

mal, weil sich durch die zweistufige Entspannung ein erheblicher Enthalpiegewinn bei der Verdampfung ergibt, denn nach der ersten Drosselung erfolgt im Mitteldruckbehälter eine Trennung des Nassdampfes in Flüssigkeit und Dampf. Der → Drosseldampf wird vom HD-Verdichter angesaugt, die unter Mitteldruck (p_m) stehende Flüssigkeit erneut entspannt bis auf Verdampfungsdruck. In der abgebildeten Prinzipskizze erfolgt diese Entspannung in einen → Abscheidesammler und die Kälteverbraucher werden im → Pumpenbetrieb versorgt. Der dabei entstehende Drosseldampf und auch der im Verdampfer entstandene Kältemitteldampf werden vom ND-Verdichter abgesaugt, auf Mitteldruck verdichtet und in den Mitteldruckbehälter gedrückt, wo das überhitzte Druckgas durch die Flüssigkeit bis zur Taulinie abgesättigt wird. Dabei verdampft Flüssigkeit und der so entstehende Dampf wird zusammen mit dem Drosseldampf der HD-Entspannung vom HD-Verdichter abgesaugt und auf Verflüssigungsdruck verdichtet.

K

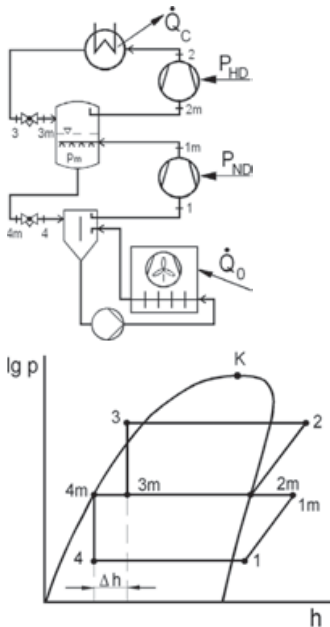


Bild 107: Zweistufige Verdichtung und zweistufige Entspannung mit Mitteldruckbehälter, Δh = Enthalpiegewinn.

Kälte

Zweckmäßiger Begriff für die Tatsache, dass Wärmeenergie entzogen wird. Kälteerzeugung ist also ein Vorgang, bei dem einem Körper → Wärme entzogen wird, erkennbar daran, dass seine Temperatur (unter die Umgebungstemperatur) sinkt.

Kälteanlage

Nach → CECOMAF eine „Anlage, bestehend aus einer oder mehreren → Kältemaschinen und allen zu deren Betrieb, zur Kälteverteilung und Kälteanwendung notwendigen Maschinen, Apparaten, Geräten, Stoffen und Leitungen.“

Kälteanlagenbauer(in)

Bezeichnung für den 1982 geschaffenen Ausbildungsberuf im Kälteanlagenbauerhandwerk, seit dem 01.08.2007 → Mechatroniker(in) für Kältetechnik.

Kältebedarf

Der Kältebedarf einer Anlage berechnet sich aus der Summe der anstehenden Kältelasten, das ist die Summe der innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (meist 24 Stunden) abzuführenden Wärmemengen. Die Kältelastanteile werden in äußere und innere Lastanteile unterschieden, letztere wieder in funktionsbedingte und nebenfunktionsbedingte Kältelastanteile. Äußere Kältelastanteile sind Wärme durch → Luftwechsel, → Transmissionswärme und Wärme durch → Türöffnen. Die funktionsbedingten Kältelastanteile sind → Abtauwärme, → Atmungswärme, → Wärme durch Dehydration, Wärme durch → Lagergutabkühlung und Wärme durch → Luftumwälzung, die nebenfunktionsbedingten sind → Beleuchtungswärme, → Personenwärme und → Maschinenwärme.

Kältebedarfsberechnung

→ Kältelastberechnung.

Kältebrücke

→ Wärmebrücke durch die Grenzschicht eines gekühlten Raumes. Kältebrücken führen aufgrund von Kondensationserscheinungen bis hin zur Bereifung zu entsprechenden Folgeschäden wie Korrosion oder Frostaufbrüche. Typisches Beispiel ist die Aufhängung eines Verdampfers in einer Tiefkühlzelle mit Gewindestangen aus Stahl durch die Kühlzellendecke / -wand hindurch. Hier müssen entweder Gewindestangen aus Polyamid verwendet oder

das außen herausstehende Ende der Gewindestange muss mit einer Wärmedämmung versehen werden, sonst kommt es zur Eisbildung an Gewindestange und Mutter. → Unterfrier-schutz.

Kältecontracting

Teilaspekt des Energiecontracting, bei dem ein Kältelieferant dem Kunden vertraglich vereinbarte Kälteenergie verkauft; kann von der Energiebedarfsanalyse über Planung und Bau sowie Betrieb und Wartung der Anlage bis zur Deckung aller Finanzierungs- und sonstigen Aufwendungen reichen. In der Kältetechnik mit der Lieferung von → Eis als gespeicherter Kälte an Haushalte und Gewerbebetriebe nicht erst seit der Erzeugung von → Kunsteis verbreitet.



Bild 108: Anfang des 20. Jahrhunderts: Lieferung von Blockeis an Verbraucher.

Kältekreislauf

Unzutreffende Bezeichnung, gemeint ist der → Kältemittelkreislauf.

Kältelast

Ein abzuführender Wärmestrom, → Kältebedarf.

Kältelastberechnung

Berechnung des → Kältebedarfs durch Summieren der anstehenden Kältelasten. → Kälteleistungsberechnung.

Kälteleistung

Die Kälteleistung einer → Kältemaschine ist der auf niederem Druckniveau aufgenommene Wärmestrom. → Verdichter-kälteleistung.

Kälteleistungsberechnung

Die erforderliche Kälteleistung \dot{Q}_0 der eingesetzten Kälteanlage ergibt sich aufgrund des für 24 h berechneten → Kältebedarfs unter Berücksichtigung einer täglichen → Laufzeit τ_A der Anlage zu:

$$\dot{Q}_0 = \frac{\dot{Q}}{\tau_A} [\text{kW}].$$

Dabei bedeutet

\dot{Q}_0 : Kälteleistung [kW]

\dot{Q} : Summe der Wärmeströme aus den anstehenden Kältelasten [kWh/d]

τ_A : Laufzeit der Anlage [h/d].

Kälteleistungszahl

Dimensionslose Zahl, Symbol ϵ_K , Verhältnis von Nutzen (Kälteleistung) zu Aufwand (zugeführte Antriebsleistung) eines Kälteerzeugungsprozesses. Je nach dem, welche Kälte- und Antriebsleistungen zugrunde gelegt werden, ergeben sich unterschiedliche Werte. Diese sind deswegen anzugeben.

Kälteleistungszahl nach Carnot

Verhältnis von Nutzen (Kälteerzeugung) zu Arbeitsaufwand des linksläufigen → Carnot-Prozesses, der als Vergleichsprozess für den → Kältdampfkompansionsprozess herangezogen wird:

$$\epsilon_{KC} = \frac{T_0}{T_c - T_0}.$$

Dabei bedeutet T_0 die Verdampfungs- und T_c die Verflüssigungstemperatur in Kelvin. Die Kälteleistungszahl ist als Leistungsziffer dimensionslos.

Kälteleistungszahl, effektive

Dimensionslose Zahl, Verhältnis von Nutzen (Kälteerzeugung) zu Arbeitsaufwand (Verdichtungsarbeit) des → Kältdampfkompansionsprozesses, berechnet mit der tatsächlichen Kälteleistung \dot{Q}_0 und der tatsächlichen Antriebsleistung P des realen Verdichters. Die Kälteleistung wird nach EN 12 900 auf 20 °C Saug-gastemperatur und 0 K Flüssigkeitsunterkühlung bezogen und bei namhaften Herstellern vom → ASERCOM zertifiziert. Für die Leistung ist bei offenen Verdichtern die effektive Antriebsleistung an der Welle (P_e), bei (halb)hermetischen Verdichtern die elektrische Antriebsleistung (P_{KL}) des Verdichters einzu-

setzen. $\epsilon_{Ke} = \frac{\dot{Q}_0}{P}$. → COP.

Kälteleistungszahl, isentrope

Dimensionslose Zahl, Verhältnis von Nutzen (Kälteerzeugung) zu Arbeitsaufwand (Verdich-

tungsarbeit) des → Kaltdampfkompressionsprozesses, berechnet mit den Prozessdaten aus dem → lg p, h-Diagramm bei isentroper Verdichtung:

$$\varepsilon_{Kis} = \frac{q_{0e}}{w_{is}} = \frac{h_{1e} - h_4}{h_2 - h_1}$$

Dabei bedeutet

- h_{1e} die spezifische Enthalpie des auf Kühlstellentemperatur überhitzten Kältemitteldampfes,
- h_4 die spezifische Enthalpie des Kältemittels am Beginn der Verdampfung,
- h_1 die spezifische Enthalpie des Saugdampfes am Beginn der Verdichtung,
- h_2 die spezifische Enthalpie des Kältemittels am Ende der Verdichtung.

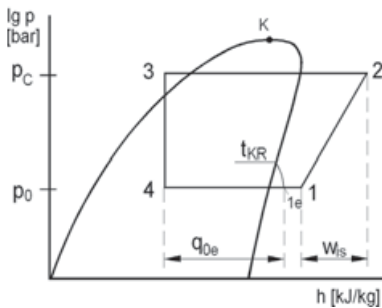


Bild 109: Spezifischer Nutzkältegewinn q_{0e} und spezifische isentrope Verdichtungsarbeit w_{is} zur Berechnung der isentropen Kälteleistungszahl ε_{is} im lg p, h-Diagramm: t_{KR} Kühlraumtemperatur; Die Lage des Punktes 1e (Ende der Nutzwärmeaufnahme) ist Definitionssache, hier am Schnittpunkt der p_0 -Isobaren mit der Kühlraumisothermen t_{KR} .

Kältemaschine

Nach → CECOMAF „Gattungsbegriff für thermische Maschinen, die bei niedriger Temperatur einen Wärmestrom aufnehmen und mittels eines zugeführten Energiestromes bei höherer Temperatur wieder abgeben“. Je nachdem, welcher dieser Wärmeströme genutzt wird, handelt es sich um eine → Kühlmaschine oder eine → Wärmepumpe. → Kälteanlage.

Kältemaschinenöl

Öle für Kältemaschinen müssen besonderen Anforderungen genügen, z. B. hohen Temperaturen am Druckventil standhalten, auch bei

niedrigen Temperaturen noch fließfähig sein, kältemittelbeständig sein, besonders geringen Wassergehalt aufweisen usw. DIN 51 503 legt die Anforderungen an Kältemaschinenöle für verschiedene Kältemittel fest: Gruppe KA für → Ammoniak, unterteilt in nicht mischbare (KAA) und teilweise oder vollständig mischbare Öle (KAB), Gruppe KC für → (H)FCKW, Gruppe KD für → (H)FKW und Gruppe KE für → Kohlenwasserstoffe.

Kältemischung

Mischt man Kochsalz mit → Eis(wasser) ergibt sich ein Schmelzen von Eis mit einer Temperaturabsenkung, die bei einer Konzentration von 30 g Salz pro 100 g Eiswasser bis -21 °C geht. Der Effekt beruht auf der Gefrierpunktniedrigung durch Salz, wobei die Lösung die Schmelzwärme des Eises sich selbst entzieht und dadurch abkühlt. Die jeweils tiefste erreichbare Temperatur entspricht dem Schmelzpunkt des → Eutektikums. Mit 28 g Magnesiumchlorid MgCl_2 je 100 g Eis lassen sich -33 °C erreichen, mit 144 g Kalziumchlorid ($\text{CaCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$) sogar -55 °C . Kältemischungen waren im 18. Jhd. vor der Erfindung der Kältemaschinen die einzige Methode zur Erzeugung von tiefen Temperaturen.

Eine Abkühlung von Wasser kann auch durch Lösung bestimmter Salze erzielt werden (endotherme Salzlösungen). Beim Lösungsvorgang dissoziiert das Salz zu Ionen, wobei die Bindungskräfte zwischen Atomen überwunden werden. Die nötige Energie wird der Umgebung entzogen, d. h., die Lösung kühlt sich ab. Einige Lösungen eignen sich zur Erzeugung tieferer Temperaturen als 0 °C . 250 g Kaliumchlorid (KCl) in 100 g Wasser gelöst ergibt eine Absenkung der Temperatur um 34 K.

Kältemittel

Definition: Kältemittel (in Kaltdampf-Kältemaschinen bei unterkritischem Prozess) sind Arbeitsstoffe, die in Kältemaschinen den Wärmetransport übernehmen, indem sie unterhalb der Umgebungstemperatur Wärme durch Verdampfen bei niedrigerem Druck aufnehmen und oberhalb der Umgebungstemperatur durch Verflüssigen bei höherem Druck abgeben.

DIN EN 378-1 definiert wie folgt: Fluid, das zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt wird, und das bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnimmt

und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgibt, wobei üblicherweise Zustandsänderungen des Fluids erfolgen.

Die vormalig gültige „Unfallverhütungsvorschrift für Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen BGV D4“ definiert Kältemittel als „in der Anlage umlaufende Stoffe, durch deren Aggregatzustandsänderung Wärme entzogen oder abgegeben wird.“

Die Definition aus DIN EN 378 ist insofern umfassender als auch → der transkritische Prozess mit z. B. CO_2 erfasst wird, weil die Formulierung „Zustandsänderungen“ zulässt, dass CO_2 bei der Wärmeabgabe jenseits des kritischen Punktes keine Aggregatzustandsänderung durchläuft (→ Gaskühler).

Eigenschaften: Ein ideales Kältemittel müsste folgende Eigenschaften besitzen: nicht brennbar, nicht giftig, nicht korrosiv, preiswert, thermisch und chemisch stabil, gute Mischbarkeit mit Öl, umweltfreundlich, hohe → Kälteleistung bei geringem Energieaufwand, günstiges → Druckverhältnis, günstige → Verdichtungs- endtemperatur usw.

Ein ideales Kältemittel gibt es nicht, aber aus den o. a. Anforderungen resultierend eine Vielzahl von Kältemitteln, die mit unterschiedlichen thermodynamischen Eigenschaften in verschiedenen Anwendungen und Einsatzbereichen jeweils ihre Berechtigung haben (siehe Tabelle: Daten ausgewählter Kältemittel). Die heute als → Sicherheitskältemittel eingesetzten fluorierten Kohlenwasserstoffe (→ FKW, → HFKW) haben eine höhere Dichte als Luft, sind nicht toxisch, praktisch geruchlos (erst in höheren Konzentrationen wahrnehmbar) und bis auf wenige Ausnahmen (HFKW R-32, R-143a, R-152a), die deswegen nicht in Reinform verwendet werden, nicht brennbar. → brennbare Kältemittel, → Gefahren durch Kältemittel.

Kältemittel werden gemäß DIN EN 378 im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Gesundheit und die Sicherheit in Gruppen eingeteilt. → Kältemittel-Klassifikation.

Geschichte: Die Geschichte der Kältemittel ist eng mit der Erzeugung künstlicher Kälte durch Verdampfung (im Gegensatz zu natürlicher Kälte → Natureishandel) verknüpft. Als erstes Kältemittel für den → Kaltdampfkompessionsprozess setzte Jacob → Perkins Ether in seiner 1834 patentierten Kompressor-Kältemaschi-

ne ein. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde bereits → Ammoniak von Ferdinand → Carré in → Absorptionskältemaschinen eingesetzt, aber erst → Lindes Kompressionskälteanlage mit Ammoniak bedeutete den Durchbruch für die künstliche Kälte. In der Folge wurden neben Ammoniak u. a. auch → Kohlenstoffdioxid und → Schwefeldioxid (SO_2) in Kompressor-Kältemaschinen eingesetzt. 1929 hatte Frigidair, damals eine Tochtergesellschaft von General Motors (GM), in den USA bereits eine Million Haushaltskühlchränke verkauft mit der Folge, dass auch die Unfälle mit SO_2 -Vergiftungen aufgrund von Undichtigkeiten zunahmen. Tom → Midgely, Wissenschaftler bei GM (mit Hauptaktionär DuPont), erhielt deshalb 1928 den Auftrag, ein besser geeignetes Kältemittel zu finden, und erfand mit Dichlordifluormethan, Freon 12 (→ Kältemittel-Nomenklatur), den ersten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff (FCKW), R-12, als → Sicherheitskältemittel. Die erste Pilotanlage zur Produktion entstand 1929 und innerhalb kurzer Zeit wurden weitere Kältemittel für die unterschiedlichsten Anwendungen nach diesem Prinzip entwickelt (R-113, 114, 115, 22, 11 usw.) In der Folge nahm die Kälteindustrie einen gewaltigen Aufschwung ein → Kühlschrank ist heute in jedem Haushalt vorhanden.

Eine Wende nahm diese Kältemittelentwicklung durch die Veröffentlichung der Ozonabbau-theorie (→ Ozonschädlichkeit) durch Rowland und Molina 1974. Die Erkenntnis, dass es für die inzwischen auch als Treibgas, Lösch- und Reinigungsmittel massenhaft verwendeten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (Weltproduktion 1974: 800 000 t) keine Senke gab, sie sich also langfristig in der Atmosphäre ansammeln und so aufgrund des enthaltenen Chlors (oder Broms) die stratosphärische Ozonschicht abbauen, führte 1987 mit dem → Protokoll von Montreal zur ersten internationalen Vereinbarung, die die Einschränkung der FCKW zum Ziel hatte. Die darauf folgende Suche nach chlorfreien Ersatzkältemitteln ergab mit den fluorierten Kohlenwasserstoffen (→ FKW, → HFKW) sowohl nahezu perfekte (R-134a für R-12) als auch nicht vollständig befriedigende Lösungen (→ Kältemittelgemische mit großem → Temperaturgleit bzw. relativ hoher → Drucklage). Heute verwendete Sicherheitskältemittel sind in der Regel (H)FKW bzw. Gemi-

Tabelle 9: Daten ausgewählter Kältemittel: K = Klima, NK = Normalkühlung, TK = Tiefkühlung, TTK Tieftemperaturkühlung.

Kältemittel	Zusammensetzung	ODP (R11 = 1)	GWP ₁₀₀ (CO ₂ = 1)	Siedetemperatur [°C]	Praktischer Grenzwert [kg/m ³]	Einsatzbereich
R-22	CHClF ₂	0,05	1500	-41	0,3	K, TK mit Einschränkungen
R-134a	CH ₂ FCF ₃	0	1300	-26	0,25	NK, K
R-23	CHF ₃	0	11700	-82	0,68	TTK (Kaskade)
R-404A	R143a/125/134a	0	3260	-47	0,48	TK
R-407C	R32/125/134a	0	1520	-44	0,31	K
R-410A	R32/125	0	1720	-51	0,44	K, NK, TK
R-507A	R143a/125	0	3300	-47	0,48	TK
R-290	C ₃ H ₈	0	3	-42	0,008	K, NK
R-600a	C ₄ H ₁₀	0	3	-12	0,0086	K, NK
R-717	NH ₃	0	0	-33	0,00035	NK, TK
R-723	NH ₃ / Dimethylether	0	8	-36,5	Noch nicht festgelegt	NK, TK
R-744	CO ₂	0	1	Tripelpunkt bei -57	0,1	→ Kohlenstoffdioxid

K

sche daraus, enthalten kein Chlor bzw. Brom und haben daher kein Ozonschädigungspotenzial (→ ODP). Ausnahme bilden einige → Service-Kältemittel, die R-22 enthalten.

Einen weiteren Aspekt der Bewertung von Kältemitteln stellt deren → Treibhauspotenzial dar, das nach dem → Kyoto-Protokoll in den Mittelpunkt des Interesses gerückt ist. Die → F-Gase-Verordnung schreibt deswegen regelmäßige Dichtheitskontrollen für Kälteanlagen mit fluoridierten Treibhausgasen vor. → GWP.

Kältemitteldetektoren

DIN EN 378-3 fordert Kältemitteldetektoren für Maschinenräume. Sie haben die Aufgabe, frühzeitig vor gefährlichen Kältemittelkonzentrationen zu warnen, und müssen je nach Gefährdung durch das Kältemittel bei unterschiedlichen Konzentrationen ansprechen.

Kältemittel-Entsorgung

Stark verunreinigtes oder nicht sortenrein zurück gewonnenes Kältemittel kann nicht wiederaufgearbeitet werden und muss deshalb fachgerecht entsorgt werden. Es wird durch Hochtemperaturspaltung zerstört. Dabei lassen sich Chemikalien gewinnen, die wiederum in der Industrie wirtschaftlich genutzt werden. → Rücknahme-Flaschen, → Anlagenflaschen, →

Kältemittel-Recycling, → Kältemittel-Wiederverwendung.

Kältemittelflaschen

Kältemittelflaschen sind geprüfte Behälter, die zum Transport bzw. zum Lagern von → Druckgasen zugelassen sind. Sie unterliegen gesetzlichen Bestimmungen und müssen regelmäßig durch einen amtlichen Sachverständigen geprüft werden (Kältemittelflaschen unter 150 Liter alle 10 Jahre, Recycling-Flaschen und R-717 alle 5 Jahre). Auf Kältemittelflaschen sind Eigentümer, Mindestprüfdruck, Flaschennummer und TÜV-Zulassung, Tara- und Füllgewicht und Termin der nächsten TÜV-Prüfung angebracht. Der Flaschenaufkleber vermittelt darüber hinaus Produktangaben wie Kältemittelbezeichnung und Sicherheitshinweise. → Füllfaktor.

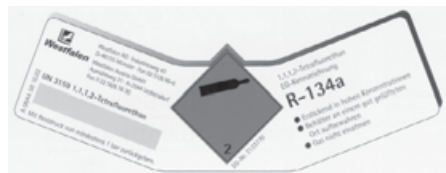


Bild 110: Flaschenaufkleber (Westfalen AG).

Kältemittel-Gemisch

Zahlreiche FKW bzw. HFKW sind in reiner Form als Kältemittel ungeeignet. Durch ihre Mischung ist es möglich Kältemittel zu schaffen, die für bestimmte Anwendungen geeignet sind. → azeotrope Gemische, → zeotrope Gemische.

Kältemittelgruppe

→ Kältemittel-Klassifikation.

Kältemittel-Klassifikation

DIN EN 378 unterteilt Kältemittel nach Brennbarkeit und Giftigkeit in Gruppen:

Klassifikation nach Brennbarkeit:

Gruppe 1	nicht brennbar
Gruppe 2	Kältemittel, deren Gemisch mit Luft eine untere Explosionsgrenze von mindestens 3,5 Vol.% hat, z.B. R-717 (Ammoniak)
Gruppe 3	Kältemittel, deren Gemisch mit Luft eine untere Explosionsgrenze von weniger als 3,5 Vol.% hat, z.B. R-290 (Propan)

Klassifikation nach Giftigkeit:

Gruppe A	Kältemittel mit einem → MAK-Wert 400 ppm (Vol.), z.B. R-134a
Gruppe B	Kältemittel mit einem MAK-Wert 400 ppm (Vol.), z.B. R-717 (Ammoniak)

Daraus ergeben sich sechs Sicherheitsgruppen A1, A2, A3, B1, B2, B3, die zu einer vereinfachten Gruppeneinteilung zusammengefasst werden:

Kältemittelgruppe L1 = A1; z.B. R-134a, R-404A, R-407C, R-507A, R-744.

Kältemittelgruppe L2 = A2, B1, B2; z.B. R-32, R-143a, R-152a, R-717.

Kältemittelgruppe L3 = A3, B3; z.B. R-290, R-600a.

→ Erste Hilfe bei Kältemittelunfällen.

Kältemittelkreislauf

Gesamtheit aller Kältemittel führenden Bauteile und Leitungen einer Kälteanlage.

Kältemittelmangel

Kältemittelmangel zeigt sich durch Blasen im → Schauglas und führt zur Fehlfunktion der Kälteanlage, die Verdampfungstemperatur sinkt, die Kälteleistung ebenfalls. Eventuell kommt es zum → Takten. Nach ordnungsgemäßer Befüllung und Inbetriebnahme deutet

Kältemittelmangel immer auf ein Leck hin, das es vor dem Nachfüllen zu beheben gilt. Bei den vorgefüllten → Splitklimategeräten ist ab einer bestimmten Leitungslänge eine → Trimmfüllung erforderlich.

Kältemittelmassenstrom

Die pro Zeiteinheit im Kältemittelkreislauf bewegte Kältemittelmasse, Symbol \dot{m}_R [kg/s].

Der zur Erzeugung der Kälteleistung erforderliche Kältemittelmassenstrom ergibt sich als Quotient aus der mittels → Kältebedarfsberechnung ermittelten Kälteleistung \dot{Q}_0 und dem aus den Prozessdaten im lg p, h-Diagramm ermittelten → Nutzkältegewinn q_{0e} und ist Basis für die → Rohrleitungsdimensionierung:

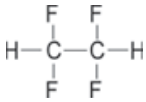
$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_0}{q_{0e}}$. Der tatsächliche Kältemittelmassenstrom einer realen Anlage ist

gemäß $\dot{m}_R = \frac{\dot{V}_{V1}}{v_1}$ abhängig vom tatsächlichen

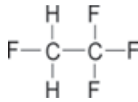
Volumenstrom \dot{V}_{V1} des Verdichters und dem spezifischen Volumen v_1 des Kältemittels am Verdichtereingang.

Kältemittel-Nomenklatur

Zifferncode für Kältemittel vom Erfinder der FCKW, dem Chemiekonzern DuPont, entwickelt und 1957 von der → ASHRAE übernommen. Kältemittel (engl. Refrigerant) werden durch ein R mit nachfolgendem Zifferncode bezeichnet, aus dem man die Zusammensetzung des Stoffes erkennen kann: Erste Ziffer von rechts = Anzahl der F-Atome; zweite Ziffer von rechts = Anzahl der H-Atome + 1; dritte Ziffer von rechts = Anzahl der C-Atome - 1, wird weggelassen wenn sich Null ergibt, also bei Methan-Abkömmlingen; vierte Ziffer von rechts = Anzahl der Doppelbindungen, entfällt, wenn keine Doppelbindungen enthalten sind. Die Anzahl der Cl-Atome ergibt sich aus den nicht durch H oder F besetzten Plätzen. Sind Cl-Atome durch Brom ersetzt worden, folgt auf die Ziffernotation ein „B“ mit der Anzahl der Bromatome, z.B. R-13B1 = Bromtrifluormethan. Zyklische Verbindungen werden mit einem „C“ vor der Kennzahl gekennzeichnet, z.B. R-C318 = Oktafluorocyclobutan. Isomere werden mit zunehmender Asymmetrie durch Hinzufügen der Buchstaben a, b, c, usw. gekennzeichnet:



R-134



R-134a

Bild 111: Struktur von R-134 und R-134a

Beispiele: R-23: (= 023) 0 + 1 = 1 C-Atom, 2 – 1 = 1 H-Atom, 3 F-Atome, kein freier Platz, da 4 Plätze zu belegen: CHF₃ – Trifluormethan.

R-134a: 1 + 1 C-Atome, 3 – 1 H-Atome, 4 F-Atome: C₂H₂F₄ – Tetrafluorethan. Die Umrechnung ist mit einem „Trick“ möglich: R-134a: 134 + 90 = 224 ergibt C₂H₂F₄ und umgekehrt. Weitere Regeln siehe Tabelle:

R-4..	→ Zeotrope Gemische	R-404A (143a/125/134a), R-407C (32/125/134a)
R-5..	→ Azeotrope Gemische	R-507A (143a/125)
Gemische aus gleichen Komponenten unterschiedlicher Massenverhältnisse werden bei gleicher Kennzahl durch einen nachgestellten Großbuchstaben (A, B, C...) unterschieden, z. B. R-407 A, R-407 B, R-407C		
R-7..	Anorganische Kältemittel: Ammoniak, Wasser, Luft, Kohlenstoffdioxid, Schwefeldioxid, Ammoniak/Dimethylether	R-717, R-718, R-729, R-744, R-764, R-723 Die beiden letzten Ziffern geben die relative Molekülmasse an.
Kohlenwasserstoffe, die sich mit dem R-Code der Methan/Ethan-Derivate nicht erfassen lassen		Isobutan (C ₄ H ₁₀ - R-600a)

Kältemittel-Pumpen

Kältemittel-Pumpen werden für → Pumpenbetrieb benötigt. Es sind ein- oder mehrstufige offene oder in sich völlig geschlossene Kreiselpumpen ohne jegliche Wellenabdichtung, bei denen der Antrieb auf elektromagnetischem Weg über den so genannten Spaltrahmotor erfolgt.

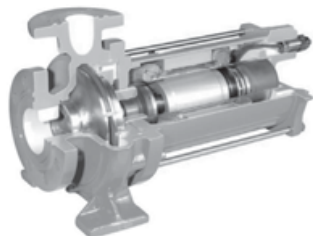


Bild 112: Kältemittel-Pumpe im Schnitt (Hermetic).

Da Kältemittel-Pumpen siedende Flüssigkeit fördern, ist die exakte Einhaltung einer Mindestzulauftiefe wichtig, weil sich sonst Dampfblasen bilden und der Förderstrom abreißt. → Kavitation.

Kältemittel-Recycling

DIN EN 378-4 unterscheidet prinzipiell drei Verwendungen für aus einer Kälteanlage rückgewonnenes Kältemittel:

1. Wiederverwendung in derselben oder einer gleichartigen Anlage.
2. Allgemeine Wiederverwendung nach Wiederaufbereitung.
3. Entsorgung bei nicht wiederaufarbeitbarem Kältemittel.

→ Anlagenflaschen, → Kältemittel-Entsorgung, → Kältemittel-Wiederverwendung → Rücknahme-Flaschen.

Kältemittelsammler

Auch Sammler, Vorratsbehälter für flüssiges Kältemittel auf der Hochdruckseite der Kälteanlage, dem Verflüssiger nachgeschaltet, gleicht den in den einzelnen Betriebsphasen unterschiedlichen Kältemittelbedarf aus. Seine Größe richtet sich nach der → Füllmenge der Anlage und danach, ob er bei Reparaturen die gesamte Kältemittelfüllung aufnehmen können soll, ohne dass → Flüssigkeitsdruck auftritt (→ Neunzig-Prozent-Regelung). Außerdem dient der Kältemittelsammler als Flüssigkeitsverschluss der abgehenden Flüssigkeitsleitung und zur Freihaltung der Verflüssigerfläche, wenn gewährleistet ist, dass das Kondensat frei in den Sammler abfließen kann.



Bild 113: Stehender Kältemittelsammler (Bitzer).

Der stehende Sammler ermöglicht mit einer kleineren minimalen Füllmenge eine ausreichende Versorgung der abgehenden Flüssigkeitsleitung mit flüssigem Kältemittel. Durch die kleinere Flüssigkeitsoberfläche wird die Wärmeübertragung vom Sattedampf zur unterkühlten Flüssigkeit geringer, die Unterkühlung also nicht so stark rückgängig gemacht. Ähnliches gilt für den schräg liegenden Sammler. Beidseitig absperrbare Sammler sind vor Drucküberschreitung durch Flüssigkeitsausdehnung zu schützen. DIN EN 378-2 schreibt dazu ab einem Nenn-Innendurchmesser von 152 mm eine → Druckentlastungseinrichtung vor.

Kältemittel-Schild

Rohrleitungen für Kältemittel werden nach DIN 2405 mit einem schwarz umrandeten gelben Schild, das auf weißem Grund das Kurzzeichen des Kältemittels zeigt, gekennzeichnet. Die Schildspitze ist bei brennbaren Kältemitteln rot, farbige Querbalken geben die Leitung an: blau – Saugleitung, rot – Druckleitung, grün – Flüssigkeitsleitung. Bei mehrstufigen Anlagen gibt die Anzahl der farbigen Querbalken die Stufe an.

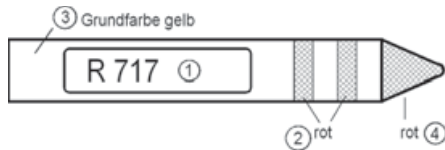


Bild 114: Kältemittel-Schild I Kurzzeichen des Kältemittels auf weißem Grund (R-717 = Ammoniak), 2 Zwei rote Querbalken = 2. Stufe Druckleitung, 3 Grundfarbe gelb = Kältemittel, 4 rote Spitze = brennbares Kältemittel.

Kältemittel-Transport

Als → Kältemittel verwendete Gase fallen unter das Gefahrgutrecht und unterliegen somit den Vorschriften des ADR (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße). Eine Freistellung von den Gefahrgutvorschriften ist möglich, wenn die Beförderung im Zusammenhang mit Wartungs- oder Reparaturarbeiten erfolgt und nicht der internen oder externen Versorgung dient und bestimmte Mengen nach

1.1.3.6 ADR („1000 Punkte Regel“) nicht überschritten werden. In jedem Fall ist zu beachten:

- Ventilschutz: Flaschenventile geschlossen, Schutz durch Schutzkappen oder Schutzkragen
- Kennzeichnung: Die vom Befüller angebrachten Gefahrgutzettel dürfen nicht entfernt werden (→ Kältemittelflaschen)
- Ladungssicherung: Alle Flaschen sind gegen Verrutschen, Um- und Herabfallen zu sichern.

Bei Fahrten zur internen oder externen Versorgung und Unterschreitung der festgelegten Höchstmengen nach 1.1.3.6 ADR sind zusätzlich weitere einfache Transportbedingungen zu erfüllen:

- Mitführen eines Feuerlöschers, Brandklasse ABC, mindestens 2 kg, verplombt, (Prüffrist 2 Jahre!)
- Rauchverbot beim Be- und Entladen
- Belüftung des Laderaums.

Kältemittelverlagerung

Bezeichnung für den im Allgemeinen unerwünschten Effekt, dass Kältemittel sich bei Stillstand der Anlage innerhalb des → Kältemittelkreislaufs aufgrund des Dampfdruckgefälles an die kälteste Stelle verlagert (geringster Dampfdruck) bzw. im Betrieb aufgrund von unterschiedlichen Druckverlusten in parallelen Zweigen (z. B. Verflüssigern) eines Kältemittelkreislaufs ungleichmäßig verteilt. Kältemittelverlagerung wird durch verschiedene technische Maßnahmen vorgebeugt: Ein → Rückschlagventil in der Druckleitung hinter dem Verdichter verhindert, dass Kältemittel vom (im Sommer z.B. auf dem Dach wärmer stehenden) Verflüssiger in den Verdichter rückkondensiert und dort evtl. sogar zu → Flüssigkeitsschlägen führt. Genauso verhindern Rückschlagventile die Rückkondensation von Kältemittel vom wärmeren zum kälteren Verdampfer, wenn mehrere Verdampfer unterschiedlicher Temperatur in einer Anlage vorhanden sind. Eine Ölumpfeizung verhindert die Verlagerung (Eindiffundieren) des Kältemittels in das Öl des Verdichters im Stillstand der Anlage und somit ein Aufschäumen des Öls und in der Folge evtl. Schäden durch mangelnde Schmierung im Verdichter.

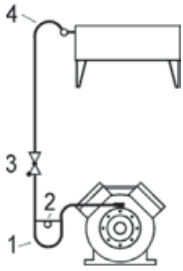


Bild 115: Ein Verdichter bedient zwei Kühlstellen mit unterschiedlicher Temperatur: 1 Verdampfungsdruckregler hält den höheren Druck im oberen Verdampfer aufrecht, 2 Rückschlagventil verhindert Kältemittelverlagerung durch Rückkondensation in den kälteren Verdampfer bei Stillstand der Anlage

Kältemittel-Verteiler

Bei Plattenverdampfern für Trockenexpansion erfolgt die Einspritzung von unten. Dabei werden bei kleiner Plattenzahl die ersten Kanäle mehr Dampf als Flüssigkeit, bei großer Plattenzahl die hinteren Kanäle nur noch sehr wenig Flüssigkeit bekommen. Der Verdampfer wird ungleichmäßig beaufschlagt und arbeitet instabil. Abhilfe schafft ein eingeschobener Kältemittelverteiler in Form eines Rohrs mit Bohrungen für Flüssigkeit und Gas. Wegen des erhöhten Druckabfalls ist ein TEV mit äußerem Druckausgleich erforderlich.

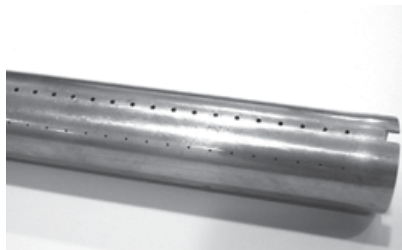


Bild 116: Kältemittel-Verteiler für Plattenverdampfer mit Bohrungen für Dampf (0,8 mm) und Flüssigkeit (0,5 mm).

Kältemittel-Waage

Wichtiges Hilfsmittel zur Befüllung von Anlagen bzw. → Kältemittel-Flaschen. Eine → Überfüllung der Kälteanlage führt zu Betriebsstörungen, bei Überfüllung von Kältemittel-Flaschen droht Berstgefahr – einschlägige Unfälle sind bekannt. → Berstschutz.

Kältemittel-Wiederverwendung

Gemäß DIN EN 378-4 kann aus einer Kälteanlage zurückgewonnenes Kältemittel der allgemeinen Wiederverwendung zugeführt werden. Dazu ist es sortenrein abzusaugen und einer Analyse zu unterziehen. Je nach Ergebnis wird es dann wiederaufbereitet und muss dann den Spezifikationen für ungebrauchtes Kältemittel entsprechen oder es wird entsorgt.

Bei Kältemittel zur Wiederverwendung in derselben oder einer gleichartigen Anlage ist nach sortenreiner Rückgewinnung je nach Vorgeschichte der Anlage ein Säuretest durchzuführen und ggf. das Kältemittel über einen → Filtertrockner wieder einzufüllen. → Rücknahme-Flaschen, → Anlagenflaschen, → Kältemittel-Entsorgung, → Kältemittel-Recycling .

Kältesatz

Kältemaschine mit Antrieb oder Heizung und Zubehör, mit eingebautem oder getrennt aufstellbarem Verflüssiger, fabrikmäßig zusammengebaut, transportfähig und anschlussfertig (CECOMAF).

Kälteschelle

Rohr-Dämmschelle, Rohrschelle mit Wärmedämmung. Rohrleitungen, deren Oberflächentemperatur unter der → Taupunkttemperatur der Umgebungsluft liegt, müssen zur Vermeidung von Schweißwasserbildung wärmege-dämmt sein, auch an den Befestigungspunkten. Dafür gibt es spezielle Rohrschellen, die ein Einschneiden der i. A. weichen Wärmedämmung vermeiden oder eine integrierte Wärmedämmung besitzen.

Kälteschutz

→ Wärmedämmung an Objekten, die eine geringere Temperatur als ihre Umgebung haben. In der Kältetechnik sind dies typischerweise, das zu kühlende Objekt (→ Kühlraum, Behälter) und die Teile der Kälteanlage, die wegen ihrer gegenüber der Umgebung tiefen Temperatur unerwünscht Wärme aus ihr aufnehmen, z. B. die → Saugleitung oder Kaltwasserleitungen etc. Gegenüber dem → Wärmeschutz kommt bei der Wärmedämmung als Kälteschutz noch das Problem der Taupunktunterschreitung hinzu: Wenn die Oberflächentemperatur wärmege-dämmtter Objekte unter der → Taupunkttemperatur der Umgebungsluft liegt,

kommt es zur Kondensation von Wasserdampf (Schwitzen). Auch kann Wasserdampf dem Partialdruckgefälle folgend bei ungenügender → Dampfbremse in eine Dämmschicht eindringen. Verminderter Kälteschutz und / oder Korrosionserscheinungen sind die Folge.

Kältespeicher

→ Latentwärmespeicher, der Wärme aufnimmt, z. B. → Eisspeicher, → Phasenwechselmaterialien.

Kälteträger

Ein Kälteträger ist ein Fluid, das den Transport der Wärme von der Kühlstelle zur Kältemaschine (zum Verdampfer der Kälteanlage) übernimmt, d. h. ein Kälteträger dient der Kälteübertragung (→ Kälte). Als Kälteträger kommen neben Luft (in Kühlräumen mit Lamellenkühlern) z. B. Wasser, wässrige Salzlösungen, salzfreie wässrige Lösungen und andere Flüssigkeiten, z. B. → Aceton (C_3H_6O) zum Einsatz (→ Sole).

Ein Kälteträger sollte

- eine hohe → spezifische Wärmekapazität haben
- im Gefrierpunkt mindestens 5 Kelvin tiefer liegen als die zur Kühlung notwendige Verdampfungstemperatur des Kältemittels
- eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzen (das bewirkt eine bessere Wärmeübertragung, erfordert nicht so große Wärmeübertragerflächen)
- geringe → Viskosität bei tiefen Temperaturen haben (geringe → Pumpenleistung, bessere Wärmeübertragung)
- einen hohen Siedepunkt haben, damit im Stillstand der Anlage nichts verdunstet
- nicht korrosiv und toxikologisch unbedenklich sein.

Einen idealen Kälteträger für alle Anwendungsbereiche gibt es nicht.

Grundsätzlich sind Kälteträger nach Wärmearart und Phasenübergang in drei Arten einzuteilen:

- Flüssige Kälteträger, die sensible Wärme aufnehmen (Wasser, Glykol, Salzlösungen und organische Verbindungen)
- Fluide mit dem Übergang fest / flüssig, die latente Wärme aufnehmen (Eisbrei)
- Fluide mit dem Übergang flüssig / gasförmig, die latente Wärme aufnehmen (CO_2).

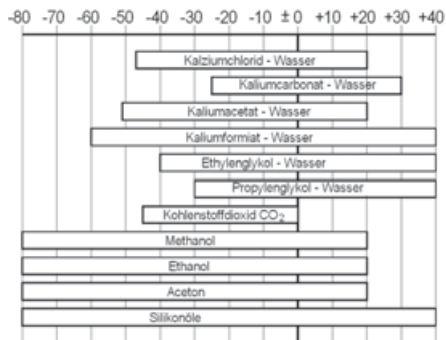


Bild 117: Einsatzbereiche verschiedener Kälteträger.

Kältetrockner

Gerät zur → Luftentfeuchtung durch Wasserausscheidung: Am Verdampfer (5) wird die zugeführte Raumluft unter Taupunkt gekühlt, also durch Wasserausscheidung entfeuchtet, am Verflüssiger (2) wird sie wieder erwärmt. Der Hygrostat (6) überwacht die rel. Luftfeuchte der Raumluft und schaltet das Gerät bei Erreichen eines eingestellten Wertes ab. Bei diesem Prozess erwärmt sich die Luft, weil ihr 1. am Verflüssiger mehr Wärme zugeführt als am Verdampfer entzogen wird und 2. beim Entfeuchten auch latente Wärmeenergie (des kondensierenden Wasserdampfes) entzogen, beim Wiedererwärmen aber nur sensible Wärmeenergie zugeführt wird. → Trocknen von Luft.

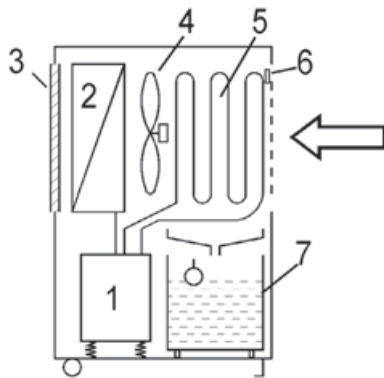


Bild 118: Kältetrockner (Prinzip): 1 Verdichter, 2 Verflüssiger, 3 Filter, 4 Ventilator, 5 Verdampfer, 6 Hygrostat, 7 Wasserauffangbehälter.

Kälteübertragungssystem

Gemäß → DIN EN 378-1 werden verschiedene Ausführungsarten für Kühl- und Heizsysteme unterschieden. Die beiden Hauptkategorien sind „direktes System“ (→ Direktverdampfung) und „indirektes System“ (→ indirekte Verdampfung). Letztere werden weiter differenziert in indirekt offen, indirekt belüftet offen, indirekt geschlossen usw.

Kälteverkürzung

Auch Cold shortening, beim schnellen Abkühlen direkt nach dem Schlachten von insbesondere dunklem Muskelfleisch (Rind, Kalb, Hammel, Lamm, Ziege) auftretende Verkürzung der Muskelfasern, die neben anderen Qualitätseinbußen eine permanente Zähigkeit bewirkt. Kälteverkürzung kann durch Elektrostimulation der Muskeln unmittelbar nach dem Schlachten oder langsamere Abkühlung begegnet werden.

Kaltlager

Wärme gedämmter Lagerraum zur → Kühllagerung.

Kaltlagerschäden

Bei pflanzlichen Kühlgütern kommt es bei Temperaturen unterhalb der optimalen Lagertemperatur, aber oberhalb der Gefrieranfangstemperatur zu Stoffwechselfvorgängen, die zum völligen Verlust des Gebrauchswertes führen können. So kann das Reifungsvermögen verloren gehen (Tomaten bleiben unterhalb 10 °C gelb und färben sich nicht mehr rot) oder es treten qualitätsmindernde Schäden auf. Am bekanntesten ist das Süßwerden der Kartoffel bei Lagertemperaturen unterhalb 3 °C. Weitere Erscheinungen sind Schalenbräune (braune Flecken auf der Schale von Äpfeln, Birnen, Zitrusfrüchten), Herzbräune (Braunwerden des an das Kernhaus anschließenden Fruchtfleisches infolge Anreicherung von Kohlenstoffdioxid), Fruchtfleischbräune (besonders bei Kernobst, häufig zusammen mit alkoholischem Geschmack durch Gärvorgänge) und Wolligkeit (faseriger Zustand des Fruchtfleisches ohne Saftaustritt bei Pfirsichen). → Gefrierbrand.

Kaltwassersatz

→ Wasserkühlsatz.

Kalziumchlorid

CaCl_2 , Kalziumsalz der Salzsäure, dessen wässrige Lösung als lebensmittelunbedenkli-

che → Sole mit gegenüber → Propylenglykol wesentlich geringerer → Viskosität verwendet wird. Die Solen sind nicht entflammbar, schwach wassergefährdend und nicht toxisch. Chloridhaltige Solen sind nicht für Edelstahl geeignet. Problematisch ist die hohe Korrosivität. → Kaliumcarbonat.

Kaminverflüssiger

→ Verflüssiger an der Rückwand von → Kühlmöbeln, bestehend vertikal verlaufender Rohrschlange auf beidseitig abgewinkeltem Blech mit jalusieförmigen Einschnitten, der aufgrund der erzielten Kaminwirkung guten Wärmeübergang liefert.

Kapillarrohr

Das Kapillarrohr ist das einfachste → Drosselorgan, außerdem preiswert und verschleißfrei. Die Druckabsenkung beruht darauf, dass das Kältemittel durch eine bestimmte Länge sehr dünnes Kupferrohr (Innendurchmesser von 0,7 - 1,5 mm bei Längen bis zu 3 m) strömen muss. Verstopfungen, z.B. durch Schmutz, Ölharz können mit einem Kapillarrohrreiniger beseitigt werden. Kapillarrohreinisierung wird bei kleinen Kälteanlagen (Kühlschränke, Tiefkühltruhen, kleine Gewerbekühlmöbel und Klimageräte) verwendet, deren Stillstandszeiten meist so bemessen sind, dass ein Druckausgleich zwischen Hoch- und Niederdruck stattfindet und der Verdichter leicht anlaufen kann. Bei diesem Druckausgleich wird das gesamte flüssige Kältemittel in den Verdampfer gedrückt (→ Kältemittelverlagerung), weswegen ein Saugdom hinter dem Verdampfer als Flüssigkeitsabscheider das Ansaugen flüssigen Kältemittels durch den Verdichter verhindert. Kapillarrohranlagen müssen exakt befüllt werden. Eine zu große Füllmenge bewirkt einen Rückstau flüssigen Kältemittels in den Verflüssiger hinein, wodurch der Verflüssigungsdruck p_c und damit die Druckdifferenz am Kapillarrohr steigen. Dadurch wird einerseits mehr Kältemittel eingespritzt, so dass Verdampfungsdruck und -temperatur steigen, andererseits nimmt die Stromaufnahme des Verdichtermotors zu, so dass es zu einer Abschaltung durch das Motorschutzrelais (Klixon) wegen thermischer Überlastung kommen kann. Kapillarrohranlagen sollten deswegen nach einer Reparatur nicht „nachgefüllt“, sondern gemäß Herstellerangabe vollständig neu befüllt werden. Die

richtige Befüllung ist anhand des Bereifungsbildes am Verdampfer und mit Manometern auf Saug- und Druckseite zu kontrollieren.



Bild 119: Bei diesem Kapillarrohr, das in einem Glasrohr endet, ist der Einspritzvorgang deutlich zu erkennen.

Kapselmotorverdichter

→ hermetischer Verdichter.

Kaskadenkälteanlage

Bei einer Kaskadenschaltung arbeiten zwei (oder mehr) Kältemaschinen meist mit verschiedenen Kältemitteln so hintereinander, dass der Verdampfer der oberen Kaskadenstufe gleichzeitig Verflüssiger der unteren Kaskadenstufe ist. Das Tieftemperaturkältemittel gestattet einen Verdampfungsdruck oberhalb 1 bar (Saugseite nicht im Vakuumbereich) und kann zugleich unter 0 °C und somit bei akzeptablen Drücken verflüssigen. So lassen sich tiefe Temperaturen erzeugen und beide Verdichter arbeiten bei vertretbarem → Druckverhältnis, z.B. R-23 in der Tieftemperaturstufe bei $t_0 = -75\text{ °C} / p_0 = 1,5\text{ bar}$ und $t_c = -30\text{ °C} / p_c = 10,14\text{ bar}$ hat $\pi = 10,14 / 1,5 = 6,8$ mit R-507A in der Hochtemperaturstufe bei $t_0 = -35\text{ °C} / p_0 = 1,71\text{ bar}$ und $t_c = 30\text{ °C} / p_c = 14,51\text{ bar}$ hat $\pi = 8,5$. Zur Vermeidung unzulässiger Überdrücke im Stillstand der Tieftemperaturstufe einer Kaskade (R-23 bei 20 °C 41,85 bar!) müssen entsprechend dimensionierte Ausdehnungsbehälter eingebunden werden.

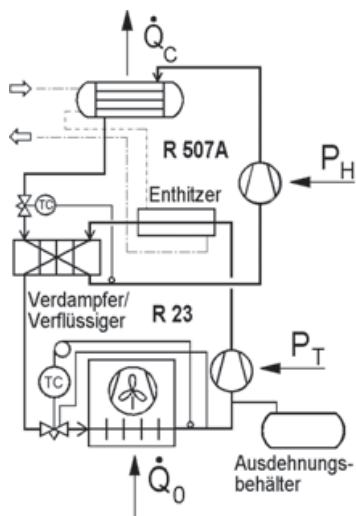


Bild 120: Kaskadenschaltung (Prinzip), Energiebilanz: $\dot{Q}_C = \dot{Q}_0 + P_T + P_H$.

Kavitation

Kavitation (Hohlsog) ist die Bildung und anschließende schlagartige Kondensation von Dampfblasen in strömenden Flüssigkeiten. Bei Kreiselpumpen (Kühlwasserpumpen, Kälteanlagen mit Pumpenumlaufbetrieb) kann es in der Nähe der Eintrittskanten der Laufradschaufeln durch Absinken des statischen Drucks zu Dampfblasenbildung kommen. Wenn der Druck wieder ansteigt, fallen diese Blasen asymmetrisch in sich zusammen, wobei winzige, scharf gebündelte Flüssigkeitsstrahlen mit hoher Geschwindigkeit entstehen. Diese Mikrostrahlen können Metalle zerstören (porige Anfressungen, Zerstörung). Kavitation kann auch in größeren Ventilen zum Problem werden. → NPSH.

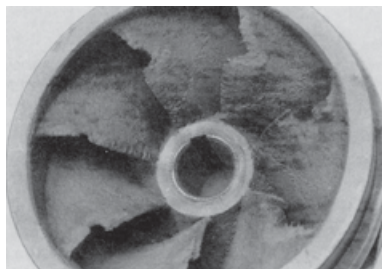


Bild 121: Kavitation an einem Pumpenlaufrad.