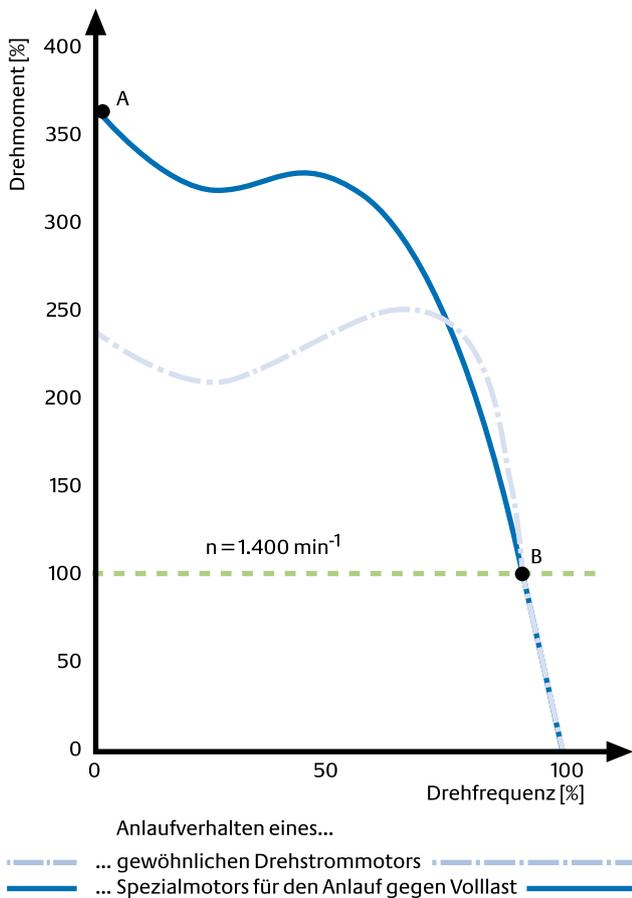


INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Kälteerzeugung.

Systemkomponenten von Kälteanlagen +
Innovative Konzepte.

Abb. 3: **Anlaufverhalten**



Neben dem Anlaufverhalten sollte auch der Wirkungsgrad bei Nennlast verglichen werden. Die Energieeffizienz von Elektromotoren wird nach der freiwilligen Vereinbarung zwischen der Europäischen Kommission und dem Komitee der Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP) klassifiziert. Sie teilt Motoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 kW und 90 kW in die drei Effizienzklassen eff1, eff2, eff3, ein. Dabei wird nach Baugröße und Polzahl differenziert. Es lohnt sich, einen Motor der Effizienzklasse 1 (eff1) zu kaufen. Da in diesen höherwertigen Motoren mehr Material verbaut wird und geringere Fertigungstoleranzen zugelassen werden, weisen sie meist nicht nur einen geringeren Energieverbrauch sondern auch eine höhere Zuverlässigkeit auf.

Abb. 4: **Logo Effizienzklasse 1**



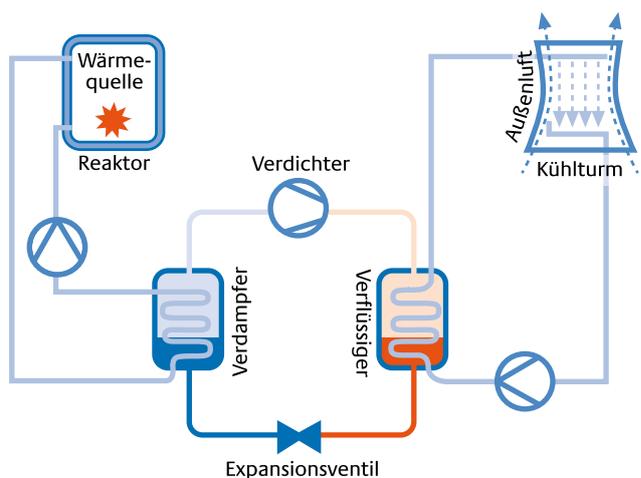
Die Arbeit des Motors kann entweder direkt oder mit einer Drehzahlübersetzung auf die Verdichterwelle übertragen werden. Oft kommen Keilriementriebe zum Einsatz. Die Drehzahlübersetzung ist hier proportional zum Verhältnis der Scheibendurchmesser abzüglich eines sehr geringen Schlupfes. Die verschiedenen Antriebsarten gehen mit unterschiedlich großen Energieverlusten einher. Daher muss bei der Dimensionierung des Motors der Antriebswirkungsgrad mit berücksichtigt werden. Durch eine unzureichende Instandhaltung der Antriebe können die Energieverluste noch steigen. Die Riemen Spannung von Keilriemenantrieben sollte regelmäßig kontrolliert werden. Bei der Auswahl eines Antriebs sollte auf minimale Lebenszykluskosten geachtet werden, wobei hier meistens nicht die Anschaffungskosten sondern viel mehr Energie- und Instandhaltungskosten entscheidend sind.

Eine gute Einführung in die Antriebstechnik bieten die Infoblätter „Motoren für Pumpenantriebe“ und „Einbindung und Steuerung von Pumpenantrieben“ der *Initiative EnergieEffizienz* (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/ Publikationen). Viele der hier getroffenen Aussagen sind auch auf kältetechnische Anlagen übertragbar.

Der Verflüssiger.

Die Aufgabe des Verflüssigers ist es, die im Verdampfer aufgenommene Energie und die durch die Verdichtung zugeführte Energie wieder an die Umgebung abzugeben. Dies geschieht durch einen Wärmeübergang vom heißen Kältemittel an ein Kühlmedium, meistens Wasser oder Luft. Als Verflüssiger kommen verschiedene Arten von Wärmeaustauschern in Frage, je nachdem welche Kühlmethode verwendet wird. Am gebräuchlichsten sind luftgekühlte Verflüssiger, wassergekühlte Verflüssiger und Verdunstungskühler. Die richtige Ausführung, Dimensionierung und Aufstellung des Verflüssigers hat einen entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit der Kälteanlage.

Abb. 4: **Indirekte Prozesskühlung mit Kältemaschine und Kühlturm**



Wassergekühlte Verflüssiger werden oft mit einem geschlossenen Wasserkreislauf ausgeführt. In diesem Fall muss das Kühlwasser rückgekühlt werden. Dies geschieht in Naturzug- oder Ventilator-Kühltürmen.

Eine Komponente, die nicht zwangsläufig erforderlich ist, aber die Systemstabilität erhöhen und die Instandhaltung der Kälteanlage vereinfachen kann, ist der Kältemittelsammler. In diesem wird das im Verflüssiger kondensierte Kältemittel aufgefangen. Er dient als Puffer, um den Kältemittelbedarf der einzelnen Kühlstellen auszugleichen. Bei Instandhaltungsarbeiten kann die gesamte Kältemittelfüllung in den Sammler gedrückt werden.

Das Drosselorgan (Expansionsventil).

Hauptaufgabe des Drosselorgans ist es, den Druck des Kältemittels vom Verflüssigungsdruck auf den Verdampfungsdruck zu reduzieren. Darüber hinaus werden an dieser Stelle auch der Massenstrom des Kältemittels und damit die Verdampferleistung geregelt. Es gibt verschiedene Bauarten. Die wichtigsten verwendeten Drosselorgane sind:

- Handexpansionsventil
- Niederdruck-Schwimmerventil
- Hochdruck-Schwimmerventil
- Konstantdruck-Schwimmerventil
- Thermostatisches Expansionsventil
- Kapillardrosselrohr

Weitere Informationen zur Regelung der Kälteleistung finden sich im Infoblatt „Regelungstechnik“ (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen).

Innovative Konzepte.

Absorptionskälteanlagen können ein wichtiger Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs in der Kälteerzeugung sein. Wichtig für die Wirtschaftlichkeit ist eine kostengünstige Wärmequelle, die für Klimakälteanwendungen ein Temperaturniveau von 80 bis 130 °C haben sollte. Die Investitionskosten für eine bestimmte Kühlleistung sinken mit steigenden Heißwassertemperaturen. Falls nur Wärme auf niedrigerem Niveau zur Verfügung steht, kommen Adsorptionskälteanlagen in Frage, die bereits mit Wärmequellen von 50° bis 100°C auskommen.

Der Verdampfer.

Der Verdampfer ist die Stelle, an der die Kälte entsteht, also die abzuführende Wärmeenergie aufgenommen wird. Dies geschieht dadurch, dass das Kältemittel verdampft und die dafür benötigte Energie („Verdampfungsenthalpie“) seiner Umgebung entzieht. Verdampfer sind wie die Verflüssiger auch Wärmeaustauscher und können in verschiedenen Formen gebaut werden. Die Form hängt sehr stark davon ab, was gekühlt werden soll. Zum Kühlen von Luft eignen sich Lamellenverdampfer. Zum Kühlen von Flüssigkeiten Glattröhreverdampfer, die auch als Kühlschlangen in Behälter eingelassen sein können. Für die Kontaktkühlung empfehlen sich Plattenverdampfer. Verschiedene Kühlverfahren werden im Infoblatt „Anwendungen“ (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen) beschrieben.

Je größer die Verdampferfläche ist, desto größer ist auch die Verdampferleistung. Ebenso steigt die Leistung mit der Differenz zwischen Umgebungs- und Verdampfungstemperatur. Verdampfer- und Verdichterleistung müssen aufeinander abgestimmt sein. Wird die Verdampferfläche größer gewählt, ist eine weniger tiefe Verdampfungstemperatur nötig. Weil dadurch auch der Verdampfungsdruck weniger tief liegt, muss der Verdichter weniger Arbeit leisten. Durch die richtige Auslegung des Verdampfers können die Lebenszykluskosten der Kälteanlage minimiert werden.

Interessante Kombinationen sind Sorptionskälteanlagen mit erneuerbaren Energiequellen. Bei der Verwendung von Sonnenwärme spricht man von „Solarer Kühlung“. Diese Kombination hat bei der Bereitstellung von Klimakälte den Vorteil, dass die Energie immer dann zur Verfügung steht, wenn der Kühlungsbedarf am höchsten ist. Allerdings kommen bei diesen Anlagen zu den ohnehin höheren Anschaffungskosten von Sorptionskälteanlagen gegenüber Kompressionskältemaschinen noch die Anschaffungskosten für die Solaranlage hinzu. Die Wirtschaftlichkeit muss im Einzelfall geprüft werden und hängt stark von Abschreibungszeiträumen, Verrechnungszinssätzen und der erwarteten Energiepreisentwicklung ab.

Sorptionsanlagen sind am wirtschaftlichsten, wenn die Wärmequelle schon existiert.

Am einfachsten ist die Investitionsentscheidung, wenn die Wärme ohnehin bereitsteht und die Anschaffungskosten dafür bereits durch die winterliche Heizwärmeabnahme amortisiert werden. In diesem Fall rentiert sich eine Absorptionskälteanlage zum Beispiel als Ergänzung zu einem Blockheizkraftwerk. Für Stadtwerke kann der Verkauf von Kälte aus Fernwärme im Sommer ein lohnendes Zusatzgeschäft und ein Instrument der Kundenbindung sein. Hier ist aber auch im Einzelfall zu prüfen, ob es nicht wirtschaftlich und energetisch vorteilhafter ist, die Wärme zur Stromerzeugung zu nutzen und den Dampf in den Turbinen noch weiter zu entspannen. Die Anbindung einer Sorptionskälteanlage an ein Kraftwerk wird auch „Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung“ (KWKK) genannt.

Eine sehr interessante Anwendung kann auch eine Absorptionskälteanlage sein, die mit Heißwasser aus Tiefengeothermie betrieben wird. Wenn im Winter diese Energiequelle komplett zum Heizen und im Sommer komplett zum Kühlen verwendet wird, entfallen die Investitionskosten für die ohnehin relativ wirkungsgradschwache Niederdruck-Dampfturbinenanlage. Die Entscheidung, ob hier Kälte- oder Stromerzeugung wirtschaftlicher ist, wird in diesem Fall aber auch stark von den finanziellen Förderbedingungen beeinflusst.

Fazit:

Kälteanlagen bestehen aus verschiedenen Komponenten, in denen jeweils der Energiestrom umgewandelt wird. Alle diese Komponenten können mit unterschiedlichen Wirkungs- und Gütegraden ausgeführt werden und sind daher potenzielle Stell-schrauben für eine Optimierung. Durch Kopplung der Kälteanlage an externe Wärmequellen oder Wärmeabnehmer lässt sich die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses erhöhen.

Tipps:

- Stellen Sie sich vor der Auswahl eines Kälteprozesses die folgenden Fragen:
 - a.) Existiert in der Nähe eine preisgünstige Wärmequelle mit einer Temperatur über 80°C? Dies würde für den Einsatz einer Absorptionskälteanlage sprechen.
 - b.) Wird in der Nähe dauerhaft Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau benötigt? Dies würde für eine Rückgewinnung der Abwärme aus der Kälteanlage sprechen.
- Vergleichen Sie die möglichen Maximalleistungen der verschiedenen Systemkomponenten in Ihrer Anlage, um herauszufinden, wo sich „Flaschenhälse“ befinden und die Komponenten nicht gut aufeinander abgestimmt sind.
- Prüfen Sie, ob sich die Leistung der Wärmeaustauscher durch eine Erhöhung der Fläche oder beim Verflüssiger durch Zwangsbelüftung oder Wasser- bzw. Verdunstungsrückkühlung erhöhen lässt.

Motor Challenge Programme

Motor Challenge Programme

Das „Motor Challenge Programme“ (MCP) ist ein Projekt der Europäischen Kommission mit dem Ziel, Industrieunternehmen zu motivieren, den energetischen Wirkungsgrad ihrer elektromotorisch betriebenen Systeme zu verbessern und so dem durch Treibhausgasemissionen verursachten Klimawandel entgegenzuwirken. Kältesysteme stellen wegen ihrer weiten Verbreitung einen Schwerpunktbereich des MCP dar.

Am „Motor Challenge Programme“ kann jedes Unternehmen – unabhängig von der Branchenzugehörigkeit – teilnehmen, das im Einklang mit den Zielen des MCP die Energieeffizienz seiner elektromotorischen Anwendungen steigern und damit Verbrauch und Kosten senken will.

Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) ist nationale Kontaktstelle für dieses Programm. Wenn Sie als Partner oder Unterstützer daran teilnehmen möchten, nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf. Nähere Informationen zum MCP finden Sie auf unserer Internetseite unter: www.industrie-energieeffizienz.de/motorchallenge.



Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Regelungstechnik.

Wozu regeln? + Beispiele für Regelungen in Kälteanlagen.

Wozu regeln?

Moderne Kältemaschinen sind hoch komplexe Anlagen mit einer Reihe ineinander verzahnter Regelsysteme. Regelungen erkennen Abweichungen zwischen dem vorgegebenen Sollwert und dem tatsächlichen Ist-Wert. Über ein von ihnen angesteuertes Stellglied (z.B. Ventil, Frequenzumrichter oder Ähnliches) versuchen sie, Soll- und Ist-Wert in Übereinstimmung zu bringen. Dadurch können sie äußere und innere Einflüsse („Störgrößen“) ausgleichen.

Die Grundaufgabe der Kälteanlagenregelung ist es, die Temperatur an der Kühlstelle möglichst genau in der Nähe des Sollwerts zu halten. Dies allein reicht jedoch nicht aus. Eine gute Regelungsstrategie optimiert auch die Energieeffizienz der Anlage. Auch für das störungsfreie Funktionieren und die Stabilität der Kälteanlage sind zusätzliche Regel- und Sicherheitseinrichtungen nötig. Die Regelkreise beeinflussen sich gegenseitig und müssen daher aufeinander abgestimmt sein. Die Auswirkungen eines Regelkreises werden teilweise zur Störgröße für einen anderen.

Die einzelnen Wärmeleistungen an verschiedenen Stellen der Anlage müssen ins Gleichgewicht gebracht werden.

Die entscheidende Stellgröße einer Kälteanlage ist die Kälteleistung, also die Wärmemenge, die im jeweiligen Augenblick gerade abtransportiert wird. Der Sollwert ergibt sich aus der jeweiligen Anwendung, z. B. aus dem Kältebedarf für das Einfrieren eines Lebensmittels und der geforderten Gefriereschwindigkeit oder der Kühllast einer Klimaanlage. Diese Wärmemenge muss über verschiedene Schritte abtransportiert werden. Von der Kühlstelle in den Verdampfer, von dort durch den Verdichter in den Verflüssiger, und so weiter. Es finden also an verschiedenen Stellen Wärmeübergänge und Energieumwandlungen statt. Im Idealfall stimmen Kühllast, Verdampferkälteleistung, Verdichterleistung und die Wärmeabgabe am Verflüssiger zu jedem Zeitpunkt überein. Bei indirekter Kühlung kommen noch der Wärmetransport des Kälteleiters und der Wärmeübergang von diesem auf die Kühlstelle sowie bei einer Rückkühlung des Verflüssigers noch die entsprechenden Leistungen von Kühlwasserstrom, Kühlturm, etc. und bei Wärmerückgewinnung die entnommene Heizleistung hinzu. Alle diese Größen sollten im Gleichgewicht stehen. In der Praxis begnügt man sich damit, wenn diese Leistungen wenigstens zeitlich gemittelt im Gleichgewicht stehen.

Regelungen, Steuerungen und Leitsysteme sorgen zusammen dafür, dass die Anlage optimal läuft.

Diese komplexe Regelungsaufgabe wird durch ein System aus übergeordneten Regelungen und Steuerungen, Primär- und Sekundärreglern und diversen Mess-, Schalt- und Steuergeräten bewerkstelligt, von denen hier nur einige exemplarisch vorgestellt werden können. Der wesentliche Unterschied zwischen Reglern und Steuerungen ist, dass Regler eine kontinuierliche Rückmeldung ihrer Regelgröße bekommen und daraus über einen Regelalgorithmus ständig einen Korrekturwert für ihre Stellgröße berechnen. Steuerungen hingegen berechnen ihre Ausgangssignale aus Programmen und externen Vorgaben. Sie können z.B. dafür sorgen, dass bei einer bestimmten Außentemperatur von Klimakälte auf freie Lüftung umgestellt wird, um Energie zu sparen. Steuerungen können auch veranlassen, dass die Leistung der Kältemaschine hochgefahren wird, wenn frisches Gefriergut eingelagert wird und dies schon, bevor es überhaupt zu einem Ungleichgewicht kommt. Solche Steuervorgänge beruhen auf in Programmroutinen umgesetzten Erfahrungswerten und eingehenden Signalen, wie z. B. der Information, dass neues Gefriergut eingelagert wird. Eine Rückmeldung über die Erreichung des Steuerziels gibt es oft nicht. Für die „Feinjustierung“ sind Regler zuständig. Steuerungen stehen in der Befehlshierarchie über den Reglern.

Erst die Kombination aus der Intelligenz von Steuerungen und der Genauigkeit von Reglern sorgt für die optimale Umsetzung der Ziele. In großen, industriellen Kälteanlagen gibt es hierarchisch über den Steuerungen noch Prozessleitsysteme. Diese stellen die Schnittstelle zum Bediener dar, übernehmen die wesentlichen Steueraufgaben und überwachen und protokollieren den Anlagenbetrieb. Leitsysteme bestehen aus speziellen Computern und Bedienterminals. Steuerungen können als „Speicherprogrammierbare Steuerungen“ (SPS) ausgeführt sein. In ihnen sind die Steueralgorithmen von fachkundigen Programmierern individuell hinterlegt. Die Programmierung erfolgt durch die elektronische Übertragung des Programmcodes in einen SPS-internen Festspeicher. Die Steuerung kann aber auch über vorprogrammierte digitale Bausteine (EPROMs bzw. EEPROMs) erfolgen. Sie enthalten bereits Programme für spezielle Anlagenteile und können von Kältetechnikern auch ohne Programmierkenntnisse parametrierbar werden.



Beispiele für Regelungen in Kälteanlagen.

Als generelles Regelziel einer Kältemaschine lässt sich formulieren, dass ein Gleichgewicht der verschiedenen Energieflüsse (Verdampferleistungen, Verdichterleistungen, etc.) herzustellen ist. Diese Leistungen werden aber nicht direkt gemessen. Vielmehr werden andere gut messbare und für einen stabilen Prozess wichtige Größen herangezogen, die dieses Gleichgewicht und den Einfluss von Störgrößen abbilden. Eine nahe liegende Messgröße an der Kühlstelle ist die Temperatur. Stehen Kältebedarf und Kälteerzeugung nicht im Gleichgewicht fällt oder steigt die Temperatur an der Kühlstelle. Auch an anderen Stellen werden Temperaturen zur Überprüfung des Gleichgewichts herangezogen, aber ebenso auch Drücke oder Kältemittelfüllstände. Regelungen können entweder stetig, durch eine kontinuierliche Anpassung der Stellgrößen oder unstetig durch Ein- und Ausschalten oder durch mehrere Schaltstufen erfolgen.

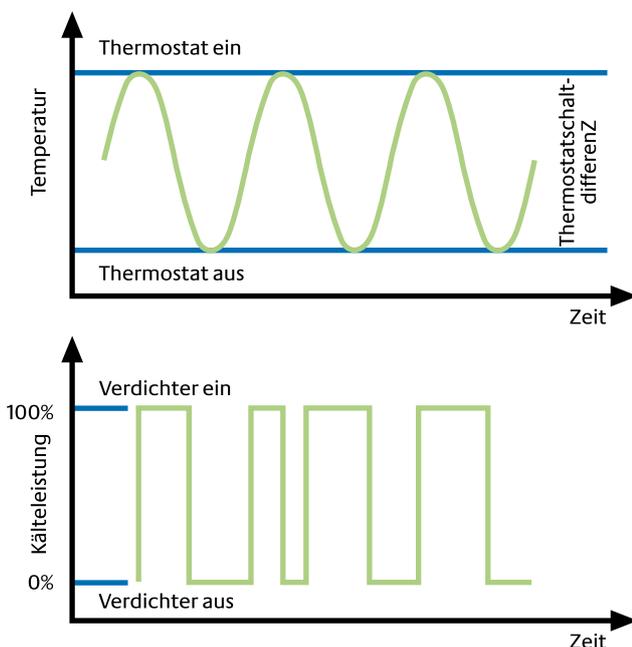
Drei wichtige übergeordnete Regelungen in Kälteanlagen sind folgende:

- Kühlstellentemperaturregelung
- Verdampferfüllungsregelung
- Verdichterleistungsregelung

Die Kühlstellenregelung sorgt dafür, dass die Temperatur stimmt.

Als Kühlstelle wird der Verdampfer mit seiner Umgebung (z. B. Kühlraum) bezeichnet. Bei einer Kühlstellentemperaturregelung wird die Temperatur des mit dem Verdampfer in Berührung stehenden Mediums geregelt. Dies kann ein Kälteüberträger wie z. B. Wasser oder Luft oder bei direkter Kühlung die Temperatur eines Kühlguts sein. In manchen Fällen, wie bei Kühlschränken, wird auch die Oberflächentemperatur der Kühlrauminnenwand geregelt. Dadurch soll bei Kühlschränken beispielsweise vermieden werden, dass die Regelung auf jeden Luftaustausch durch Öffnen der Tür sofort reagiert.

Abb. 1: **Thermostatische Zweipunktregelung**



Die einfachste Form einer **unstetigen Kühlstellentemperaturregelung** ist das An- und Ausschalten des Verdichters mit einem Thermostat. Diese Zweipunktregelung funktioniert aber nur bei Haushaltsgeräten und einfachen Gewerkekälteanlagen, bei denen an der Kältemaschine nur eine einzige Kühlstelle hängt. Bei Anlagen mit mehreren Kühlstellen kann die Kühlstellentemperatur jeweils gesondert mit thermostatisch gesteuerten Magnetventilen in den Verdampferleitungen geregelt werden. Um das Gleichgewicht zwischen der gesamten Verdampferleistung und der Verdichterleistung zu halten, braucht es dann noch eine unabhängige Verdichterleistungsregelung. Diese wird weiter unten vorgestellt.

Eine **stetige Kühlstellentemperaturregelung** passt die Verdampferkälteleistung ständig proportional zur Regelabweichung an. Der Betrieb kennt keinen Ausschaltzustand, abgesehen von sehr kleinen Nutzkälteleistungen, bei denen es sich aus anlagentechnischen Gründen dann doch empfiehlt, die Kälteanlage abzuschalten. Das Stellglied ist ein Regelventil in der Saugleitung des Verdampfers an der jeweiligen Kühlstelle. Es kann sich auch um einen elektronischen Verdampfungsdruckregler handeln. Hierbei ist dann die Stellgröße der Druck, welcher durch einen weiteren kleinen Regelkreis über eine Ventilstellung eingestellt wird. Der Effekt ist prinzipiell der gleiche. Da die Temperatur im Zwei-Phasen-Bereich (also bei „siedendem“ Kältemittel) direkt mit dem Druck zusammenhängt, kann auf diese Art und Weise die Temperaturdifferenz zwischen Kältemittel und Kühlstelle und damit der Wärmeübergang geregelt werden.

Eine Verdampferfüllungsregelung steigert die Energieeffizienz.

Die Verdampferfüllungsregelung hat das Ziel, die Fläche für den Wärmeübergang im Verdampfer zu maximieren. Da der Wärmetransport durch eine Wand von der Fläche und der Temperaturdifferenz abhängt, ergibt sich folgendes: Je größer die Wärmetauscherfläche, desto kleiner ist die für eine bestimmte Kühlleistung erforderliche Temperaturdifferenz zwischen Kühlstelle und Kältemittel. Benötigt man eine geringere Temperaturdifferenz, kann die Verdampfungstemperatur entsprechend höher gewählt werden. Eine höhere Verdampfungstemperatur ist im Zwei-Phasen-Bereich gleichbedeutend mit einem höheren Verdampfungsdruck, was wiederum bedeutet, dass der Kompressor weniger Verdichtungsarbeit leisten muss. Eine Verdampferfüllungsregelung sorgt also dafür, dass der benötigte Energieaufwand für eine geforderte Kühlleistung minimiert wird und optimiert somit die Energieeffizienz der Kälteanlage.

In einem Verdampfer gibt es drei Bereiche: Der erste enthält noch flüssiges Kältemittel, das auf die Verdampfungstemperatur vorgewärmt wird. Im mittleren Bereich befindet sich das Zwei-Phasen-Gebiet, in dem die Verdampfung stattfindet. Im letzten Abschnitt ist das Kältemittel schon komplett gasförmig und wird noch etwas überhitzt. Der Energiefluss ist im mittleren Bereich am intensivsten, da die Zwei-Phasen-Strömung einen sehr guten Wärmeübergang ermöglicht und das verdampfende Kältemittel besonders viel Energie (Verdampfungsenthalpie) aufnehmen kann. Eine Verdampferfüllungsregelung versucht daher, den mittleren Bereich möglichst groß und den Überhitzungsbereich eher klein



zu halten. Um zu erkennen, wie lang die Überhitzungsstrecke ist, kann der Grad der Überhitzung als Temperaturdifferenz zwischen Zwei-Phasen-Gebiet und Verdampferausgang gemessen werden.

Abb. 2: Verdampferfüllstandsregelung



Eine moderne Methode der Füllstandsoptimierung ist die Detektion des „Minimalen stabilen Sauggastemperatursignals“ (MSS). Hier wird mikroprozessorgesteuert die Füllung so lange erhöht, bis ein Messfühler unmittelbar am Austritt aus dem Verdampfer ein instabiles Signal misst. Dieses ist ein Kennzeichen dafür, dass sich geringe unverdampfte Flüssigkeitsanteile an der Messstelle befinden. Ist dieser Punkt erreicht, wird der Füllstand so weit abgesenkt, bis die Messstelle gerade wieder stabile Werte misst. Da der optimale Betriebspunkt abhängig vom Betriebszustand ist, sucht der Mikroprozessor immer wieder während des Betriebs den sich möglicherweise ändernden Instabilitätspunkt. Das Stellglied für die Füllstandsregelung ist das Drosselorgan. Wird dieses weiter geöffnet, steigen Druck und Temperatur im Verdampfer. Der Wärmeübergang sinkt mit der Temperaturdifferenz und die Verdampfung wird langsamer. Dadurch steigt der Füllstand solange, bis der Mikroprozessor das Stopp-Signal gibt. Nun ist der Punkt erreicht, an dem der Wärmeübergang mit minimaler Temperaturdifferenz und maximaler Wärmeübertragungsfläche stattfindet.

Eine Verdichterleistungsregelung sorgt für stabilen Betrieb und reduziert den Energieverbrauch.

Bei Kälteanlagen mit mehreren unabhängig voneinander geregelten Kühlstellen ändert sich abhängig von der Zahl der jeweils in Betrieb befindlichen Kühlstellen der Gesamtkältemittelmassenstrom. Würde nun der Verdichter mit einer konstanten Leistung arbeiten, hieße dies zum einen, dass an dieser Stelle unnötig Antriebsenergie vergeudet würde. Zum anderen würde jeder Regelvorgang in einer der Kühlstellen auch eine Störung für die anderen bedeuten, weil beim Schließen eines Ventils in einem Verdampfer aus den anderen Verdampfern mehr Kältemittel abgesaugt würde. Dadurch würden der Druck und die Temperatur in den Verdampfern fallen, was einen höheren Wärmedurchgang zur Folge hätte. Sobald ein anderer Regelkreis dies in Form eines Temperaturabfalls an der Kühlstelle detektierte, müsste er ebenso ein Ventil schließen, was den Effekt für die anderen Verdampfer

noch verstärken würde. Es ist absehbar, dass dies Probleme für die Stabilität mit sich brächte. Das Ziel der Verdichterleistungsregelung ist es, diese Störeinflüsse abzuschwächen und eine annähernd gleich bleibende Verdampfungstemperatur zu erzielen. Die gebräuchlichsten Möglichkeiten hierzu sind:

- Zylinderabschaltung bei Kolbenverdichtern über integrierte Magnetventile
- Abschaltung einzelner Verdichter im Verbundbetrieb
- Schiebergesteuerte Schraubenverdichter
- Drehzahlregelung
- Heißgas-Bypassregelung

Diese Regelungsarten haben für verschiedene Anlagenkonfigurationen ihre jeweils spezifischen Vorteile. Die Abschaltung von einzelnen Verdichtern im Verbundbetrieb kann z. B. sehr vorteilhaft sein. Besonders, wenn in einem größeren Verbund die Verdichtungsleistung auf mehrere Verdichter unterschiedlicher Größe aufgeteilt wird. Dann kann mit einer modernen Druckbandregelung dafür gesorgt werden, dass die Verdichter so angesteuert werden, dass sie immer mit der maximalen Energieeffizienz laufen.

Bei der Heißgas-Bypassregelung wird komprimiertes Gas in einem Bypass um den Verdichter zurückgeführt. Dadurch lässt sich zwar auch der Kältemittelmassenstrom reduzieren, die Verdichterleistung sinkt aber kaum. So können zwar zu geringen Investitionskosten die Stabilitätsprobleme gelöst werden. Der Energieverbrauch bleibt aber unnötig hoch, so dass diese „Sparmaßnahme“ mit hohen Kosten verbunden sein kann.

Fazit:

Die optimierte Regelung von kältetechnischen Anlagen ist eine komplexe Aufgabe. Hier trennt sich die Spreu vom Weizen. Allein das Erreichen der gewünschten Zieltemperatur ist kein ausreichendes Kriterium für die Güte einer Regelstrategie. Durch moderne Steuerungen lassen sich im erheblichen Maß Betriebskosten einsparen. Dafür müssen jedoch Regelungstechnik, Anlagenkonfiguration und Betriebsbedingungen optimal aufeinander abgestimmt sein.

Tipps:

- Die Qualität einer Regelung zeigt sich nicht im Vollastfall, sondern erst im – in der Praxis wesentlich häufiger auftretenden – Teillastbetrieb. Lassen Sie sich von Ihrem Anlagenbauer Teillastwirkungsgrade und durchschnittliche Wirkungsgrade garantieren.
- Bevorzugen Sie elektronische Ventile und Regelungen gegenüber mechanischen. Investieren Sie, wenn die Größe der Anlage es erlaubt, in optimierte Steuerungen und Leittechnik.
- Investieren Sie bei der Inbetriebnahme sowie nach Umbauten an der Anlage in eine Optimierung der Regelung. Wirkliche Energieeffizienz lässt sich erst mit optimierten Reglerparametern erzielen.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de



INITIATIVE
EnergieEffizienz +
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Kältenetze.

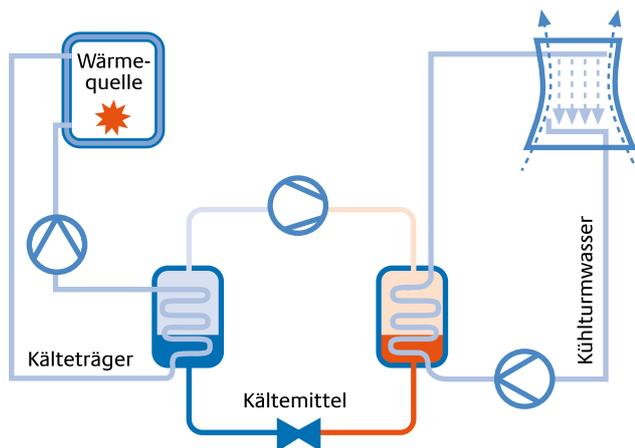
Wie wird die Kälte zum Verbraucher gebracht? +
Kältemittelnetze (direkte Kühlung) +
Kälteträgernetze (indirekte Kühlung) + Kältespeicher.

Wie wird die Kälte zum Verbraucher gebracht?

In vielen Kälteanlagen sind die Kältemaschinen und die Kühlstellen räumlich voneinander getrennt. Dies hat verschiedene Gründe. Zum einen gibt es oft mehrere Kühlstellen an verschiedenen Orten, die von einer zentralen Anlage versorgt werden. Zum anderen gibt es an den Kühlstellen, z. B. den Verkaufsstellen bei Gewerbekälte, oft gar nicht die räumlichen Möglichkeiten für die Aufstellung einer Kältemaschine. Auch Lärmschutz kann hierfür ein wichtiger Grund sein. Nicht zuletzt spielt eine Rolle, dass die Wärme in den meisten Fällen an die Außenluft abgegeben werden muss. Nur bei Kleinst-Kälteanlagen wie Haushaltskühlschränken ist eine Wärmeabgabe an die Raumluft auch im Sommer vertretbar.

Der Transport von Kälte zur Verbrauchsstelle ist aus physikalischer Sicht in einem kontinuierlichen Prozess immer gleichzusetzen mit einem Transport von Wärmeenergie von der Kühlstelle weg. Allerdings ist dies nicht immer augenscheinlich. In den frühen Zeiten der Kältetechnik wurden Eisblöcke angeliefert und in die „Eisschränke“ gelegt. Der Abtransport der Wärme erfolgte mit dem abgeschmolzenen Wasser durch die Kanalisation.

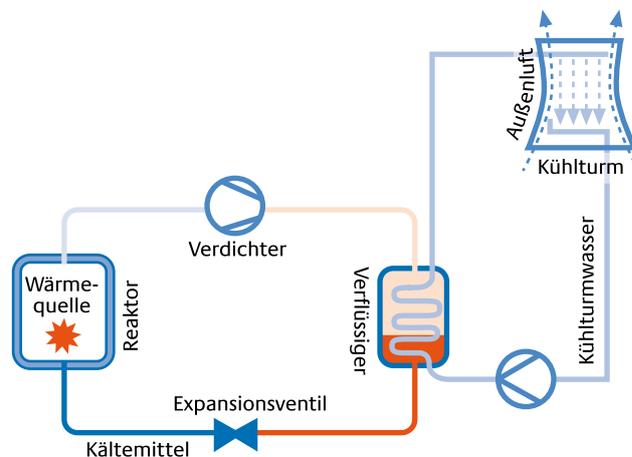
Abb. 1: **Indirekte Kühlung mit Kältemaschine (und Rückkühlung per Kühlturm)**



In modernen Anlagen kann die Kältezufuhr über pumpfähiges Eis (so genanntes „Binäreis“) oder über einen anderen flüssigen **Kälte-träger** erfolgen. Der Abtransport der Wärme erfolgt über die aufgewärmte Flüssigkeit.

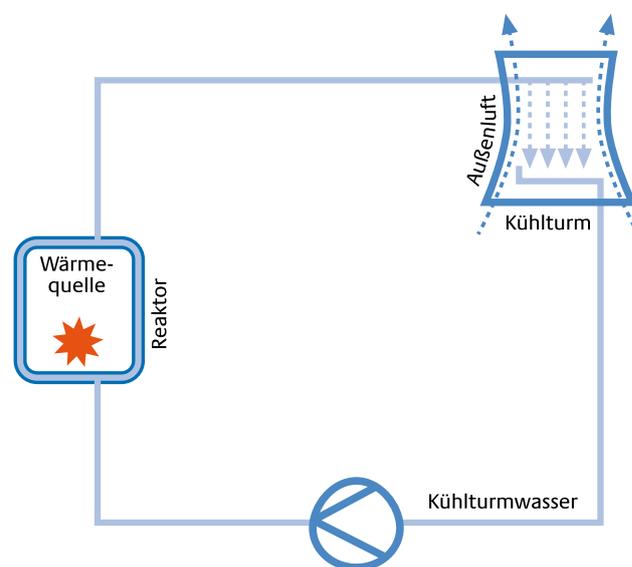
Die Wärmeenergie muss aber nicht zwangsläufig in Form von fühlbarer Wärme transportiert werden. Bei der direkten Verdampfung an der Kühlstelle transportiert das **Kälte-mittel** die Wärmeenergie in Form von latenter Wärme (Verdampfungsenthalpie) ab. Dies hat den auf den ersten Blick paradoxen Effekt, dass die Kälte in Form einer warmen Flüssigkeit zur Kühlstelle gebracht wird und die Wärmeenergie in Form eines kalten Gases zurückkommt.

Abb. 2: **Direkte Kühlung mit Kältemaschine (und Rückkühlung per Kühlturm)**



Die Kühlung mit Kältemittel wird auch direkte Kühlung genannt. Die Kühlung mit einem Kälte-träger heißt indirekte Kühlung, weil hier die Kältemaschine nicht direkt auf die Kühlstelle wirkt. Eine Kühlung mit Kühlwasser (ohne Kältemaschine) wäre auch eine Form von direkter Kühlung. Da es in diesen Infoblättern aber vorrangig um Kälteanlagen geht, wird diese Variante hier nicht weiter vertieft.

Abb. 3: **(Direkte) Kühlung mit Kühlturm-wasser, ohne Kältemaschine**



Kältemittelnetze (direkte Kühlung).

Kältemittelnetze transportieren Kältemittel von der Kältemaschine zur Kühlstelle und zurück. Zum Kältemittelnetz gehören:

- die Saugleitung zwischen Sammler und Expansionsventil,
- die Einspritzleitung zwischen Expansionsventil und Verdampfer,
- die Saugleitung zwischen Verdampfer und Verdichter,
- die Druckleitung zwischen Verdichter und Verflüssiger sowie
- die Steuerleitungen, an welche die Regler und die Druckschalter angeschlossen werden.

Rohrleitungen für Halogen-Kältemittel werden aus Kupfer, die für Ammoniak aus Stahl gefertigt. Neuerdings werden für beide Anwendungen, insbesondere in der Lebensmittelindustrie, auch Edelstahlleitungen eingesetzt. In Großkälteanlagen mit Rohraußendurchmessern über 54 mm und insbesondere in Ammoniakanlagen kommen fast ausschließlich warmfeste Edelstähle der Güteklasse 1 zum Einsatz.

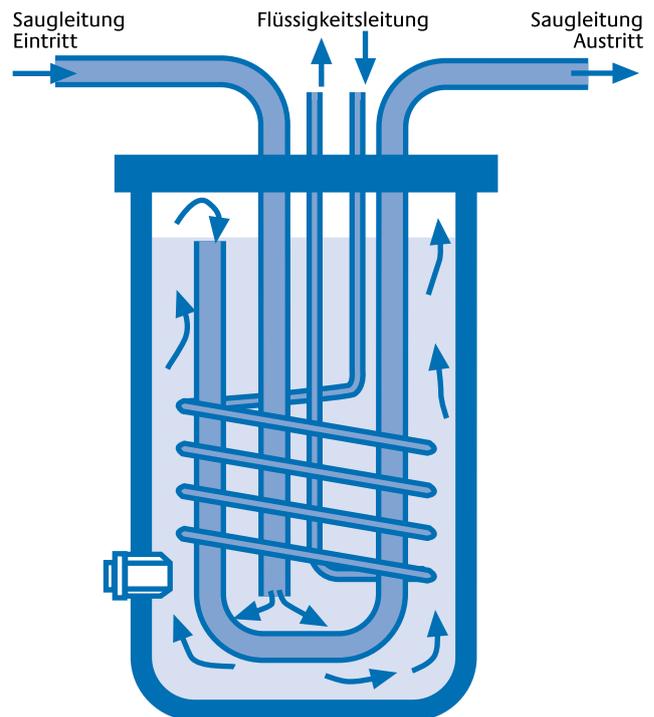
Die Rohrleitungen sind erheblichen Belastungen durch den Druck und auch durch Wärmespannungen ausgesetzt. Sie müssen daher so verlegt werden, dass von außen keine weiteren Belastungen hinzukommen. Daher ist bei der Ausführung der Befestigung besondere Sorgfalt geboten. Leitungen in kleineren Anlagen werden mit Rohrschellen befestigt, die in kurzen Abständen anzubringen sind.

Eine Isolierung ist aus energetischen Gründen nicht nötig. Tatsächlich ist es sogar vorteilhaft, wenn sich das komprimierte Kältemittel noch weiter abkühlt. Die Kaltgasleitungen werden in manchen Fällen isoliert, um Kondenswasserbildung an den Rohraußenwänden zu vermeiden. Gelegentlich werden Kaltgas- und Flüssigkeitsleitungen bewusst mit Kontakt zueinander parallel verlegt, um einen Wärmeübergang zu ermöglichen. Dadurch wird das flüssige Kältemittel unterkühlt und vermieden, dass sich durch Wärmeeinstrahlung oder Druckverluste Dampfblasen bilden. Die Überhitzung des Kaltgases verhindert zusätzlich, dass nicht verdampftes Kältemittel in den Kompressor gelangt und diesen schädigt. Hierbei handelt es sich jedoch

lediglich um eine Sicherheitsmaßnahme. Normalerweise sollte die vollständige Verdampfung durch die Regelung gewährleistet werden. Teilweise werden auch Wärmeaustauscher und Flüssigkeitsabscheider eingebaut. Da Feuchtigkeit einen schädlichen Effekt auf Düsen und Ventile hat, gibt es in vielen Anlagen auch Kältemittel-Trockner.

Abb. 4: **Flüssigkeitsabscheider**

Nicht verdampfte Flüssigkeit wird abgeschieden. Gleichzeitig findet ein Wärmeaustausch mit der Flüssigkeitsleitung statt, so dass das Gas den Flüssigkeitsabscheider überhitzt verlässt.



Alle Einbauten und auch die Rohrleitung selbst verursachen Druckverluste im Kältemittel. Diese Druckverluste sollten grundsätzlich gering gehalten werden, da sie den Wirkungsgrad der Anlage verschlechtern. Die primäre Einflussgröße auf den Druckverlust ist die Strömungsgeschwindigkeit. Eine Verkleinerung des Rohrleitungsdurchmessers führt zu einer quadra-

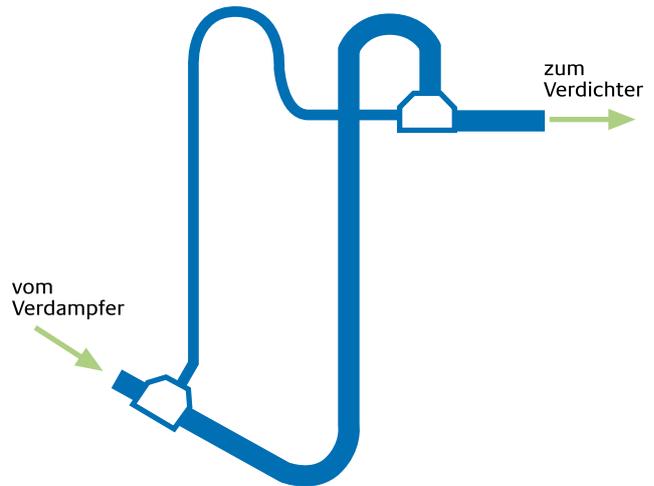


tischen Zunahme der Geschwindigkeit und zu einer Zunahme der Strömungsdruckverluste in vierter Potenz. Hier sollte daher nicht „am falschen Ende gespart“ werden. Eine gewisse Mindestströmungsgeschwindigkeit muss jedoch in den Abschnitten mit gasförmigem Kältemittel erhalten bleiben. Sie gewährleistet, dass das Öl transportiert werden kann, welches im Kältemittel enthalten ist, um den Verdichter zu schmieren. Dies ist insbesondere bei Anlagen mit Leistungsregelung zu bedenken.

In senkrechten Leitungsabschnitten kann der Öltransport bei geringen Geschwindigkeiten schwierig werden. Daher werden hier so genannte Ölsäcke (Rohrschleifen) eingebaut, in denen sich bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten Öl sammelt. Das angesammelte Öl verringert den Rohrquerschnitt mit der Folge, dass auch bei niedrigen Volumenströmen Öl Mitgerissen wird. Eine interessante konstruktive Lösung ist auch der Einbau von zwei parallelen senkrechten Leitungen unterschiedlichen Querschnitts, wie in Abb. 5 dargestellt. Bei geringen Massenströmen füllt sich der Rohrbogen unter der breiteren Leitung mit Öl, so dass das Gas nur noch durch die schmalere strömt und so die Mindestströmungsgeschwindigkeit gewährleistet ist.

Abb. 5: **Senkrechte Saugleitungen**

Bei geringen Kältemittelströmen sammelt sich Öl im Bogen der breiten Rohrleitung, so dass das Kältemittel nur noch durch die schmalere strömt und die Mindestströmungsgeschwindigkeit gewährleistet ist.



Kälte-trägernetze (indirekte Kühlung).

Bei indirekter Kühlung wird der Einsatz von Kältemitteln auf die zentrale Anlage beschränkt. Die Kälteverteilung findet mit Hilfe preiswerter und ungefährlicher Kälteübertragungsflüssigkeiten (Kälte-träger) statt. Dies hat den Vorteil, dass das Kältemittelvolumen klein gehalten werden kann. Dadurch werden nicht nur Anschaffungskosten für das Kältemittel gespart. Es können auch leichter moderne Kältemittel wie Ammoniak eingesetzt werden, die in Bezug auf ihr Ozonabbau- und Treibhausgaspotenzial unbedenklicher sind, aber im Betrieb als Gefahrstoff gelten. Die meisten Kälte-träger sind ungiftig, unbrennbar und haben eine niedrige Wassergefährdungsklasse.

Ein sehr vorteilhafter, unkritischer und leicht zu pumpender Kälte-träger ist Wasser. Um auch bei tieferen Temperaturen arbeiten zu können, werden dem Wasser manchmal Salze zugesetzt. Man spricht dann von Solen. Wenn über das gleiche Netz wahlweise Kälte oder Hitze transportiert werden soll, werden auch organische Verbindungen genutzt, wie z. B. Silikonöle. Teilweise werden auch Kälte-träger eingesetzt, die an der Kühlstelle verdampfen. Dies können perfluorierte Kohlenwasserstoffe oder flüssiges Kohlendioxid sein. Da die Rückverflüssigung durch Wärmeaustausch mit dem Verdampfer der Kältemaschine stattfindet, spricht man auch hier von indirekter Kühlung. Diese Kälte-träger mit Phasenübergang haben drei Vorteile: Erstens kann auf kleinem Raum eine hohe Wärmemenge transportiert werden, zweitens ist die Wärmeübertragung bei der Verdampfung besonders gut und drittens reichen kleine Temperaturdifferenzen sowohl zwischen Kühlstelle und Kälte-träger (wegen des guten Wärmeübergangs) als auch zwischen Vor- und Rücklauf (wegen der latenten Wärme). Dies führt zu einer hohen Energieeffizienz.

Prinzipiell sind jedoch indirekte Kühlungen den direkten in Sachen Energieeffizienz unterlegen. Damit Wärme vom Verdampfer auf den Kälte-träger und vom Kälte-träger auf die Kühlstelle übergehen kann, sind zwei Temperatursprünge nötig. Bei der direkten Kühlung wird nur einer benötigt. Daher müssen bei der indirekten Kühlung Verdampfungstemperatur und -druck niedriger liegen, was zusätzliche Verdichtungsarbeit erfordert. Es gilt die Faustregel, dass eine um 1 Kelvin tiefere Verdampfungstemperatur etwa vier Prozent zusätzliche Energiekosten bedeutet. Eine Temperaturdifferenz von fünf Kelvin für den Wärmeübergang verursacht demnach 20 Prozent mehr Energieverbrauch. Einen Energiekostenvorteil können indirekte Systeme jedoch erzielen, wenn sie mit Kältespeichern verbunden werden. Diese Möglichkeit wird weiter unten vorgestellt.

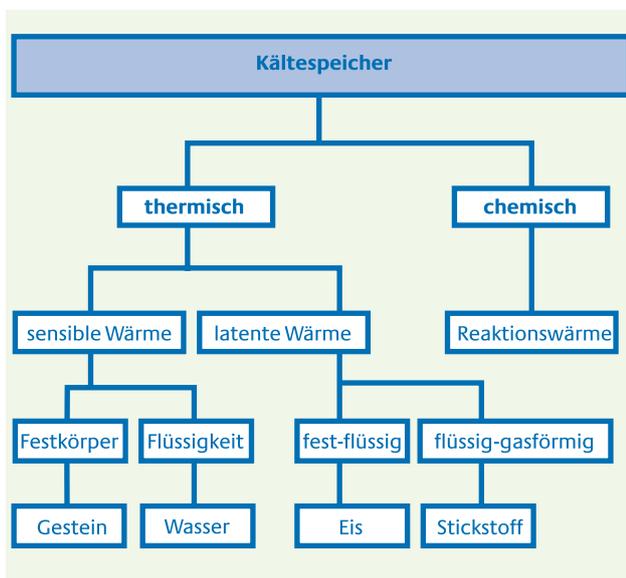
Der Kälte-träger wird in einem eigenen Pumpenkreislauf umgewälzt. Hierfür wird zusätzliche Energie aufgewendet. Bei Kälte-trägernetzen ist eine hohe Energieeffizienz besonders wichtig, da Energieverluste hier höhere Kosten verursachen als bei anderen Pumpensystemen. Strömungswiderstände z. B. verursachen nicht nur mehr Pumpenarbeit, sondern auch einen Energieeintrag in den Kälte-träger. Dadurch steigen der Kältebedarf und dementsprechend die Energiekosten der Kälteanlage. Auch ein Wärmeübergang aus der Umgebung verursacht zusätzliche Kosten, weshalb Kälte-trägerleitungen anders als Kältemittelleitungen sorgfältig zu isolieren sind. In lebensmitteltechnischen Betrieben ist dies ohnehin notwendig, um im Interesse der Hygiene eine Kondenswasserbildung zu vermeiden.

Kältespeicher.

Kältespeicher haben die Aufgabe, die Kälteerzeugung zeitlich vom Kälteverbrauch zu entkoppeln. Dadurch können Lastspitzen abgefedert werden. In lastschwachen Zeiten wird Kälte „auf Vorrat“ produziert, die dann von geeigneten Speichersystemen in kürzester Zeit, d. h. mit sehr hohen Leistungen, abgerufen werden kann. Gerade in Industriezweigen, wo nur zu bestimmten Zeiten große Mengen an Kälte gebraucht werden, kann dies erhebliche Kosten einsparen, weil die Kälteanlagen kleiner dimensioniert werden können. Dies ist z. B. in Molkereien der Fall, wo an wenigen Stunden am Tage große Mengen an Milch angeliefert werden, die sofort abgekühlt werden müssen oder in Brauereien, wenn die Würze abgekühlt wird. Auch Klimazentralen brauchen nur in den Nachmittagsstunden hohe Leistungen.

Neben der kleineren Dimensionierung der Kältemaschinen, ist vor allem die Reduzierung der elektrischen Anschlusskosten entscheidend. In vielen Lebensmittel verarbeitenden Betrieben ist die Kälteanlage die größte elektrische Last. Durch eine Reduzierung der Leistung kann der Leistungspreis des Strombezugs gesenkt werden. Wenn darüber hinaus, wie üblich, billiger Nachtstrom für die Aufladung des Kältespeichers verwendet wird, sinken auch die Arbeitskosten. Der Betrieb bei Nacht hat zudem den Vorteil, dass die Außentemperaturen geringer sind. Dies führt zu einer niedrigeren Kondensationstemperatur im Verflüssiger und erhöht damit die Energieeffizienz. Dadurch wird der zusätzliche Energieverbrauch, den die indirekte Kühlung gegenüber der direkten verursacht, zumindest teilweise wieder ausgeglichen.

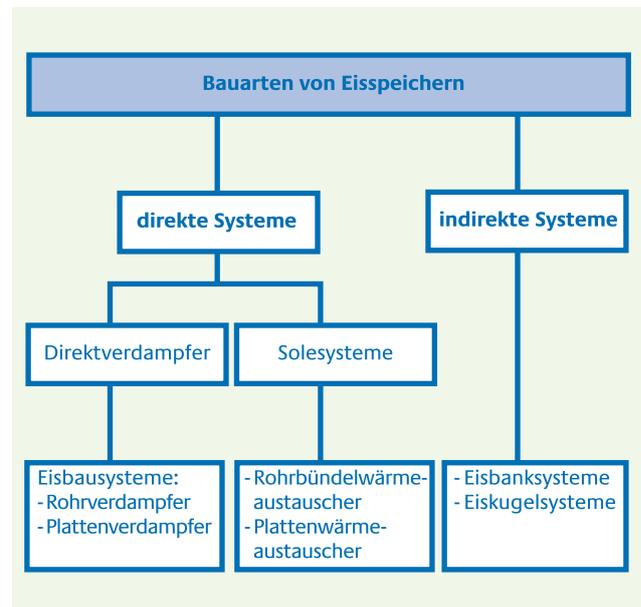
Abb. 6: Einteilung von Kältespeichersystemen



Es ist zu vermuten, dass es in naher Zukunft weitere Stromtarifmodelle geben wird, die den Einsatz von Kältespeichern noch rentabler werden lassen. Mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien steigt der Bedarf an Regenergie. In ersten Pilotprojekten haben Energieversorgungsunternehmen bereits dezentrale Stromerzeu-

gungsanlagen zu „Virtuellen Kraftwerken“ zusammengeschlossen. Der Ausgleich von Angebots- und Lastschwankungen erfolgt hier durch ferngesteuertes Zu- und Abschalten von Blockheizkraftwerken. Kältespeicher können in solchen Systemen in Zukunft eine wichtige Rolle als Energiespeicher spielen, indem sie Überschussstrom aufnehmen und dafür in Spitzenlastzeiten vom Netz fern bleiben. Die technischen Voraussetzungen für solche Systeme sind gegeben. Kälteanlagenbetreiber, die sich Partner unter den Energieversorgern für eine solche Kooperation suchen, werden möglicherweise in der Lage sein, vorteilhafte Strombezugsbedingungen auszuhandeln.

Abb. 7: Eisspeicher



Ein anderer Vorteil kleiner dimensionierter Kälteanlagen ist das geringere Kältemittelvolumen. Da die meisten Kältemittel ein deutliches Ozonabbau- und Treibhausgaspotenzial haben, werden solche Anlagen vom Gesetzgeber reglementiert. Dies bedeutet nicht nur Ausstiegsfristen und Produktionseinschränkungen, sondern auch jährliche Dichtheitsprüfungen. Einige Kältemittel sind bereits in der EG-Verordnung 2037/2000 über „Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen“ EU-einheitlich geregelt. Da in letzter Zeit auch viele der Ersatzstoffe für die ursprünglichen Kältemittel in Verruf geraten sind, ist anzunehmen, dass weitere Einschränkungen folgen werden. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass Kältemittel entsprechend ihrem sehr hohen Treibhausgaspotenzial („CO₂-Äquivalente“) später in die Emissionsreduktionsverpflichtungen mit einbezogen werden. Dies würde dann allerdings nur Anlagen ab einer bestimmten Größenordnung betreffen. Die vorgenannten Argumente müssen bei der Entscheidung zwischen indirekter Kühlung und direkter Kühlung gegen den höheren Energieverbrauch der indirekten Kühlung abgewogen werden.

Ausführung von Kältespeichern.

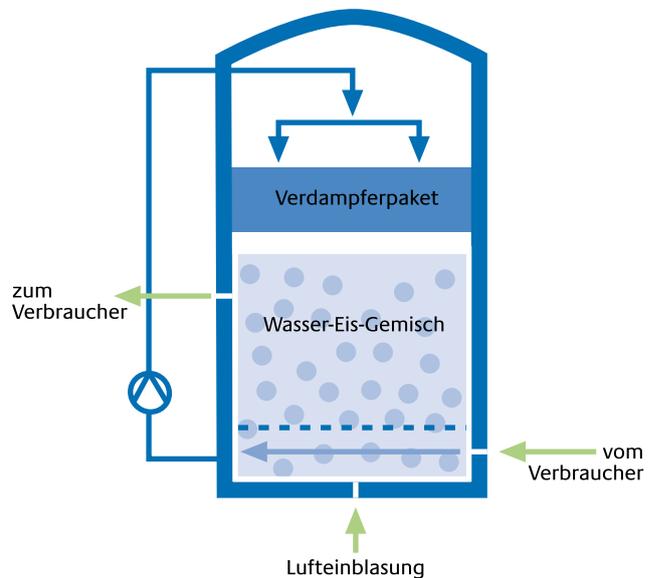
Kälte kann entweder in Form sensibler Wärme (Temperaturdifferenz), latenter Wärme (Phasenübergangs-Enthalpie) oder chemisch als Reaktionsenthalpie gespeichert werden. Die größte Bedeutung hat die latente Wärmespeicherung, insbesondere in Form von Eis. Diese Energieumwandlung ist nicht nur beliebig oft wiederhol- und umkehrbar. Wasser eignet sich auch sehr gut als Kälte-träger, so dass derselbe Stoff für Speicherung und Energie-transport verwendet werden kann, ohne dass weitere Wärmeaus-tauscher nötig werden. In Form von Eis hat Wasser eine sehr hohe Speicherkapazität. Mit einer Schmelzenthalpie von 333 kJ/kg lässt sich in einem Kubikmeter Eis 13-mal so viel Energie speichern, wie das bei flüssigem Wasser in Form sensibler Wärme bei einer Temperaturdifferenz von sechs Kelvin möglich wäre.

Die Bauarten von Eisspeichern sind vielfältig. Verschiedene Vari-anten haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile. Kriterien sind die Energieeffizienz, die Energiedichte (Speicherkapazität), der gewünschte Kälte-träger, Be- und Entladungsgeschwindigkeit und die einstellbare Temperatur (mit Additiven). Eine grobe Einteilung wird in Abb. 7 dargestellt. Die Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Systemen bezieht sich in diesem Fall nicht auf die Art der Kühlung. Den Unterschied macht hier die Frage, ob das Kältemittel gleichzeitig auch Speichermedium ist. Andernfalls ist die Nutzung eines weiteren Wärmetauschers notwendig. Un-abhängig davon kann die Aufladung des Speichers durch direkte oder indirekte Kühlung geschehen.

Das am weitesten verbreitete System ist das Eisbauersystem. Es ist ein direktes System mit direkter Kühlung, das u.a. in der Milch- und Brauereitechnik zum Einsatz kommt. In einem Speicherbe-hälter befinden sich Platten- oder Rohrwärmetauscher als Verdampfer. Auf der Verdampferoberfläche baut sich die Eis-schicht auf. Es gibt Systeme bei denen das Eis auf dem Verdampfer bleibt und solche, bei denen es „abgeerntet“ wird. Für die Eisernete wird über Umschaltventile aus der Kälteanlage Heißgas in den Verdampfer eingespeist. Dadurch werden die Eisplatten von den

Verdampferplatten gesprengt. Auf diese Art und Weise wird die Speicherleistung (der Wärmeübergang) erhöht, da einerseits die isolierende Eisschicht vom Verdampfer entfernt und andererseits die Phasengrenzfläche zwischen Eis und Wasser vergrößert wird. Das Wasser im Speicher hat immer annähernd 0 °C. Der Behälter kann z.B. ein Eiswasserbecken oder auch ein Eiswasserturm sein, der im Freien aufgestellt ist. Letzterer hat den Vorteil, dass er keinen teuren umbauten Raum im Fabrikationsgebäude belegt.

Abb. 8: Eisspeicherturm



Fazit:

Die Kälteverteilung von zentralen Anlagen kann sowohl direkt in Form des Kältemittels oder indirekt über einen Kälte-träger erfolgen. Die direkte Verdampfung ist in vielen Fällen energieeffizien-ter. Die indirekte Verdampfung hat einen Betriebskostenvorteil, wenn mit einem Kältespeicher die Kälteproduktion in die Nacht verlegt werden kann.

Tipps:

- Wenn Sie einen gleichmäßigen Kältebedarf über längere Zeiträume haben, sollten Sie die direkte Kühlung bevorzugen.
- Falls bei Ihnen starke Lastspitzen auftreten, sollten Sie den Einbau eines indirekten Systems mit Kältespeicher erwägen.
- Falls für Sie eine Absorptionskälteanlage in Frage kommt, prüfen Sie auch den Einsatz eines Kältespeichers. Dadurch können Sie die Anlage kleiner dimensionieren, ggf. Investitionskosten sparen und die Quelle Ihrer Antriebswärme besser ausnutzen.
- Achten Sie bei Kälte-trägernetzen auf kurze Wege, ausreichende Rohleitungsdurchmesser und eine gute Wärmedämmung.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de



INITIATIVE
EnergieEffizienz +
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit.

Anforderungen an kältetechnische Anlagen + Verpflichtungen des Anlagenbetreibers + Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Kälteanlagen.

Anforderungen an kältetechnische Anlagen.

An Kälteanlagen werden hohe Anforderungen in Bezug auf ihre Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gestellt. Dies liegt zum einen daran, dass von ihnen bei nicht-sachgemäßer Behandlung eine Reihe von Gefahren ausgeht und zum anderen daran, dass ihr Ausfall in vielen Fällen erhebliche Folgeschäden nach sich zieht. Kälteanlagen dürfen aus gutem Grunde nur von Fachbetrieben gebaut und in Betrieb genommen werden. Die Ausführung von Kälteanlagen unterliegt einer Reihe von Vorschriften, technischen Normen und Regeln. Es würde den Rahmen dieses Infoblattes sprengen, diese - auch nur unkommentiert - aufzulisten. Im Folgenden sollen vorrangig Aspekte beleuchtet werden, die für den Betreiber der Kälteanlage wichtig und interessant sind. Vollständige Übersichten finden sich in der einschlägigen Fachliteratur. Die kompletten Werke sind über die entsprechenden Institutionen bzw. die für sie publizierenden Verlage zu beziehen. Wichtige Quellen sind:

- Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union
- Gesetze und Verordnungen der Bundesrepublik Deutschland
- Regeln und Bauordnungen der Länder
- Berufsgenossenschaftliche Vorschriften
- DIN-Normen
- Arbeitsgruppen des Normenausschusses Kältetechnik im DIN (FNKä)
- Europäische Normen (CEN; CENELEC/CLC)
- ISO- / IEC-Normen
- Einheitsblätter des VDMA
- VDE-Bestimmungen
- Regeln des DVGW
- Richtlinien des VDI
- Prüfgrundsätze der Prüfinstitute (VDE, TÜV, DLG, BGZ)
- AD-Merkblätter („Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ der Überwachungsorganisationen und Wirtschaftsverbände)

Die verschiedenen Regeln und Normen haben für Anlagenbauer und Betreiber eine bindende Wirkung, die sich für die Lieferanten vor allem aus dem Gerätesicherheitsgesetz ableitet. Dieses besagt, dass nur dann Geräte in den Verkehr bzw. den Handel gebracht

werden dürfen, wenn sie gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik so beschaffen sind, dass Benutzer oder Dritte bei ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung gegen Gefahren für Leben oder Gesundheit in dem Maße geschützt sind, wie es die Art der bestimmungsgemäßen Verwendung gestattet. Der Betreiber der Anlage haftet direkt für die durch den Betrieb verursachten Schäden. Um sich gegen die Kosten von behördlichen Auflagen und Regressansprüchen nach Unfällen abzusichern, empfiehlt es sich, auch unabhängig von den gesetzlichen Verpflichtungen des Lieferanten bei der Bestellung zu vereinbaren, dass die Unfallverhütungsvorschriften und die umweltrelevanten Anforderungen einzuhalten sind.

Gefährdungen, die von Kälteanlagen ausgehen.

Neben den generellen Gefährdungen durch elektrische Anlagen und rotierende Maschinen ist bei Kälteanlagen besonders zu beachten, dass diese unter Druck stehen und in einigen Fällen mit gesundheits- oder umweltgefährdenden Kältemitteln gefüllt sind. Mögliche Gefährdungen durch Kälteanlagen sind:

- Vergiftungen und Verätzungen durch gefährliche Kältemittel
- Ersticken und Erfrieren in Kühlräumen
- Bersten von Druckbehältern
- Entweichen und Entzündung brennbaren Kältemittels
- Umweltgefährdung durch entweichendes Kältemittel

Durch die Missachtung von Sicherheitsvorschriften können schwere Unfälle verursacht werden. Mögliche Unfallursachen sind:

- Falsche Planung und Montage
- Unsachgemäßer Umgang
- Unzureichende Schulung von Mitarbeitern
- Anwesenheit von ungeschulten Personen in Gefahrenbereichen
- Unzureichende Gefahrenkennzeichnung
- Kollisionen von Transportmitteln mit Anlagenteilen
- Mangelhafte Wartung von Sicherheitseinrichtungen



Gefahrenklassen von Kältemitteln.

Kältemittel werden zum Zwecke der Unfallverhütung international in drei Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: Nicht brennbare Kältemittel ohne erhebliche gesundheitsschädigende Wirkung auf den Menschen
- Gruppe 2: Giftige oder ätzende Kältemittel oder solche, deren Gemisch eine untere Explosionsgrenze von mindestens 3,5 Volumenprozent hat
- Gruppe 3: Kältemittel, deren Gemisch mit Luft eine untere Explosionsgrenze von weniger als 3,5 Volumenprozent hat

Kältemittel müssen entsprechend gekennzeichnet werden. Die Kältemittel der Gruppen 2 und 3 sind in der Regel auch nach der Gefahrstoffverordnung gekennzeichnet. Hinweise auf die Umweltgefährdung geben die Wassergefährdungsklasse (WGK), das Ozonzerstörungspotenzial (ODP) und das Treibhausgas-Potenzial (GWP).

Einige der Kältemittel der Gruppe 1 sind zwar an sich ungiftig, können aber beim Zusammentreffen mit anderen Substanzen zu schädlichen Wechselwirkungen führen. Auch können durch die Einwirkung von Flammen, heißen Oberflächen, Lichtbögen etc. giftige Zerfallsprodukte entstehen, wie das Giftgas Phosgen bei FKW-Kältemitteln.

Verpflichtungen des Anlagenbetreibers.

Der Anlagenbetreiber ist für die Vermeidung von schädlichen Auswirkungen durch den Betrieb seiner Kälteanlage verantwortlich. Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik und der Druckgeräteverordnung durch den Lieferanten reduziert die Gefahren bereits stark. Für den Anlagenbetreiber ergeben sich insbesondere aus der Unfallverhütungsvorschrift BGV D4 der Berufsgenossenschaften und der Betriebssicherheitsverordnung weitere Verpflichtungen. Einige Aspekte werden im Folgenden angesprochen. Die gegebenen Hinweise dürfen jedoch keinesfalls als vollständig oder ausschließlich betrachtet werden und sind kein Ersatz für die zugrunde liegenden Regelwerke. Einige der Bestimmungen sind erst für Kälteanlagen ab einer gewissen Größenordnung und abhängig vom verwendeten Kältemittel verbindlich. Bei der Planung der Anlage sollten unbedingt die aktuell gültigen Bestimmungen berücksichtigt werden, da sich unterschiedliche Anlagenvarianten an diesem Punkt erheblich in ihren Folgekosten unterscheiden können.

Unterweisung der Mitarbeiter.

Der Unternehmer hat die Mitarbeiter vor der erstmaligen Aufnahme ihrer Tätigkeit und in angemessenen Zeitabständen, jedoch mindestens einmal jährlich über:

1. die Gefahren beim Umgang mit Kälteanlagen und Kühleinrichtungen,
2. die Sicherheitsbestimmungen und
3. das Verhalten bei Unfällen oder Störungen und die dabei zu treffenden Maßnahmen zu unterweisen.

Es sind auch Personen zu unterweisen, die nur vorübergehend beschäftigt werden, z. B. Montagehandwerker.

Die Unterweisung sollte ernst genommen und nicht nur als „reine Formsache“ betrieben werden. Sicherheitsmaßnahmen und das Verhalten bei Störfällen sollten geübt werden. Die wichtigsten Anweisungen sind schriftlich an geeigneter Stelle und in geeigneter Form anzubringen.

Der Unternehmer ist verpflichtet für Kälteanlagen und Kühleinrichtungen unter Berücksichtigung der Betriebsanleitung des Herstellers eine Betriebsanweisung zu erstellen und den Mitarbeitern bekannt zu geben. Eine Kurzfassung dieser Betriebsanweisung ist in der Nähe der Anlage anzubringen. Sie sollte eingängig und leicht verständlich formuliert sein. Weitere Hinweise dazu sind in der Unfallverhütungsvorschrift BGV D4 der Berufsgenossenschaften nachzulesen.

Instandhaltung.

Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass vor Beginn von Instandhaltungsarbeiten an Kältemittel führenden Teilen das Kältemittel so weit entfernt wird, wie dies für die gefahrlose Durchführung der Arbeiten notwendig ist. Bei Feuerarbeiten ist Vorsorge gegen Brandgefahr zu treffen. Werden Kältemittel in flüssigem Zustand in absperbare Behälter umgefüllt, so dürfen diese nur soweit gefüllt werden, dass bei der höchstmöglichen Temperatur ein Gasraum von 5 Prozent des abgesperrten Behältervolumens verbleibt. Der Unternehmer ist dafür verantwortlich, dass die Umstellung einer Kälteanlage oder Kühleinrichtung auf ein anderes Kältemittel nur von Sachkundigen ausgeführt wird.

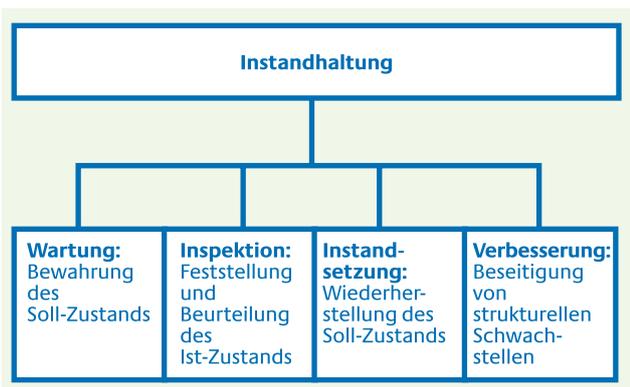


Eine gute Wartung erhält auch die Effizienz der Kälteanlage.

Wärmetauscherflächen sollten regelmäßig gereinigt und Schleimbildner im Kühlwasser vermieden werden. Lamellenverdampfer in Tiefkühlräumen müssen von Zeit zu Zeit abgetaut werden. Auch Verdichter und Antrieb bedürfen einer ausreichenden Instandhaltung. Lose Keilriemen sollten nachgespannt und verschlissene ausgetauscht werden. In alten Anlagen kann durch das Entfernen von Luft und Inertgasen aus dem Kältemittelkreis die Verflüssigungstemperatur gesenkt und damit die Energieeffizienz gesteigert werden.

Hinweise zu verschiedenen Instandhaltungsstrategien und die Minimierung von Produktionsausfall- und Instandhaltungskosten finden Sie auch im Infoblatt „Wartung und Instandhaltung von Pumpen und Pumpensystemen“ der *Initiative EnergieEffizienz*, im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de > Service/Publikationen.

Abb. 1: Maßnahmen der Instandhaltung



Lager-, Betriebs- und Kühlräume.

Geschlossene Räume und Bereiche im Freien, in denen Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln aufgestellt sind, müssen als explosionsgefährdete Bereiche festgelegt und entsprechend gekennzeichnet werden. Geeignete Feuerlöscheinrichtungen müssen in ausreichender Zahl bereitstehen und gebrauchsfertig sein. Es dürfen nur Löschmittel verwendet werden, die mit dem Kältemittel nicht gefährlich reagieren.

Kältemittelvorräte müssen in hierfür bestimmten Räumen oder im Freien gesondert aufbewahrt werden und in Maschinenräumen dürfen nur die zum Nachfüllen erforderlichen Kältemittelmengen gelagert sein.

Der Unternehmer darf in Räumen, in denen Apparate mit aktiv bewegten, flexiblen Kältemittelleitungen mit Kältemitteln der Gruppe 2 aufgestellt sind, nur die zum Betrieb der Apparate erforderlichen Mitarbeiter beschäftigen.

Kühlräume und Behälter, die mit Kühlmitteln direkt offen gekühlt werden, sind vor dem Begehen ausreichend zu durchlüften. Ist dies betrieblich nicht möglich, müssen die dort eingesetzten Mitarbeiter geeigneten Atemschutz tragen.

Kühlräume dürfen erst dann abgeschlossen oder verriegelt werden, wenn festgestellt worden ist, dass sich niemand in den Räumen befindet. Mitarbeiter, die in den Kühlräumen beschäftigt sind, müssen eine Kleidung tragen, die einen ausreichenden Kälteschutz bietet. Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass Mitarbeiter, die der Gefahr der Unterkühlung ausgesetzt sind, in regelmäßigen Zeitabständen überwacht werden. Mitarbeiter dürfen sich in Räumen mit Temperaturen unter -25°C nicht länger als zwei Stunden ununterbrochen aufhalten. Danach müssen sich die Mitarbeiter mindestens 15 Minuten außerhalb des Kühlraums aufwärmen können.

Prüfungen durch Sachkundige.

Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass Kälteanlagen und Kühleinrichtungen vor ihrer ersten Inbetriebnahme durch einen Sachkundigen einer Dichtheitsprüfung unterzogen und auf ihren ordnungsgemäßen Zustand geprüft werden und das Ergebnis dieser Prüfungen vom Sachkundigen bescheinigt wird. Die Bescheinigung ist aufzubewahren. Diese Prüfungen sind auch dann erforderlich, wenn Kälteanlagen oder Kühleinrichtungen geändert worden sind, oder wenn sie länger als zwei Jahre außer Betrieb waren. Flexible Kältemittelleitungen, die aktiv bewegt werden, sind mindestens alle sechs Monate von einem Sachkundigen auf Dichtheit zu prüfen. Dies gilt jedoch nicht für Kältemittelleitungen der Gruppe 1 mit einem Füllgewicht der Anlage bis zu 10 kg.

Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Kälteanlagen.

Unter Verfügbarkeit versteht man nach DIN EN 13306 die „Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion erfüllen zu können, sofern die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind.“

Von Kälteanlagen wird eine hohe Verfügbarkeit erwartet. Der Ausfall einer Kälteanlage verursacht in den meisten Fällen erhebliche Kosten. Fällt in einem Hotel die Klimaanlage über längere Zeit aus, verursacht dies Unzufriedenheit bei den Kunden und möglicherweise zukünftige Umsatzeinbußen. Bei der Lebensmittelproduktion führt das Fehlen von Kälte oft nicht nur zu einer Produktionsunterbrechung, sondern auch dazu, dass die gerade im Verarbeitungsprozess befindliche Ware erheblich im Wert gemindert, wenn nicht sogar unbrauchbar wird. Wenn in einem Rechenzentrum durch einen Ausfall der Kälteanlage Server geschädigt werden, kann der Schaden sogar unkalkulierbar groß werden.

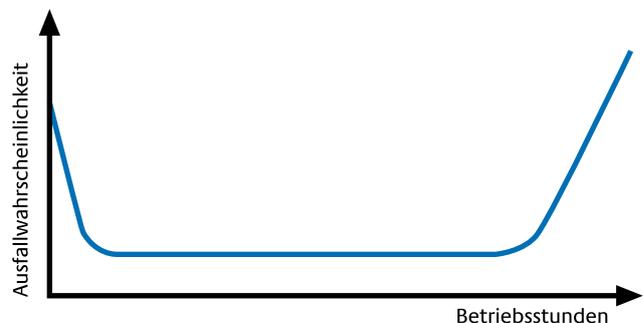
Abb. 2: Einflussgrößen auf die Verfügbarkeit



Die Verfügbarkeit hängt sowohl von der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit der Systemkomponenten ab, als auch vom Instandhaltungsvermögen des Anlagenbetreibers bzw. des verantwortlichen Wartungsservices und der gewählten Überwachungs- und Instandhaltungsstrategie. Die Verfügbarkeit einer Kälteanlage kann durch eingebaute Redundanzen und Speicher erhöht werden. Diese Möglichkeit wird weiter unten erörtert.

Die Zuverlässigkeit einer Komponente kann durch die Ausfallwahrscheinlichkeit beschrieben werden. Diese verhält sich bei den meisten Bauteilen entsprechend der charakteristischen „Wannenfunktion“, wie in Abb. 3 dargestellt. Während und kurz nach der Inbetriebnahme ist die Ausfallwahrscheinlichkeit vergleichsweise hoch. Danach hält sie sich relativ konstant auf einem niedrigen Wert bis Verschleiß eintritt. Die Ausfallwahrscheinlichkeit steigt gegen Ende der durchschnittlichen Lebensdauer wieder stark an. In der Praxis wird es kaum möglich sein, genaue Angaben über den zeitlichen Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Komponente zu erhalten. Eine Orientierungsgröße, die einige Hersteller angeben können, ist der durchschnittliche Abstand zwischen zwei Ausfällen MTBF (Mean Time between Failures). Eine gute Basis für die Vereinbarung von Verfügbarkeiten einer Kälteanlage mit dem Anlagenbauer ist die VDI-Richtlinie 3423 „Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen“.

Abb. 3: Ausfallwahrscheinlichkeit über die Lebensdauer



Das Schadensrisiko kann gesenkt werden.

Ausfälle kurz nach der Inbetriebnahme einer Komponente sind meistens durch die Gewährleistung des Herstellers abgedeckt. In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, eine längere Gewährleistungszeit zu vereinbaren. Allerdings sorgt die Gewährleistung nur für einen Ersatz des defekten Bauteils. Folgeschäden, insbesondere Betriebsausfall, sind in der Regel ausgeschlossen.

Zur Absicherung von Folgeschäden und Betriebsausfällen kann eine Maschinenversicherung oder eine Betriebsausfallversicherung abgeschlossen werden. Die Prämien dafür sind normalerweise verhältnismäßig hoch. Sie können aber in der Regel nach unten korrigiert werden, wenn der Anlagenbetreiber dem Versicherer glaubhaft darstellen kann, dass das Schadensrisiko nicht so hoch ist. Dafür sollten eine Risikoanalyse vorgenommen und Maßnahmen zur Begrenzung des Risikos getroffen werden. Dies ist auch ohne den Abschluss einer Versicherung zu empfehlen.



Die mögliche Schadenshöhe sinkt z. B., wenn für kritische Systemkomponenten, wie beispielsweise die Verdichter, Ersatz bereit steht und bereits fest in die Anlage integriert ist (Redundanz). Auch Pufferkapazitäten, wie Eisspeicher oder Speichermasse in den Kühlräumen können das Schadensrisiko erheblich senken. Falls im Betrieb entsprechende Wartungskapazitäten verfügbar sind oder der Wartungsservice schnell erreichbar ist, müssen jedoch bei ausreichender Kältepuffer-Kapazität keine redundanten Komponenten eingebaut sein. Es reicht dann aus, wenn diese in einem eigenen Ersatzteillager oder einem Kommissionslager des Lieferanten vorgehalten werden.

In Kühlhäusern ist eine „kryogene“ Notfallkühlung durch Einspritzen von flüssigem Stickstoff preiswerter als das Vorhalten einer redundanten Kältemaschine und kann darüber hinaus auch unabhängig von der Stromversorgung gestaltet werden. Beim Einbau einer solchen Kühlmöglichkeit müssen allerdings Sicherungsmaßnahmen getroffen werden, um das im Kühlhaus arbeitende Personal zu schützen.

Fazit:

An die Zuverlässigkeit von Kälteanlagen werden hohe Anforderungen gestellt. Zum einen, weil diese aufgrund des Drucks und teilweise auch aufgrund der verwendeten Kältemittel Gefahrenquellen für Mensch und Umwelt sind. Zum anderen, weil ihre Verfügbarkeit sehr oft notwendig für die mit ihnen verbundenen Prozesse ist. Kälteanlagen dürfen nur durch Sachkundige gebaut, in Betrieb genommen und verändert werden. Während die Fachfirmen von sich aus verpflichtet sind, bei der Ausführung der Anlage alle sicherheitsrelevanten Mindeststandards einzuhalten, liegt es in der Verantwortung des Betreibers im Planungsprozess die Anforderungen an die Verfügbarkeit zu kommunizieren und während der Betriebsphase für die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften und eine sachgemäße Instandhaltung sowie turnusmäßige Prüfungen zu sorgen.

Tipps:

- Schätzen Sie die Kosten eines Betriebsausfalls Ihrer Kälteanlage möglichst genau ab.
- Lassen Sie in Angeboten die Verfügbarkeit gemäß VDI-Richtlinie 3423 spezifizieren und vergleichen Sie die Lebenszykluskosten für Anlagen mit unterschiedlichen Verfügbarkeiten.
- Informieren Sie sich genau über Ihre Verpflichtungen als Betreiber und sorgen Sie für eine eindeutige und umfassende Zuteilung von Verantwortlichkeiten in Ihrem Betrieb.
- Erstellen Sie rechtzeitig die notwendigen betriebsinternen Verfahrens- und Arbeitsanweisungen.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de



INITIATIVE
EnergieEffizienz +
Industrie & Gewerbe

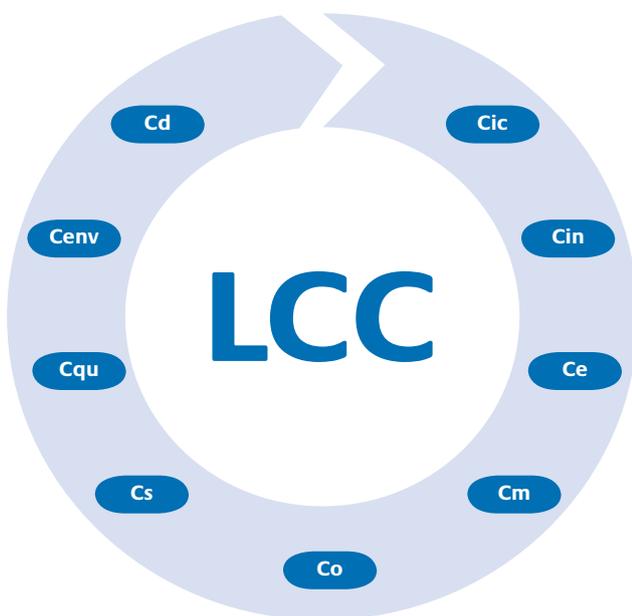
Infoblätter Kältetechnik: Planung und Optimierung von Kälteanlagen.

Lebenszykluskosten als Optimierungsstrategie + Ansatz-
punkte für eine Kostenminimierung.

Lebenszykluskosten als Optimierungsstrategie.

Kälte kann in manchen Branchen ein entscheidender Kostenfaktor sein. Dabei geht es nicht nur um die Anschaffungskosten einer Kälteanlage, sondern vor allem auch um die laufenden Betriebskosten. Diese können bis zu 80 Prozent der Kosten ausmachen, die während der Lebensdauer einer Kälteanlage entstehen. Es wäre daher wenig sinnvoll, bei der Planung einer Kälteanlage vorrangig die Anschaffungskosten vor Augen zu haben. Ein systematischer Ansatz zur Erfassung und Optimierung der Gesamtkosten ist die Lebenszykluskostenanalyse (englisch: Life Cycle Costing, LCC). Detaillierte Hinweise zu dieser Methode finden sich an verschiedenen Stellen bei der *Initiative EnergieEffizienz*, unter anderem in den Infoblättern Druckluft- sowie Pumpensysteme, im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de > Service/Publikationen.

Abb. 1: **Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Costing)**



Zur Optimierung einer Kälteanlage stehen viele Stellschrauben zur Verfügung. So viele, dass es nicht möglich ist, für jede Kombination von Lösungsmöglichkeiten die Lebenszykluskosten zu berechnen und zu vergleichen. Es empfiehlt sich daher, systematisch vorzugehen. Hier wird eine Vorgehensweise in sieben Schritten empfohlen, deren Reihenfolge eine Anlagen-Neuplanung zu Grunde liegt. Bei einer bestehenden Anlage wird genau zu prüfen sein, ob sich eine größere Ersatzinvestition oder ein Ausbau lohnt oder ob nur der Betrieb optimiert werden soll.

Die grundlegenden Schritte sind:

1. Minimierung des Kältebedarfs
2. Grundsätzliche Entscheidungen zur Prozessgestaltung
3. Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen
4. Planung der Steuer- und Regelungstechnik
5. Detailauslegung und Auswahl der einzelnen Komponenten
6. Inbetriebnahme und Optimierung des Betriebs
7. Effizienzorientierte Instandhaltung

Für die Optimierung von Bestandsanlagen wird die Gewichtung und Reihenfolge dieser Schritte anders aussehen, je nachdem, welcher Handlungsspielraum bzw. Handlungsdruck besteht. Die konkreten Möglichkeiten zu den einzelnen Punkten müssen mit Fachplanern erörtert werden. Verallgemeinernde Empfehlungen sind praktisch nicht möglich, weil die Randbedingungen je nach Anlage zu unterschiedlich sind. Im Folgenden kann daher nur eine grobe Orientierung gegeben werden.

Tab. 1: **Vorschläge für Einsparmaßnahmen**
(Quelle: Österreichische Energieagentur)

Maßnahme	Einsparpotenzial
Verminderung des Kältebedarfs	
Systemoptimierung	8 - 10%
Betriebs- und Wartungsmaßnahmen	4 - 8%
stärkere Wärmedämmung	5 - 10%
Wärmerückgewinnung	80% (der Wärme)
effiziente Geräte/Beleuchtung in Kühlräumen	2%
Benutzung von effizienten Geräten und Anlagen	
Antriebe mit Drehzahlregelung für Verdichter, Ventilatoren und Pumpen	4 - 6%
Hocheffizienzmotoren für den Ventilator am Verdampfer	2 - 5%
Hocheffizienter Kältekompressor	2 - 5%
Hocheffizienzmotoren für den Ventilator am Kondensator	2 - 5%
Richtige Bedienung und Vermeidung unnötiger Temperaturen	
Reinigung der Wärmeübertragerflächen	3%
Steuerung des Verdichtungsdruckes am Kältekompressor	10 - 15%
Abtausteuern	5%

Ansatzpunkte für eine Kostenminimierung.

Minimierung des Kältebedarfs.

Künstliche Kälte ist teuer und sollte daher nur dort eingesetzt werden, wo sie auch wirklich benötigt wird. Eine Reduzierung des Kältebedarfs sollte daher erste Priorität haben. Wenn hier von Minimierung gesprochen wird, meint dies genau genommen eine wirtschaftliche Optimierung unter Einbeziehung des Kältenutzens und der Vermeidungskosten.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Kältebedarfs ist meistens eine **Verbesserung der Wärmedämmung**, sei es bei Kühlräumen oder klimatisierten Wohn- und Betriebsräumen. Optimierungsmöglichkeiten bestehen beim verwendeten Dämmmaterial, der Wandstärke und der Qualität der Ausführung.

Vergleichbar wichtig ist auch eine **Minimierung der Wärmestrahlung und Konvektion**. Optionen hierfür sind eine Gestaltung des Eingangsbereichs, Schleusen an den Türen, Verkürzung der Türöffnungsdauer und bei klimatisierten Gebäuden ein Sonnenschutz an den Fenstern und nicht zuletzt eine Optimierung der Raumlufttechnik. Auch **innere Wärmequellen** sollten minimiert werden. Insbesondere bei Tiefkühlhäusern haben die Effizienz der Beleuchtung und die Gestaltung der Fördertechnik einen erheblichen Einfluss auf den Kältebedarf, da die Wärme, welche durch diese produziert wird, durch die Kälteanlage wieder abtransportiert werden muss.

Die benötigte Maximalleistung lässt sich auch über eine **Anpassung der Belegungs- und Betriebszeiten** begrenzen. Und andersherum lässt sich bei Kenntnis dieser Zeiten auch die Leistung der Kälteanlage optimieren.

Um die benötigte Leistung zu begrenzen, sollte man **Tiefkühlräume nicht zum Gefrieren verwenden**. Wird die Temperaturabsenkung in einem getrennten Schritt vorgenommen, verbessert dies nicht nur die Energieeffizienz, sondern mindert auch Qualitätsrisiken, die durch Temperaturschwankungen entstehen. Steht keine Vorrichtung zum Gefrieren zur Verfügung, sollte das Kühlgut vor dem Einlagern wenigstens so weit wie möglich abgekühlt werden.

Beim Lagern von Lebensmitteln sollte man die **Temperaturen den jeweiligen Lebensmitteln anpassen**. Hierfür sind getrennte Lagerräume bzw. Kühlmöbel oder wenigstens unterschiedliche Temperaturzonen zu empfehlen.

Diese Auflistung ließe sich noch fortsetzen. Die genannten Beispiele sollen dazu inspirieren, vor weiteren Planungsschritten den Kältebedarf nicht nur genau zu berechnen sondern auch immer wieder in Frage zu stellen.

Grundsätzliche Entscheidungen zur Prozessgestaltung.

Durch die Grobplanung der Kältetechnik werden die entscheidenden Weichen für die spätere Kostenstruktur und Effizienz der Kälteerzeugung gestellt. Daher sollten auf Basis möglichst genauer Budgetangebote und Betriebskostenabschätzungen die Lebenszykluskosten für die verschiedenen Prozessvarianten verglichen werden. Nachdem im ersten Schritt festgestellt wurde, welche Kältemenge benötigt wird, ist zu ermitteln, ob die **Kälte aus der Umgebung** entnommen werden kann. In einigen Fällen bietet sich eine Kühlung durch Fluss- oder Brunnenwasser an. Für die Klimatisierung lässt sich mittels **Betonkernaktivierung** die kühle nächtliche Umgebungsluft nutzen. Steht keine hinreichende natürliche Kältequelle zur Verfügung, sollte geprüft werden, ob sich durch **Kopplungsprozesse** die Energie effizienter ausnutzen lässt. Steht Restwärme aus einem anderen Prozess bei einer ausreichend hohen Temperatur zur Verfügung, bietet es sich an, diese über einen **Sorptionskälteprozess** zu nutzen. Ebenso sollte geprüft werden, ob durch **Wärmerückgewinnung** die Abwärme des Kälteprozesses weitergenutzt werden kann.

Wurde ein herkömmlicher **Kompressionskälteprozess** zur Kälteerzeugung gewählt, muss entschieden werden, ob die Kälte **zentral oder dezentral** erzeugt wird. Dezentrale Anlagen sind flexibler und eignen sich insbesondere zum nachträglichen Einbau und bei schwierigen Gebäudestrukturen. Wenn die Anlage von Anfang an durchgeplant werden kann und die Entfernungen im Betrieb nicht zu hoch sind, haben zentrale Anlagen meistens einen Kostenvorteil. Weiterhin muss entschieden werden, ob die Kälte durch **direkte oder indirekte Kühlung** erzeugt werden soll, d.h. ob das Kältemittel direkt an der Kühlstelle oder zentral bei der Kältemaschine verdampft werden soll. Die direkte Kühlung ist in den meisten Fällen energieeffizienter und hat dann einen Kostenvorteil, wenn die Entfernungen zwischen Kältemaschine und Kühlstelle nicht zu hoch sind. Doch geht diese Variante mit wesentlich höheren Kältemittelmengen und einem erhöhten Sicherheitsaufwand einher. Die indirekte Kühlung könnte bei einem sehr ungleich über den Tag verteilten Kältebedarf in Verbindung mit einem **Kältespeicher** vorteilhaft sein.

In Abhängigkeit von der benötigten Kälteleistung ist zu entscheiden, ob ein **luft-, wasser- oder verdunstungsgekühlter Verflüssiger** zum Einsatz kommt. Wassergekühlte Verflüssiger ermöglichen höhere Leistungen bei hoher Energieeffizienz. Falls kein kaltes Brunnen- oder Flusswasser zur Verfügung steht und genutzt werden darf, muss entschieden werden, welche Art der **Rückkühlung** vorgenommen wird. Dies kann z. B. ein zwangsbelüfteter, ein Naturzug- oder ein Hybridkühlturm sein. Luftgekühlte Verflüssiger haben wesentlich geringere Investitions- und Wartungskosten, da der Wasserkreislauf und die Rückkühlung wegfallen. Sie haben aber den Nachteil, dass ihre Leistung bei hohen Außenlufttemperaturen, also gerade in der Zeit mit dem höchsten Kühlbedarf stark einbricht. Verdunstungsgekühlte Verflüssiger bringen höhere Leistungen als luftgekühlte und haben einen geringeren Wasserverbrauch als wassergekühlte mit Kühlturm. Hier kann allerdings der Betrieb bei Frost problematisch sein.

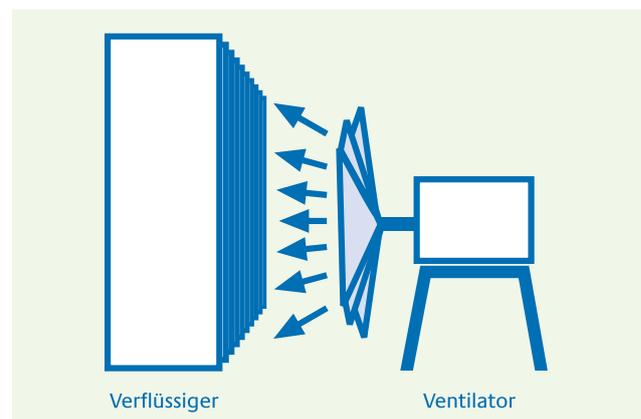
Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen.

Der Energieverbrauch einer Kälteanlage wird ganz wesentlich von der Differenz zwischen Verflüssigungs- und Verdampfungstemperatur bestimmt. Für jedes Kältemittel lässt sich aus der Temperaturspreizung eine Leistungszahl, also das Verhältnis von Verdichter- zu Kälteleistung in einem idealen Kälteprozess ermitteln. Je höher die Temperaturdifferenz, desto geringer die Energieeffizienz der Anlage. Im idealen Prozess hängt die Verdichtarbeit nur von diesen Temperaturen und dem Kältemittelmassenstrom ab, da durch die Temperaturen bei Verdampfung und Verflüssigung auch die Drücke festgelegt werden. Der reale Energieverbrauch ist aber noch höher als der theoretische, da erstens der reale Prozess vom idealen thermodynamischen Verlauf abweicht und zweitens alle Systemkomponenten Ineffizienzen mit sich bringen. Daher kann es auch ein Ziel sein, erstens den realen Prozess möglichst stark dem idealen anzunähern, z. B. indem der Grad der Überhitzung nach der Verdampfung möglichst gering gehalten wird, und zweitens möglichst effiziente Systemkomponenten zu verwenden (siehe auch weiter unten).

Die wichtigste Temperatur ist die **Verdampfungstemperatur**. Ein Kelvin mehr bedeutet vier Prozent weniger Energieverbrauch. Dies ist auch der Grund, warum direkte Kühlungen fast immer effizienter sind als indirekte. Weil hier weniger Wärmeübergänge zu bewerkstelligen sind, muss die Verdampfungstemperatur nicht so weit unter der Temperatur der Kühlstelle liegen. In jedem System kann durch eine Vergrößerung der Wärmetauscherfläche die Verdampfungstemperatur angehoben und damit die Energieeffizienz gesteigert werden. Mit abnehmender Temperaturdifferenz wird der Vorteil weiterer Verdampferrohrschlangen oder -platten aber immer geringer, so dass anhand der Lebenszykluskosten oder einer anderen Investitionsrechnung geprüft werden muss, wie weit sich die Erweiterung lohnt.

Das für die Verdampfungstemperatur gesagte gilt ähnlich für die **Verflüssigungstemperatur**. Dabei liegt die Einsparung zwar nur bei drei Prozent pro Kelvin (hier wohlgermerkt niedrigerer!) Verflüssigungstemperatur, aber das reicht in vielen Fällen auch für deutliche Betriebskostenreduzierungen. Die Verflüssigungstemperatur sinkt aber nur, wenn gleichzeitig mit einer Vergrößerung der Wärmetauscherfläche der Verflüssigungsdruck gesenkt wird. Bleibt dieser konstant, führt zusätzliche Fläche zu einer stärkeren **Unterkühlung** des Kältemittels. Auch dies führt zu einer Effizienzverbesserung, wenn auch nicht in demselben Maße wie eine Kondensation bei geringerer Temperatur. Jedes Grad zusätzliche Temperaturabsenkung steigert die Kälteleistung um etwa ein Prozent, ohne dass zusätzliche Verdichtarbeit nötig wird. Durch eine Flüssigkeitsunterkühlung lässt sich erreichen, dass der Verdichter eine Nummer kleiner gewählt werden kann. Falls die Leistung einer Kälteanlage nicht mehr ausreicht, kann man diese durch Unterkühlung steigern. Eine Unterkühlung verhindert auch, dass bei einer Leistungssteigerung der Anlage so genanntes „Flash Gas“ durch eine vorzeitige Verdampfung aufgrund des erhöhten Druckabfalls in der Flüssigkeitsleitung entsteht.

Abb. 2: Verflüssiger mit Zwangsbelüftung



Die Leistung eines luftgekühlten Verflüssigers lässt sich auch durch eine **Zwangsbelüftung** erheblich steigern. Bläst man mit einem Ventilator Luft auf die Kühlrippen, verbessert sich der Wärmeübergang. Dadurch sinkt die Temperatur des Kältemittels stärker, als bei einem naturgekühltem Verflüssiger derselben Bauart. Bei einem wassergekühlten Verflüssiger hat die Absenkung der Kühlwassertemperatur eine entsprechende Wirkung.

Mehrere parallele Verdichter erhöhen die Flexibilität.

Möglicherweise kann die Leistung der Anlage auf mehrere Verdichter aufgeteilt werden. Dies bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Die Leistung lässt sich durch Ein- bzw. Ausschalten einzelner Verdichter an den Kältebedarf anpassen.
- Antriebsleistungsspitzen werden abgebaut. Dadurch können möglicherweise Netzanschlusskosten reduziert werden.
- Die Ausfallsicherheit steigt. Es bieten sich bessere Möglichkeiten zur Wartung ohne die Gesamtanlage außer Betrieb nehmen zu müssen.

Wird in der Übergangszeit, wenn nur ein Teil der Verdichter läuft, die gesamte Verdampfer- und Kondensatorfläche für diese genutzt, lassen sich hohe Leistungszahlen erzielen.

Durch eine entsprechende Verdichteranzahl und jeweilige Leistungsgröße lässt sich mit Hilfe einer intelligenten Steuerung eine hohe Regelgüte erreichen. Zur Erreichung einer gleichmäßigen Abnutzung der Verdichter ist es üblich, durch eine Folgesteuerung für gleiche Betriebsstunden der einzelnen Aggregate zu sorgen.

Planung der Steuer- und Regelungstechnik.

Die Optimierungsmöglichkeiten mit Hilfe der Regel- und Steuerungstechnik sind vielfältig. Einige Beispiele werden im Infoblatt „Regelungstechnik“ vorgestellt (Download im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de >Service/Publikationen).

Weitere Schlagworte sind:

- Bleibende Regelabweichungen klein halten!
- Kühlbedarf auf das notwendige Maß beschränken: Zulässige Toleranzen ausnutzen!
- Lastmanagement vornehmen, um Stromleistungskosten gering zu halten!
- Leistung an momentane Kühllasten anpassen, bei Klimaanlage gleitende Vorlauftemperaturen einstellen!
- Antriebsdrehzahl regeln!

Je intelligenter die Steuerung, desto höher sind in der Regel die möglichen Effizienzsteigerungen. Die besten Ergebnisse lassen sich durch computergesteuerte Regelungen erzielen (Energy Management Program Refrigeration, EMPR).

Detailauslegung und Auswahl der einzelnen Komponenten.

Alle Systemkomponenten einer Kälteanlage sind in unterschiedlichen Qualitäten zu haben. Eine höhere Effizienz bedeutet fast immer einen höheren Anschaffungspreis. Dies kann aber gut

investiertes Geld sein. Welcher Mehrpreis sich rentiert, muss im Einzelfall berechnet werden. Gerade bei Verdichtern und deren Motoren und Antrieben gibt es große Unterschiede in Effizienz und Wartungskosten. Elektromotoren werden nach der freiwilligen Vereinbarung zwischen der Europäischen Kommission und dem Komitee der Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP) nach ihrer Energieeffizienz klassifiziert. Sie teilt Motoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 kW und 90 kW in die drei Effizienzklassen eff1, eff2, eff3, ein. Dabei wird nach Baugröße und Polzahl differenziert.

Auch die Druckverluste in den Rohrleitungen sind eine Ursache von Energieverlusten. Hier geht es um die Wahl des optimalen Leitungsdurchmessers und eine verlustarme Leitungsführung.

Abb. 3: Kennzeichnung energieeffizienter Motoren



Inbetriebnahme und Optimierung des Betriebs.

Bei allen komplexeren Anlagen lässt sich das Betriebsverhalten durch eine sorgfältige Inbetriebnahme stark verbessern. Kälteanlagen dürfen nur durch Sachkundige in Betrieb genommen werden. In der Regel geschieht dies durch den Lieferanten. Jeder Kälteanlagenbauer wird von sich aus ein Interesse daran haben, eine gut funktionierende Anlage abzuliefern. Für eine wirkliche Optimierung sind allerdings viele zusätzliche Stunden notwendig. Um sicherzustellen, dass dies auch geschieht, sollten die Leistungsziele bereits im Liefervertrag spezifiziert und auch eine ausreichende Inbetriebnahmezeit explizit vereinbart werden. Auch im Regelbetrieb sollte dann und wann eine Anpassung der Regel- und Steuerparameter vorgenommen werden.

Effizienzorientierte Instandhaltung.

Eine gute Wartung erhält die Effizienz der Kälteanlage. Hinweise zu einer effizienzorientierten Instandhaltung finden Sie im Infoblatt „Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit“ dieser Serie und im Infoblatt „Wartung und Instandhaltung von Pumpen und Pumpensystemen“ der *Initiative EnergieEffizienz*, im Internet unter www.industrie-energieeffizienz.de > Service/Publikationen.

Fazit:

Künstliche Kälte kostet Geld. Die Kosten können stark variieren und lassen sich durch eine geschickte Planung und systematische Anlagenoptimierung stark reduzieren. Die wesentliche Voraussetzung hierfür ist, dass nicht nur kurzfristig auf Ausgaben geschaut, sondern längerfristig geplant wird. Kälteanlagenbauer haben das Know-how für hochwertige Anlagen. Ein Optimum werden sie aber nur erzielen, wenn sie vom Kunden entsprechend gefordert und ausreichend mit Informationen versorgt werden.

Tipps:

- Eine Kälteanlage bietet eine Reihe von Ansatzpunkten zur energetischen Optimierung. Hier gilt es Anlagentechnik, Kältemittel, Kühlmedium und Temperaturverhältnisse aufeinander abzustimmen.
- Informieren Sie sich über die Leistungsdaten ihrer bestehenden Anlage oder über den genauen Bedarf ihrer zu planenden Anlage und vergleichen Sie sich, falls möglich, mit Wettbewerbern oder veröffentlichten Best-Practice-Beispielen.
- Schauen Sie auch auf Lösungen für ähnliche Aufgabenstellungen in anderen Branchen.
- Protokollieren Sie den Energieverbrauch Ihrer Kältetechnik langfristig, um Hinweise auf Instandhaltungs- und Verbesserungsbedarf zu erhalten.
- Fragen Sie in Ihren Ausschreibungen immer auch Wirkungsgrade und am besten auch Angaben zu Lebenszykluskosten an.
- Holen Sie immer mehrere Vergleichsangebote ein.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:
Informationsblätter
Kältetechnik

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:
www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de