



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Kältetechnik: Kälteerzeugung.

Systemkomponenten von Kälteanlagen +
Innovative Konzepte.

Systemkomponenten von Kälteanlagen.

Aktive Kälteanlagen bestehen immer mindestens aus

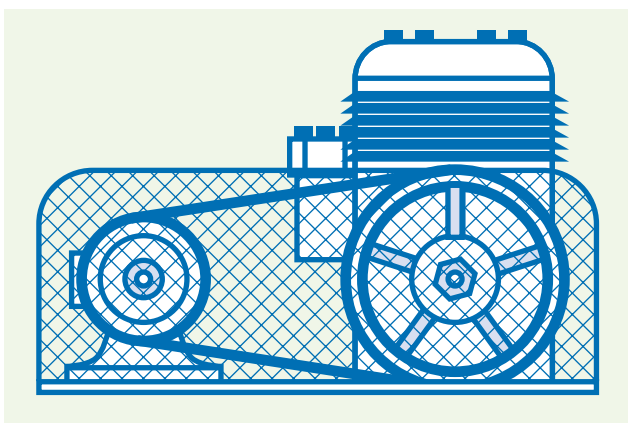
- einer Komponente, in der die abzuführende Wärme aufgenommen wird,
- einer Komponente, die das Temperaturniveau der Wärme erhöht und den Kältekreislauf antreibt,
- einer Komponente, in der die Wärme abgegeben wird und
- einer Komponente, in der die Temperatur des Kältemittels gesenkt wird.

Eine Kompressionskälteanlage besteht im Wesentlichen aus einem Verdichter mit Antrieb zur Temperatur- und Druckerhöhung, einem Verflüssiger (ggf. mit Kältemittelsammler) zur Wärmeabgabe, einem Drosselorgan zur Temperatur- und Druckabsenkung und einem oder mehreren Verdampfern zur Wärmeaufnahme. Hinzu kommt in manchen Fällen ein Kältenetz, in dem das Kältemittel oder bei indirekter Kühlung der Kälte-träger transportiert wird. In letzterem Fall braucht man auch noch zusätzliche Wärmetauscher und gegebenenfalls auch einen Kältespeicher. Kältenetz und Kältespeicher werden in einem gesonderten Infoblatt behandelt, die restlichen Komponenten beginnend beim Verdichter im Folgenden vorgestellt.

Der Verdichter.

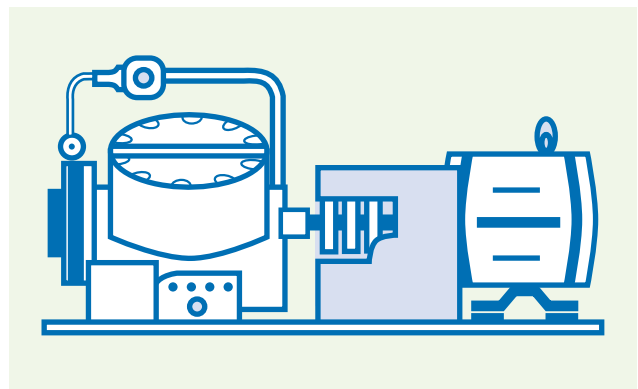
Die häufigsten Verdichter in Kälteanlagen sind Hubkolbenverdichter. Manchmal kommen auch Drehkolbenverdichter zum Einsatz, in größeren Anlagen (über 500 kW) zunehmend Schraubenverdichter. Die Funktionsweise dieser Verdichter wird unter anderem im Infoblatt „Erzeugung von Druckluft für Industrie und Gewerbe“ der *Initiative EnergieEffizienz* erläutert. Die Verdichter für Kältemittel sind zwar nicht identisch mit denen für Druckluft, aber die dort getroffenen Aussagen sind übertragbar.

Abb. 1: Kolbenverdichter mit Keilriemenantrieb



In Kälteanlagen sind sowohl hermetische, halbhermetische als auch offene Verdichter im Einsatz. Bei hermetischen Verdichtern ist der Motor zusammen mit dem Verdichter in einem verschweißten und versiegelten Gehäuse eingebaut. Eine Wartung oder ein Austausch des Motors oder des Verdichters ist nur schwer möglich und im Allgemeinen nicht vorgesehen. Auch beim halbhermetischen Verdichter sind Motor und Verdichter eingehaust. Hier können jedoch normalerweise Zylinderkopf, Lagerdeckel und Bodenplatte entfernt werden, um Reparaturen an den inneren mechanischen Bauteilen vorzunehmen. Bei offenen Verdichtern ragt die Pleuellstange aus dem Verdichtergehäuse heraus. Der Motor ist in der Regel auf derselben Bodenplatte montiert und per Keilriemen oder direkt mit der Pleuellstange verbunden.

Abb. 2: Kolbenverdichter mit Direktantrieb



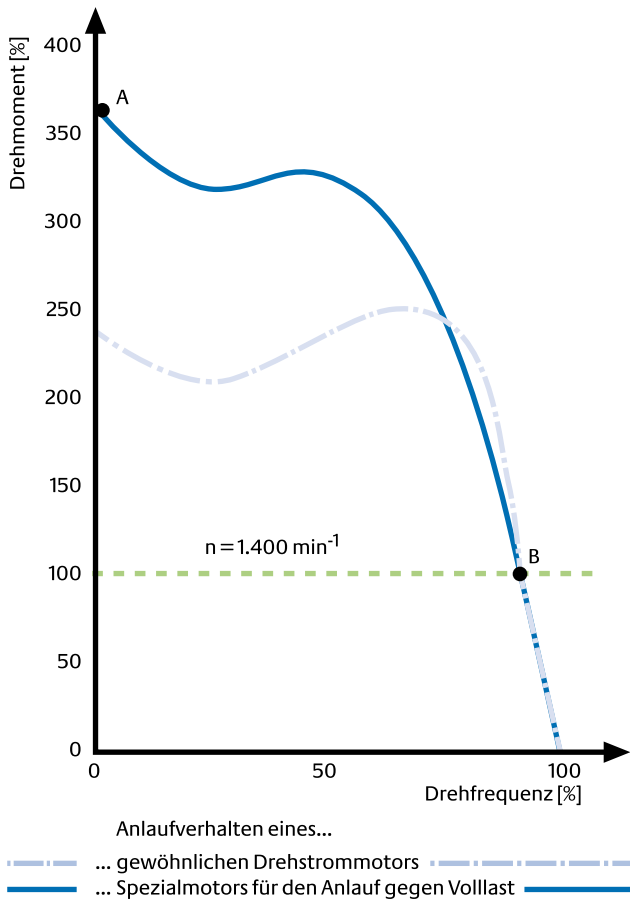
Der Antrieb.

Als Antriebe für Verdichter kommen sowohl Elektro- als auch Verbrennungsmotoren oder Dampfmaschinen in Frage. In diesem Infoblatt werden nur die am häufigsten eingesetzten Elektromotoren behandelt.

Verdichter in Kompressionskältemaschinen stellen besondere Anforderungen an ihre Antriebe. Da es vorkommen kann, dass bei einem regelungs- oder sicherheitsbedingtem Abschalten der Pleuellstange gerade in einer Stellung steht, bei der der Zylinderinhalt voll komprimiert ist, müssen die Verdichterantriebe gegen Vollast anfahren können. Dies sollte durch Spezialmotoren mit besonders hohem Anlaufdrehmoment gewährleistet werden. Da der Verdichter im regulären Betrieb eine viel geringere Leistung braucht als beim Anlauf, würde die Verwendung eines Motors mit niedrigem Anlaufmoment zu einer Überdimensionierung des Motors führen. Ein überdimensionierter Motor arbeitet ineffizient und verursacht damit hohe Energiekosten.

Oft findet man bei nicht fachgerecht ausgeführten Anlagen verhältnismäßig starke Antriebsmotoren. Dies erweckt auf den ersten Blick den Anschein einer leistungsfähigeren Anlage. Tatsächlich ist aber nicht die Motorleistung sondern die Nutzkalteleistung entscheidend. Dabei ist die Kälteanlage die beste, die zur Erzielung der geforderten Kalteleistung die geringste Antriebsenergie benötigt.

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**



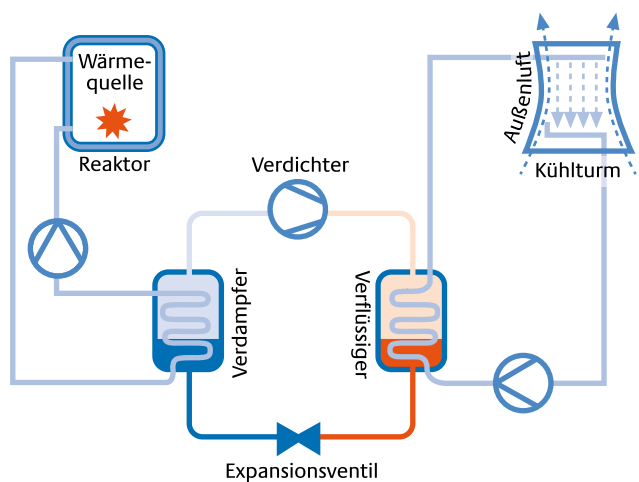
Die Arbeit des Motors kann entweder direkt oder mit einer Drehzahlübersetzung auf die Verdichterwelle übertragen werden. Oft kommen Keilriementriebe zum Einsatz. Die Drehzahlübersetzung ist hier proportional zum Verhältnis der Scheibendurchmesser abzüglich eines sehr geringen Schlupfes. Die verschiedenen 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 Glattröhroverdampfer, 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. Druckluftsysteme 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.druckluft-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